行政院國家科學委員會工程處

控制學門規劃書

目錄

一、 召集人的話……...P2

二、 規劃委員名單……...P4

三、 規劃內容

- 基礎控制理論: 基礎理論，模型，智慧型控制，估測，最佳化…….P5

  Control Theories: Fundamental Theories, Modeling, Intelligent Controls, Estimation, and Optimization

- 能源工程科技之控制技術……..P65

  Control Technology on Energy Engineering and Technology

- 生物工程、醫療設備與照護系統…….P113

  Bio-engineering, Biomedical Devices and Healthcare Systems

- 網路控制與計算系統科技之控制…….P150

  Networked Control and Computing System Technology

- 智慧型自動化與機器人…….P177

  Intelligent Automation and Robotics

- 電動車輛與智慧型運輸系統之控制…….P270

  Control on Electronic Vehicles and Intelligent Transportation Systems

控制學門 召集人的話

弟自接任召集人以來，協助國科會控制學門處理年度專題計畫、各項補助計畫或專案計畫的審查處理事宜，以及安排專題計畫的成果報告等，此外，還有一項重要的任務即是協助學門規劃前述專題計畫值得補助的重點方向，因此弟 嘗試瞭解世界先進國家的科研計畫贊助機構在控制領域方面的研究規劃內容，又特別以美國國科會(National Science Foundation)、法國國家科學研究中心(National Center of Scientific Research, CNRS)、日本學術振興會 (Japan Society for the Promotion of Science, JSPS)、日本科學技術振興機構(Japan Science and Technology Agency, JST)、歐盟科學基金會(European Science Foundation)、韓國國家科學與科技發展委員會(Korea Research Council of Fundamental Science and Technology, KRCF)等機構的控制規劃作為參考依據，曾在前年與去年的學門召集人年底業務簡報中揭露了上開部分規劃內容的整理,並也與國內多位控制學界之學者菁英召開了兩次控制規劃會議，分別是於 2011 年 11 月 19 日在台北福華國際文教會館會議室舉行第一次規畫會議，參與人員除弟 外尚有宋開泰教授、蔡明棋教授、周至宏教授、林俊良教授、廖德誠教授、林法正教授等，以及於 2011 年 11 月 29 日在國立中興大學電機系會議室召開第二次規劃會議，該次除了弟 以外，參與人員還包括國科會工程處李清庭處長、陳博現教授、蔡明祺教授、李祖聖教授、宋開泰教授、林俊良教授、胡竹生教授、周至宏教授、莊智清教授、陳建祥教授、徐國鎧教授等，在該次規劃會議之後，即作成決議，以以下之六大重點作為本控制學門的規劃重點方向:

1. **基礎控制理論**: 建構模型、智慧型控制、估測、最佳化等(Control theories: fundamental theories, modeling, intelligent controls, estimation, and optimization)
2. **能源工程科技之控制技術** (Control technology on energy engineering and technology)
3. **生物工程、醫療設備與照護系統** (Bio engineering, biomedical devices & healthcare system)
4. **網路控制與計算系統科技之控制** (Networked control and computing system technology)
5. **智慧型自動化與機器人** (Intelligent automation and robotics)
6. **電動車輛與智慧型運輸系統之控制** (Control on electronic vehicles and intelligent transportation systems)

弟 根據各重點方向的主要專長，特別邀請國內深受敬重之學術權威 : 陳博現教授、林志民教授、周至宏教授、宋開泰教授、林法正教授、吳炳飛教授分別擔任各規劃方向的召集人，由於各方向的領域仍相當寬廣，因此各召集人又分別邀請國內的學者專家多人(理論 24 人、能源 11 人、生物 8 人、網路 14 人、機器人 18 人、車輛 11 人)各自召開多次的討論會議一同來完成這浩大且費心的規劃作業，對這些功不可沒之規劃委員，弟 謹代表國科會控制學門向他們獻上最誠摯之敬意及謝意。

此次規畫的特色是特別體認控制的理論和技術不可自外於人類生活及地球永續的議題,例如能源、網路、交通、生物等，因此控制的研究、發展方向勢必須朝跨領域方向邁進，弟 希望此次借助多位學者專家的力量，規劃出本國控制學者專家可參考及遵循的前瞻方向，期望在不久的未來，這些規劃領域所贊助且完成的專題計畫果能提升人類的生活品質、改善地球的永續條件，對人類社會作出貢獻，亦能將國內控制學界躍上國際舞台。

控制學門召集人

傅立成

101.11.26

規劃委員名單

基礎控制理論: 基礎理論，模型，智慧型控制，估測，最佳化

召集人：林志民教授
規劃委員：張文哲教授、吳政郎教授、連長華教授、高崇堯教授、傅群超教授、黃正自教授、謝欣然教授、王大中教授、吳幸珍教授、練光祐教授、蔡坤諭教授、林澤教授、王偉彥教授、陶金旺教授、呂藝光教授、杜國洋教授、莊家峰教授、許陳鑑教授、簡江儒教授、許駿飛教授、曾仲熙教授、陳永裕教授、廖振宏教授、蔡明發教授

能源工程科技之控制技術

召集人：林法正教授、魏榮宗教授
規劃委員：謝旻甫教授、李嘉猷教授、姚立德教授、鄭博泰教授、李永勳教授、王醴教授、林伯仁教授、李贊鑫教授、曾仲熙教授、江青瓚教授

生物工程、醫療設備與照護系統

召集人：陳博現教授
副召集人：林俊良教授
規劃委員：徐國鎧教授、鍾鴻源教授、李明義教授、王振興教授、鄭桂忠教授、吳謂勝教授、李曉青教授

網路控制與計算系統科技之控制

召集人：周至宏教授
規劃委員：王啟旭教授、王振興教授、李建德教授、何文獻教授、周至宏教授、連豊力教授、莊家峰教授、張偉德教授、陳穎平教授、廖德祿教授、蔡進聰教授、光祐教授、劉俊宏教授、蘇木春教授

智慧型自動化與機器人

召集人：宋開泰教授
副召集人：蔡清池教授
規劃委員：王振興教授、王偉彥教授、李祖聖教授、李柏磊教授、李慶鴻教授、宋開泰教授、余國瑞教授、林正堅教授、林沛群教授、胡竹生教授、翁慶昌教授、郭重顯教授、黃國勝教授、蔡清池教授、鄭銘揚教授、鄭錦聰教授、顏炳郎教授、蘇仲鵬教授、蘇順豐教授

電動車輛與智慧型運輸系統之控制

召 集 人：吳炳飛教授
副召集人：陳柏全教授、蘇昭銘教授
規畫委員：胡竹生教授、陳科宏教授、連豊力教授、陳彥霖教授、黃聖傑教授、彭昭暐教授、張建彥教授

國科會工程處控制學門規劃主題

『基礎控制理論』規劃摘要

規劃主題架構表

規畫主題：基礎控制理論

召 集 人：林志民教授

規畫委員：張文哲教授、吳政郎教授、連長華教授、高崇堯教授、傅群超教授、黃正自教授、謝欣然教授、王大中教授、吳幸珍教授、練光祐教授、蔡坤諭教授、林澤教授、王偉彥教授、陶金旺教授、呂藝光教授、杜國洋教授、莊家峰教授、許陳鑑教授、簡江儒教授、許駿飛教授、曾仲熙教授、陳永裕教授、廖振宏教授、蔡明發教授

規畫子題：1. 基礎理論

2. 模型

3. 智慧型控制

4. 估測

5. 最佳化

摘 要

控制理論是自動控制科技發展的基礎，無論古典控制理論或現代控制理論，其基礎理論的研發重要性不言可喻，往往在自動控制科技的發展中扮演火車頭的引領角色，基礎理論的發展又與數學的研究息息相關，諸如線性控制、強健控制、最佳控制、適應性控制、非線性控制、切換控制、預測控制…等理論的發展，都可看到數學的影響。雖然控制學門已發展了很長一段時間，在古典及現代控制方面也有許多成熟的技術，但隨著現今控制分工的精細、多元及類別，加上系統受環境動態不確定性因素之影響，形成控制在實務應用上之困難，於是，智慧型控制方法於焉而生，結合了專家的經驗技術與傳統控制的成果，希望能開闢出因應現代需求的控制方式。本次基礎控制理論規劃由元智大學林志民講座教授負責，規劃目標期能提昇國內控制技術之研究發展，增進台灣工業整體的競爭力，計有五個子題，分別是基礎理論、模型、智慧型控制、估測及最佳化，以提供國內各界先進研究發展及解決問題方向之參考。

前言

由於自動控制領域在現今工業發展中舉足輕重，因此，自動控制的範疇也隨之擴大，針對各種特性不同的控制系統，基礎理論的研究與發展因應而生，同時也包容了多元的面向。對於一個控制系統由設計、模擬至最後之實作與測試驗證的階段，其受控系統之模型準確度往往是該控制系統整體性能的關鍵。系統模型可由系統動態方程式逐步推導，及黑盒式(Black-Box)系統識別兩種方法建立，其中控制器的設計又可分成 Model-Free 控制與 Model-Based 控制二類，前者常指透過大量計算或是學習法則所構成的智慧型控制器，以勤快的計算彌補對於受控系統的欠缺瞭解；後者則是根據受控系統的模型特性，推導出合適的控制器。對於受控系統能多一分瞭解，通常也就能推導出性能好而且構造簡潔的控制器，相對的就能獲得較佳的控制結果，因此模型建構之良窳影響控制的表現，而建模、控制器設計、受控系統間，各過程又環環相扣，相互影響。

傳統控制理論主要是根據對系統精確數學描述而推演出相對的控制方法。對於過於複雜以致無法透過完整數學描述的控制系統而言，適應智慧學習控制可有效補足傳統控制理論對於這些複雜控制系統的不足。適應智慧學習控制利用塑模系統如模糊邏輯系統與類神經網路等來描述複雜的控制系統，並結合智慧型學習方法與適應控制理論而成，有效地驗證系統穩定性與學習未知參數，以便成功地控制系統的行為。仿生演化計算(Evolutionary Computation)技術的出現啟發了解決控制問題的新方法，包含了遺傳演算法、粒子群最佳化和蟻群最佳化演算法，演化學習控制的優點在免去複雜的數學公式計算以及具有良好控制性能。

真實的物理世界中，任何系統都避免不了會受到隨機性白雜訊(White Noise)或顏色雜訊(Colored Noise)之外來干擾與量測雜訊的影響，就連為系統進行建模時，模式中參數變動呈機率分

佈的情形，都可能牽涉到估測的研究範疇。實務與理論上非線性隨機系統的智慧估測問題，如語音降噪、機器人導航設計、電動機傳感器控制、聲源定位與網路通訊設備通道估測等，都深受許多領域之學者與工程設計專家的重視與研究。實務上，工程設計專家於系統訊號設計/重建階段通常因設計之困難度及複雜度甚至是產品成本之考量，會優先選擇固定式濾波器或估測器，如 Low Pass, Band Pass, High Pass 來探討訊號估測與重建之問題。近二十年來，由於計算機效能以及最佳化演算法理論與程式的快速發展，使得「把分析與設計問題轉化為一個最佳化問題(Optimization Problem)」，已成為控制、通訊、訊號處理、自動化、排程規劃等，眾多領域解決問題的主流思維。

基礎控制理論之子題規劃目標係基於國內現有相關技術，國際發展之趨勢潮流及國家未來重大之發展所需而訂定，藉此規劃期能提昇國內控制技術之研究發展，增進台灣工業整體的競爭力，進而提供國內各界先進研究發展及解決問題方向之參考。於是，基礎控制理論乃規劃成以下五項子題：

子題一：基礎理論，請張文哲教授、吳政郎教授、連長華教授、高崇堯教授、傅群超教授、黃正自教授、謝欣然教授、王大中教授、吳幸珍教授負責撰寫。並請張文哲教授擔任該子題召集人負責彙整。

子題二：模型，請練光祐教授、蔡坤諭教授、林澤教授負責撰寫。並請練光祐教授擔任該子題召集人負責彙整。

子題三：智慧型控制，請王偉彥教授、陶金旺教授、呂藝光教授、杜國洋教授、莊家峰教授、許陳鑑教授、吳政郎教授、簡江儒教授、許駿飛教授負責撰寫。並請王偉彥教授擔任該子題召集人負責彙整。

子題四：估測，請曾仲熙教授、陳永裕教授、廖振宏教授、蔡明發教授負責撰寫。並請曾仲熙教授與陳永裕教授擔任該子題召集人負責彙整。

子題五：最佳化，請高崇堯教授、王大中教授、林澤教授、蔡坤諭教授負責撰寫。並請高崇堯教授擔任該子題召集人負責彙整。

一、 國內研究概況

控制意義在對一個特定需求的指令，以調整及追蹤方式來達成系統運作的預定目標，一般來說，控制系統主要的機構為控制元件與受控元件，根據回授信號是否存在，又分為開迴路與閉迴路控制系統，該如何獲得良好的控制結果，並沒有一種方式可以一體適用，要考慮的因素很多，端視受控系統特性，以組合運用控制理論與技術方式，以達成控制目標，情況不一而足。近二十年來，由於計算機效能以及最佳化演算法理論與程式的快速發展，吾人解決控制系統分析與設計問題的思

維，已從傳統精確求解控制方程式進到智慧型控制，使得控制更接近實用的真實狀態，改變了控制的層面；同時，也因著現代控制技術的日新月異，控制分工的精細，使得控制愈顯重要。

國內舉凡電機工程系、控制工程系、機械工程系或動力機械工程系…等科系，及智慧型控制實驗室、智慧型系統應用實驗室、機器人及機電控制實驗室、尖端控制實驗室、電力電子與運動控制實驗室…等實驗室之各大學，均可見系統控制研發的成果，而研發的領域涵蓋有古典與現代控制，傳統與智慧型控制，探討對象及方法有線性/非線性系統、時間延遲系統、不確定系統、離散系統、T-S 模糊系統、切換系統、隨機系統、滑動模式、參數最佳化、穩定性及進階性能控制、模糊控制與類神經網路控制…等，種類繁多；而在實務應用發展上，包含有創新理論實際應用於機器手臂控制、車輛主動懸吊控制、CNC 機具、倒單擺、車輛自動駕駛儀、導航監控、聚光型太陽能追蹤控制、飛彈導引設計、壓電馬達控制、機器手臂控制設計、車輛懸吊、車體轉向系統、程序控制…等，跨越各種生活科技領域，近年來更深入至許多以實作為主的科技大學。

國內研究單位對新的控制技術研發不遺餘力，並扮演先驅的角色，致力帶動國內產業發展，如中央研究院資訊科學所自動化實驗室智慧型電動機車整車控制系統、混合適應模糊類神經反覆學習控制系統；工業技術研究院資通所的智慧汽車，機械所的智慧自動化-開放式控制核心模組產業應用，技轉控制器廠商包括：寶元、慶鴻、捷準、凌華、新代、賜福(鴻海)等，綠能所的生物微感測技術、中央空調冷氣調控模組設計技術，材化所的熔融奈米型態控制技術、導電漿料製備暨介面調控技術…等；中山科學研究院航空所的無人飛機系統、飛控系統，機械所的推力向量控制系統、電力機械伺服致動器，資通所的智慧型無傷害性高壓感應、電腦輔助伺服控制，系發所的飛彈射控及導控系統…等。至於國內廠商在控制的應用更是不勝枚舉，如東元電機之 Fuzzy 冷氣機，大同的智慧電表、變頻恆溫控制技術，聲寶好取式變頻洗衣機…等。

近年來隨著跨領域技術的整合，控制被應用於各領域的研發正方興未艾，透過產、學、研各界的努力，相信我國在控制方面的研究發展，必能更上一層樓。

二、國外研究概況

基礎控制理論的發展從來不曾停熄，在歐、美、日等先進國家的研究應用更是有系統的推動著，無論是知名的大學，研究中心、實驗室、組織或是廠商，在這場全球競爭的洪流中，相信沒有人會缺席，包含中國大陸，近年來在模糊理論及神經網路理論推導，以及灰色理論的研究，更是多所著墨，這可以從 IEEE 等知名控制期刊刊登的論文數及類別得到證明。1979 年中國大陸華中理工大學自動控制工程學系鄧聚龍教授開始研究信息不完全系統之控制問題，因而創立了灰色系統理論，主要是針對系統模型之不明確性以及資訊不足且不完整性之情況下，進行關於系統的關聯性分析、模型建構，同時經由預測及決策之方法來探討及了解系統，進而能對事物的多變量輸入、不確定性、數據的不完整性及離散的數據做有效的處理。由於灰色系統理論可以解決許多系統信息不完全的問

題，故目前在中國大陸已經成功地應用在農業、水利、軍事、經濟、交通、生態、政策、醫學、材料、水產及自動控制等許多領域裡，並獲得了許多重大的成果，受到國際學術界的矚目與重視。

控制應用的領域種類繁多，包括有高爐、加熱爐等大製程的大型控制，有車輛、家電…的生活控制，有藥品注射、生物訊號量測…的醫療控制，有風力與太陽能發電系統…的能源控制，有無人飛機、飛彈導引…的軍事控制，還有分子、有機物生化反應、銫原子與脈衝雷射…的量子控制等，如美國航空太空總署、哈佛大學醫學院的 Beth Israel Deaconess 研究中心、加州大學 Professor Zadeh 實驗室、阿拉巴馬大學、佛羅里達州立大學、密蘇里哥倫比亞大學、聖母大學、英國的劍橋大學、伯明罕大學、曼徹斯特大學、倫敦大學、德國的克姆尼茨工業大學、慕尼克工業大學、海德堡大學、漢諾威大學、日本的京都大學、名古屋大學、北海道大學、東洋大學…等均有不少的研究成果。

2011 年 6 月 24 日美國總統歐巴馬於卡內基美隆大學宣布「先進製造夥伴」方案，期望以國家的力量結合產、官、學界，投資在能創造高素質製造業職缺，剛開始參與先進製造業合作方案的大學有史丹福大學、麻省理工、喬治亞理工、密西根大學、卡內基美隆大學等，企業方面則有康寧玻璃、福特汽車、英特爾、寶僑等等，初期投資 5 億美元，帶動控制技術的發展。此外，美國輔導 FADAL 與 HAAS 兩家工具機工廠發展其自有之 PC 級控制器，自製自用並不斷擴大其生產規模，對 PC-Based 控制器而言，此二家廠商在全球均排名領先，不斷進行研發的結果，使其由早期使用在銑床、加工中心，逐漸推展到車床、五面加工機等各類工具機產品。近年來由於 PC 的高度發展，PC-Based 控制器的研發已遍及全球，也迫使國際 CNC 控制器大廠不得不朝向開放式架構的方向改良，從德國西門子的 Window-Based 840D 到海德漢 ITNC-530 控制器，以及近年來最保守的日本發那科也發展了 Open CNC 160i 系列控制器。以上所揭，不過略舉大端，各種控制的特性、應用及發展情況請參閱本次規劃的五個子題，就能一窺究竟。

子題一：基礎理論 -- <u>張文哲教授、吳政郎教授、連長華教授、高崇堯教授、傅群超教授、黃正自教授、謝欣然教授、王大中教授、吳幸珍教授</u>

控制理論是自動控制科技發展的基礎，按照控制理論發展的先後，可區分為古典控制理論與現代控制理論兩部份，無論那部份的控制理論，基礎理論的研發其重要性不言可喻，往往在自動控制科技的發展中扮演火車頭的引領角色，而基礎理論的發展向來又與數學的研究息息相關，由於自動控制領域在現今工業發展中舉足輕重，因此，自動控制的範疇也隨之擴大，針對各種特性不同的控制系統，基礎理論的研究與發展因應而生，同時也包容了多元的面向。

子題二：模型 -- <u>練光祐教授、蔡坤諭教授、林澤教授</u>

對於一個控制系統由設計、模擬至最後之實作與測試驗證的階段，其受控系統之模型準確度往往是該控制系統整體性能的關鍵。系統模型可由系統動態方程式逐步推導，及黑盒式(Black-Box)系統識別兩種方法建立，其中控制器的設計又可分成 Model-Free 控制與 Model-Based 控制二類，

前者常指透過大量計算或是學習法則所構成的智慧型控制器，以勤快的計算彌補對於受控系統的欠缺瞭解；後者則是根據受控系統的模型特性，推導出合適的控制器。對於受控系統能多一分瞭解，通常也就能推導出性能好而且構造簡潔的控制器，相對的就能獲得較佳的控制結果，因此模型建構之良窳影響控制的表現，而建模、控制器設計、受控系統間，各過程又環環相扣，相互影響。

子題三：智慧型控制 -- 王偉彥教授、陶金旺教授、呂藝光教授、杜國洋教授、莊家峰教授、許陳鑑教授、吳政郎教授、簡江儒教授、許駿飛教授

適應智慧學習控制利用塑模系統如模糊邏輯系統與類神經網路等來描述複雜的控制系統，並結合智慧型學習方法與適應控制理論而成，有效地驗證系統穩定性與學習未知參數，以便能成功地控制系統的行為。而仿生演化計算(Evolutionary Computation)計包含了遺傳演算法(GA)、粒子群最佳化(PSO)和蟻群最佳化(ACO)演算法等。這些最佳化演算法是啟發式和隨機的，可用來協助解決控制器設計的問題，優點包含免去複雜的數學公式計算以及具有良好控制性能。

對某些控制問題而言加強式學習法(Reinforcement Learning)是比較好的選擇，一個代理人(Agent)從它的環境中接受一個獎賞或者是一種懲罰的評估（即加強式訊號），並經由探索來得知那些動作所能得到最大的獎賞，進而解決所遇到的控制問題。至於雲端網路控制之問題為該系統在共享的有限網路資源，及分散式運算的概念，此時依舊使用傳統控制理論所設計的控制器在雲端網路控制的不定傳輸時間延遲影響下，其效能尚有待改進之空間。若經由專家的知識與經驗或反覆訓練的方式，或許可成功的解決雲端網路型非線性且模式複雜之系統控制與監控問題。

子題四：估測 -- 曾仲熙教授、陳永裕教授、廖振宏教授、蔡明發教授

真實的物理世界中，任何系統都避免不了會受到隨機性白雜訊(White Noise)或顏色雜訊(Colored Noise)之外來干擾與量測雜訊的影響，就連為系統進行建模時，模式中參數變動呈機率分佈的情形，都可能牽涉到估測的研究範疇。實務與理論上非線性隨機系統的智慧估測問題，如語音降噪、機器人導航設計、電動機傳感器控制、聲源定位與網路通訊設備通道估測等，都深受許多領域之學者與工程設計專家的重視與研究。實務上，工程設計專家於系統訊號設計/重建階段通常因設計之困難度及複雜度甚至是產品成本之考量，會優先選擇固定式濾波器或估測器，如 Low Pass, Band Pass, High Pass 來探討訊號估測與重建之問題。從理論的角度來處理非線性隨機性的實務系統智慧估測問題須具較深厚的隨機數學背景知識，對實務設計工程人員較具困難度。非線性隨機系統的智慧估測屬一未成熟且待突破之領域，若能發展出智慧估測的架構，相信對學術界與實務層面均極具意義與貢獻。

子題五：最佳化 -- 高崇堯教授、王大中教授、林澤教授、蔡坤諭教授

近二十年來，由於計算機效能以及最佳化演算法理論與程式的快速發展，大大地改變了工程師解決控制系統分析與設計問題的思維，即將所分析或設計的問題約化成一個最佳化問題(Optimization Problem)的型式，特別是線性矩陣不等式(Linear Matrix Inequality，LMI)的型式，就代表問題已被解決，此種思維已成為控制、通訊、訊號處理、自動化、排程規劃等，眾多領域解決問題的主流思維。最佳化演算法發展的重點之一，在於能快速求解「大型」與「分散式」的控制問題，此外採用合適之數值演算工具，整合成實用的套裝軟體，則是另一發展重點。

子 題 一：基礎理論

召 集 人：張文哲教授

規畫委員：張文哲教授、吳政郎教授、連長華教授、高崇堯教授、傅群超教授、黃正自教授、謝欣然教授、王大中教授、吳幸珍教授

前言

控制理論是自動控制科技發展的基礎，按照控制理論發展的先後，可區分為古典控制理論與現代控制理論兩部份，無論那部份的控制理論，基礎理論的研發其重要性不言可喻，往往在自動控制科技的發展中扮演火車頭的引領角色，而基礎理論的發展向來又與數學技術的研發息息相關，由於自動控制領域在現今工業發展中舉足輕重，因此，自動控制的範疇也隨之擴大，針對各種特性不同的控制系統，基礎理論的研究與發展因應而生，同時也包容了多元的面向。

規劃內容

在本次規劃中，我們就下列的幾個方向提供意見，作為控制相關領域學者研究發展基礎理論的參考：

- 強健控制
- 網狀控制系統
- 隨機系統控制
- 混沌控制
- 適應性控制
- 非線性系統控制
- 預測控制

- 切換控制
- 源生多目標人工智慧計算

1. 研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

基礎控制理論中，基礎理論的研發往往在自動控制科技的發展中扮演火車頭的引領角色，而基礎理論的發展向來又與數學的研究息息相關，由於自動控制領域在現今工業發展中舉足輕重，因此，自動控制的範疇也隨之擴大，所以，在基礎理論的研究與發展，更是包容了多元的面向，在本次規劃中，我們就下列的幾個方向提供意見，作為控制相關領域學者研究發展基礎理論的參考。

(1) 強健控制 (Robust Control)

強健控制並不是一個新的研究領域，但卻是一個長青的研究主題。從最早在頻域下進行不確定系統之強健性分析與強健控制器設計；後在時域下以 Lyapunov 定理為基礎獲得豐碩成果，尤其在系統是線性的情況下，線性矩陣不等式(LMI)提供了很有效的解法；而可變結構控制器被證明具有極高強健性；另，Kharitonov 發表令人印象深刻的研究成果，也引發一陣風潮。至今數十年過去，文獻上仍持續有大量關於強健控制的論文發表，唯已漸漸變成配角而非主角，多是結合一些較新的控制理論與強健控制的概念所得到的成果，如切換控制系統(Switched Control Systems)的強健控制[1]、非線性系統的強健控制[2]、強健模式預測控制(Robust Model Predictive Control) [3,4]、網路控制系統(Networked Control Systems)的強健控制[5,6]、Multi-Agent 系統的強健一致控制(Robust Consensus Control) [7]、混合系統(Hybrid Systems)的強健控制[8]、非線性系統的同時穩定[9]、控制器本身具不確定性之控制系統設計[10]等。由於實際的控制系統必然存在參數的不確定性或被忽略的動態，不管是何種新的控制理論，考慮強健性皆是必然的研究發展路程。而傳統強健控制領域考慮的常是參數的不確定性(Parameter Uncertainty)或未被模式化的動態(Unmodeled Dynamics)，對一些新的控制理論(混合系統、切換控制系統、網路控制系統、離散事件動態系統等)，我們可以考量其它類的不確定性，發展新的理念與方法，仍可以有重要貢獻。

強健控制之研究成果主要之探討對象及方法有:線性/雙線性/非線性系統、時間延遲系統、不確定系統、離散系統、T-S 模糊系統、切換系統、隨機系統、神經網路應用、滑動模式、參數最佳化、穩定性及進階性能控制等問題。目前在強健控制領域的實務應用發展上，主要探討領域包含:創新理論實際應用於機器手臂控制、車輛主動懸吊控制、CNC 機具、倒單擺、車輛自動駕駛儀、導航監控、聚光型太陽能追蹤控制、飛彈導引設計、壓電馬達控制、機器手臂控制設計、車輛懸吊系統、車體轉向系統、程序控制等相關研究上。

(2) 網路控制系統 (Networked Control Systems)

近二十年來，由於計算機效能以及網路通訊軟硬體突飛猛進的發展，催生了網路控制系統

(Networked Control Systems，NCS)的研究。「Networked Control Systems」顧名思義，即是回饋(Feedback)訊號藉由一即時網路來傳輸，迴路閉合(Closed Loop)經由即時網路來達成的系統[11]。也由於系統中，感測器、致動器、與控制器等元件是透過通訊系統來交換訊息這樣的特性，使得網路控制系統的性能分析與設計，比起傳統的回授控制系統要來的更為複雜，需要面臨一些傳統的回授控制系統中不會出現的困難。廣義上來說，網路控制系統可以涵蓋所謂的多代理人系統(Multi-Agent Systems, MAS)，以及感測器網路(Sensor Networks)或致動網路(Actuator Networks)等課題。其基本的核心乃是有關訊息交換與動態控制的協調機制的分析與設計。

網路控制系統的研究課題範圍相當廣闊。就控制理論的狹義觀點而言，其研究的主軸乃是在於探討通訊網路這個媒介的幾個主要特徵－訊息傳遞時間延遲(Time Delay)、傳遞封包遺失(Package Drop)、以及資料數位化(Quantization)－對系統之穩定性、性能、及強韌性所產生的不良影響。在這三個特徵裡，時間延遲這一項一般而言會隨網路資訊流量而變；這樣的性質可以一不確定之時變參數，或是隨機參數來模擬。而封包遺失的現象，則可視為系統以非同步方式(Asynchronous)做資料取樣。至於資料數位化，則可以一「多步階」 (Multi-Step)之非線性運算子來模擬。第一個研究主軸落於「時變延遲系統」的範疇內；而第二、三兩個研究主軸，則可將網路系統視為一同時具有連續時間動態行為以及離散時間數位邏輯運作之動態系統，也就是所謂的混合系統(Hybrid Systems)。因此，許多關於「時變延遲系統」及「混合系統」的研究結果，可直接運用到網路控制系統上面來。

另外，由於網路控制系統是一個分散型的控制系統(Distributed Control Systems)，也就是控制元件僅能依據鄰近之感知元件傳來的訊息來決定控制訊號。因此，在缺乏整體系統之狀態資訊的情況下，如何利用區域化個別資訊以決定整體狀態，進而達成調整系統的動態使之具有強韌的良好表現，乃是另一項重要的研究課題。如何整合現有的網路通訊技術，特別是基於同步化、區域化、可擴放性(Scalability)等原則，來推演出的互助型的合作控制(Cooperative Control)模式，亦是一項重要的研究主題。

近期網路控制系統研究的濫觴，可回溯至 1990 年代的後期，特別是這個時期中關於「混合系統」的研究，可視為網路控制系統研究的序幕。近十年來，網路控制系統的研究是控制理論內的一個熱門主題，特別是上述的幾個研究主軸，年年都有不少文章刊出。在 2007 年以前的重要文獻可以參考[12,13]這些特刊。這些文獻雖然是超過五年之前的「舊作」，但仍具相當的參考價值。仔細研讀這些特刊中的文章，將可以詳細且完整地瞭解網路控制系統所涵蓋的研究主題與一些重要成果。至於近五年的發展，特別是關於前述之時間延遲、封包遺失、資料數位化等不確定性對系統的影響，筆者建議參考一些在這些相關領域中著名學者的研究。在時間延遲方面，可參考 E. Fridman、Richard 等人。在封包遺失方面，可參考 Elia 等人。在資料數位化方面，可參考 Liberzon、Nesic

等人。以下參考文獻[14-17]為上述學者近期一些關於網路控制系統的著作。從這些文章中所引用的文獻，讀者將可獲得更深入的，關於網路控制系統研究最新發展的資訊。

(3) 隨機系統控制 (Stochastic Systems Control)

在自然的環境中，因為雜訊的存在，系統之狀態往往因隨機雜訊的影響，呈現出微幅隨機變動的特性，這樣的變動使得系統的穩定性分析及控制器設計也必須因應改變，一般而言，如果將雜訊視為外在的干擾，則可利用強健控制的相關控制方法將雜訊的影響消除，使閉迴路系統回歸到無雜訊影響的漸近穩定狀態。另一方面，如果將雜訊的存在視為系統狀態變化的一部份特性，此時，我們的控制目的就不是完全消除雜訊對系統的影響，而是將系統視為一個隨機變化系統，探討其相關隨機特性的變化及控制。

有關隨機系統的控制問題，過去幾十年來已受到相當多學者的關注，並有大量的研究成果被發表及應用[18]。由於隨機系統控制所探討的問題廣泛，幾乎所有控制方法的技術都曾被應用於解決隨機系統的控制問題。但也因為隨機系統複雜的特性，使得隨機系統的控制問題一直還是學者們努力發展更有效控制法則的目標。近年來，學者們除了對傳統線性隨機系統繼續做控制方法的創新研究外，亦對非線性隨機系統(Nonlinear Stochastic Systems) [19]、混合隨機系統(Hybrid Stochastic Systems) [20]等較特別的隨機系統提出有效的控制法則，因此，在隨機系統的控制發展上，系統的多元性選擇已是不可忽視的現象。

由於控制系統的特性不同，許多控制方法的研究因應而生，對於隨機系統的控制，亦有相當多類似的情形，例如：隨機系統的最佳控制[21]、隨機系統的適應控制[22]、隨機系統的預測控制[23]等。這些方法都是在面對隨機系統的特有特性下，改良延伸傳統控制方法所發展出來的，因此，將傳統控制方法適當改良，用以處理複雜多元的隨機系統，亦是學者們致力發展的方向。此外，近年來資訊工程及生物技術的蓬勃發展，帶動人類科技進步佔有重要地位，然而，資訊網路及生物系統本身亦具有強烈的隨機特性，因此，已有學者開始針對資訊網路[24]及生物系統[25]探討其隨機控制的機制，相信在此二領域中，隨機系統的控制研究將扮演重要的催化作用，促使人類在應用資訊工程技術及生物技術時，更能得心應手、發揮功效。

(4) 混沌控制 (Chaos Control)

混沌理論有下列幾個主要特性:對於初始條件敏感、非線性、回饋機制、奇異吸子。因混沌系統容易受到初始條件影響，初始值小小的差異，往後的系統響應就有很大的差別。過去數十年來，混沌同步概念受到許多的研究與討論，在這些研究中主要利用控制法則的設計，使主、僕混沌系統達成狀態同步目的，這些法則如滑動模式控制、模糊控制、適應控制和最佳化控制等等[26-29]。這些控制法則皆使系統具備強健特性，讓混沌系統能保持在設計的軌跡上。滑動模式控制擁有很好的強健控制力，可讓系統狀態快速的進入順滑面，進而保持在設計的軌跡上，但是強大的控制力在實

務上是很難實現，而且為的讓系統狀態保持在順滑條件上，必須做快速的控制力切換，因此會造成抖動(Chattering)現象，形成系統不良的影響。為了消除抖動現象，有許多學者針對此問題提出相關的研究和討論，並提出抑制系統抖動的對策及方法，如以模糊控制方式抑制抖動現象，在實務上需要數位化資料轉換及快速數學運算，在實現時增加其複雜性，但能有效的抑制系統抖動問題。許多實際混沌系統的參數無法以外部調整或是其參數為時變，尤其在參數無法確定的情況下無法給予適當的參數值，必須以適應性方式調整其參數，讓系統基於參考模型自我的調整控制系統參數，相關參數必須以高速計算方式取得，在實務上增加其實現的困難度。

混沌系統本質上都具有所謂的奇異吸子(Strange Attractor)，而奇異吸子中理論上蘊含無限多組的不穩定週期解，而混沌控制主要特徵之一就是可利用極微小的控制力就能將內藏於奇異吸子中某些特定的不穩定週期解使其穩定[30-34]。此外，還有許多文獻探討的主題不是將混沌現象壓抑或使其消失，而是將兩個同型（亦可為非同型）的混沌系統，使其響應同步[30,33,34]。研究混沌理論的人都知道混沌系統具有所謂的「蝴蝶效應」，意思是混沌系統對初值條件非常敏感。所以要使兩個混沌系統達到同步響應，基本上亦離不開控制等相關理論與技巧。而由以上混沌同步等相關概念，又延伸發展出所謂的混沌保密通訊。雖然此類技術大多仍處於研究室階段，但因為其具有運算速度快且保密性高等潛力，故亦吸引所多學者相繼投入研究。

(5) 適應性控制 (Adaptive Control)

適應性控制主要用於解決系統參數未知情況下，動力系統之狀態或輸出追跡的問題。傳統上適應性控制主要針對線性系統，相較於其他控制技術，適應性控制可在參數未知情況下達到漸進穩定的效果。在有外界干擾或未知系統函數時，系統狀態誤差或參數預測誤差向量皆有可能發散，換言之適應性控制對於非結構不確定性並不具有強健性[35]。為使閉迴路系統狀態達到均勻最終穩定(Uniformly Ultimately Bounded)的目的，常需結合強健控制或滑模控制，合稱為強健適應性控制(Robust Adaptive Control)。此外，為解決參數飄移(Parameter Drift)的問題，所謂的σ修正、死區、參數投影等更新律已廣泛應用於一般適應性控制設計[36]。

在參考軌跡為週期性時，所謂的適應性反覆學習控制(Iterative Adaptive Learning Control)有較簡易之設計及較佳之追跡特性[37]。而考量實際應用時，若感測器或致動器發生故障時的緊急處置措施，以確保系統安全性及控制目的的達成，為容錯適應性控制(Fault Tolerant Adaptive Control)的中心議題[38]。對照於此，所謂之函數近似器(Function Approximator)被引入來解決非線性參數甚至未知函數為任何連續函數的一般性系統，主要的函數近似器有：模糊控制器、類神經網路等所謂的智慧型控制工具。此類控制器統稱為智慧型適應性控制，由於其無須依賴系統數學模式及宇稱近似特性(Universal Approximator)，近年來已廣泛應用於機器人系統、各類伺服馬達運動控制、大眾運輸系統、飛行載具、化工或半導體廠程序控制等，可說是適應性控制目前最熱門的主題[39-40]。

由於再生能源之太陽能電池發電系統的家庭化建置，以及應用鋰電池與燃料電池（二次電池）建置大電力系統及移動式電源系統之逐漸發展，對於高效率利用電池電能已成為重要研究課題。再者，對於電池電能之高效率利用技術發展，應用適應性控制技術於太陽能電池之最大功率追蹤控制[41]、鋰電池的電量監測與輸出電能控制[42] 與輸出電能效率控制[43]，也已成為適應性控制技術重要研究發展之應用設計。

(6) 非線性系統控制 (Nonlinear System Control)

對系統的控制而言，最基本要考量的問題即是對於系統穩定性的分析。非線性系統的穩定性分析相較於線性系統是一個複雜多變的情況，視系統的狀態，可能出現局部穩定(Locally Stable)、分岔(Bifurcation)以及極限循環軌跡(Limit Cycle)等情況[44]，因此在分析方法上即有許多多元化的技術。如前次學門對於非線性系統規劃的項目包含了：1.李阿普諾(Lyapunov)函數的相關穩定性分析；2.混合系統；3.非拘束系統控制; 4.估測函數; 5.容錯系統; 6.分叉理論等六大項目，在近年來仍是主要的研究課題。李阿普諾的相關穩定理論一直以來都是非線性系統分析的主要工具，然而李阿普諾的理論雖然能利用李阿普諾函數提供穩定度的驗證，但是卻缺乏了求得該函數的系統性解法。在許多的情況下，尋求一個可用的李阿普諾函數反而是最困難的部分。傳統上多是依靠經驗法則或是LMI 的方式[45]求取二次李阿普諾函數，最近幾年由於新的平方和(Sum-of-Squares, SOS)多項式相關的工具出現，使得求取多項式型式的全域李阿普諾函數為可行的方法，亦開啟了許多新的應用層面，包含了區域性穩定系統的分析以及可針對系統有隨機變化參數之非線性系統控制器設計[46]等。混合系統考量到了數位以及類比系統之間的交互關系，因此其系統較以往單純數位或是類比系統的分析要更為複雜，亦是非線性系統中一項發展中的研究課題，近年來相關的理論與研究包含了李阿普諾函數於混合系統之應用[47,48]、混合最小值原理(Hybrid Minimum Principle)、具時間延遲的混合系統穩定度分析[49]、以及混合最佳化控制器設計等[50]。在分叉理論部分，該理論可用於分析現實生活中的系統均有固定的操作範圍，亦可用於分析該如何設計控制器或是系統以避免系統進入不穩定的發散範圍之中，此部分的熱門應用包含了電力系統的穩定分析[51]、馬達驅動設計、車輛動態分析、直流變壓器(DC-DC Converter) [52]等。

(7) 預測控制 (Predictive Control)

預測控制的概念大約可追溯至上個世紀七十年代後期。當時，Richalet 等人最早提出建立在脈衝響應基礎上的模型預測啟發式控制(Model Predictive Heuristic Control, MPHC)，此方法亦常被稱為模型演算法控制(Model Algorithm Control, MAC)。針對不易建立精確模型或較為複雜，例如包括非線性、不確定性或時間遲滯等系統，預測控制除具有實際之可行性外，有時甚至可達到其他控制器無法達成的效果。故此種控制概念萌發沒多久便引起工業界與學術界高度的興趣與重視。經過多年的研究與發展，其相關控制器或演算法已被成功應用在如石化工業、冶金、電力與機械等領域。

現階段已發展出的演算法有：模型演算法控制(MAC)、內模型控制(IMC)、動態矩陣控制(DMC)、廣義預測控制(GPC)、廣義預測極點(GPP)控制、推理控制(IC)、預測函數控制(PFC)等[53-58]。其中，早期所發展出的方法或實際應用的案例多為響應較慢的系統。後來由於電腦與感測器等相關科技的進步，此類演算法亦逐漸被應用在頻寬較高或響應較快的系統上，例如電力電子系統及快速追蹤的伺服系統上[56-58]。國內目前於相關領域的研究人員與單位雖橫跨土木、化工、機械、電機、車輛等系所，但多屬個人單獨研究型，較缺乏跨領域有效之統合與長期性之研究。

(8) 切換控制 (Switching Control)

切換控制近年來成為控制領域一個聚焦的分枝。主要概念來自在控制過程中依需要利用切換數個不同控制器的方式，來達到穩定系統及改善暫態的目的[59-60]。最著名的例子是鏈結系統的穩定性工作，已由 R. W. Brockett 證明無法以連續型狀態迴授方式達成；此外，V. I. Utkin 也以數個非穩定控制器的切換方式達到整體閉迴路系統的穩定說明滑模控制的優點。切換系統之切換機制通常為邏輯式切換，依據之切換法則或依據時間(Time-Dependent)或決定於狀態(State-Dependent)，近年之研究可概分為系統特性(穩定性、可控性、可觀測性等)分析及控制設計兩大議題探討。

(a) 系統特性分析：目前文獻上大多仍以線性切換系統為主，以時間相依之切換法則而言，已證明在任意切換的情況下,所有子系統存在共同的李亞普諾夫函數(Common Lyapunov Function)是切換系統一致漸近穩定(Uniform Asymptotic Stable)的充份且必要條件。而若相鄰的切換點間其時間間隔夠長(Dwell-Time 夠大)，則這個切換系統必為漸近穩定[59]。穩定的 Convex Combination，則必可以找到一的穩定的切換法則。對不存在穩定的 Convex Combination 的二階切換系統，亦有方法可找到穩定的切換法則[60]。非線性系統之穩定性分析在文獻[61]中有較詳細的探討。

(b) 控制設計：在非線性系統之邏輯切換控制方面，有利用共通李亞諾夫函數、李代數法(Lie Algebra)、線性矩陣不等式、滑模控制、變分法(Variational Method)等，來解決有限及無限維度之非線性切換法則設計（[61]及所列參考論文）。雖然邏輯切換控制有改善系統暫態及較連續控制更廣之可控性，然其理論分析相對困難許多，且大多侷限於線性系統。此外，狀態相依之切換設計在切換面常會引起如：切振(Chattering)等不良效應，因此近年來有一些文獻即提出連續切換之觀念及設計[62]。將切換設計應用於智慧型控制問題上，為一新興的概念與領域，典型如模糊系統中的 T-S Model 的切換[63]、類神經網路近似下數種線性、非線性控制器切換等[64]。由於智慧型控制的應用相當廣，結合切換控制設計可預期未來將成為一熱門的主流議題。

(9) 源生多目標人工智慧計算 (Bio-Inspired Multi-Objective Artificial Intelligent Computation)

隨著研究之對象（系統）已由機電系統、化工系統、生化系統，延伸至探討基因與蛋白質交互作用之生物系統，系統之複雜度與維度及所受的干擾都大行提高，再者，跨領域系統（如軍用/醫學/服務用途等各種形式機器人與汽車）的需求與日俱增，單憑傳統的適應與強韌控制技術（適應控制、強韌控制、滑動控制…）很難因應系統的需求，而現存的基因演算法、粒子群演算法、微分演算法、類神經模糊演算法、基因規劃法、演化規劃法…等計算智慧技術亦不足以獲得滿意結果，如何進行智慧技術的有機整合以達成互補效應乃為當務之急。另外，由於各領域之系統特性不一，其發展的情況與研究的深度與目的亦差異頗大，如機電系統的控制較成熟，而生物系統甚至連系統本身都仍在萌芽階段，故在非線性系統控制之基礎控制理論研究上，宜針對不同領域系統作不同的階段處理，且以多目標演化技術、文化計算技術、先進的人工智慧技術（類神經模糊演算法、基因演算法、微分演算法、蟻群演算法、粒子群演算法…）為基礎，再融入新的源生(Bio-Inspired)觀念來增強系統的強韌性，以因應動態暨多變的複雜環境，達成多目標需求。

(a) 多目標演化演算法：

多目標演化演算法適合於找出一組近最佳化、均勻分佈且延展良好的解。Coello 把多目標演化演算法分成非優生與優生求解：向量計算基因演算法、權重基因演算法、隨機權重基因演算法、多目標基因演算法、非支配性排序基因演算法與縫隙 Pareto 基因演算法皆屬於前者；後者通常使用額外的資料檔來儲存非支配性解，相關研究有優生非支配性排序基因演算法、距離為基 Pareto 基因演算法、優勢 Pareto 演化演算法、基於排名密度基因演算法、多目標粒子群最佳解法與 Pareto 邊際微分演算法。混合多目標演化演算法與局部搜尋策略可提供全域搜尋、強韌性並增進效能。Jaszkiewicz 提出 Pareto 文化演算法，Knowles 提出文化式 Paret 資料檔演化策略，Igel 結合演化策略的策略性參數調節與基於非支配性排序的多目標選擇，Wang 提出混合式的限制最佳化演化演算法，Schutze 將啟發式法與多目標連續法配對[65]，Caponio 提出交叉式支配性多目標文化演算法[66]，Soliman 提出多目標微分演化的共演化文化計算版本[67]。

(b) 混合式人工智慧：

自從 2005 年開始，微分演算法及其變形(SaDE, JDE, ODE, DEGL, JADE, …)在所有的 CEC (International Conference on Evolutionary Computation) 競賽中，對於處理大型的高維度系統在含限制或無限制條件下的多目標最佳化求解問題上均取得優勢，即令面對的是動態且不確定的環境。Das 於 2011 年整理出微分演算法在工程最佳化問題的應用[68]，並指出此法在開採與開拓性上仍嫌不足。粒子群演算法源自觀察鳥類、魚類等群聚動物的社會行為與合作行為[69]。混合粒子群演算法與其他演算法可使之足以因應更複雜環境，如求解動態系統之多目標具限制條件的最佳化問題。

參考文獻：

[1] L. I. Allerhand and U. Shaked, "Robust Stability and Stabilization of Linear Switched Systems With Dwell Time," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 56, no. 2, pp. 381- 386, 2011.

[2] J. Chen, A. Behal, and D. M. Dawson, "Robust Feedback Control for a Class of Uncertain MIMO Nonlinear Systems," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 53, no. 2, pp. 591-596, 2008.

[3] G. Pin, D.M. Raimondo, L. Magni, and T. Parisini, "Robust Model Predictive Control of Nonlinear Systems With Bounded and State-Dependent Uncertainties," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 7, pp. 1681- 1687, 2009.

[4] M. Rubagotti, D. M. Raimondo, A. Ferrara, and L. Magni, "Robust Model Predictive Control With Integral Sliding Mode in Continuous-Time Sampled-Data Nonlinear Systems," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 56, no. 3, pp. 556- 570, 2011.

[5] M. B. G. Cloosterman, N. van de Wouw, W. P. M. H. Heemels, and H. Nijmeijer, "Stability of Networked Control Systems With Uncertain Time-Varying Delays," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 7, pp. 1575- 1580, 2009.

[6] J. Sun and S. M. Djouadi, "Robust Stabilization over Communication Channels in the Presence of Unstructured Uncertainty," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 4, pp. 830-834, 2009.

[7] U. Munz, A. Papachristodoulou, and F. Allgöwer, "Robust Consensus Controller Design for Nonlinear Relative Degree Two Multi-Agent Systems With Communication Constraints," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 56, no. 1, pp. 145- 151, 2011.

[8] A. Papachristodoulou and S. Prajna, "Robust Stability Analysis of Nonlinear Hybrid Systems," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 5, pp. 1035- 1041, 2009.

[9] J. L. Wu, "Simultaneous Quadratic Stabilization for Discrete-Time Nonlinear Systems," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 55, no. 6 pp. 1443-1448, 2010.

[10] K. Zheng, T. Basar, and J. Bentsman, "H^{∞} Bumpless Transfer Under Controller Uncertainty," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 7, pp. 1718- 1723, 2009.

[11] W. Zhang and M. S. Branicky. "Stability of Networked Control Systems" *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 21, no. 1. pp. 84-99, 2001.

[12] Special Issue on Networks and Control, *IEEE Control Systems Magazine*, vol. 21, no. 1, 2001.

[13] Special Issues on Technology of Networked Control Systems, *Proceedings of the IEEE*, vol. 95, no. 1, 2007.

[14] D. Nesic and D. Liberzon. "A Unified Framework for Design and Analysis of Networked and Quantized Control Systems" *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 4, pp. 732-747, 2009.

[15] A. Kruszewski, W.-J. Jiang, E. Fridman, J.-P. Richard, and A. Toguyeni. "A Switched System Approach to Exponential Stabilization Through Communication Network" *IEEE Trans. Control Systems Technology*, no. 99, pp 1-14, 2011.

[16] N. Elia and J. N. Eisenbeis. "Limitations of Linear Control over Packet Drop Networks" *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 56, no. 4. pp. 826-841, 2011.

[17] Y. Sharon and D. Liberzon. "Input to State Stabilizing Controller for Systems with Coarse Quantization", *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 57, no. 4, pp. 830-844, 2012.

[18] A. Seierstad, *Stochastic Control in Discrete and Continuous Time*, Springer Verlag, 2009.

[19] B. Shen, Z. Wang, J. Liang and Y. Liu, *Recent Advances on Filtering and Control for Nonlinear Stochastic Complex Systems with Incomplete Information: A Survey*, Hindawi Publishing

Corporation, 2011.

[20] J. Lygeros and M. Prandini, "Stochastic Hybrid Systems", *Chapter of the HYCON Handbook of Hybrid Systems Control: Theory, Tools, Applications, Cambridge University Press, Cambridge University Press*, pp. 249-278, 2009.

[21] C. D. Charalambous and A. Farhadi, "LQG Optimality and Separation Principle for General Discrete Time Partially Observed Stochastic Systems Over Finite Capacity Communication Channels," *Automatica*, vol. 44, no. 12, pp. 3181–3188, 2008.

[22] I. V. Semushin, "Adaptation in Stochastic Dynamic Systems-Survey and New Results I", *International Journal of Communication, Network and System Sciences*, vol. 4, no. 1, pp. 17-23, 2011.

[23] D. E. Quevedo, J. Ostergaard and D. Nesic, "Packetized Predictive Control of Stochastic Systems Over Bit-Rate Limited Channels With Packet Loss", *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 56, no. 12, pp. 2854-2868.

[24] A. R. Liu and R. R. Bitmead, "Stochastic Observability in Network State Estimation and Control", *Automatica*, vol. 47, no. 1, pp. 65-78, 2011.

[25] A. O'Neill and D. V. Schaffer, "The Biology and Engineering of Stem-cell Control", *Biotechnology and Applied Biochemistry*, vol. 40, no. 1, pp. 5-16, 2004.

[26] M. Harb and B. A. Harb, "Controlling Chaos in Josephson-junction Using Nonlinear Backstepping Controller," *IEEE Trans. Applied Superconductivity*, vol. 16, no. 4, pp. 1988-1998, 2006.

[27] W. Kinsner, "Characterizing Chaos Through Lyapunov Metrics," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, vol. 36, no. 2, pp. 141-151, 2006.

[28] M. Chen, "Chaos Synchronization in Complex Networks," *IEEE Trans. Circuits and Systems-I: Regular Papers*, vol. 55, no. 5, pp. 1335-1346, 2008.

[29] C. F. Chuang, W. J. Wang, Y. J. Sun, and Y. J. Chen, "Convergence Time Guarantee for Uncertain Chaotic Systems Synchronization," *International Journal of Systems Science*, vol. 47, no. 6, pp. 1-9, 2012.

[30] H. Zhang, D. Liu and Z. Wang, *Controlling Chaos: Suppression, Synchronization and Chaotification*, Springer, 2009.

[31] Y. Bolotin, A. Tur and V. Yanovsky, *Chaos: Concepts, Control and Constructive Use*, Springer, 2009.

[32] S. Miguel, *Recent Progress in Controlling Chaos*, World Scientific Publishing Company, 2010.

[33] K. T. Chau and Z. Wang, *Chaos in Electric Drive Systems: Analysis, Control and Application*, Wiley, 2011.

[34] S. Banerjee, M. Mitra and L. Rondoni, *Applications of Chaos and Nonlinear Dynamics in Engineering - Vol. 1*, Springer, 2011.

[35] B. D. O. Anderson and A. Dehghani, "Challenges of Adaptive Control-past, Permanent and Future," *Annual Review in Control*, vol. 32, pp. 123-135, 2008.

[36] C. Wang and Y. Lin, "Multivariable Adaptive Backstepping Control: A Norm Estimation Approach," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 57, no. 4, pp. 989-995, 2012.

[37] R. Marino and P. Tomei, "An Adaptive Learning Regulator for Uncertain Minimum Phase

Systems with Undermodeled Unknown Exosystems," *Automatica*, vol. 47, pp. 737-747, 2011.

[38] W. Wang and C. Wen, "Adaptive Actuator Failure Compensation Control of Uncertain Nonlinear Systems with Guaranteed Transient Performance," *Automatica*, vol. 46, pp. 2082-2091, 2010.

[39] M. Chen, S. S. Ge and B. V. Ee How, "Robust Adaptive Neural Network Control for a Class of Uncertain of MIMO Nonlinear Systems with Input Nonlinearities," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 21, no. 5, pp. 796-812, 2010.

[40] S. C. Tong, Y. M. Li, G. Feng and T. S. Li, "Observer-based Adaptive Fuzzy Backstepping Dynamic Surface Control for a Class of MIMO Nonlinear Systems," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics-PART B: Cybernetics*, vol. 41, no. 4, pp. 1124-1135, 2011.

[41] A. K. Abdelsalam, A. M. Massound, S. Ahmed and P. N. Enjecti, "High-performance Adaptive Perturb and Observe MPPT Technique for Photovoltaic-based Microgrids," *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 26, no. 4, pp. 1010-1021, 2011.

[42] H. He, R. Xiong, X. Zhang, F. Sun and J.X. Fan, "State-of-charge Estimation of Lithium-ion Battery Using an Adaptive Extended Kalman Filter Based on an Improved Thevenin Model," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 60, no. 4, pp.1461-1469, 2011.

[43] N. Bizon, "On Tracking Robustness in Adaptive Extremum Seeking Control of the Fuel Cell Power Plants," *Appl. Energy*, vol. 87, no. 10, pp. 3115-3130, 2010.

[44] H. K. Khalil, *Nonlinear Systems*. 3rd ed., Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, 2002.

[45] Y. He, et al., "Parameter-dependent Lyapunov Functional for Stability of Time-delay Systems with Polytopic-type Uncertainties", *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 45, no. 5, pp. 828-832, 2004.

[46] A. Ataei and Q. Wang, "Non-linear Control of an Uncertain Hypersonic Aircraft Model Using Robust Sum-of-squares Method", *IET Control Theory and Applications*, vol. 6, no. 2, pp. 203-215, 2012.

[47] C. H. Cai, A. R. Teel and R. Goebel, "Smooth Lyapunov Functions for Hybrid Systems - Part II: (Pre)asymptotically Stable Compact Sets", *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 53, no. 3, pp. 734-748, 2008.

[48] C. H. Cai, A. R. Teel and R. Goebel, "Smooth Lyapunov Functions for Hybrid Systems - Part I: Existence is Equivalent to Robustness", *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 52, no. 7, pp. 1264-1277, 2007.

[49] X. Y. Liu and J. H. Shen, "Stability Theory of Hybrid Dynamical Systems with Time Delay", *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 51, no. 4, pp. 620-625, 2006.

[50] M. S. Shaikh and P. E. Caines, "On the Hybrid Optimal Control Problem: Theory and Algorithms", *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 6, pp. 1428-1428, 2009.

[51] R. J. Avalos, et al., "Equivalency of Continuation and Optimization Methods to Determine Saddle-Node and Limit-Induced Bifurcations in Power Systems", *IEEE Trans. Circuits and Systems I-Regular Papers*, vol. 56, no. 1, pp. 210-223, 2009.

[52] A. Kavitha and G. Uma, "Experimental Verification of Hopf Bifurcation in DC-DC Luo Converter", *IEEE Trans. Power Electronics*, vol. 23, no. 6, pp. 2878-2883, 2008.

[53] R. Haber, R. Bars and U. Schmitz, *Predictive Control in Process Engineering*, Wiley-VCH, 2011.

[54] L. Grüne and J. Pannek, *Nonlinear Model Predictive Control: Theory and Algorithms*, Springer, 2011.

[55] P. D. Christofides, J. Liu and D. M. de la Peña, *Networked and Distributed Predictive Control: Methods and Nonlinear Process Network Applications*, Springer, 2011.

[56] J. Rodriguez and P. Cortes, *Predictive Control of Power Converters and Electrical Drives*, Wiley, 2012.

[57] S. Thomsen, N. Hoffmann and F. W. Fuchs, "PI Control, PI-Based State Space Control, and Model-Based Predictive Control for Drive Systems with Elastically Coupled Loads - A Comparative Study," *IEEE Trans. Industrial Electronics*, vol. 58, no. 8, pp. 3647-3657, 2011.

[58] B. C. Torrico, L. Roca, J. E. Normey-Rico, J. L. Guzman and L. Yebra, "Robust Nonlinear Predictive Control Applied to a Solar Collector Field in a Solar Desalination Plant," *IEEE Trans. Control Systems Technology*, vol. 18, no. 6, pp. 1430-1439, 2010.

[59] H. Lin and P. I. Antsaklis, "Switching Stabilizability for Continuous-time Uncertain Switched Linear Systems," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 52, no. 4, pp. 633-646, 2007.

[60] H. Lin and P. I. Antsaklis, "Stability and Stabilizability of Switched Linear Systems," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 54, no. 2, pp. 308-322, 2009.

[61] T. C. Lee and Z. P. Jiang, "Uniform Asymptotic Stability of Nonlinear Switched Systems with an Application to Mobile Robots," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 53, no. 5, pp. 1235-1252, 2008.

[62] M. Kuipers and P. Ioannou, "Multiple Model Adaptive Control with Mixing," *IEEE Trans. Automatic Control*, vol. 55, no. 8, pp. 1822-1836, 2010.

[63] G. H. Yang and J. Dong, "Switching Fuzzy Dynamic Output Feedback H^{∞} Control for Nonlinear Systems," *IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern.--Part. B: Cybernetics,* vol. 40, no. 2, pp. 505-516, 2010.

[64] M. Ouzahra, "A Nonlinear Control Method Based on ANFIS and Multiple Models for a class of SISO Nonlinear Systems and Its Applications," *IEEE Trans. Neural Networks*, vol. 22, no. 11, pp.1783-1795, 2011.

[65] O. Schutze, C. A. Coello Coello, S. Mostaghim, E. G. Talbi and M. Dellnitz, "Hybridizing Evolutionary Strategies with Continuation Methods for Solving Multiobjective Problems," *Eng. Optimization,* vol. 40, no. 5, pp. 383-402, 2008.

[66] A. Caponio and F. Neri, "Integrating Cross-dominance Adaption in Multiobjective Memetic Algorithms," *Multiobjective Memetic Algorithms,* vol. 171, pp. 325-351, 2009.

[67] O. Soliman, L. T. Bui and H. Abbass, "A Memetic Coevolutionary Multiobjective Differential Evolution Algorithm," *Multiobjective Memetic Algorithms,* vol. 171, pp. 369-388, 2009.

[68] S. Das and P. N. Sugantha, "Differential Evolution: A Survey of the State-of-the-art," *IEEE Trans. Evolutionary Computation,* vol. 15, no. 1, pp. 4-31, 2011.

[69] Y. D. Yalle, G. K. Venayagamoorthy, S. Mohagheghi, J. C. Hernandez and R. G. Harley, "Particle Swarm Optimization: Basic Concepts, Variants and Applications in Power Systems," *IEEE Trans. Evolutionary Computation,* vol. 12, no. 2, pp. 171-195, 2008.

2. 研究方向及具體建議

針對上述幾個基礎理論的背景說明,以下提出幾個可能的相關研究方向作為這些基礎理論的發展參考：

(1) 強健控制 (Robust Control)

(a) 切換控制系統的強健控制

切換控制系統仍是目前控制理論領域研究重點之一，但考慮強健性的相關研究較少。不管是任意切換(Arbitrary Switching)、時間相依切換(Time-Dependent Switching)、狀態相依切換(State-Dependent Switching)之切換控制系統，若能考慮參數的不確定性，甚或切換法則的不確定性，仍可以得到新的結果。特別是切換控制系統的研究多局限在線性子系統的情況，非線性切換控制系統的研究目前尚少，若能考慮強健性，將可以有重要貢獻。

(b) 網路控制系統的強健控制

網路控制系統雖然吸引了國際上眾多優秀控制學者競相投入研究,但截至目前所發表的成果仍較偏向於不確定時間延遲、封包遺失、有限資料傳輸率、多封包傳輸、低網路使用率控制器設計等相關問題，考慮強健性的研究相對並不多。在可能的參數不確定性或未被模式化的動態影響下，如何分析網路控制系統的性能與設計相關控制器仍是個十分重要的研究主題。同樣的、網路控制系統的研究多侷限在線性的情況，非線性網路制系統的研究目前較少，若能結合適當的強健性考量，十分值得探討。

(c) 同時強健穩定問題

同時穩定問題是強健控制領域的一重要分支，但國際上從事相關研究的人並不多。目前線性系統及非線性系統的同時穩定與同時 H^{∞}控制均僅有一些成果呈現，且並未有人考慮參數的不確定性，相關同時強健穩定與同時強健 H^{∞}控制問題（特別是非線性系統）非常值得研究。

除以上幾個方向外，強健非脆弱控制(Robust Non-Fragile Control)、強健混沌同步控制(Robust Chaotic Synchronization Control)、強健動態濾波控制(Robust Dynamic Filtering Control)、強健被動性控制(Robust Passive Control)等，均值得我們投注心力研究。

(2) 網路控制系統 (Networked Control Systems)

(a) 時變延遲的強韌性

目前關於時變延遲的強韌性的研究，多半假設時間延遲參數為一不確定之時間函數，且其大小以及/或是時變率有上限。根據這樣的假設，多數文獻的作者以 Lyapunov 方法，根據各種不同的

Lyapunov 函數推導系統強韌穩定的法則。為了減低穩定法則的保守性，一般會在 Lyapunov 函數引入各種自由變數；然而，引入這些自由變數的代價是大大提升了計算複雜度。此外，這些自由變數也讓 Lyapunov 函數越變越複雜，易使人失去物理直覺。未來這方面的研究，建議可朝加強時間延遲參數的模型以及以不同於 Lyapunov 方法的方式，如操作子理論的方法，來探討系統的強韌穩定性。在加強時間延遲參數的模型這一方面，建議可引入隨機模型或是與系統狀態相依的假設。這樣的假設將有助於讓延遲參數之模型更貼近於現實。

(b) 封包遺失與資料數位化對系統的影響

在封包遺失對系統的影響這方面，目前文獻中並未有廣泛深入的研究。從少數查得的文獻看來，目前這方面的研究以線性系統與高斯隨機封包遺失模型為主，探討系統可穩定的限制。在資料數位化對系統的影響這方面的研究，則是將網狀控制系統視為一具有特定非線性操作子之混合系統，再以 Lyapunov 方法發展穩定性判別法則。其結果多是基於某種特殊型式 Lyapunov 函數，很可能具有相當的保守性。此外，文獻中少有同時考慮封包遺失與資料數位化的研究。未來這方面的研究，建議一方面可將兩者同時納入系統模型內，以增加系統模型的真實性；另一方面則是找尋更有力的 Lyapunov 函數，降低穩定性判別的保守性。

(c) 多代理人系統與互助型合作控制

關於這方面的研究，許多學者假設系統內所有子系統之動態皆為相同，也就是做所謂的「同質系統」 (Homogeneous System)的假設。此外，多數研究假設訊息在各個子系統間交換可瞬間發生，不計入訊息傳遞延遲。這樣的假設有助於使用特定的數學工具來得到漂亮的穩定性判別法則，但卻有流於不切實際，與真實系統不切合的毛病。未來這方面的研究，如要取得能夠廣泛應用到真實系統上的實用理論，必需打破同質性的假設，並且適當地在系統模型內引入時間延遲、封包遺失、數位化等等不確定性。

(3) 隨機系統控制 (Stochastic Systems Control)

（a） 具乘積式雜訊之隨機系統控制

雜訊與系統狀態之關係有加法性及乘法性兩種，過去在探討隨機系統的控制方法中，一般都是探討加法性雜訊隨機系統的控制問題，對於乘法性的雜訊處理較為稀少，然而，系統變化多元，對於乘法性雜訊的研究，亦是值得開發與研究，因此，探討具乘積式雜訊之隨機系統的控制器設計以及觀測器設計等問題，將可做為日後研究隨機系統控制的發展方向。

（b） 模糊隨機系統控制

將模糊模型與模糊控制概念應用於隨機系統的控制已行之有年，近年來較成形且具體的發展是應用 Takagi-Sugeno 模糊模型將隨機系統建模，並結合隨機控制的理論，對隨機 Takagi-Sugeno 模糊模型進行穩定性分析及控制器的設計。由於 Takagi-Sugeno 模糊模型對於處理非線性系統的良好

性能，我們可以利用 Takagi-Sugeno 模糊模型做為橋樑，研究發展非線性隨機系統的控制理論，此舉將可解決傳統非線性隨機系統控制方法上複雜求解的問題，因此，模糊隨機系統控制的議題仍是一個值得關注、值得開發的方向。

（c） 資訊隨機系統及生物隨機系統之控制

資訊系統及生物系統是最近極為受重視的環境,許多資訊技術專家及生物技術專家紛紛投入心血從事相關研究，近年來，由於跨領域技術合作的概念盛行，許多控制領域的學者專家亦投入此二領域的研究，然而，因為資訊系統及生物系統的隨機特性具有強烈的變化特性，因此，在其控制問題的研究上仍然存在相當多待解決的問題， 例如系統建模的準確度、時間延遲特性的考量，都影響著這些隨機系統的控制成效，再者，單一控制方法可能無法有效控制複雜的資訊隨機系統及生物隨機系統，因此，發展混合式的控制法則可能是對付這些複雜隨機系統的最佳途徑。如何有效結合跨領域專家學者的智慧，針對資訊隨機系統及生物隨機系統深入了解、逐步研究，將是控制界學者們可以共襄盛舉、貢獻所長之處。

(4) 混沌控制 (Chaos Control)

(a) 對抗雜訊之混沌控制

大多數混沌系統的控制方案是會利用到系統輸出或狀態回饋信號,而許多控制法則對量測雜訊的敏感度都很高。因此，為了提升被控制的系統的性能，如何把量測雜訊與混沌訊號兩者盡可能分離的濾波器或濾波系統便顯得非常重要。不過，由於混沌訊號和量測雜訊兩者通常都是具有連續且寬帶的頻譜特性。故如何有效濾除雜訊同時又能避免混沌訊號失真的濾波器亦是一值得研究的方向。

(b) 模糊混沌系統控制

模糊控制理論與 LMI 控制理論研究技術已發展相當成熟，可利用 T-S 模型建立混沌系統，並結合 LMI 控制器設計研究。若將混沌理論之穩定度分析與控制器的設計研究結合，相信對混沌系統的研究發展將會有所提升。於實務上，將可應用於馬達、衛星姿態、船舶姿態及電力轉換系統等等之控制。

(c) 非線性混沌系統穩定性分析及適應性控制器設計

可以經由 Hamiltonian Matrix 結合 Lyapunov 定理來推導出相關的控制法則之設計,或以時間延遲系統(Time-Delay System)強健穩定準則，應用於混沌理論之研究將會有新的突破。另外，由於混沌系統具有高度非線性，因此，亦可研究多輸入控制系統之狀態分析與設計。

(5) 適應性控制 (Adaptive Control)

(a) 適應性反覆學習控制

此方面主要在解決當參考軌跡為周期性時,如何結合適當學習機制以改善追跡精確度與暫態響應的問題。主要應用於：工業機械手臂、機械工業母機、工業馬達等的運動控制。未來在機器人受限運動之動態摩擦周期性補償、可線性化系統周期性點對點(Point-to-Point)軌跡之適應性控制、非線性參數化系統之週期性運動問題等，由於其兼具潛在實用性及先期理論探討之必要性，值得列為重點項目投入。

(b) 容錯適應性控制

當系統發生致動器或感測器故障時，如何以控制的方式保持系統安全性並同時達成追跡目的，為容錯設計的中心議題。未來在具不確定性非線性系統、受限機械系統、網路監控系統等的容錯適應性控制設計，是個不錯的重點。同時，如何結合滑模控制及最佳化控制，以改善系統強健性及暫態響應，也是值得深入探討的議題。相同的，結合智慧型控制以提高應用的範圍及簡化設計程序，近年來亦成為容錯設計的熱門課題，相關衍生的基本控制理論研究，相當值得投入。

(c) 智慧型適應性控制

智慧型控制範圍極廣,基礎理論組在此方面可著重於結合非線性控制理論於一般型非線性系統之議題上，例如：控制系數函數完全未知下，可線性化系統之輸出控制及控制奇異點避免問題；機器人受限運動在接觸面完全未知下，低速動態摩擦的智慧型補償設計；非線性系統輸出控制及相關智慧型觀測器設計問題；具時間延遲之多輸入多輸出嚴格回授系統控制問題等，皆是可以與應用研究整合合作的基礎研究項目。

(d) 太陽能電池系統之適應性控制

以系統之狀態平均模型、小訊號模型、以及回授線性化模型為基礎研究，並推演太陽能電池系統之動態方程式及動態建模，再利適應性控制技術於太陽能電池電能轉換及電量監控控制設計，可以探討高效率及高性能太陽能電池控制系統之適應性控制的相關研究與發展。

(6) 非線性系統控制 (Nonlinear System Control)

(a) 平方和多項式應用於非線性系統控制

平方和多項式的研究在非線性控制的領域之中是近十年來一個重要的分析工具,其發展結果藉由平方和多項式本身其值不小於 0 的特性,輔以可將平方和多項式表示成一個矩陣和向量乘積的二次型式，使得以往需利用 case by case 的方式求解的全域李阿普諾函數成為一個半正定規劃(Semi-Definite Programming, SDP)的求解問題。然而非線性系統本身可能是一個局部穩定的狀態，分析系統的可收斂區域在此情況下即成為一個重要的研究課題。相關的工具包含了利用局部李阿普諾函數的擴展，利用參數化的二次李阿普諾函數型式，使用雙線性參數化的方式求解，以及使用多項式可達區域(Reachable Set)分析等做法。李阿普諾函數對於非線性系統除了穩定度分析外，其微分也包含了對於系統收斂情況的描述，因此尚可用來成為系統收斂效率分析的工具，以至於用以進

行非線性系統控制器的設計。然而控制器的加入會使得系統軌跡發生變化，也接連會使得原本的李阿普諾函數變得不適用。此部分若是二次李阿普諾函數的話，可利用參數化的方式來增加系統變化的彈性，但若是為一般多項式的李阿普諾函數的話，則尚待有更新的研究結果出現。

(b) Takagi-Sugeno 模糊模型應用於非線性系統控制

Takagi-Sugeno (T-S) 模糊模型以及其應用在近幾年來是一個重要的研究課題，近五年來相關研究論文有數百篇之譜。T-S 模糊模型是由一個如果—則(If—Then)的概念來將一個非線性的系統轉化成為一組的線性系統，最後再以一個模糊混合的方式將此組線性系統混合成為 T-S 模糊模型。由於 SOS 多項式理論的出現，上述 T-S 模糊模型可改為混合多項式的系統，以達更佳的近似效果。由於許多非線性系統本身包含正弦餘弦等非多項式函數，利用 T-S 模糊模型可將原本非多項式系統組成一個多項式的模糊系統，而能進一步分析系統的穩定度，亦更使得 SOS 多項式理論的應用範圍更加的寬廣。

(7) 預測控制 (Predictive Control)

因國內之研究資源相較於國際仍屬較為有限，未來若能整合相關專長的研究學者組成跨領域的研究團體並提出相關之研究計畫，相信較能將有限的資源發揮最大的成效，且亦能提供相關學者更廣闊的視野與實務經驗。對於預測控制領域而言，仍有許多值得進一步研究的方向或主題，以下幾項可作為日後研究發展的參考。

(a) 將預測控制器結合近年來蓬勃發展的人工智慧演算法

(b) 加強預測控制系統穩定性的理論研究

(c) 進一步探討與分析預測控制系統強健性

(d) 預測控制器中相關控制器參數的系統化或最佳化的設計法則研究與探討

(e) 針對非線性、不確定性或時間遲滯等系統進行理論的分析與實際的驗證

(f) 針對大尺度、高階或分佈行系統研究相關可靠或系統化的預測控制演算法

(8) 切換控制 (Switching Control)

(a) 邏輯切換控制設計

此部分目前成果多局限於子系統是線性情況。對於非線性系統而言，將邏輯切換應用於適應性控制以改善系統暫態的研究為一值得切入的領域。此問題也有論文提出以連續切換的方式達到控制目的，兩者可做比較研究，並延伸到其他系統如：非線性參數化系統等。滑模控制可視為狀態相依之邏輯切換控制，以此為出發點，討論如何設計一般性切換控制法則以達成非線性系統的穩定性及強健性，是一具相當挑戰性與前瞻性的工作。

(b) 連續切換控制設計

此部分的研究國內已有初步的成果，其切入也相對容易。早期有論文提出以磁滯切換替代邏輯切換以改善控制輸入切振(Chattering)的問題，然磁滯切換在切換點不可微分性限制了他的用途。近年來有論文提出以平滑切換方式應用於多模式應性控制上，但仍限定於線性系統方面，如何推廣至一般性非線性系統為一重要議題。除此之外，將適應性控制與強健控制結合，搭配平滑切換，可兼具免切振及保有強健性之優點，而其可連續切換的優點，更可應用於嚴格回授系統、受限機械系統等。仍有許多議題如：控制奇異點避免問題、暫態改善問題、致動器飽和下之連續切換問題、多模適應性切換控制之強健性問題等，皆為值得投入之研究子題。

(c) 智慧型控制切換設計

以控制觀點而言，人工智慧優點在其強大的函數近似能力，結合傳統之適應性控制，可以在無需數學模式下達到控制目的。相較於強健控制，其具有節能及避免高增益負面效益，如尖峰效應(Peaking Phenomenon)、切振等。然而如同傳統適應性控制，在暫態響應及強健性方面，常不能令人滿意。因此，引入切換控制來改善上述缺點成了近年來一個熱門議題。智慧型控制在國內是人口最多、成果最豐碩的一支，基礎理論組中投入切換智慧型控制的研究，主要可聚焦於一般性系統的控制設計，如：嚴格回授系統具時間延遲或輸入系數函數未知的切換控制、受限機械系統的輸出控制等，相信數年內可展現具體成果，同時發揮垂直整合的明顯成效。

(9) 源生多目標人工智慧計算 (Bio-Inspired Multi-Objective Artificial Intelligent Computation)

生物系統未來最大的挑戰在於生物晶片資料處理過程中衍生的高度不確定性及系統本身所受的雜訊與環境干擾；目前，宜著重在逆向工程(Reverse Engineering)技術之提升，以一步一步地了解各基因/蛋白質間之交互作動(Excitory or Inhibitory Effect)，所以系統模型之確立，結構識別與參數識別，及，如何將超大系統先行局部分區處理，再加以整合聯結成一足以反應系統動態行為的非均相系統模型乃為當務之急。生化系統，由 BST 發展出的 S-型系統模型或準穩態假設下導出的 Michaelis-Menten 模型，應足以因應需求，而因其研究不在於了解個別反應之機制，而在於此生化代謝系統內諸核心反應與模組的整體效果，故推廣性較強的 S-型模型較討好。且因其維度較生物系統小得多（一般系統維度小於 10），所以結構與參數識別雖困難但卻較容易克服，然其多目標的需求卻提高，所以發展適合的多目標演化技術為其重點。化工系統，除涉及一般的有機/無機反應與熱傳、質傳、流力等輸送現象外，空氣或水相關的計劃與管理研究亦屬此範疇，其複雜度高，尤其是後者往往又涉及政治、社會或其他因素，很難用數學模型來描述系統，故而發展具備非模型目標、平行計算、及能將不確定性嵌入目標函數、限制函數與系統預測裡的演化多目標技術為其要點。機電系統，亦包含如電力系統之分配與協調等。近年來各式仿生與具備人類智慧暨特徵等機器人已及於陸/海/空用途，因其對即時控制的要求較高，強調技術具高效率，故發展充分整合基於族群的計算與局部搜索的文化計算技術為其要點，而各技術的參數選擇及停滯現象亦須克服。另外，系統

動態行為的分析、穩定度的要求及各模組之協調平台的建立亦應列為設計重點。

廣義而言，任何想研究的對象即是系統，而希望這對象達成某種目標即是對這系統作控制，基於此，不管控制或系統識別，都是在進行最佳化計算，所以在基礎控制理論上，宜從下列方向著手：

(a) 提出新的源生計算(Bio-Inspired Computation)，由觀察人類進步、文化演進、周遭生物體的特性來發展基於思想進化、文化提昇與知識遷移的演化技術，及模仿蟑螂、蚊子，…等具超強生存力與擴展性的群(Swarm)技術。

(b) 更改由天定的自然演化（微分演算法、基因演算法、基因規劃法，…）為強迫式之加強演化，以達成開採與開拓性兼具的效果。

(c) 再行提昇多目標演化技術，將具備全域學習能力的先進演化或群技術搭配各種局部探索的技術融入多目標演化演算法中，以求能在諸種具應用性衝突的目標函數間得出 Pareto 最佳解。

(d) 開發非模型目標智慧計算，此技術須能將主觀的喜愛與決策過程融入非模型目標中。

(e) 開發具主-僕式或多族群架構的演化技術以提升最佳化計算之效率、效能與可性度(Efficiency、Effective and Reliability)。

(f) 將不確定性引入目標函數、限制與系統模型裡，發展一套相對應的強韌性多目標演化技術。

子 題 二：模型

召 集 人：練光祐教授

規畫委員：練光祐教授、蔡坤諭教授、林澤教授

前言

對於一個控制系統由設計、模擬至最後之實作與測試驗證的階段，其受控系統之模型準確度往往是該控制系統整體性能的關鍵。系統模型可由系統動態方程式逐步推導，及黑盒式(Black-Box)系統識別兩種方法建立，其中控制器的設計又可分成 Model-Free 控制與 Model-Based 控制二類，前者常指透過大量計算或是學習法則所構成的智慧型控制器，以勤快的計算彌補對於受控系統的欠缺瞭解；後者則是根據受控系統的模型特性，推導出合適的控制器。對於受控系統能多一分瞭解，通常也就能推導出性能好而且構造簡潔的控制器，相對的就能獲得較佳的控制結果，因此模型建構

之良窳影響控制的表現，而建模、控制器設計、受控系統間，各過程又環環相扣，相互影響。

規劃內容

關於模型研究，很難採用列舉的方式逐一介紹，我們僅就模型研究的源頭–模型識別技術，以及嶄新的基因調控與蛋白質互動網路模型做規劃，以提供控制相關領域學者研究發展參考：

- 適合應用於前瞻或具關鍵性之工業零組件之非線性與/或時變系統模型識別技術
- 生物基因調控網路及蛋白質互動網路模型之建構

1. 研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

控制器設計可分成 Model-Free 控制與 Model-Based 控制二類，前者常指透過大量計算或是學習法則所構成的智慧型控制器，以勤快的計算彌補對於受控系統的欠缺瞭解；後者則是根據受控系統的模型特性，推導出合適的控制器。對於受控系統能多一分瞭解，通常也就能推導出性能好而且構造簡潔的控制器。

控制理論中，最普遍的模型是線性控制系統模型：

$$\dot{x}(t)=Ax(t)+Bu(t) \qquad (1)$$

而非線性控制系統的一般數學模型常寫為：

$$\dot{x}(t)=f(x)+g(x)u(t) \qquad (2)$$

大多數的控制理論即是圍繞上述模型(以及兩者的離散時間模型)發展。然而，並不是如上述模型的表示方式是最恰當的！如機器人學裡面碰到的 Lagrange 力學系統，一般會有如下的型式：

$$M(x)\ddot{x}+C(x,\dot{x})\dot{x}+G(x)=\tau \qquad (3)$$

此式當也可以轉換成非線性控制系統的一般模型，然而如此轉換將失去原模型的好特性，如慣性矩陣 M 是正定；矩陣 $\dot{M}-2C$ 的反對稱性質。這些好特性非常有助於控制器的設計及閉迴路系統的穩定性分析。從這裡也就可看出探討模型特性的重要性！模型特性的用途體現在穩定性分析的推導過程，最根本的就是 Lyapunov 函數的選擇。對於線性系統，它的 Lyapunov 函數很固定，而某些類的非線性系統，往往也可對應出特別的 Lyapunov 函數，其中像前述的力學系統模型、姿態控制系統模型、類神經網路模型、生態系統模型、時間延遲系統模型等，都有比較不一樣的 Lyapunov 函數。就以時變時間延遲系統為例，近來研究多著重於將穩定條件化成以線性矩陣不等式表示，它的 Lyapunov-Krasovskii Functional，從早年的 X^TPX 加上一項狀態對延遲時間的積分共兩項。經過

十多年來的努力，推陳出新的結果，目前看到的 Lyapunov-Krasovskii Functional 包含了三重積分在內的 13 大項，已經非常複雜。這個過程也顯示了時間延遲的這個模型特性，緊密影響了理論的進展。

關於模型研究，我們很難採用列舉的方式逐一介紹，底下就僅針對模型研究的源頭 – 模型識別技術，以及嶄新的基因調控與蛋白質互動網路模型，進行國內外研究現況及重要參考文獻的介紹。

(1) 適合應用於前瞻或具關鍵性工業之非線性與/或時變系統模型識別技術

對於一個控制系統由設計、模擬至最後之實作與測試驗證的階段，其受控系統之模型準確度往往是該控制系統整體性能的關鍵。系統模型一般可由系統動態方程式逐步推導，及黑盒式(Black-Box)系統識別兩種方法建立。然而即使是第一種方法，動態方程式內的參數一般也需要利用系統識別的技術與實際系統作校正。因此系統識別的理論與技術對於建立良好的系統模型是相當地重要。

系統識別的理論與技術經多年的發展，對於線性非時變系統而言已算相當成熟[1,2]，並已獲得廣泛的工業應用[3]。然而許多具重要工業運用的實際系統，其非線性與/或時變的特性相當顯著而不可被忽略。例如壓電驅動元件(Piezoelectric Actuators)具有遲滯(Hysteresis)的特性[4]，若將其忽略則利用該元件的系統的反應速度與精度將會受到相當程度的負面影響。非線性系統的系統識別理論與技術仍未達到完備的階段，尚有許多須要研究的課題[5]。

(2) 生物基因調控網路及蛋白質互動網路模型之建構

近年來，由於人類基因體計畫的成果，大量有關基因序列以及表現量的資料應運而生。也因此生物學家將電腦分析以及微機電領域的方法引入分析大規模的基因相關資料，形成系統生物學此嶄新的學科。在系統生物學中，不同領域、不同層次的方法以及資訊被整合起來，試圖建立整個複雜的生物系統模型，以期透過此模型幫助我們理解生物系統如何行使功能。

系統生物學開始於針對基因與蛋白質的研究，其中尤其以生物基因調控網路以及蛋白質互動網路模型之建構為最熱門的主題。基因調控網路是由細胞中的 DNA 片段組成。這些 DNA 片段彼此之間間接（透過 RNA 以及相對應所生成的蛋白質）的互相影響、調控，因此組成了複雜的基因調控網路。藉由此網路的調控，決定了哪些基因片段，在何時、以何種速率轉譯為 mRNA，以及產生相對應的蛋白質，進而影響生物系統中各項功能的行使。由於基因調控網路在相互調控影響的過程中，必然會產生 mRNA，因此在生物體行使某種功能時，如能量測到這些 mRNA 的表現量，將可藉由估測理論以及系統鑑定的技術，有效的估測出適當的模型，以完成的描述此基因調控網路。

拜半導體技術以及電化學技術的進步，研究人員研發出 DNA 微點陣技術(DNA Microarray)，可大量且全面性的量測 mRNA 的表現量。因此，如何應用這些大量的資訊建構基因調控網路，便

成為現今系統生物學的主流。現有建構基因調控網路的數學模型主要可以分為兩大類：第一類主要著重於以機率的方式表示基因調控網路的模型。舉例來說，貝氏網路(Bayesian Network)，又稱為信任網路(Belief Network)，主要是藉由有向非循環圖形(Directed Acyclic Graphs)中得知一組隨機變數及其條件機率分配(Conditional Probability Distributions)的性質。因此，網路中的連線是以條件機率的方式來表現，而 mRNA 的表現量被使用來估測此條件機率。另外一類的數學模型主要強調與一系列的微分方程來描述基因片段與基因片段間的調控與互動動態方程。藉由 DNA 微點陣技術所取得的 mRNA 表現量，可以被用來估測出一系列的動態微分方程中的參數與係數。舉例來說，以下的動態方程式便表達了基因 mRNA 的表現量與轉錄因子(Transcriptional Factor)之間的調控關係：

$$y_i[t+1] = y_i[t] + \sum_{n=1}^{N_i} a_{in} x_n[t] - \lambda_i y_i[t] + k_i + \varepsilon_i[t] \qquad (4)$$

此動態方程式表示了下一個時間點針對第 i 個基因的 mRNA 表現量，受到了共 N_i 個轉錄因子的調控關係。其中，調控的關係是由係數 *a* 呈現，也因此是模型估測中的主要對象。目前國際各大系統生物學團隊都有針對基因調控網路的模型建構與估測，進行一系列深入的研究與探討。更將建構出來的網路所預測的生物功能，以實驗進行進一步的驗證。這些主要研究團隊包括 Harvard University、MIT、John Hopkins University、以及歐洲、日本的許多頂尖研究團隊。國內也有台灣大學、清華大學、陽明大學、成功大學等跨領域團隊的加入。可以說是蓬勃發展的跨領域研究主題。

除此之外，也有許多研究團隊針對蛋白質互動網路進行研究。蛋白質與蛋白質之間的互動，主要是由蛋白質分子相互碰撞或彼此間磷酸化、去磷酸化的過程。所涉及的數學模型因此與基因調控網路有所差異。但基本上仍然可分為以條件機率表示以及以動態微分方程表示兩大類。目前的挑戰主要在於蛋白質濃度的量測十分的困難，因此所建構的互動網路大多直接以 mRNA 的表現量經過一個非線性方程式的轉換，來表達蛋白質的濃度。建構出來模型的準確度因此較不準確。尚有相當大的研究發展空間。

參考文獻：

[1] L. Ljung, *System Identification: Theory for the User*, 2nd ed., Prentice Hall, 1999.

[2] J. N. Juang, *Applied System Identification*, Prentice Hall, 1993.

[3] L. Ljung, *System Identification Toolbox User's Guide*, R2012a, The Math Works, Inc., 2012.

[4] D. A. Hall, "Review Nonlinearity in piezoelectric ceramics," *J. Materials Science,* 36, 4575–4601, 2001

[5] L. Ljung, "Perspectives on system identification," *Annual Reviews in Control,* pp. 1–12, 2010

[6] A. L. Barabási and Z. N. Oltvai, "Network biology: understanding the cell's functional organization," *Nature Reviews Genetics,* 5, 101-113, 2004.

[7] H. de Jong, "Modeling and simulation of genetic regulatory systems: a literature review," *Journal of Computational Biology,* 9, 67-103, 2002.

[8] E. H. Davidson, J. P. Rast, P. Oliveri, A. Ransick, C. Calestani, C. H. Yuh, T. Minokawa, G. Amore, V. Hinman, C. Arenas-Mena, O. Otim, C. T. Brown, C. B. Livi, P. Y. Lee, R. Revilla, A. G. Rust, Z. Pan, M. J. Schilstra, P. J. Clarke, M. I. Arnone, L. Rowen, R. A. Cameron, D. R. McClay, L. Hood, and H. Bolouri, "A genomic regulatory network for development," *Science,* 295, 1669-1678, 2002.

[9] E. Segal, M. Shapira, A. Regev, D. Pe'er, D. Botstein, D. Koller, and N. Friedman, "Module networks: identifying regulatory modules and their condition-specific regulators from gene expression data," *Nature Genetics,* 34, 166-176, 2003.

[10] K. Basso, A. A. Margolin, G. Stolovitzky, U. Klein, R. Dalla-Favera, and A. Califano, "Reverse engineering of regulatory networks in human B cells," *Nature Genetics,* 37, 382-390, 2005.

[11] U. Alon, "Network motifs: theory and experimental approaches," *Nature Review Genetics,* 8, 450-461, 2007.

[12] Y. Ho, A. Gruhler, A. Heilbut, G. D. Bader, L. Moore, S. L. Adams, A. Millar, P. Taylor, K. Bennett, K. Boutilier, L. Yang, C. Wolting, I. Donaldson, S. Schandorff, J. Shewnarane, M. Vo, J. Taggart, M. Goudreault, B. Muskat, C. Alfarano, D. Dewar, Z. Lin, K. Michalickova, A. R. Willems, H. Sassi, P. A. Nielsen, K. J. Rasmussen, J. R. Andersen, L. E. Johansen, L. H. Hansen, H. Jespersen, A. Podtelejnikov, E. Nielsen, J. Crawford, V. Poulsen, B. D. Sorensen, J. Matthiesen, R. C. Hendrickson, F. Gleeson, T. Pawson, M. F. Moran, D. Durocher, M. Mann, C. W. Hogue, D. Figeys, and M. Tyers, "Systematic identification of protein complexes in Saccharomyces cerevisiae by mass spectrometry," *Nature,* 415, 180-183, 2002.

[13] R. Jansen, H. Yu, D. Greenbaum, Y. Kluger, N. J. Krogan, S. Chung, A. Emili, M. Snyder, J. F. Greenblatt, and M. Gerstein, "A Bayesian networks approach for predicting protein-protein interactions from genomic data," *Science,* 302, 449-453, 2003.

[14] U. Stelzl, U. Worm, M. Lalowski, C. Haenig, F. H. Brembeck, H. Goehler, M. Stroedicke, M. Zenkner, A. Schoenherr, S. Koeppen, J. Timm, S. Mintzlaff, C. Abraham, N. Bock, S. Kietzmann, A. Goedde, E. Toksoz, A. Droege, S. Krobitsch, B. Korn, W. Birchmeier, H. Lehrach, and E. E. Wanker, "A human protein-protein interaction network: a resource for annotating the proteome," *Cell,* 122, 957-968, 2005.

[15] D. R. Rhodes, S. A. Tomlins, S. Varambally, V. Mahavisno, T. Barrette, S. Kalyana-Sundaram, D. Ghosh, A. Pandey, and A. M. Chinnaiyan, "Probabilistic model of the human protein-protein interaction network," *Nature Biotechnology,* 23, 951-959, 2005.

[16] I. W. Taylor, R. Linding, D. Warde-Farley, Y. Liu, C. Pesquita, D. Faria, S. Bull, T. Pawson, Q. Morris, and J. L. Wrana, "Dynamic modularity in protein interaction networks predicts breast cancer outcome," *Nature Biotechnology,* 27, 199-204, 2009.

2. 研究方向及具體建議

(1) 對於模型識別技術的具體建議

相對於線性系統的標準數學模型，非線性系統的數學模型可以有許多種特性不同的型式。因此

可推斷廣泛性的非線性系統識別理論與技術並不容易於短期內被發展出來。比較實際的方式是先針對不同特性的非線性系統數學模型，發展合適的識別理論與技術；尤以對台灣科技長期深耕、強化競爭力而言，可運用於前瞻或具關鍵性之工業系統者為優先。

(2) 對於生物基因調控網路及蛋白質互動網路模型建構之具體建議

由於控制領域中所探討之系統，大多是以動態微分方程的形式表現，因此不難發現，控制領域中許多針對系統穩定性(Stability)、靈敏性(Sensitivity)、強健性(Robustness)等系統性質的分析工具，可靈活應用於生物基因調控網路及蛋白質互動網路模型的建構。目前已有許多研究是將控制領域的系統分析方法應用於系統生物學的分析與模型建構。此外，近年來生物實驗的相關論文，都已經開始同步使用 DNA 微點陣技術來得知各基因於不同實驗條件下表現量的差異，並以此來預測與強化實驗所得出的結論。而這些使用 DNA 微點陣技術所獲得的資料，大多會公開於網路上，以提供其他學者的檢證。因此，這些大量資料的取得變得相對容易，針對這些資料進行進一步的分析，將是對控制領域學者相當大的機會與挑戰。當然，跨領域團隊的形成，將可進一步提昇國內學者對系統生物學領域的貢獻。藉由與生物領域學者的合作，將更有機會發掘重要的研究課題，針對此課題進行網路的建構與分析。舉例來說，感染病菌與宿主之間感染動態網路的分析，以及再生醫學等相關研究都是目前相當熱門的研究主題。此分析成果將能進一步的指引生物領域學者下一階段的實驗，進行更深入的驗證，以期能有更大的貢獻。

子 題 三：智慧型控制

召 集 人：王偉彥教授

規畫委員：王偉彥教授、陶金旺教授、呂藝光教授、杜國洋教授、莊家峰教授、許陳鑑教授、吳政郎教授、簡江儒教授、許駿飛教授

前言

傳統控制理論主要是根據對系統精確數學描述而推演出相對的控制方法。對於過於複雜以致無法透過完整數學描述的控制系統而言，適應智慧學習控制可有效補足傳統控制理論對於這些複雜控制系統的不足。適應智慧學習控制利用塑模系統如模糊邏輯系統與類神經網路等來描述複雜的控制系統，並結合智慧型學習方法與適應控制理論而成，有效地驗證系統穩定性與學習未知參數，以便

成功地控制系統的行為。

仿生演化計算(Evolutionary Computation)技術的出現啟發了解決控制問題的新方法。著名的演化計算包含了遺傳演算法(GA)、粒子群最佳化(PSO)和蟻群最佳化(ACO)演算法。這些最佳化演算法是啟發式和隨機的。和梯度學習演算法相比，它們陷入區域最小化的機會較小。因為控制系統的設計，可以看作為一個最佳化的問題，因此演化計算可用來協助解決控制器設計的問題。演化學習控制的優點包含免去複雜的數學公式計算以及具有良好控制性能。

對某些控制問題而言，明確的輸入與輸出訓練資料的獲得有時比較困難且耗時，並且在學習過程中可能沒辦法馬上得到。這類問題較不適合採用監督式學習法設計控制器。這時，加強式學習法(Reinforcement Learning)似乎是比較好的選擇。在加強式學習法中，一個代理人(Agent)從它的環境中接受一個獎賞或者是一種懲罰的評估（即加強式訊號），並經由探索來得知那些動作所能得到最大的獎賞，因此加強式學習控制與演化計算技術結合也是未來可能的研究方向。

雲端網路控制之問題為該系統在共享的有限網路資源,隨著使用者數目的增減而造成變化極大的時間延遲，此問題輕則明顯降低系統效能，重則使整個系統產生不穩定的情形。另一為該系統使用分散式運算的概念，讓一些不同的電腦同時去進行運算，如何適當分配工作給合適的電腦進行運算達到最佳化亦為一重要課題。此時依舊使用傳統控制理論所設計的控制器在雲端網路控制的不定傳輸時間延遲影響下，其效能尚有待改進之空間。然而，智慧型控制所能處理的系統限制較小，經由專家的知識與經驗或反覆訓練的方式，或許可成功的解決雲端網路型非線性且模式複雜之系統控制與監控問題。

規劃內容

智慧學習控制之持續發展，對現今愈來愈複雜的科技產業顯示其影響，茲規劃下列子項供各界先進參考：

- 適應智慧學習控制
- 演化式與加強式學習控制
- 智慧型雲端網路控制

1. 研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

適應智慧學習控制在塑模系統上，主要模型有模糊邏輯系統與類神經網路這兩大類 [1-16]，塑模系統藉由內部參數調整，以塑模未知非線性系統動態行為，其調整方法大致可分為線性參數調整與非線性參數調整兩種。一般而言，利用非線性參數調整可獲得較佳近似功效。適應智慧學習控制

在系統設計與分析上主要是利用智慧型學習演算法[17-25]與適應控制技巧，藉由智慧型學習演算法，例如基因演算法(Genetic Algorithm)、螞蟻演算法(Ant Colony Optimization Algorithm)、模擬退火演算法(Simulated Annealing Algorithm)、免疫演算法(Immune Algorithm) 與粒子群最佳化演算法(Particle Swarm Optimization)等，來對模糊邏輯系統或類神經網路中的參數或既有知識架構進行調整，以建立一具有自動學習能力之智慧型控制系統，並可針對不確定的控制系統進行自我調整，以適應環境與系統的變化。而適應控制技巧大都藉由適應控制理論的穩定定理，例如李亞普諾(Lyapunov)定理等推演控制律(Control Law)與適應律(Adaptive Law)，利用適應律不斷地學習控制系統的未知或不確定的參數，進而即時改變控制法則，以使追蹤的誤差能快速收斂。適應智慧學習控制利用類神經網路或模糊邏輯系統這兩類模型，並結合智慧型學習方法與適應控制理論而成，可有效地驗證控制系統的穩定性與整合既有的專家們知識與經驗於控制器中，以及利用智慧型演算法學習不確定或未知參數，以便成功地控制不確定或複雜的控制系統。因此，在國內外學術界引起廣泛研究[1-25]，主要研究包括塑模系統特性的探討，修正與混合多種智慧型學習演算法以適用於即時控制系統或改善控制性能，以及探討塑模系統與適應控制系統的關係及相關控制特性研究。另外本子題也參考並延續 98 年工程處控制學門的"智慧型控制方法與應用"加以規劃。

演化學習控制研究可以分為兩類。一類為應用仿生物最佳化演算法於傳統控制器設計。這一類的典型代表為使用 GA 與 PSO 來求得最佳 PID 控制器[26,27]。此外，許多研究已提出使用 GA 來設計滑動模式控制器或 H_2/H_∞控制器[28,29]。另一類為使用仿生物最佳化演算法設計智慧型控制器，如模糊控制器或類神經控制器。手動設計模糊控制器的模糊規則往往是困難且費時的，而且需要專業的知識。為了簡化設計工作及提高控制性能，以 GA 或 PSO 設計模糊控制的方法已被廣泛研究。根據 IEEE 資料庫，這類方法在 2000 年以後已有超過兩千多篇論文被發表，和基於 GA 或 PSO 的模糊控制方法相比，基於 ACO 的模糊控制法是一個相對較新的演化學習控制方法。在文獻[30]中，離散蟻群最佳化已經被用來設計模糊控制器的後件部參數。在文獻[31]中，連續蟻群最佳化演算法已經被用來最佳化模糊控制器中的所有自由參數，其控制性能已經證明比各種先進的 GA 和 PSO 更好。

很多利用時序差異(Temporal Difference, TD)的技術[32]，或者 TD 結合仿生最佳化演算法的加強式學習方法已被提出。以時序差異方法為基礎的方法最常用的為適應性啟發式的評判(Adaptive Heuristic Critic, AHC)與 Q-學習法(Q-Learning)。在 Q-學習，一個 Q 函數被用來當作一個預測性質的函數。此函數可以估測現在的狀態和相對的動作所傳回來的評估值。TD 加強式學習方法已被應用在人型機器人的步伐學習問題上[33,34]。利用 Q-學習法來設計模糊控制器的研究已經被提出[35]。這類研究以模糊 Q-學習(Fuzzy Q-Learning)的想法為基礎，每條模糊規則的後件部都是經由 Q-值來設計。後續研究中，為了改進加強式模糊控制器的學習效率，文獻[36,37]將基因法則與 Q-

學習法結合，可得到比只使用 Q-學習法更好的學習效率。文獻[38]將螞蟻群最佳化與模糊 Q-學習作結合，並將結果用在實體機器人的沿牆走問題上。

近年來隨著網路的興起，雲端風暴已經來襲，這是一場正在改變全球數十億人口使用電腦資訊的新革命！「在雲端上」是一個設計產品或服務的思維，這個思維的基礎是建立在將大量的資源，舉凡計算、儲存空間、資料，都置放在透過網際網路可存取到的「雲端」之上，它本質上就是代表分散式運算的概念，而分散式運算簡單的說，就是讓一些不同的電腦同時去幫你做事情、進行運算，所以不管你擁有幾台電腦，可以讓他們可以互相溝通，一起同時幫你做事情。目前，重複性精密控制的問題看似一個特殊問題，卻是一個值得深入研究的重要課題，其相關的控制方法已被廣泛地探討，尤其與智慧型控制的相關技術相結合，進而與未來的雲端網路控制相關技術相呼應，相信不論在理論或在實務應用上都將有很大的揮灑空間，因此提供此一子題供控制界先進們參考。雲端網路控制之問題為該系統在共享的有限網路資源，隨著使用者數目的增減而造成變化極大的時間延遲，此問題輕則明顯降低系統效能，重則使整個系統產生不穩定的情形，另一為該系統使用分散式運算的概念，讓一些不同的電腦同時去進行運算，如何適當分配工作給合適的電腦進行運算達到最佳化即為一重要課題。此時依舊使用傳統控制理論所設計的控制器在雲端網路控制的不定傳輸時間延遲影響下，其效能尚有待改進之空間。然而，智慧型控制所能處理的系統限制較小，經由專家的知識與經驗或反覆訓練的方式，或許可成功的解決雲端網路型非線性且模式複雜之系統控制與監控問題。

網路控制系統(Networked Control Systems, NCSs)為控制領域近年重要研究方向之一，在相關主題已發表大量文獻，多是研究網路傳輸延遲、封包遺失、及有限的網路頻寬等相關問題的影響與克服。為避免這些問題導致網路控制系統性能下降，文獻上已證明降低網路控制系統的封包流量是一個很有效的方法，近年發展出事件觸發(Event-Triggered, [39,40])或自我觸發(Self-Triggered, [41,42])的技巧來設計網路控制系統的控制器。藉由事件觸發的技巧，感測器量測到的狀態或輸出信號並非每一筆均傳給控制器，只有在他們對保證某些所要求的控制性能是必要的時候才傳送給控制器。自我觸發則是在目前取樣時即已算出下一次要取樣的時間，中間均不取樣。文獻中已證明應用這樣的技巧可以大幅降低網路控制系統的資訊傳輸率。

除了事件觸發與自我觸發技巧，現關於網路控制系統的研究也日漸廣化，在[43]中探討透過受雜訊干擾的網路回授之控制器的設計，在[44]中以切換控制系統的技巧處理網路控制系統的穩定度分析問題，在[45]中分析具有封包遺失可能的網路控制系統其性能的極限，[46]則考慮非線性網路控制系統的故障排除分散控制，[47,48]探討網路控制系統的模式預測控制，相關主題皆很值得再深入推廣研究。另在智慧控制領域，亦已有學者將網路控制系統的架構引入模糊控制[49, 50]，探討非線性網路控制系統的模糊控制器設計問題，唯相關成果尚少，值得投注心力研究。

重複性精密控制一直是控制領域一個重要的研究與應用領域，在機械手臂的軌跡追蹤控制，磁碟機的尋軌控制，伺服馬達的精密定位控制、壓電致動器以及原子力顯微鏡的相關追蹤控制問題等，都是一些非常重要的應用範疇。達到重複性精密控制的可行有效方法之一是所謂的順向控制(Feedforward Control)，廣義的順向控制有許多的定義與應用範圍，但是用在重複性控制問題時，順向控制的觀念延伸出許多有趣的學理，例如反覆學習控制(Iterative Learning Control)或重複控制(Repetitive Control)等概念。廣義來講反覆學習控制與重複控制也是智慧型控制的一種領域，但又和我們常定義的模糊控制、類神經網路控制、軟性計算等智慧型控制概念有點不同。

以理論的發展而言，文獻上已經有研究開始將基本的反覆學習控制或重複控制結構引入模糊類神經網路或其他智慧型控制方法的設計[51,52]，但如何推廣至更廣泛的未知非線性時變系統，都是亟待開發與研究的課題。另外，由於反覆或重複自我學習的理論可以結合許多已開發的智慧型控制理論，也有部分研究成果探討反覆或重複控制在非重複性與非週期性工作的應用與分析[53,54]，這是智慧型學習控制近年較大的突破與進展。而離散系統的適應學習控制，則是近年的一個新興研究課題[55-57]。然而，將智慧型重複學習控制架構在雲端網路控制的概念，卻是一個極具挑戰的研究課題，嚴格說起來，智慧型重複學習控制的相關研究到目前為止，不論是理論研究或實作應用上，與雲端網路控制技術有直接相關的研究幾乎沒有，但這也是一個絕佳的研究切入點。而雲端網路控制第一個面臨的挑戰就是網路的延遲效應以及資料可能遺失的問題，近幾年來，反覆學習控制或重複控制的研究領域已經開始考量系統狀態或輸入延遲的強健學習控制問題，並有一些文獻產出[58-60]。

參考文獻：

[1] J. -S. R. Jang, “ANFIS: adaptive-network-based fuzzy inference system,” *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics,* Volume: 23, Issue: 3, pp. 665-685, 1993.

[2] J. T. Spooner and K. M. Passino, “Stable adaptive control using fuzzy systems and neural networks,” *IEEE Trans. Fuzzy Systems,* Volume: 4, Issue: 3, pp. 339-359, 1996

[3] Y. G. Leu, T. T. Lee and W. Y. Wang, “Observer-Based Direct Adaptive Fuzzy-Neural Control for Non-affine Nonlinear Systems,” *IEEE Trans. Neural Network,* vol. 16, No. 4, pp. 853-861, 2005.

[4] W. Y. Wang, M. L. Chan, C. C. Hsu and T. T. Lee, “H^{∞} Tracking-Based Sliding Mode Control for Uncertain Nonlinear Systems via an Adaptive Fuzzy-Neural Approach,” *IEEE Trans. System Man and Cybernetics-Part B,* vol. 32, No.4, pp. 483-492. 2002.

[5] C. H. Wang, H. L. Liu and T. C. Lin, “Direct adaptive fuzzy-neural control with state observer and supervisory controller for unknown nonlinear dynamical systems,” *IEEE Trans. Fuzzy Systems,* vol. 10, no.1, pp. 39-49, 2002.

[6] B. Kosko, “Fuzzy systems as universal approximators,” *IEEE Trans. Computers,* vol. 43, no. 11, pp. 1329-1333, 1994.

[7] R. R. Selmic and F. L. Lewis, “Deadzone compensation in motion control systems using neural

networks," *IEEE Trans. Automatic Control,* vol. 45, no. 4, pp. 602-613, 2000.

[8] P. Phan and T. J. Gale, "Direct adaptive fuzzy control with a self-structuring algorithm," *Fuzzy Sets and Systems,* vol. 159, pp. 871-899, 2008.

[9] C. W. Park and Y. W. Cho, "T-S model based indirect adaptive fuzzy control using online parameter estimation," *IEEE Trans. Syst. Man, Cyber. Part B: Cybernetics,* vol. 34, no. 6, pp. 2293-2302, 2004.

[10] J. W. Park, R. G. Harley and G. K. Venayagamoorthy, "Indirect adaptive control for synchronous Generator: comparison of MLP/RBF neural networks approach with Lyapunov stability analysis," *IEEE Trans. Neural Networks,* vol. 15, no. 2, pp. 460-464, 2004.

[11] N. Golea, A. Golea and K. Benmahammed, "Stable indirect fuzzy adaptive control," *Fuzzy Sets and Systems,* vol. 137, pp. 353-366, 2003.

[12] A. M. Zou, Z. G. Hou and M. Tan, "Adaptive Control of a Class of Nonlinear Pure-Feedback Systems Using Fuzzy Backstepping Approach," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 16, no. 4, pp. 886-897, 2008.

[13] M. Hojati and S. Gazor, "Hybrid adaptive fuzzy identification and control of nonlinear systems," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 10, no. 2, pp. 198-210, 2002.

[14] H. Han, C. Y. Su and Y. Stepanenko, "Adaptive Control of a Class of Nonlinear Systems with Nonlinearly Parameterized Fuzzy Approximators," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 9, no. 2, pp. 315-323, 2001.

[15] L. X. Wang, *Adaptive fuzzy systems and control: design and stability analysis*, Englewood Cliffs,NJ: Prentice-Hall, 1994.

[16] J. V. de Oliveira, "Semantic constraints for membership function optimization," *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans,* Volume: 29 , Issue: 1, pp. 128-138, 1999.

[17] T. L. Seng, M. B. Khalid and R. Yusof, "Tuning of a neuro-fuzzy controller by genetic algorithm," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics,* Volume: 29, Issue: 2, pp. 226-236, 1999

[18] W. Y. Wang, C. Y. Cheng and Y. G. Leu, "An online GA-based output-feedback direct adaptive fuzzy-neural controller for uncertain nonlinear systems," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics,* Volume: 34, Issue: 1, pp. 334-345, 2004

[19] C. K. Chiang, H. Y. Chung and J. J. Lin, "A self-learning fuzzy logic controller using genetic algorithms with reinforcements," *IEEE Trans. Fuzzy Systems,* Volume: 5, Issue: 3, pp. 460-467, 1997

[20] F. Janabi-Sharifi and J. Liu, "Design of a self-adaptive fuzzy tension controller for tandem rolling," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* Volume: 52, Issue: 5, pp. 1428-1438,2005

[21] B. Lazzerini, L. M. Reyneri and M. Chiaberge, "A neuro-fuzzy approach to hybrid intelligent control," *IEEE Trans. Industry Applications,* Volume: 35, Issue: 2, pp. 413-425, 1999.

[22] Rajapakse, K. Furuta and S. Kondo, "Evolutionary learning of fuzzy logic controllers and their adaptation through perpetual evolution," *IEEE Trans. Fuzzy Systems,* Volume: 10, Issue: 3, pp. 309-321, 2002.

[23] Y. H. Song and M. R. Irving, "Optimisation techniques for electrical power systems. II. Heuristic

optimisation methods," *IEEE Trans. Power Systems,* Volume: 15, Issue: 3, pp. 151-161, 2001.

[24] Rajapakse, K. Furuta and S. Kondo, "Evolutionary learning of fuzzy logic controllers and their adaptation through perpetual evolution," *IEEE Trans. Fuzzy Syst.,* vol. 10, no. 3, pp. 309-321, 2002.

[25] Kaylani, M. Georgiopoulos, M. Mollaghasemi, G. C. Anagnostopoulos, C. Sentelle and M. Zhong, "An Adaptive Multiobjective Approach to Evolving ART Architectures," *IEEE Trans. Neural Networks,* vol. 21, no. 4, pp. 529-550, 2010.

[26] R. A. Krohling and J. P. Rey, "Design of optimal disturbance rejection PID controllers using genetic algorithms," *IEEE Trans. Evolutionary Computation,* vol. 5, no. 1, pp. 78-82, 2001.

[27] Z. L. Gaing, "A particle swarm optimization approach for optimum design of PID controller in AVR system," *IEEE Trans. Energy Conversion,* vol. 19, no. 2, pp. 384-391, 2004.

[28] X. Yu and O. Kaynak, "Sliding-Mode Control With Soft Computing: A Survey," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol. 56, no. 9, pp. 3275-3285, 2009.

[29] S. J. Ho, S. Y. Ho, M. H. Hung, L. S. Shu and H. L. Huang, "Designing structure-specified mixed H2/H∞ optimal controllers using an intelligent genetic algorithm IGA," *IEEE Trans. Control Systems Technology,* vol. 13, no. 6, pp. 1119-1124, 2005.

[30] M. Mucientes and J. Casillas, "Quick design of fuzzy controllers with good interpretability in mobile robotics," *IEEE Trans. Fuzzy Systems,* vol. 15, no. 4, pp. 636-651, 2007.

[31] C. F. Juang and P. H. Chang, "Designing fuzzy rule-based systems using continuous ant colony optimization," *IEEE Trans. Fuzzy Systems,* vol. 18, no. 1, pp. 138-149, 2010.

[32] R. S. Sutton and A. G. Barto, *Reinforcement Learning*, The MIT Press, 1998.

[33] L. Hu, C. Zhou and Z. Sun, "Estimating biped gait using spline-based probability distribution function with Q-learning," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol. 55, no. 3, pp. 1444-1452, 2008.

[34] T. H. S. Li, Y. T. Su, S. W. Lai and J. J. Hu, "Walking motion generation, synthesis, and control for biped robot by using PGRL, LPI, and fuzzy logic," *IEEE Trans. Syst., Man, and Cyber., Part B: Cyber.,* vol. 41, no.3, pp. 736-748, 2011.

[35] L. Jouffe, "Fuzzy inference system learning by reinforcement methods," *IEEE Trans. On Syst., Man and Cyber. - Part C: Applications and Reviews,* vol. 28, no. 3, pp. 338-355, 1998.

[36] C. F. Juang, "Combination of on-line clustering and Q-value based GA for reinforcement fuzzy system design," *IEEE Trans. Fuzzy Systems,* Vo. 13, No. 3, pp. 289-302, 2005.

[37] Y. Zhou and M. J. Er, "An evolutionary approach toward dynamic self-generated fuzzy inference systems," *IEEE Trans. Syst., Man, and Cyber., Part B: Cyber.,* vol. 38, no. 4, pp. 963-969, 2008.

[38] C. F. Juang and C. H. Hsu, "Reinforcement ant optimized fuzzy controller for mobile-robot wall-following control," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol. 56, no. 10, pp. 3931-3940, 2009.

[39] D. V. Dimarogonas, E. Frazzoli and K. H. Johansson, "Distributed event-triggered control for multi-agent systems," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 57, No. 5, pp. 1291-1297, 2012.

[40] X. Wang and M. D. Lemmon, "Event-triggering in distributed networked control systems," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 3, pp. 586-601, 2011.

[41] A. Anta and P. Tabuada, "To sample or not to sample: self-triggered control for nonlinear

systems," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 55, No. 9, pp. 2030-2042, 2010.

[42] X. Wang and M. D. Lemmon, "Self-triggered feedback control systems with finite-gain L2 stability," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 54, No. 3, pp. 452-467, 2009.

[43] L. Bao, M. Skoglund and K. H. Johansson, "Iterative encoder-controller design for feedback control over noisy channels," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 2, pp. 265-278, 2011.

[44] M. C. F. Donkers, W. P. M. H. Heemels, N. van de Wouw and L. Hetel, "Stability analysis of networked control systems using a switched linear systems approach," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 9, pp. 2101-2115, 2011.

[45] N. Elia and J. N. Eisenbeis, "Limitations of linear control over packet drop networks," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 4, pp. 826-841, 2011.

[46] P. Panagi and M. M. Polycarpou, "Distributed fault accommodation for a class of interconnected nonlinear systems with partial communication," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 12, pp. 2962-2967, 2011.

[47] G. Pin and T. Parisini, "Networked predictive control of uncertain constrained nonlinear systems: recursive feasibility and input-to-state stability analysis," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 1, pp. 72-87, 2011.

[48] D. E. Quevedo and D. Nesic, "Input-to-state stability of packetized predictive control over unreliable networks affected by packet-dropouts," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 2, pp. 370-375, 2011.

[49] X. Jiang and Q. L. Han, "On designing fuzzy controllers for a class of nonlinear networked control systems," *IEEE. Trans. Fuzzy Systems,* Vol. 16 , No. 4, pp. 1050-1060, 2008.

[50] H. Zhang, M. Li, J. Yang and D. Yang, "Fuzzy model-based robust networked control for a class of nonlinear systems," *IEEE Trans. SMC—Part A,* Vol. 39, No. 2, pp. 437-447, 2009.

[51] A. Tayebi, S. Abdul, M. B. Zaremba and Y. Ye, "Robust iterative learning control design: application to a robot manipulator," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics,* Vol. 13, No. 5, pp. 608-613, 2008.

[52] I. Rotariu, M. Steinbuch and R. Ellenbroek, "Adaptive iterative learning control for high precision motion systems", *IEEE Trans. Control Systems Technology,* Vol. 16, No. 5, pp. 1075-1082, 2008.

[53] S. Tien, Q. Zou and S. Devasia, "Iterative control of dynamics-coupling-caused errors in piezoscanners during high-speed AFM operation", *IEEE Trans. Control System Technology,* Vol. 13, pp. 921-931, 2005.

[54] K. K. Leang and S. Devasia, "Design of hysteresis-compensating iterative learning control for piezo-positioners: application to atomic force microscopes," *Mechatronics,* Vol. 6, pp. 141-158, 2006.

[55] Y. Wu and Q. Zou, "Iterative control approach to compensate for both the hysteresis and the dynamics effects of piezo actuators," *IEEE Trans. Control System Technology,* Vol. 15, No. 5, pp. 936-944, 2007.

[56] C. J. Chien, F. S. Lee and J. C. Wang, "Enhanced iterative learning control for a piezoelectric actuator system using wavelet transform filtering," *Journal of Sound and Vibration,* Vol 299, Issue 3, pp. 605-620, 2007.

[57] X. Ruan, Z. Bien and K. H. Park, “Decentralized iterative learning control to large scale industrial process for nonrepetitive tracking control,” *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics - Part A,* Vol. 38, No. 1, pp. 238-252, 2008.

[58] M. Mezghani, G. Roux, M. Cabassud, M. V. L. Lann, B. Dahhou and G. Casamatta, “application of iterative learning control to an exothermic semibatch chemical reactor,” *IEEE Trans. Control System Technology,* Vol. 10, No. 6, pp. 822-834, 2002.

[59] K. K. Chew and M. Tomizuka, “Digital control of repetitive errors in disk drive systems,” *IEEE Trans. Control Systems Magazine,* Vol. 10, Issue 1, pp. 16-20, 1990.

[60] S. Mishra, W. Yeh and M. Tomizuka, “Iterative learning control design for synchronization of wafer and reticle Stages”, *2008 American Control Conference,* pp. 3908-3913, 2008.

2. 研究方向及具體建議

傳統控制理論主要是根據對系統精確數學描述而推演出相對的控制方法。對於過於複雜以致無法透過完整數學描述的控制系統而言，適應智慧學習控制可有效補足傳統控制理論對於這些複雜控制系統的不足。適應智慧學習控制之持續發展，對於現今愈來愈複雜的科技產業更顯其重要性。具體建議如下：

(1) 塑模系統的設計

新塑模系統架構的開發或針對不同塑模系統進行整合，並探討其相關理論證明與特性分析，以提昇塑模系統在控制的效能。

(2) 適應智慧型控制器之學習方法的改善

智慧型學習方法如基因演算法、螞蟻演算法、模擬退火演算法、免疫演算法與粒子群最佳化演算法等，皆有學習時間過長與計算量龐大的問題，對於即時控制器(Real-Time Control)或實務之控制應用上有其限制，改善適應智慧控制器學習時間與計算量是一重要研究課題。

(3) 適應智慧型控制器理論探討

由於適應智慧型控制主要是利用塑模系統取代精確數學來描述複雜的控制系統後，再進行理論分析與設計。因此，如何針對這類型系統提出一系列適應智慧型控制理論，包括穩定度分析，效能評估等，是值得研究的方向。

演化學習控制方法已被用來求取傳統或智慧型控制器參數的最佳值，從而簡化設計工作並提高控制性能。未來具挑戰的研究方向包含：

(1) 演化學習與加強式學習控制演算法通常需要超過數百到數千個的控制效果評價來找出一組良好的控制參數。以實際學習而非模擬來看，這麼長的學習過程是缺乏效率的。未來更高效率的學習演算法以直接用於實際控制系統學習是需要的。

(2) 演化學習控制方法中，控制器的演化速度可能太慢而無法及時處理時變系統控制問題。線上演化學習控制有其需求性。

(3) 目前加強式學習控制主要還是用來解決單目標控制問題。多目標加強式學習控制是一個值得研究的方向。

雲端網路控制第一個面臨的挑戰就是網路的延遲效應以及資料可能遺失的問題。網路控制系統的研究在眾多控制領域學者投入下已有大量成果發表，也帶動了時間延遲系統的研究。目前在不確定時間延遲的處理、封包遺失的補償、有限資料傳輸率的考慮等方向較成熟，在降低網路資料傳輸率與多封包傳輸的問題尚可投入更多的努力。以下我們提出幾個可能的研究方向供大家參考：

(1) 事件觸發與自我觸發網路控制系統 – 目前事件觸發與自我觸發網路控制系統的研究多局限於線性系統，且多未考慮多封包傳輸的問題。如何設計非線性網路控制系統的事件觸發與自我觸發法則、放寬目前文獻上所作較強的假設，非常值得研究。而在多封包傳輸下如何設計網路控制系統的事件觸發與自我觸發法則，以達成所需要的控制性能，亦是重要的研究課題。

(2) 多封包傳輸網路控制系統 – 多封包傳輸網路控制系統現發表成果偏少，幾乎都考慮線性系統，且多只探討穩定度而未考量其他控制性能。如何將相關研究拓展到非線性系統，且考量如 H^{∞}、強健性等控制性能是值得探討的主題。

(3) 非線性網路控制系統 – 雖然目前在時間延遲的處理、封包遺失的補償、有限資料傳輸率的效應與克服等相關研究已漸成熟，但相關研究尚少推廣到非線性系統。對非線性網路控制系統的相關問題，亦是值得研究的方向。

(4) 智慧型網路控制系統 – 目前網路控制系統的研究多集中在傳統控制理論領域，只有少數智慧控制學者將相關研究拓展到模糊控制系統。在以模糊控制系統表示系統的動態時，當感測器信號及控制信號透過網路傳送，相關時間延遲、封包遺失、有限資料傳輸率、多封包傳送等問題如何克服，事件觸發法則及自我觸發法則如何設計，均可深入研究。

此外，根據網路協定、節點數和軟硬體條件，雲端網路的傳輸衰減和時間延遲特性可能是固定或是有界的，甚至是隨機和不可預測的。具體的來說本子題可從以下幾個參考方向進行：

(1) 雲端網路控制系統之鑑別及分析–對於傳輸衰減和時間延遲系統之網路控制系統鑑別而言，其重點工作即在從輸出入資料判斷傳輸衰減與時間延遲的大小或範圍，此課題不同於其他參數的鑑別工作，值得加以研究。因此，如何使用智慧型理論為基礎，發展能鑑別及分析傳輸衰減與時間延遲對於整個雲端網路控制系統影響的關係是一個值得研究的方向。

(2) 雲端網路控制系統之控制推導–在控制器設計方面，眾多學者以線性矩陣不等式為基礎進行設計，設計方法雖可方便地使用已有現成之求解工具（Matlab: LMI Toolbox）進行計算，但常常將導致變數太多及計算量大增，並且不一定確實增加參數之搜尋空間。因此，如何使用智慧型理論發展能涵蓋某範圍內之傳輸衰減和時間延遲的控制器設計方法是一個值得研究的方向。

智慧型雲端網路控制在重複性學習控制問題的未來的研究，有下列具體的建議：

(1) 非重複性具網路延遲與資料遺失特性的控制之研究與分析：反覆或重複學習控制的最重要特性在於自我學習智慧型控制之意義，其基本理論假設是控制動作具重複性與週期性。擴展其應用與研究範圍至非重複性與非週期性的工作是一個極具挑戰的研究課題，在學理上的發展已經將有重要的貢獻，擴展至具網路延遲與資料遺失特性的控制問題，更有學術上的創新性。

(2) 模糊類神經反覆學習系統的設計與分析：模糊類神經系統一直是智慧型控制的最重要工具之一，在學術界一直就有許多研究方向。反覆或重複控制本身亦可視為智慧型控制的一個方向，但兩者之間卻仍有很多的未知關係。兩者的相結合，或簡稱模糊類神經反覆學習系統，對智慧型控制的探討將有很大的揮灑空間，尤其對系統模式的依賴將有很大的改善。此外，利用模糊類神經的特性處理網路控制的延遲與資料遺失問題，進而架構雲端網路控制智慧型重複控制系統，亦是可以著墨的重要方向。

(3) 反覆或重複學習控制系統的適應性自我學習之研究與分析：傳統反覆或重複學習控制的自我學習能力有限，舉例而言，學習增益在控制過程通常是固定值，並沒有隨著學習誤差的不同狀態而適應調整。因此利用智慧型適應調整機構的設計概念，尤其如何結合各種智慧型演算法，例如例子群最佳化演算法等，就是一個很好的方向。

子 題 四：估測

召 集 人：曾仲熙教授、陳永裕教授

規畫委員：曾仲熙教授、陳永裕教授、廖振宏教授、蔡明發教授

前言

真實的物理世界中,任何系統都避免不了會受到隨機性白雜訊或顏色雜訊之外來干擾與量測雜訊的影響，就連為系統進行建模時，模式中參數變動呈機率分佈的情形，都可能牽涉到估測的研究範疇。實務與理論上非線性隨機系統的智慧估測問題，如語音降噪、機器人導航設計、電動機傳感器控制、聲源定位與網路通訊設備通道估測等，都深受許多領域之學者與工程設計專家的重視與研究。實務上，工程設計專家於系統訊號設計/重建階段通常因設計之困難度及複雜度甚至是產品成本之考量，會優先選擇固定式濾波器或估測器，如Low Pass, Band Pass, High Pass來探討訊號估測與重建之問題。從理論的角度來處理非線性隨機性的實務系統智慧估測問題須具較深厚的隨機數學背景知識，對實務設計工程人員較具困難度。非線性隨機系統的智慧估測屬一未成熟且待突破之領域，若能發展出良善的智慧估測設計架構，相信對學術界與實務層面均極具意義與貢獻。

規劃內容

非線性隨機系統的智慧估測乃屬一待突破之領域，本次規劃僅就學術與實務設計可能發展方向，提供相關學術研究學者參考：

- 非線性隨機系統的基本系統理論
- 非線性隨機系統的估測與判別
- 非線性隨機系統的適應及預測控制
- 異質系統之整合估測及控制
- 實用估測架構簡化設計

1. 研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

研究動機：

智慧型估測,無論於理論或時務運用上都深受許多領域之學者與工程設計專家的重視並加以實踐，如語音降噪[1,2]、機器人導航設計、風力與太陽能系統、電動機Sensorless控制、聲源定位與網路通訊設備通道估測、生物的訊號估測及其控制等，可見其應用之範圍相當之廣且極具必要性。一般，於真實的物理世界中，任意系統都避免不了一定會受到具隨機性白雜訊或顏色雜訊之外來干擾與量測雜訊的影響，甚至在我們為系統進行系統建模(System Modeling or Identification)時，模式中的參數變動也呈機率分佈，故實務與理論上非線性隨機系統的智慧估測問題，實為控制領域亟需研究的課題。此外，一般於實務上，工程設計專家於系統訊號設計/重建階段通常會因設計之困難度及複雜度甚至是產品成本之考量，優先選擇了所謂之固定式濾波器或估測器，如Low Pass, Band Pass, High Pass及來探討訊號估測與重建之問題。因為從理論的角度來處理非線性隨機性的實務系

統智慧估測問題須具較深厚的隨機數學背景知識且於實現上也較為困難，故對實務設計工程人員會較具困難度，且此類問題的文獻探討與定性的系統(Deterministic System)訊號估測研究相比也相對少很多，故於參考資料上之取得也不易，故如於智慧型估測器設計上能朝理論與實務結合會是一個很好的研究課題。由上述可知，此子題（非線性隨機系統的智慧估測）乃屬一未成熟且待突破之領域，且未來如能設計出架構簡單並符合實務需求之智慧估測設計架構，相信可對學術與實務設計於訊號估測上的結合提供一極具意義與貢獻之研究方向。因此此子題非常值得我們控制學門投入人力。

國內外研究現況：

如上述，本子題雖具研究之實際性與需要性，但是可供參考之文獻並不豐富。以下，我們先針對實務上非線性隨機系統的估測問題於國內外研究與應用上之成果，先作一簡略的介紹。藉搜尋IEEE論文檢索系統中與訊號估測相關之論文，直接與之相關之論文數，自2009年以來，這幾年內約有五十多篇期刊論文從實務設計與理論研究的角度出發進行相關研究探討，從目前於資料庫中找到的資料可分析出近幾年來估測器發展之重點在通訊系統的運用上，無論是通訊品質的提升或是通道雜訊的抑制與通道資料量的估測等，再再都說明了因3C通訊產品的大量使用跟著帶動了通訊相關技術的發展趨勢，如發表於[3-14]通訊系統通道估測。還有一些則運用於如天線的訊號處理[2,15,16]與智慧感測器設計運用於Power System與感測器網路能量估測[17-20]之估測方法等，但相較於通訊系統估測仍屬篇數較少。通訊系統相較於其他感測器於估測器設計研究上有較多之發表論文也屬合理，因通訊系統之設計可視為主系統之設計而其他之感測器雖會運用到估測技術但仍屬系統的一部分，故通常發表之相關論文數會較少。此外，於估測理論上之發展於近幾年來約有20篇研究[21-39]藉如下之基本訊號估測概念，進行新一代的估測器設計。上述文獻均具備下列主要估測法則之基本概念：

(1) 延伸卡門濾波器(Extended Kalman Filter)，很久以來被採用來處理非線性隨機系統的狀態估測問題。

(2) 應用隨機 Lyapunov 方法，採用賽局理論，以達到連續時間隨機非線性 H∞狀態估測。對於具有與狀態相關之雜訊的系統，其韌性非線性 H∞狀態估測可參考文獻或多目標 H2/H∞非線性隨機估測。亦有發展離散時間隨機非線性狀態估測。

(3) 使用微分幾何方法，以完成隨機非線性系統的最佳濾波器設計。

(4) 使用 Information Theoretical 方法（Entropy 方法），以此方法完成隨機非線性系統的最佳狀態估測。

(5) 使用類神經網路，以完成具有輸出量測雜訊的非線性系統的狀態估測。

(6) 利用模糊控制理論，以完成隨機模糊 T-S 系統，完成最佳模糊卡門濾波器。

上述文獻均發表於IEEE相關系列期刊，故一般可將之視為還具不錯品質且具實務設計考量之論文，但如略微深入去瞭解其內部估測概念，不難發現其學理上之訊號隨機理論之探討相當之少，甚至系統參數與外來干擾之影響考量亦盡可能簡化。我們認為有可能除了相關估測技術文獻較少外，另一可能為此部分智慧估測技術的開發困難度很高，使得作者/研究專家即便知道做深入研究可獲得更好之成果表現，也會選擇採用較簡單之方法進行實務系統之智慧型估測設計。

此外，近年來隨著跨領域技術的整合，估測與控制的概念亦隨之被應用於各相關領域上頭。這其中最顯著之應用領域為生物的訊號估測及其控制研究。清華大學電機系陳博現教授於2009-2012（可再往前追溯）間共提出30篇結合控制，估測與生物概念相關之論文，如於內部參數變動及外部環境變動下，藉估測技術與控制概念的結合達成基因與蛋白質網路的估測與調控。其中藉估測技術來進行生物訊號估測相關之文章大約有10篇[40-50]，相信此部分之成果應只屬先進生物科技發展之試金石，相信於此之後，在廣大之生物領域中仍存在相當多需藉重估測技術才能突破之研究課題。此應也是我們於先進估測器設計須注意的一個方向及重點。

在其他實際應用方面，風力與太陽能發電系統的估測技術的研究與開發是多方面的，可分下列幾個部份來深入探討：

(1) 系統監測，在發電系統裝無線的感測網路(Wireless Sensor Network)，以感測風速、風向、震動、電壓與電流等，使得系統有較高的可靠度與性能[51]。

(2) 容錯分析，在系統的某些感測器失效的時候，如何變更系統控制架構(Control Reconfiguration)，使得系統能持續運作，文獻[52,53]提出了有效的方法。

(3) 新型感測器，是利用物理與電磁學原理所設計出的新型感測元件，文獻[54-57]提出了此方面的構想。

(4) 以觀測器為基礎之無感測控制技術，是利用觀測器(Observer)的方法，以易取得的感測器取得的訊號，再利用方程式來估測出系統中某些物理量的感測方法，文獻[58-62]中提出了此方面的方法。

另外在馬達控制應用，為了降低成本、減少體積、降低維修需求、同時增加驅動器之穩定性及強健性，無感測器的磁場導向交流馬達驅動器成為近年來的研究重點。在眾多的無感測器控制策略中，可大致分為兩大類別:

(1) 其中之一是基於馬達的模型，利用定子電壓及電流的瞬時值資訊以估測磁通鏈及馬達速度。

(2) 另一類是利用驅動器的非理想特性或不對稱性，以達成無感測器驅動器之需求。在無感測器控制方法中，常常會以驅動器面臨參數變化時之靈敏度、計算的複雜度及包含寬廣工作範圍之估測準確性等指標予以比較優劣。

在以上第一類基於馬達模型的無感測器控制策略中，有採用(a)參考模型適應系統(Model Reference Adaptive System, MRAS) [63-67]、(b)觀測器[66-74]或(c)人工智慧技術[75]以實現。

(a) 以MRAS為基礎的速度估測器一般會依磁通誤差、反電動勢誤差或定子電流誤差三種方式實現。總括而言，MRAS為基礎的無感測器驅動器，常會遇到參數靈敏度及純積分的問題，因而限制在低速工作區時驅動器的性能。針對以上問題，有文獻提出以低通濾波器或進階積分方法以克服純積分的缺點。針對參數靈敏度問題，有文獻在控制器中擴增參數的On-Line適應調整功能 [64]，以擴大馬達驅動器在低速及／或高速工作區之性能。

(b) 在採用觀測器為基礎的無感測器控制方法，有的利用狀態觀測或Kalman Filter或滑模觀測，以得知速度的估測。其中採用Kalman濾波器為基礎的觀測器，對於參數變化有較佳之強健性表現，但在實現上會較為複雜。滑模觀測器則存在高切跳的問題[70-74]。另外參數變化時之靈敏度問題也常是普遍會遇到之問題，其中在高速弱磁工作時，激磁電感的變化[66,76]、低速工作時定子電阻參數的準確性[64,66,71,76]常是文獻討論並設法補償，以求確保全工作區域之優越性能。

(c) 至於人工智慧技術[75]為基礎的觀測器，則會存在訓練資料難以全面納入溫度變化、磁飽和、年久性能衰退…等因素。

在第二類利用驅動器的非理想特性或不對稱性的無感測器控制方法，有的利用轉子齒槽諧波，有的利用高頻諧波注入[66,69,72,77,78]，或馬達凸極效應對電感參數影響[79]等方法實現。這些方法常會面臨需頻譜選擇、程序耗時、只適合於窄隘的速度工作範圍等缺點。大致而言，以上方法中之後兩項特別適合工作於低速範圍。但是在低速工作時，無感測器驅動器性能又會與定子電阻參數息息相關。因而有文獻針對低速工作時之無感測器驅動器中，賦予定子電阻參數的線上調整功能[66,68,69]，以提升驅動器低速工作區之性能。此外，由於電壓型反流器輸出電壓呈現脈波狀，導致難以實際量取真實的定子電壓基頻成份，故而大部分皆以定子電壓命令取代真實定子電壓資訊。但是這種近似方法的準確性又會因反流器的非理想特性而降低，較嚴重的反流器非理想特性包含開關的空白時間、寄生電容效應及開關導通壓降…等等。這些效應在低速工作區時格外嚴重。也有文獻[67,68]聚焦於低速工作時電壓型反流器(VSI)非理想特性之補償以求增進無感測器驅動器之低速

工作特性。

歸納以上，如何整合不同之無感測器控制策略，使交流馬達驅動器在所有操作區域—高速或低速、重載或輕載，不論參數變化與否，均可以在低成本、低運算負擔下達成高性能之無感測器交流馬達驅動器是現今之研究主要課題。

參考文獻：

[1] W. Kim and J. H. L. Hansen, "A Novel Mask Estimation Method Employing Posterior-Based Representative Mean Estimate for Missing-Feature Speech Recognition," *IEEE Trans. Audio, Speech, and Language Processing,* Vol. 19, No. 5, 2011.

[2] H. Wang, H. T. Hui and M. S. Leong, "Decoupled 2D Direction of Arrival Estimation Using Compact Uniform Circular Arrays in the Presence of Elevation-Dependent Mutual Coupling," *IEEE Trans. Antennas and Propagation,* Vol. 58, No. 3, 2010.

[3] J. Wu and C. Xiao, "Optimal Diversity Combining Based on Linear Estimation of Rician Fading Channels," *IEEE Trans. Communications,* Vol. 56, No. 10, 2008.

[4] Y. Li and H. Minn, "Robust and Consistent Pilot Designs for Frequency Offset Estimation in MIMO OFDM Systems," *IEEE Trans. Communications,* Vol. 56, No. 10, 2008.

[5] F. Roemer and M. Haardt, "Tensor-Based Channel Estimation and Iterative Refinements for Two-Way Relaying With Multiple Antennas and Spatial Reuse," *IEEE Trans. Signal Processing,* Vol. 58, No. 11, 2010.

[6] Y. Li, H. Minn and R. M. A. P. Rajatheva, "Synchronization, Channel Estimation, and Equalization in MB-OFDM Systems," *IEEE Trans. Wireless Communications,* Vol. 7, No. 11, 2008.

[7] J. W. Choi, J. Lee, Q. Zhao and H. L. Lou, "Joint ML Estimation of Frame Timing and Carrier Frequency Offset for OFDM Systems Employing Time-Domain Repeated Preamble," *IEEE Trans. Wireless Communications,* Vol. 9, No. 1, 2010.

[8] H. Nguyen-Le, T. Le-Ngoc and C. C. Ko, "RLS-Based Joint Estimation and Tracking of Channel Response, Sampling, and Carrier Frequency Offsets for OFDM," *IEEE Trans. Broadcasting,* Vol. 55, No. 1, 2009.

[9] B. Gedik and M. Uysal, "Impact of Imperfect Channel Estimation on the Performance of Amplify-and-Forward Relaying," *IEEE Trans. Wireless Communications,* Vol. 8, No. 3, 2009.

[10] D. Wang, L.G. Jiang and C. He, "Robust Noise Variance and Channel Estimation for SC-FDE UWB Systems under Narrowband Interference," *IEEE Trans. Wireless Communications,* Vol. 8, No. 6, 2009.

[11] A. S. Ibrahim and K. J. Ray Liu, "Mitigating Channel Estimation Error With Timing Synchronization Tradeoff in Cooperative Communications," *IEEE Trans. Signal Processing,* Vol. 58, No. 1, 2010.

[12] H. N. Le and T. L. Ngoc, "Pilot-Aided Joint CFO and Doubly-Selective Channel Estimation for OFDM Transmissions," *IEEE Trans. Broadcasting,* Vol. 56, No. 4, 2010.

[13] B. W. Zarikoff and J. K. Cavers, "Coordinated Multi-Cell Systems: Carrier Frequency Offset Estimation and Correction," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications,* Vol. 28, No. 9, 2010.

[14] Y. Ismail, J. B. McNeely, M. Shaaban, H. Mahmoud and M. A. Bayoumi, "Fast Motion Estimation System Using Dynamic Models for H.264/AVC Video Coding," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology,* Vol. 22, No. 1, 2012.

[15] E. Taillefer, W. Nomura, J. Cheng, M. Taromaru, Y. Watanabe and T. Ohira, "Enhanced Reactance-Domain ESPRIT Algorithm Employing Multiple Beams and Translational-Invariance Soft Selection for Direction-of-Arrival Estimation in the Full Azimuth," *IEEE Trans. Antennas and Propagation,* Vol. 56, No. 8, 2008.

[16] Z. D. B. Pardo and C. Zhang, "Multiple Fundamental Frequency Estimation by Modeling Spectral Peaks and Non-Peak Regions," *IEEE Trans. Audio, Speech, and Language Processing,* Vol. 18, No. 8, 2010.

[17] X. R. Li, H. Chen, D. Gan and J. Qiu, "Joint Estimation of State and Parameter With Synchrophasors—Part I: State Tracking," *IEEE Trans. Power Systems,* Vol. 26, No. 3, 2011.

[18] Y. Huang and Y. Hua, "On Energy for Progressive and Consensus Estimation in Multihop Sensor Networks," *IEEE Trans. Signal Processing,* Vol. 59, No. 8, 2011.

[19] K. T. Shr and Y. H. Huang, "SNR Estimation Based on Metric Normalization Frequency in Viterbi Decoder," *IEEE Communications Letters,* Vol. 15, No. 6, 2011.

[20] D. J. Lee, "Nonlinear Estimation and Multiple Sensor Fusion Using Unscented Information Filtering," *IEEE Signal Processing Letters,* Vol. 15, 2008.

[21] A. Z., T. Kirubarajan, J. P. Reilly, D. Yee, K. Punithakumar and S. Shirani, "An EM Algorithm for Nonlinear State Estimation With Model Uncertainties," *IEEE Trans. Signal Processing,* Vol. 56, No. 3, 2008.

[22] T. H. Li and K.S. Song, "On Asymptotic Normality of Nonlinear Least Squares for Sinusoidal Parameter Estimation," *IEEE Trans. Signal Processing,* Vol. 56, No. 9, 2008.

[23] Y. Socratous, F. Rezaei and Charalambos D. Charalambous, "Nonlinear Estimation for a Class of Systems," *IEEE Trans. Information Theory,* Vol. 55, No. 4, 2009.

[24] R. Chudamani, K. Vasudevan and C. S. Ramalingam, "Real-Time Estimation of Power System Frequency Using Nonlinear Least Squares," *IEEE Trans. Power Delivery,* Vol. 24, No. 3, 2009.

[25] D. Yu and L. Deng, "Solving Nonlinear Estimation Problems Using Splines," *IEEE Signal Processing Magazine*, 2009.

[26] D. Spinello and D. J. Stilwell, "Nonlinear Estimation With State-Dependent Gaussian Observation Noise," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 55, No. 6, 2010.

[27] D. Spinello and D. J. Stilwell, "Nonlinear Estimation With State-Dependent Gaussian Observation Noise," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 55, No. 6, 2010.

[28] J. Lim and D. Hong, "Frequency-Selective and Nonlinear Channel Estimation with Unknown Noise Statistics," *IEEE Communications Letters,* Vol. 14, No. 3, 2010.

[29] M. B. Velasco, F. C.ruz-Rold´an, J. I. Godino-Llorente and K. E. Barner, "Nonlinear Trend Estimation of the Ventricular Repolarization Segment for T-Wave Alternans Detection," *IEEE Trans. Biomedical Engineering,* Vol. 57, No. 10, 2010.

[30] M. G. Christensen and S. H. Jensen, "New Results on Perceptual Distortion Minimization and Nonlinear Least-Squares Frequency Estimation," *IEEE Trans. Audio, Speech, and Language Processing,* Vol. 19, No. 7, 2011.

[31] G. Valverde, E. Kyriakides, G. T. Heydt and V. Terzija, "Nonlinear Estimation of Synchronous Machine Parameters Using Operating Data," *IEEE Trans. Energy Conversion,* Vol. 26, No. 3, 2011.

[32] Y. Cheng, X. Wang, T. Caelli, X. Li and B. Moran, "Optimal Nonlinear Estimation for Localization of Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. Signal Processing,* Vol. 59, No. 12, 2011.

[33] N. Wernersson and M. Skoglund, "Nonlinear Coding and Estimation for Correlated Data in Wireless Sensor Networks," *IEEE Trans. Communications,* Vol. 57, No. 10, 2009.

[34] A. Bregon, G. Biswas and B. Pulido, "A Decomposition Method for Nonlinear Parameter Estimation in TRANSCEND," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics—Part A: Systems and Humans,* Vol. 42, No. 3, 2012.

[35] G. Phanomchoeng, R. Rajamani and D. Piyabongkarn, "Nonlinear Observer for Bounded Jacobian Systems, With Applications to Automotive Slip Angle Estimation," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 56, No. 5, 2011.

[36] E. K. Boukas and Y. Chinniah, "Discrete-Time PI-Nonlinear Estimation," *IEEE Trans. Automatic Control,* Vol. 55, No. 3, 2010.

[37] G. G. Rigatos, "A Derivative-Free Kalman Filtering Approach to State Estimation-Based Control of Nonlinear Systems," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* Vol. 59, No. 10, 2012.

[38] M. LEI, B. J. van WYK and Y. QI, "Online Estimation of the Approximate Posterior Cramer-Rao Lower Bound for Discrete-Time Nonlinear Filtering," *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems,* Vol. 47, No. 1, 2011.

[39] M. J. Grimble and S. Ali Naz, "Nonlinear Minimum Variance Estimation for Discrete-Time Multi-Channel Systems," *IEEE Trans. Signal Processing,* Vol. 57, No. 7, 2009.

[40] B. S. Chen and P. W. Chen, "On the estimation of robustness and filtering ability of dynamic biochemical networks under process delays, internal parametric perturbations and external disturbances," *Mathematical Biosciences,* 222(2), 92-108, 2009.

[41] B. S. Chen, C. H. Chang and H. C. Lee, "Robust synthetic biology design: stochastic game theory approach," *Bioinformatics,* 25(14), 1822-1830, 2009.

[42] B. S. Chen and C. W. Li, "Robust observer-based tracking control of Hodgkin-Huxley neuron systems under environmental disturbances," *Neural Computation,* 22(12), 3143-3178, 2010.

[43] B. S. Chen and C. W. Li, "On the noise-enhancing ability of stochastic Hodgkin-Huxley neuron systems," *Neural Computation,* 22(7), 1737-1763, 2010

[44] X. X. Zhu and R. Bamler, "Let's Do the Time Warp: Multicomponent Nonlinear Motion Estimation in Differential SAR Tomography," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters,* Vol. 8, No. 4, 2011.

[45] B. S. Chen, Y. P. Lin and Y. J. Chuang, "Robust H∞ observer-based tracking control of stochastic immune systems under environmental disturbances and measurement noises," *Asian Journal of Control,* 13(5), 667-690, 2011.

[46] B. S. Chen and Y. P. Lin, "On the interplay between the evolvability and network robustness in an evolutionary biological network: A systems biology approach," *Evolutionary Bioinformatics,* 7, 201-233, 2011.

[47] B. S. Chen, C. H. Chang, Y. C. Wang, C. H. Wu and H. C. Lee, "Robust model matching design methodology for a stochastic synthetic gene network," *Mathematical Biosciences,* 230(1), 23-36, 2011.

[48] P. W. Chen and B. S. Chen, "Robust synchronization analysis in nonlinear stochastic cellular networks with time-varying delays, intracellular perturbations and intercellular noises," *Mathematical Biosciences,* 232(2), 116-134, 2011.

[49] C. H. Wu, W. Zhang and B. S. Chen, "Multiobjective H2/H∞ synthetic gene network design based on promoter libraries," *Mathematical Biosciences,* 233(2), 111-125, 2011.

[50] Y. C. Wang, S. H. Huang, C. Y. Lan and B. S. Chen, "Prediction of phenotype-associated genes via a cellular network approach: A Candida albicans infection case study," *PLoS ONE,* 7(4): e35339, 2012.

[51] L. Lin and S. Ming-xia, "Design of a wind power generation monitoring system based on wireless sensor network," *IEEE ISDEA,* pp. 556-559, 2010.

[52] J. Arbi and I. Slama-Belkhodja, "Direct torque control in presence of current sensor failure in variable speed wind system: effect analysis, detection and control reconfiguration," *J. Electrical System,* 4-1, pp. 51-59, 2008.

[53] S. Karimi, A. Gaillard, P. Poure and S. Saadate, "Current sensor fault-tolerant control for WECS with DFIG," *IEEE Trans. Ind. Electron.,* vol. 56, no. 11, pp. 4660–4670, 2009.

[54] F. Koga, T. Tadatsu, J. Inoue and I. Sasada, "A new type of current sensor based on inverse magnetostriction for large current detection," *IEEE Trans. Magnetics,* vol. 45, no. 10, pp. 4506 – 4509, 2009.

[55] N. McNeill, H. Dymond, and P. H. Mellor, "High-fidelity low-cost electronic current sensor for utility power metering," *IEEE Trans. Power Deivlery.,* vol. 26, no. 4, pp. 2309–2317, 2011.

[56] R. J. Ang, Y. K. Tan and S. K. Panda, "Energy harvesting for autonomous wind sensor in remote area," *IEEE IECON,* pp. 2104-2107, 2007.

[57] M. Y. Chen, M. F. Tsai, C. S. Tseng and S.Y. Yen, "A novel control strategy for multi-phase battery chargers without Hall-effect current sensors," *IEEE IPEC,* pp. 2729-2735, 2010.

[58] W. Qiao, X. Yang and X. Gong, "Wind speed and rotor position sensorless control for direct-drive PMG wind turbines," *IEEE Trans. Ind. Applica.,* vol. 48, no. 1, pp. 3–11, 2012.

[59] S. Morimoto, H. Nakayama, M. Sanada and Y. Takeda, "Sensorless output maximization control for variable-speed wind generation system using IPMSG," *IEEE Trans. Ind. Appli.,* vol. 41, no. 1, pp. 60–67, 2005.

[60] Y. Li and N. Ertugrul, "An observer-based three-phase current reconstruction using DC link measurement in PMAC motors," *IEEE IPEMC,* pp. 1-5, 2006.

[61] I. S. Kim, M. B. Kim and M. J. Youn, "New maximum power point tracker using sliding-mode observer for estimation of solar array current in the grid-connected photovoltaic system," *IEEE Trans. Ind. Electron.,* vol. 53, no. 4, pp. 1027–1035, 2006.

[62] S. R. Mereddy, N. Jaggi and R. Pendse, "An adaptive algorithm for sensor activation in

renewable energy based sensor systems," *IEEE ISSNIP,* pp. 55-60, 2009.

[63] C. Patel, R. Ramchand, K. Sivakumar, A. Das and K. Gopakumar, "A Rotor Flux Estimation During Zero and Active Vector Periods Using Current Error Space Vector From a Hysteresis Controller for a Sensorless Vector Control of IM Drive," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.58, no.6, pp.2334-2344, 2011.

[64] F. R. Salmasi and T. A. Najafabadi, "An Adaptive Observer with Online Rotor and Stator Resistance Estimation for Induction Motors with One Phase Current Sensor," *IEEE Trans. Energy Conversion,* vol.26, no.3, pp.959-966, 2011.

[65] T. Orlowska-Kowalska and M. Dybkowski, "Stator-Current-Based MRAS Estimator for a Wide Range Speed-Sensorless Induction-Motor Drive," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.57, no.4, pp.1296-1308, 2010.

[66] A. Piippo, M. Hinkkanen and J. Luomi, "Adaptation of Motor Parameters in Sensorless PMSM Drives," *7th International Conference on Power Electronics and Drive Systems (PEDS '07),* pp.175-182, 27-30, 2007.

[67] F. Genduso, R. Miceli, C. Rando and G. R. Galluzzo, "Back EMF Sensorless-Control Algorithm for High-Dynamic Performance PMSM," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.57, no.6, pp.2092-2100, 2010.

[68] Y. Inoue, K. Yamada, S. Morimoto and M. Sanada, "Effectiveness of Voltage Error Compensation and Parameter Identification for Model-Based Sensorless Control of IPMSM," *IEEE Trans. Industry Applications,* vol.45, no.1, pp.213-221, 2009.

[69] G. Bisheimer, M. O. Sonnaillon, C. H. de Angelo, J. A. Solsona and G. O. Garcia, "Full speed range permanent magnet synchronous motor control without mechanical sensors," *Electric Power Applications, IET,* vol.4, no.1, pp.35-44, 2010.

[70] C. Lascu, I. Boldea and F. Blaabjerg, "A Class of Speed-Sensorless Sliding-Mode Observers for High-Performance Induction Motor Drives," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.56, no.9, pp.3394-3403, 2009.

[71] M. Hinkkanen, L. Harnefors and J. Luomi, "Reduced-order flux observers with stator-resistance adaptation for speed-sensorless induction motor drives," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE 2009),* pp.155-162, 20-24, 2009.

[72] G. Foo and M. F. Rahman, "Sensorless Sliding-Mode MTPA Control of an IPM Synchronous Motor Drive Using a Sliding-Mode Observer and HF Signal Injection," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.57, no.4, pp.1270-1278, 2010.

[73] H. Kim, J. Son and J. Lee, "A High-Speed Sliding-Mode Observer for the Sensorless Speed Control of a PMSM," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.58, no.9, pp.4069-4077, 2011.

[74] L. Harnefors and M. Hinkkanen, "Complete Stability of Reduced-Order and Full-Order Observers for Sensorless IM Drives," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.55, no.3, pp.1319-1329, 2008.

[75] A. Accetta, M. Cirrincione, M. Pucci and G. Vitale, "Sensorless Control of PMSM Fractional Horsepower Drives by Signal Injection and Neural Adaptive-Band Filtering," *IEEE Trans. Industrial Electronics,* vol.59, no.3, pp.1355-1366, 2012.

[76] M. S. Zaky, M. M. Khater, S. S. Shokralla and H. A. Yasin, "Wide-Speed-Range Estimation with Online Parameter Identification Schemes of Sensorless Induction Motor Drives," *IEEE Trans.*

Industrial Electronics, vol.56, no.5, pp.1699-1707, 2009.

[77] D. D. Reigosa, P. Garcia, F. Briz, D. Raca and R. D. Lorenz, "Modeling and Adaptive Decoupling of High-Frequency Resistance and Temperature Effects in Carrier-Based Sensorless Control of PM Synchronous Machines," *IEEE Trans. Industry Applications,* vol.46, no.1, pp.139-149, 2010.

[78] S. Bolognani, S. Calligaro, R. Petrella and M. Tursini, "Sensorless Control of IPM Motors in the Low-Speed Range and at Standstill by HF Injection and DFT Processing," *IEEE Trans. Industry Applications,* vol.47, no.1, pp.96-104, 2011.

[79] Y. Hua, M. Sumner, G. Asher, Q. Gao and K. Saleh, "Improved sensorless control of a permanent magnet machine using fundamental pulse width modulation excitation," *Electric Power Applications, IET,* vol.5, no.4, pp.359-370, 2011.

2. 研究方向及具體建議

非線性隨機系統的估測問題，雖然可獨立成為一單獨之研究的課題，然因日常所見之待設計目標通常都以一完整之系統架構呈現。如上所述，非線性隨機系統的智慧估測乃屬一未成熟且待突破之領域，智慧型估測器設計上能朝理論與實務結合會是一個很好的研究課題，且未來如能設計出架構簡單並符合實務需求之智慧估測設計架構，相信可對學術與實務設計於訊號估測上的結合提供一極具意義與貢獻之研究方向。故針對上述幾個研究子題的背景說明，我們建議估測技術之研究可與下列幾個研究方向結合進行：

(1) 非線性隨機系統的基本系統理論

(2) 非線性隨機系統的估測

(3) 非線性隨機系統的系統判別

(4) 非線性隨機系統的適應控制

(5) 非線性隨機系統的預測控制

(6) 異質系統之整合估測及控制

(7) 實用估測架構簡化設計

子 題 五：最佳化

召 集 人：高崇堯教授

規畫委員：高崇堯教授、王大中教授、林澤教授、蔡坤諭教授

前言

近二十年來，由於計算機效能以及最佳化演算法理論與程式的快速發展，大大地改變了工程師解決控制系統分析與設計問題的思維，即將所分析或設計的問題約化成一個最佳化問題(Optimization Problem)的型式，特別是線性矩陣不等式(Linear Matrix Inequality，LMI)的型式，就代表問題已被解決，此種思維已成為控制、通訊、訊號處理、自動化、排程規劃等，眾多領域解決問題的主流思維。最佳化演算法發展的重點之一，在於能快速求解「大型」與「分散式」的控制問題，此外，採用合適之數值演算工具，整合成實用的套裝軟體，則是另一發展重點。

規劃內容

在這次的規劃中，我們整理的一些目前較新的發展，就下列的幾個方向提供一些粗略的意見，作為控制相關領域學者研究的參考：

- 最佳化在控制系統分析與設計
- 最佳化在航太系統上之應用
- 最佳化與無限感測與中繼網路設計
- 最佳化在通訊系統上之應用
- 適合即時系統低運算複雜度之最佳化演算法

1. 研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

近二十年來，由於計算機效能以及最佳化演算法理論與程式的快速發展，使得「把分析與設計問題轉化為一個最佳化問題(Optimization Problem)」，已成為控制、通訊、訊號處理、自動化、排程規劃等，眾多領域解決問題的主流思維。特別是控制理論這方面，最佳化方法在過去數十年來一直扮演著重要的角色。在這次的規劃中，我們整理的一些目前較新的發展，就下列的幾個方向提供一些粗略的意見，作為控制相關領域學者研究基礎理論的參考。

(1) 最佳化在控制系統分析與設計上的發展

近二十年來，計算機效能以及最佳化演算法理論與程式的發展，大大地改變了工程師解決控制系統分析與設計問題的思維。過去，工程師解決一個控制系統分析或設計問題，多半冀望能夠求得解析公式的解答。今天，拜計算機效能的提升與數值演算工具的普及之賜，一旦分析或設計問題能被約化成一個最佳化問題的型式－在控制系統這個領域，特別是線性矩陣不等式(Linear Matrix Inequality，LMI)的型式－大家即接受問題已被解決。檢視近二十年來的文獻，我們可以發現，將系統分析或系統設計法則表示為「線性矩陣不等式」之型式，已成為許多作者解決問題的手段，特別是在線性系統的範疇內。而「線性矩陣不等式」之所以廣為被接受的原因，正是因為這類問題不僅在理論上可用極有效率的演算法求得極為精確的數值解(在少數運算回圈內即可得到極為精確的數值解），而且現有許多付費或是免費軟體可供研究人員方便地解決這類問題。

然而，即便是在線性系統的範疇內，有許多控制設計的問題學者尚無法將之約化為「線性矩陣不等式」或者是「凸型最佳化」 (Convex Optimization)的型式。一般而言，當系統之通訊架構有特定之限制時，這類的問題通常無法被「凸型化」。因此，研究何類控制問題可被約化成凸型最佳化問題，在過去幾年成為控制理論領域內的一個重要問題。目前最新的發現是，當回授控制的架構具有所謂的「二次不變性」 (Quadratic Invariance)時，即存在一些變數變換的方法可將問題凸型化[1]。

此外，任何有效率的演算法，其求解的運算時間仍會隨著問題規模的增大而變大。舉例來說，以目前的計算機效能，解一個有數十個狀態變數系統的穩定性 LMI，需時僅為數十秒，解一個有數千個狀態變數系統的穩定性 LMI，則可能要數個小時甚至數天的時間。因此，對於大型網路系統的分析與設計而言，目前通用的 LMI 演算法，依然無法有效滿足需求。然而，特殊類型的問題所衍生出來的最佳化問題通常有其特殊結構。如能利用這些特殊結構發展加速型演算法，將能大大提升運算速度，減少運算時間。舉例來說，以「二次積分限制法」分析系統強韌性所衍生之最佳化問題，其 LMI 中皆有一因特定定理產生之共同項；文獻中有學者利用此一結構以及一些線性最佳控制理論中常見的定理，開發適用於這類問題的加速演算法則。這些法則無論是理論上，或是經數值演算實驗，皆顯示可比通用的 LMI 解法器要快上數十、甚至數百倍之多 [2-5]。

數值最佳化方法的成熟以及逐漸成為解決問題的主流，使得針對特定控制系統分析與設計方法開發方便使用的套裝軟體亦成為一個重要的研發方向。目前工程與科學的通用數值計算平台，仍是由美國 MathWorks 公司所開發之 Matlab 與 Simulink 軟體獨占全球市場。在控制系統分析與設計方面，Matlab 幾乎已成必備的軟體。然而 MathWorks 公司從 1990 年代後期，也就是數值最佳化方法以及 LMI 逐漸成為控制系統分析與設計的主流工具時，似乎並未將發展的重心放在這個方向上。一個明顯的事證是，Matlab 內建的 LMI 解法器在數值穩定度及運算效率上，很顯然地不如一

些學界學者開發的免費軟體，如 SiDuMi、SDPT3 等。然而，這些最佳化問題解法器的發展，多數來自應用數學界的專家，發展過程並非針對控制系統設計，各家有自定的資料格式，難與 Matlab 相通。因此，為了方便在 Matlab 環境下應用這些最佳化方法於控制系統分析設計，有些來自控制領域的學者針對特定的分析設計方法開發了工具模組，例如 YALMIP [6]、IQC-beta [7]、SOSTOOLS [8,9]、MPT [10]、RoMulOC [11]等等。其中，YALMIP 的發展著重於扮演諸多最佳化問題（不限於 LMI）之解法器與 Matlab 環境之間的介面，近年來已成為一個廣為控制領域學者所知及愛用的工具。

(2) 最佳化在航太系統上之應用

於航太工程中關於最佳化的部分，為了因應未來民航方面的進展，以及未來 Free Flight 的趨勢，許多新穎的應用亦不斷地出現於文獻之中，除了在設計、材料應用上的問題之外，相關的最佳化問題包含了：1.進離場航管流量管制的最佳化；2.航班班表以及機隊規劃的最佳化；3.人員疲勞管理最佳化，以及 4.無人飛行載具相關最佳化控制問題。

在航管部分，以往航管人員的飛行管制均是利用先到先服務的原則，先到先服務雖然應用起來單純但是效率不佳，對於機場有效的空域以及跑道資源無法有效的應用。因此，最佳化的進離場排序問題已是此方面主要的課題，近年來的最佳化問題包含了使用 A*演算法[12]、利用尤拉模型(Eulerian Modeling)將流量問題轉化為一個動態系統，再利用控制理論相關做法進行流量管理[13,14]、以及利用整數規劃法進行最佳進場順序的計算[15]等。在航班班表以及機隊規劃方面，其目的在於安排最適當的班機機型以及時間，讓航空公司的收益為最大。基本的機隊規劃問題是屬於一個龐大的整數規劃的問題[16]而需要花上數個小時的時間來求解，若是再進一步考量維修、轉機等問題的話，問題的規模又更是以倍數在成長的，因此在求解上，以傳統整數規劃法來求解在時程上曠日廢時，因此許多 Heuristic 方法也開始被引進使用，如[17-20]。在人員疲勞管理部分，近年來由於機師操作以及維修工作上的造成的錯誤而產生的事故已受到民航界的注意，國際民航組織 ICAO 也已經開始進行安全管理(Safety Management System, SMS)與疲勞危險管理(Fatigue Risk Management System, FRMS) [21,22]，人員的疲勞主要來源可分為工作負擔帶來的疲勞、班表安排所引起的疲勞，以及個人健康造成的疲勞[23]。而工作負擔以及也會受到班表的影響。因此除了人員健康問題外，人員的疲勞可由班表的安排來加以管理，傳統的工時限制管理方法(Hours of Service)並無法很有效地降低疲勞的增加，因此除了尋求滿足工時及人力需求的限制條件外，尚需要考慮到如何在可行解之中找出員工疲勞最低的班表。無人飛機(UAV)在軍事上的發展已經充份顯示了其多功能性，而在民間用途上也逐步開始展現其能力，如國土觀測以及災害搜求等。然而為了增加 UAV 的靈活以及功用，基本上的問題即是關於路徑規劃(Path Planning)與路

徑追隨(Path Following)的能力[24]，此外尚有關於 UAV 的定位[25]、編隊飛行[26,27]等相關研究課題，均是近年來與最佳化相關之主要的研究項目。

(3) 最佳化與無線感測與中繼網路設計

在無線感測及中繼網路的設計上，節能一直被視作主要的考量點之一，除了在網路層(Network Layer)與媒體存取控制層(Mac Layer)上有許多節能的協議(Protocol)與演算法外，近年來，物理層(Physical Layer)中的節能技術也成為學者熱烈探討的主題。在感測及中繼網路下的物理層技術設計，複雜度是十分重要的考量之一，因此低複雜度的波束成型技術成為重要的研究主題。該技術在易於實作的同時，尚能提供同傳輸端個數等比例成長的功率增益，而且由於個別的感測器及中繼節點皆相當小巧且成本低廉，應用波束成型於此類網路架構便顯得相當適宜。

然而於分散式網路(Distributed Networks)中實現波束成型技術，最重大的瓶頸便是為了達到準確的波束成型，完整且無誤的通道資訊(Channel State Information)是必需的。在低複雜度、且分散的網路中，此通道資訊的取得有許多困難點，不是需要通道相互對稱(Reciprocal)，否則便需要從接收端回饋(Feedback)大量的通道資訊。在目前大多數系統使用 FDD (Frequency Division Duplex)技術的情況下，上傳與下傳通道便不是相互對稱的。而大部分目前系統僅支援有限的回饋。而此一限制促使學者探討，在回饋受限的環境下，是否存在有效率的傳輸方式，也就是說，是否存在有效率的相位調整演算法，使得接收端所收到的信號與雜訊比(Signal-to-Noise Ratio)最大化。

目前大多數的文獻探討此問題主要分為兩個方向：(a)確定性(Deterministic)的相位調整，以及(b)隨機性(Randomized)的相位調整。不論是哪種相位調整方式，皆利用從接收端傳來有限的回饋訊息。大致上來說，確定性的相位調整效率較高、收斂速度較快，但是針對系統或環境的擾動(Disturbance)而言，較不強健(Robust)。相對的，隨機性的相位調整能更強健的應對系統或環境的擾動。

從最佳化的角度來探討此研究主題不難發現，確定性的相位調整問題可對應為一個非凸型(Non-Convex)的最佳化問題。如何以一個非常接近的凸型問題近似此非凸型問題，將是一個有趣的前瞻性問題。由於此問題應用於無線感測及中繼網路的設計上，因此提出的演算法必須本身就是分散式的演算法。這樣的限制，增加了問題的挑戰性。而以有限的回饋訊息，隨機且適性進行相位調整，此問題可以被等效為一個隨機搜尋(Random Search)的最佳化問題。隨機搜尋以數學領域來說，相對的成熟。因此有許多強而有力的數學工具可以使用。此外，也有許多知名的演算法可以應用，例如基因演算法(Genetic Algorithm)以及模擬重結晶法(Simulated Anealing)。如何將既有的隨機搜尋最佳化技巧，應用在此問題上，將是一個十分有趣且具有前瞻性的研究課題。

目前國外研究此問題的研究團隊包括 UIUC、Cornell University、University of California, Santa Barbara、以及 Nokia Research Center 等國際知名的研究團隊，相當受到國際一流學府中研究團隊的關注。但目前於此相關領域發表的研究成果仍有待發掘，因此相當適合國內研究最佳化的學者，進行更深入的探討。

(4) 最佳化在通訊系統上之應用

如何增加傳輸速率以及強化通訊的可靠性一直是通訊系統設計上最大的挑戰。由於低成本與易於實作，多輸入多輸出(Multiple-Input Multiple-Output)的技術在文獻中已被廣泛地探討。然而很少有文獻探討更加普遍的多輸入多輸出網路之特性與設計。尤其在多輸入多輸出干擾通道的環境下的系統設計，更是目前炙手可熱的研究主題，且仍處於其初始階段。在多輸入多輸出干擾通道中，我們有多對的傳送端和接收端。每對收發機上都各自擁有多根傳送與接收的天線，負責將各自的資料傳送出去，但彼此之間會相互干擾。換句話說，每對收發機都各自有自己的目標並相互競爭無線傳輸所需之資源。

從最佳化的角度切入此研究主題，可以將此問題等效為賽局理論(Game Theory)中，多目標函數(Multi-Objective Function)的最佳化問題。當收發端只有兩對時，兩人賽局(Two-Person Game)的架構很適合套用在這情境上。不過在傳統的賽局理論中，需要對自己及其他玩家(Player)的成本(Cost)與報酬(Payoff)的完整資訊。雖然在其他的應用上這要求可能不是太嚴格，但在無線通訊系統中，完整的通道資訊通常是不可得的，使用者們只能獲得部分的通道狀態資訊。因此近年來的研究學者，多針對不完整資訊對非零和賽局(Non-Zero-Sum Game)的影響進行探討，這個令人興奮的新領域相當值得國內學者進行深入的探討。

除此之外，由於多輸入多輸出系統於干擾通道中的分析十分困難。目前多數的研究團隊，大多專注於多輸入單一輸出干擾通道(Multiple-Input Single-Output Interference Channel)的協調式波束成型(Coordinated Beamforming)設計問題。其中，如果假設傳送端只擁有通道統計資訊(Channel Distribution Information)下，給定接收端對傳輸中斷機率(Rate Outage Probability)的要求，並滿足傳輸中斷機率及個別傳輸功率(Individual Power Constraint)的限制下最大化系統效用(System Utility)—如加權總合速率(Weighted Sum Rate)、加權比例公平速率(Weighted Proportional Fairness Rate)及加權調和平均速率(Weighted Harmonic Mean Rate)—等問題，已經受到許多國際團隊的重視。於這類型的問題當中，由於複雜且非凸(Nonconvex)的傳輸中斷機率限制使得考慮的波束成型設計問題變得非常棘手。雖然這個非凸優化問題(Nonconvex Optimization Problem)可藉由完全搜尋(Exhaustive Search)的方式求解，但這種方法只適用於較小的系統。為了處理較大的系統，開發計算複雜度較低的演算法是必要的。因此，如何以凸近似(Convex Approximation)的最佳化工具，設

計有效率的近似方法來處理協調式波束成型問題，將是此領域中最重要的研究課題之一。

目前專注於此研究主題的國際研究團隊包括有 Northwestern University、Hong Kong University of Science and Technology、Linköping University、Dresden University of Technology 等知名研究團隊。可以預見將成為最佳化在通訊系統應用上重要的研究主題。

(5) 適合運用於即時系統之低運算複雜度之最佳化演算法

最佳化理論與技術在控制領域有許多方面的應用，例如離線式(Off-line)的系統識別、控制器設計，與線上式(On-line)的適應控制、模型預測控制等。最佳化理論與技術往往牽涉到數值方法計算複雜度的問題，此方面一直是與基礎控制理論與技術的發展極為相關的重要研究課題。

近年來隨著電子技術進展帶來的電子設備輕、薄、短、小的發展趨勢，即時與/或嵌入式與/或可攜式系統的應用範圍與接受度日益擴增。傳統的最佳化理論與技術通常是假設其計算平台具有相當強大的運算能力，及源源不絕的電能供應，因此發展出來的方法運用於運算能力及可用電能有限的場合時，效能通常不甚理想。近年來史丹福大學 Prof. Boyd 的研究團隊開始注意到這個問題，並已產生一些初步的研究成果[28-31].

參考文獻：

[1] M. Rotkowitz and S. Lall. “A characterization of convex problems in decentralized control.” *IEEE Trans. Automatic Control,* 51(2):274–286, 2006.

[2] C. Y. Kao, A. Megretski and U. Jönsson, “Specialized fast algorithms for IQC feasibility and optimization problems." *Automatica,* 40(2), pp239-252, 2004.

[3] C. Y. Kao and A. Megretski, “On the interior point method for a class of semi-definite programs.” *SIAM Journal on Control and Optimization,* 46(2), p468-495, 2007.

[4] R. Wallin and A. Hansson, “KYPD: a solver for semi-definite programs derived from the Kalman-Yakubovich-Popov lemma.” *Proceedings of 2004 IEEE Symposium on Computer Aided Control Systems Design,* pp1-6, 2004.

[5] R. Wallin, C. Y. Kao and A. Hansson, “A cutting plane method for solving KYP-SDPs.” *Automatica,* 44(2), p418-429, 2008.

[6] J. Löfberg. “YALMIP : a toolbox for modeling and optimization in MATLAB.” *Proceedings of 2004 IEEE Symposium on Computer Aided Control Systems Design,* pp 284-289, 2004.

[7] C. Y. Kao, A. Megretski, U. Jönsson and A. Rantzer. “A MATLAB toolbox for robustness analysis.” *Proceedings of 2004 IEEE Symposium on Computer Aided Control Systems Design,* pp 297-302, 2004.

[8] S. Prajna, A. Papachristodoulou, P. Seiler and P. Parrilo. “SOSTOOLS: Sum of squares optimization toolbox for MATLAB.” Available from http://www.cds.caltech.edu/sostools/

[9] J. Löfberg. “Pre- and post-processing sum-of-squares programs in practice.” *IEEE Trans.*

Automatic Control, 54(5), 1007-1011, 2009.

[10] M. Kvasnica, P. Grieder and M. Baotic. "Multi-Parametric Toolbox." Available from http://control.ee.ethz.ch/~mpt/

[11] D. Peaucelle. "RoMulOC: a YALMIP-MATLAB based robust multi-objective control toolbox." Available from http://www.laas.fr/OLOCEP/romuloc

[12] A. P. Saraf and G. L. Slater, "An efficient combinatorial optimization algorithm for optimal scheduling of aircraft arrivals at congested airports." in Aerospace Conference 2006, IEEE.

[13] A. P. Saraf and G. L. Slater, "Optimal dynamic scheduling of aircraft arrivals at congested airports." *Journal of Guidance, Control, and Dynamics,* 31(1): p. 53-65, 2008.

[14] D. Bertsimas, G. Lulli and A. Odoni, "An Integer Optimization Approach to Large-Scale Air Traffic Flow Management." *Operations Research,* 59(1): p. 211-227, 2011.

[15] T. C. Wang and Y. J. Li, "Optimal Scheduling and Speed Adjustment in En Route Sector for Arriving Airplanes." *Journal of Aircraft,* 48(2): p. 673-682, 2011.

[16] H. D. Sherali, E. K. Bish and X. Zhu, "Airline fleet assignment concepts, models, and algorithms." *European Journal of Operational Research,* 172(1): p. 1-30, 2006.

[17] D. Ambrosino, A. Sciomachen and M. G. Scutella, "A heuristic based on multi-exchange techniques for a regional fleet assignment location-routing problem." *Computers & Operations Research,* 36(2): p. 442-460, 2009.

[18] T. C. Jung and J. Chung, "Airline Fleet Assignment Using Genetic Algorithms." in GECCO2002, 2002 Genetic and Evolutionary Computation Conference 2002: New York. p. 255-262.

[19] P. Ratprasert, T. C. Wang and M. Lohatepanont, "Ant colony optimization aplied on weekly fleet assignment model." in 14th ATRS Conference. 2010. Porto, Portugal.

[20] D. Sosnowska, "Optimization of a simplified fleet assignment problem with metaheuristics: Simulated annealing and GRASP." In: Pardalos, P.M. (Ed.), in Approximation and Complexity in Numerical Optimization: Continuous and Discrete Problems 2000, Kluwer Academic Publishers: Dordrecht, The Netherlands. p. 477-488.

[21] S. E. Lerman et al., "Fatigue Risk Management in the Workplace." *Journal of Occupational and Environmental Medicine,* 54(2): p. 231-258, 2012.

[22] E. Romig and T. Klemets, "Fatigue Risk Management in Flight Crew Scheduling." *Aviation Space and Environmental Medicine,* 80(12): p. 1073-1074, 2009.

[23] P. C. Schutte, "Fatigue risk management: charting a path to a safer workplace." *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy,* 110(1): p. 53-55, 2010.

[24] D. R. Nelson et al., "Vector field path following for miniature air vehicles." *IEEE Trans. Robotics,* 23(3): p. 519-529, 2007.

[25] M. Bryson and S. Sukkarieh, "Observability analysis and active control for airborne SLAM." *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems,* 44(1): p. 261-280, 2008.

[26] Y. F. Zou, P. R. Pagailla and R. T. Ratliff, "Distributed Formation Flight Control Using Constraint Forces." *Journal of Guidance Control and Dynamics,* 32(1): p. 112-120, 2009.

[27] X. H. Wang, V. Yadav and S.N. Balakrishnan, "Cooperative UAV formation flying with obstacle/collision avoidance." *IEEE Trans. Control Systems Technology,* 15(4): p. 672-679, 2007.

[28] J. Mattingley and S. Boyd, "CVXGEN: A code generator for embedded convex optimization,"

Optimization and Engineering, 13(1):1–27, 2012.

[29] J. Mattingley, Y. Wang and S. Boyd, "Receding horizon control: Automatic generation of high-Speed Solvers," *IEEE Control Systems Magazine,* 31(3):52–65, 2011.

[30] J. Mattingley and S. Boyd, "Real-time convex optimization in signal processing," *IEEE Signal Processing Magazine,* 27(3):50-61, 2010.

[31] Y. Wang and S. Boyd, "Fast model predictive control using online optimization," *IEEE Trans. Control Systems Technology,* 18(2):267-278, 2010.

2. 研究方向及具體建議

針對上述幾個研究子題的背景說明，以下提出幾個可能的相關研究方向作為未來發展的參考：

(1) 控制系統設計之最佳化工具模組的發展

綜上所述，以數值最佳化方法進行控制系統的分析與設計，在未來數年仍會是主要的潮流。另一方面，隨著通訊與網路技術的發展，許多子系統透過網路通訊來分工合作，達成共同目標的「網狀控制系統」逐漸成為一個熱門的課題。在不久的將來，我們可預見控制系統將會朝「大型」與「分散式」兩個方向發展。因此，從控制系統的角度而言，最佳化演算法發展的一項重點，乃在於能快速求解此類大型的控制問題。這類控制問題所衍生之最佳化問題一般而言不見得為凸型(Convex)，很多具有雙線性(Bilinear)、結構性限制(Structure Constraints)、或是秩限制(Rank Constraint)等等特殊的結構。由於這些非凸型的特徵，使得求這類問題的全域最佳解成為一件困難之事。因此，針對這類「大型分散式控制系統」問題，一個重要的的研究方向是，找出在何種結構的限制下，問題仍可被凸型化。另一個重要的方向是，在接受問題為非凸型的情況下，如何利用問題特殊的結構，發展出能快速求得一個可接受之次佳解的演算法。再者，任何再優秀的演算法，如果沒有落實成便利的套裝軟體工具，亦難發揮其影響力。因此，針對不同的控制系統分析與設計方法，結合合適之數值演算工具，整合發展套裝軟體工具，亦是一個重要研究發展方向。發展出一套成功的軟體工具所能產生的影響力，是相當深遠的，近年來最成功的一個例子是YALMIP。雖然其主要功能僅是介面，但 YALMIP 已逐漸成為控制領域裡最廣為使用的 Matlab 工具模組之一。

(2) 最佳化在航太系統上之應用

最佳化在許多工程的領域都有相當多的應用，綜觀上述對於近年來在航空工業相關的研究，未來幾年的研究重點包含有：無人飛機最佳化路徑與控制、流量管制、航空工業作業研究等問題。而其中關於作業研究的部分，主要的最佳化問題是以求解整數規劃為主，然而航空業界的問題規模均十分龐大，求解的時間也長達數小時，因此往往來不及應付市場上的變化。整數規劃除

了在作業研究方面有許多的應用，在電路設計、路徑規劃以及武器管理等國防應用等也有十分重要的地位。因為整數規劃本身的解空間是一個離散的集合，所以求解上無法像線性規劃般快速地找出解。也因此，研究快速的整數規劃求解法對於各個領域均有十分重要的價值。目前已可看到使用基因演算法、蟻群演算法、梯度演算法、隨機走動、鄰區搜尋等方法使用於航太相關的最佳化研究之中。在未來的幾年內，如何快速求解此類大型的決策問題應該是主要的研究課題。在飛機控制方面，不論是無人飛機或是一般的飛行載具，在未來 free flight 的趨勢下，勢必要具備自動的障礙迴避以及偵測系統。在美國 FAA 對於稱為 NextGEN 的未來航空管理系統規劃下，飛行載具除了接受 GPS 定位訊號外，尚需使用 ADS-B 來和週遭的飛行進行位置航向等的交換，傳統的航管工作則將落在各個飛機駕駛身上。為了減少駕駛人員的工作負擔，或是為了無人自主飛行載具的研製，甚至無人飛機編隊飛行等應用，此類自動避障系統將會是一個重要的研究課題。針對此種問題，相關的求解方式包含了使用混合整數規劃法(MILP)、類神經網路(Neural Network)、可行區域分析(Reachable Set)等各種不同做法。未來更需要許多有創意的想法與解法來有效率地解決此類問題。而對於近年來受人注意的 FRMS 系統，以現行的規劃仍是利用人員的回報系統來加以管理，而尚無法在事前即能有效地控管人員的疲勞狀況。排工作班表已可以利用整數規劃法來求解，工作的疲勞程度也已經有許多軟體可使用，但是此兩者目前仍無法有效結合在一起，主要是因為疲勞的變化情況複雜，而最佳化求解的模型其系統能應付的問題又很有限，在此部份尚仰賴和醫學以及建模方面的研究輔助，以較簡化的系統來近似疲勞的變化，以和排班系統等加以整合，而能有效管控人員疲勞，建構安全的航空環境。

(3) 最佳化與無線感測與中繼網路設計

針對無線感測與中繼網路中波束成型的設計問題，目前研究主軸仍專注於演算法的提出以及相關的理論分析。著眼於此部分，國際團隊的優勢較不顯著，因此相當適合國內學者進行深入的研究與探討。尤其針對隨機相位調整的研究，可以與基因演算法以及模擬重結晶法的研究相輔相成。此外，隨機相位調整的研究較專注於設計強健且分散式的演算法。因此，可以預期的是，控制理論當中許多與強健系統設計相關的理論與分析，應可於相關分析中，發揮重大的成效。當然，理論分析出來的演算法的實現，也是相關研究重要的一環。如國內學者對此部份研究有興趣，建議整合多位學者的研究動能與資源共同進行。目前 Cornell University 以及 University of California, Santa Barbara 已經針對相關演算法的實現建立大規模的測試平台，國內學者可參考相關設計概念。

(4) 最佳化在通訊系統上之應用

最佳化在通訊系統上的應用十分廣泛，目前較熱門的研究主題即是結合多輸入多輸出技術應

用於干擾通道上的相關問題。研究主軸主要著重於結合賽局理論、凸型最佳化理論等最佳化相關研究。現階段大多研究仍專注於演算法的提出與理論分析，系統的實作層面仍尚未有所著墨。然而在現今通訊系統資料傳輸量與日俱增的趨勢下，目前將不同使用者的傳輸通道正交化(Orthogonalization(的通訊系統（如 TDMA、FDMA、CDMA、OFDM 等系統）遲早將無法負荷。因應此趨勢，容忍使用者之間相互的干擾，但又能有效的將干擾減到最低的系統勢必應運而生。因此在干擾無線網路的研究中取得先機，將成為是否能夠於下一個階段無線通訊世代中取勝的關鍵。因此，建議國內學者應先針對理論分析部分加以深入的探討，待時機成熟後於系統設計以及實現部分才能取得先機。

(5) 適合運用於即時系統之低運算複雜度之最佳化演算法

即時與/或嵌入式與/或可攜式系統於控制系統有多種的應用（如智慧型可攜式裝置，汽車電子，智慧型機器人等），計算平台也有相當多種不同的型式(如 DSP vs. CPU, FPGA vs. ASIC 等)，針對特定的搭配組合，研究開發適合之最佳化理論與技術。

國科會工程處控制學門規劃主題

『能源工程科技之控制技術』規劃摘要

規劃主題架構表

規畫主題：能源工程科技之控制技術

召 集 人：林法正教授、魏榮宗教授

規畫委員：謝旻甫教授、李嘉猷教授、姚立德教授、鄭博泰教授、李永勳教授、王醴教授、林伯仁教授、李贊鑫教授、曾仲熙教授、江青瓚教授

前言

由於全球氣候變遷問題日益升高，各國家紛紛提倡低碳經濟，以節能減碳為核心，進行能源使用效率提升，並發展可再生能源。因此結合潔淨能源之智慧型微電網之發展成為目前能源科技工程研究主流，**智慧**型微**電網**是屬於分散式發電系統，其設備容量一般較小，大部分會與電力公司配電系統併聯，或輔以**儲能系統**達成穩定供電，且其系統大都利用潔淨能源協助供電達成環保效益，最主要可在台電系統發電量不足或是故障時，提供特定負載之緊急用電，該系統與電力公司配電併聯後對於整個電力可靠度、供電品質以及能源效率有正面影響。然而潔淨能源輸出電力較不穩定且大都為直流電源，即使為交流電源亦為非定頻電源，該原始電力型態無法直接應用於智慧型微電網，因此電力電子研究領域發展之電源轉換器為潔淨能源應用不可或缺之部份，一般電力調節器由**直流/直流轉換器**與**直流/交流變流器**串接構成，可接收潔淨能源裝置(如太陽能板模組、燃料電池、等)之變動低壓輸出直流電壓並依實際需求轉換為交流電壓作獨立供電或併聯網絡使用。**一般電力電子之控制多採用類比之比例積分控制器，在電源轉換及程序控制需要增加週邊電路，且潔淨能源輸入電壓範圍變動大，傳統控制器並不能具備控制設計彈性及確保全域系統穩定，導致能源工程科技之控制技術的開發與研究更加顯得刻不容緩**，因此本研究規劃著重於五大主題，包含能源系統直流電力轉換裝置控制、能源系統交直流與直交流轉換裝置控制、智慧電網控制、儲能系統控制及新興能源控制。

規畫子題：<u>1. 能源系統直流電力轉換裝置控制(林伯仁教授、李嘉猷教授)</u>

a. 高性能直流/直流轉換器控制技術

b. 適應性雙向直流轉換器控制技術

c. 智慧型最大功率擷取控制技術

d. 高效率直流漣波補償控制技術

e. 低耗能轉換器控制晶片研製技術

一、摘要

直流電力轉換裝置發展歷史悠久，但大都以電力電子拓樸改良以增進系統轉換效率，較少以控制工程角度切入探討系統控制性能以及融入相關能源特性設計，能源系統直流電力轉換裝置控制子題除強調**高性能直流/直流轉換器控制技術開發**，因部分潔淨能源(例如太陽能或風能)屬於間歇性發電裝置，為穩定供電，儲能系統為其不可或缺元件，因應儲釋能需求，因此**適應性雙向直流轉換器控制技術**亦為關鍵技術之一；另一方面，取之不盡用之不竭之能源，為使其功能發揮極致，因此**智慧型最大功率擷取控制技術**顯得更為重要。一般電力調節器由直流/直流轉換器與直流/交流變流器串接構成，由於直流/交流變流器動作時，使得高壓匯流排產生二倍於輸出交流頻率之電壓漣波，且電流亦存在低頻漣波污染現象，此低頻電流漣波成分會經由直流/直流轉換器傳遞至潔淨能源裝置之輸出端，形成該裝置須額外承受之負載，縮短潔淨能源裝置之使用壽命，因此**高效率直流漣波補償控制技術**成為一關鍵技術。為確保執行相關控制策略彈性、減少控制器耗能及縮小控制器體積，因此**低耗能轉換器控制晶片研製技術**亦為規劃重點之一。

二、國外研究概況

高性能直流/直流轉換器控制技術上，為提昇轉換器整體性能，常見技術如數位化控制、同步整流開關控制、橋式電路相移控制、多相電路均流控制及多階型轉換器等技術。美國維吉尼亞科技大學李澤元教授則針對 LLC 諧振轉換器用同步整流機制提出一新型控制技術[1]。中國南京航空航天大學阮新波與嚴仰光教授將零電壓與零電流切換應用至全橋式直流/直流轉換器，另外亦整合柔性切換與多階型轉換器控制技術發展出柔切式三相三階直流/直流轉換器[2-3]。其中，如轉換器數位化控制及多相均流控制亦有甚多團隊提出研究成果[4-5]。

適應性雙向直流轉換器控制技術方面，美國 Ballard Power Systems 公司針對高功率應用提出一具柔性轉向控制之隔離型全橋式雙向直流轉換器，其中以柔性轉向技術控制電感器電流轉向特性，降低轉換器中緩震電路之電壓額定，即可使用較為簡單之被動式緩震電路達成相同目的[6]。日本東京工業大學 Akagi, Hirofumi 教授亦在研究成果中肯定雙向直流轉換器控制技術之重要性，並將雙向直流轉換器視為未來能源系統發展中之關鍵裝置，其中若是可搭配碳化矽與氮化鎵半導體元件設計，將能使轉換器獲得更高效能[7]。

另一方面，取之不盡用之不竭之能源，為使其功能發揮極致，因此**智慧型最大功率擷取控制技**

術顯得更為重要。韓國嶺南大學 Dong-Choon Lee 教授運用向量回歸方式估測風速發展一套應用於風力發電系統之最大功率擷取控制技術，透過離線訓練建立風力發電系統之模型，最後運用此模型即可於風機實際操作時估測其風速達到最大功率擷取之目的[8]。日本東京都立科學技術大學 Takayoshi Inoue 教授提出可針對天氣情況修改參數之太陽能光伏發電系統用最大功率擷取控制技術，即時搜尋系統在天氣情況變動下之最佳化參數，改善傳統最大功率擷取控制技術對於天氣情況變動導致最佳工作點偏移之問題[9]。

為降低潔淨能源裝置受漣波污染並延長使用壽命，**高效率直流漣波補償控制技術**亦為發展重點之一。美國加州歐文大學馬教授提出一具零電流漣波架構之諧振式直流轉換器，此架構中因對稱性電壓，使轉換器輸入與輸出電流皆具有零漣波且與負載及頻率變動較不敏感之特性[10]。中國浙江大學何湘寧與李武華教授針對兩組高轉換比昇壓型直流轉換器提出具零電壓轉向交錯式控制技術，其中此轉換器之特點在於主要開關與副屬開關元件皆具有零電壓轉向之特性，並且次級側二極體逆向回復問題亦能因交錯式控制所需耦合電感而降低[11]。

低耗能轉換器控制晶片研製技術上，加拿大多倫多大學 Zhenyu Zhao 教授針對高頻低耗能直流/直流轉換器提出一數位化連續即時處理電壓型控制器，運用快速電壓回復機制與連續即時處理輸出電壓達成高效率[12]。美國科羅拉多大學 A. Zirger 教授應用新型架構包含 A/D 轉換器、補償器與數位化脈寬調變器實現一高頻直流/直流轉換器用控制晶片[13]。Olivier Trescases 教授著重在數位/類比轉換器之研究，提出一數位化混合信號電流型控制晶片於低耗能直流/直流轉換器[14]。

三、國內研究概況

國內在**高性能直流/直流轉換器控制技術**研究上亦提出相當多成果。台灣科技大學劉添華教授提出兩種新型同步整流技術之順向式直流電力轉換器，此轉換器運用兩種同步整流技術均可消除因傳統次級側二極體逆向回復特性所產生之電壓突波，使轉換器達到高性能之目的[15]。台北科技大學賴炎生教授提出不需額外附屬元件之全橋式轉換器相移控制技術，主要在於降低相移式全橋轉換器在輕載與待機模式下之功率損耗[16]。

雖然國內在潔淨能源發電系統較國外發展慢，但針對**適應性雙向直流轉換器控制技術**方面卻仍有相當不錯之成果。清華大學潘晴財教授針對燃料電池與蓄電池整合系統發展一新型零電壓切換雙向直流/直流轉換器，相較傳統雙向橋式直流轉換器使用元件較少，提供低成本、重量輕及高可靠度之優點[17]。台灣科技大學邱煌仁教授亦發展出一燃料電池電動車用雙向直流轉換器，能夠適用於不同特性之燃料電池[18]。輔仁大學李永勳教授提出應用於串接電池平衡控制之雙向直流電力轉換器，並且透過準諧振式零電流切換降低開關元件導通損失來提高整體轉換器效率[19]。

智慧型最大功率擷取控制技術於國內發展較為成熟，甚多研究成果均被各學界團隊或廠商所採用。其中如清華大學潘晴財教授提出一微型風力發電系統用適應性補償機制無感測器最大功率擷取

控制器，透過適應性補償控制可以使系統動態響應獲得更佳效果，並且生產成本亦可藉由無感測器之特點而降低[20]。雲林科技大學華志強教授亦發展一套運用 DSP 之陣列型太陽能光伏發電系統用線上型最大功率擷取控制器[21]。

國內在**高效率直流漣波補償控制技術**上著墨較多之研究團隊如雲林科技大學林伯仁教授發表甚多漣波補償控制技術上之成果。其中提出將主動式交錯控制技術運用在零電壓切換直流轉換器，並採用主動箝位輔助電路降低開關元件電壓應力及回收轉換器中變壓器漏感之能量[22-23]。另外亦在具零電壓切換特性之雙開關順向式轉換器中以倍流整流技術達到漣波消除之目的[24]。台灣科技大學呂錦山教授亦提出一種新型漣波補償架構運用在高電壓增益雙電感昇壓型轉換器上，此種轉換器具有高頻、高效率及高電壓增益之特性，非常適用於潔淨能源發電系統上[25]。

國內亦相當重視**低耗能轉換器控制晶片研製技術**方面之發展。成功大學梁從主教授即提出一具低耗能模式之電流型脈寬調變控制晶片，透過在不同負載條件下調變不同頻率來達到高效率低耗能之目的，並且此晶片同時包含了軟啟動、斜率補償及過電壓保護等功能[26]。另外亦針對功因修正轉換器提出單周期控制機制之控制晶片[27]。海洋大學葉美玲教授研製出具寬輸出電流範圍降壓型直流/直流轉換器用雙調變模式控制晶片，此晶片同時具有脈寬與頻率兩種調變技術，並且當負載條件不同造成輸出電流範圍較寬時，將可透過切換兩種調變模式符合輸出負載需求[28]。台灣科技大學秋煌仁教授針對昇壓型功因修正轉換器提出雙模式調變控制器，採用連續與邊界導通互相切換模式，適用於個人電腦電源供應器之負載變動條件，並可在負載較輕時得到較高效率[29]。

四、各子題摘要(含分項子題簡述)

a. 高性能直流/直流轉換器控制技術

近年來市場對個人電腦、通訊及可攜式 3C 電子產品等需求與日俱增，各類產品皆以高性能、低功耗、響應快、功能強、重量輕和體積小作為產品特色相互競爭，相對造成電源供應裝置性能需作提昇。為滿足現今市場需求，高性能直流/直流電力轉換器必須具備；當轉換器參數如輸入電壓或負載變化時，仍保有相對穩定度；輸出入電壓與電流漣波應被限制於合理範圍內；符合各國安規、電磁干擾及電磁耐受度等相關規範。故如何運用相關技術有效控制轉換器達成高性能需求已然成為國內外持續討論之議題。在潔淨能源發電系統應用上，因系統所產生之電能必須再經過處理，過程中高性能直流/直流轉換器係為重要裝置之一，主要關鍵技術發展項目包含開關柔性切換、數位化控制技術、同步整流開關控制、相移橋式電路控制、多相電路均流控制及多階型轉換器控制技術等。

b. 適應性雙向直流轉換器控制技術

全球暖化、石油危機等環保議題促使近年來潔淨能源發電系統發展迅速，其中涵括了有太陽

能、風能、水力、生質能以及地熱等不同天然資源。主要特色在於短時間內所提供能量無消耗殆盡之虞，且系統發電過程中對環境汙染程度相對較低。此種發電系統雖有上述優點，唯因發電能量密度低且易受限於環境變化，致使發電過程中穩定度較低。系統為調節負載能量需採用儲能元件，此時具雙向導通能力之直流電力轉換器即係為關鍵裝置。與傳統轉換器不同於正常操作時並無特定輸入與輸出端，導通方向與操作模式係根據工作電流流向決定，即係具有允許雙向導通、雙向功率潮流之特性。例如，當發電系統所產生電能高於負載使用額度時，額外電能得以透過雙向直流電力轉換器儲存於系統儲能元件。反之，倘若發電系統因環境變化而導致發電量不足時，系統便需透過雙向直流電力轉換器將儲能元件能量釋放至負載。以部分潔淨能源發電系統發展應用區分，發展項目建議如水平或垂直葉片式風力發電系統用、太陽能光伏轉換發電系統用、質子交換膜燃料電池發電系統用與電池模組充放電測試系統用。若是以功能性具體發展項目如數位化雙向功率潮流控制、高增益高昇降壓轉換比率、多相多組並聯式模組調控技術及具殘電量偵測與電源管理技術。

c. 智慧型最大功率擷取控制技術

鑑於部分潔淨能源發電系統如太陽能或風能，易受周遭環境變化及輸出負載變動影響，使其系統工作點偏移致使整體發電效率降低，為使潔淨能源發電系統功能發揮極致，智慧型最大功率擷取控制技術便扮演重要角色。最大功率擷取即係尋找系統最佳工作點，藉其將系統控制於最佳工作點上，而得以提昇整體系統發電效率。目前已有甚多文獻發表，但傳統最大功率擷取控制技術響應速度較慢，且對系統參數變化適應能力較差。俾改善其響應速度與精準度後，得逕於獲得系統最佳發電效率。延伸研究項目如多功能整合最大功率擷取策略、提昇現有控制技術之響應速度、複合式最大功率擷取控制技術及高強健性之最大功率擷取技術。

d. 高效率直流漣波補償控制技術

現今切換式電力轉換器藉由開關元件切換來獲得比傳統線性轉換器更高之轉換效率，然其因開關元件高速切換而易產生高頻漣波。實際應用則易衍生如電磁干擾、輸出電壓品質低、暫態響應差與轉換效率低等甚多問題，倘使潔淨能源發電系統存在電流漣波，即係形成該系統需承受之額外負載，縮短系統壽命。傳統漣波消除技術可概分為被動式及主動式，被動式漣波消除技術普遍通用性較低，主動式則具架構較複雜且需額外控制電路之問題。為改善傳統直流漣波補償控制技術功耗、通用性及適應性問題，研究項目簡要可概分為新型被動式直流漣波補償架構、多相模組交錯式漣波補償及單轉換器用主動式直流漣波補償。

e. 低耗能轉換器控制晶片研製技術

直流電力轉換器以其轉換效率高，操作電壓範圍寬，體積小而被廣泛運用至甚多場合如能源系

統、家電用品與可攜式電子產品等。隨環保意識高漲，市場對低耗能應用產品之需求增加，故如何使轉換器既無多餘能量消耗且具高效能，已然成為生產公司關鍵設計考量因素之一。直流電力轉換器正常操作於待機模式仍會消耗部分能量，為確保執行相關控制策略彈性、減少控制器耗能、縮小控制器體積及符合相關規範，近年來國內外亦相繼投入此領域開發低耗能轉換器控制晶片研製技術。例如具備 Green Mode 之控制晶片，透過低啟動電流、低工作電流及變頻操作，得以讓電力轉換器進入待機模式時維持較低耗能。針對間歇性潔淨能源發電系統而言，長時間待機可能性較高，為使潔淨能源發電系統成為主流電力來源，降低系統耗能，既節省無謂能量消耗且確保發電系統運作之可靠度。所規劃之關鍵性技術，不僅係為國內產業所欠缺，亦是熱門研究主題之一。對於低耗能這個未來主要發展趨勢，可分別由軟硬體同時進行改善，相互配合達到最大節能效益。主要研究項目如轉換器硬體架構設計、晶片開發工具組分析、低耗能晶片排程方法、智慧型功率調控技術及新製程整合控制晶片。

參考文獻

[1] F. C. Lee *et al*., “A novel driving scheme for synchronous rectifiers in LLC resonant converters,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 24, no. 5-6, pp. 1321-1329, May-Jun. 2009.

[2] L. Q. Zhou *et al*., “A novel zero-voltage and zero-current-switching PWM full-bridge converter using two diodes in series with the lagging leg,” *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 48, no. 4, pp. 777-785, Aug. 2001.

[3] L. Q. Zhou *et al*., “Soft-switching PWM three-level converters,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 16, no. 5, pp. 612-622, Sep. 2001.

[4] G. Feng *et al*., “A new digital control algorithm to achieve optimal dynamic performance in DC-to-DC converters,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 22, no. 4, pp. 1489-1498, Jun. 2007.

[5] H. Mao *et al*., “Multi-phase voltage-mode hysteretic controlled DC-DC converter with novel current sharing,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 19, no. 6, pp. 1397-1407, Nov. 2004.

[6] L. Z. Zhu, “A novel soft-commutating isolated boost full-bridge ZVS-PWM DC-DC converter for bidirectional high power applications,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 21, no. 2, pp. 422-429, Mar. 2006.

[7] H. Akagi *et al*., “A bidirectional isolated DC-DC converter as a core circuit of the next-generation medium-voltage power conversion system,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 22, no. 2, pp. 535-542, Mar. 2007.

[8] D. C. Lee *et al*., “MPPT control of wind generation systems based on estimated wind speed using SVR,” *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 55, no. 3, pp. 1489-1490, Mar. 2008.

[9] T. Inoue *et al*., “A method for MPPT control while searching for parameters corresponding to weather conditions for PV generation systems,” *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 53, no. 4, pp. 1055-1065, Aug. 2006.

[10] K. Smedley *et al*., “A resonant DC-DC transformer with zero current ripple,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 22, no. 6, pp. 2344-2351, Nov. 2007.

[11] X. He *et al*., “ZVT interleaved boost converters for high-efficiency, high step-up DC-DC conversion,” *IET Electric Power Appl*., vol. 1, no. 2, pp. 284-290, Mar. 2007.

[12] Z. Y. Zhao *et al*., “Continuous-time digital controller for high-frequency dc-dc converters,” *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 23, no. 2, pp. 564-573, Mar. 2008.

[13] A. Zirger *et al*., "High-frequency digital PWM controller IC for DC-DC converters," *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 18, no. 1, pp. 438-446, Jan. 2003.

[14] O. Trescases *et al*., "Digitally controlled current-mode DC-DC converter IC," *IEEE Trans. Circuits Syst. I, Reg. Papers*, vol. 58, no. 1, pp. 219-231, Jan. 2011.

[15] T. H. Liu *et al*., "Design and implementation of a novel synchronous-rectifier forward converter with improved performance," *J. Electron*., vol. 97, no. 8, pp. 927-943, 2010.

[16] Y. S. Lai *et al*., "Switching control technique of phase-shift-controlled full-bridge converter to improve efficiency under light-load and standby conditions without additional auxiliary components," *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 25, no. 4, pp. 1001-1012, Apr. 2010.

[17] F. Z. Peng *et al*., "A new ZVS bidirectional DC-DC converter for fuel cell and battery application," *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 19, no. 1, pp. 54-65, Jan. 2004.

[18] H. J. Chiu *et al*., "A bidirectional dc-dc converter for fuel cell electric vehicle driving system," *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 21, no. 4, pp. 950-958, Jul. 2006.

[19] Y. S. Lee *et al*., "Quasi-resonant zero-current-switching bidirectional converter for battery equalization applications," *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 21, no. 5, pp. 1213-1224, Sep. 2006.

[20] C. T. Pan *et al*., "A novel sensorless MPPT controller for a high efficiency microscale wind power generation system," *IEEE Trans. Energy Convers*., vol. 25, no. 1, pp. 207-216, Mar. 2010.

[21] C. Hua *et al*., "An on-line MPPT algorithm for rapidly changing illuminations of solar arrays," *J. Renewable Energy*, vol. 28, no. 7, pp. 1129-1142, Jun. 2003.

[22] B. R. Lin *et al*., "Novel interleaved ZVS converter with ripple-current cancellation," *J. Circuit Theory Appl*., vol. 37, no. 3, pp. 413-431, Apr. 2009.

[23] B. R. Lin *et al*., "Interleaved ZVS converter with ripple-current cancellation," *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 55, no. 4, pp. 1576-1585, Apr. 2008.

[24] B. R. Lin *et al*., "Novel zero voltage switching dual-switch forward converter with ripple current cancellation," *IET Electric Power Appl*., vol. 1, no. 5, pp. 799-807, Sep. 2007.

[25] C. S. Leu *et al*., "A novel dual-inductor boost converter with ripple cancellation for high-voltage-gain applications," *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 58, no. 4, pp. 1268-1273, Apr. 2011.

[26] T. J. Liang *et al*., "Design of one-cycle control power factor correction IC with unipolar supply voltage," *in Proc. IEEE ISCAS*, 2009, pp. 3078-3081.

[27] T. J. Liang *et al*., "Design of a green mode PWM control IC," *in Proc. IEEE APCCAS*, 2008, pp. 1876-1879.

[28] M. L. Yeh *et al*., "A high efficiency dual-mode buck converter IC for portable applications," *IEEE Trans. Power Electron*., vol. 23, no. 2, pp. 667-677, Mar. 2008.

[29] H. J. Chiu *et al*., "A dual-mode controller for the boost PFC converter," *IEEE Trans. Ind. Electron*., vol. 58, no. 1, pp. 369-372, Jan. 2011.

規畫子題：<u>2. 能源系統交直流與直交流轉換裝置控制(鄭博泰教授、李贊鑫教授)</u>

a. 交/直流轉換裝置控制

b. 直/交流轉換裝置控制

a. 交/直流轉換裝置控制

一、研究動機

交/直流轉換器又稱為整流器(Rectifier)[1]用以供給穩定的直流電源，廣泛地應用於電子裝置的電源、家用電器、電池充電、直流馬達、風力發電機整流及交流馬達的速控系統。使用簡單橋式單相或三相整流器可將電能由交流轉換為直流，但是造成的電流諧波干擾及虛功，對電力系統造成污染，間接對其他電機及電子設備造成相當程度的危害。諧波電流注入電力系統，不但會使電力傳輸之效率降低且影響供電品質及電力系統穩定性。

理想的交/直流轉換器提供穩定的直流電源給負載，並在交流供電端維持輸入交流電流為無失真的正弦波且與電壓同相(即單位功因)。此外，在能源日益匱乏的今天，為有效利用能源，電力設備需要交/直流轉換器具備再生(Regenerating)的能力[2]，以便將多餘的動能回饋至電力系統的儲能設備。使用波寬調變型(Pulsewidth Modulated, PWM)交/直流轉換器藉由改變電力開關的切換來達到穩壓、單位功因及能量再生的目的，已逐漸成為主流。

波寬調變交/直流轉換器依輸入電源類型可區分為單向及三相交/直流轉換器[1-3]，架構上單相交/直流轉換器常採用單個開關配合橋式整流。為達穩壓及單位功因，因此控制命令包含弦波。而三相升壓型交/直流轉換器在平衡三相輸入電源的條件下，系統模式可經坐標轉換而成為兩個輸入兩個輸出的系統且穩壓及單位功因的控制問題簡化為設定點(Set Point)控制問題[4, 5]。

二、國外研究概況

目前國外的研究主要在電路架構及其控制的探討，在電路架構上，以改良電路拓樸及波寬調變策略朝簡單化、高效率及性能最佳化發展。在控制方法上已有許多非線性及智慧型控制發表如: Flatness-Based [5]、回授線性化[4, 5]、滑動模式、被動式[6]、Lyapunov 控制及模糊控制[7]等，控制技術已日趨成熟。目前的新興的研究主題已朝向: 1. 在不平衡三相輸入電源條件下，系統動態模型探討及控制法則開發[8]； 2.簡化電路架構下的波寬調變策略發展及其控制法則開發。此外，為達到低失真的目標，有關三階層波寬調變交/直流轉換器[9, 10]系統建模及控制方法亦是焦點之一。

三、國內研究概況

在國內，此領域的研究主題亦涵蓋電路架構創新與新型波寬調變控制策略研發等。新型電路架構的研發除電路拓樸改良外，亦建立系統動態模式並設計適當控制器穩定輸出電壓。在控制策略方面，以使用二階層波寬調變策略的轉換器為主。近年來陸續有輸出入線性化、步階迴歸適應控制、非線性 H∞強健控制及滑動模式等方法的應用，少部分研究亦朝考慮不平衡三相電源輸入時，系統動態模型的分析與實功及虛功率控制。

四、研究方向及具體建議

1. 高性能單相 PWM 交/直流轉換器：提出新型或改良之電路架構，建立動態模型與研發波寬調變策略，降低直流電壓漣波，提高功因。
2. 高性能三相 PWM 交/直流轉換器：(1)提出新型或改良之電路架構，建立動態模型與研發波寬調變策略。(2)針對現有架構，分析系統動態模型，提出新型波寬調變策略，降低電流諧波，提升系統動態性能及穩定性。
3. 考慮不平衡三相輸入之高性能三相 PWM 交/直流轉換器：提出新型或改良之電路架構，建立動態模型與研發新型波寬調變策略，降低直流電壓漣波，提高功因。
4. 三階層三相 PWM 交/直流轉換器：針對現有架構，分析系統動態模型，提出新型波寬調變策略，降低電流諧波，提升系統動態性能及穩定性。

b. 直/交流轉換裝置控制

一、研究動機

直流/交流轉換器又稱為反流器(Inverter)，可將各種型式的直流電源(如蓄電池、交流電經整流後的輸出、太陽能板或燃料電池的輸出等)轉換為交流電源。經轉換後的交流電可併入市電或當作交流電源用以驅動馬達或供給各種交流負載使用。因此，直流/交流轉換器的應用廣泛，目前熱門的領域為再生能源，微電網及工業應用等領域。以下針對這些領域作一簡要說明。

再生能源：國內產業在太陽能光伏反流器及小型風力發電系統的國際市場佔有一席之地，產品主力為數十千瓦(kW)以下的市電並聯型反流器系統。太陽能光伏反流器及小型風力發電系統的控制器核心包括最大功率追踪(Maximum Power Point Tracking, MPPT)[11]以及直流-交流轉換器的脈寬調變及市電側交流電流控制。

微電網應用：微電網[12, 13]是國家能源計畫中的重要發展項目之一。微電網能夠有效整合各種分散式發電源(如微渦輪，燃料電池，生質能等)，透過直流/交流轉換器整合至交流電系統。為了兼顧網內的供電品質以及整體效率，微電網多半以市電並聯模式運轉。但是當市電系統發生異常狀況時，微電網必須與市電系統解聯，以孤島運轉的方式維持微電網內的供電，以確保供電品質。由於微電網內可能有許多組直流/交流轉換器同時運轉，這些轉換器的並聯運轉控制是近年來研究的重點。

工業應用：主要用於交流馬達驅動系統的運動控制，依運轉方式分為線性及旋轉型兩種[14]。在此領域長期都有研究人員投入，工業上常用交流馬達種類有感應、無刷、永磁同步及開關磁阻等。近年來以線性交流馬達及永磁式馬達[15]的驅動系統較為熱門。

二、國外研究概況

再生能源：太陽能光伏反流器及小型風力發電系統為研究大宗，太陽能板最大功率點追蹤(簡稱 MPPT)結合反流器併入市電或微電網為主要議題。MPPT 傳統以擾動觀察法(P&O)、增量電導法與斜率攀爬法[11]等為主。近年的主要研究方向則朝向考慮日照不足的情況下的 MPPT 控制[16]及引進適應性及智慧型運算法[17, 18]增進系統性能。

微電網應用：研究方向包括主從式(Mater-Slave)以及自主式(Autonomous) 等兩種控制架構。自主式控制的發展目標是讓微電網內的轉換器能夠在沒有通訊的狀況下達成並聯運轉，以提高微電網的可靠度，因此自主式控制的議題吸引了許多研究者的參與。自主式控制[19]多半以 Power-Frequency Droop Control 以及 Reactive Power Voltage Droop Control 分別控管 DC/AC 轉換器的實功率以及虛功率輸出，近年來針對這些 Droop Control 的探討與改善有相當多的論文發表，控制法則以比例-積分控制為主[20, 21]。為提升穩定性與動態性能，近幾年來，高等控制理論(Predictive 控制[22]Lyapunov-Based 控制[23])已有應用的研究報告發表。

工業應用：直流/交流轉換器為交流馬達驅動系統的運動控制的核心裝置[24]，已經歷一段時期的蓬勃發展。期間許多傳統或現代的控制法則皆有應用實例，藉以改善系統的性能，增進穩定性及強健性，控制技術日趨成熟。為朝節能省電，降低成本，增進可靠度，近年則朝無感測器驅動控制發展，因此已有學者引進模式預測控制(Model-Based Predictive Control)及智慧型控制法(如模糊、類神經網路及基因演算法等)。在架構上，採用三階層 (Three-Level)[25]或三相四開關反流器[26]的馬達驅動系統亦逐漸成為熱門研究領域。

三、國內研究概況

再生能源：研究方向包含智慧型(如模糊、類神經網路、基因演算法等)MPPT 控制、併網型太陽能光伏反流器等。在反流器的控制方法上，主要採用鎖相迴路及傳統比例積分控制。

微電網應用：研究方向以自主式控制架構為主，研究成果包含實-虛功率解耦控制、不平電流補償控制等。在實功率以及虛功率的控制方法上，主要採用傳統比例-積分控制。

工業應用：交流馬達控制系統的研究已朝線性馬達、採無感測器控制及應用三階層反流器發展。研究學者眾多，遍及控制，電力電子、機械及自動化等領域。此外，順應節能的風潮，整合式(包含功因補償[27]及煞車動能回收[28])的交流馬達控制系統，亦為重要的發展方向。

四、研究方向及具體建議

1. 太陽能光伏發電系統控制：系統通常由太陽能板、直流升壓轉換器及反流器所組成，架構設計與系統動態模式的建立是一重要課題。另外，為提升動態性能，整合 MPPT、直流升壓轉換器及反流器的控制，為一具實務性與前瞻性的研究方向。 目前文獻多採雙迴路控

制架構搭配線性控制器，在考量轉換器的非線系特性下，已有學者採用非線性適應控制法[23]，提升穩定性與動態性能，預期其他高等或智慧型控制法，將有發揮的空間。

2. 併網型綠能發電系統控制：在並聯運轉的考量下，為使電能有效地運用，不平電流補償控制、實功及虛功控制等為重要關鍵技術。在不平衡三相格網電壓(Grid Voltage)的情況下[29]，現有的控制器可能無法勝任，需要研發新型的控制法則，減少電流失真。
3. 三相四開關反流器的動態模型分析與新型波寬調變策略研發：常用的三相反流器由六個電力開關組成。為節能省電，降低成本，增進可靠度，在許多反流器的應用場合，已改採使用四個開關的反流器。由於電力開關減少，傳統的波寬調變策略容易產生三相不平衡及電壓失真，因此有必要引進發新型的控制策略，如被動式(Passivity)、滑動模式及非線性適應控制等，從不同觀點對系統進一步分析，改善上述的缺失，並作為應用此型反流器於綠能發電、不斷電裝置及馬達驅動等系統的參考。
4. 三階層波寬調變直/交流轉換器：提出新型或改良之電路架構，研擬新型波寬調變策略，提升系統動態性能及穩定性。
5. 無感測器交流馬達控制系統：提出新的估測速度或位置的方法，提高系統的精確性與強健穩定性。
6. 具功因補償的交流馬達控制系統：交流馬達控制系統的電源效率不高，常為人所詬病。為改善這項缺失，在三相或單相電源端與馬達驅動系統之間串入 PWM 交/直流轉換器構成具功因補償的交流馬達控制系統。此系統利用波寬調變策略，使系統具高功因且低諧波電流之特性。在交流馬達控制方法上，搭配現有磁場導向(FOC)或直接轉矩(DTC)皆有文獻探討。由於系統架構複雜度提高，動態模式的建構與新型控制方法的研發為重要課題。
7. 具煞車動能回收的交流馬達速控系統：在節能風潮概念推動下，馬達減速煞車時所釋放的動能，透過直/直流轉換器對蓄電池充電加以回收。常見的應用場合如電梯、纜車及電動車等，控制的目標主要考量系統的穩定性及適當的充電控制策略，延長蓄電池的壽命。由於系統架構複雜度提高，動態模式的建構與新型控制方法的研發為重要課題。

參考文獻

[1] B. Singh, B. N. Singh, A. Chandra, K. Al-Haddad, A. Pandey and D. P. Kothari, “A review of three-phase improved power quality AC–DC converters,” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 51, pp. 641- 660, June 2004.

[2] J. R. Rodriguez, J. W. Dixon, J. R. Espinoza, J. Pontt, and P. Lezana, “PWM regenerative rectifiers: state of the art,” *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 52, pp. 5-22, Feb. 2005.

[3] F. Giri, A. Abouloifa, I. Lachkar and F. Z. Chaoui, “Formal framework for nonlinear control of PWM AC/DC boost rectifiers-controller design and average performance analysis,” *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 18, No. 2, pp. 323-335, March 2010.

[4] T.-S. Lee, “Input-output linearization and zero-dynamics control of three-phase AC/DC

voltage-source converters," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 18, No. 1, pp. 11-22, Jan. 2003.

[5] A. Gensior, H. Sira-Ramirez, J. Rudolph and H. Guldner, "On some nonlinear current controllers for three-phase boost rectifier," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 56, No. 2, pp. 360-5370, Feb. 2009.

[6] M. Perez, R. Ortega and J. Espinoza, "Passivity-based PI control of switched power converters," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 12, No. 6, pp. 881-890, Nov. 2004.

[7] C. Cecati, A. Dell'Aquila, A. Lecci and M. Liserre, "Implementation issues of a fuzzy-logic-based three-phase active rectifier employing only voltage sensors," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 55, No. 2, pp. 378-385, April 2005.

[8] X. H. Wu, S. K. Panda and J. X. Xu, "Design of a plug-in repetitive control scheme for eliminating supply-side current harmonics of three-phase PWM boost rectifiers under generalized supply voltage conditions," *IEEE Trans. on Power Electronics,* Vol. 25, No. 7, pp. 1800-1810, July 2010.

[9] B.-R. Lin and T.-C. Wei, "Current sensorless three-phase NPC converter with less power switches," *IEE Proceedings-Electric Power Applications*, Vol. 150, No. 5, pp. 555-562, Sept. 2003.

[10] L. Yacoubi, K. Al-Haddad, L.-A. Dessaint and F. Fnaiech, "Linear and nonlinear control techniques for a three-phase three-level NPC boost rectifier," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol. 53, No. 6, pp. 1908-1919, Dec. 2006.

[11] T. Esram and P. L. Chapman, "Comparison of photovoltaic array maximum power point tracking techniques," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 22, No. 2, pp. 439-449, June 2007.

[12] R. H. Lasseter, "MicroGrids," *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Vol. 1, pp. 305-308, 2002.

[13] F. Blaabjerg, R. Teodorescu, M. Liserre and A. V. Timbus, "Overview of control and grid synchronization for distributed power generation system," *IEEE Trans. on Industrial Electronics,* Vol. 53, No. 5, pp. 1398-1409, Oct. 2006.

[14] I. Boldea, "Control issues in adjustable speed drives," *IEEE Industrial Electronics Magazine,* Vol. 2, No. 3, pp. 32-50, Sept. 2008.

[15] J.-Y. Chai, Y.-H. Ho, Y.-C. Chang and C.-M. Liaw, "On acoustic-noise-reduction control using random switching technique for switch-mode rectifiers in PMSM drive," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol.55, No. 3, pp. 1295-1309, March 2008.

[16] H. Patel and V. Agarwal, "Maximum power point tracking scheme for PV systems operating under partially shaded conditions," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, Vol.55, No. 4, pp. 1689-1698, April 2008.

[17] W.-M. Lin, C.-M. Hong and C.-H. Chen, "Neural-network-based MPPT control of a stand-alone hybrid power generation system," *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol. 26, No. 12, pp. 3571-3581, Dec. 2011.

[18] C.-S. Chiu, "T-S fuzzy maximum power point tracking control of solar power generation systems," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, Vol. 25, No. 4, pp. 1123-1132, Dec. 2010.

[19] P. Piagi and R. H. Lasseter, "Autonomous control of microgrids," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2006.

[20] R. Majumder, B. Chaudhuri, A. Ghosh, R. Majumder, G. Ledwich and F. Zare, "Improvement of stability and load sharing in an autonomous microgrid using supplementary droop control loop," *IEEE Trans. on Power Systems*, Vol. 25, No. 2, pp. 796-808, May 2010.

[21] C.-T. Lee, C.-C. Chu and P.-T. Cheng, "A new droop control method for the autonomous operation of distributed energy resource interface converters," *IEEE Energy Conversion Congress and Exposition* (ECCE), pp. 702-709, Sept. 2010.

[22] F. He, Z. Zhao, T. Lu and L. Yuan, "Predictive DC voltage control for three-phase grid-connected

PV inverters based on energy balance modeling," *The 2nd IEEE Inter. Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems* (PEDG), pp. 516-519, 2010.

[23] C. Meza, D. Biel, D. Jeltsema and J. M. A. Scherpen, "Lyapunov-based control scheme for single-phase grid-connected PV central inverters," *IEEE Trans. on Control Systems Technology*, Vol. 20, No. 2, pp. 520-529, March 2012.

[24] B. K. Bose, *Power Electronics and Motor Drives.* Prentice-Hall: New Jersey, 2006.

[25] Y. Zhang, J. Zhu, Z. Zhao, W. Xu and D. G. Dorrell, "An improved direct torque control for three-level inverter-fed induction motor sensorless drive," *IEEE Trans. on Power Electronics,* Vol. 27, No. 3, pp. 1502-1513, March 2012.

[26] M. Monfared, H. Rastegar and H. M. Kojabadi, "Overview of modulation techniques for the four-switch converter topology," *IEEE 2nd International Power and Energy Conference* (ECon 2008), pp. 803-807, Dec. 2008.

[27] H. Chaal and M. Jovanovic, "Toward a generic torque and reactive power controller for doubly fed machines," *IEEE Trans. on Power Electronics,* Vol. 27, No. 1, pp. 113-121, Jan. 2012.

[28] L. Harnefors and R. Ottersten, "Regenerating-mode stabilization of the 'statically compensated voltage model'," *IEEE Trans. on Industrial Electronics,* Vol. 54, No. 2, pp. 818-824, April 2007.

[29] S. Dasgupta, S. N. Mohan, S. K. Sahoo and S. K. Panda, "A Lyapunov function based current controller to control active and reactive power flow in a three phase grid connected PV inverter under generalized grid voltage conditions," *IEEE 8th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia* (ICPE & ECCE), pp. 1110-1117, 2011.

規畫子題：3. 智慧電網控制(姚立德教授、江青瓚教授)

a. 最佳化能源設置配比調適技術

b. 智慧電網之人機介面整合控制技術

c. 多目標分散式能源最佳化調控技術

d. 智慧型分散式能源系統建模與發電量預測技術

e. 最適化電網併聯/獨立供電控制技術

近年來，能源危機與溫室效應等環境議題，迫使歐美各國無不戮力以赴，設法解決此一問題，因此推波助瀾潔淨能源的發展。台灣身為世界社區之一份子，自不能置身事外。近年來，不僅通過再生能源條例，更全力推動再生能源，提出"陽光屋頂百萬座及千架海陸風力機計畫"，並推動 PV-ESCO 計畫等，規劃 2030 年裝置容量約達 12,500MW(占發電總裝置容量約 16%)。隨著再生能源的滲透率逐漸的攀升，又因太陽能與風能屬於間歇性能源，若缺乏前瞻性的整體電網之規劃與設計，勢必將會影響系統供電可靠度與供電品質，對於用戶設備亦可能會造成損毀或功能異常等現象，因此本子題規劃智慧電網相關控制技術開發。由於再生能源包含種類眾多，例如太陽能、風能、生質能、海洋能、燃料電池、等，且大部分再生能源發電量與氣候環境息息相關，隨著技術成熟度不同及市場規模大小，致使發電成本不一，如何配合氣候環境因素及發電成本不同找尋最佳裝置組合及容量配比成為系統設置成本回收關鍵，因此規劃**最佳化能源設置配比調適技術**之研究；另一方面，因應未來能源多樣化及各自能源特性不一，**智慧電網之人機介面整合控制技術**之重要性自然不

在話下；為確實掌控間歇性能源的即時發電情形及執行有效電力調度，**多目標分散式能源最佳化調控技術**成為關鍵技術之一；除能源端調控之外，**智慧型分散式能源系統建模與發電量預測技術**開發得以有效達成負載轉移或卸載控制；分散式電源於不同情境下，應同時具備高電力品質獨立供電或單位功因電網併聯之功能，方可確實發揮潔淨能源所帶來的最大功效，因此**最適化電網併聯/獨立供電控制技術**亦為規劃重點之一。

a. 最佳化能源設置配比調適技術

一、簡述

各國政府或電力供應商對於能源設置配比的最佳化一直是長久以來的目標。考慮因素不外乎成本費用、效率、穩定度與安全等。近年來由於全球暖化、減碳、廢核等考量，使得再生或潔淨能源在整體能源之佔比愈來愈高，在整體能源設置配比上即有其重要性。目前台灣或世界各國之再生能源，大都以太陽光電與風力為主，但因太陽光電系統發電量受太陽照射度所影響，而太陽照射度會受天氣因素影響，使得太陽光電發電系統發電量不穩定，而導致電網系統之不穩定。同樣的風力發電受氣候風力之影響，兩者皆為間歇式(或不穩定)能源。而二者之成本、特性、技術成熟度與規模不同亦有所差異。因此為因應如此多樣化能源之選擇，最佳化能源設置配比調適技術之研究更顯其重要性。

目前關於能源設置配比最佳化調適技術包含：Particle Swarm Optimization (PSO)，Expert System，Linear Program，Multiple Minima，Parallel Structure，Penalty Function-Direct Search，Artificial Neural Networks (ANNs)，Fuzzy System，Genetic Algorithm (GA)等技術。

研究方向及具體建議：為因應間歇式能源占比之成長，間歇或分散式能源納入電力配置將是不可避免。既有之能源設置配比最佳化調適技術，亦必須對這些新能源提出新的對策，考慮之因素包含其經濟成本、對於電網安全之影響、能源本身穩定度、環境影響及低碳效益等。

二、國外研究概況

相對於其他再生能源，風力與太陽能發電系統裝置容量較大，對電網所造成的影響也較嚴重。風力及太陽能發電可調度性相關研究已有相當多研究人員投入。大部分之研究以電網安全[3, 6, 12-14]、經濟最佳化[2, 12, 13, 18, 21]及降低排碳量[5, 15, 22, 28]為主軸。在研究方法包含 stochastic optimization [1]，Monte Carlo simulation [7]，Direct Search Method (DSM) [11]，Rule-Based Control Scheme [17]，Lagrangian Relaxation-Based Optimization Algorithm [20]，Optimal Power Flow (OPF) Model [21]，Particle Swarm Optimization (PSO) [25, 27]，Fuzzy Optimization [26]，Neural Network [24]，Genetic Algorithm (GA) [24]與 Multi Objective Optimization [28]。風力及太陽能發電量預測技

術[1, 4, 5, 6-8, 13, 15-17]也是重要之一環。另結合 Battery Energy Storage System (BESS)、Superconductive Magnetic Energy Storage (SMES)或其他發電設備[9, 10, 15, 17, 19, 22, 23]做互補，提高再生能源之發電穩定性。

三、國內研究概況

或許是實務資料取得較困難，國內在電力配置方面之研究人力相對於於其他領域較少，研究人員多來自學校與相關研究單位，例如：台大、成大、台科大、中山、中正、台北科大、高科大、中原、雲科大、崑山科大、正修科大、聖約翰科大、高苑科大、和春技術學院及台電等單位。但對於整合間歇式能源(太陽光電或風力發電)之最佳化能源配置之研究著墨較少，原因可能是目前國內相關能源之裝置量尚少且相關資訊不易取得所造成。目前結合風力或太陽光電做相關研究之單位有成大、台科大、明新科大、聖約翰科大、和春技術學院及台電等。

b. 智慧電網之人機介面整合控制技術

一、簡述

智慧電網之人機介面整合控制技術，是強調資訊整合與控制介面技術，所需整合之內容涵括智慧電錶、智慧設備、分散式管理系統(DMS)、電力監測、電力調度、電網最佳化、安全系統等，其中又以分散式管理系統提供最多元且複雜之資訊。若再加上再生能源資訊匯入，因其能源技術、穩定度、控制方式等之不同而所需開發整合之技術尤為重要。而在控制介面部分著重於性能、安全性與互通性，需要對於不同介面、系統、硬體開發與整合。

目前電力管理人機介面整合控制技術，大都由國際大型公司整合開發，因其項目繁雜且電力管理介面及資訊非一般研究人員可取得，另一原因為各國智慧電網之發展都正起步，各項標準及介面陸續發表，對於整合亦較困難。

研究方向及具體建議：目前各電力公司已有完整之電網人機介面控制系統，但對於將要面對之智慧電網及再生能源必須考慮新的架構與技術。尤其在穩定度及能源控制方式上可有新的思維包含新能源或智慧電網所提供之訊息整合、決策輔助系統及安全穩定等。另一為智慧電表及網路所提供整合資訊發揮之效益，亦是各方學者研究之內容。對於整合及架構部分可考慮網路同步、協同執行及智慧電網可提供之新服務等方向。

二、國外研究概況

目前智慧電網之人機介面整合控制之主要研究發表技術著重於 SCADA [29, 33-35, 36, 37, 39, 40, 42, 43]，Supervisory Control [29, 42]，Human Machine Interface (HMI) [30, 31, 32, 34, 35, 37-39, 42,

43, 45]，Multi-Agent System [31, 38]，Self-Optimizing [31]，Object-Oriented Design [32]，Web-Based [34]，Graphical User Interface (GUI) [37]，Information and Communication Technology (ICT) [41]，Remote Terminal Unit (RTU) [42]等。對於關注之領域內容則有：Smart Grid [30]，Substation Integration (SI) [32]，Fault Isolation [33]，Low Voltage (LV) [33, 35, 40, 42]，Simulation Tools [36]，Distribution Automation System (DAS) [37, 40, 42, 44]，Distributed Generation (DG) [41, 43]等。

三、國內研究概況

台灣在人機介面之研究人才多且分布廣，包括學界、業界及各研究機構。關於能源與電力方面之研究單位則包括：台大、清大、交大、成大、中大、台科大、台北科大、台南大學、文化大學、工研院與台電等。但對於需要整合再生能源與智慧電網之相關研究則較少。

c. 多目標分散式能源最佳化調控技術

一、簡述

分散式管理系統(Distribution Management System, DMS)包含網路拓譜分析、狀態估計、需求管理、分散網路應用、故障與恢復管理系統、負載預測、負載控制、排程管理、伏特/VAR 控制、開關順序管理、最佳電容配置、切換最佳化、警訊系統、GIS 系統、短期負載預測、停電管理系統(OMS)介面與分散式系統模型與預測等。

由於分散式再生能源裝置量愈來愈多，已漸漸開始影響到電網之安全與穩定度，更因為量的增加及相關技術的開發如分散式系統建模與發電量預測等，使得分散式能源亦加入電力調度之行列，相對地其本身更必須符合被調度之要求，例如日本已要求變流器(Inverter)廠商所生產之部分設備要具有被控制調降輸出甚至解聯之能力。也因如此，更多的配套技術需要研究與開發，例如供電品質、安全與穩定度等，以達成多目標分散式最佳化調控目的。

研究方向及具體建議：分散式管理系統中之各項內容及考慮間歇式再生能源大量進入系統所可能造成之變化與衝擊都是研究之題材。其中在再生能源調度上尚需配合新的能源模型與發電量預測技術。在分散式再生能源端配合最佳化調控技術，包含監測、訊號傳輸、控制與功能服務項目之開發亦是引起研究人員興趣之項目。

二、國外研究概況

為因應分散式再生能源的擴張，最佳化調控技術之研究一直持續不斷，所關切之題材包含：Grid Security and Stability，Economic or Profit [49, 50, 55, 56, 58, 59, 62, 64, 68]，Maximum Active Power [51]，Energy Storage Systems (ESS) [52, 56, 67, 68]，Modeling [53, 57, 67]，Load Forecasting and

Optimization [53, 59]，Capability of Converter [60, 65, 66] and Voltage Control [66]。在研究方法上，大部分為最佳化技術含括 Optimally Locate [46]，An Active Distribution Network [47]，Mixed-Integer Linear Programming (MILP) [48]，Optimal Power Flow Algorithm [49, 54]，Active Management Schemes [49]，Active Power Regulation [51]，Actively Managed Curtailment Schemes [56]，Multi-Agent System (MAS) [61]，Fuzzy [62-64]，Neural Network [64]，Lyapunov Function [65, 68]。

三、國內研究概況

國內在分散式能源最佳化調控技術研究領域之研究人員大都來自台電、工研院與學界，學者來自包含中山大學、成大、台北科大、中正、高應大、義守與正修科大，相關研究領域包含系統安全、電力復原、負載變化、網路架構、可靠度、最佳化、負載平衡與相位調整。其中已有少部分研究已探討再生能源所引起之變化。

d. 智慧型分散式能源系統建模與發電量預測技術

一、簡述

分散式能源受環境氣候影響為間歇性不穩定能源，但由於能源耗竭與減碳之要求使得裝置量愈來愈大，使得不論是在電網穩定度、能源配置或電力調度排程上都必須考慮其必要性及影響性。但因分散式能源發電量之不穩定性，為了能加以配置或調度，其系統建模與發電量預測之開發就更形必要。

分散式能源系統模型建立可分為傳統數學模型與智慧型建模。其不論是太陽光電或風力發電都已有完整理論及數學模型，在理論探討及模擬上皆有不錯之成果，但因為分散式能源技術發展快速、發電量受氣候不穩定影響大及特性相異性大等，以致較不符實際運用。正因如此具非線性及 Model Free 特色之智慧型系統建模因應而生。不論是類神經網路、模糊理論及基因進化最佳化等皆有不少在分散式能源建模方面之研究。在智慧型分散式能源系統發電量預測技術部分，依其預測之時間長短，可分為極短期、短期及長期之預測；極短期為數分鐘到 1 小時，可應用於電力系統運轉調度之即時控制，以降低備載容量及提高電力系統之穩定度；短期約為 1 小時到 48 小時，可提供電廠電力調度及排程規劃；而 48 小時以上則定義為長期預測，可作為系統維護保養時程規劃之依據或經濟成本。目前研究大都著眼於短期時間預測跟長期時間預測居多，極短期時間預測甚少。對於發電量預測所採用之輸入資料大都為區域性氣象站資料或類似 NASA 所提供之全球相關氣候資料，此部分提供資訊較偏向中長期之統計資料。極少部分研究採用自己建立之監測氣候資料，相對地其資料較適合自己之研究需要。這亦是在做此方面研究之困難點，研究所需資料較不易取得。

研究方向及具體建議：分散式能源系統建模部分，因系統本身即為非線性系統且發電量受設置

點當地環境及氣候影響甚鉅，建議可以發揮各類型智慧型建模之特色結合相關之環境氣候，完成具實務性之系統模型。關於發電量預測，在長期預測部分建議結合相關系統設計技術整合成一完整系統設置評估系統，包含設置規劃、系統設計、發電量評估、成本回收年限(經濟效益)等。極短期與短期預測，可與發電業者結合開發以設置點量身打造之精確發電量預測系統，包含當地氣候資料之建立與精確且可適應各種環境之智慧型預測架構。

二、國外研究概況

目前研究主要分為兩大類，風力發電與太陽光電系統。在風力發電部分，文獻[69, 70]探討風力預測模型與分類，文獻[71-74]探討短期之預測技術；文獻[75, 76]探討長期之預測技術。而風能預測技術依其採用之方法約可分為物理(Physical)預測法、統計(Statistical)預測法及學習(Learning)預測法三大類，物理預測法即以風場之風能條件、風場位置、風機高度、風機特性及風機輸出之風能曲線等建立預測模型，文獻[74]以級數及指數模型以建立短期的風速預測；統計預測法則以大量的資料作分析，以預測風場之風能輸出，文獻[71, 72, 77-79]即為統計預測法，文獻[71]以 1~2 年之時間序列建立短期風速預測，文獻[72]則以小波轉換結合最小平方法達成風速預測；學習預測法則以較少之資料量，透過人工智慧之學習，以獲得預測模型，文獻[73, 75, 76, 80-84]以學習預測法完成風速或風能的預測，其中文獻[73, 75, 76, 80, 81]以類神經網路作為學習法則，文獻[82]則結合類神經及模糊控制法以提高短期風能之預測準確度，文獻[83, 84]則以灰階理論以達到風能及風速之精確預測。

在太陽光電方面研究領域因裝置量較風力晚，相關之文獻亦較少，大都以歐洲國家、日本與美國為主，近 1、2 年中國大陸亦有相關之發表。文獻[85-88]為 PV 發電模型建立，文獻[89-98]為太陽照射度或 PV 發電量預測。國外對於太照射度之預測大多是根據數據氣象預測模型(Numerical Weather Prediction Model, NWP)或當地區域之資料(所用資料包括氣象及過往歷史PV系統之監測資料)做為輸入範本，所預測之太陽照射度可分為每小時全天空照射(Global Hourly Solar Irradiations, GHSI)，前幾天與前幾小時太陽照射度預測等。而所採用之方法包含 Support Vector Machine (SVM)、Markov Chain、Autoregressive Moving Average (AEMA)、類神經網路、基因演算法等。

三、國內研究概況

目前國內對於 PV 系統相關技術進行研究的學者相當多，學校及研究單位，包括台大、交大、成大、中山、中正、高應大、中原、高雄第一科大、元智、義大、大葉、南台科大、清雲科大、龍華科大、工研院、台電與大電力研究中心等。大部分研究著重於系統建模及最大功率點追蹤，較少關於發電量預測之研究。最主要原因在於發電量預測需要有大量及穩定之監測資料，而台灣近幾年

才開始發展系統建置資料較缺乏。

國內目前已有相當數量之大學及研究機構對於風速及風能建模及預測相關技術的研究發表，包括台大、成大、中央、中山、中興、師大、中原、逢甲、大同、高應大、澎湖科大、工研院、台電等。大部分之研究集中於系統建模與短中長期之預測，較少極短期預測之研究。而工研院綠能所主導之氣象模式風場模擬(The Weather Research and Forecasting Model)法進行風場風能評估，其目地旨在作為風場設置評估及規劃設計之用。

e. 最適化電網併聯/獨立供電控制技術

一、簡述

由於能源危機及環保意識抬頭，先進國家無不戮力發展再生能源，諸如太陽光電發電、風力發電、潮汐發電…等技術，這些分散式能源廣泛架設於區域用電端，逐漸形成微電網的供電模式，此由分散式電源、儲能系統及用戶端負載所形成之小型電力網，平時以市電併聯模式運轉，將各分散式電源供應至區域負載，並將多餘電能饋送入市電電網或儲能設備中，以達再生能源的最大利用。當市電供電中斷而造成微電網與市電解聯時，微電網仍可以獨立供電模式運轉，以提供重要負載所需電能。但多數再生能源均有間歇性及不穩定之特性，若控制不當，不僅影響電力品質，甚至造成供電的中斷。為確保供電品質及供電之可靠度，最佳化電網併聯及獨立供電控制技術相繼被提出。

隨著分散式再生能源之普遍架設，造成對既有電力網之衝擊，對於微電網最佳化控制策略之研究益形重要，這包含再生能源併網容量、儲能系統之種類及容量、市電併聯及獨立運轉模式切換、微型電網最低發電成本、最高穩定度控制及最佳化能源管理系統之研究等，透過最適化電網併聯及獨立供電控制技術之提昇，以提高供電品質及供電穩定度，達成再生能源最大利用之目的。

研究方向及具體建議：

1. 市電併聯型系統容量最佳化規劃。
2. 獨立型系統蓄電池容量之最佳化設計。
3. 市電併聯及獨立運轉模式切換之最適控制。
4. 微型電網各種模式轉換之最適控制。
5. 微型電網最低發電成本之研究。
6. 微型電網高穩定度控制之研究。
7. 集中式最佳化能源管理系統之研究。
8. 分散式多代理人最佳化能源管理系統之研究。

二、國外研究概況

國外再生能源起步較早，相關研究較豐富。文獻[99]探討太陽光電發電系統於獨立型、市電併

聯型及市電併聯型有蓄電池儲能控制下之成本及可靠度分析，採用生命週期成本(life cycle cost, LCC)之方法，以達最低成本之最適控制。文獻[100]則以多目標最佳化配合模糊邏輯控制法則，以求取太陽光電及風力發電混合發電系統能源指標可靠度(Energy Index of Reliability, EIR)最大化及相關單位電價(Relative Unit Electricity Cost, RUEC)的最小化。文獻[101]則以均化單位電價成本(Levelised Unit Cost of Electricity, LUCE)之計算，以求得混合分散式發電系統之最佳化控制，並考慮蓄電池儲能、氫氣儲能、太陽光電發電及風力發電之設置成本、生命週期及維護成本等因素，探討其對均化單位電價成本之靈敏度。

為了達到微電網整合的最佳化控制，一些文獻先探討分散式電源、儲能系統及負載之特性，集中蒐集各單元之資訊，再以最佳化演算法則求取最低成本及最高可靠度之控制程序，此即為集中式最佳化能源管理[102-105]之概念，文獻[102]以具啟發式線性規劃法(Linear Programming)，結合太陽光電發電的出力預測以達到微電網最低成本之控制；文獻[103]則以微分演化法(Differential Evolution Algorithm)解決分散式能源離散及非線性之最佳化問題，以最低成本發電供應負載所需電能。文獻[104]則以細菌搜尋法(Bacterial Foraging Algorithm)完成最佳化控制目的，其成本函數中並考慮溫室氣體排放及蓄電池儲能控制，以貼近實際的狀況。文獻[105]則以分散式電源之發電量預測及負載端之需求預測為基礎，再以多階段的經濟負載調度法，以獲得最低的發電成本。

不同於集中式最佳化能源管理系統，將個別之分散式能源、儲能系統及負載單元定位為具自主智慧型之獨立代理人，以達到自主協調之最佳化控制，此即為分散式多代理人能源管理系統(Multi-Agent Energy Management System) [106-109]，此多代理人能源管理系統擁有單元自主性、可減少資料量、增加系統可靠度、強健性及系統為開放性等優點，文獻[106]將系統成員分為負載、分散式電源及第 2 級系統(含轉換器及儲能單元)之獨立代理人，並以合約網協調(Contract Net Coordination)法，達到電源與負載端最低成本之電能平衡控制。文獻[107]則將個別代理人功能定義更加明確，並將可靠度列為評估依據。文獻[108]則將風力發電系統、太陽光電系統、電池儲能系統及負載定義為子系統，並以可程式控制器完成各代理人之準備、等待、運轉及停止等四種操作模式，達到市電併聯及獨立運轉之最佳化控制。文獻[109]則以 Java 代理人發展架構(Java Agent Development Framework, JADE) 實現多代理人能源管理系統，並以 MATLAB/SIMULINK 程式模擬驗證市電故障前後模式轉換之操作特性。

三、國內研究概況

國內對於電廠供電的最佳化調度及供電排程已有很好的研究基礎，但對於最適化電網併聯及獨立供電之控制技術尚屬萌芽階段，文獻[110-113]即探討微電網分散式能源的最佳化控制，文獻[110]提出於市電併聯及孤島運轉模式切換下，提供負載接近無縫轉換供電之控制法，並討論獨立運轉時

電源端與負載端需量不平衡問題。文獻[111]則探究微電網於市電併聯與孤島運轉模式間之轉態行為，作為輻射型微電網最適規劃之參考。文獻[112] 則以組合最佳化技術求解太陽能、風力發電機組與蓄電池容量之容量配置問題，並以實際之氣象數據進行模擬測試。文獻[113]則為核能研究所針對實際之微型電網提出之最佳化控制策略，其系統包含太陽能、風能、生質能、氣渦輪機、儲熱系統、電力需求及熱需求之平衡控制，此外並測試電力需求與電池容量間之衝擊。

參考文獻

[1] Tuohy, A.; Meibom, P.; Denny, E.; O'Malley, M., "Unit Commitment for Systems With Significant Wind Penetration," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.24, no.2, pp.592-601, May 2009

[2] Hernandez-Aramburo, C.A.; Green, T.C.; Mugniot, N., "Fuel consumption minimization of a microgrid," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol.41, no.3, pp. 673- 681, May-June 2005

[3] Bouffard, F.; Galiana, F.D., "Stochastic Security for Operations Planning With Significant Wind Power Generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.23, no.2, pp.306-316, May 2008

[4] Ummels, B.C.; Gibescu, M.; Pelgrum, E.; Kling, W.L.; Brand, A.J., "Impacts of Wind Power on Thermal Generation Unit Commitment and Dispatch," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.22, no.1, pp.44-51, March 2007

[5] Denny, E.; O'Malley, M., "Wind generation, power system operation, and emissions reduction," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.21, no.1, pp. 341- 347, Feb. 2006

[6] Jianhui Wang; Shahidehpour, M.; Zuyi Li, "Security-Constrained Unit Commitment With Volatile Wind Power Generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.23, no.3, pp.1319-1327, Aug. 2008

[7] Ortega-Vazquez, M.A.; Kirschen, D.S., "Estimating the Spinning Reserve Requirements in Systems With Significant Wind Power Generation Penetration," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.24, no.1, pp.114-124, Feb. 2009

[8] Makarov, Y.V.; Loutan, C.; Jian Ma; de Mello, P., "Operational Impacts of Wind Generation on California Power Systems," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.24, no.2, pp.1039-1050, May 2009

[9] Teleke, S.; Baran, M.E.; Huang, A.Q.; Bhattacharya, S.; Anderson, L., "Control Strategies for Battery Energy Storage for Wind Farm Dispatching," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.24, no.3, pp.725-732, Sept. 2009

[10] Wang, X.Y.; Mahinda Vilathgamuwa, D.; Choi, S.S., "Determination of Battery Storage Capacity in Energy Buffer for Wind Farm," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.23, no.3, pp.868-878, Sept. 2008

[11] Chun-Lung Chen, "Optimal Wind–Thermal Generating Unit Commitment," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.23, no.1, pp.273-280, March 2008

[12] Miranda, V.; Pun Sio Hang; "Economic dispatch model with fuzzy wind constraints and attitudes of dispatchers," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.20, no.4, pp. 2143- 2145, Nov. 2005

[13] Doherty, R.; Lalor, G.; O'Malley, M.; "Frequency Control in Competitive Electricity Market Dispatch," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.20, no.3, pp. 1588- 1596, Aug. 2005

[14] Yuan-Kang Wu; Jing-Shan Hong, "A literature review of wind forecasting technology in the world," *2007 IEEE Lausanne Power Tech*, vol., no., pp.504-509, 1-5 July 2007

[15] Ummels, B.C.; Pelgrum, E.; Kling, W.L., "Integration of large-scale wind power and use of energy storage in the netherlands' electricity supply," *IET Renewable Power Generation* , vol.2, no.1, pp.34-46, March 2008

[16] Le Xie; Ilic, M.D., "Model predictive economic/environmental dispatch of power systems with intermittent resources," *2009. PES '09. Power & Energy Society General Meeting, IEEE* , vol., no., pp.1-6, 26-30 July 2009

[17] Teleke, S.; Baran, M.E.; Bhattacharya, S.; Huang, A.Q., "Rule-Based Control of Battery Energy Storage for Dispatching Intermittent Renewable Sources," *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, vol.1, no.3, pp.117-124, Oct. 2010

[18] Sioshansi, R., "Evaluating the Impacts of Real-Time Pricing on the Cost and Value of Wind Generation," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.25, no.2, pp.741-748, May 2010

[19] Yao, D.L.; Choi, S.S.; Tseng, K.J.; Lie, T.T., "A Statistical Approach to the Design of a Dispatchable Wind Power-Battery Energy Storage System," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, vol.24, no.4, pp.916-925, Dec. 2009

[20] Bo Lu; Shahidehpour, M., "Short-term scheduling of battery in a grid-connected PV/battery system," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.20, no.2, pp. 1053- 1061, May 2005

[21] Haghighat, H.; Kennedy, S.; , "A model for reactive power pricing and dispatch of distributed generation, " *2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, vol., no., pp.1-10, 25-29 July 2010

[22] Vallve, X.; Graillot, A.; Gual, S.; Colin, H., "Micro storage and demand side management in distributed PV grid-connected installations," *EPQU 2007. 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation,* , vol., no., pp.1-6, 9-11 Oct. 2007

[23] Jinhong Jeon; Seulki Kim; Changhee Cho; Jonbo Ahn; Jangmok Kim, "Power control of a grid-connected hybrid generation system with photovoltaic/wind turbine/battery sources," *2007. ICPE '07. 7th Internatonal Conference on Power Electronics*, vol., no., pp.506-510, 22-26 Oct. 2007

[24] Momoh, J.A.; Wang, Y.; Eddy-Posey, F., "Optimal power dispatch of photovoltaic system with random load," *2004. IEEE Power Engineering Society General Meeting,* vol., no., pp.1939-1945 Vol.2, 10-10 June 2004

[25] Jimenez-Nunez, J.J.; Cedeno-Maldonado, J.R., "A particle swarm optimization approach for reactive power dispatch," *2005. Proceedings of the 37th Annual North American Power Symposium* , vol., no., pp. 198- 205, 23-25 Oct. 2005

[26] Urbina, M.; Zuyi Li, "A Fuzzy Optimization Approach to PV/Battery Scheduling with Uncertainty in PV Generation," *2006. NAPS 2006. 38th North American Power Symposium,* , vol., no., pp.561-566, 17-19 Sept. 2006

[27] Welch, R.L.; Venayagamoorthy, G.K., "Comparison of Two Optimal Control Strategies for a Grid Independent Photovoltaic System," *2006. 41st IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2006 IEEE Industry Applications Conference,* , vol.3, no., pp.1120-1127, 8-12 Oct. 2006

[28] Kanchev, H.; Lu, D.; Francois, B.; Lazarov, V., "Smart monitoring of a microgrid including gas turbines and a dispatched PV-based active generator for energy management and emissions reduction," *2010 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT Europe),* , vol., no., pp.1-8, 11-13 Oct. 2010

[29] Fernandes, F.; Sousa, T.; Faria, P.; Silva, M.; Morais, H.; Vale, Z.A. , "Intelligent SCADA for Load control," *2010 IEEE International Conference on Systems Man and Cybernetics (SMC)*, vol., no., pp.2987-2994, 10-13 Oct. 2010

[30] Reddi, R.M.; Srivastava, A.K., "Real time test bed development for power system operation, control and cyber security," *2010 North American Power Symposium (NAPS)*, vol., no., pp.1-6, 26-28 Sept. 2010

[31] Merdan, M.; Lepuschitz, W.; Strasser, T.; Andren, F., "Multi-Agent system for self-optimizing power distribution grids," *2011 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, vol., no., pp.312-317, 6-8 Dec. 2011

[32] Apostolov, A.; Monnier, S., "Object-oriented design of human-machine interface for substation integration systems," *IEEE 1997 Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering,*

1997. Engineering Innovation: Voyage of Discovery. , vol.2, no., pp.411-414 vol.2, 25-28 May 1997

[33] Ahmed, M.M.; Soo, W.L., "Development of customized distribution automation system (DAS) for secure fault isolation in low voltage distribution system," *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, vol., no., pp.1-7, 20-24 July 2008

[34] Lahti, Juha P.; Shamsuzzoha, Ahm; Kankaanpaa, Timo, "Web-based technologies in power plant automation and SCADA systems: A review and evaluation," *2011 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE)*, vol., no., pp.279-284, 25-27 Nov. 2011

[35] Ahmed, M.M.; Soo, W.L., "Customized SCADA system for low voltage distribution automation system," *2009 Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, vol., no., pp.1-4, 26-30 Oct. 2009

[36] Darwish, K.W.; Al Ali, A.R.; Dhaouadi, R., "Virtual SCADA Simulation System for Power Substation," *2007. IIT '07. 4th International Conference on Innovations in Information Technology*, vol., no., pp.322-326, 18-20 Nov. 2007

[37] Ahmed, M.M., "New Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) based fault isolation system for low voltage distribution systems," *2010 International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCE)*, vol., no., pp.1-6, 11-12 May 2010

[38] Merdan, M.; Lepuschitz, W.; Strasser, T.; Andren, F., "Multi-Agent system for self-optimizing power distribution grids," *2011 5th International Conference on Automation, Robotics and Applications (ICARA)*, vol., no., pp.312-317, 6-8 Dec. 2011

[39] Li, H.Y.; Crossley, P.A.; Fitch, J., "Development of IEC61850 Hardware Laboratory Platform for Substation Protection and Control integration," *2008. IET 9th International Conference on Developments in Power System Protection, 2008. DPSP*, vol., no., pp.501-505, 17-20 March 2008

[40] Ahmed, M.; Soo, W.L., "Power line carrier (PLC) based communication system for distribution automation system," *2008. IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008. PECon* , vol., no., pp.1638-1643, 1-3 Dec. 2008

[41] Calderaro, V.; Coppola, V.; Galdi, V.; Siano, P., "Assessing control and management issues for micro wind generation integration into microgrids," *2008. The 14th IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference, 2008. MELECON*, vol., no., pp.750-755, 5-7 May 2008

[42] Ahmed, M.M.; Soo, W.L., "Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA) based customized Remote Terminal Unit (RTU) for distribution automation system," *2008. IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008. PECon*, vol., no., pp.1655-1660, 1-3 Dec. 2008

[43] Zadeh, M.R.D.; Hajimiragha, A.; Adamiak, M.; Palizban, A.; Allan, S., "Design and implementation of a microgrid controller," *2011 64th Annual Conference for Protective Relay Engineers*, vol., no., pp.137-145, 11-14 April 2011

[44] Valsalam, S.R.; Sathyan, A.; Shankar, S.S., "Distributed SCADA system for optimization of power generation," *2008. Annual IEEE India Conference, 2008. INDICON*, vol.1, no., pp.212-217, 11-13 Dec. 2008

[45] Koch, G.; Reichenbach, G.; "Smart HMI tools for numerical relaysmore than just a setting assistant," *2005. 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, 2005. CIRED*, vol., no., pp.1-4, 6-9 June 2005

[46] Rau, N.S.; Yih-Heui Wan; , "Optimum location of resources in distributed planning," *IEEE Transactions on Power Systems*, vol.9, no.4, pp.2014-2020, Nov 1994

[47] Liew, S.N.; Strbac, G.; , "Maximising penetration of wind generation in existing distribution networks," *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, vol.149, no.3, pp.256-262, May 2002

[48] Borghetti, A.; Bosetti, M.; Grillo, S.; Massucco, S.; Nucci, C.A.; Paolone, M.; Silvestro, F.; ,

"Short-Term Scheduling and Control of Active Distribution Systems With High Penetration of Renewable Resources," *IEEE Systems Journal*, vol.4, no.3, pp.313-322, Sept. 2010

[49] Cecati, C.; Citro, C.; Piccolo, A.; Siano, P.; , "Smart Operation of Wind Turbines and Diesel Generators According to Economic Criteria," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.58, no.10, pp.4514-4525, Oct. 2011

[50] Bagherian, A.; Tafreshi, S.M.M.; , "A developed energy management system for a microgrid in the competitive electricity market," *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, vol., no., pp.1-6, June 28 2009-July 2 2009

[51] Tapia, G.; Tapia, A.; , "Wind generation optimisation algorithm for a doubly fed induction generator," *IEE Proceedings-Generation, Transmission and Distribution*, vol.152, no.2, pp. 253-263, 4 March 2005

[52] Lamadrid, A.J.; Mount, T.D.; Shoemaker, C.; , "Dynamic optimization for the management of stochastic generation and storage," *Transmission and Distribution Conference and Exposition: 2010 IEEE/PES Latin America (T&D-LA)*, vol., no., pp.860-866, 8-10 Nov. 2010

[53] Asber, D.; Lefebvre, S.; Saad, M.; Desbiens, C.; , "Modeling of Distribution Loads for Short and Medium-Term Load Forecasting," *2007. IEEE Power Engineering Society General Meeting*, vol., no., pp.1-5, 24-28 June 2007

[54] Ochoa, L.F.; Harrison, G.P.; , "Using AC Optimal Power Flow for DG planning and optimisation," *2010 IEEE Power and Energy Society General Meeting*, vol., no., pp.1-7, 25-29 July 2010

[55] Garcia-Gonzalez, J.; , "Hedging strategies for wind renewable generation in electricity markets," *2008 IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century*, vol., no., pp.1-6, 20-24 July 2008

[56] Gill, S.; Barbour, E.; Wilson, I. A. G.; Infield, D.; , "Maximising revenue for non-firm distributed wind generation with energy storage in an active management scheme," *IET Conference on Renewable Power Generation (RPG 2011)*, vol., no., pp.1-6, 6-8 Sept. 2011

[57] Carradore, L.; Turri, R.; , "Modeling and simulation of multi-vector energy systems," *2009 IEEE Bucharest PowerTech*, vol., no., pp.1-7, June 28 2009-July 2 2009

[58] Wang, M.Q.; Gooi, H.B.; , "Spinning reserve estimation in microgrids," *2009Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific*, vol., no., pp.1-4, 26-30 Oct. 2009

[59] Weihao Hu; Zhe Chen; Bak-Jensen, B.; , "Impact of optimal load response to real-time electricity price on power system constraints in Denmark," *2010 45th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)*, vol., no., pp.1-6, Aug. 31 2010-Sept. 3 2010

[60] Beekmann, A.; Marques, J.; Quitmann, E.; Wachtel, S.; , "Wind energy converters with FACTS Capabilities for optimized integration of wind power into transmission and distribution systems," *2009 CIGRE/IEEE PES Joint Symposium Integration of Wide-Scale Renewable Resources Into the Power Delivery System*, vol., no., pp.1, 29-31 July 2009

[61] Eddy, F.Y.S.; Gooi, H.B.; , "Multi-agent system for optimization of microgrids," *2011 IEEE 8th International Conference on Power Electronics and ECCE Asia (ICPE & ECCE)*, vol., no., pp.2374-2381, May 30 2011-June 3 2011

[62] Meiqin, Mao; Meihong, Ji; Wei, Dong; Chang, Liuchen; , "Multi-objective economic dispatch model for a microgrid considering reliability," *2010 2nd IEEE International Symposium on Power Electronics for Distributed Generation Systems (PEDG)*, vol., no., pp.993-998, 16-18 June 2010

[63] Rugthaicharoencheep, N.; Sirisumrannukul, S.; , "Optimal feeder reconfiguration with distributed generators in distribution system by fuzzy multiobjective and Tabu search," *'09. International Conference on Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN*, vol., no., pp.1-7, 6-7 April 2009

[64] Chakraborty, S.; Simoes, M.G.; , "PV-Microgrid Operational Cost Minimization by Neural Forecasting and Heuristic Optimization," *'08. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 2008. IAS*, vol., no., pp.1-8, 5-9 Oct. 2008

[65] Cagnano, A.; De Tuglie, E.; Liserre, M.; Mastromauro, R.A.; , "Online Optimal Reactive Power Control Strategy of PV Inverters," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.58, no.10, pp.4549-4558, Oct. 2011

[66] Shohei Toma; Senjyu, T.; Yona, A.; Sekine, H.; Funabashi, T.; Chul-Hwan Kim; , "Optimal control of voltage in distribution systems by voltage reference management," *2008. IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008. PECon*, vol., no., pp.1239-1244, 1-3 Dec. 2008

[67] Yonghua Cheng; , "Impact of large scale integration of photovoltaic energy source and optimization in smart grid with minimal energy storage," *2010 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, vol., no., pp.3329-3334, 4-7 July 2010

[68] Guo, Y.; Pan, M.; Fang, Y.; , "Optimal Power Management of Residential Customers in the Smart Grid," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol.PP, no.99, pp.1, 0, 2012

[69] A. M. Foley, P. G. Leahy and E. J. McKeogh, "Wind Power Forecasting & Prediction Methods," *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2010 9th International Conference*, 16-19 May, 2010, Pages 1-4.

[70] M. Lydia, and S. S. Kumar, "A Comprehensive Overview on Wind Power Forecasting," *IPEC, 2010 Conference Proceedings*, 27-29 Oct., 2010, Pages 268-273.

[71] T. H. M. El-Fouly, E. F. El-Saadany, and M. M. A. Salama, "One Day Ahead Prediction of Wind Speed Using Annual Trends," *IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2006, Pages 1-7.

[72] D. Liu and L. Hui ,"Short-term Wind Speed and Output Power Forecasting Based on WT and LSSVM," *Information Engineering and Computer Science, 2009. ICIECS 2009 International Conference*, 19-20 Dec., 2009, Pages 1-4.

[73] X. Han, X. Yang and J. Liu; "Short-time Wind Speed Prediction for Wind Farm Based on Improved Neural Network," *Intelligent Control and Automation (WCICA), 2010 8th World Congress*, 7-9 July, 2010, Pages 5891-5894.

[74] M. Gholami , G. B. Gharehpetian, and M. Davari, "One Day Ahead Prediction of Wind Speed Based on Power and Exponential," *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO), 2010 4th International*, 23-24 June, 2010, Pages 449-452.

[75] C. Ye, G. Li and M. Zhou, "A Combined Prediction Method of Wind Farm Power," *Critical Infrastructure (CRIS), 2010 5th International Conference*, 20-22 Sept., 2010, Pages 1-5.

[76] A. K. Mishra and L. Ramesh, "Application of Neural Networks in Wind Power (Generation) Prediction," *Sustainable Power Generation and Supply, 2009. SUPERGEN '09. International Conference*, 6-7 April, 2009, Pages 1-5.

[77] S. Dutta , and T. J. Overbye, "Prediction of Short Term Power Output of Wind Farms Based on Least Squares Method," *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 25-29 July 2010, Pages 1-6..

[78] G. C. Vineel and A. Sarkar, "A System for Real-Time Delivery of Wind Farm Production Forecasts," *Industrial Electronics, 2007. ISIE 2007. IEEE International Symposium*, 4-7 June 2007, Pages 1933-1937.

[79] G. Sideratos, and N. D. Hatziargyriou," An Advanced Statistical Method for Wind Power Forecasting." *Power Systems, IEEE Transactions* Feb., 2007, Pages 258-265.

[80] X. Li, Y. Liu and W. Xin, "Wind Speed Prediction Based on Genetic Neural Network," *Industrial Electronics and Applications, 2009. ICIEA 2009. 4th IEEE Conference*, 25-27 May 2009, Pages 2448-2451.

[81] J. Wu, X. Liu and J. Qian, "Wind Speed and Power Forecasting Based on RBF Neural Network," *Computer Application and System Modeling (ICCASM), 2010 International Conference*, 22-24 Oct. 2010, Pages V5-298-301.

[82] J. Xia, P. Zhao and Y. Dai, "Neuro-fuzzy Networks for Short-term Wind Power Forecasting,"

Power System Technology (POWERCON), 2010 International Conference, 24-28 Oct. 2010., Pages 1-5.

[83] C. Tian, D. Lei, S. Gao and X. Liao, "A Study of Grey Theory Used in Prediction of Annual Wind Power Generation," *Electric Information and Control Engineering (ICEICE), 2011 International Conference*, 15-17 April, 2011. Pages 1952 - 1955.

[84] C. Y. Huang Y. W. Liu, W. C. Tzeng and P. Y. Wang, "Short Term Wind Speed Predictions by Using the Grey Prediction Model Based Forecast Method," *Power and Energy Society General Meeting, 2010 IEEE*, 25-29 July 2011., Pages 1-5.

[85] Itagaki, A.; Okamura, H.; Yamada, M.; "Preparation of meteorological data set throughout Japan for suitable design of PV systems" *Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Proceedings of 3rd World Conference on* Volume 2, 12-16 May 2003 Page(s):2074 - 2077 Vol.2.

[86] Moh'd Sami S. Ashhab "Optimization and modeling of a photovoltaic solar integrated system by neural networks" *Energy Conversion and Management*, Volume 49, Issue 11, November 2008, Pages 3349-3355.

[87] Ying-Pin Chang "Optimal design of discrete-value tilt angle of PV using sequential neural-network approximation and orthogonal array" *Expert Systems with Applications*, Volume 36, Issue 3, Part 2, April 2009, Pages 6010-6018.

[88] Mellit, A.; Mekki, H.; Shaari, S.; "FPGA-based neural network for simulation of photovoltaic array: application for estimating the output power generation" *Photovolatic Specialists Conference, 2008. PVSC '08. 33rd IEEE* 11-16 May 2008 Page(s):1 - 7.

[89] Hassanzadeh, M.; Etezadi-Amoli, M.; Fadali, M.S.; , "Practical approach for sub-hourly and hourly prediction of PV power output," *North American Power Symposium (NAPS), 2010* , vol., no., pp.1-5, 26-28 Sept. 2010

[90] Jie Shi; Wei-Jen Lee; Yongqian Liu; Yongping Yang; Peng Wang; , "Forecasting power output of photovoltaic system based on weather classification and support vector machine," *Industry Applications Society Annual Meeting (IAS), 2011 IEEE* , vol., no., pp.1-6, 9-13 Oct. 2011

[91] J. Mubiru, E.J.K.B. Banda "Estimation of monthly average daily global solar irradiation using artificial neural networks" *Solar Energy*, Volume 82, Issue 2, February 2008, Pages 181-187.

[92] J.L. Bosch, G. López, F.J. Batlles "Daily solar irradiation estimation over a mountainous area using artificial neural networks" *Renewable Energy*, Volume 33, Issue 7, July 2008, Pages 1622-1628.

[93] Joseph C. Lam, Kevin K.W. Wan, Liu Yang "Solar radiation modeling using ANNs for different climates in China" *Energy Conversion and Management*, Volume 49, Issue 5, May 2008, Pages 1080-1090.

[94] Lorenz, E.; Hurka, J.; Heinemann, D.; Beyer, H.G.; "Irradiance Forecasting for the Power Prediction of Grid-Connected Photovoltaic Systems" *Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, IEEE Journal of* Volume 2, Issue 1, March 2009 Page(s):2 – 10.

[95] M. Benghanem, A. Mellit, S.N. Alamri "ANN-based modeling and estimation of daily global solar radiation data: A case study" *Energy Conversion and Management*, Volume 50, Issue 7, July 2009, Pages 1644-1655.

[96] Mellit, A.; Arab, A.H.; Khorissi, N.; Salhi, H.; "An ANFIS-based Forecasting for Solar Radiation Data from Sunshine Duration and Ambient Temperature" *Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE*24-28 June 2007 Page(s):1 - 6.

[97] Shafiqur Rehman, Mohamed Mohandes "Artificial neural network estimation of global solar radiation using air temperature and relative humidity" *Energy Policy*, Volume 36, Issue 2, February 2008, Pages 571-576.

[98] Yona, A.; Senjyu, T.; Funabashi, T.; "Application of Recurrent Neural Network to Short-Term-Ahead Generating Power Forecasting for Photovoltaic System" *Power Engineering Society General Meeting, 2007. IEEE* 24-28 June 2007 Page(s):1 - 6.

[99] H. H. El Tamaly and A. A. E. Mohammed, "Performance and economic study of interconnected PV system with electric utility accompanied with battery storage," *Power Systems Conference, 2006. MEPCON 2006. Eleventh International Middle East*, pp. 328-333, Dec. 2006.

[100] G. La Terra, G. Salvina, and, T. G. Marco,"Optimal sizing procedure for hybrid solar wind power systems by fuzzy logic," *Electrotechnical Conference, 2006. MELECON 2006. IEEE Mediterranean*, pp. 865-868, May 2006.

[101] P. Sharma, and, V. Agarwal, "Optimization of Operational Energy Cost in a Hybrid Distributed Generation System," *Industrial and Information Systems, 2008. ICIIS 2008. IEEE Region 10 and the Third international Conference*, pp. 1-6, Dec. 2008.

[102] S. Chakraborty, and M. G. Simoes, "PV-Microgrid Operational Cost Minimization by Neural Forecasting and Heuristic Optimization," *Industry Applications Society Annual Meeting, 2008. IAS '08. IEEE*, pp. 1-8, Oct 2008.

[103] H. Vahedi, R. Noroozian, and, S. H. Hosseini, "Optimal management of MicroGrid using differential evolution approach," *Energy Market (EEM), 2010 7th International Conference on the European*, pp. 1-6, June 2010.

[104] R. Noroozian, and H. Vahedi, "Optimal management of MicroGrid using Bacterial Foraging Algorithm," *Electrical Engineering (ICEE), 2010 18th Iranian Conference*, pp. 895-900, May 2010.

[105] D. E. Olivares, C. A. Canizares, and M. Kazerani,"A centralized optimal energy management system for microgrids," *Power and Energy Society General Meeting, 2011 IEEE*, pp.1-6, July 2011.

[106] R. Lum, D. B. Kotak, and W. A. Gruver , "Multi-agent coordination of distributed energy systems," *Systems, Man and Cybernetics, 2005 IEEE International Conference*, pp.2584-2589, Vol. 3, Oct 2005.

[107] T. Logenthiran, D. Srinivasan, and D. Wong, "Multi-agent coordination for DER in MicroGrid," *Sustainable Energy Technologies, 2008. ICSET 2008. IEEE International Conference*, pp. 77-82, Nov 2008.

[108] Y. Chen, and J. Wu, "Agent-based energy management and control of a grid-connected wind/solar hybrid power system," *Electrical Machines and Systems, 2008. ICEMS 2008. International Conference*, pp. 2362-2365, Oct. 2008.

[109] M. K. Kouluri, and R. K. Pandey, "Intelligent agent based micro grid control," *Intelligent Agent and Multi-Agent Systems (IAMA), 2011 2nd International Conference*, pp. 62-66, Sept 2011.

[110] 楊宏澤，朱顗中，廖建棠，林建利 "含再生能源之微電網分散式電源控制方法"，第三十二屆電力工程研討會，新北市，台灣 2011 年 12 月 2-3 日。

[111] 陳在相，楊凱平，"微型電網於市電併聯與孤島運轉模式間之轉態行為研究"，第三十二屆電力工程研討會，新北市，台灣 2011 年 12 月 2-3 日。

[112] 凌拯民，顏士閔，黃宏銘，"組合最佳化於混合式再生能源系統規劃之應用"，第三十二屆電力工程研討會，新北市，台灣 2011 年 12 月 2-3 日。

規畫子題：<u>4. 儲能系統控制(王醴教授、李永勳教授)</u>

a. 快速電池儲能控制技術

b. 電池儲能平衡控制技術

c. 適應性儲能系統無縫運轉控制技術

d. 智慧型儲能系統建模與殘量預測技術

e. 飛輪儲能系統整合控制及非線性無感測飛輪控制技術

f. 智慧型儲能系統管理

一、摘要

儲能系統控制在能源系統和微電網系統中發展的趨勢，已由封閉式系統演進到開放式系統，同時也結合智慧型技術和網際網路通訊技術,提供更多有用的資訊幫助管理人員在電能調度與管理的部分，能夠持續保持良好的管控以提昇能源系統的安全和效能。

二、國外研究概況

能源科技是一個符合低碳世界潮流趨勢的主題。儲存能量尤其是個特別值得專注的研究方向。世界上多數的能源研究計畫多半專注在產生或收集各種能源，但儲能技術的發展才是能源科技中最關鍵研究子題。能源儲存和研究依不同能量的方式可分為：電能(如超級電容(Supercapacitor))、電化學能(如鉛酸電池、鋰電池、釩電池(Vanadium Redox Flow Battery)、燃料電池)、動能(如飛輪(Flywheel))、 位能(如空氣壓縮儲能系統(CAES)、抽蓄電廠(Pumped Hydro))、化學能(如氫儲能系統(Hydrogen-Based))、磁能(如超導磁能儲存系統(SMES))、熱能及熱化學能等[1-4]。目前最普遍，且已商業化之電池的能量密度和功率密度相當低。然而，新興技術已經出現，值得特別聚焦。改善儲存系統的效應很大。即使和電池的能量密度差不多，就足以讓電動汽車快速取代化石燃料汽車[2, 4]。能源管理系統設計重要關鍵在發展高效能電力電子轉換器[3-5]和設計完整全方位的智慧控制器[5,9]。儲能系統除了可以用來做電動車輛和再生能源的能量儲存外，還可以利用其快速響應的控制特性來增進大型系統的動態穩定度[6-8]。在**快速電池儲能控制技術**方面，如文獻[9]中，作者提出一種用於鋰鐵電池中的全數位控制的快速充電方法,此種充電方法中的靜止時間及放電時間能夠加速其化學效應並且增加充電電流的耐用度並縮短其充電時間，同時將其充電效率增加至 87.51%。同樣的快速充電效果也可透過內部電阻的補償來達成[10]。而在**電池儲能平衡控制技術**方面，參考文獻[2]中使用鋰鐵電池作為主要的能源儲存系統，其電池管理系統可估計電池單元的充電狀態與任一個電池的健康狀態，適用於所套件的主動充電平衡。文獻[11]中也探討了高電壓串聯浮動充電離電池組這個主題。關於**適應性儲能系統無縫運轉控制技術**，參考文獻[12]提出了一種強健分級控制系統，使系統於電網連接模式與孤島模式之間無縫切換。無縫切換技術也可用於再生能源之分佈式發電如太陽能、風力發電及燃料電池系統的無縫電網互連控制策略[13]。**智慧型儲能系統建模與殘量預測技術**方面，參考文獻[14]提出了一個易於使用的電池模型，這個模型是由與電阻串聯的控制電壓源組成,並證明了這個模型可以精確地表示四種化學電池的類型並可以精確地表示電池的行為。在**飛輪儲能系統整合控制及非線性無感測飛輪控制技術**的研究，如參考文獻[15]中，採用了模糊邏輯控制技術與特別的濾波器，提出 DSTATCOM 和 FESS 的耦合來減少由風力變化所造成的電

力系統動態問題。**智慧型儲能系統管理**方面，在文獻[16]中提出一種多模式鋰離子電池儲能架構，以智慧型電能輸入輸出切換控制策略為基礎，並將結果應用於實際案例之中。

三、國內研究概況

台灣已經大量投入奈米科技研究，應當可以設定能源儲存和儲能系統控制為其研究焦點之一。在綠色運輸和微型電網的多元化再生能源系統中，先進能源儲存技術和儲能系統控制的選擇和設計是非常重要的議題，也是發展電動車輛、智慧電網、和再生能源應用的關鍵技術[17-20]。合適的儲能系統和最佳化的儲能控制可大幅增加再生能源的發電比例；降低尖峰時的供電成本，進而降低電價，提供經濟效益；替代投資新的傳輸線、配電線路、及發電廠，降低系統成本；提供有效備載容量及更快的響應速度的電力品質改善; 提供有效的負載管理機制；改善系統的可靠度、穩定度及電力品質[20-23]。發展高效能雙向電力電子轉換器及智慧型控制器來改善儲能系統的效能和鋰電池串等化與管理已有一些進展[17, 18, 21, 23]。微電網中能源系統的無縫運轉控制和設計可以改善儲能系統模式切換的暫態持性[19, 20]。在[21]對具有高電壓直流鏈的自主海洋混合式發電/儲能系統動態控制和分析。在[22-24]利用智慧型演算法和控制法則來處理電池串的殘電量估測和潔淨能源轉換器系統低頻漣波控制。

以網路為平台的能源管理系統是一種分散再生能源系統發展的重要議題[25]。由於能源管理和控制牽涉到設備與元件各有不同的通訊協定與控制工具，因此將各控制網路中的資訊整合並進行分析，發展以代理者(Agent)為基礎的能源管理網路。主要的方法是利用資料庫技術與行動代理者程式作為資訊網路和控制網路間資料整合的工具，以串聯整套的智慧型能源管理網路[26]。交錯式太陽能能源管理系統使用微控制器作為控制核心，整合管理能源消耗與能源儲存的機制，利用模糊控制的方法將太陽能電池產出電能在能源消耗與儲存之間依適當比例分配，使太陽能電池所發出的能源可作最有效率的使用，其中所應用交錯式供電的構思，除方便整合硬體架構外，並可同時獲得很多額外的好處[27]。實現電池與超級電容器並聯供電的混合儲能系統之設計，將目前負載所需要的能量，透過電流分配的方式，進行電力調度，讓電池的轉換效率維持在良好狀態，進而增加電池的供電量和增進動態尖峯功率補償持性[28]。

在具有儲能系統的控制系統設計中，有些儲能元件或致動器的限制，例如電磁損壞干擾而產生的飽和效應以及摩擦力阻礙等影響，會造成整個控制系統中的非線性度增加，以及破壞系統在暫態及穩態的穩定及操控表現，由於致動器限制的非線性度很高，因此很難去用數學模型去描述，因此採用模型為基礎(Model-Based)之傳統控制及智慧型控制設計方法無法有效地解決，有些文獻利用適應模糊及類神經網路的設計來尋求控制系統在致動器限制非線性度影響下的穩定條件，然而這些方法仍然必須先假設非線性變化的範圍為已知，以及在沒有雜訊干擾的條件下。為了改善這些限

制，文獻[29]提出直接及非直接式的適應模糊類神經網路控制，利用可即時學習的 T-S 模糊模型，針對不斷改變的致動器非線性特性，調整模型中的參數，並即時調整控制器的參數，使得控制系統能保持良好的穩定性及強健性。文獻[30]進一步提出對於多輸入多輸出(Multi-Input Multi-Output, MIMO)系統的模糊適應性控制設計方法，可解決控制系統未知的控制輸入模型以及控制力方向，並利用 PI 控制法則來調整模糊控制系統的內部參數。文獻[31]針對致動器的不對稱非線性，先分析其限制對系統之影響，再將此效應考慮在適應追蹤控制系統中，透過控制濾波器設計來模擬實際致動器的物理限制特性，並導入追蹤控制法則中，可達到半全域壁迴路在有限邊界的系統穩定。

由於所面對的具有儲能系統的大型系統之複雜性與日俱增，因此控制系統的設計複雜性與挑戰性亦趨增加，尤其在大型系統中，由各個複雜的子系統整合而成，為了不希望某些子系統因其他因素無法正常運作而導致整體系統的損壞或是無法操作，因此需要控制系統中具有診斷錯誤或是容錯的能力。此外，複雜系統通常是屬於 MIMO 的系統，但是全狀態迴授的機制在實際狀況中是幾乎不可行的，又因為傳統的線性估測器已無法應付複雜系統的非線性及不確定性，因此利用智慧型系統技術來設計估測器便成為近期發展的重點之一。在文獻[32]中，提出一套具有權重切換式及內迴路補償器之估測器，並應用於分散架構之串聯系統中，為了提升控制系統的軌跡追蹤表現，再利用進化程序(Evolutionary Programming)來找出最好的控制系統參數。文獻[33]利用模糊推論系統(Fuzzy Inference System)發展大型不確定系統的狀態估測器，搭配 H∞追蹤控制系統，整個控制系統結合了直接及間接式適應性模糊控制器，除了可保證整體系統的穩定性之外，亦可達到良好的 H∞追蹤表現。文獻[34]及[35]則是考慮在系統具有高度不確定性的情況下，利用智慧型系統技術先去建立系統狀態的適應性估測器，可藉由系統的輸出，準確估測出整體系統的狀態訊號，並與控制器整合之後，仍然能保持整體系統的穩定性，並對於非線性變化以及不確定性干擾具有良好的強健性。

針對具有儲能單元的系統不確定性，以及在工作環境中，很困難去將系統動態引進控制器設計過程中，以及系統動態易受到環境不確定之影響而改變，也會增加控制器設計的複雜性及困難度，因此近期在智慧型控制的研究中，很多文獻直接利用智慧型系統技術，進行無模型(Model-Free)控制器設計。然而，這樣的設計概念需注意的是控制系統執行運算的複雜度，計算負擔過大的控制系統可能無法應用於即時系統的操作中，但是要精確地反映每一次即時系統動態卻需要適應性或可學習性的計算機制。文獻[36]利用重複型小腦模型連結控制(Recurrent-Cerebellar-Model-Articulation-Controller, RCMAC)技術來發展 Model-Free 智慧型適應性控制系統，其概念是利用 RCMAC 即時自我調整的能力，來使具有儲能系統的系統達到最好的控制效果。文獻[37]則利用 Model-Free Learning Adaptive Control (MFLAC)整合非線性系統及無模型學習適應能力，並引入進化演算法將控制系統參數作最佳化處理，其系統可成功應用在不同動態的非線性系統。

目前所使用之儲能系統，除電池外，飛輪儲能系統也為研究主題之一，參考文獻[38]針對現階

段高速飛輪系統發展限制，提出鐘擺型飛輪磁浮控制系統，文中所設計之磁浮軸承系統，可降低電能損耗，並提高整體系統可靠度。另外，自感測技術之應用可免去使用商業感測器，故可降低系統製作成本。其提出的設計將可實現低成本、低耗能與高效率之全磁浮高速飛輪電池系統。文獻[39]主要設計一個氣隙保持機制(Gap-Retained Mechanism, GRM)與控制策略，並對其進行閉迴路控制以保持偏心飛輪之定間隙，文中利用能量法、有限元素分析及電磁學理論推導 GRM 之系統動態，進行電腦模擬分析。

四、研究方向及具體建議

大部分潔淨能源有季節間歇性與離峰電力過剩(及尖峰用電不足)之缺點，因此儲能系統不僅是因應目前之需求，未來若有更多潔淨能源加入電力網絡中，儲能系統更加重要，以調節電力過剩與不足之困境，因此本子題規劃儲能系統相關控制技術開發。儲能系統中以蓄電池發展歷史最為悠久，如鉛酸電池、鎳氫電池、鋰電池等，但蓄電池充電時間長限制了其相關應用發展，因此快速電池儲能控制技術成為首要處理課題。蓄電池單體直流電壓不高，通常利用串聯技術提昇電壓，但串聯電池所衍生最大之問題在於容量匹配的問題，包括充電狀態失配和能量失配，因此電池儲能平衡控制技術成為關鍵技術之一。另一方面，儲能系統於智慧型微電網之獨立區域供電模態中扮演舉足輕重角色，如何能於無預警斷電情境中，發揮儲能系統即時補償之最大綜合效果，適應性儲能系統無縫運轉控制技術顯得格外重要。除此之外，不論儲能系統於綠色運輸或智慧電網之應用中，儲能容量及供應型態為使用者最為關心之議題，因此智慧型儲能系統建立模型與殘量預測技術成為另一關鍵技術。目前儲能系統中除了蓄電池外，飛輪儲能亦為當前爭相研究主題之一，包含複材轉子模組、磁浮軸承改善、真空封裝與系統冷卻、系統整合控制等，因此本子題亦規劃飛輪儲能系統整合控制及非線性無感測飛輪控制技術之開發。儲能系統的管理系統技術，主要可針對不同的儲能單元如鉛酸電池、鋰電池、釩電池、超級電容、空氣壓縮儲能系統(CAES)、超導磁能儲存系統(SMES)、飛輪儲能系統、燃料電池儲能系統、和混合式儲能系統等進行儲能單元特性的參數建立，再利用此不同儲能單元特性參數來建立模型，同時和儲能模組中每個儲能單元動態電壓監測、動態殘電量監測、動態溫度監測等參數來進行儲能管理系統的安全和壽命等監控，因此利用智慧型運算和監控技術之智慧型儲能系統管理來提升儲能系統在使用上的安全性和整體效能是目前重要研究議題。為確實掌控儲能系統中所每個儲能單元的即時儲能狀態及執行有效的動態儲能調度，智慧型多目標分散式儲能系統最佳化調控技術成為關鍵技術。電池能量管理系統之監控系統可以記錄電池的殘存電容量、電池的健康度、電池充電控制及充電等化、電池放電控制及過放電保護、電池及環境的過溫度保護、電源系統的過電流及過電壓保護、以網路為平台的能源管理系統之分散再生能源系統等。能源管理網路系統-透過資料擷取及 CAN Bus 的串列通訊介面系統或網路通訊技術與其他相關的安全

監控系統作儲能管理系統執行任務的動態智慧型監控，以期使整體的監控系統能在最佳的能源效率及安全保護狀態下執行任務。

參考文獻

[1] A. J. Mason, D. J. Tschirhart, and P. K. Jain, "New ZVS phase shift modulated full-bridge converter topologies with adaptive energy storage for SOFC application," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 23, no. 1, pp. 332-342, 2008.

[2] L. M. S. Inoue, H. Akagi, and J. Asakura, "State-of-charge (SOC)-balancing control of a battery energy storage system based on a cascade PWM converter," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 24, no. 6, pp. 1628-1636, 2009.

[3] R.-J. Wai, R.-Y. Duan, J.-D. Lee, and L.-W. Liu, "High efficiency fuel cell power inverter with soft-switching resonant technique," I*EEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 20, no. 2, pp. 485-492, 2005.

[4] H. Qian, J. Zhang, J.-S. (Jason) Lai, and W. Yu," A high-efficiency grid-tie battery energy storage system," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 26, no. 3, pp. 886-896, 2011.

[5] M. S. Agamy and P. K. Jain, "An adaptive energy storage technique for efficiency improvement of single-stage three-level resonant AC/DC converters," *IEEE Trans. on Industrial Applications*, vol. 47, no. 1, pp. 176-184, 2011.

[6] L. Wang, S.-S. Chen, and W.-J. Lee, "Dynamic stability enhancement and power flow control of a hybrid wind and marine-current farm using SMES," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 24, no. 3, pp. 626-639, 2009.

[7] S.-S. Chen, L. Wang W.-J. Lee, and Z. Chen, "Power flow control and damping enhancement of a large wind farm using a superconducting magnetic energy storage unit," *IET Renewable Power Generation*, vol. 3, no. 1, pp. 23-38, 2009.

[8] D.-J. Lee and L. Wang, "Small-signal stability analysis of an autonomous hybrid renewable energy power generation/energy storage system, Part I: Time-domain simulations," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 23, no. 1, pp. 311-319, 2008.

[9] S. Y. Ou, J. H. Tian, and C. Y. Yang, "Design and implementation of a DSP-based fast charger for Li-ion battery," *in Proc. IEEE PEDS Singapore*, Dec. 2011, pp. 809-812.

[10] C. H. Lin, C. L. Chen, Y. H. Lee, S. J. Wang, C. Y. Hsieh, H. W. Huang, and K. H. Chen, "Fast Charging Technique for Li-Ion Battery Charger," *in Proc. IEEE Power Electron.*, Jul. 2008, pp. 618-621.

[11] W. Zhang, D. Dong, I. Cvetkovic, F. C. Lee and D. Boroyevich, "Lithium-based energy storage management for DC distributed renewable energy system," in *Proc. IEEE ECCE*, Jun. 2011, pp. 3270-3277.

[12] Y. A. R. I. Mohamed and A. Radwan, "Hierarchical control system for robust micro-grid operation and seamless mode-transfer in active distribution systems," *IEEE Trans. Smart Grids*, vol. 2, no. 2, pp. 352-362, Jun. 2011.

[13] R. Majumder, A. ghosh, G. Ledwich, and F. Zare, "Control of parallel converters for load sharing with seamless transfer between grid connected and islanded modes," in *Proc. IEEE Power and Energy Society General Meeting*, Pittsburgh, USA, Dec. 2008, pp. 1-7.

[14] O. Tremblay, L. A. Dessaint, and A. I. Dekkiche "A generic battery model for the dynamic simulation of hybrid electric vehicles," *in Proc. IEEE VPPC*, Sep. 9, 2007, pp. 284-289.

[15] G. O. Suvire and P. E. Mercado, "Active power control of a flywheel energy storage system for wind energy applications," *IET Renew. Power Gen.*, vol. 6, no. 1, pp. 9-16, Jan. 2012.

[16] X. Liu, Y. Fu, J. Peng, and B. Zheng, "Research and application on multi-mode energy storage system smart control," in *2012 14th International Conference on Advanced Communication*

Technology, 2012, pp. 1289-1293.

[17] S.-K. Changchien, T.-J. Liang, J.-F. Chen, and L.-S. Yang, "Novel high step up DC–DC converter for fuel cell energy conversion system," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 57, no. 6, pp. 2007-2017, 2010.

[18] Y.-S. Lee, and G.-T. Cheng, "Quasi-resonant zero-current switching bidirectional converter for battery equalization applications," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 21, no. 5, pp. 1213-1224, 2006.

[19] C.-W. Chang and Y.-R. Chang, "Energy storage systems for seamless mode transfer in microgrid," *IEEE PEDS*, pp. 799-802, 2011.

[20] C.-L. Chen, Y. Wang, J.-S. Lai, Y.-S. Lee, and D. Martin, "Design of parallel inverters for smooth transfer microgrid applications," *IEEE Trans. on Power Electronics*, vol. 25, no. 1, pp. 6-15, 2010.

[21] L. Wang, D.-J. Lee, W.-J. Lee, and Zhe Chen, "Analysis of a novel autonomous marine hybrid power generation/energy storage system with a high voltage direct current link," *Journal of Power Sources*, vol. 185, pp.1284-1292, 2008.

[22] Y.-S. Lee, W. Y. Wang, and T. Y. Kuo, "Soft computing for battery state-of-charge (BSOC) estimation in battery string systems," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 55, no. 1, pp.229-239, 2008.

[23] I. H. Li, W. Y. Wang, S. F. Su, and Yuang-Shung Lee, "A merged fuzzy neural network and its applications in battery state-of-charge estimation," *IEEE Trans. on Energy Conversion*, vol. 22, no. 3, pp. 617-708, 2007.

[24] R.-J. Wai and C.-Y. Lin, "Dual active low-frequency ripple control for clean-energy power-conditioning mechanism," *IEEE Trans. on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 11, pp. 5172-5185, 2011.

[25] 王俊仁，以代理者為基礎的智慧型能源管理網路之研究，國立臺灣大學機械工程學研究所，碩士論文，民國 91 年。

[26] 薛俊輝，自動監控與能源管理之智慧型網路系統，國立臺灣大學機械工程學研究所，碩士論文，民國 89 年。

[27] 劉育仁，智慧型交錯式太陽能能源管理系統之設計與應用，國立高雄應用科技大學電機工程系，碩士論文，民國 98 年。

[28] 鄭宗銘，鉛酸電池與超級電容並聯供電之能源管理，國立彰化師範大學車輛科技研究所，碩士論文，民國 99 年。

[29] R. J. Wai and Z. W. Yang, "Adaptive fuzzy neural network control design via a T-S fuzzy model for a robot manipulator including actuator dynamics," *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*-Part B: Cybernetics, vol. 38, no. 5, pp. 1326-1346.

[30] A. Boulkroune, M. Tadjine, M. M. Saad, and M. Farza, "Fuzzy adaptive controller for MIMO nonlinear systems with known and unknown control direction," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 161, pp. 797-820, 2010.

[31] M. Chen, S. S. Ge, and B. Ren, "Adaptive tracking control of uncertain MIMO nonlinear systems with input constraints," *Automatica*, vol. 47, pp. 452-465, 2011.

[32] J. S. H. Tsai, J. H. Lin, L. S. Shieh, C. R. Liu, S. M. Guo, "Decentralized observer-based tracker for analog systems with saturating actuator and state constraints," *Computers and Mathematics with Applications*, vol. 55, pp. 1-22, 2008.

[33] Y. S. Huang, D. S. Xiao, X. X. Chen, Q. X. Zhu, and Z. W. Wang, "H∞ tracking-based decentralized hybrid adaptive output feedback fuzzy control for a class of large-scale nonlinear systems," *Fuzzy Sets and Systems*, vol. 171, pp. 72-92, 2011.

[34] S. H. Mousavi, N. Noroozi, A. A. Safavi, and A. Ebadat, "Modeling and control of nonlinear systems using novel fuzzy wavelet networks: The output adaptive control approach," *Commun Nonlinear Sci Numer Simulat*, vol. 16, pp. 3798-3814, 2011.

[35] A. Boulkroune and M. M'saad, "On the design of observer-based fuzzy adaptive controller for nonlinear systems with unknown control gain sign," *Fuzzy Sets and Systems*, in press, 2011.

[36] C. H. Chen, C. M. Lin, and T. Y. Chen, "Intelligent adaptive control for MIMO uncertain nonlinear systems," *Expert Systems and Applications*, vol. 35, pp. 865-877, 2008.

[37] L. D. S. Coelho, M. W. Pessoa, R. R. Sumar, A. A. R. Coelho, "Model-free adaptive control design using evolutionary-neural compensator," *Expert Systems and Applications*, vol. 37, pp. 499-508, 2010.

[38] 蔡南全，林俊吉，邱信霖，王百祿，「應用於高速飛輪電池之節能型磁浮系統設計與分析」，應用聲學與振動學刊，第 3 期，第 13-22 頁，民國一百年四月。

[39] 歐康成，維持對能量回收系統中之偏心飛輪常間隙之主動式控制，國立成功大學機械工程學系，碩士論文，民國一百年六月。

規畫子題：<u>5. 新興能源控制(曾仲熙教授、謝旻甫教授、魏榮宗教授)</u>

a. 非線性生質能源建模及強健控制技術

b. 智慧型最佳化燃料電池能量管理及適應性控制技術

c. 海洋能發電裝置控制技術

潔淨能源除一般習知之太陽能及風能外，亦包含生質能、燃料電池、海洋能等新興能源，因此本子題規劃新興能源相關控制技術開發。生質能應用方面，台灣著重於廢棄物焚燒發電及垃圾掩埋沼氣發電，國際上則著重於生物煉製概念，因此本子題規劃**非線性生質能源建模及強健控制技術**之開發，希冀能讓國內生質能應用研究更上一層樓。目前燃料電池應用以備用電源或輔助電力系統為主，並以氫離子交換膜燃料電池為大宗，然而燃料電池為求穩定發電，尚需包含氫氣管理子系統、空氣管理子系統、溫度管理子系統以及發電控制子系統，若要同時兼顧節省能源、調整功率匹配、提升燃料電池使用壽命並確保穩定控制策略，**智慧型最佳化燃料電池能量管理及適應性控制技術**之開發顯得格外重要。此外，海洋占地球表面的 70%以上，利用其物理特性，透過能量之間的轉換，即可獲得海洋能，包含溫差能、潮汐能、波浪能以及海流能四大類，雖然單位能量小，但總蘊藏量大且來源不虞匱乏，台灣海洋能源蘊藏豐富，但國內在海洋能的研究及開發上進步較為緩慢，且大都著重於發電機組研究，**海洋能發電裝置控制技術開發**有助於海洋能研發往前邁進一大步。

a. 非線性生質能源建模及強健控制技術

一、 國內外研究概況

近年來由於二氧化碳等會造成溫室效應的氣體排放遽增，引起全球暖化現象，使得熱污染問題廣受重視，於是如何尋求新且潔淨的生質能(Biomass Energy)以供未來使用，乃成為一個重要的議題。根據國際能源總署的統計，目前生質能是全球第四大能源，僅次於石油、煤及天然氣。生質能供應全球約 14%的初級能源需求，也提供了開發中國家 35%的能源，是目前最廣泛使用的再生能

源。從技術層面與經濟效益角度考慮，利用能源作物來生產生質能源為一可行的方法，然而利用糧食作物生產燃料不僅影響糧食的供應與民生，且經濟效益不高，甚至可能再度破壞環境。利用高產、纖維質或油質豐富的新興能源作物配合新的能源轉換技術生產第二代生質能源，則將更符合環保的規範與經濟效益[1]。

眾多生質能源中又以生質乙醇(Bioethanol)最受矚目，由於生質乙醇具有高純度、方便儲存與低危險性等優點，可將汽油與生質乙醇混合用於車輛之引擎。所謂生質乙醇，係指運用微生物，如酵母菌、細菌等，將可醱酵醣(Fermentable Sugars)，如葡萄糖(Glucose)、甘露糖(Mannose)等轉換而成之乙醇。由於含糖作物與澱粉類作物常屬於重要之糧食作物，若移作生質乙醇之原料，勢必影響到糧食供應平衡，衝擊糧食市場與糧食安全，因此以含有木質纖維素之非食用草本植物、木本植物或農業廢棄物作為生產乙醇之原料，不僅可避免衝擊糧食市場，更可連帶解決農業廢棄物問題，是爭議最少之選擇，但相對於以甘蔗或與玉米提煉乙醇之成本與技術，要從木質纖維素原料轉換出乙醇，確實存在成本偏高與轉換技術成熟度不足等問題。至於以木質纖維素作為生質酒精原料則有以下優點：(1)原料成本低；(2)來源多樣化；(3)原料開發過程中較不會與糧食生產發生衝突；(4)木質素可作為發電燃料，降低對傳統石化能源之需求。因此，以木質纖維素作為生產酒精的原料，將會是今後發展生質酒精的重點研究方向。

生質酒精，也可叫做生物乙醇，是由生質作物所產生醣類、澱粉或纖維素等，經微生物發酵而得到酒精[2]。生質酒精是可再生燃料，發展生質酒精汽油使用自產能源可創造就業機會、增加能源來源多元化，同時也可以減少溫室氣體排放，是截至目前為止最好的環保替代能源之一。

生質酒精的生產方式是依據生質酒精的原料不同，其生產方式可區分為三類：

1. 醣質作物：代表性作物包括甘蔗(如巴西、印度、泰國、阿根廷)、甜菜(如法國)、甜高粱(目前我國在實驗階段)、糖蜜(製糖所產生之副產品)。先經前處理產生糖液，再經發酵、蒸餾、脫水等程序產生酒精[3]。
2. 澱粉類作物：代表性作物包括玉米(如美國、大陸)、小麥(如大陸)、甘薯、樹薯(如泰國)等[4]。先利用酵素的作用將澱粉轉換成糖類，再經發酵、蒸餾、脫水等程序來產生酒精。其衍生之副產品可作為食品或動物飼料[2]。
3. 纖維素作物：如稻桿、玉米桿及林業加廠等事業廢棄物(如木屑)，其纖維素或半纖維素為較長鏈葡萄糖結構，須先經切斷其長鏈再經發酵、蒸餾、脫水等程序[5, 6]。目前以加拿大之 Iogen 公司技術較領先，美國及其他先進國家亦投入不少人力及資金進行技術研發[7]。

我國核能研究所於 2009 年興建先導型纖維酒精實驗工廠，開發新的生產技術，在技術不斷進展下，未來纖維素酒精生產成本可望大幅降低。目前醣類、澱粉類作物生產生質酒精的技術方面為

生物化學轉換方法，醣類(或澱粉)經水解、發酵、蒸餾及脫水等程序生產酒精，所需耗用的成本較低。而纖維素類生產生質酒精的技術方面，必須先將木質素從纖維素及半纖維素中去除後，將纖維素轉化為醣類，再經發酵、蒸餾及脫水等程序生產酒精。雖原料成本較低，不受糧食供應及價格影響，但還需仰賴較先進的技術，才能降低生產成本[5]。

二、 研究方向及具體建議

新能源有很多種形式，早期開發的有太陽能、核能、風能、水力(包括潮汐)、沼氣等，未能成功推廣的原因，主要是效率低、成本高、方便性不足等，尤其是這些能源無法替代汽油來提供大量交通工具之需求。近年來微生物能源細胞(Microbial Fuel Cells)、生物酒精(Bio-Ethanol)及生物柴油(Bio-Diesel)等生質能源的發展受到重視，主要緣由其方便使用於交通工具之故。

生質能源在各種再生能源中佔有重要角色,是台灣有能力且必須發展的高科技,其重要性如下:

1. 提供安全穩定的能源─生質能源的原料可在國內種植，具有安全且來源穩定的特性，可以減少對進口能源的依賴。
2. 活絡社會經濟─生質能源工業的發達可以製造工作機會，並且增加政府的稅收。能源作物的種植及農業廢棄物的再利用，也可以活絡農村經濟、增加農民收入，以及減少政府經濟補貼的負擔。
3. 環境保護─石化油料的燃燒釋放大量 CO2 及其他有害物質，而生質能的使用可使 CO2 及有害物質的排放量大為減少。此外，生質能源作物可將空氣中的 CO2 固定進行光合作用，使碳在自然界中循環利用。另外，農業廢棄物的再利用也可減少其對環境造成不利的影響。

纖維素類生產生質酒精的技術方面，必須先將木質素從纖維素及半纖維素中去除後，將纖維素轉化為醣類，再經發酵、蒸餾及脫水等程序生產酒精。雖原料成本較低，不受糧食供應及價格影響，但還需仰賴較先進的技術，才能降低生產成本，因此目前仍有不少技術困難需克服，原因是植物細胞壁組成非常複雜，由纖維素、半纖維素、木質素、及蛋白質組成堅韌網狀之結構，這種結構使植物能夠直立及保護自己抵抗逆境或病蟲害，但是其難以崩解的特性，卻對纖維素的水解及酒精的生產具有甚大挑戰性。目前自植物細胞壁為分離纖維素所進行之強酸強鹼或高溫高壓之前處理方法，耗費能源或造成環境污染。因此,利用高效率生物性方法來進行纖維素的前處理為相當重要的課題。

纖維素分離之後經過酵素處理或微生物分解成糖，然後再經過微生物醱酵的過程方能製成酒精。雖然這方面技術較為成熟，但是菌種與酵素的品質對於纖維素水解及酒精醱酵的效率及成本的降低亦具有相當大的影響。目前各大生技公司皆投入大量資源積極進行高效率菌種的篩選及酵素的純化研究。目前台灣利用纖維素製造生質酒精所需菌種及酵素，來源主要仰賴進口，面臨價格高昂

且惜售之問題。

生產酒精最昂貴的成本之一是細胞壁前處理、纖維素水解成糖、糖再醱酵成酒精、以及再蒸餾為 95%的酒精等過程所需耗費的大量能源，這些成本可佔總成本 1/2 以上，因此，尋找經濟易得的能源亦是亟待努力的目標。另一方面，生質能可併用在傳統能源供應的架構中，例如生質柴油可與市售柴油混合使用、氣化系統可與汽電共生或複循環發電系統結合等，因此本子題規劃非線性生質能源建模及強健控制技術之開發，希冀能讓國內生質能應用研究更上一層樓。

生質能建模與其控制技術之開發可分兩方面來說明，一是生質柴油生產過程中之轉酯反應爐建模與其適應控制方法的探討，另一方面是生質柴油引擎的建模與控制。生質柴油生產過程中，轉酯反應(Transesterification)是一個高複雜化學反應與熱轉換的組合，且因其具非線性特性需要一個高效率的控制法則，來處理操作程序的變化與所受到的干擾現象，參考文獻[8, 9]提出了有效的反應爐建模與適應控制方法，參考文獻[10, 11]中亦提出其隨機最佳控制的方法。

另一方面，生質柴油引擎的建模的研究，參考文獻[12]提出一個使用棕櫚油生質柴油引擎的建模方法，且其模型含有非線性特性與參數的未知性，可使用類神經網路線上學習與估測來建模，在參考文獻[13, 14]也有相關的研究與報導。參考文獻[15]使用類神經網路，建立一個直接適應控制器(Direct Adaptive Controller)。參考文獻[16]發展遞迴學習控制(Iterative Learning Control)，其可視為一個直接適應控制架構，應用遞迴學習控制於離散非線性隨機系統，以達到命令信號之追蹤。

針對生質能之非線性系統的建模、系統判別、估測與控制問題，建議朝下列幾個研究方向結合進行：

1. 非線性系統的基本系統理論
2. 非線性系統的系統判別
3. 非線性系統的估測
4. 非線性系統的適應控制
5. 非線性系統的智慧型控制 (包括使用類神經網路及模糊控制)
6. 非線性系統的遞迴學習控制
7. 非線性系統的預測控制
8. 非線性系統之整合估測及控制

藉由以上研究希冀達成以下綜合經濟效益：

1. 獲得來源穩定、品質優良、環境保護之永續性生質能源。
2. 建立高效率及創新性之生質能源生產平台技術，除了技術移轉國內建立以高科技為基礎之生質能源產業，並且技術輸出至國際市場。
3. 善加利用台灣可耕地及促進農村經濟。

b. 智慧型最佳化燃料電池能量管理及適應性控制技術

一、國內外研究概況

燃料電池科技特性是電池可微小化及電池的可並聯性，因此應用層面廣泛，從手機、汽機車到社區發電系統都可以此為電源，甚至可做為區域型發電廠，免掉傳統輸配電線路的消耗及損失，因此燃料電池被稱為二十一世紀的新能源。燃料電池依其使用不同的電解質與運作方式，可以區分為質子交換膜燃料電池(PEMFC)、直接甲醇燃料電池(DMFC)、鹼性燃料電池(AFC)、磷酸燃料電池(PAFC)、熔融碳酸鹽燃料電池(MCFC)、固體氧化物燃料電池(SOFC)等 6 大類，產品需求比重分布之趨勢整理如表一所示。

表一、全球主要燃料電池市場需求比重分布之趨勢

燃料電池種類	2003 年	2008 年	2013 年(f)	2018 年(f)
質子交換膜燃料電池 (PEMFC)	71.82	64.91	65.16	70.00
直接甲醇燃料電池 (DMFC)	1.82	3.33	6.76	9.82
鹼性燃料電池 (AFC)	4.85	2.63	1.28	0.67
磷酸燃料電池 (PAFC)	10.61	5.96	3.99	2.37
熔融碳酸鹽燃料電池 (MCFC)	6.97	17.54	14.36	10.44
固體氧化物燃料電池 (SOFC)	3.94	4.91	7.71	6.05
其他	-	0.70	0.74	0.65
合計	100.00	100.00	100.00	100.00

由 Digital Research 所作之推估亦可看出，在各類適用於定置型用途的燃料電池中，由於 PEMFC 技術較為成熟，2015 年全球設置容量將可達到 80MW(表二)，而 SOFC 設置容量僅有 40MW。但隨著高溫電解質生產工藝的進步，以及 SOFC 具有無須貴金屬觸媒及發電效率較高等優點，2020 年 SOFC 設置容量將達 350MW，超越 PEFMC 之 300MW，排名第三位之 MCFC 則僅有 150MW [17]。

表二、全球主要定置型燃料電池設置容量趨勢

	2010 年	2015 年(f)	2020 年(f)	2010~2020 年之成長率
PEMFC	10.4	80.0	300.0	28.8
MCFC	7.7	70.0	150.0	19.5
PAFC	7.9	16.0	22.0	2.8
SOFC	6.7	40.0	350.0	52.2
AFC	0.2	4.0	60.0	300.0
合計	32.9	210.0	882.0	26.8

燃料電池的各種市場應用分布方面，由表三可以看出，2008 年燃料電池的主要應用市場為發電、工業用定置電源與移動電源、車輛電力供應，分別佔所有商業應用之 45.61%、19.30%與 17.54%。2008 年之後預計發電用燃料電池將持續成長，2013 年佔所有商業應用的 43.88%。而供應車輛電源

之燃料電池由於實用化進展較慢，加氫站設施不足，且價格仍難為消費大眾所普遍接受，2013 年將僅佔全體燃料電池商業應用比重之 9.84%。但因燃料電池擁有燃料利用效率高與低污染的特點，車輛用燃料電池仍為廠商主要之研發方向，例如在 2009 年 10 月的東京車展中，豐田社長豐田章男與本田社長伊東孝紳均表示未來長途的車輛行駛需求將由燃料電池車取代目前的混和動力車，故 2018 年車輛用燃料電池應用比重將擴大至 10.98%。而可攜式電子產品用燃料電池由於 DMFC 技術逐漸成熟，2013 年應用比重將達 11.44%。

表三、全球主要燃料電池市場應用比重分布之趨勢

燃料電池應用	2003 年	2008 年	2013 年(f)	2018 年(f)
發電	39.70	45.61	43.88	39.22
工業用定置電源與移動電源	12.12	19.30	27.13	28.43
車輛	31.82	17.54	9.84	10.98
其他交通工具	13.94	14.04	7.71	3.92
可攜式電子產品與其他	2.42	3.51	11.44	17.45
商業應用合計	100.00	100.00	100.00	100.00

我國燃料電池的研發始於 1988 年工業技術研究院能源與資源研究所(現能源與環境研究所)執行能源基金計劃，開發 5 kW 的 PAFC，1995 年時並與台電合作測試由美國引進之國內第一部 200kW 的 PAFC 發電系統。1998 年之後，因為國外 PEMFC 的相關技術逐漸成熟，工研院能資所的燃料電池研發方向也逐漸轉至 PEMFC。早期由於國內燃料電池相關研究的規模與人數有限，因此重點在於瞭解國外技術情況與培養基礎技術能力。2000 年經濟部能源委員會開始擴大燃料電池研發的規模，由工研院能資所、化工所與材料所共同成立家用型燃料電池的研發團隊，元智大學的燃料電池研究中心也獲得一項為期 5 年的研究計畫，同年 3 月亞太燃料電池公司正式成立，開始研發 PEMFC 與配套的儲氫罐及電動機車。2002 年「台灣燃料電池夥伴聯盟」正式成立，2009 年 10 月時已有產、官、學、研會員共 50 家，包括了系統應用廠與關鍵零組件業者。燃料電池的核心零組件如雙極板、質子交換膜與氣體擴散層國內均有廠商投入研發。

現場運轉驗證方面，台電綜合電力研究所與工研院合作設置再生能源(太陽光電、風力發電)製氫示範系統，至 2009 年已運轉 3 年。工研院並與大同世界科技合作於工研院六甲南分院建置氫能應用測試驗證區，具備產氫、儲氫與確保安全的基礎設施，同時也是先進複合金屬與化學儲氫技術研發所在。嘉義中油煉製研究所則與碧氫科技及亞太燃料電池科技合作，建立現場產氫設備，為將來加氫站設施奠定基礎。中興電工已在 2010 年 4 月 19 日正式運行結合 5kW 燃料電池、風力發電機、太陽能電池板、蓄電池的驗證系統，未來將持續收集運行資料以作為研發之參考，亞太燃料電池科技開發的燃料電池機車並在 2010 年 5 月 10~13 日完成環島一周、總行駛公里數超過 1,000 公

里的道路試驗，另中技社所支持由台灣綠色生產力基金會、元智大學及新鼎系統股份有限公司所執行之產學研計畫，亦於元智大學打造具 2kW 燃料電池、3kW 風力發電機、5kW 太陽能電池板、電解製氫的驗證系統，2012 年 2 月計畫執行完畢正式與元智大學智慧電網接軌運轉。而經濟部能源局在 2009 年開始實施「經濟部能源局燃料電池示範運轉驗證補助作業要點」，主要補助自行組裝完成示範運轉驗證裝置容量達 1kW 以上之燃料電池發電系統，至 2011 年 10 月底總計補助 190 台發電系統，總發電量達 545 瓩。經濟部規劃我國燃料電池產業的產值於 2016 年將成長至 130 億元，將使我國的氫能與燃料電池之產業規模在國際佔有重要地位[17]。

二、研究方向及具體建議

目前蓬勃發展之燃料電池[18, 19]，對台灣此地窄人稠之高工業污染國家提供一低污染之電源選擇，然而有幾項缺點不利於燃料電池系統廣泛發展及應用：1)高成本；2)低功率密度；3)緩慢的動態響應；如應用於馬達啟動或車輛加速情況下而言，燃料電池系統無法瞬間輸出大功率，故需依賴可瞬間輸出大功率之儲存電源，因此，燃料電池及儲存電源裝置之混合能源動力系統[20-22]，可改善上述幾項缺點：1)提供快速及額外功率輸出於車輛瞬間加速時，解決燃料電池緩慢的動態響應及低功率密度之問題；2)利用儲存電源來補充燃料電池不足之功率，進而降低燃料電池體積及成本；3)設計完善之控制策略，使燃料電池操作於高效率區間，藉此達到省能及安全之目的；如前所述電源儲存裝置及燃料電池系統為必要之元件，故其使用率有急速上升趨勢。

過去，部分二次電池被認為適合應用於電動汽車，例如傳統鉛蓄電池[23]、鎳氫電池…等，但上述之二次電池其最大缺點為無法快速充電及大功率放電，礙於化學反應時間太慢，因此，近年研究指出，鋰離子電池[24, 25]具有壽命長，成本低，高能量密度，可提供連續高電流輸出及能夠滿足瞬間大功率能源需求之特性，因此逐漸應用於移動載具當中，而其中又以磷酸鋰鐵電池[26]最受矚目，因此，近年許多燃料電池系統與能量管理系統紛紛提出，如 2005 年，Pathapati [27]等人提出一數學模型，模擬 PEMFC 暫態現象，建立出可預測燃料電池溫度、電壓等暫態反應的燃料電池組，並與實驗數據驗證；2006 年，Shan [28]等人考慮燃料電池本身受到溫度的影響，分析在燃料電池內部的溫度分布關係，建立出燃料電池的系統模型，並模擬與探討燃料電池從啟動瞬間到達成穩態，整個過程由於燃料電池內部各個位置溫度不盡相同，影響輸出電壓、電流的程度；2007 年，Kim [29]等人提出能量管理策略，透過對於動力的分配來對氫氣的消耗量進行最佳化，並且將控制策略實際用於真實的燃料電池以及電池混合電動車上；2010 年，Garcia [30]等人發展混合動力源系統模擬於西班牙輕軌車行駛路程上，並依照電池 SOC 規劃八項適應性能量管理系統，透過輕軌車不同行駛速度，達成功率匹配之目的。

本子題規劃以混合動力源為基礎之智慧型最佳化燃料電池能量管理及適應性控制技術，其燃料

電池平衡控制(BOP)系統[31, 32]包含氫氣管理系統、空氣管理系統、溫度管理系統以及燃料電池控制系統，規劃整車性能及動力系統配置，並以磷酸鋰鐵電池做為混合燃料電池電動車之輔助動力系統，設計出一套最佳化能量管理策略，同時在能量管理系統策略上，考慮燃料電池系統的響應速度，與較高工作效率範圍，以智慧型控制方法，設計出最佳化功率匹配。本子題規劃發展全數位化智慧型控制以取代傳統類比控制器，將所建立控制策略運行至控制器，依不同駕駛需求，來分配燃料電池與周邊系統動力輸出，藉此完成智慧型最佳化能量管理系統，節省能量及延長燃料電池壽命之目的，具體研究方向建議如下：

1. 能量管理系統方面，經由偵測負載所需功率利用智慧型控制器輸出一控制命令，進而控制氫氣調壓閥調整燃料電池之氫氣壓力分配比例，降低氫氣能量之使用率，達成節省能源之目的。
2. 安全管理方面，在燃料電池使用上，當啟動燃料電池平衡控制(BOP)系統時，習用控制系統一開始便開啟散熱風扇，然而燃料電池堆內部溫度未達所設計之散熱溫度，此舉易造成能量不必要之浪費，且與電源儲存裝置之間並無完善之功率匹配，使得整體系統效率降低，因此可經由偵測燃料電池電壓及溫度，以適應性控制器控制散熱風扇以及整體系統啟動與截止能有效防止燃料電池因過低電壓或過高溫度而影響燃料電池使用壽命達成高效率、省能及安全之目的。
3. 傳統在建立燃料電池模型時，仍未考慮燃料電池動態溫度，只能假設燃料電池以達操作溫度，因此可藉由實測燃料電池溫度數據，以智慧型溫度建模，仿真實際燃料電池溫度，降低數值模擬上所產生之誤差。
4. 為了使燃料電池能操作於最佳效率區及確保整體系統之安全性，因此如何設計一最佳化控制策略為一關鍵技術，其中，在燃料電池啟動模式下，工作溫度較低，若要有良好的燃料電池性能，必須加快啟動時間，迅速達到工作溫度，可藉由控制燃料電池啟動時先對啟動電池充電，促使燃料電池能操作在最佳效率區；於安全方面，必須了解各項元件之限制條件，如燃料電池電壓操作範圍、溫度、氫氣瓶內之氫氣以及電池實際電荷量，可藉由智慧型控制系統，接收感測器之回授訊號，控制各項子系統截止與開啟，進而延長各項子系統之使用壽命。

c. 海洋能發電裝置控制技術

一、國內外研究概況

再生能源為最直接的替代能源方案。台灣四面環海，海岸線長度約為 1448 公里，經評估後許多地區海洋能源蘊藏豐富，已達可開發規模，若能加以善用，則對台灣能源永續發展與環境保護將

有莫大貢獻。

海洋能種類有溫差、波浪、潮差與洋流/海潮流等幾種。其中台灣地區潮差小，潮差發電較不具開發價值。溫差能熱轉換效率較低，須大量抽取深層海水，並配合多目標利用方具經濟效益。故本次子題鎖定波浪發電與海潮流/洋流發電加以探討。

(1) 波浪發電

依不同波浪環境與技術，目前已發展出數種架構，分別為「震盪水柱」(Oscillating Water Column, OWC)、「漸縮渠道」(Tapered Channel)、「浮體錨鏈」(Buoyant Moored Device)及「擺盪軸式」(Pivoting Flap Device)等主要波能轉換裝置型態[33, 34]。

「震盪水柱」主結構為一空心沉箱氣室，開口向下潛沒在海面之下，使空氣被封存在空氣柱裡面。波浪運動時將壓縮及膨脹空氣柱內的空氣，帶動渦輪機葉片(如 Wells 渦輪機)發電。「震盪水柱」以建造於 Islay 半島海岸 500 kW 之 LIMPET [35-37]為代表，然而其實際發電量遠較預期為低，僅約為 150 kW。400 kW 之 PICO [38, 39]建造於位於 Azores 的 Pico 島上天然渠道中，氣室使用水泥建造，並於氣室後方直接連結水平式 Wells 渦輪機與發電機，依照穩態規格發電機轉換效率應可達到 75%。然而考量雙向氣流進出狀況時，發電機平均效率低於 50%。此研究亦提出利用閥門控制氣流速度，以及可變速發電機用以提升系統轉換效率。日本在 80 年代中期建造四座岸基式與防波堤式波浪發電站，單機總發電容量約為 40-125 kW[40]，其中最有名的為海明號(Kaimei)波浪發電船，由 13 個震盪水柱氣室所組成的船型漂浮結構，安裝 10 台單機發電容量為 125 kW 的發電機，總發電容量 1250 kW，其特別適合於離島的電源供給。

漸縮渠道由一高度高於海平面約 3 至 5 公尺且寬度逐漸向岸縮減之渠道所組成。當波浪由渠道寬廣開口進入漸縮段時，波高會逐漸增高，直到越過渠道之岸壁，進入一集水池，驅動低水頭水輪機發電。漸縮渠道代表為挪威於 80 年代中後期在 Toftestallen 島所建造之 350 kW 聚波水庫發電站[41]，其成為國際波浪能技術領先國家的象徵。在 90 年代又建造了一座總發電容量 10 MW 的波浪發電設備，已達商業應用的程度。

浮體錨鏈發電系統是利用浮體隨波浪上下擺動帶動壓力幫浦推動渦輪發電機發電，可漂浮在海面上或潛沒於海面下，並以錨鏈錨碇在海床上。浮體錨鍊代表為海蛇號 Pelamis[34]，取自於其造型像一隻巨大的海蛇。Pelamis 長 120 m、寬 3.5 m 和重量 700 噸，利用圓柱間相互連接的絞鏈隨波運動，帶動油壓幫浦驅動發電機產生電力，總容量為 750 kW。

擺盪軸式設備利用水波來回拍擊結構體，藉由其來回擺動帶動幫浦及與幫浦連接的渦輪機而發電的設備。其代表性系統為 Oyster [42]，由 Aquamarine 動力公司所設計，第一代的 315 kW 於 2009 年和電網併聯，並開始傳輸電力至全國供電網路，Aquamarine 動力公司也正準備於 2012 年開始部屬第一座商用波浪發電廠。Oyster 於海面下 10 到 20 公尺的深度，利用海岸的波浪來進行發電，其

成功來自於將裝置於海面的移動零組件減到最低以因應惡劣的海況，讓所有電子零件皆於岸上達成[43]。

國內目前波浪發電主要可分為震盪水柱式、浮體式與平移式等。由[44]所提出之岸基震盪水柱波浪發電為一雙氣室結構之沉箱，依據當地近岸波浪觀測資料與福祿數理論，將實驗規格等效縮小至本系造波水槽以完成初期測試。本文採用兩級串接 Savonius 葉片搭配雙氣室，使流經葉片之合成風速較為穩定，以降低傳統震盪水柱式發電系統葉片轉速變化劇烈情形，並降低後端控制電路成本、提高發電機輸出功率品質與發電容量。在浮體式發電方面，文獻[45]利用數值與實驗方法，模擬在規則波中的波浪發電系統。發電過程為波浪推動浮子，浮體帶動活塞，透過活塞壓縮空氣，空氣傳輸到恆壓桶，保持一定的輸出氣體至發電裝置上而產生電能。浮體運動振幅越大，甚至發生共振現象讓發電裝置吸收更多的波浪能量。文獻[46]則探討液態水槽在波浪能源收集與海上浮台減震之應用；利用有限差分法及四階 Runge-Kutta 法，建立的完整非線性二維數值計算模式，來計算矩形水槽與雙自由度之浮台的耦合運動，並分析浮台在不同彈簧參數情況下的反應。

(2) 海潮流與洋流發電

海潮流與洋流發電藉由水流的動能驅動渦輪機來發電。文獻[47]針對海潮流討論其動能，研究焦點主要在於探討減少葉片空蝕之方法，以提高系統效率。文獻[48]則討論流場潛能，並提出流場控制方法。文獻[49]則回顧潮流發電設備，並包含最新的海潮流發電細節，其內容包含整合性、經濟面、實際安裝於真實環境以及應用端與成本等細節。文獻[50]回顧與分析海洋能系統以及相關政策，其科技面與發展狀況皆有所討論，海洋能轉換系統已透過不少國家研發，由英國做為先鋒，其次為美國、加拿大、挪威皆獲得相當重要之成果。以海潮流為例，最有名的即為裝置於北愛爾蘭 Stranford Lough，由 Marine Current Turbine 公司所開發的 Seagen 海潮流發電機[50]。其為世界上第一個實際商轉的海潮流發電系統，並嘉惠當地居民。

在國內方面，文獻[51]研發變繞組永磁式發電系統，並將其應用於海潮流發電。本系統之特色為利用變繞組結構設計，來改變發電機本身之特性，不僅可以使其適用於各種葉片設計，並可使整個系統即使在流速變動之情形下，亦可在任何時刻有效達成穩定電壓及穩定電流輸出。文獻[52]主要以研究水平式水渦輪機為主，利用葉片元素動量理論來設計水渦輪機葉片外型，並探討裝設外罩是否能有效提高水渦輪機所產生的功率，再細部分析不同外罩的幾何形狀及葉片數目等參數對水渦輪機性能之影響並分析水渦輪機在週期性海流下經由運轉所能產生的最大輸出功率與能量。為開發黑潮發電以擷取可觀之再生能源，如何將發電機組固定於深水海底並抵擋強勁水流將成為這項技術的挑戰。[53]探討不同的錨碇方式，考慮初期以 10MW 輸出功率離岸 5 公里規模的先導型海流電廠，也檢討以 25 平方公里海域裝置渦流發電機網擷取 1GW 電能的考量下，進行錨碇系統結構設計與

建造可行性研究。上述文獻整理旨在針對全球海洋能發電系統以及發展現況，提供一個概略性與方向性上之了解。

(3) 其他與能源系統控制相關研究

文獻[54]針對應用於波浪能轉換之線性發電機所擬定之簡化模型，直接將波浪能透過一浮體帶動線性同步永磁發電機將電能輸出。浮體速度被假設為等速以及周期性弦波運動，此模型主要透過 Maxwell 方程式計算電磁場與電流，透過分析損失並探討電磁力，且針對磁鐵討論磁化曲線以避免其受到退磁。此模型可避免為了求解線性發電機與浮體最佳化所需進行的大量運算，透過此模型亦可求得最佳化設計結果。文獻[55]同樣應用永磁線性發電機於波浪發電，對於負載控制進行動態模型討論，此模型顯示系統轉換效率涉及系統負載。由系統之浮體受力方程式，代入個別質量阻尼等係數，並依此設計其最佳負載，並完成電流控制之昇壓電能轉換器。文獻[51]則探討變結構發電機與負載及發電功率之關係。文獻[56]討論 OWC 波浪發電之系統設計法則。文獻[57]使用兩組震盪水柱式的 Wells 渦輪機，利用雙饋式感應機做為功率輸出，其控制器主要依據沉箱壓差調節感應機之滑差，並使用 PID 控制器實行最大功率控制，可得到更大輸出功率。由於 Wells 渦輪機因葉片可能會有失速限制，因此需將葉片機械特性以及發電機動態特性整合考量。

二、研究方向及具體建議

本次子題為「海洋能發電裝置控制技術」，透過上述文獻探討，建議整體研究方向定位在「透過分析海洋能發電系統之動態模型，建立能量轉換裝置之機電整合技術，並發展系統控制方法，以提高整體系統發電效率與性能」。國外已有許多大型實際案例(如 Pelamis、Seagen 或 LIMPET [34-37, 50]等)，藉由這些系統的發展，已然累積許多經驗，當然亦包含系統控制技術。然而國內仍在起步階段，尚待急起直追。一般所發表之海洋能技術上，尤其是學術性文獻，主要在於不同架構之可行性分析、渦輪機性能探討[47] 、發電機設計[54] 、或是發電機功率控制，並應用電力電子轉換器為之[55, 57]，較少從系統面探討。故本次子題建議朝向系統設計與控制發展，方能獲得較佳系統性能。茲建議研究方向如下：

1. 海洋發電系統動態模型建置：就功率潮流來看，以發電機為中心，向前結合機構與渦輪機，向後有電力轉換電路與控制器，相當複雜。然而為獲得較佳性能，此動態系統模型之建立有其必要。其模型若考量來源端 - 亦即波浪或海流特性則更佳。雖然依個人之專長，可針對個別模組(例如將海洋能轉為機械能之結構、渦輪機、發電機或電力電子)建立其數學模式，然而最終這些數學模型必須可以整合起來，進行系統模擬。如此可藉由模擬改善各個模組之匹配關係，以有效達成提高系統性能之目的。此外，本數學模型可與電網模型結合，進行更為大系統之模擬，甚至規模擴及整個國家電網。如此，對於做為分散式電力之來源之一，海洋能發電系統之

系統模型之建立更具意義。

2. 海洋發電系統設計方法：由上述討論可知，系統要達成高性能，各個元件彼此間的整合匹配至為重要。因此，若能藉由上述數學模式之建立，發展出一套系統設計方法，即可在系統規格之下，明確定義出各個元件本身之規格以及彼此間之關係。此系統設計方法可以是智慧型演算法則，也可能是最佳化方法等。

3. 海洋發電系統功率控制方法：以系統角度而言，每一個元件皆會影響電功率輸出。例如，改變發電機輸出電流，則可能同時改變發電機轉矩與渦輪機轉速，進而影響渦輪機操作點而改變渦輪機之機械功輸出，再回來影響發電機輸出，造成系統電功率輸出不如預期。因此，不應僅著重於任何單一元件之控制，而是整體系統之控制。此外，最大功率控制(MPPT)亦包含在本項目之範疇。

4. 海洋發電系統結構與振動控制：海洋能發電系統是一個高度動態的系統，其海洋波浪或洋流對於結構之衝擊極大，而渦輪機與發電機在運行時，亦可能造成結構振動或共振。長久下來，對於系統壽命是極大的威脅。因此，除了結構設計因素外(不在本項目範疇)，本項目建議以控制方法，或許亦考量功率控制，使得系統從海洋吸收能量時，能夠受到最小之衝擊。此外，對於渦輪機與發電機所引起之振動，亦期能藉由控制手段加以抑制。

5. 海洋發電系統監控系統建置：海洋能發電系統處在一個極為惡劣之環境，受到許多嚴苛之挑戰與威脅，例如腐蝕、颱風、海嘯等。因此，海洋能發電系統之存活力(Survivability) 極為重要。本項目之目的在於，藉由各種健康監控方法，對象包含結構與各個元件，可以預知系統可能失效之處，除了做為平常檢修之依據之外，對於防範於未然亦有所助益。而在監測同時，若預知系統有其弱點，亦可藉由控制手段，延緩其失效時間，並爭取更多維護時間。

參考文獻

[1] 古森本，生質能源作物之開發與潛力，農業生技產業季刊，第17期，頁49-52，2008。

[2] 蘇宗振，我國生質能源發展趨勢與農業政策-生物產業機電工程之機會與挑戰，頁44-67，2007。

[3] 楊奕農，美國與主要國家生質燃油發展現況與政策，頁1-6，2008。

[4] S. Papong and P. Malakul, “Life-cycle energy and environmental analysis of bioethanol production from cassava in Thailand,” *Bioresource Technology*, vol. 101, pp. 112-118, 2010.

[5] 劉耀中，廢木材生產生質酒精之研究，中國文化大學碩士論文，2011。

[6] M. Balat, H. Balat, and C. Oz, “Progress in bioethanol processing,” *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 34, pp. 551-573, 2008.

[7] Y. Pu, D. Zhang, P. M. Singh, and A. J. Ragauskas, “The new forestry biofuels sector,” *Biofuels Bioproducts Biorefining*, vol. 2, pp. 58-73, 2008.

[8] F. S. Mjalli, L. K. San, K. C. Yin, and M. A. Hussain, “Dynamics and control of a biodiesel transesterification reactor,” *Chemical Engineering and Technology*, vol. 32, no.1, pp. 13-26, 2009.

[9] Y. K. Ho, F. S. Mjalli, and H. K. Yeoh, “Centralized vs decentralized adaptive generalized

predictive control of a biodiesel reactor," *Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering*, 2012.

[10] P. T. Benavides and U. Diwekar, "Optimal control of biodiesel production in a batch reactor: part I: deterministic control," *Fuel*, vol. 94, pp. 211-217, 2012.

[11] Y. K. Ho, F. S. Mjalli, and H. K. Yeoh, "Multivariable adaptive predictive model based control of a biodiesel transesterification reactor," *Journal of Applied Sciences*, vol. 10, pp. 1019-1027, 2010.

[12] M. N. Azuwir, M. Z. Abdulmuin, and A. H. Adom, "Modelling and validation of automotive engine fuelled with palm oil biodiesel," *IACSIT International Journal of Engineering and Technology*, vol. 3, no. 6, pp. 582-586, 2011.

[13] A. S. Ramadhas, S. Jayaraj, C. Muraleedharan, and K. Padmakumari, "Artificial neural networks used for the prediction of the cetane number of biodiesel," *Renewable Energy*, vol. 31, no. 15, pp. 2524-2533, 2006.

[14] H. M. Ismail, H. K. Ng, C. W. Queck, and S. Gan, "Artificial neural networks modelling of engine-out responses for a light-duty diesel engine fuelled with biodiesel blends," *Applied Energy*, vol. 92, pp. 969-777, April 2012.

[15] J. C. Spall and J. A. Cristion, "Model-free control of nonlinear stochastic systems with discrete-time measurements," *IEEE Trans. Auto. Contr.*, vol. 43, no. 9, pp. 1198-1200, 1998.

[16] H. F. Chen and H. T. Fang, "Output tracking for nonlinear stochastic systems by iterative learning control," *IEEE Trans. Auto. Contr.*, vol. 49, no. 4, pp. 583-588, 2004.

[17] 楊家豪，燃料電池製造業基本資料，台經院產經資料庫，2012年3月。

[18] S. Rahman, "Green power: what is it and where can we find it?," *IEEE Power Energy Mag.*, vol. 1, no. 1, pp. 30-37, 2003.

[19] P. Fairley, "The greening of GE," *IEEE Spectrum*, vol. 42, no. 7, pp. 28-33, 2005.

[20] M. Zandi, A. Payman, J. P. Martin, S. Pierfederici, B. Davat, and F. Meibody-Tabar, "Energy management of a fuel cell/supercapacitor/battery power source for electric vehicular applications ," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 60, no. 2, pp. 433-443, 2011.

[21] K. Yedavalli, L. Guo, and D. S. Zinger, "Simple control system for a switcher locomotive hybrid fuel cell power system, "*IEEE Trans. Ind. Applicat.*, vol. 47, no. 6, pp. 2384-2390, 2011.

[22] T. Azib, O. Bethoux, G. Remy, and C. Marchand, "Saturation management of a controlled fuel-cell/ultracapacitor hybrid vehicle ," *IEEE Trans. Vehicular Technology*, vol. 60, no. 9, pp. 4127-4138, 2011.

[23] CSB Battery Co., Ltd., EVH12390, http://www.csb-battery.com.tw/ upfiles/dow01300684114.pdf, 2005.

[24] M. A. Alahmad and H. L. Hess, "Evaluation and analysis of a new solid-state rechargeable microscale lithium battery," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 55, no. 9, pp. 3391-3401, 2008.

[25] C. Min and G. A. Rincon-Mora, "Accurate, compact, and power-efficient Li-ion battery charger circuit," *IEEE Trans. Circuits Syst. II- Express Briefs,* vol. 53, no. 11, pp. 1180-1184, 2006.

[26] Phoenix Silicon Inc., PC40138F1, http://mvp090-1.104web.com.tw/ cetacean/front/bin/ptdetail.phtml?Part=e40138f1, 2006.

[27] P. R. Pathapati, X. Xue, and J. Tang, "A new dynamic model for predicting transient phenomena in a PEM fuel cell system," *Renewable Energy*, vol. 30, no. 1, pp. 1-22, 2005.

[28] Y. Shan and S. Y. Choe, "Modeling and simulation of a PEM fuel cell stack considering temperature effects," *J. Power Sources,* vol. 158, no. 1, pp. 274-286, 2006.

[29] M. J. Kim and H. Peng, "Power management and design optimization of fuel cell/battery hybrid vehicles," *J. Power Sources,* vol. 165, no. 2, pp. 819-832, 2007.

[30] P. Garcia, L. M. Fernandez, C. A. Garcia, and F. Jurado, "Energy management system of fuel-cell-battery hybrid tramway," *IEEE Trans. Ind. Electron.,* vol. 57, no. 12, pp. 4013-4023, 2010.

[31] S. Y. Choe, J. W. Ahn, J. G. Lee, and S. H. Baek, "Dynamic simulator for a PEM fuel cell system

with a PWM DC/DC converter," *IEEE Trans. Energy Conv.,* vol. 23, no. 2, pp. 669-680, 2008.

[32] C. H. Lee, J. T. Yang, and J. A. Jiang, "Assessment of PEM fuel cells-based DC/DC power conversion for applications in AUVs," *IEEE Trans. Aerospace and Electro. Systems,* vol. 46, no. 4, pp. 1834-1847, 2010.

[33] 工業技術研究院，我國海域能源高潛能區之評估及利用，經濟部能源科技研究報告-95年度執行報告，210頁，2007。

[34] 工業技術研究院，我國海域能源蘊藏量分析技術之建立及開發方向評估，經濟部能源科技研究報告-94年度執行報告，135頁，2006。

[35] The Carbon Trust, Oscillating Water Column Wave Energy Converter Evaluation Report, 2005.

[36] T. J. T. Whittaker, S. J. McIwaine and S. Raghunathan, "A review of Islay shoreline wave power plant", European Wave Energy Symposium, 1993.

[37] T. Heath, *Islay LIMPET project monitoring*, ETSU V/06/00180/00/Rep, DTI Pup URN No 02/1435, 2002.

[38] A.F. deO. Falcao, M. Sabino, T. J. T. Whittaker and A.W. Lewis, Design of a shoreline wave power plant for the island of Pico, Azores, 1995.

[39] A.F. deO. Falcao, The shoreline OWC wave power plant at the Azores, Wave Energy, 2000.

[40] 毛秀珍，徐春椿，海洋能是人類未來能源的希望，今日科技，2:5-6，1998。

[41] 陳思鑒，國外海洋能研究開發的現狀及展望，新能源，17(1):16-21，1995。

[42] I. Masaaki, W. Yukihisa, O. Hirotaka, "Development of an offshore floating type wave power energy converter system", *Mighty Whale, Science & Technology*, Japan, 60(15):28-30, 1997.

[43] 英國再生能源:風力與海洋能源，英國貿易投資署2010年。

[44] 林繼謙，岸基震盪水柱式波浪發電系統之設計，國立成功大學系統及船舶機電工程學系碩士論文，2009。

[45] 陳俊嘉，模擬浮子位移與功率應用於波浪發電之研究，國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文，2009。

[46] 黃光立，海洋波能收集系統研究–平移推動水槽式，國立成功大學海洋環境及工程學系碩士論文，2011。

[47] A.S. Bahaj, W.M.J. Batten, G. McCann, Experimental verifications of numerical predictions for the hydrodynamic performance of horizontal axis marine current turbines. Southampton UK: Science Direct, 2479-2490, 2007.

[48] J. Giles, L. Myers, A. Bahaj, J. O'Nians, B. Shelmerdine, Foundation-based flow acceleration structures for marine current energy converters. Southampton UK: *IET Renewable Power Generation*, 2010.

[49] F. O. Rourke, F. Boyle and A. Reynolds, Marine current energy devices: Current status and possible future applications in Ireland. Dublin, Ireland: Science Direct, 1026–1036, 2009.

[50] J. Khan and G. S. Bhuyan, Ocean Energy: Global Technology Development Status, Final Technical Report, IEA-OES Document No.: T0104, Canada, 2009.

[51] 李奇錄，可變繞組發電機應用於海流發電系統之研究，國立成功大學系統及船舶機電工程系碩士論文，2008。

[52] 王汝美，週期性海流對水渦輪機特性的影響，國立中山大學機械與機電工程學系碩士論文，2009。

[53] 張簡宏勛，海流發電之錨碇系統設計分析研究，國立台灣大學工程科學及海洋工程學系碩士論文，2009。

[54] A. Wolfbrandt, "Automated Design of a Linear Generator for Wave Energy Converters—A Simplified Model", *IEEE Transactions on Magntics*, vol 42, no. 7, 2006.

[55] H. Luan, "Dynamic Modeling and Optimum Load Control of a PM Linear Generator for Ocean Wave Energy Harvesting Application", *IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 2009.

[56] M. F. Hsieh, I. H. Lin, D. G. Dorrell, M. J. Hsieh and C. C. Lin, "Development of a Wave Energy Converter Using a Two Chamber Oscillating Water Column", *IEEE Transactions on Sustainable Energy*, to be published in July, 2012

[57] M. Amundarain, M. Alberdi, A.J. Garrido and I. Garrido, "Modeling and simulation of wave energy generation plants: Output power control", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 58, no. 1, pp. 105 – 117, 2011.

國科會工程處控制學門規劃主題

『生物工程、醫療設備與照護系統』規劃摘要

規劃主題架構表

規劃主題：生物工程、醫療設備與照護系統

召 集 人：陳博現教授　副召集人：林俊良教授

規劃委員：徐國鎧教授、鍾鴻源教授、李明義教授、王振興教授、鄭桂忠教授、吳謂勝教授、李曉青教授

摘要

生物相關科技研究已是二十一世紀世界最熱門的研究重點,生物工程目前是美國大學最熱門的系，美國研究經費一半以上都投入生物醫學相關研究。台灣希望能在這波全球性生物科技競賽中有所作為，政府、學術機構及民間產業已投入相當多的人力與經費。大學紛紛成立生命科學系、生物科技系、生物資訊所、系統生物所。尤其近年來生物資訊、系統生物及合成生物結合數學、資訊、物理、工程及生物相關研究人員，從系統及計算方法來探討複雜的生物系統、生物網路及生物合成基因網路設計。根據工研院估測，2010 年生技產值已達 1500 億美元，且以每年 18%成長率向上成長。系統理論、系統辨識及控制理論設計剛好是生物系統、生物網路及合成基因網路設計的核心。因此控制學門責無旁貸應負起推動生物工程及系統生物學研發的重責大任。

最近人口老化是一個全球化的問題，尤其是在已開發的國家。因此醫療設備與老人照護系統有無窮商機並帶動相關研發。醫療設備與照護系統的開發和控制系統設計與自動化方法息息相關，且是自動控制的應用範圍，因此亦是控制學門的規劃主題。根據以上所陳，規劃子題如下：

1. 控制觀點之系統生物學研究
2. 合成生物電路的標準化與模組化
3. 電腦輔助藥物設計效能增進之研究
4. 傳染病動態模型建立之研究
5. 生理訊號監測與診斷
6. 基於生理特徵之身份辨識

7. 智慧型健康照護管理系統

8. 仿生機電系統與神經醫療輔具

規劃子題一：控制觀點之系統生物學研究（吳謂勝教授)

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

近幾年來，生命科學領域的發展既快且廣，由於其他各領域的專家學者的加入及推動，這些跨領域的研究變很快地獲得甚為豐碩的成果，也因此誕生了一門極為先端、橫跨多個領域的新領域—系統生物學(systems biology)。同一時期，伴隨著人類基因體計劃的完成，基因體學、蛋白質體學、代謝體學以及其他各種「體學(或稱組學)」(omics)技術的相繼出現，集眾家之大成的系統生物學挾如此天時、地利、人和之便，遂旋即成了當前的研究主流[1-3]。有意思的是，儘管這 10 年以來，研究人員對系統生物學的興趣日趨濃厚，相關的研究著作數量亦不斷地攀升，其本身的跨領域性質不但使得自身的界線模糊，更是與其他領域—如合成生物學(synthetic biology)、整合生物學(integrative biology)、系統微生物學(systems microbiology)等，多有重疊之處，以致於時至今日，關於系統生物學的定義尚無確切定論。不管如何，欲系統性地分析這些由小分子建構出來的這個被稱為「生命」的大架構，都必須透過計算模擬建模的方式才得以實行[4]。故本文中，以下所指稱的系統生物學皆泛指為計算系統生物學(computational systems biology)。

生命科學的發展得利於生物技術的進步，受限於生物本身極為精密且複雜的運作，下面將分別就當前生命科學領域中不同層次，簡單介紹最關鍵且先進的幾個技術：

基因體

在基因體的層次上，基因定序(genome sequencing)是其中最重要的一個步驟。目前基因定序的方式有傳統的以 Sanger sequencing 為主的定序法，以及所謂的次世代定序法(next generation sequencing, 簡稱 NGS)。目前世界上，NGS 幾乎都採用主要三間生技公司或藥廠所提供的自動定序儀，分別是 Illumina 公司的 solexa, Roche 公司的 454, 以及 ABI 公司所提供的 SOLiD。這三者的定序原理略有不同，但主要仍是以鏈終止定序法(chain termination)的方式來進行定序。

轉錄體

轉錄體(transcriptome)係指細胞中所有與 DNA 轉錄相關物的總稱。轉錄體的研究銜接在基因定序之後，主要重點在對定序過的基因進行註解(gene annotation)、找尋轉錄因子結合位點(TFBS)、獲得基因表達(gene expression)量等。這個層次上，一般使用上述提到的 NGS 技術衍生出的相關方法—如 RNA-seq 去對 mRNA 定序，並可獲得相對應的基因的表現量; 使用 ChIP-seq 技術，對轉錄因子所抓取的基因片段進行定序，便可求出 TFBS。同樣地，利用高通量的方式(high-throughput)，

如用 ChIP-chip 技術去找 TFBS，或是用 microarray 去觀察整體基因的表現情況，也都是這個層次的研究中相當常見的方法。

後轉錄體

後轉錄體所關心的重點在於 mRNA 的降解、non-coding RNA 的調控，找尋 mRNA 的剪接位點(mRNA splicing site)以及蛋白質轉譯發生初期的事件。前二者的研究方法技術除了可用前面所提到的 RNA-seq 之外, 還可以用 RNA-array 去觀察 RNA 量的變化。後兩者在過去的研究中，主要是採用 ChIP-chip 的方式，最近幾年則開始陸續採用結合 NGS 的方法—RIP-seq。

蛋白質體

不同個體或是同一個體、不同組織，其相同蛋白質表現量的差異一直是研究人員在這個層次上相當關注的議題。在過去，必須使用各種 assay 的方式去對蛋白質純化、定量，相當地耗費時間及金錢。近來崛起的質譜儀技術，則為此相關領域的研究人員提供了相當方便且快速的作法。

交互作用體及代謝體

這兩個層次上的問題，一個涉及到分子間是否發生交互作用，一般的研究手段除了採用前述提過的 IP 方法之外, Y2H(yeast-two-hybrid)的方法亦很常見。另一個涉及生化反應的層次，一般則是採用 HPLC 及質譜儀的方式去研究。

以上提到的各種實驗技術，除了提供了相當豐富的資訊，使我們更加地理解生物作用的機制或是疾病發生的原因之外，從側面來說，如此龐大且多樣化的資訊亦反映出一個相當重要的問題—如何整合這樣的資訊，使其能被妥善地應用在系統生物學的研究裡？這種高通量資料整合、分析的問題，正隨著各種體學技術的進步、所產生資料益發變得過度臃腫的情況，而成為越來越重要的課題[5-8]。

另一方面，系統生物學研究的主要課題在於系統性地描述生物現象。為了能夠釐清個別的有機分子如何透過分子間的交互作用，進而影響、調控整個系統，把分子間複雜的關係建構成一個調控網路，將有助於我們了解整個系統的運作機制。調查過去幾年的研究著作，我們注意到關於生物調控網路的著作數量正逐年攀升，特別是比較疾病個體與正常個體之間網路的差異，顯示出這個方法已逐漸成為系統生物學中的重要工具[9]。

目前國內對於計算系統生物學的研究還處於相當早期的階段，一開始主要集中在北部的中研院、台大、陽明、中央、清大及交大等學校，近 5 年來中興、成大及中山大學等亦陸續投注人力進行相關研究，但整體而言，投入此研究的人力及財力仍屬鳳毛麟角。國外方面，進展及推廣的幅度與國內相比，則是投入了更多的財力及人力。以德國為例，德國教育暨研究部(BMBF)自 2001 年開始至今，至今已挹注超過 10 億歐元的經費供系統生物學研究使用。

參考文獻

[1] T. Ideker, T. Galitski, and L. Hood, "A new approach to decoding life: systems biology," *Annu Rev Genomics Hum Genet,* vol. 2, pp. 343-72, 2001.

[2] H. Kitano, "Computational systems biology," *Nature,* vol. 420, pp. 206-10, Nov 14 2002.

[3] H. Kitano, "Systems biology: a brief overview," *Science,* vol. 295, pp. 1662-4, Mar 1 2002.

[4] V. A. Likic, M. J. McConville, T. Lithgow, and A. Bacic, "Systems biology: the next frontier for bioinformatics," *Adv Bioinformatics,* p. 268925, 2010.

[5] D. B. Searls, "Data integration: challenges for drug discovery," *Nat Rev Drug Discov,* vol. 4, pp. 45-58, Jan 2005.

[6] S. C. De Keersmaecker, I. M. Thijs, J. Vanderleyden, and K. Marchal, "Integration of omics data: how well does it work for bacteria?," *Mol Microbiol,* vol. 62, pp. 1239-50, Dec 2006.

[7] M. Hecker, S. Lambeck, S. Toepfer, E. van Someren, and R. Guthke, "Gene regulatory network inference: data integration in dynamic models-a review," *Biosystems,* vol. 96, pp. 86-103, Apr 2009.

[8] N. Gehlenborg, S. I. O'Donoghue, N. S. Baliga, A. Goesmann, M. A. Hibbs, H. Kitano, O. Kohlbacher, H. Neuweger, R. Schneider, D. Tenenbaum, and A. C. Gavin, "Visualization of omics data for systems biology," *Nat Methods,* vol. 7, pp. S56-68, Mar 2010.

[9] T. Ideker and N. J. Krogan, "Differential network biology," *Mol Syst Biol,* vol. 8, p. 565, 2012.

[10] N. Le Novere, M. Hucka, H. Mi, S. Moodie, F. Schreiber, A. Sorokin, E. Demir, K. Wegner, M. I. Aladjem, S. M. Wimalaratne, F. T. Bergman, R. Gauges, P. Ghazal, H. Kawaji, L. Li, Y. Matsuoka, A. Villeger, S. E. Boyd, L. Calzone, M. Courtot, U. Dogrusoz, T. C. Freeman, A. Funahashi, S. Ghosh, A. Jouraku, S. Kim, F. Kolpakov, A. Luna, S. Sahle, E. Schmidt, S. Watterson, G. Wu, I. Goryanin, D. B. Kell, C. Sander, H. Sauro, J. L. Snoep, K. Kohn, and H. Kitano, "The Systems Biology Graphical Notation," *Nat Biotechnol,* vol. 27, pp. 735-41, Aug 2009.

[11] M. B. Gerstein, Z. J. Lu, E. L. Van Nostrand, C. Cheng, B. I. Arshinoff, T. Liu, K. Y. Yip, R. Robilotto, A. Rechtsteiner, K. Ikegami, P. Alves, A. Chateigner, M. Perry, M. Morris, R. K. Auerbach, X. Feng, J. Leng, A. Vielle, W. Niu, K. Rhrissorrakrai, A. Agarwal, R. P. Alexander, G. Barber, C. M. Brdlik, J. Brennan, J. J. Brouillet, A. Carr, M. S. Cheung, H. Clawson, S. Contrino, L. O. Dannenberg, A. F. Dernburg, A. Desai, L. Dick, A. C. Dose, J. Du, T. Egelhofer, S. Ercan, G. Euskirchen, B. Ewing, E. A. Feingold, R. Gassmann, P. J. Good, P. Green, F. Gullier, M. Gutwein, M. S. Guyer, L. Habegger, T. Han, J. G. Henikoff, S. R. Henz, A. Hinrichs, H. Holster, T. Hyman, A. L. Iniguez, J. Janette, M. Jensen, M. Kato, W. J. Kent, E. Kephart, V. Khivansara, E. Khurana, J. K. Kim, P. Kolasinska-Zwierz, E. C. Lai, I. Latorre, A. Leahey, S. Lewis, P. Lloyd, L. Lochovsky, R. F. Lowdon, Y. Lubling, R. Lyne, M. MacCoss, S. D. Mackowiak, M. Mangone, S. McKay, D. Mecenas, G. Merrihew, D. M. Miller, 3rd, A. Muroyama, J. I. Murray, S. L. Ooi, H. Pham, T. Phippen, E. A. Preston, N. Rajewsky, G. Ratsch, H. Rosenbaum, J. Rozowsky, K. Rutherford, P. Ruzanov, M. Sarov, R. Sasidharan, A. Sboner, P. Scheid, E. Segal, H. Shin, C. Shou, F. J. Slack, C. Slightam, R. Smith, W. C. Spencer, E. O. Stinson, S. Taing, T. Takasaki, D. Vafeados, K. Voronina, G. Wang, N. L. Washington, C. M. Whittle, B. Wu, K. K. Yan, G. Zeller, Z. Zha, M. Zhong, X. Zhou, J. Ahringer, S. Strome, K. C. Gunsalus, G. Micklem, X. S. Liu, V. Reinke, S. K. Kim, L. W. Hillier, S. Henikoff, F. Piano, M. Snyder, L. Stein, J. D. Lieb and R. H. Waterston, "Integrative analysis of the Caenorhabditis elegans genome by the modENCODE project," *Science,* vol. 330, pp.

1775-87, Dec 24 2010.

[12] D. N. Reshef, Y. A. Reshef, H. K. Finucane, S. R. Grossman, G. McVean, P. J. Turnbaugh, E. S. Lander, M. Mitzenmacher, and P. C. Sabeti, "Detecting novel associations in large data sets," *Science,* vol. 334, pp. 1518-24, Dec 16 2011.

二、研究方向及具體建議

對於系統生物學未來研究，除了持續地加強 wet lab(實驗導向)與 dry lab(計算模擬導向)的合作之外，我們認為還有幾個方向可以進行：

1. **整合各種體學資料(integration of various omics data)及標準化各種圖示標記(standardization of graphical notation)**: 一方面除了要設計各種生物資料庫之間資料格式的轉換介面/工具之外，另一方面還要將不同體學各自建構的調控網路整合在同一個架構之下。此外，Nicolas 等人在 2009 年發表在 Nature Biotechnology 上的〈The Systems Biology Graphical Notation〉一文指出—「唯有建立一種標準化的圖示標記,方能使得實驗方面的研究人員與計算方面的研究人員各自針對複雜系統的描述得以交換、對話。」[10]

2. **建構各種模式生物的生物調控網路(Building biological regulatory networks for each kind of model organisms)**: 美國方面在 2010 年起，以開始進行一個名為「modEncode Project」的相關計劃[11]。根據目前生命科學發展的情況來看，系統生物學的研究往往受制於資料的取得，部份是因為缺乏相關的實驗，部份是因為實驗資料的未公開。然而，這種種的限制對於模式生物的研究來說皆不存在。也因此，系統生物學家可先從模式生物著手，詳盡地研究其功能基因體學(functional genomics)、調控網路等，透過演化上的保守性分析，這將有助於之後其他物種的研究及預測。

3. **使用次世代定序資料**: 在過去基因調控網路的研究當中，系統生物學家往往都是使用微陣列(microarray)晶片所產生的資料。這當中最大的問題在於—mRNA 本身會受到其他非編碼 RNA 及 RNA 結合蛋白(RNA-binding protein)的調控，且當 mRNA 的量過多或是 DNA 轉錄生成 mRNA 的過程發生問題時，mRNA 將會被降解(degradation)。也因此，過去的研究人員常發現，某兩基因之間原本預期會有正向調控(positive regulation)的關係，但根據 microarray 的資料，可能因此做出兩基因之間沒什麼關係的結論。故改成使用 RNA-seq 或是 RIP-seq 產生的資料,將可避免這樣的問題。

4. **計算工具的改善**：生物體內的分子事件(molecular events)之間的關係往往是非線性的，然我們在計算這樣的關係時，卻常常使用適用於線性關係的 Pearson correlation 計算其相關係數，這就導致很大的問題。所幸，這幾年統計學家發展出一些適用於非線性關係的工具可供使用，像是

MIC(maximal information coefficient)等[12]。

規劃子題二：合成生物電路的標準化與模組化 (林俊良教授、吳謂勝教授、李曉青教授）

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

生物控制工程具有將機電領域系統設計理論應用到生物系統的深厚潛力，開拓重組生物與工程的交集，產生真正可由程式控制的生物。其可利用基因重組技術，製造各種標準化生物邏輯閘，組合成基因電路(genetic circuit)，讓其依循可預期的方式表現出特定功能。傳統遺傳工程學可在細菌或生物中嵌入少數基因，使生物體內目標蛋白質大量表現。但是在生物控制工程中，則是以更廣泛的規模重新設計生物體基因電路，外加的將不是單一基因，而是要改變過去的單基因移轉技術，將基因群組裝為基因電路後轉移至宿主細胞，使其表現出全新的基因調控網路(gene regulatory network)，創造出程式化控制生物行為。在工程理論中，只要組合適當的邏輯閘模組，即可設計出執行特定功能的電路。將此元件互換及邏輯閘模組組合的概念引入遺傳工程中，即可利用分子生物學技術，把生物邏輯閘組成基因電路，將遺傳工程拓展到多基因研究。這些概念就需藉合成生物學(synthetic biology)來加以 落實。

合成生物學為一緣起於工程師、生物學家、化學家所共同發展的一門學問，主要的目的是為將工程設計的概念引入生物學中，借由工程設計的方式來了解並建構生物體。不同於系統生物學由系統的角度來分析生物體的現象，合成生物學主要在於建構出生物體中的基本元件(basic element)，並由此來建立出生物代謝或是功能性的模組(module)，進一步將不同的模組組成系統(system)[1, 2]。由合成生物學所建立出來的系統，在於可確認已知的事實，並能進一步的做為預測，從而能設計所需要的生物特性的表現。採用電腦科學上抽象化(abstraction)以及去耦合化(decoupling)的想法，合成生物學將生命體的現象化成不同的層次來進行模組化[3]。現今合成物學的層次主要可分成下列的四個層次[4]：

1. 生物元件(biological device): 生物學家對於構造細胞的基因以及蛋白質有很深刻的認知，可以由此得知與了解到生化反應的特性與過程，合成生物學家也由此來建構基本的生物元件，並由這些生物元件來了解並推測可能的生化反應。生物器材是利用抽象化的概念，將蛋白質或是基因在生化反應上的物理過程形成抽象模組，借由適當的輸入，得到相關的輸出。生物器材通常是代表著一組的生化反應，如轉錄、轉譯、蛋白質磷酸化、酵素反應等等，依所需的功能，可有廣泛的反應物(input)

及產物(output)，也可能只有少許的反應物及產物。目前已發表的生物器材有轉錄器材、轉譯器材、蛋白質連體(protein-ligand)器材、蛋白質交互作用器材等等[4][5]。

2. 生物模組(biological module)：將不同的生物器材相互連結可以得到合成的生物模組。生物模組是一個由不同區隔開的生物器材相互連接，以執行更為複雜的生化反應。在細胞中常見的生物模組為代謝路徑、訊號傳遞路徑等等。在這個層次的研究著重於了解模組的功能，以及如何由它的組成部分來推測它的功能，以期望在最後能了解組成規則(rules of composition)，比起生物器材的研究需要更多的時間與人力。有了這一些規則，我們才有能力去決定如何用不同生物模組的組合來達成我們所要的細胞生化功能。目前已發表的生物模組有鏈轉錄模組(transcriptional cascade module)、轉向支架(diverter scaffold)等等[4][6]。

3. 細胞工程(engineering cells)：生物模組的功能性不只取決於其組成器材以及組成器材的連接，而細胞環境也扮演著重要的角色。相關的細胞環境，包括一般的生化反應如 DNA 及 RNA 的代謝、ATP 的量、蛋白質代謝，會影響一個生物模組的功能性以及相連接的模組所形成的功能。因此，由相同生物模組所組成的基因電路(gene circuit)，在只有一點差異的宿主細胞中，就能有十分大的差異。再進一步來看，一個生物模組在細胞中的整合以及運作，也會使得宿主細胞的內部環境發生變化，從而再重新對此模組產生不同的調整。細胞中的情形，在整合以作模組的運作下必須要有更仔細全盤的遞迴式考量，才能有更清楚的認識。為了讓合成生物學在這個層次也能產生可預估性(predictable)，目前在這個層次下的研究，主要有兩個方向：第一個是全力將各個生物模組垂直化(orthogonal)，讓相互的之間的模組的交互作用最小化[4][6]。如此，可以讓各個模組獨立於細胞環境。第二個方向是將細胞環境也納入生物模組的考量，讓生物模組的組成本身就包含環境的因素，但是這樣的處理方式，違背了工程上標準化與規格化的理念。因此在這一個層面還有很大的研究空間[7]。

4. 多細胞系統(muti-cellular systems)：不同細胞之間的分散式合成生物網路形成人工的細胞間通訊系統，造成設計上的變異性的上升，且不論是完全相同的細胞或是異質的細胞之間的溝通都會造成細胞之間的型態發生改變。在不同的細胞之間的細胞通訊不只要將不同通訊通道(communication channels)分開，也要考量彼此的共同運作的情形。設計一個如此的系統，必須要平衡胞間質的靈敏度以及降低通道之間交叉影響(crosstalk)。目前的研究指出，可利用訊號放大網路來達到如此的目標。此一層面的最終目標，期望能建立生物發展以及交互生存中的合成網路，建一步了解到複雜以及強健的生物特性是如何由各個不可完全信賴(unreliable)的單一個體群集來達成的[4]。

在上述的四個層次中，導入工程設計的方式大略有兩個方向，分別是生物系統設計(systems design)與生物系統組建(systems fabrication)。前者定位於發展最基礎的原則以及功能，並且將一些

基本的元件抽象化出來，仔細定義出其輸入與輸出，從而將之模組化。後者在於將不同的模組連結，並且將不同的模組之間的邊界界定的更為垂直。系統組建也著眼於由模組連結出不同系統的可能性，以期對自然中存在的生物功能，利用模組建立出合成網路的解釋與認知[7]。

現今的合成生物學中，利用將基本的細胞元件視作單一的模組，進而利用此一性質來進行分析。而在目前的模型中，大多數未將生物系統中的不確定性(uncertainty)以及不同細胞間可有些許的差異性(variability)納入考量，而生物系統中，這兩個因子是完全不可避免的[8][9]。 如何在現今的研究中，利用隨機過程不確定的特性，適當的將這兩個因子仔細的考量進合成生物學的模型中，是現在研究上很重要且具有很大空間的方向。目前合成生物學在國內中有台灣大學、陽明大學、清華大學、交通大學、成功大學、中興大學、及高雄醫學大學，各領域的學者陸續參與此研究，利用隨機過程的理論，以及線性控制系統來建立生物模組，但現階段的研究僅於起步。國外的重要研究單位，如哈佛、柏克萊等，在於生物模組的資料庫建製上，花費了相當程度的心力[9]。

合成生物學並非只是純學術的學問，在現在的發展架構下，已有了基礎的科技應用。目前已達成的生物應用有生物感測(biosensing)、生物能源的產生(production of biofuels)、藥物以及生物材料(pharmaceuticals and biomaterial)等等的[8]。 在目前在這個領域，仍有蓬勃的研究潛力，未來在藥物生產、生物病害防治、或是其他生物科技產業上必有相當大程度的發展。

於工程實務之觀點視之，合成生物學的更為具體的實踐即是生物邏輯閘。合成生物學近幾年以生物邏輯閘組裝以表現特定功能的基因電路更陸續被建構出來。例如 1.扳鍵開關基因電路(toggle switch)：其利用兩個基因形成負回饋迴路，使基因表現像開關一樣，可以在兩個穩定狀態間切換[10]。2.自動抑制基因迴路(auto-repressor circuit)：讓抑制子進行負回饋，抑制本身啟動子區域，穩定基因輸出表現量[11]。3.生物距離感應器：引入 LuxI 基因元件，使基因電路能感應與誘導物的距離，發出不同顏色的螢光[12]。4.生物底片：將感光受器嵌入基因迴路中，使大腸桿菌能感應外界光線，在黑暗區的細菌會產生色素，因此將感應的的影像顯現於培養皿中[13]。5.生物環境感測器：在生物振盪器架構中加入負回饋抑制作用，可以使螢光振盪更加穩定規律。感測器的閃爍頻率會受到環境影響，因此可以傳達關於環境的資訊[14]。6.生物計數器：利用 cis-repressor 的 DNA 短序列控制蛋白質轉譯作用，讓基因迴路可以記憶誘導物加入次數，當誘導物加入到所設定次數，基因電路即會發出螢光訊號[15]。7.以 UV 光啟動的生物開關，讓基因電路會在紅綠螢光中切換[16]。這些基因電路雖然只是模擬工程中簡單電路，卻已經受到科學界高度重視，發表在 Nature、Science 等重要期刊。顯見在 21 世紀，由分子生物技術、生物資訊學及計算生物學整合的合成生物學，將會像現代的電子電機技術一樣迅速發展，在製藥、化合物、生質能源等領域廣泛應用[17]。

為建構穩定及強健性表現之基因電路，有許多基因電路設計理論被提出[18-21]。利用工程控制

理論先建構模擬基因電路的方程組，可以在電腦上模擬基因電路表現情形。藉由調整生物元件組成及數學模型的參數變化，使基因迴路在變動的生物體內仍可以穩定運作。建議可引入系統控制理論，將外界干擾及元件變動參數影響考慮在基因電路中，設計出穩定表達功能的基因迴路[21]。雖然工程領域已經用電路控制概念設計基因電路，但是依照工程理論建構出的基因電路通常過於複雜，很難利用現有的生物元件庫架構出來，因此擴增可調控的生物元件庫並將其輸入及輸出訊號量化將是生物控制工程學的重要目標。[22-30]羅列一些指標性的文獻可供進一步參考。

參考文獻

[1] V. de Lorenzo, L. Serrano, and A. Valencia, "Synthetic biology: challenges ahead," *Bioinformatics,* vol. 22, pp. 127-8, Jan 15 2006.

[2] L. Serrano, "Synthetic biology: promises and challenges," *Mol Syst Biol,* vol. 3, p. 158, 2007.

[3] D. Endy, "Foundations for engineering biology," *Nature,* vol. 438, pp. 449-53, Nov 24 2005.

[4] E. Andrianantoandro, S. Basu, D. K. Karig, and R. Weiss, "Synthetic biology: new engineering rules for an emerging discipline," *Mol Syst Biol,* vol. 2, p. 2006 0028, 2006.

[5] K. Channon, E. H. Bromley, and D. N. Woolfson, "Synthetic biology through biomolecular design and engineering," *Curr Opin Struct Biol,* vol. 18, pp. 491-8, Aug 2008.

[6] S. Mukherji and A. van Oudenaarden, "Synthetic biology: understanding biological design from synthetic circuits," *Nat Rev Genet,* vol. 10, pp. 859-71, Dec 2009.

[7] M. Heinemann and S. Panke, "Synthetic biology--putting engineering into biology," *Bioinformatics,* vol. 22, pp. 2790-9, Nov 15 2006.

[8] A. S. Khalil and J. J. Collins, "Synthetic biology: applications come of age," *Nat Rev Genet,* vol. 11, pp. 367-79, May 2010.

[9] P. E. Purnick and R. Weiss, "The second wave of synthetic biology: from modules to systems," *Nat Rev Mol Cell Biol,* vol. 10, pp. 410-22, Jun 2009.

[10] T. S. Gardner, C. R. Cantor, and J. J. Collins, "Construction of a genetic toggle switch in Escherichia coli," *Nature,* vol. 403, pp. 339-42, Jan 20 2000.

[11] J. Hasty, D. McMillen, and J. J. Collins, "Engineered gene circuits," *Nature,* vol. 420, pp. 224-30, Nov 14 2002.

[12] S. Basu, Y. Gerchman, C. H. Collins, F. H. Arnold, and R. Weiss, "A synthetic multicellular system for programmed pattern formation," *Nature,* vol. 434, pp. 1130-4, Apr 28 2005.

[13] A. Levskaya, A. A. Chevalier, J. J. Tabor, Z. B. Simpson, L. A. Lavery, M. Levy, E. A. Davidson, A. Scouras, A. D. Ellington, E. M. Marcotte, and C. A. Voigt, "Synthetic biology: engineering Escherichia coli to see light," *Nature,* vol. 438, pp. 441-2, Nov 24 2005.

[14] J. Stricker, S. Cookson, M. R. Bennett, W. H. Mather, L. S. Tsimring, and J. Hasty, "A fast, robust and tunable synthetic gene oscillator," *Nature,* vol. 456, pp. 516-9, Nov 27 2008.

[15] A. E. Friedland, T. K. Lu, X. Wang, D. Shi, G. Church, and J. J. Collins, "Synthetic gene networks that count," *Science,* vol. 324, pp. 1199-202, May 29 2009.

[16] C. Lou, X. Liu, M. Ni, Y. Huang, Q. Huang, L. Huang, L. Jiang, D. Lu, M. Wang, C. Liu, D. Chen, C. Chen, X. Chen, L. Yang, H. Ma, J. Chen, and Q. Ouyang, "Synthesizing a novel genetic sequential logic circuit: a push-on push-off switch," *Mol Syst Biol,* vol. 6, p. 350, 2010.

[17] D. Sprinzak and M. B. Elowitz, "Reconstruction of genetic circuits," *Nature,* vol. 438, pp. 443-8, Nov 24 2005.

[18] W. W. Wong, T. Y. Tsai, and J. C. Liao, "Single-cell zeroth-order protein degradation enhances the robustness of synthetic oscillator," *Mol Syst Biol,* vol. 3, p. 130, 2007.

[19] N. Rosenfeld, J. W. Young, U. Alon, P. S. Swain, and M. B. Elowitz, "Accurate prediction of gene feedback circuit behavior from component properties," *Mol Syst Biol,* vol. 3, p. 143, 2007.

[20] G. Batt, B. Yordanov, R. Weiss, and C. Belta, "Robustness analysis and tuning of synthetic gene networks," *Bioinformatics,* vol. 23, pp. 2415-22, Sep 15 2007.

[21] B. S. Chen, C. H. Chang, and H. C. Lee, "Robust synthetic biology design: stochastic game theory approach," *Bioinformatics,* vol. 25, pp. 1822-30, Jul 15 2009.

[22] N. E. Buchler, U. Gerland, and T. Hwa, "On schemes of combinatorial transcription logic," *Proc Natl Acad Sci U S A,* vol. 100, pp. 5136-41, Apr 29 2003.

[23] R. Hermsen, S. Tans, and P. R. ten Wolde, "Transcriptional regulation by competing transcription factor modules," *PLoS Comput Biol,* vol. 2, p. e164, Dec 1 2006.

[24] A. Tamsir, J. J. Tabor, and C. A. Voigt, "Robust multicellular computing using genetically encoded NOR gates and chemical 'wires'," *Nature,* vol. 469, pp. 212-5, Jan 13 2011.

[25] A. Warmflash and A. R. Dinner, "Signatures of combinatorial regulation in intrinsic biological noise," *Proc Natl Acad Sci U S A,* vol. 105, pp. 17262-7, Nov 11 2008.

[26] D. Melnikov, G. Strack, M. Pita, V. Privman, and E. Katz, "Analog noise reduction in enzymatic logic gates," *J Phys Chem B,* vol. 113, pp. 10472-9, Jul 30 2009.

[27] N. R. Zabet, A. N. W. Hone, and D. F. Chu, "Design principles of transcriptional logic circuits," In Artificial Life XII: Proceedings of the 12th International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems, 19-23 August, Odense, Denmark, MIT Press, August 2010.

[28] J. Smaldon, F. J. Romero-Campero, F. Fernandez Trillo, M. Gheorghe, C. Alexander, and N. Krasnogor, "A computational study of liposome logic: towards cellular computing from the bottom up," *Syst Synth Biol,* vol. 4, pp. 157-79, Sep 2010.

[29] M. A. Marchisio and J. Stelling, "Automatic design of digital synthetic gene circuits," *PLoS Comput Biol,* vol. 7, p. e1001083, Feb 2011.

[30] M. Lauria, K. Bhalerao, M. Pugalanthiran, and B. Yuan, "Building Blocks of A Biochemical CPU *Based* on DNA Transcription Logic," 3rd Workshop on Non-Silicon Computation(NSC-3), Munich, June 2004

三、研究方向及具體建議

近年來國外許多研究對於生物邏輯閘已有初步的研究成果。學者們以修改過的 DNA 改造大腸桿菌（*E.coli*），使大腸桿菌程式化，使其受化學物質刺激時表現出如同電子元件一般 on 與 off 切換。其他研究實驗也陸續實現邏輯功能強大的生物邏輯閘，如 NOT 閘、AND 閘、OR 閘、NAND

閘、NOR 閘、XOR 閘。現階段研究可以進一步以類似電子元件所串接（Cascade）方式，結合控制強健性（Robust）隨機雜訊（Stochastic Process）分析，將這些生物邏輯閘連接形成更複雜的組合電路（Combinational Circuit）以及循序電路（Sequential Circuit）。使更複雜的生物資訊處理得以實現，以此奠基發展生物電腦的基石。未來幾年的研究階段，研究者可嘗試以組合電路與循序電路開發更複雜的生物邏輯電路模組，將其推廣至運算邏輯單元（Arithmetic Logic Unit）與記憶元件（memory），可以具有類似電腦計算能力與記憶能力，進而完成生物電腦晶片（Biological Computer Chip）。

未來研究方向希望能藉由結合資訊工程科技計算方法以及生物科技資料庫生物元件篩選發展智慧型演算系統，使得生物邏輯電路中無論在設計反應參數與模擬方面、實際在生化實驗選取最適生化反應元素與活體組織環境，維持高度強健性，減少細胞內外雜訊所造成之誤差。自動選擇設計最佳生物電路，並建構自動回饋反應機制以利操作員適當調整設計細節。未來研究之主題可朝以下幾項子題發展：

(1)建立多樣化的生物元件資料庫，以實驗量測 DNA 元件之輸入輸出特性，增加生物元件的可控制性：

啟動子及 RBS（Ribosome Binding Site）調控目標蛋白質表現強度是設計基因電路時需要考慮的重要因素。需要有不同轉錄強度的啟動子和不同轉譯強度的 RBS 供基因迴路設計取用，才能依照設計強度表現外加基因，構築更精密且穩定的基因迴路。正如在電機領域，需要依照電路設計選用不同規格的電容、電阻元件，才能組合出具有正確功能且能穩定執行功能的電路。

(2)參照標準化的生物邏輯閘輸入及輸出訊號，模擬組裝後基因電路功能，預測基因電路運作的動態形式：

將螢光蛋白接於啟動子序列後，藉由測量螢光蛋白強度得到啟動子轉錄活性的 PoPS。當輸入和輸出訊號可以量化，輸入訊號在基因迴路中的傳遞才可以被追蹤及模擬。

(3)實現生物邏輯閘（Biological Logic Gate）以及生物電路（Biological Circuit）之智慧型計算技術

生物邏輯閘為一結合生物科技、化學、工程與資訊的新興研究領域，其中以生物邏輯閘為基礎原件建構類似電機工程中複雜且具有功能性的生物電路被視為未來國際生物工程領域發展的主流研究之一。本研究子題利用智慧型計算技術計算最佳反應參數，設計最佳生物邏輯閘之數學模型（mathematical module）以及設計生物電路並配對出其相對於生物資料庫中最佳的生物元件，如啟動子（Promoter）、RNA 聚合酶（RNA Polymerase）、轉錄因子（Transcription Factor），利用其固有的生化特性，建構出布林邏輯（Boolean Logic）組合電路（Combinational Circuit）以及循序電路（Sequential Circuit）。

小型的生物模組通常能靠人的直覺去設計與最佳化的，但是在大規模的生物系統下，無法簡易的依賴設計者的經驗法則，且個體設計者無法同時考量到過大的系統設計。由於生物系統的完美模型現今尚未問世，目前的系統設計都透過重複的數學模型設計以及實驗觀察來進行。目前的一個可行的方向是利用系統設計理論，透過有限狀態機的方式來對大型系統做模擬。設計上必須要考量生化反應的反應速率及可擴充性，且要使設計的模型能相互整合。CAD 工具是合成生物學目前非常欠缺的工具，設計上的瓶頸還有賴生物學家、電腦工程師、電機系統設計師來突破。

(4) 功能性電路模組建構複雜電路模組以及系統整合

本研究生物電路之組合電路和循序電路建立模組，並延伸設計記憶元件（Memory Element）以及算術邏輯單元（Arithmetic Logic Unit or ALU），以此為基石進而建構生物 CPU 與生物電腦（Biological Computer）。此研究未來也被預期能發展如同電機領域一般的積體電路（Integrated Circuit, IC）與電路系統，以及發展不同生物電路系統之間的系統整合技術，最後實現生物電路晶片（Biological Circuit Chip）。

(5) 生物電路之雜訊抑制

生化反應的隨機性質(Stochastic Nature)，甚至在單一的基因下，會引起十分嚴重的本質基因雜訊。因為如此的雜訊，會造成所建構的系統的穩定性、可信性及可預期性大幅下降。目前可行的處理方式，將雜訊建入調控網路中，利用控制理論中的調控方式來處理雜訊，但因為雜訊在細胞中扮演的角色不一，如在 HIV 中，隨機雜訊控制著病毒體的再製，因此生物隨機雜訊的隨機控制模型，還有待進一步的仔細修正

(6) 實現生物電路之生化實驗及電腦模擬技術

進一步利用生物科技及化學技術將子題(3)與(4)之智慧型計算技術設計的最佳化模型配合生物資料庫選取現有生物科技中最合適之生物元件，在生物組織中實現組合電路與循序電路以及生物 CPU。本研究可以使工程領域之運算、資訊處理功能實踐在生物組織（Living Organization）中，也將為生物工程開啟新的一頁。未來也預計為監控生物體內化學變化以及組織功能修復等生物醫學帶來革命性的突破。

在電路設計上，有適用於硬體描述的 VERILOG 語言。相對的，在生物系統設計上，也有相對應的程式語法被開發出來。有適當的程式描述語言，才能讓系統抽象化，讓大型系統更有處理的可能。目前被開發出來的生物系設設計程式語言有 GEC(Genetic Engineering of Living Cells)、GPL(Growing Point Language)、OSL(Origami Shape Language)等等，生物系統可以利用這些語言來適當描述，之後可被編譯為基因的序列也可以被實驗來做驗證。這些高階語言，必須要有生物上的隱喻詞，也必須要能處理生化反應中受質的精細結構。目前在程式語言上的研究，還再考量生物的

雜訊、相互的干擾(crosstalks)、細胞死亡、回授機制等等，這一些課題是未來要加到程式語言中的必要因子。可行的方式在於將隨機模型納入這一些高階語言當中。

規劃子題三：<u>電腦輔助藥物設計效能增進之研究 (鍾鴻源教授)</u>

本研究子題提出一些新的電腦圖學技術與計算方法來解決電腦輔助藥物設計的問題，並透過以幾何、能量與活性等三大方向來探討如何使用最小能量原理來改進電腦輔助藥物設計中的分子對接過程之效能，加速藥物設計時程與降低研發成本。我們提出了改良式遺傳演算法來加速接合位置的幾何搜尋；再來以能量為研究重點，在研究中使用李亞普諾夫理論中的穩定理論來降低接合位置數以便進一步增進分子對接的效能，並且使用 NURBS 曲線中的插入頂點與權重調整來加速分子系統達到最小能量狀態。我們以各種不同的藥物受體模型來做電腦模擬計算，利用最小能量原理判斷出接近全域能量最小的區域之對接狀態的穩定度，並對其各種分子活性進行評估，研究各種分子對接中的各項活性，從中瞭解分子力場各元素的貢獻度，也成功地驗證出本研究所提出的方法。

對於各種生物電訊號結合系統晶片技術之量測與處理及分子對接與蛋白質摺疊等計算加以延伸，本研究子題所要研究的主題是使用系統晶片設計一分子對接計算之系統晶片來增進藥物設計的效能，本研究將嘗試結合分子生物、電腦資訊技術與系統晶片設計技術來實現使用硬體 IC 設計來幫助電腦輔助藥物設計中分子對接的計算速度與準確度，進而增進藥物設計的效能。本研究預期將導入目前實驗準則 x-ray 及 RMSD 的標準,也驗證我們的晶片計算之結果是否在容許誤差範圍內，並提出 Michel，David，Denical，Abraham 等人的相關研究來佐證我們的研究之基礎。此外我們在研究子題中所提到的模擬環境是以 AMBER 力場及 Ullman's 演算法為基礎，在模擬的過程中將探討每一時刻特徵值 λ 的物理意義，比較各個不同對接點之表現結果，分析藥物受體模型中的蛋白質的摺疊和各種鍵結力之影響。使用系統晶片設計來比較如蒙地卡羅,退火演算法，遺傳演算法及改良式遺傳演算法等四種最佳化搜尋方法的實驗，來驗證我們所提出的改良式遺傳演算法來執行接合位置的搜尋及完成分子對接程序是否是最佳解。

根據之前我們所出版的研究論文及參考最近相關分子計算學者的論文,使用 FPGA-based 來計算蛋白質摺疊與分子力場將是未來解決生物資訊煩瑣問題的趨勢，尤其是符點運算更要克服。在本研究子題中對於最佳解，分子對接及蛋白質摺疊相關議題也將詳細分析與研究。跨越各種不同研究領域,例如結合生物學,資訊科學,系統學及化學等來解決生物資訊的各種新興的議題將是未來最強有力的解決方法。

生物資訊是現今生物科學最重要的跨領域研究，生物資訊的方法不同於傳統的生物實驗技術，我們結合生物、資訊、統計數學、最小能量法及控制學理論等領域，以計算的方法探討生物相關的

研究領域並分析與應用這些大量的資訊，來有效的解決生物的問題，目前生物資訊在先進國家亦正值發展階段，期能透過推動生物資訊跨領域研究，使得我國生物科技產業的發展能在國際上佔得先機，並培育訓練國內所需之生物資訊相關人才。

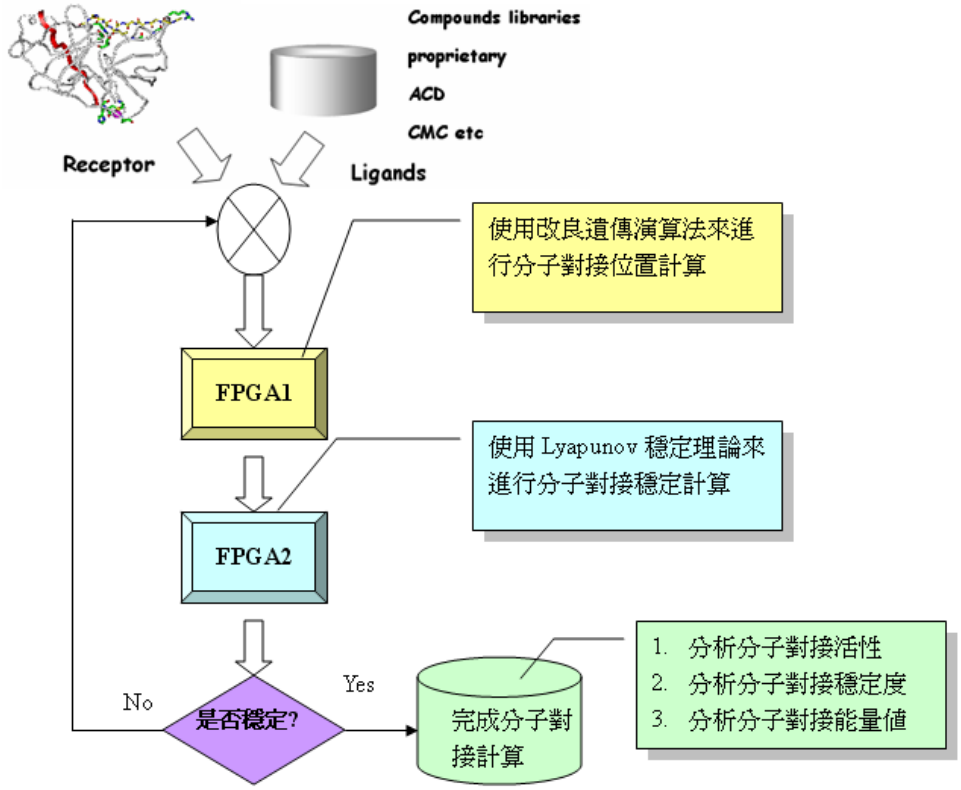
本研究子題所要研究的主題是使用系統晶片設計一分子對接計算之系統晶片來增進藥物設計的效能，並嘗試結合分子生物、電腦資訊技術與系統晶片設計技術來實現，並藉由使用硬體 IC 設計幫助電腦輔助藥物設計中分子對接的計算速度與準確度，進而增進藥物設計的效能。本計劃將以幾何、能量與活性等三大方向來探討如何使用最小能量原理並以系統晶片設計來實現為改進電腦輔助藥物設計中的分子對接過程之效能，加速藥物設計時程與降低研發成本。從美國疾病管制局 2004 年的研究報告中可以說明流行疾病盛行，各種藥物設計必需再加快時程與研發數量。在很多的藥物研究報告中也發現，電腦輔助藥物設計最大的挑戰是分子對接過程，我們以晶片運算最小能量原理為解決問題的主軸，並搭配電腦輔助藥物設計，如 3D-QSAR（三維定量構效關係）、Docking(分子對接)、DOCK 等方法，且拿現有的藥物進行大量的虛擬高速篩選藥物去找出現有可以去抑制蛋白質功能 Hits 的化合物，進而修飾成為先導化合物，如此可以縮短藥物開發的時間，另外，適時地運用分子動力學去驗證及模擬藥物的開發過程更可大大的縮短藥物設計時間及提高準確性，本研究子題的最主要目的在基於結構的藥物設計，透過分子模擬三維虛擬圖形顯示，使我們將藥物資訊以視覺化的方式來分析和研究。因此，我們利用高通量虛擬篩選及合理設計的方法進行藥物先導物的發現，針對疾病相關的幾類蛋白質靶標開展藥物設計、合成及生物活性評價。同時著重研究藥物設計中的難點問題，如：藥物與受體作用自由能計算、結合過程中受體構象變化、分子停駐及能量穩定性分析的計算等。

首先從幾何搜尋方面著手，本研究是以受體為基礎，除了預期比較多種不同的受體特性外，並以研究如何快速模擬蛋白質的摺疊開始，我們沿用我們之前所發表的改良式遺傳演算法來加速接合位置的幾何搜尋，這個部份我們將以第一組計算晶片來進行接合位置的計算；再來以最小能量為研究重點，在實驗中將使用李亞普諾夫理論(Lyapunov Theory)中的穩定理論來降低接合位置數以便進一步增進分子對接的效能，並且使用第二組計算晶片調整來加速分子系統達到最小能量狀態。最後我們以各種不同的藥物受體模型來做電腦模擬計算，利用這兩組系統晶片所計算的數據判斷出接近全域能量最小的區域之對接狀態的穩定度，以達成加速分子對接的程序。本研究子題使用晶片所計算的數值結果，可進一步對其各種分子活性進行評估，研究各種分子對接中的各項活性，從中瞭解分子力場各元素的貢獻度，也成功地驗證出使用晶片計算可改良並創新助藥物設計的方法。

近幾年來由於生物資訊技術的發展迅速，藥物設計中之分子對接計算已經儼然成為一個非常重要的技術提昇環節，各種應用於生物資訊研究的方法和技術亦逐漸獲得重視並展現其蓬勃的發展潛

力，因此近幾年來許多大學紛紛往生物資訊與生醫科技相關領域來研究，例如一些如中央大學、逢甲大學及南台科技大學等在其資電學院都成立了生物資訊課程或研究所，旨在培養生物資訊領域的專業研究人才，使得生物資訊的技術能夠生根發芽成長茁壯，本研究預期能在這個領域上有新的貢獻與突破。而在傳統的生物資訊之發展，已經有許多專家學者投入相關的研究，並有不錯的成果展現，不過相較於在以晶片設計來整合傳統的生物資訊系統之發展，其投入的研究人力則較少，因此整合技術對於生物資訊系統之發展成效有絕對的深遠影響。本研究所研發的 Drug IC 系統硬體平台及晶片計算系統的建立將有具體且實質的貢獻，我們也預期將本研究的研究成果發展成一個具有實際推廣價值的生物資訊平台，並將相關研究成果發表於國際期刊上已達國際競爭力之水準。

在人類 DNA 序列定序完成的後基因體世代的今天，DNA 經由轉錄產生各種不同形式的 RNA，RNA 表現量變化的統計分析，蛋白質分子三度空間的立體結構分析，各種蛋白質會在何時、何種條件下及在那些組織中出現，並且會造成生物體器官或組織的何種改變。這些問題可以牽涉到分子動態模擬，生物分子結構分析及衍生的電腦輔助藥物設計、生物影像分析及三度空間立體影像重建，這些分子計算都需要高速電腦的協助完成。 但目前高速電腦的價格尚稱昂貴，因此本研究子題使用兩組 FPGA-based 系統晶片設計來做分子計算，根據我們的研究經驗，使用直接硬體計算將可加速分子統計及計算，尤其是繁瑣的分子力場模擬及統計分析，更顯示出獨立晶片計算的重要性。



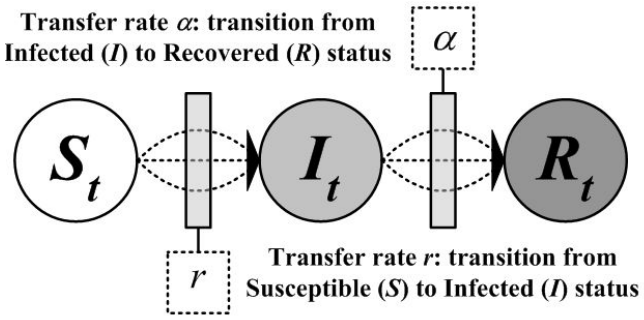
圖一、 建構一個以 FPGA 為基礎的藥物設計之分子對接系統之晶片設計系統圖(Drug IC)

本研究計劃所要完成的系統圖，我們稱為 DrugIC 系統。在此一階段，我們的研究內容包括(1) 分子力場模擬(2) FPGA1 設計內涵(改良式遺傳演算法) (3) FPGA2 設計內涵(Lyapunov 穩定理論) (4) 分子對接活性討論(5) 在嵌入式平台上使用 FPGA 設計腦電訊號處理晶片 FPGA1 與 FPGA2。

規劃子題四：<u>傳染病動態模型建立之研究(鍾鴻源教授)</u>

近年來生物數學應用於對傳染病的發病機理、傳播規律和防治策略的研究是一重要方向，通過生物數學模型來定性和定量分析疾病的發展過程、流行規律、預測變化趨勢、分析疾病流行的因素、尋求預防和控制的最優策略等，是當前生物數學應用競相進行於傳染病研究的重要方向。不同類型的數學模型和方法被廣泛地用到疾病的傳播問題中去，對疾病傳播的預防和控制中有積極顯著的作用。本研究子題結合多代理人系統、人際接觸社會網絡、社會分身點概念、倉室模型（Compartmental Model）等建模方法，發展一套適合用來模擬病媒性傳染疾病的傳播動態與探討相關的公共衛生政策的成效的流行病電腦模擬模型，在模擬模型中，我們以代理人為基礎，利用社會分身點概念，來表現人類個體在現代都會生活中日常定點活動、長距離移動、高群聚度、低分隔度、區域群聚性等重要社會網絡拓樸特質，在病媒層面，我們則以區塊化模型來模擬病媒族群散佈在都會各區域的數量與族群間的數量轉移動態。

人類歷史上，流行性傳染病曾多次帶來巨大的威脅，因此對流行性傳染病的傳播動態描述與預測相關的研究議題，長久以來一直受到重視，以針對具有威脅性的流行性傳染病做出其傳播動態的預測與推估，並提出因應之道。在早期，最常被使用的研究方法是統計分析，從 1840 年開始，有數學家開始嘗試運用簡單的數學模型來推估流行性傳染病的傳播動態，並進行預測，直到 1940 年代之後，以微分方程為主的數學模型，就是利用微分方程式來建模與模擬的方法，才開始受到重視，並逐漸成為流行病學領域的主流模型。目前最廣為運用的方法由 Kermack 與 McKendrick 在 1927 年發展的 SIR 模型，是一個典型的微分方程式系統，將整個社會的所有個體分成三個的子族群，並訂定一套微分方程式來追蹤子族群間個體移動的動態過程：



圖二、 SIR 流行病學模型

1. S（Susceptible）代表易受感染的族群，表示族群中的個體容易受感染，但尚未患病；

2. I（Infected）代表有傳染性的族群，指族群中的個體不僅本身已感染疾病，而且會傳染給其它的易受感染者；

3. R（Recovery）表示離去的族群，也就是族群中的個體已痊癒或不再有傳染能力（或已經死亡）。

4. 以SIR 模型為基礎，可依不同疾病的特性，延伸成為更複雜的模型，如SEIR（Exposed），加入病原潛伏期間的傳播動態，使模式更切合於結核病等潛伏期較長之慢性傳染病，也有的傳染病為SIRS 或SEIRS 等更複雜的模式。

5. 典型的 SIR 或 SEIR 等模型，缺乏人口結構與其它重要的社會特質，如空間性、異質性、局部性、互動性等，也無法深入探討公衛政策、防疫策略等議題。

$$\begin{cases} \dfrac{dS}{dt} = -rS(t)I(t) \\ \dfrac{dI}{dt} = rS(t)I(t) - \delta I(t) \\ \dfrac{dR}{dt} = \delta I(t) \\ N = S(t) + I(t) + R(t) \end{cases}$$

r is the infection rate, δ is the removal rate, and N is population size

傳統 SIR 模型概念簡單，同時也簡化許多問題，適合去探討疾病的傳播門檻值，而且模擬所需要花費的計算資源與時間都很少。但是，這個模型有兩個缺點：

1.缺乏社會接觸觀念，在 SIR 模型中，任意兩個人之間接觸的機率相同，但在，現實中個體經常接觸的人群只佔社會的一小部分，而絕大部分的人群幾乎很少或完全沒有接觸過。

2.SIR Model 只能針對疾病的傳播得到疾病再生率（*R0*），無法了解疾病的動態傳播，也不能藉由 SIR 模型來深入探討或比較各種傳染阻絕政策的成效。

此模型的缺點再於僅能計算在每個單位時間內總人數上的變化，若想要作出更精確的模擬結果，傳染病學家通常將人群再分為許多種類(依據年齡、性別… 等等)，但以傳統的 模型則忽略個體差異對疾病所造成的影響， 模型關注的重點為總人數的傳染或總人數的康復…等，並且將個體與個體互動接觸造成傳染的方面，視為隨機的過程，換句話說，一個感染者傳染給任何一個易感染者的機率皆是相同，也與真實社會人際之間的互動特性有所不符，因此對於詳細的政策探討、防治措施的研擬，略有不足。

本研究子題將我們應用此模擬模型探討台灣地區新型流感可能的傳播動態，以及各種境外傳入狀況、傳染率及公共衛生政策介入後的疫情發展。未來也將模擬多項政策，例如：親密接觸者預防性投藥，以及在不同的啟動機制下，停止上班上課及交通管制等社會政策對傳播動態所造成的效果與差異，藉這研究可提供政府一些因應措施，作為疫情防治參考。

以新型流感為例，現行疫苗之研發與製造需耗時數個月，對於防止全球性流行可說是緩不濟急，藉由數學模式分析發現，當在受感染個案具有傳染力前，視需要對其與其接觸者進行嚴密的隔離或檢疫，有助於降低疾病的傳播，若能減少一半受感染個案，將可以大幅降低死亡率。研究也發現，空間因子中的人口密度、通勤與國際交流都是影響新興傳染病傳播的重要因子。在 WHO 及公衛專家不斷的呼籲之下，各國開始積極地擬定各項準備計畫來減輕疫情的爆發所帶來的衝擊。同時這也是人類一次難得的機會，可以在傳染病造成大流行之前先做好防範的工作。但由於疾病傳播本身牽涉到人類的生活型態、人際互動、交通、病毒特性等複雜的因素，導致公衛決策者面臨許多難題，例如：

1.各種公衛政策的執行效果不明確，缺乏一個客觀的比較機制：
例如當流感大流行發生時，是居家隔離較能減緩疫情的擴散? 還是使用克流感預防性投藥較能發揮效果?

2.即使只針對某一個公衛政策，在執行上也會面臨許多不同的選擇： 以停止上班上課的政策為例，應該以全國為單位統一實施? 還是只針對疫情較嚴重的縣市發布停止上班上課的命令?

3. 在新型流感病毒不斷突變下，目前各國政府儲備的疫苗或抗病毒藥劑是否有效？如果只有部分效果(如高效果70%或低效果30%)的話，是否還足夠應付？這些疫苗及藥劑應該使用於事前預防、或事發治療？該如何分配這些資源才能獲得最佳的防疫效果？

4.公衛政策的執行常需要投入大量資金和人力，在資源有限的情況下要作出最佳的決策更是困難。

5.有否社會成本且可以有效抑制流感蔓延的傳染阻絕政策或其它政策組合？

除此之外，缺乏一套能夠有效且迅速評估傳染阻絕政策成效的模擬平台更是造成流行病學家及公衛專家堅持己見、各說各話的分歧局面。最近一次的典型範例就發生在 2002-2003 SARS 流行期間，當時的新加坡政府動用大量的人力與物力將 SARS 有效的抑制下來，但是所花費的醫療資源是否符合成本效益；如果我們可以事先預測 SARS 的傳播動態，一切可能就不一樣了。因此，我們需要一個較好的分析方法來幫助我們評估各種公衛政策，提供決策者一個有力的參考依據，運用數學模式可評估一旦新興傳染病發生時的傳染模式，有利於及早採取防疫措施，及早有效控制疫情。

運用電腦建模和傳統的數學模型一樣可以模擬出大環境的趨勢,除此之外使用電腦建模的方法更能在短時間內增加許多隨機事件,例如在疾病模型中增加許多不同的公衛政策,然後去模擬不同狀況下的結果看看會有什麼差異,所以電腦建模的方法較數學模型更能夠處理真實世界中時常發生之複雜且隨機的事件。此外,許多傳統數學模型上難以表現的性質概念可以在電腦模擬時可利用程式技巧以不同的資料結構來表示。而且大部分被轉換成數學公式的概念可以輕易的轉換在電腦模擬模型上,反之卻不是相同的簡單,所以利用電腦建模來模擬社會現象在近年來越來越受到重視。

隨機網路由於個體與個體間的連結是隨機連結的機率,與真實社會仍有出入,例如:真實社會中由於人際關係或地區的關係而有高群聚度的現象在隨機網路模型中則沒有反映。有序網路則是強調區域性的特質,但真實社會又非如此具有整齊劃一的拓蹼網路,而是有部分的隨機連結,造成在傳染病或謠言在真實社會網路中擴散地更為快速。我們可以發現,在這些疾病模型中的拓僕網路皆缺乏了一個重要的網路性質—小世界現象—也就是個體與個體之間的低分隔度。若沒有此一性質,在模擬疾病的傳播,則很難精確地探討真實環境疾病的傳染與公衛政策的實施效果。 近年來由於小世界網路概念興起,對於疾病傳播的研究者來說,將簡單網路疾病模型底層的拓蹼網路,改為具有小世界性質的網路模型,如此一來比原先的網路模型多的是展現真實社會中低分隔度與高群聚度的現象。

過去在研究複雜系統的領域中,由於研究的對象太過複雜,研究者不容易掌握其中的動態,因此研究者希望能將整個系統簡化進而了解整個系統,他們採用數學領域中的圖形理論,把圖形中的點當成是個體,點與點之間的連接就是個體間存在的某種關係,漸漸的形成今日將整個複雜系統以拓蹼網路的概念呈現。社會網路就是一個人或一群人,彼此之間存在某種接觸的關係或互動的關係,例如:朋友之間關係、公司與公司之間的商業關係、家庭之間的關係所形成的網路拓蹼皆是社會網路的例子」,以這個定義來說,若我們將每個人視為一個「點」,某人與人之間的某種關係以「邊」來表示,則可以將人與人之間的關係以網路的形態表示,稱為社會網路。

社會網路對於疾病的傳染有重要的影響,社會網路的性質也與疾病的擴散速度息息相關,例如:一個群體的群聚性高則會使疾病的擴散速度將會隨之增高,反之則下降,若群聚性較低則疾病的擴散速度將受到限制,我們將介紹真實社會中人與人互動所呈現出的「小世界」現象。

本研究子題主要建立一個具有預測新型流感爆發趨勢的電腦模擬模型,針對台灣地區流感傳播動態模擬,且探討各項傳染阻絕政策成效;並結合電腦模擬的輔助,讓實驗結果得以視覺化呈現。我們結合二分關聯網絡與社會分身點來建立一個適合流行傳染病傳染的平台—日常生活接觸網

絡，用來表示人類日常生活行為；且符合小世界性質與無尺度網絡的特性，網絡具有高群聚性、低分隔度、與節點分支度呈現冪次率分佈。以往流行病模擬研究對於真實數據有很高的依賴性；而模型只需加入人口統計資料，即可建構一個符合真實社會的日常生活網絡，而且透過人口數與場所數的調整比例，模型就可以呈現不同繁忙程度的城市，比以往的研究有更高的可利用性。

規劃子題五：生理訊號監測與診斷(徐國鎧教授、李柏磊教授)

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

根據世界衛生組織的定義，當 65 歲以上的人口佔一國總人口數的 7%以上時，即是進入高齡化社會；而台灣早在 1993 年起，65 歲以上的人口就已突破 7%。國家衛生研究院更推估台灣在 2019 年老人人口比例將達 14%，正式成為老人國家。工研院服務業科技應用中心估計，台灣在高齡化的趨勢下，因慢性病為主的疾病形態外，再加上長期失能、殘障或一般慢性病之廣義非老年失能人口後， 2015 年我國銀髮族產業商機市場規模將超過 1000 億美元。過去的居家照護形態，多以家人退出職場以提供無給職與非專業的照顧服務。尤其是肢體發育不全、脊椎神經傷害、肌肉神經損傷、中風患者，以及老年人等具有嚴重肢體活動障礙問題的病人。因為這些病人通常不容易表達自我的意念，行動上也必須使用輪椅或是枴杖等助行器來幫助他們進行日常生活的活動，導致這些患者無法表達意念、也無法自由行動於日常生活的環境，不但造成自己與家人的負擔，也造成社會資源的浪費。

藉由醫療科技的進步，人類得以使用非侵入式的儀器，包括高磁場磁振造影（Ultra-high Field Magnetic Resonance Imaging）、腦磁波儀 (Magnetoencephalography，MEG)、腦電波儀（Electroencephalography，EEG），正子斷層掃描儀（Positron Emission Tomography, PET）、單光子斷層掃描儀（Single Photon Emission Tomography, SPECT）、經頭顱磁刺激（Transcranial Magnetic Stimulation，TMS）及光學造影（Optical Imaging）等先進儀器，即時量測人體生理訊號與身體內器官的結構影像，運用數位訊號處理(Digital Signal Processing)、影像處理(Digital Image Processing)、及最佳化(Optimization)等技術，進行人體生理的神經網路運作研究，及解析人體結構與狀態功能的關係，進一步利用圖形辨識(Pattern Recognition)方面的技術，讓電腦能夠自訂分辨各種生理狀態，解釋生理訊號所代表的生理意義，預測可能來臨的風險，並發展決策模組提供使用人適當的處理策略。

就人類生理訊號與認知分析研究而言，常用到的生理訊號有下列幾種：(1) 眼球運動：利用量測眼動波(EOG)或是紀錄眼球移動的軌跡，可以得知人們所喜好之主題、觀看的時間與觀看順序。目前追瞳系統以檢測原理可分為眼動波追瞳系統和光學式追瞳系統。眼動波追瞳系統是利用眼眶四

周電壓的變化來偵測眼球活動方向，偵測方式主要是利用電極貼在眼睛周圍，偵測所得電壓信號放大後加以處理判讀。光學式追瞳器是影像基礎眼動追蹤技術，此法須採用雙鏡頭頭戴式裝置，攝影機會實際拍攝眼球位置，透過影像記錄中的瞳孔位置計算眼球運動，並記錄瞳孔大小。若配合相關需求選單或簡單的手勢，可使長期失能、殘障等被看護者獲得生活需求的雙向互動，藉以提高生活品質等；(2) 腦電波**(Electroencephalography, EEG)**：隨著腦部的活動，該部位的腦細胞會與其他部位的細胞產生電位差，而在大腦皮質形成一股電流產生腦波變化，並且與心跳、呼吸無關。在1920 年代，Berger 等人開始進行人類的腦波研究，經過幾十年的研究結果顯示，人類的精神認知狀態可以經由腦波的量測分析得知使用者是否處於清醒的狀態,但是非常少量的研究可以在近似即時（real time）的時間上量測到這樣的腦波訊號，一直到最近幾年電腦訊號處理技術增加，足以即時處理所量測到的複雜腦波訊號時，因此人類不同的情緒與狀態，可以藉由腦電波來判斷，近幾年來更著重於認知能力相關領域的研究，主要的研究為以腦電波為基礎利用時域-頻域的方法(time-frequency analysis)建立人腦界面(Brain Computer Interface, BCI)系統[1-2]，為漸凍人與中風等失能患者開啟世界溝通的窗；(3) 肌電圖 **(Electromyogram, EMG)** 與其他生理訊號：肌電圖在醫學使用發展已久，主要用於復健科的電生理檢查，藉由肌電波電極貼附在感興趣的肌肉區域，量測不同肢體肌肉收訊電訊號的時間順序與波形，可以辨識出目前使用者正在進行何種動作，進而驅動外界裝置或是輔具馬達，達到溝通與行動輔具的目的； (4)紅外光血流影像：藉由量測血液在不同紅外線波長，帶氧血與缺氧血會有不同光學吸收係數的特性，可以使用雙波長、或多波長紅外光，偵測血流血氧含量，作為控制週邊裝置的訊號。

為了達成有效的生理訊號辨識、監測與診斷，需要結合訊號影像工程人員、臨床醫師、資訊工程人員、以及系統控制開發工程師，彼此緊密合作，整合尖端科技，完成生理訊號辨識、輔助診斷系統與應用等目的。經由工程人員與醫療人員之間的合作，加上模糊理論(Fuzzy)、類神經網路(Artificial Neural Network)、支持向量機(Support Vector Machine)等技術，將醫療人員的診斷方式以規則化(Rule-based)的方式記錄於診斷系統中，進一步透過對正常人神經訊號網路的研究理解，解讀病人功能性障礙及處理對策。目前國內外已經有許多研究團隊針對生理訊號的判讀與輔助診斷系統進行開發，例如使用心電圖診斷於心跳過速(Tachycardia)或纖維性顫動(Fibrillation)、心律不整(Arrhythmia) [3-4]；使用腦電波/腦磁波於腦局部貧血(Ischemia)、癲顯(Epileptic)，以及帕金森(Parkinson)病人診斷[5]；加護病房自動監測系統等。有效的輔助診斷系統，將能夠提供預診斷資訊給醫療人員，使其在診療行為中得到適當的提示與警示，以減少醫療人員在資料判讀上的負擔，減少醫療疏失的機率。

此外，因應老年化社會的來臨，本子題亦強調研究以使用者生理訊號驅動的溝通輔具與行動輔

具。在溝通輔具方面，藉由量測使用者意念驅動之生理訊號（如：腦電波、紅外光腦血氧含量、肌電波、眼電波、追瞳裝置等），判斷使用者之意念，進而驅動一可與外界溝通之裝置（如：打字板、滑鼠、選單等）；在行動輔具方面，發展結合生理訊號與機械的控制系統，如 Vukobratovic et al. [6] 在 1990 年開發的 HMI Exoskeleton 系統、與日本筑波大學所開發的 HAL 系統等[7]，都是目前以肌電波為基礎的行動輔具代表，藉由量測人體肌肉收縮時，在肌肉上所產生的微弱的肌電訊號 (Myoelectric Signals)，放大這些肌電訊號，配合足底壓力板、機械馬達上角度感測器的迴授訊號，一起輸入運算單元，以產生適當的力矩來完成使用者想要完成的肢體動作。這些溝通輔具與行動輔具系統，可以幫助肢體障礙的病人利用微弱的生理訊號，以達到外界溝通、傳達訊息、自主行動，以及自我照顧等目的。

參考文獻

[1] J. R. Wolpaw, N. Birbaumer, D. McFarland, G. Pfurtscheller, T. M. Vaughan, “Brain-computer interfaces for communication and control,” *Clinical Neurophysiology*, vol. 113,no. 6, pp. 767–91, 2002.

[2] S. Parini, L. Maggi, A. C. Turconi, and G. Andreoni, “A robust and self-paced BCI system based on a four class SSVEP paradigm: algorithms and protocols for a high-transfer-rate direct brain communication,” *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2009, Article ID 864564, 11 pages, 2009.

[3] A. E. Aubert, B. G. Denys, H. Ector, H. De Geest, “Detection of ventricular tachycardia and fibrillation using ECG processing and intramyocardial pressure gradients," Pacing and Clinical Electrophysiology, vol.9, no.6, pp. 1084-1088, 1986.

[4] D. F. Sittig, K. H. Cheung, "A parallel implementation of a multi-state Kalman filtering algorithm to detect ECG arrhythmias, “International Journal of Clinical Monitoring and computing. vol.9, no.1, p. 13-22, 1992.

[5] G. Pfurtscheller, F. H. Lopes da Silva, “Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles,” Clinical Neurophysiology, vol. 110, pp. 1842 – 1857, 1992.

[6] M. Vukobratovic, “Legged Locomotion Robots and Anthropomorphic Mechanims”, The Nikkan Kyoto Shimbun Ltd., Tokyo, 1975.

[7] S. H. Kim, H. Imai, and Y. Sankai, “Interactive task generation for humanoid based on human motion strategy”, *Proceedings of the 2004 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication*, 2004.

[8] S. Makeig, A. J. Bell, T. P. Jung, and T. J. Seijnowski, “Independent component analysis of electroencephalographic data,” in: D. Touretzky, M. Mozer and M. Hasselmo (Eds.), *Advances in Neural Information Processing Systems*, MIT press, Cambridge MA, pp. 145-151, 1996.

[9] A. Hyvarinen, E. Oja, “A fast fixed-point algorithm for independent component analysis,” *Neural* Computing, vol. 9, No. 7, pp. 1483-1492, 1997.

二、研究方向及具體建議

1. 生理訊號資料庫建立：

針對臨床病症，建立特定類型病人之生物醫學指標(Biomarker)資料庫，並建立診斷之分類演算法。

2. 生理訊號處理技術：

由於生理訊號通常遠小於環境雜訊，因此為了能夠正確的傳達使用者的意念，必須針對不同的生理訊號開發適用的訊號處理技術，如：獨立成份分析法（ICA）[8]與希爾伯黃轉換（HHT）[9]的演算法建構與即時運算電路開發，進而達到雜訊濾除的目的，得到正確的結果。

3. 新式生理感測器

此研究方向著重於開發輕便、微小化的感測裝置或電路，便於使用者穿戴與操作，此部分另一目的在於尋找新的生理控制訊號（如：紅外光腦血流、觸覺或聽覺腦波等）作為新穎溝通與行動輔具的控制訊號。

4. 智慧型病床

開發具醫療警示之智慧型病床，發展能夠同時量測不同生理參數（如：呼吸、心跳、腦波、紅外光血氧等）並整合於病床上，對病人之生理訊號進行長時間監控分析，達到預警與輔助診斷的目的。

5. 行動生理量測診斷系統開發

著重於開發小型攜帶式化的輔助診斷系統，發展長戴型腦波、心電波、肌電波等系統，由微電腦進行即時訊號分析，配合 3G、WiFi、GPS 等，讓個人與醫院間可以即時溝通，在第一時間完成危險通報與定位，提高救援成功的機率。

6. 醫學影像輔助診斷系統開發

開發針對特定病症之磁振造影(MRI)、正子斷層掃描（PET）、電腦斷層掃描（CT）等輔助診斷影像處理技術，經由影像分析，提供醫師之預診斷資訊，提示醫師醫學影像上之可能異常區域，避免人為疏忽。

7. 生理訊號人機溝通輔具

著重於即時生理訊號運算與辨識，開發軟體、硬體電路，建立使用者與外界環境的溝通介面，如：打字板、滑鼠介面等，進而設計互動式選單與生理回饋機制，評估使用者操作情形，並進行溝通輔具介面之改良與修正。

8. 生理訊號控制之行動輔具

開發生理訊號即時處理與辨識系統，完成行動輔具之建置，如：肌電波控制人工義肢、眼動波控制

輪椅等，選擇適當的生理訊號，設計適合長期穿戴，且能夠應付不同戶外雜訊環境之穿戴式行動輔具系統。

規劃子題六：基於生理特徵之身份辨識(林俊良教授、王振興教授 、陳鏡崑教授)

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

因應資訊化社會的需要，個人辨識的重要性也日漸高漲。而生物特徵運用於身份辨識已行之有年，例如：人類指紋長期用於犯罪偵防及身份辨識。美國 911 事件發生之後，生物特徵的應用從犯罪偵防走入國土安全、電子商務、機密資料保護等不同應用。在此氛圍下，世界各國及產業界對基於生物特徵的智慧型身份辨識需求日益增加，例如美國在 2002 年制定「美國強化邊境安全及簽證改革法」，要求免簽國家需將護照加入生物特徵記錄，並在入出境時進行生物特徵查驗。在產業方面，根據 IBG(International Biometrics Group)的研究指出，2009 年全球的生物辨識市場，包括硬體銷售、軟體設計與銷售服務等，約達 34.22 億美元，預估至 2014 年市場將可成長至 93.64 億美元。在全球專利方面，美國 IBM 公司為全球生物辨識技術領先專利權人、日本 NEC 公司次之；相形之下，我國目前在全球生物辨識技術的著墨則較少。面對全球蓄勢待發的生物辨識市場，我國宜及早在前瞻研究上佈局，取得市場先機。

隨著網路安全愈受重視，捨棄煩人密碼、回歸以人體特徵作為辨識主體的「生物辨識系統」已成一股新浪潮，目前包括英特爾、微軟及摩托羅拉等國際大廠，紛紛投入經費，試圖將生物辨識技術整合到未來的網路產品上。

生物特徵之所以適用於身份辨識，重點在於每個人與生俱來都具有迥異的生物特徵。由於生物特徵有獨一性、普遍性、永久性、可測性等四大特點，因此非常適合應用於身份辨識[1,2]。生物特徵傳統上涵蓋了指紋[3]、掌型[4,5]、臉型[6]、聲音、耳朵形狀、簽名、步態、虹膜[7]、視網膜。上述生物特徵大多屬於體表外的特徵，近年來開始有研究者將血管攝影[8]、心電圖[9,10]、腦波圖、唇印、舌印、牙床資訊等作為新一代的生物特徵。傳統的生物特徵辨識，如指紋、臉型、聲音、耳朵形狀、掌型、簽名在應用上普遍有易於偽造以及強健性不足的問題，例如指紋、掌型容易被偽造；臉型、耳朵形狀、聲音、簽名則有強健性不足的問題，由於臉型、耳朵形狀容易受到生理狀況變化而產生誤判，聲音、簽名、步態則容易受到外界環境影響，有其應用的侷限性。虹膜以及視網膜有高精準度的優點，但目前由於建置成本過高，尚未達到商業普及。新一代的生物特徵辨識，開始將生理訊號的心電圖、腦波圖用於身份辨識[11, 12]。最近幾年研究文獻顯示，ECG 信號極複雜且很難以人為方式變造複製的特性[9, 10]，相當適合繼續研究探索生物辨識技術的新方向。Kyoso 以及

Uchiyama 等研究者利用心電圖的 P 波時間、PQ 區間、QRS 區間、QT 區間用於身份辨識並得到不錯的效果[1]。Palaniappan [12]則結合腦波圖以及 Elman Neural Network 於身份辨識，達到 98%的辨識率。此研究在結論提到了腦波等內在生理訊號於身份識別有其極高的準確度，且不容易被偽造的特點。

除了應用單一生物特徵於身份辨識之外，亦有研究著重於探討如何整合多物生理特徵組成多生物特徵辨識系統，由於各種生物特徵皆有其辨識結果，在決定辨識結果時可透過序列式、平行式、階層式等架構。除了整合數種不同生物特徵來決定辨識結果，亦有透過資訊融合(Information Fusion)來提升辨識精準度/強健度的做法，資訊融合有前映射融合(Pre-mapping Fusion)、中映射融合(Midst-mapping Fusion)、或後映射融合等(Post-mapping Fusion)三種不同做法。前映射融合的作法在多重生理特徵進行辨識、專家系統鑑定前，就先進行資訊的映射以及融合，再作後續辨識或專家系統鑑定。映射中融合則是在辨識或專家系統鑑定時，將生物的特徵或感測器的資料映射到決策空間時進行映射，再進行後續辨識。後映射融合則是在生物特徵辨識結果出爐後，再進行資訊映射及融合，決定最終辨識結果[13, 14]。

本主題可以由以下幾個參考方向進行：

1. 基於單一生物特徵之智慧型辨識演算法開發
2. 基於多重生物特徵之智慧型身份辨識系統開發
3. 基於生物特徵之智慧型身份辨識系統之硬體系統實現與相關應用

參考文獻

[1] S. Chauhan, A.S. Arora, and A. Kaula, “A survey of emerging biometric modalities,” *Procedia Computer Science*, vol. 2, pp. 213–218, 2010.

[2] Q. Xiao, “Biometrics-technology, application, challenge, and computational intelligence solutions,” *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 2, no. 2, pp. 5-9+25, 2007.

[3] C. Kant and R. Nath, “Reducing process-time for fingerprint identification system,” *International Journals of Biometric and Bioinformatics*, vol. 3, pp. 1-9, 2009.

[4] R. S. Dagadu and R. R. Manza, “Biometric identification of individual using statistical properties of palm,” *International Journal of Machine Intelligence*, vol. 3, pp. 150-154, 2011.

[5] S. Prabhakar, S. Pankanti, and A. K. Jain, “Biometric recognition: security and privacy concerns,” *IEEE Security and Privacy*, vol. 1, no. 2, pp. 33-42, 2003.

[6] K. Chang, K. Bowyer, and P. Flynn. “Multiple nose region matching for 3D face recognition under varying facial expression,” *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, pp. 1695-1700, 2006.

[7] F. Scotti and V. Piuri, “Adaptive reflection detection and location in iris biometric images by using computational intelligence techniques”, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, vol.

59, no. 7, pp. 1825-1833, Jul. 2010.

[8] N. Miura, A. Nagasaka, and T. Miyatake "Feature extraction of finger-vein patterns based on repeated line tracking and its application to personal identification", *Machine Vision and Applications*, vol. 25, pp. 194-203, 2004.

[9] C. K. Chen, C. L. Lin, C. T. Chiang, and S. L. Lin, "Information encryption using ECG signals with chaotic functions," *Information Sciences*, vol. 193, pp. 125-140, 2012.

[10] S. K. Singla and A. Sharma, "ECG as biometric in the automated world," *International Journal of Computer Science & Communication*, vol. 1, no. 2, pp. 281-283, 2010.

[11] R. Palaniappan and D. P. Mandic, "Biometrics from brain electrical activity: A machine learning approach," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 29, no. 4, pp. 738-742, 2007.

[12] R. Palaniappan and D. P. Mandic, "EEG Based Biometric Framework for Automatic Identity Verification," *Journal of VLSI Signal Processing Systems for Signal, Image, and Video Technology*, vol. 49, no. 2, pp. 243-250, 2007.

[13] P. J. Phillips, P. J. Flynn, J. R. Beveridge, W. T. Scruggs, A. J. O'Toole, D. Bolme, K. W. Bowyer, B. A. Draper, G. H. Givens, Y. M. Lui, H. Sahibzada, J. A. Scallan III, and S. Weimer, "Overview of the Multiple Biometrics Grand Challenge," in *Proc. of the Third International Conference on Advances in Biometrics*, 2009, pp. 705-714.

[14] S. K. Sahoo, T. Choubisa, and S.R. M. Prasanna, "Multimodal biometric person authentication : A review," *IETE Technical Review*, vol. 29, no. 1, pp. 54-75, 2012.

二、研究方向及具體建議

1. 基於單一生物特徵之智慧型辨識演算法開發：

目前在單一生物特徵之智慧型辨識演算法面臨的主要問題可從傳統生物特徵以及新一代生物特徵兩個面向來討論。在傳統生物特徵上主要面臨強健度不足的問題，例如臉部辨識、聲音辨識極易受到人的生理狀況影響，導致臉部、聲音特徵改變。因此，基於傳統生物特徵發展更強健之身份識別演算法可作為一研究方向，此部分的研究進展可作為改善既有生物特徵辨識技術的重要貢獻。此外，許多新一代生理特徵，例如心電圖、腦波圖用於生物特徵辨識尚屬萌芽階段。近年有研究者結合智慧型控制的渾沌理論以及心電圖作為資訊編碼以及身分識別之用，可見結合智慧型控制理論以及生理訊號可作為身份辨識的一個研究方向。

以下就幾個較為主流之生物特徵辨識技術加以闡述：

①指紋辨識

使用者將手指放在專用指紋讀取設備，讀取機拍下指紋圖象後，系統將指紋轉化成為點圖，儲存供日後查詢比對。指紋辨識必須作身體上的接觸，使用者容易產生罪犯嫌疑的刻板印象，有隱私權被

侵犯的感覺，而因犯罪技術科技化，指紋膜仍有被複製的風險，且事後反向追查困難，此外指紋判讀需依賴專業機器與人士，因此多用在門禁及犯罪管理等特殊用途。

②臉部辨識

臉部辨識由於面積較大，加上特徵點多樣、複雜，因此技術難度很高，一直停留在實驗室研究的階段，直到最近才有明顯地突破，各種商品化的應用一一出現。臉部辨識系統設計常以眼睛為主軸，找出眼睛和五官的相對應位置。例如輪廓的凹凸、五官距離的長短等，都是臉部的特徵點，並將這些臉部特徵與存放於特徵資料庫的人臉進行比對，即時確認身分。此外由於是三維物體辨識技術，這也阻止駭客利用照片非法侵入系統，因為照片是平面的，而人臉是立體的。

因為視訊裝置具有最少侵犯性的特點，因此此類系統可以在群眾間隨意掃描，找出符合資料庫中臉部特徵的人，是很好的監視科技。

③虹膜辨識

每個人的虹膜結構皆不相同，對同一個人，左右兩眼的虹膜區別也十分明顯。此外，科學家指出，人類的視網膜會因為年齡增長而改變，即便虹膜的基本結構是由內在的遺傳基因所決定，但終其一生卻不易發生變化。虹膜組織包含的資訊，比人體任何部位還要多。虹膜共有 240 個獨特處，相較於臉部則約有 80 個獨特處、指紋的獨特處只有 20 至 40 個。因此，要找出虹膜編碼相同的機率為 10 的 78 次方之一，世界上找不到第二個虹膜相同的人，就連雙胞胎也是。就算現場光線不足或太強、受測者配戴太陽眼鏡、隱形眼鏡，都無所遁形。使用專用攝影設備來截取虹膜的影像、眼睛的顏色，辨識率很高，但是操作較複雜，價格昂貴，使用時不自然也不舒服，而紅外線直接照射視網膜則有傷害眼睛的疑慮。

④靜脈辨識

靜脈辨識是利用紅外線攝影機掃描手背上的靜脈血管溫度，並儲存每個使用者的靜脈特徵，用來做為日後比對的樣本。使用靜脈識別有幾個好處，即使是雙胞胎的靜脈也都不同，而且靜脈特徵幾乎永久不變，除非血管病變或嚴重傷害，跟其他的生物特徵相比，目前的技術很難加以仿造，能讓實體安全等級更進一步。

⑤ECG 為基礎之辨識

以人體心電圖特徵作為個人身分辨識在生物特徵辨識是一項新的研究主題，大致上可歸納為以下幾

種方法：

- *Time-Domain Feature Extraction*
- *Frequency-Domain Feature Extraction*
- *Chaos Feature Extraction*

運用生物辨識技術，身體就是密碼，不必再背一長串惱人的數字，不怕遺失或忘記，不易複製，不用擔心遭人盜用，而且「隨身攜帶」。然而目前發展較成熟的生物辨識技術存在著容易辯造與竊取的問題，如指紋與掌紋的竊取甚至將其截肢取得其特徵、人臉偽造等，缺乏活體辨識的功能。然而 ECG 信號存在著極複雜且很難以人為方式變造複製的特性，因此將 ECG 信號特徵整合至相關的生物辨識技術做更嚴謹的活體個人身分辨識，是可行的發展方向，但 ECG 信號很敏感，重複性低，辨識難度高。在 IT 醫療管理上，也可大幅度提升管理上的方便性。利用生理訊號來辨識病患的身份，並且在監控生理訊號的同時，進一步監控病患的生理狀況。若再結合雲端科技，可以大幅度降低醫療管理系統的負載。

2. 基於多重生物特徵之智慧型身份辨識系統開發：

單獨靠一種生物特徵來進行身分辨識其成功率相當有限，如何透過多重生物特徵以及智慧型演算法來提升身分辨識之精準度是一個相當重要的研究議題。現有理論已有透過辨識結果的整合、以及生物特徵的資訊融合來建構多重生物特徵的身分辨識系統。但在實務上，那些是最有效的生物特徵、辨識結果整合以及生物特徵如何做資訊融合，相當值得探討。

3. **基於生物特徵之智慧型身份辨識系統之硬體系統實現與相關應用：**

我國目前主要的身分辨識系統著重於理論的開發，但產業界對於硬體產品由極高的需求。目前國內主要的生物特徵身份辨識系統之應用著重於高階應用(如機場國土安全、軍方等應用)，對於低價普及的消費性電子產品的普及度較低，主因是少有產業界、學術界將研發能量投入於生物特徵身份辨識系統嵌入式系統開發。在研究方向上，建議將生物特徵身份辨識系統 ARM 微控制器、DSP 晶片實現、IC 實現列為研究主題之一。

規劃子題七：<u>智慧型健康照護管理系統(林俊良教授、王振興教授 、陳鏡崑教授)</u>

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

台灣正逐步邁向高齡化社會，慢性疾病如高血糖、高血壓、體脂肪過高等等的人口不斷增加，連帶著醫療費用高漲，導致全民健保財務收支失衡，可預見健保制度必須在未來有所改變，並且逐漸以品質及預防為重。由於疾病型態逐漸由「急性」轉為「慢性」。國民對醫療照護之需求將由「治療」轉為「治療與照護並重」。

整體醫療型態的改變，加上國內資訊通訊產業發達，醫療器材產業的發展，遠端醫療照護的前景十分看好。近年來政府積極推動愛台十二項建設，並全力投入六大新興產業之發展，其中醫療照護產業的科技化健康照護創新服務計畫具高度前瞻性及潛力。雖然台灣有完善的全民健保體制，但全民健保制度只著重在疾病的治療，且現今醫療體系資源未善加利用，造成全民健保之沉疴。嚴重惡化的「健保財務」問題將累計短絀超過千億元，此外；政府的財政赤字日趨嚴重，故無多餘經費投注在降低健保給付根本之道—全民自主健康保健與管理之推廣。由於人民的經濟狀況及對生活品質與健康保健之需求日益提升，一般大眾對於智慧型及自動化健康管理系統之應用有很大的需求，然而從國內外市場上仍未發現指標性及革命性的產品能滿足此需求。

國內產業界積極開發健康促進及照護等加值服務，例如中華電信的 emome 網站推出了醫療通的服務，使用者可透過智慧型手機向中華電信合作的醫院進行門診的掛號。中華電信與新竹馬偕醫院合作，利用 3G 行動網路將救護車上的病患的心電圖傳至急診室，供急診室醫生做即時判斷。目前亦有許多有手機具備健康促進及照護的功能，例如 WellnessDiary 這套健康管理軟體，可使用於大部份的智慧手機，協助使用者記錄體重、飲食習慣、運動、血壓等重要生理狀況。政府單位長期投入健康促進及照護的計畫，在 M-Taiwan 計畫的行動健康促進及照護服務計畫，由資通訊及製造業結合國內醫療單位，包括台北醫學大學、台北醫學大學附設醫院、台中榮民總醫院、三軍總醫院以及萬芳醫學中心等單位參與建置行動健康促進及照護平台，預計透過 3G 通訊及 WiMax 建立行動小護士、貼身診療助理、無線照護精靈、健康養生大師等服務平台。

個人生理訊號的量測上，以體脂肪、血糖及心脈量測為最基本且重要，同時與人體健康狀況關聯性更是密切。在高齡化及多文明病的先進國家中，藉可攜式即時量測技術系統分析出體脂肪、血糖及心律變異值，利用最短時間並即時記錄使用者的健康狀態。可提早發覺使用者健康指數的變化，也能夠將數據提供給醫師作為診斷參考依據，對於近年來社會醫療成本快速增加的問題，將產生很有效的抑制效果，並可省去許多醫療成本。

如何有效地開發更臻完善且更貼近一般民眾對自主健康管理之需求，並有效地提升民眾預防醫學相關知識，為解決目前醫療體制之沉疴帶來一線曙光將是未來相關研究的挑戰。

本主題可以由以下幾個參考方向進行：

1. 高可靠度及低功耗之可擴充式多重生理訊號感測網路
2. 生理訊號分析演算法開發
3. 智慧型健康管理系統之數位回饋內容開發
4. 智慧型健康管理雲端系統之建置

參考文獻

[1] A. G. Ekeland, A. Bowes, and S. Flottorp, "Effectiveness of telemedicine: A systematic review of reviews," *International Journal of Medical Informatics*, vol. 79, no. 11, pp. 736-771, 2010.

[2] V. G. Duffy, "Improving efficiencies and patient safety in healthcare through human factors and ergonomics," *Journal of Intelligent Manufacturing*, vol. 22, no. 1, pp. 57-64, 2011.

[3] P. C. Jain, "Wireless body area network for medical healthcare," *IETE Technical Review*, vol. 28, no. 4, pp. 362-371, 2011.

[4] E. Lettieri, G. Radaelli, and C. Masella, "Information systems and change management in healthcare: The (un)solved quest for changing physicians' behaviour," *International Journal of Information Systems and Change Management*, vol. 4, no. 3, pp. 226-245, 2010.

[5] W. Ludwig, K.-H. Wolf, C. Duwenkamp, N. Gusew, N. Hellrung, M. Marschollek, M. Wagner, and R. Haux, "Health-enabling technologies for the elderly - An overview of services based on a literature review," *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, vol. 106, no. 2, pp. 70-78, 2012.

[6] J. Martín, R. Seepold, N. M. Madrid, J. A. Álvarez, A. Fernández-Montes, and J. A.Ortega, "A home e-health system for dependent people based on OSGI," *Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol. 38, pp. 117-130, 2009.

[7] C. W. Lin, J. S. Wang, and P. C. Chung, "Mining physiological conditions from heart rate variability analysis," *IEEE Computational Intelligence Magazine*, vol. 5, pp. 50-58, 2010.

二、研究方向及具體建議

1. 高可靠度及低功耗之可擴充式多重生理訊號感測網路：

生理信號量測後如能透果無線傳輸技術，即時傳導至醫院，即可方便醫生或醫務人員進行病患之生理狀況監視，一但出現異常，就可即時告知病患依指示就醫或簡要地先行自我救治。此外，亦可對於健康出現警訊的病患予即時通報。

現有的生理訊號感測網路之中，身體感測網路之資料傳輸可靠度、功率消耗、感測器的可擴充

性為現今重要的研究議題。為了確保感測生理訊號感測網路資料的可用性，每一個感測單元皆須有極高的無線傳輸可靠度。無線傳輸可靠度的提升可透過降低無線傳輸資料封包的遺失率(Packet Loss Probability)來達成，也就是從發展可適應性調變(Adaptive Modulation)技術及資料編碼技術(Coding Techniques)來提升；同時也可以在媒介存取控制層(MAC Layer)設計封包傳送大小、封包重送機制。此外，由於多重生理訊號感測網路配戴於人體，為了延長配戴的時間，必須降低感測器的功率消耗；降低感測器功率消耗的研究議題在於開發動態電源管理技術(Dynamic Power Management Techniques)，藉以調節微控制器的執行時間及運算量，讓身體感應網路中各個感測單元之使用時間盡可能的延長。另外為了使生理訊號感測網路的可用性提升，感測網路必須隨著不同族群的特殊需求及限制，動態的配置網路內感測單元的數目及取樣頻率。因此，本項研究重點在於發展可動態配置網路內感測器數量及重新分配取樣率(Sampling Rate)之韌體架構，使生理訊號感測網路具有良好的可擴充性功能。

最早被應用在無線資料傳輸上的規格，是傳統的紅外線(IrDA)模組與 IEEE802.11。但藍芽通訊及紅外線傳輸在個人短距離無線通訊中是目前最常被人提及的技術，因為它們都是以解決短距離連線之困擾為主。無線傳輸市場 3 大技術標準各有其利基點，IrDA 標準鎖定家庭市場，IEEE 802.11b 專攻單位時間內必須容納較多使用者，或是對傳輸量要求極高的多媒體用途的辦公室市場，而 Bluetooth 標準則以 PAN(Personal-Area-Network)技術為主，個人、隨身攜帶與所需傳輸量較低的產品，較適合用 Bluetooth 做為無線通訊的標準。

IrDA 在傳輸速率及價格上具有競爭力，IrDA 耗電較藍芽少，但最長傳輸距離僅 3.8 公尺，彈性相對低許多。藍芽 1Mbps 的傳輸速率較其他兩者慢，但在資料型態上所受限制少(可傳影音資料)，不但可穿透物體傳輸，且不對準接收模組的方向仍可傳送資料(IrDA 無法做到)，傳輸距離在功率加強下亦可達 100 公尺(一般情況為 10 公尺以內，若有較長距離傳輸需求則可加裝功率放大器，惟其成本及價格則會相對提升)。

相對於 IEEE802.11，藍芽最大的優勢在於更新網路骨幹時若搭配藍芽架構進行，使用整體網路的持有成本較鋪設線纜為低。如果 Bluetooth 的價格能降低至可接受的程度，它的應用將會與紅外線的應用會有所重疊，因為無線電波傳輸時傳送與接收兩端設備不需要對正方向、兩端設備之間不受中間阻擋物的影響，而且在傳輸時兩端設備仍可移動位置，藍芽能提供比 IrDA 的更便利、更有效率的資料傳輸。

在無線感測器領域中， ZigBee 是一種低速短距離傳輸的無線網路協定，底層是採用 IEEE 802.15.4 標準規範的媒體存取層與實體層。其主要特色是低速、低耗電、低成本、支援大量網路節

點、支援多種網路拓撲、低複雜度、快速、可靠、及安全等優點。由於它的可靠、高性價比和低功率的無線通訊全球性統一規格，因此是極佳的選項。

2. **生理訊號分析演算法開發**

為了有效轉換生理感測網路之生理訊號為人類可解譯的資訊,必須有一套自動化且強健的生理訊號分析演算法，分析生理訊號成為對使用者或醫療人員有用的資訊。早期有許多研究著重於應用生理訊號分析於開發全自動醫療診斷系統，但礙於演算法精確度、醫學倫理、法律責任的問題，始終無法讓全自動的生理訊號分析診斷普遍的運用於一般社會。近年來，由於健康促進意識的抬頭，許多不涉及診斷的生理訊號分析結果(活動量分析、睡眠品質分析)的需求大幅提升(由於醫療資源不足，現有醫療系統無法大規模的為所有患者進行詳細的活動以及睡眠分析，但此兩項分析結果為預防醫學重要的需求)。因此，建立自動化的活動以及睡眠分析演算法有其必要性以及產業需求。在活動分析演算法部分，慣性訊號可以分析出人體活動量、並反映細部特徵。本規劃書建議將基於慣性訊號的人體熱量消耗、移動分析、活動強度作為主要的研究議題，以符合健康促進方面的需求。在睡眠品質方面，根據台灣睡眠醫學會的資料，台灣有 1/3 左右的人口患有睡眠障礙相關問題，依現有醫療制度，必須到睡眠中心檢測才能有得知確切的病灶所在，但睡眠中心檢查耗費極大的人力資源以及時間，因此能夠得到妥善治療、並且解決睡眠問題的人數為社會少數。為了能夠更有效的使國人的睡眠問題得以解決,基於多重生理訊號的睡眠障礙分析演算法開發建議列為重要的研究議題。睡眠障礙的主要評量為多通道生理訊號，包含腦電圖、心電圖、肌電圖、呼吸、血氧濃度等生理訊號。目前睡眠醫學已針對每一項生理訊號與相關睡眠障礙定義完整的關係，若能基於睡眠醫學現有之知識，開發睡眠障礙分析演算法，並實現於智慧型健康管理系統，作為醫療系統之前期篩檢，必可協助更多睡眠障礙患者快速確診相關睡眠問題。

基於生理信號量測之生理變異估測技術大致可涵蓋

血糖

血糖機的量測試紙主要利用酵素電極法，其試紙上會有兩條電極，一條是活性電極，在此活性電極上含有葡萄糖氧化酵素，反應時會產生微量的電流訊號，另一條則為參考電極，作空白對照之用。不過近年來已研發出三條電極試紙，所採用的是二條活性電極，一條參考電極。二條活性電極中，一條含有葡萄糖氧化酵素，另一條則無，而沒有酵素的活性電極，其作用是用來產生一些非葡萄糖之干擾訊號。最終將三條電極所產生的電流總和換算得到血糖值。

身體質量指數

肥胖指的是體內脂肪堆積過多，但由於每個人身高不同，單由體重的測量可能無法反應體肥胖的情形，因此建議以身體質量指數（Body Mass Index，BMI）來評估肥胖的嚴重度，而且此法也更能顯示出肥胖與其他疾病的相關性。身體質量指數的計算方法是以體重（公斤）除以身高（公尺）的平方，最健康的 BMI 值為 22，若身體質量指數超過 23 為過重，超過 27 為肥胖，若超過 35 則為極度肥胖。

心電圖

心律變異性分析(Heart Rate Variability, HRV)是近年來運用在臨床醫學上面評估自主神經系統(Autonomic Nervous System, ANS)功能的重要方法。由於生物體的正常生理活動是一連串複雜、相互制約、協定的過程，在此過程中有賴於生物體內環境的恆定，而自主神經系統主要的功能及維持體內環境恆定。自主神經系統可分為交感神經系統(Sympathetic Nervous System, SNS)以及副交感神經系統(Parasympathetic Nervous System, PNS)。交感神經系統可使心跳加快、瞳孔放大、腸胃蠕動變慢、排汗增加、和肌肉更有力，以應付緊急狀況；反之，副交感神經系統則使心跳變慢、瞳孔縮小、腸胃蠕動加快、排汗增加、和肌肉放鬆，並讓人體呈現放鬆狀態；兩者相互拮抗保持平衡。心律變異性可藉由心電圖上偵測 R 波來進行心律變異性分析，由於 R 波在心電圖上較容易被偵測，R 波區間即為心臟速率。因此，心律變異性分析常以 RR 區間(R-R interval)開始進行分析。心律變異性分析主要可分為時域分析、頻域分析。

時域分析：SDNN、RMSSD、pNN50 是目前最常被用來做 HRV 時域分析的相關指標依據。計算頻域分析法常用計算方法有快速傅立葉轉換(Fast Fourier Transform, FFT)及自動回歸模型估計(Autoregressive Model Estimation, AR model)兩種。

頻域分析：關於頻域分析法的相關指標，其中訂定了 HRV 量測標準的建議。將 R-R Interval 之功率頻譜(Power Spectral Density; PSD)主要範圍定為介於 0.04 至 0.4 Hz 稱為總功率(Total Power, TP)；介於 0 至 0.04Hz 稱為極低頻功率(very low frequency power, VLF)；介於 0.04 至 0.15 Hz 稱為低頻功率(Low Frequency Power, LF)；介於 0.15 至 0.4Hz 稱為高頻功率(High Frequency Power, HF)。

3. **智慧型健康管理系統之數位回饋內容開發**

從生理訊號感測網路的訊號量測，到分析演算法的自動分析，可初步分析使用者的生理狀況，但智慧型健康管理系統需要為使用者解釋生理訊號分析的意義，並進一步提供改善以及促進的課程，方才符合管理系統的特性。本規劃書建議將活動量分析、睡眠品質、復健課程作為主要的研究開發方向。活動量分析可有效改善代謝症候群相關疾病，但一般民眾對於如何達到適切的活動量知之甚少，適切的活動量需考慮使用者的性別、年齡、體重、性別、身體情況等多重因素，因此彙整

整關醫學資訊以及實證研究，形成活動量評估的專家系統，是智慧型健康管理系統重要的一環。在睡眠方面亦有一樣的狀況，須考量使用者之作息型態(生物節律型態)、工作型態(輪班或上班族)、以及相關睡眠病史，方能建立適當的睡眠調整系統。復健課程則是由於現代人普遍活動不足，易產生許多復健科問題(例如：五十肩)，建議將復健課程作為主要之研究方向，使得現代人可在居家利用智慧型健康管理系統進行復健，使得相關復健科問題得以改善。

4. **智慧型健康管理雲端系統之建置**

發展「遠距居家照護（Tele-home Care, THC）」為一主要方向。其優點可輔助家庭照顧者的照顧能力與改善生活品質，無需每日接受醫療協助的受照顧者，可藉由有線、無線傳輸通信和穿戴小型化的生理參數感應器（Sensor），擷取各種生理資訊如血糖、體脂肪、ECG 訊號等，提供與專業醫護人員便利的雙向互動模式，減少雙方舟車勞頓，增加受照顧者活動的自由度及其疾病的自主管理。此外，發展 THC 應克服的關鍵問題，除經濟的考量因素、民眾的醫療習慣、法律問題外，最重要的就是生理資訊量測系統整合，開發一人性化設計且兼顧安全的產品，僅需透過簡易的操作就可以達到基本照護功能，相信是愈來愈可以推廣到各社會基層。未來希望可將人體生理資訊量化並即時顯示，以增加產品之附加價值，並將健康管理監測、無線科技應用、多媒體應用等新科技，建構出創新健康管理服務系統平台，使運動走向資訊化、服務化，有助於擴大產業發展利基，並提升國內業者之技術能量，增加產品之附加價值。

本規劃書規劃之生理感測網路建置、生理訊號分析演算法、數位回饋內容會建構智慧型自動化健康管理系統之基石，在研究上尚需進行自動化管理系統之整合，也就是進行智慧型健康管理雲端系統之建置。在此方面建議之研究議題如下：第一是雲端系統之資料壓縮議題，健康管理系統必定有眾多使用人口，而每個人的生理訊號資料、分析結果資料必定成為相當大的儲存負擔，因此對於生理訊號資料以及分析結果設計壓縮演算法以降低儲存負擔為重要的研究議題。第二個研究議題則是健康管理系統的個人資料保護，因應我國的個人資料保護法已經上路，健康管理系統當中的個人資料亦受法律管轄，但雲端系統並非封閉式系統，必然有隱私以及個人資料保護的疑慮，因此建議將雲端系統中的個人資料保護策略作為研究議題之一。

規劃子題八：仿生機電系統與神經醫療輔具(鄭桂忠教授、陳新教授)

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

台灣的晶片設計技術與人才，近年來已名列世界第二。晶片設計技術除了廣泛應用於電子產品，在生醫檢測與新的醫療儀器研發上，也扮演重要的角色，使生醫儀器可以達到微小化、自動化、快速、低成本等特性。而在生醫晶片的研發過程，仿生的概念不但提供新的思維，更有助於發展較人性化的醫療輔具。因此，國科會歷年的前瞻優質生活計劃即將仿生晶片列為其中一項研究重點。舉例來說，仿神經工程 (Neuromophic Engineering) 為仿生晶片的重要一環，其主要藉由瞭解與建立腦與神經系統的模型，進而將模型實現成一晶片系統，使晶片具有與神經系統相仿的運算能力，以達到如影像、聲音等訊號的即時處理[1…7]及生醫感測訊號的智慧處理[8]等，其能力仍為目前電腦所不及。除此之外，如 Prof. Indiveri 與 Prof. Aleksander 等更試圖模仿動物的高階認知行為如注意力或是自我意識等[9…12]，以使仿生晶片有更多樣的訊號處理能力。

仿神經晶片系統除了提供新的運算能力，由於生物神經細胞間亦由膜電位變化傳遞訊息，仿神經晶片系統進一步可作為輔助神經系統修復的輔具。例如，目前發展較成熟的人工電子耳、人工視網膜等[13…18]，可以輔助修復病患的部分感官能力(聽覺與視覺)，對聽障與視障病患的生活品質改善，有很重要的幫助。反之，Prof. Donoghue 等也驗證了對癱瘓失去行動能力的病患，可以藉由擷取腦部運動區的神經細胞訊號，有效控制機電儀器[19…22]，未來將可由病患透過自我意識控制人工義肢，恢復部分的運動能力。Prof. Renaud 等更進一步驗證以積體電路實現的電子神經元，可以取代生物的神經細胞[23, 24]，這對許多神經受損及退化的疾病(如老年失智症)，儘管神經細胞再生能力有限，未來有機會以新的電子神經元輔助神經系統恢復高階的運算能力。而為了取代或輔助修復神經系統，如何建立電子晶片與神經系統的介面，以讓機電系統與神經系統能互傳訊號，更為神經系統輔具發展的一重要議題[13]。

參考文獻

[1] *Neuromorphic Systems: Engineering Silicon from Neurobiology (Progress in Neural Processing, 10)* London: World Scientific Publishing Co., 1998.

[2] J. Lazzaro, J. Wawrzynek, M. Mahowald, M. Sivilotti, and D. Gillespie, “Silicon Auditory Processors as Computer Peripherals,” *IEEE Transactions on Neural Networks,* vol. 4, pp. 523-528, May 1993.

[3] K. A. Boahen and A. G. Andreou, “A Contrast Sensitive Silicon Retina with Reciprocal Synapses,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, vol. 4, pp. 764–772, 1992.

[4] G. C. Indiveri, "Neuromorphic analog VLSI sensor for visual tracking: Circuits and application examples," *IEEE Transactions on Circuits and Systems Ii-Analog and Digital Signal Processing,* vol.

46, pp. 1337-1347, Nov 1999.

[5] G. Indiveri, P. Oswald, and J. Kramer, "An adaptive visual tracking sensor with a hysteretic winner-take-all network," in *IEEE International Symposium on Circuits and Systems*, vol. 2, pp. 324-327, 2002.

[6] M. Yagi and T. Shibata, "An image representation algorithm compatible with neural-associative-processor-based hardware recognition systems," *IEEE Transactions on Neural Networks,* vol. 14, pp. 1144-1161, Sep 2003.

[7] K. Kwanho, K. Joo-Young, L. Seungjin, K. Minsu, and Y. Hoi-Jun, "A 211 GOPS/W dual-mode real-time object recognition processor with Network-on-Chip," in *34th European Solid-State Circuits Conference,* pp. 462-465, 2008.

[8] M.Valle, *Smart Adaptive Systems on Silicon*, Springer, 2004.

[9] J. G. Taylor, W. Freeman, and A. Cleeremans, "Introduction to the special issue on 'Brain and consciousness'," *Neural Networks,* vol. 20, pp. 929-931, Nov 2007.

[10] I. Aleksander and H. Morton, "Phenomenology and digital neural architectures," *Neural Networks,* vol. 20, pp. 932-937, Nov 2007.

[11] G. Indiveri, R. Murer, and J. Kramer, "Active vision using an analog VLSI model of selective attention," *IEEE Transactions on Circuits and Systems Ii-Analog and Digital Signal Processing,* vol. 48, pp. 492-500, May 2001.

[12] G. Indiveri, "A neuromorphic VLSI device for implementing 2-D selective attention systems," *IEEE Transactions on Neural Networks,* vol. 12, pp. 1455-1463, Nov 2001.

[13] B. He, *Neural engineering*. New York: Kluwer Academic/Plenum, 2005.

[14] G. E. Loeb, " Cochlear prosthetics," *Annual Review of Neuroscience,* vol. 13, pp. 357-371, 1990.

[15] B. Gray, "Bioengineering. Artificial arrays could help submarines make like a fish," *Science,* vol. 313, pp. 1382-1383, Sep 8 2006.

[16] E. Margalit, M. Maia, J. D. Weiland, R. J. Greenberg, G. Y. Fujii, G. Torres, D. V. Piyathaisere, T. M. O'Hearn, W. Liu, G. Lazzi, G. Dagnelie, D. A. Scribner, E. de Juan, Jr., and M. S. Humayun, "Retinal prosthesis for the blind," *Surv Ophthalmol,* vol. 47, pp. 335-56, Jul-Aug 2002.

[17] N. Kumar, W. Himmelbauer, G. Cauwenberghs, and A. G. Andreou, "An analog VLSI chip with asynchronous interface for auditory feature extraction," *Circuits and Systems II: Analog and Digital Signal Processing, IEEE Transactions on,* vol. 45, pp. 600-606, 1998.

[18] J. K. Kalayjian, A. G. Andreou, and L. B. Wolff, "1D polarisation contrast retina," *Electronics Letters,* vol. 33, pp. 38-40, 1997.

[19] L. R. Hochberg, M. D. Serruya, G. M. Friehs, J. A. Mukand, M. Saleh, A. H. Caplan, A. Branner, D. Chen, R. D. Penn, and J. P. Donoghue, "Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia," *Nature,* vol. 442, pp. 164-71, Jul 13 2006.

[20] M. A. Lebedev and M. A. Nicolelis, "Brain-machine interfaces: past, present and future," *Trends Neurosci,* vol. 29, pp. 536-46, Sep 2006.

[21] M. A. Nicolelis, "Actions from thoughts," *Nature,* vol. 409, pp. 403-7, Jan 18 2001.

[22] M. A. Nicolelis, "Brain-machine interfaces to restore motor function and probe neural circuits," *Nat Rev Neurosci,* vol. 4, pp. 417-22, May 2003.

[23] S. Le Masson, A. Laflaquiere, T. Bal, and G. Le Masson, "Analog circuits for modeling biological neural networks: Design and applications," *IEEE Transactions on Biomedical Engineering,* vol. 46, pp. 638-645, Jun 1999.

[24] G. Le Masson, S. Renaud-Le Masson, D. Debay, and T. Bal, "Feedback inhibition controls spike transfer in hybrid thalamic circuits," *Nature,* vol. 417, pp. 854-8, Jun 20 2002.

[25] C. Mead, *Analog VLSI and neural systems*. Reading, Mass.: Addison-Wesley, 1989.

[26] S. C. Liu, J. Kramer, G. Indiveri, T. Delbruck, and R. Douglas, *Analog VLSI: circuits and principles*. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2002.

二、研究方向及具體建議

本主題可從以下幾個參考方向進行：

1. 仿生機電系統

仿生機電系統之構建元件(Building Blocks)、系統整合(System Integration)、以及信號處理(Signal Processing)。內容包括但不限於

a. 仿生感測器

b. 仿生演算法

c. 監督式學習系統(Supervised Learning System)

d. 非監督式學習系統(Unsupervised Learning System)

e. 突波神經網路(Spiking Neural Network)

f. 仿生感知系統(Biomimetic Sensory System，包括但不限於矽視網膜(Silicon Retina)、矽耳蝸(Silicon Cochlea)、人工嗅覺(Artificial Olfaction)等)。

2. 神經醫療輔具

神經醫療輔具之構建元件(Building Blocks)、系統整合(System Integration)、以及系統應用。內容包括但不限於

a. 神經與矽介面(Neuron-Silicon Interface)

b. 構建元件電路設計，包括但不限於低雜訊放大器(Low-noise Amplifier)、類比數位轉換器(Analog-to-Digital Converter)、無線傳能系統(Wireless Power Transmission)、高壓神經刺激器(High-voltage Neuron Stimulator)

c. 生物相容性(Bio-compatibility)

d. 植入式系統封裝(Hermetic Packaging for Implant)

e. 系統應用，包括但不限於人工視網膜(Retinal Prosthesis)、人工耳蝸(Cochlea Implant)、深層腦部刺激(Deep Brain Stimulation)應用於帕金森氏症(Parkinson’s Disease)、癲癇(Epilepsy)、人工義肢等

國科會工程處控制學門規劃主題

『網路控制與計算系統科技之控制』規劃書

規劃主題架構表

規畫主題：網路控制與計算系統科技之控制

召 集 人：周至宏教授

規畫委員：王啟旭教授、王振興教授、李建德教授、何文獻教授、周至宏教授、連豊力教授、莊家峰教授、張偉德教授、陳穎平教授、廖德祿教授、蔡進聰教授、光祐教授、劉俊宏教授、蘇木春教授

前言

隨著控制科學、資訊技術、通訊技術、Internet 網路、及軟性計算方法(Soft Computing Methods)等的日益發展、快速增長和交叉滲透，使得控制系統理論與技術在工業控制領域、自動化製造生產系統、機器人產業、運輸系統、航空與航天領域、以及 Web 的 QoS (Quality of Service)需求等應用越來越深入、越來越廣泛，也產生了一些成效。但是隨著應用技術的深化與應用層面的拓寬，使得控制系統結構越來越複雜，空間分佈越來越廣，以及隨著對系統控制性能(Performance)的要求和對 QoS 的需求也愈發提高等種種因素，造成控制系統的分析與設計更加複雜和困難；這給控制系統理論與技術的發展帶來了一些新的機遇、研究課題、和挑戰，這也引發了規劃『網路控制與計算系統科技之控制』的主題目的。

在規劃『網路控制與計算系統科技之控制』的主題工作中，確立了三個規劃子題，分別為：一、網路控制(Networked Control Systems)，二、計算智慧與控制融合(Fusion of Computational Intelligence and Control)，三、計算系統之控制(Control of Computing Systems)。這三個子題分別由連豊力教授、莊家峰教授、周至宏教授負責及擔任子題召集人，並邀請相關教授共同協助各子題之規劃工作。每個子題均包含：研究動機與國內外研究現況、重要參考文獻、研究方向及具體建議；以提供有興趣

之學者專家參考研究。

一、國內研究概況

國內在網路控制理論方面的研究主要是探討穩定性、強健穩定性、穩定化控制器設計、及強健穩定化控制器設計等課題，在網路控制技術方面的研究則是以網路監控系統為主。有關計算智慧與控制融合方面之研究，國內在模糊系統/類神經網路與控制融合、運用演化最佳化(Evolutionary Optimization)方法設計控制系統、及智慧計算於生物辨識與機器人應用等方面，已經有一些優秀的研究成果，尤其在模糊理論與控制理論相互結合、以及應用各種演化最佳化方法設計控制器等的研究成果最豐碩。國內在計算系統之控制方面的研究，則正在起步階段，期待能有更多學者專家投入此一研究課題。

二、國外研究概況

歐美、日本、韓國、及中國大陸在網路控制、及計算智慧與控制融合等方面的學術理論與產業實務研究，正如火如荼的展開，而且研究發展的課題非常多樣化，尤其在歐美、日本等先進國家更已凝聚許多著名的研究實驗室或中心。另外，近十年來有關應用控制技術於計算系統之研究課題，已由 IBM、Microsoft、Google 等研發團隊延伸至美國學術機構的研發工作正方興未艾，歐洲、日本、韓國、及中國大陸等地區/國家的學者專家亦展開積極熱烈的研究，相信在計算系統之 QoS 服務成效上，必能提供更優質的研究成果。

三、各子題摘要

本『網路控制與計算系統科技之控制』規劃主題包含三個子題，底下是三個子題的規劃簡述：

子題一：網路控制

網路控制系統乃是將控制系統中常見的感測器，致動器，與控制器以有形或者是無形的網路技術或形式連接，以進行相關感測與控制訊號的資訊交換。網路控制系統除了包含傳統利用通訊網路進行訊息交換之外，廣義上來說，可以涵蓋所謂的多群組的機器人或者是多載具系統，以及感測網路或致動網路，微系統陣列或網路監控系統等課題，其基本的核心乃是有關訊息交換與動態控制的協調機制的分析與設計。此一子題係由連豊力教授負責，及邀請李建德教授、廖德祿教授、練光祐教授、劉俊宏教授等共同協力合作完成規劃內容，並提出下列研究發展方向作為參考：網路監控系統、應用隨機幾何於大型無線網路之分佈式估測與控制、無線網路控制系統之跨階層設計、群組間之通訊

與運動機制、系統動態行為與資訊流之互動性、資料感測通訊與控制。

子題二：計算智慧與控制融合

計算智慧包含各種仿生計算演算法，係屬於軟性計算範疇，其主要可歸類為由模糊系統、類神經網路、與演化計算等三部分所構成。傳統控制系統設計的計算技術，如傳統上的補償設計、預測、最佳化、辨識等方法，係屬於硬性計算範疇。兩者間的融合指的是將特定軟性與硬性計算方法以演算或系統面融合。在這其中方法間彼此在訊號、參數或架構間是相依的，並由對方獲得功能性的增強。隨著科技的發展，我們所面對的系統已越來越複雜，當單獨以計算智慧或硬性計算控制法無法得到滿意控制效果時，兩者間的融合將是一個解決方向。此一子題係由莊家峰教授負責，及邀請王振興教授、張偉德教授、陳穎平教授、蘇木春教授等共同協力合作完成規劃內容，並提出下列次子題規劃方向作為參考：模糊系統/類神經網路與控制融合、運用計算智慧之先進最佳化方法與技術、演化式計算與控制融合、計算型智慧於生物辨識之應用、計算智慧與機器人模仿學習。

子題三：計算系統之控制

應用控制原理來設計和分析閉迴路的計算系統，在國際上吸引了眾多傑出的學者投入研究，目前已有很多的重要成果展現。這些研究的成果可使得網路系統對干擾產生時能更加穩健，且能提供更佳的優質服務性能，其中控制理論擔任了重要的角色；因此，應用控制理論來發展新的計算系統是一個重要且實際的研究課題。此一子題係由周至宏教授負責，及邀請王啟旭教授、何文獻教授、蔡進聰教授等共同協力合作完成規劃工作，規劃內容針對目前國際學者專家之研發課題、控制技術上的問題、及研究發展方向等，進行介紹與建議。

子 題 一：網路控制 (Networked Control Systems)

召 集 人：連豊力教授

規畫委員：李建德教授、連豊力教授、廖德祿教授、練光祐教授、劉俊宏教授

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

由於通訊網路與計算機的演進，延伸了控制理論與擴展了控制應用領域，因此也催生網路控制(Networked Control Systems)或者是所謂的網狀控制系統的研究。簡單來說，所謂的網路控制系統乃是將控制系統中常見的感測器，致動器，與控制器以有形或者是無形的網路技術或形式連接，以進

行相關感測與控制訊號的資訊交換。網路控制系統除了包含傳統利用通訊網路進行訊息交換之外，廣義上來說，可以涵蓋所謂的多群組的機器人(Multi-Robot)或者是多載具(Multi-Vehicle)系統，以及感測網路(Sensor Networks)或致動網路(Actuator Networks)，微系統陣列或網路監控系統(Networked Surveillance Systems)等課題，其基本的核心乃是有關訊息交換與動態控制的協調機制的分析與設計。

在網路控制系統的研究課題之中，其研究主軸乃是在於決定或規劃通訊媒介的頻寬，就如同在討論數位控制系統之時，必需要討論取樣頻率與資料數位化等問題。傳統的控制法則乃是假設感測資訊或控制指令可以經由任何傳輸媒介在一瞬間即可以傳遞到達目的地，或者有時會進一步考量一定固定值的傳輸延遲。然而，對於一個網路控制系統而言，由於是在一個傳輸頻寬共享與有限制的狀態之下，利用通訊網路的形式傳遞相關的資訊，其所傳遞的感測控制訊號極有可能因為不確定性的時間延遲或者是傳遞封包的遺失，造成整體系統的表現效能上產生不良的影響，甚至破壞整體控制系統的穩定度。

從另一方面來說，由於網路控制系統是一個分散型的控制系統，因此相關控制元件在共同的通訊平台上的定址，以及如何利用區域化個別資訊以決定整體狀態等，乃是另一項重要的研究課題。因此，如何整合現有的網路通訊技術，以進一步設計一套適用於動態系統需求的通訊協定模式，將會是一項熱門的研究主題。特別是基於同步化、區域化、遞傳性、編碼等原則所推演出的互助型的合作控制模式，亦是此項研究課題的主要特點。

全世界最主要的有關網路控制系統的研究資訊交換平台乃是架設於美國 Case Western Reserve University [1]，在這個網站中，除了可以了解有關網路控制系統的基本定義資料，目前進行的研究計畫，近期的國際會議與期刊論文，同時也可以與在此領域的學者進行交流。所以，這是一個非常值得參考的資源。

另外，近期內有關網路控制系統重要的文獻，可以參考以下所列的三個 Special Issues [2], [3], [4]，仔細研讀此三個專欄中所涵蓋的文章，將可以詳細且完整地瞭解目前在網路控制系統的研究課題的發展近況，以及推演未來可以繼續進行的研究課題。

參考文獻：

[1] Networked Control Systems Repository, http://filer.case.edu/org/ncs/index.htm
[2] Special Issue on Networks and Control, IEEE Control Systems Magazine, Vol. 21, No. 1, Feb. 2001.
[3] Special Issue on Networked Control Systems, IEEE Transactions on Automatic Control, Vol. 49, No.

9, Sep. 2004.
[4] Special Issues on Technology of Networked Control Systems, Proceedings of the IEEE, Vol. 95, No. 1, Jan. 2007

二、研究方向及具體建議

2.1 主要研究課題說明：

- 網路監控系統 (Networked Surveillance Systems)

  隨著犯罪事件的層出不窮，社會治安惡化日益嚴重，街頭監控攝影機的設置，也因應而生，日益普及化。而如何由為數眾多的監視攝影機取得所需重要資訊，如犯罪行為偵測、疑犯追蹤，遂成為近年來網路監控系統(Networked Surveillance Systems)研究的重要課題之一。在此領域之相關研究項目，包含甚廣，從攝影機的擺設位置，監視畫面的傳輸儲存、監視畫面內容分析等，皆對系統效能有舉足輕重的影響。其中又以下列主題較為學者及業界所注重：

  1. Area surveillance using multiple camera.
  2. Object tracking using multiple camera.
  3. Surveillance of people activities using multiple camera.

參考文獻：

[1] Rogerio Schmidt Feris et al. “Large-Scale Vehicle Detection, Indexing, and Search in Urban Surveillance Videos,” IEEE Trans. on Multimedia, Vol.14, No. 1, pp.28-42, 2012.
[2] Mario I. Chacon-Murguia Sergio Gonzalez-Duarte, “An Adaptive Neural-Fuzzy Approach for Object Detection in Dynamic Backgrounds for Surveillance Systems,” IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 8, pp.3286-3298, August, 2012.
[3] I. Haritaoglu, D. Harwood, and L. Davis, “W^4 : Real-time Surveillance of People and Their Activities,” IEEE Trans. on Pattern Anal. Mach. Intell., Vol. 22, No. 8, pp.809–830, Aug. 2000.

- 應用隨機幾何於大型無線網路之分佈式估測與控制 (Stochastic Geometry for Distributed Estimation and Control over Large-Scale Wireless Networks)

  在古典的控制系統，觀測與控制訊號在傳輸的過程中均假設不會發生損失的情形，因此通訊頻道的傳輸限制與控制系統的性能似乎看起來並沒有直接的關連。S. Tatikonda 和 S. Mitter 在 2004 年發表了兩篇將通訊與控制的基本關係連接起來的重要期刊論文[4], [5]，隨後開啟了在單一控制器對單一系統之網路控制的許多重要研究主題[6], [7], [8]。但是多系統與多控制器之無線網路控制這方面的研究卻甚少有基礎與突破性的結果，主要的原因是當多個控制器欲同時控制多個系統，此時這個大型分佈式控制系統必須分享(無線)網路資源。網路資源大小

如何計算與量化是一個在資訊理論(Information Theory)的網路容量的問題，然而這個問題長年以來均無法有效解決。近年來在網路容量的研究透過隨機幾何的應用，有了較有效的解決方法；因此，將網路容量的研究方法應用於大型分佈式估測與控制系統，相信是一個能夠有效解決許多我們在大型網路控制系統上目前無法處理的難題。

- 無線網路控制系統之跨階層設計 (Cross-Layer Design for Wireless Networked Control System)

  跨階層設計(Cross-Layer Design)在無線網路上是一個提升網路傳輸容量的重要方法，所以如果應用跨階層設計原理在(大型)無線網路控制系統上，相信可以增加系統的估測性能與穩定度。主要的研究主題為根據傳輸頻道的狀況選擇或安排(Scheduling)適當的觀測與控制訊號使得所有控制系統的穩定度因為控制訊號之正確估測與傳送而大幅提升。另外，也可研究將網路編碼(Network Coding)應用於無線網路控制系統，主要的研究主題是網路編碼與系統穩定度基本的關係。

參考文獻：

[4] S. Tatikonda and S. Mitter, “Control under Communication Constraints,” IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.49, No.7, pp.1056-1068, July 2004.

[5] S. Tatikonda, A. Sahai, and S. K. Mitter, “Stochastic Linear Control over a Communication Channel,” IEEE Trans. Automic Control, Vol.49, No.9, pp.1549–1561, Sep. 2004.

[6] Y. Mostofi and R. Murray, “To Drop or Not to Drop: Design Principles for Kalman Filtering over Wireless Fading Channels,” IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.54, No.2, pp.376-381, Feb. 2009

[7] V. Gupta, B. Hassibi and R. M. Murray, “Optimal LQG Control Across Packet-Dropping Links,” System and Control Letters, Vol.56, No.6, pp.439-446, June 2007.

[8] V. Gupta, A. F. Dana, J. Hespanha, R. M. Murray and B. Hassibi, “Data Transmission over Networks for Estimation and Control,” IEEE Trans. on Automatic Control, Vol.54, No.8, pp.1807-1819, Aug. 2009.

- 群組間之通訊與運動機制 (Multi-Agent Communication and Motion Planning)

  在群組個體中，每一個個體需要擁有以下四種能力：通訊、感測、計算、移動。在這些能力中，個體與個體之間的通訊，對於個體群組是最重要的因素。如果將每個個體視為一點，點對點之間的通訊連結，就形成一個通訊網路。而群組個體之間如何透過良好的協調分配，以提升訊息傳遞效率，正是這個通訊網路所要達成的目標。以往在各種領域的應用上，例如環境的監控、污染的偵測、軍事的監察、大樓保全等等，大多由固定式的無線偵測網路來負責，也就是由一群靜止固定的設備。而這些監測點只能各自被動執行一些簡單的任務；相對的，若能利用群組個體來執行監測，善用其靈活移動的特性，將能達到更彈性及更全面的監

測。過去研究的課題個別著重於行動機器人的行動控制，例如:避障、定位、建地圖和隊形的形成等，和通訊的研究上，如通訊設備的電力耗損、網路壅塞控制和封包傳輸路徑等。因此，如何在群組個體移動的同時，仍保持良好的通訊品質，是未來的一個重要研究課題。也就是說，怎樣的移動可以增加彼此之間的通訊品質，亦或是怎樣的通訊量，可以達到較好的運動控制來達到大範圍的覆蓋面積。

參考文獻：

[9] R. Olfati-Saber, J. A. Fax and R. M. Murray, "Consensus and Cooperation in Networked Multi-Agent Systems," Proceedings of IEEE, Vol.95, No.1, pp.215-233, Jan. 2007.

[10] J. P. Hespanha, P. Naghshtabrizi, and Y. Xu, "A Survey of Recent Results in Networked Control Systems," Proceedings of the IEEE, Vol.95, No.1, pp.138-162, Jan. 2007.

[11] C. C. Shen and Z. Huang, "CLTC: A Cluster-Based Topology Control Framework for Ad Hoc Networks," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.3, No.1, Jan.-Mar., 2004

- 系統動態行為與資訊流之互動性 (Interaction between System Dynamics and Information Flow)

過去數年來，許多研究嘗試於探討如何克服在一個網狀控制系統其內部的通訊頻道中，所存在的系統訊息延遲或遺失所產生的問題。而通訊頻道的行為通常會被看作是一個隨機過程，並且會以 Shannon Capacity Theory、Kalman Filter 或是 Information Theory 作為分析工具。從控制器的設計上來說，則會首先著重於實現與分析動態系統的可控性、可觀測性和穩定性等特性，接著才會去考慮所需要資訊本身的量與質。然而，資訊量給予的多寡與系統的動態性確有著密不可分的關係。舉例子來說，在交通運輸系統上，如果駕駛者可以獲得更多關於道路擁塞的狀況的訊息，駕駛者可能可以根據所獲得的資訊量多寡，來做出不同程度的決定，譬如上(下)高速公路的時間，因此，整個高速公路的流量將會展現出不同動態模式。又或者當系統愈不穩定時，需要更頻繁的控制，而頻繁的控制命令傳輸將會造成網路的負擔，進而引發長時間的延遲和大量的封包丟失，反而使得系統趨於不穩定或是表現變差。近幾年來，有不少的研究學者注意到了系統動態行為與資訊流之間的互動性。這個主題的研究成了一個熱門的領域，並且產生了新的控制系統，像是：量子化控制系統、多個代理人系統等。對於資訊流而言，最關鍵的因素是通訊拓樸的形成---通訊拓樸的形狀，決定了對某個特別的機構在某個特定的時間點，哪些資訊是有價值的。因此，在網路控制系統中，系統的動態行為與網路上的資訊量之間的互動性，將會是一項熱門的研究主題。特別是系統動態行與資訊需求量與質之間的關聯性。

參考文獻：

[12] G. N. Nair, F. Fagnani, S. Zampiper, and R. Evans, "Feedback Control Under Data Rate Constraints：

An Overview," Proceedings of the IEEE, Vol.95, No.1, pp.108-136, Jan. 2007.

[13] J. P. Hespanha, P. Naghshtabrizi, and Y. Xu, "A Survey of Recent Results in Networked Control Systems," Proceedings of the IEEE, Vol.95, No.1, pp.138-162, Jan. 2007.

[14] S. Tatikonda, and S. Mitter, "Control Under Communication Constraints," IEEE Trans. on Automat. Contr., Vol.49, No.7, pp.1056-1068, July 2004.

[15] N. Elia, "When Bode Meets Shannon: Control-Oriented Feedback Communication Schemes," IEEE Trans. on Automat. Contr., Vol.49, No.9, pp.1477-1488, Sep. 2004.

[16] S. Tatikonda, and S. Mitter, "Control Over Noisy Channels," IEEE Trans. on Automat. Contr., Vol.49, No.7, pp.1196-1201, July 2004.

- 資料感測通訊與控制 (Information Sensing, Communication, and Control)

  近年來，網狀控制系統因其擁有彈性的架構、易於維護、診斷以及大幅降低了線路的成本的各項優點，因此被應用在各種領域上。然而因網路頻寬的有限，當大量資料在網路上傳輸，會引起網路延遲和封包丟失。但是，並不是所有的資料都值得被傳輸到網路上，有些資料含有重要的訊息、有些資料含有重複多餘的訊息，而有些資料是雜訊。所以，在傳輸必須做資料減量的控制才不會造成網路流量過大，且在減量的同時還需要保持住資訊量的品質，才不會讓系統表現變差。因此，未來的資料減量研究課題可以從兩方面來探討，第一是資料的擷取，感測器的目的在於提高重要訊息的可用性和能見度，可以對擷取到的資料進行分析，並歸結出有意義或是具有重要性資訊。例如:系統動態性的快或慢、資料內容的重要性等。可以藉由分析後的結果來控制感測器，達到只感測重要的資料。另一方面，在通訊傳輸上，能夠根據現階段的可用頻寬的多寡和感測到的資料的多樣性和動態性，來對傳輸的資料數量與品質做一個動態的取樣調整，兼顧系統的表現的同時也能對網路流量做個品質控管。

參考文獻：

[17] W. P. M. H. Heemels, A. R. Teel, N. van de Wouw, and D. Nesic, "Networked Control Systems with Communication Constraints: Tradeoffs between Transmission Intervals, Delays and Performance," IEEE Transactions on Automatic Control, Vol.55, No.8, pp.1781-1796, August 2010.

[18] P. Marti, A. Camacho, M. Velasco, and M. E. M. B. Gaid, "Runtime Allocation of Optional Control Jobs to a Set of CAN-Based Networked Control Systems," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol.6, No.4, pp.503-520, November 2010.

[19] C. H. Ke, C. K. Shieh, W. S. Hwang, and A. Ziviani, "Improving Video Transmission on the Internet," IEEE Potentials, Vol.26, No.1, pp.16-19, Jan.-Feb. 2007

2.2 相關研究課題：

- Control and Stability:
  - ✓ Control the Communication Network, Control over the Communication Network
  - ✓ Networked-induced Delay Control, Switching Dynamics and Control
  - ✓ Networked Control with Network Issues (Sampling, Quantization, Scheduling, Delays, Losses, etc.)
  - ✓ Consensus Control and Estimation Algorithms
  - ✓ Hybrid Control,
  - ✓ Distributed Cooperative Control
  - ✓ Formation Control
- Networks:
  - ✓ Fieldbuses, Wireless Networks, Sensor Networks, Industrial Networks, Real-Time Networks
  - ✓ Scheduling, Routing
  - ✓ Heterogeneous Networks, Internetworking, Network Management and Control,
  - ✓ Fault-tolerance, Dependability, Security, Performability
- Architecture:
  - ✓ Integrated Communication and Control,
  - ✓ Network and Control Co-Design
  - ✓ Multi-Layering, Cross-Layering Communication and Cooperation, Quality of Service (QoS)
- Analysis:
  - ✓ Formal Modeling, Verification, Evaluation, Validation, Simulation, Tools
- Applications:
  - ✓ Multi-Agent Systems, Multi-Robot systems, Multi-Vehicle Systems, Networked Surveillance System
  - ✓ Factory Automation, Process Automation, Robotics, Production systems, Embedded Systems
  - ✓ Building Automation, Home Automation, Energy, Environment, Transportation

子 題 二：計算智慧與控制融合 (Fusion of Computational Intelligence and Control)

召 集 人：莊家峰教授

規畫委員：王振興教授、莊家峰教授、張偉德教授、陳穎平教授、蘇木春教授

軟性計算(Soft Computing, 或稱計算智慧–Computational Intelligence)與硬性計算(Hard Computing)融合技術已成為解決各領域問題的一個熱門方法。計算智慧包含各種仿生計算演算法，其主要可歸類為由模糊系統(Fuzzy Systems)、類神經網路(Neural Networks)、與演化計算(Evolutionary Computation)三部分所構成。硬性計算指的是各種相對上較傳統的計算技術，如傳統上的控制、預測、最佳化、辨識等方法。兩者間的融合指的是將特定軟性與硬性計算方法以演算或系統面融合。在這其中方法間彼此在訊號、參數或架構間是相依的，並由對方獲得功能性的增強。以控制為例，模糊系統提供了一個語意式的控制架構，而傳統的控制理論則提供了控制器參數設計法其穩定度分析。第一本介紹兩者融合的書「Computationally Intelligent Hybrid Systems: The Fusion of Soft Computing and Hard Computing」已於 2004 年由 Wiley-IEEE 出版。後續相關研究與論文已有逐年快速增長的趨勢。隨著科技的發展，我們所面對的系統已越來越複雜，當單獨以計算智慧或硬性計算控制法無法得到滿意控制效果時，兩者間的融合將是一個解決方向。以下列舉一個比喻兩者融合好處的有趣例子。當你在打高爾夫球時，在球進洞前，你不會單獨使用木桿(軟性計算)或是鐵桿(硬性計算)。一個成功的比賽是由使用各式互補的球桿來完成的(軟性與硬性融合)。

本子題主要規劃方向為計算智慧與控制融合(Fusion of Computational Intelligence and Control)。子題底下包含五個次子題。各子題題目與負責規劃的教授如下：

次子題一、模糊系統/類神經網路與控制融合(莊家峰教授規劃)。

次子題二、運用計算智慧之先進最佳化方法與技術(陳穎平教授規劃)。

次子題三、演化式計算與控制融合(張偉德教授規劃)。

次子題四、計算型智慧於生物辨識之應用(王振興教授規劃)。

次子題五、計算智慧與機器人模仿學習(蘇木春教授規劃)。

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

- **˙次子題一 ：<u>模糊系統/類神經網路與控制融合 (莊家峰教授)</u>**

模糊理論除了可經由量化或語意式的資訊來分析一個複雜的系統外，亦可經由法則的區域對應關係，將系統的建模與控制工作拆解為許多較容易分析處理的區域性子工作。在合成上，可將每個子工作成果整合，近而完成完整的建模與控制器設計。類神經網路的學習能力提供了解決時變系統控制問題的一個方法。此外，此學習能力亦可協助解決模糊系統的設計問題。模糊理論與類神經網路能以不同的角色融合於控制系統中，提供解決系統控制的問題。在此將各種研究方法大致歸納如下：

(1) 模糊控制器/觀測器與傳統控制理論融合: 早期使用模糊控制器的優點為，模糊控制器是以仿人類的語意控制型式描述，因此可以直接將專家的控制行為以機器實現，而不需推導系統的數學模式。這種直覺的設計方法已經被廣範應用在各個控制問題上。進來，模糊控制器的研究重點為穩定度、強健度分析與觀測器的設計[1]。這些研究大部份均採用 TS-模糊模型。藉由成熟的線性系統理論與相關的工具軟體，許多以 TS-模糊模型為基處的模糊控制器分析與合成方法已被提出[2], [3]。最常用的控制器設計方法為平型分散補償(PDC)法。穩定度分析主要採用的方法為以 Lyapunov 定理配合線性矩陣不等式(LMI)的最佳化求解技術 [4]。目前此方向的研究大部份著重在尋找較寬鬆的穩定需求條件。此外，許多模糊控制設計法假設系統所有狀態是可量測的，但是實際應用並非如此。因此，許多基於 TS-模糊模型的觀測器已被提出[5]。加入模糊觀測器的模糊控制器穩定度分析亦為一研究重點。

(2) 模糊理論與傳統控制器融合: 模糊理論已被用來與傳統控制器，如 PID 控制，順滑模式控制(SMC)、與 H_∞ 控制結合。模糊理論與順滑模式控制(SMC)結合可簡少切跳(Chattering)現象並提升追蹤效果。依據 IEEE Xplore 資料庫，這類論文約有 700 篇。融合方式包括使用模糊順滑表面與模糊順滑變數技術等。最近的研究中[6]，則是利用 TS-模糊模型的區域性，在每一區域設計個別的順滑平面，最後再設計完整的順滑控制器。文獻 [7]則將順滑模式控制與第二型(Type-2)模糊系統結合。H_2 最佳化控制表現指標與/或 H_∞ 控制強建限制條件及相關控制器設計技巧已被用來設計模糊控制器[8]。例如在與 H_∞ 控制結合方面，研究[9]探討離散 TS 模糊系統在無限分散延遲與致動器錯誤下的可靠的 H_∞ 控制。

(3) 資料驅動類神經模糊系統: 在電力、網路、製造與機械控制等系統中，我們最直接可得的資訊便是所收集到的大量系統資料。資料驅動(Data Driven)法的目的為，在不需推導系統的數學模式或系統過於複雜而無法獲得精確數學模型的情況下，經由系統資料的處理以完成系統的模式化、最佳化與控制問題。資料驅動類神經模糊系統的目的為經由收集的輸入輸出資料及類神經網路學習法建立模糊系統模型。所建立的模糊模型配合傳統控制理論與架構可解決

系統模式化、最佳化與控制問題。常見的方式為以資料驅動類神經模糊系統完成系統的模糊建模，再根據模糊模型設計傳統或智慧型控制器。另外，在具時間延遲的程序控制問題與網路控制等問題中，類神經模糊系統則經常被使用來當為預測器。至於類神經模糊系統本身的學習，一般考量的為系統模糊規則數與精確度。目前最常用的方法為，以分群法決定模糊法則的個數，並以類神經學習方式，求取模糊系統的最佳參數 [10] ,[11]。

(4) 類神經網路控制器與傳統控制理論融合: 類神經網路架構本身具有相當的彈性，可依不同的控制問題設計特殊的節點連結架構。例如，在具時間延遲的廣域電力控制系統上，遞迴類神經網路已被拿來當預估器與控制器[12]。在時變系統的控制問題上，類神經網路由於本身具備學習能力，因此常常被拿來當適應性控制器使用。而適應控制最令人關心的便是系統穩定性問題。在類神經網路本身穩定性的分析上，目前研究方向可分為兩類。其一為網路架構本身的穩定性[13] ,[14]。另一為網路參數學習演算法的穩定性[15], [16]。在適應性控制系統的穩定度分析上，一些以 LMI 技巧的穩定度分析方法已被提出[17]。

參考文獻：

[1] G. Feng, Analysis and Synthesis of Fuzzy Control Systems： A Model Based Approach, Boca Raton, FL: CRC, 2010.

[2] T. M. Guerra and L. Vermeiren, “LMI-Based Relaxed Nonquadratic Stabilization Conditions for Nonlinear Systems in the Takagi–Sugeno’s Form,” Automatica, Vol.40, No.5, pp.823–829, 2004.

[3] H. K. Lam, “LMI-Based Stability Analysis for Fuzzy-Model-Based Control Systems using Artificial T–S Fuzzy Model,” IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol.19, No.3, pp.505–513, Jun. 2011.

[4] B. S. Chen and Y.-T. Chang, “Fuzzy State-Space Modeling and Robust Observer-Based Control Design for Nonlinear Partial Differential Systems,” IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol.17, No.5, pp.1025–1043, Oct. 2009.

[5] W. Y. Wang, Y. H. Chien, and T. T. Lee, “Observer-Based T–S Fuzzy Control for a Class of General Nonaffine Nonlinear Systems using Generalized Projection-Update Laws,” IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol.19, No.3, pp.493–504, June 2011.

[6] Z. Xi, G. Feng; and T. Hesketh, “Piecewise Sliding-Mode Control for T–S Fuzzy Systems,” IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol.19, No.4, pp.707-716, 2011.

[7] M. Manceur, N. Essounbouli, and A. Hamzaoui, “Second-Order Sliding Fuzzy Interval Type-2 Control for an Uncertain System with Real Application,” IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol.20, No.2, pp.262-275, April 2012.

[8] B. S. Chen, C. S. Tseng, and H. J. Uang, “Mixed H_2/H_∞ Fuzzy Output Feedback Control Design for Nonlinear Dynamic Systems: An LMI Approach,” IEEE Trans. Fuzzy Syst., Vol.8, No.3, pp.249–265, 2000

[9] Z. G. Wu, P. Shi, H. Su, and J. Chu, “Reliable H_∞ Control for Discrete-Time Fuzzy Systems With

Infinite-Distributed Delay, “ IEEE Trans. Fuzzy Systems, vol. 20, no.1, pp. 22-31, 2012.

[10] J. D. Rubio, “SOFMLS: Online Self-Organizing Fuzzy Modified Least-Squares Network,” IEEE Trans. Fuzzy Systems, Vol.17, No.6, pp.1296-1309, Dec. 2009.

[11] P. Angelov, “Fuzzily Connected Multi-Model Systems Evolving Autonomously from Data Streams,” IEEE Trans. Syst., Man, and Cyber. -Part B, Cyber., Vol.41, No.4, pp.898-910, Aug. 2011.

[12] S. Ray and G.K. Venayagamoorthy, “Real-Time Implementation of a Measurement-Based Adaptive Wide Area Control Cystem Considering Communication Delays,” IET Proc.-Gener. Transm. Distrib, Vol.2, No.1, pp.62-70, 2008.

[13] J. Zhang, P. Shi, J. Qiu, and H. Yang, “A New Criterion for Exponential Stability of Uncertain Stochastic Neural Networks with Mixed Delays,” Math. Comput. Model., Vol.47, Nos.9–10, pp.1042–1051, May 2008.

[14] S. Mou, H. Gao, W. Qiang, and K. Chen, “New Delay-Dependent Exponential Stability for Neural Networks with Time Delay,” IEEE Trans. Syst., Man, Cybern., Cybern., Vol.38, No.2, pp.571–576, Apr. 2008.

[15] J. Rubio, P. Angelov, and J. Pacheco, “Uniformly Stable Back-Propagation Algorithm to Train a Feedforward Neural Network,” IEEE Trans. Neural Networks, Vol.22, No.3, pp.356-366, 2011.

[16] X. Wang and Y. Huang, “Convergence Study in Extended Kalman Filter-Based Training of Recurrent Neural Networks,” IEEE Trans. Neural Networks, Vol.22, No.4, pp.588-600, 2011.

[17] H. N. Wu and H. X. Li, “Adaptive Neural Control Design for Nonlinear Distributed Parameter Systems with Persistent Bounded Disturbances,” IEEE Trans. Neural Networks, Vol.20, No.10, pp.1630–1644, Oct. 2009.

- **˙次子題二：<u>運用計算智慧之先進最佳化方法與技術 (陳穎平教授)</u>**

隨著時代變遷與各項科學技術與工程能力的進展，系統控制領域所面臨之問題不但日新月異，其規模與複雜度亦與日俱增。同時，由於系統本身所內含之不確定性以及系統所處環境的動態特性，使得現存之控制理論在實務控制應用上日漸不足。面對此一挑戰，借重近年來於計算智慧 (Computational Intelligence) 領域發展出之各項演算方法與技術，來處理系統控制所需之各項最佳化議題，可視為控制工程相關研究未來數年內重要的發展方向之一。

計算智慧領域由三大區塊所組成: 演化計算(Evolutionary Computation)、類神經網路(Neural Networks)、模糊系統(Fuzzy Systems)。類神經網路與模糊系統主要可用來做為極具彈性之建模 (Modeling) 或知識學習(Knowledge Learning) 工具，且無論國內外之控制技術研發皆已經常運用相關先進技術，對其所控制之系統進行建模或適應性學習(Adaptive Learning) 等處理。然而，通常扮演最佳化工具角色的演化計算方法，則較少被重視、較少被以研究主軸的觀點來考量用於系統控制領域的議題中。被用於最佳化非線性問題、類神經網路或模糊系統參數調數之演化計算方法，絕大多數為基本型演算方法或其簡單變形，而非近年內針對各種重大問題特性所開發之先進技術。並且，能越早熟悉先進最佳化方法之使用，將能越早掌握技術關鍵，以提升所處理之控制系統的規模、

複雜度、甚至效能。著眼於此，茲建議採用數項先進最佳化技術，包括：複雜多目標問題之最佳化 [1], [2]、昂貴評估函數與替代評估函數技術 [3], [4]、大規模最佳化問題 [5], [6]、動態問題最佳化 [7]-[9] 等，以期相關之先進最佳化技術能被運用於控制領域的研究與發展中。

參考文獻：

[1] H. Li and Q. Zhang, "Multiobjective Optimization Problems With Complicated Pareto Sets, MOEA/D and NSGA-II," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.13, No.2, pp.284–302, 2009.

[2] A. Zhou, B. Y. Qu, H. Li, S. Z. Zhao, P. N. Suganthan, and Q. Zhang, "Multiobjective Evolutionary Algorithms: A Survey of The State of The Art," Swarm and Evolutionary Computation, Vol.1, No.1, pp.32–49, 2011.

[3] Q. Zhang, W. Liu, E. Tsang, and B. Virginas, "Expensive Multiobjective Optimization by MOEA/D with Gaussian Process Model," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.14, No.3, pp.284–302, 2010.

[4] D. Lim, Y. Jin, Y.-S. Ong, and B. Sendhoff, "Generalizing Surrogate-Assisted Evolutionary Computation," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.14, No.3, pp.329–355, 2010.

[5] K. Tang, X. Yao, P. N. Suganthan, C. MacNish, Y. P. Chen, C. M. Chen, and Z. Yang, "Benchmark Functions for The CEC'2008 Special Session And Competition on Large Scale Global Optimization," Nature Inspired Computat. Applicat. Lab., Univ. Sci. Technol. China, Hefei, China, Tech. Rep., 2007 [Online]. Available: http://nical.ustc.edu.cn/cec08ss.php

[6] X. Li and X. Yao, "Cooperatively Coevolving Particle Swarms for Large Scale Optimization," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.16, No.2, pp.210–224, 2012.

[7] R. Chen and W. Zeng, "Multi-objective Optimization in Dynamic Environment: A Review," in Proceedings of the 6th International Conference on Computer Science & Education, 2011.

[8] C. K. Goh and K. C. Tan, "Competitive-Cooperative Coevolutionary Paradigm for Dynamic Multiobjective Optimization," IEEE Transactions on Evolutionary Computation, Vol.13, No.1, pp.103–127, 2009.

[9] S. Yang, Y. S. Ong, and Y. Jin (Eds.), Evolutionary Computation in Dynamic and Uncertain Environments, Springer, 2007.

- **˙次子題三：<u>演化式計算與控制融合 (張偉德教授)</u>**

近幾年來有關於演化式計算(Evolutionary Computations)或者所謂群集智慧(Swarm Intelligence)等研究日益受到國內外學者的重視，這種以族群(Population)為基礎的演算法成功地應用各種工程最佳化問題上[1]-[12]，與演化式計算相關的演算法計有:

基因演算法(Genetic Algorithms, GAs)，

模擬退火演算法(Simulated Annealing, SA)，

人工免疫演算法(Artificial Immune Algorithm)，

螞蟻演算法(Ant Colony Algorithm)，

粒子群優演算法(Particle Swarm Optimization, PSO)，

微分演化演算法(Differential Evolution, DE)，

Memetic 演算法，

人工蜜蜂演算法(Artificial Bee Colony, ABC)，

重力搜尋演算法(Gravitational Search Algorithm, GSA)，

侵入式野草演算法(Invasive Weed Optimization, IWO)。

同時與演化式計算相關的國際學術期刊包括:美國電機電子工程師協會(IEEE)系列的 IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics Parts A, B, C，IEEE Transactions on Evolutionary Computation，IEEE Transactions on Neural Networks， IEEE Transactions on Fuzzy Systems；另外，國際著名電子期刊出版社 Elsevier 所發行的 Information Sciences，Artificial Intelligence，Applied Soft Computing， Engineering Applications of Artificial Intelligence 等，再者 Elsevier 出版社也針對演化式計算與群集智慧的研究特別成立新的國際電子期刊，名稱就命名為“Swarm and Evolutionary Computation”，於 2011 年正式出刊，可見這方面的研究已經受到國際間相當大的重視。

參考文獻：

[1] D. Karaboga, B. Basturk, A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm, Journal of Global Optimization 39 (2007) 459-471.

[2] N. Karaboga, A new design method based on artificial bee colony algorithm for digital IIR filters, Journal of Franklin Institute 346 (2009) 328-348.

[3] F. S. Abu-Mouti, M. E. El-Hawary, Optimal distributed generation allocation and sizing in distribution systems via artificial bee colony algorithm, IEEE Transactions on Power Delivery 26 (4) (2011) 2090-2101.

[4] J. Kennedy, R. Eberhart, Particle swarm optimization, in: Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, Vol.IV, Perth, Australia, 1995, pp.1942-1948.

[5] W. D. Chang, D. M. Chang, Design of a higher-order digital differentiator using a particle swarm optimization approach, Mechanical Systems and Signal Processing 22 (2008) 233-247.

[6] T. W. Liao, Two hybrid differential evolution algorithms for engineering design optimization, Applied Soft Computing 10 (2010) 1188-1199.

[7] B. Subudhi, D. Jena, Nonlinear system identification using memetic differential evolution trained neural networks, Neurocomputing 74 (2011) 1696-1709.

[8] M. T. Su, C. H. Chen, C. J. Lin, C. T. Lin, A rule-based symbiotic modified differential evolution for self-organizing neuro-fuzzy systems, Applied Soft Computing 11 (2011) 4847-4858.

[9] A. B. Sharkawy, Genetic fuzzy self-tuning PID controllers for antilock braking systems, Engineering Applications of Artificial Intelligence 23 (2010) 1041–1052.

[10] G. Jahedi, M. M. Ardehali, Genetic algorithm-based fuzzy-PID control methodologies for enhancement of energy efficiency of a dynamic energy system, Energy Conversion and Management 52 (2011) 725-732.

[11] E. Rashedi, H. Nezamabadi-pour, S. Saryazdi, GSA: AGravitational search algorithm, Information Sciences 179 (2009) 2232-2248.

[12] D. Kundu, K. Suresh, S. Ghosh, S. Das, B.K. Panigrahi, S. Das, Multi-objective optimization with artificial weed colonies, Information Sciences 181 (2011) 2441-2454.

- **次子題四：<u>計算型智慧於生物辨識之應用(王振興教授)</u>**

生物辨識技術(Biometric Technology)，顧名思義是指透過利用人體指紋、臉部、虹膜或靜脈紋等生理(Physiological)特徵及簽名、聲音或行走步伐等行為模式(Behavioral)特徵來加以識別一個人的身分[1], [2]。不同於傳統的簽名、印章或數字密碼等辨識身分方法頻頻被盜用仿冒或被電腦駭客破解，使得資安事件頻傳；生物辨識技術包含了下列 5 種系統特性：(1)唯一性(Uniqueness)：每個人的生物特徵是獨特的；(2)普遍性(Universality)：每個人都具有該生物特徵；(3)永久性(Permanence)：特徵型態不會或隨著時間變化緩慢；(4)規避性(Circumvention)：系統不易被仿冒或偽裝所破解；(5)方便性(User Friendliness)：量測設備或方式必須要方便且舒適。隨著市場的安全性需求，生物辨識技術已不再是實驗室裡面的理論產物，其市場需求也與日俱增，例如大樓門禁管理、金融交易、出入境管理、犯罪偵防等需要身分認證的應用。

生物辨識技術已成為各國政府及企業積極開發的科學技術。世界民用航空組織建議 188 個成員國將生物特徵放入護照，我國內政部在 2009 年 1 月開始利用指紋、臉部及虹膜等安全辨識設備進行外籍人士身分驗證及建檔。在產業界方面，微軟創辦人比爾蓋茲指出生物辨識系統將是 21 世界最重要的應用技術之一。IBG (International Biometrics Group)研究指出，2009 年全球的生物辨識市場約達 34.22 億美元，在未來 5 年，其產值將以 22.3%的複合成長率快速成長，預估至 2014 年將高達 93.64 億美元。

目前的生物辨識技術包含了指紋辨識、臉部辨識、虹膜辨識、視網膜辨識、聲紋辨識、簽名辨識、DNA 辨識、氣味辨識、按鍵敲擊力道及靜脈辨識等[3], [4], [5], [6], [7], [8]。而市場占有率而言，以生理特徵為主的指紋辨識占技術比例 54%、臉部辨識占技術比例 16%、虹膜辨識占技術比例約 9%；而在行為模式特徵方面，則以簽名辨識占技術比例 21%為最佳。然而，使用指紋進行辨識時，指紋較容易被複製及偽造；使用臉部辨識時，會因為使用者的臉部表情、年齡或化妝等因素的些微變化而造成判斷的錯誤；虹膜辨識方面則會容易受到眼部疾病而造成誤判，且其設備成本較高；在簽名方面則是由於人會隨著年齡增長、經驗增加、性情變化及生活形式改變，而簽名的移動數度、順序、壓力、方向亦會伴隨著改變，而造成誤判。因此，如何有效地開發輕便舒適的生物特徵感測

器進而發現有效的生物辨識特徵，並有效地增加其生物辨識系統之辨識率將是未來幾年內在生物辨識技術方面的一大課題。

參考文獻：

[1] A. C. Weaver, “Biometric authentication,” Computer, vol. 39, no. 2, pp. 96-97, 2006.

[2] Q. Xiao, “Biometrics-Technology, application, challenge, and computational intelligence solutions,” IEEE Computational Intelligence Magazine, Vol.2, No.2, pp.5-9, 2007.

[3] D. Zhang and W. Zuo, “Computational intelligence-based biometric technologies,” IEEE Computational Intelligence Magazine, Vol.2, No.2, pp.26-36, 2007.

[4] F. Scotti and V. Piuri, “Adaptive reflection detection and location in iris biometric images by using computational intelligence techniques,” IEEE Trans. Instrumentation and Measurement, Vol.59, No.7, pp.1825-1833, 2010.

[5] B. Erkmen, N. Kahraman, R. A. Vural, and T. Yildirim, “Conic section function neural network circuitry for offline signature recognition,” IEEE Trans. Neural Networks, Vol.21, No.4, pp.667-672, 2010.

[6] W. Sheng, G. Howells, M. Fairhurst, and F. Deravi, “Template-free biometric-key generation by means of fuzzy genetic clustering,” IEEE Trans. Information Forensics and Security, Vol.3, No.2, pp.183-192, 2008.

[7] A. Kumar, V. Kanhangad, and D. Zhang, “A new framework for adaptive multimodal biometrics management,” IEEE Trans. Information Forensics and Security, Vol.5, No.1, pp.92-102, 2010.

[8] C. C. Queirolo, L. Silva, O. R. P. Bellon, and M. P. Segundo, “3D face recognition using simulated annealing and the surface interpenetration measure,” IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol.32, No.2, pp.206-219, 2010.

- **次子題五：<u>計算智慧與機器人模仿學習 (蘇木春教授)</u>**

在機器人領域的應用中，特別強調能夠服務人，尤其是具有商業價值的應用。有個人化的各類居家服務，如: 以清潔[1], [2]、保全[3], [7], [10]、通訊 [4], [5], [7]-[10]、娛樂[4], [5], [7], [9]、教育[6], [7]、防災等目的的服務機器人。也有在公眾場合提供服務，如醫院導覽、場地導覽、接待等機器人[11]。為了能讓人更能接受與機器人互動，也為了讓機器人更貼近人類的生活，因此機器人需具備與人相近或人類習慣的互動模式。

傳統方式是透過設計者設計固定策略讓機器人動作，機器人只能具備特定功能，或當環境改變時，機器人也無法因應環境有彈性的改變。觀察一個個體從其他個體獲得技術或是資訊的方式，例如蜜蜂或人類，通常會有屬於他們自己的社會學習機制，從此觀念啟發出的機器學習方式，就是透過模仿(Imitate)來學習，從中獲得資訊以及改善動作策略，達成智慧型互動功能。模仿過程包含模仿中學習(Learning by Imitation)[12]-[14]、學會模仿(Learning to Imitate)[15]-[17]、展示中學習(Learning by Demonstration)[18]-[21]、以及最終達成真正的模仿(True Imitation)。

模仿中學習是指機器人擁有增強的機制，具有能在模仿中增強學習以及了解。學會模仿是指機器人透過模仿中學習，學會解相關聯的問題。展示中學習則是從模仿中獲得完成任務(Task)的動作策略，接著完成新的任務。新任務可能跟模仿的動作有關或無關，但機器人能夠學習到方法以及達成跟展示者一樣的目的，即使動作不一樣，這就是真正的模仿。

參考文獻：

[1] iRobot, available at: http://store.irobot.com/corp/index.jsp

[2] Robomow, available at: http://www.robomow.com/en-USA/

[3] Hammacher Schlemmer & Company, Inc., available at: http://www.hammacher.com/publish/75738.asp?source=cj

[4] RoboDynamics, available at: http://robodynamics.com/

[5] Meccano, available at: http://www.meccano.com/models/spykee_mini_robots/

[6] IZI Robotics' CUBO reads books to kids, teaches English, available at: http://www.engadget.com/2006/11/22/izi-robotics-cubo-reads-books-to-kids-teaches-english/

[7] iRobiQ: a fun and interactive robot on sale at RobotShop, available at: http://www.robotshop.com/blog/irobiq-a-fun-and-interactive-robot-on-sale-at-robotshop-589

[8] KornTech's Rogun robot recognizes faces and intruders, available at: http://www.engadget.com/2007/05/20/korntechs-rogun-robot-recognizes-faces-and-intruders/

[9] Communication Robot PaPeRo, available at: http://www.nec.co.jp/products/robot/en/index.html

[10] Wakamaru, available at: http://www.mhi.co.jp/en/products/detail/wakamaru_about.html

[11] RIDC-01, available at: http://www.tmsuk.co.jp/products/rekishi.html

[12] A. Billard, “Imitation: a means to enhance learning of a synthetic proto-language in an autonomous robot,” in the Imitation in Animals and Artifacts, 2002.

[13] G. M. Hayes and J. Demiris, “A robot controller using learning by imitation,” in the Proc. Second Int. Symp. Intell. Robots Syst.

[14] K. Dautenhahn, “Getting to know each other: Artificial social intelligence for autonomous robots,” Robot. Auton. Syst., Vol.16, pp.333-356, 1995.

[15] A. Billard, “Learning motor skills by imitation: A biologically inspired robotic model,” Cybern. Syst. J., Vol.32, pp.155-193, 2001

[16] M. J. Mataric, “Sensory motor primitives as a basis for imitation: linking perception to action and biology to robotics,” in the Imitation in Animals and Artifacts, pp.391-422, 2002.

[17] J. Demiris and G. M. Hayes, “Imitation as a dual route process featuring predictive and learning components: A biologically plausible computational model,” in the Imitation in Animals and Artifacts, pp.321-361, 2002.

[18] C. G. Atkeson and S. Schaal, “Learning tasks from single demonstration,” in the IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, pp.1706-1712, 1997.

[19] C. G. Atkeson and S. Schaal, “Robot learning from demonstration,” in the 14th Int. Conf. Machine Learning, pp.12-20, 1997.

[20] A. Ude, “Robust estimation of human body kinematics from video,” in the Proc. IEEE-RAS Conf. Intell. Robots Syst., pp.1489-1494, 1999.

[21] B. D. Argall, S. Chernova, M. Veloso, and B. Browning, “A survey of robot learning from demonstration,” Robotics and Autonomous Systems, Vol.57, pp.469-483, 2009.

[22] C. Breazeal and B. Scassellati, “Robots that imitate humans,” TRENDS in Cognitive Sciences, Vol. 6, pp.481-487, 2002.

二、研究方向及具體建議

- **次子題一：<u>模糊系統/類神經網路與控制融合 (莊家峰教授)</u>**

(1) 計算智慧與傳統控制融合方面，目前大部分的研究方向均著重在採用最新發展的計算智慧技術與較早期的傳統控制方法融合。事實上，在計算智慧方法日新月異的同時，不同的傳統控制方面法也同時被提出。同時掌握兩邊的最新發展，進而將其融合法為一研究方向。

(2) 近來模糊控制的研究大部分都著重於第一型(Type-1)模糊系統，近幾年第二型(Type-2) 模糊系統相關的研究才比較引起注意。第二型模糊系統是第一型模糊系統的延伸。在處理含有不確定因素的問題，像是含雜訊的資料和具有不同意義的字元，第二型模糊系統相較於第一型模糊系統來講，為一較有潛力的方法。因此預計最近幾年內，有關第二型模糊系統建模、第二型模糊系統控制器/觀測器設計、第二型模糊系統控制器的穩定度分析、第二型模糊系統與 PID 控制，順滑模式控制(SMC)、H_∞ 控制等傳統控制器的融合與其穩定度分析等，將會是一個熱門的研究方向。

(3) 大型控制系統，如網路與電力系統，由於訊號的遠距離傳輸，往往具有時間延遲的問題。另外，且大型系統的特性往往是時變的。以類神經網路與模糊系統融合傳統控制法於這類日益複雜系統的控制設計、穩定度分析與實際控制的需求將與日俱增。

(4) 在資料驅動類神經模糊系統的研究上，過去大部分均著重在精確度的提升。當設計的精確度達到一定要求後，學者們開始注重使用模糊系統本身非黑盒子模型的本質與優點，即法則的可解讀性(Interpretability)。經由檢視模糊規則庫，可解讀性將可使我們能夠經由輸入與輸出變數間的語意關係更加理解系統。未來，同時要求準確性和可解讀性將為資料驅動類神經模糊系統的研究方向。

- **次子題二：<u>運用計算智慧之先進最佳化方法與技術 (陳穎平教授)</u>**

運用先進計算智慧最佳化方法與技術於控制工程領域之目的，在於將近年內發展之各種針對問

題重要特性之最佳化技術深植於國內系統控制相關研究主題中，故具體之建議為：

(1) 複雜多目標問題之最佳化

大多數於實務中所遭遇的最佳化問題，並非只有單一的最佳化目標。但是，過去宥於既存數學工具的限制或計算資源與能力的不足，不得不採取誤差較大的妥協方式，將本質是多目標的最佳化問題改變成單目標最佳化問題來處理。例如：只處理最重要的目標函數或是將各項目標以權重方式加總為單一新目標來進行最佳化。近年來，計算智慧領域對多目標問題的最佳化技術有長足的發展，尤其是已經開始可以處理具有複雜 Pareto Sets 的多目標問題。因此，將相關技術引進系統控制領域應是重要的研究方向。

(2) 昂貴評估函數與替代評估函數技術

傳統的系統控制問題多半被建置為方程式型式之數學模型，然後以各項數學工具進行規劃求解。然而，在越來越多、越來越複雜的系統中，這樣的方式常常不敷使用，是故轉而採用諸如類神經網路或模糊系統等泛用型建模工具來處理。若是遭遇更複雜之問題，亦有可能直接以撰寫完整電腦程式來進行模擬。如此一來，被做為最佳化標的的評估函數除了不再具有方程式的數學型式以外，進行評估函數本身的計算亦可能在時間上相當昂貴，例如評估一次需時數分鐘甚至數日。在此情形下，便無法進行數以萬計或十萬計的大量的評估計算，以取得最佳化結果。針對這樣的特性，應考慮引進相關的最佳化技術，包含更適切地規劃每次評估的解位置以及建立替代評估函數等，以推進系統控制領域之研究與發展。

(3) 大規模最佳化問題

當系統日趨複雜，對應之最佳化問題的規模越來越大、決策變數越來越多時，大規模之最佳化問題應訴諸較為先進之相關技術以獲得解決。若欲控制之系統可建構為線性規劃問題時，則毋使用近年發展之最佳化技術，現存之數學工具即能針對數以百萬計的決策變數進行求解。然而一旦系統模型建置偏離線性時，則可能必須採用計算智慧領域相關技術。雖然目前正在學術研究中的最大規模問題，相較於線性規劃問題而言，約僅五百至一千個決策變數，但是一來線性規劃與相關數學技術無法使用於泛用型建模工具上，二來較大規模之黑箱最佳化(Black-Box Optimization) 技術正受到研究者的關注並持續發展中，是故將此類相關技術引入求解相對應之系統控制問題，亦為重要發展主題之一。

(4) 動態問題最佳化

若系統所處的環境具有時變特性時，線上控制技術與學習適應控制則為常用之處理方式。在此情境下，較少被關注的研究主題為採用具處理動態最佳化問題能力之先進方法。於最佳化演算

法中，內建對環境變遷之應變機制，為此類技術之特色。若能將相關最佳化能力運用於處理系統控制領域中對應的適切問題上，應可促使國內系統控制領域之研發展現出新的氣象與面貌。

˙次子題三 ： <u>演化式計算與控制融合 (張偉德教授)</u>

上述所提到的演化式計算演算法的應用範圍及領域非常廣泛，任何有關最佳化的議題都可以涵蓋，諸如:多目標最佳化、排程規劃、錯誤診斷、電力系統穩定器最佳化設計、數位濾波器設計以及聚類分析等等。至於在控制系統設計或者應用方面，可以約略歸納成下面幾個要項:

(1)非線性系統建模: 利用演化式計算進行修正類神經網路、模糊系統內或其他數學模型中的權重或是可調參數，使其模型輸出逼近真實的系統輸出，進而完成系統建模的目的。

(2)智慧型控制器設計: 利用演算法進行各種不同類型的控制器設計，諸如 PID 控制器(設計出比例 K_p 積分 K_i 以及微分 K_d 三個增益)、類神經網路控制器、模糊控制器等等，使其系統輸出響應控制到某個設定點，或者追蹤某個理想訊號，這種方式也可以擴展到多變數系統(Multivariable Systems)的控制。

(3)非線性系統的參數估測: 對於未知系統的參數可以利用演化式計算進行參數估測，在這種估測模式下，非線性系統的架構須為已知，而其系統的參數(係數)是未知。

(4)各種演化式計算演算法的修正或是改良: 針對演算法中的觀念、演化公式、模型、參數設定、或者兩個或多個演算法之間相互結合的方式，提出新的版本或者概念，進而有效改善原有演算法之收斂速度與搜尋能力，或者有效解決原有演算法中所存在的問題等等。

在應用這些演化式計算解決各種最佳化問題時，需探討演算法中幾個影響系統性能的因素，包括: 族群數大小(Population Size)、演算法的系統初始值(Initial Conditions of Algorithm)、迭代次數(Number of Iterations)、可調參數設定(Variable Settings)。

- **˙次子題四 ： <u>計算型智慧於生物辨識之應用(王振興教授)</u>**

在實際應用方面，現存的生物辨識系統在特徵擷取及辨識模式下，其很難有效地消除在有限的訓練資料及資料組內變異性過大所造成的辨識率不佳的不利因素；因此，生物辨識系統在不同的環境條件下之適應性將備受考驗。開發高運算效能之人類生理訊號及行為模式的量測工具來進行生物特徵訊號紀錄並找出有效的生物特徵，為當前生物特徵技術的首要工作。未來研究之主題，將朝以下三項進行發展：

(1)提升人類生物特徵技術效能之研究

隨著現在科技中電路及感測器的微小化,使得許多偵測人類生理訊號及行為模式偵測的感測器更具有方便性(輕量化、可攜式及便利化)，造就了許多原本無法取得大量訓練資料的生物特徵逐漸獲得重視。新一代的生物特徵包括心電圖(ECG)、腦波圖(EEG)、眼電圖(EOG)及肌電圖(EMG)、步伐分析(Gait Analysis)、手勢辨識(Gesture Recognition)、情緒辨識(Emotion Recognition)及動作辨識(Activity Recognition)等等。研究方向可利用新一代生物特徵的唯一性、普遍性、永久性、規避性及方便性，並結合計算型智慧技術的適應性、強健性及平行處理之優勢進行新一代生物特徵的資訊融合，來加以取代傳統的生物特徵，進而提升生物辨識系統的效能。

(2)計算型智慧生物特徵擷取技術之研發

人類生物特徵擷取及特徵降維將影響生物辨識系統的準確性及計算複雜度。生物辨識的資料來源包含了一維的訊號波形、二維的影像及三維的幾何資料。雖然現今已有許多模型及特徵擷取的方法已成功的被應用在人類生物特徵建模及擷取上，但其模型大多為簡單的數學模型，例如線性、高斯分佈及最小平方模型；這些模型被利用於處理具有高度非線性及複雜度的人類生理或行為模式訊號時，有時成效不彰。研究方向可利用及研發計算型智慧技術(如：類神經網路、模糊系統、基因演算法、演化式計算或其整合型系統等方法)處理高度非線性及複雜度的特性來進行具高度非線性及複雜度的人類生理或行為模式訊號建模及特徵擷取的方法。在特徵降維方面,其具有保留具有辨識力的特徵以提升辨識率,並去除多餘的特徵以降低計算複雜度的角色。而特徵降維往往會形成最佳化的問題；因此，此類問題可利用及研發計算型智慧技術(如:主成分分析法(Principal Component Analysis, PCA)、線性識別分析法(Linear Discriminant Analysis, LDA)、獨立成分分析法(Independent Component Analysis, ICA)或核函數方法(Kernel-Based Methods))來進行具高度非線性及複雜度的人類生理或行為模式訊號特徵降維的方法。

(3)計算型智慧生物辨識技術之研發

生物訊號之非線性特性、變動性及高度複雜度所產生之不確定性，造成生物辨識系統中經常利用模糊比對(Fuzzy Comparison)的概念來加以進行比對(Matching)及辨識的程序。計算型智慧的優點在於(i)可以有效處理高度非線性的問題；(ii)對於變動性很高的資料具有適應性及(iii)在不明確資訊下即可進行有效辨識決策的技術;(iv)對於資料量很大的生物資訊亦具有平行處理的特性。因此，計算型智慧技術，例如類神經網路、模糊系統、基因演算法、演化式計算等方法應用於生物辨識之相關議題上，將可提升生物辨識的可靠度並增加其辨識速度。此外，由於計算型智慧技術各有所長，亦可以結合各個技術的優點形成整合型或混和型系統，以有效地提升生物辨識技術的效能。

- 次子題五：<u>計算智慧與機器人模仿學習 (蘇木春教授)</u>

模仿有兩個主要問題，一個是機器人如何得知模仿什麼，一個則是機器人該如何模仿[22]。機器人如何得知要模仿什麼是一個很有挑戰的問題，必須具備辨識人類的動作，辨識出什麼是重要的以及注意力方向，也就是"知覺"到模仿的目標。而機器人把目標資訊轉化成機器人的馬達動作序列，也就是具備動作策略，則讓機器人知道該如何模仿。如何讓機器人動作策略能更有彈性(robust)以及更適應環境變化，則是設計演算法的目標。

計算式智慧(Computational Intelligence)是一個近年來發展的領域，對於非線性問題求解，以及對於資料的推廣性都有很好的效果，是較有彈性的方法，很適合用於設計機器人模仿的動作策略。

子 題 三：計算系統之控制(Control of Computing Systems)

召 集 人：周至宏教授

規畫委員：王啟旭教授、周至宏教授、何文獻教授、蔡進聰教授

一、研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

由於電腦軟硬體採購的費用持續地下降，使得資訊技術可以更廣泛的應用，因此為了使網路系統運作更有效率，對計算系統有愈來愈依賴的趨勢，其主要研究動機來自資源管理的需求，包括允入控制(Admission Control)、資源規劃(Resource Scheduling)、工作量規劃(Workload Scheduling)的控制(Hellerstein et al., 2005, 2009)。近十年來應用控制原理來設計和分析閉迴路的計算系統，在國際上吸引了眾多傑出的學者投入研究，目前已有很多的重要成果展現。這些研究的成果可使得網路系統對干擾產生時能更加穩健，且能提供更佳的性能，其中控制理論擔任了重要的角色；因此，應用控制理論來發展新的計算系統是未來重要且實際的研究課題。唯計算系統的非線性模型建構和最佳控制器的設計，目前人仍有甚多問題待解決，只要投入時間和心力，以台灣現有蓬勃發展的控制理論為基礎，未來一定能得到重要成果，增加國際能見度。

在現今的計算系統之控制主要的代表研究學者是 J. L. Hellerstein 所組成的研究團隊，以下將針對 J. L. Hellerstein 在計算系統之控制的重要研究相關主題做簡要的介紹(Hellerstein et al., 2002; Diao et al., 2004; Hellerstein, 2004; Diao et al., 2005; Hellerstein et al., 2005, 2009)：

- 負載平衡被廣泛地使用在計算系統 做為一方法來最佳化執行效能 應用平衡負載來降低延遲

例如調整記憶池(Memory Pool)的大小來平衡資源的需求在資料庫管理系統

- 利用線性理論建構允入控制過程的轉移函數，藉以觀察計算系統變換時的響應。
- 控制理論可對自主管理系統提供一架構和可解析的基礎，使系統效能具有穩定性(Stability)、很短的穩態時間(Settling Time)、以及精準的控制調節(Accurate Regulation)。
- 計算系統可應用閉迴路控制理論，獲得不同服務等級目標下，其資源運用的最佳化策略。
- 發展計算系統的控制理論會面臨幾個挑戰，不利於符合我們所需的控制目標，例如建構受控系統、傳遞有雜訊和不完整的感測器的資料、處理具有複合效應的致動器。

目前引發討論計算系統的控制問題有兩個原因：(1)操作一計算系統所提高的成本；(2)網際網路的廣泛分散的使用，如何高效率地連結資訊系統與使用者。因此，我們分為三個控制問題來討論：(1)控制服務：調整資源(狀態)使用，使得服務水準能穩定地在服務水準目標；(2)資源最佳化：平衡負載使得最小化最大的負載，以及分配資源使得最小化成本；(3)干擾排除：在負載有劇烈的變化下或資源失效下，能維持系統性能(Hellerstein et al., 2005)。

計算系統之控制是將控制理論應用於計算系統，來解決目前資料中心之工作負荷管理、能源管理、CPU 使用控制、…等問題，其說明如下：

資料中心(Data Center)之工作負荷管理：目前資料中心服務型態為強調提供資源能力而非應用性能導向，因保證性能導向的問題非常複雜，需考慮虛擬機器的管理(包含 CPU、網路、與儲存設備)與時變的特性才可保證服務品質(Quality of Service, QoS)(Luna and Abdallah, 2011a; Nathuji et al., 2010)。其中資源分派管理包含允許控制(Admission)、資源排程(Resource Scheduling)、與工作負荷排程(Workload Scheduling)(Hellerstein et al., 2009)。以往的研究有採用流體模式(Fluid Approximation)與最佳控制理論來處理工作負荷保證服務品質(Malrait, 2010)。另有使用模式估測(Model Estimation)與最佳控制理論來處理 MIMO 的工作負荷，實現服務的目標(Service Level Objective, SLO)(Padala et al., 2009)。近年來，最佳控制理論廣泛用於通訊網路的設計，成功解決網路擁擠管理、資源分派、與 QoS 的管理(Kwon and Kim, 2000; Low, 2001)。然而，並未有效應用於計算系統，由於計算系統較複雜且具有多時變的工作負荷特性(Hellerstein et al., 2009)。

資料中心之能源管理：大型資料中心投資於能源費用為 23%-50%，產生約 2%的全球 CO_2 的排放量(相當於全球交通工具的排放量)(Luna and Abdallah, 2011a)。以往的研究有採用最佳控制理論來控制伺服器的能源管理、冷卻與工作負荷管理(Wang et al., 2010)。Chen et al. (2010)發展一個階層控制系統，使用回授控制器管理單一伺服器的使用，其中基因演算法被使用來統整工作負荷，有效率

的管理資料中心的冷卻系統，與關閉無工作負荷的伺服器，如此的控制可管理資料中心的冷卻系統，符合工作負荷，節省能源。

CPU 使用的控制：可研究的對象包含單機多 CPU 的伺服器，進而至資料中心中所有的 CPU (Luna and Abdallah, 2011b)，以往的研究曾採用集中式的模式預測控制(Model Predictive Control)來控制工作負荷，分派工作於不同的 CPU，使用回授控制來維持 CPU 的有效使用，並動態調整工作執行率(Lu et al., 2005)。另有非集中式的模式預測控制來將 CPU 指派給一個或多個子工作來進行控制(Wang et al., 2007)。

參考文獻：

1. Chen, Y., D. Gmach, C. Hyser, Z. Wang, C. Bash, C. Hoover, and S. Singhal, 2010, “Integrated management of application performance, power and cooling in data centers." IEEE/IFIP Network Operations Management Symp. (to appear).
2. Diao, Y., J. L. Hellerstein, S. Parekh, R. Griffith, G. E. Kaiser and D. Phung, 2005, “A Control Theory Foundation for Self-Managing Computing Systems”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.23, pp.2213- 2222.
3. Diao, Y., J. L. Hellerstein, A. Storm, M. Surendra, S. Lightstone, S. Parekh and C. Garcia-Arellano, 2004, “Using MIMO Linear Control for Load Balancing in Computing Systems”, Proc. of the 2004 American Control Conference, Boston, Massachusetts, USA, pp.2045-2050.
4. Hellerstein, J. L., 2004, “Challenges in Control Engineering of Computing Systems”, Proc. of the 2004 American Control Conference, Boston, Massachusetts, USA, pp.1970-1979.
5. Hellerstein, J. L., Y. Diao and Sujay Parekh, 2002, “A First-Principles Approach to Constructing Transfer Functions for Admission Control in Computing Systems”, Proc. of the 41st IEEE Conference on Decision and Control, Las Vegas, Nevada, USA, pp.2906-2912.
6. Hellerstein, J. L., Y. Diao, S. Parekh and D. M. Tilbury, 2005, “Control Engineering for Computing Systems - Industry Experience and Research Challenges ”, IEEE Control Systems Magazine, Vol.25, pp.56-68.
7. Hellerstein, J. L., S. Singhal and Q. Wang, 2009, “Research Challenges in Control Engineering of Computing Systems”, IEEE Trans. on Network and Service Management, Vol.6, pp.206-211.
8. Hellerstein, J. L., F. Zhang, and P. Shahabuddin, 2000, “A statistical approach to predictive detection," Computer Networks.
9. Kwon, W. H. and H. S. Kim, 2000, “A survey of control theoretic approaches in wired and wireless communication networks," in Proc. Korea-Japan Joint Workshop, pp.30-45.
10. Low, S. H., 2001, “TCP congestion control: algorithms and models," SIGCOMM: Conf. Commun. Architectures Protocols, Vol.12.
11. Lu, C., X. Wang, and X. Koutsoukos, 2005, “Feedback utilization control in distributed real-time systems with end-to-end tasks,” Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol. 16, No.6, pp.550–561.
12. Luna, J. M. and C.T. Abdallah, 2011a, “Control in Computing Systems: Part I”, 2011 IEEE

International Symposium on Computer-Aided Control System Design (CACSD), Part of 2011 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, Denver, CO, USA. September 28-30.

13. Luna, J. M. and C.T. Abdallah, 2011b, “Control in Computing Systems: Part II”, 2011 IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design (CACSD), Part of 2011 IEEE Multi-Conference on Systems and Control, Denver, CO, USA. September 28-30.
14. Malrait, L., 2010 “Qos-oriented control of server systems,” ACM SIGOPS Operating Systems Review, Vol.44, No.3, pp.59–64.
15. Nathuji, R., A. Kansal, and A. Ghaffarkhah, 2010, “Q-clouds: Managing performance interference effects for qos-aware clouds,” in Proceedings of the ACM European Society in Systems Conference 2010, Paris, France, pp.237–250.
16. Padala, P., K. Y. Hou, K. G. Shin, X. Zhu, M. Uysal, Z. Wang, S. Singhal, and A. Merchant, 2009, “Automated control of multiple virtualized resources,” in Proceedings of the 4th ACM European conference on Computer systems. Nuremberg, Germany: ACM, pp.13–26.
17. Wang, X., D. Jia, C. Lu, and X. Koutsoukos, 2007, “Deucon: Decentralized end-to-end utilization control for distributed real-time systems,” Transactions on Parallel and Distributed Systems, Vol.18, No.7, pp.996–1009.
18. Wang, Z., N. Tolia, and C. Bash, 2010, “Opportunities and challenges to unify workload, power and cooling management in data centers,” ACM SIGOPS Operating Systems Review, Vol.44, No.3, pp.41–46.

二、研究方向及具體建議

目前控制技術於計算系統的研究正方興未艾，針對計算系統使用控制理論來嚴謹的分析仍屬有限，可朝向模式預測(Model Estimation)、最佳化(Optimization)、與控制方法(Control Approaches) 於資料中心內計算系統的控制領域邁進，研究方向建議如下：

1. 計算系統的暫態特性控制

   計算系統的特性是快速暫態特性而非穩態的工作負荷，以往的研究者視工作負荷的暫態為雜訊來處理(Hellerstein et al., 2000)，因此暫態特性的管理是一大挑戰，是值得研究的方向。

2. 控制模式的發展與控制技術應用

   控制模式的定義與發展使用於計算系統之回授控制是一項挑戰與研究方向，例如定義能源管理的控制階層，含晶片、機台、與資料中心等層級，在晶片層級的控制考量減少操作頻率以節省能源，如某個 CPU 執行較少工作負荷時，則分派增加 CPU 的使用率，若過負荷則降低；資料中心的動態能源，熱與性能控制需整合不同層級的控制迴路，因此決定控制模式與控制技術是一大挑戰(Hellerstein et al., 2009)。

3. 控制器複雜性與強健性之探討

計算系統之控制器複雜性與強健性之設計是互相衝突，即增加控制器複雜性設計則降低其強健性，另滿足系統可控制性與可觀察性，則需增加控制元件 (如：制動器、感測器、…)，如此將降低系統的性能與增加成本，如此取的平衡點，是值得進一步探討(Hellerstein et al., 2009)。

4. 計算系統的時變特性控制

   由於計算系統的工作負荷與機台瓶頸是屬於時變特性，因此當主要伺服器工作負荷很大時，就很困難去預測變動，工作飽和增加系統的非線性，如此系統更難控制，也降低強健性，則無法達到實現服務的目標(Hellerstein et al., 2009)。

5. 受控系統的模型建構。

6. 計算系統透過感測器量測 CPU 的使用、負載、和響應時間等資料時，有下列的問題與控制原理有關：(a)量測過程很少同步，會有資料遺漏；(b)狀態可能無法量測或無法使用；(c)如何決定量測的頻率，避免消耗 CPU 和記憶體；(d)量測過程會有延遲現象。

7. 致動器是改變計算系統的機制，包括處理的優先權、排程策略、伺服器路徑需求策略，一個更重要的問題是控制計算系統的可用制動器，可能是間接的產生功能後再量測輸出，過程可能會有誤差。

   研究實驗平台的建立及具體建議：為了將以上研究方法具體化，我們有必要在台灣建立可驗證的研究實驗平台。這非但可提昇國家的科技水準，也有可能開創我們獨特的研究領域。根據以上的國際參考文獻[4]-[7]，大部份的研究實驗平台均為 Data Center，即計算機中心(Computer Center)。此種研究實驗平台已存在各大學的計算機中心，很容易取得全面配合此項的研究。其次是比較小規模的系統，如計算機有線及無線網路系統的流量管理[8]-[10]；此種研究實驗平台也可說是 Data Center 的子系統，但比較容易自行建立。再者如：(i)電力網(Power Grid)的及時網路控制(Real-Time Network Control)，以提昇能源使用效率；(ii)高速公路的流量及時網路控制，以降低車輛污染及車禍；(iii)近代智慧型車輛安全及時網路控制 , 以提升駕駛安全度及降低車輛污染；…等等都是我們在台灣可以接觸的研究實驗平台。

國科會工程處控制學門規劃主題

『智慧型自動化與機器人』規劃摘要

規劃主題架構表

規劃主題：智慧型自動化與機器人

召 集 人：宋開泰教授

副召集人：蔡清池教授

規劃委員：王振興教授、王偉彥教授、李祖聖教授、李柏磊教授、李慶鴻教授、宋開泰教授、余國瑞教授、林正堅教授、林沛群教授、胡竹生教授、翁慶昌教授、郭重顯教授、黃國勝教授、蔡清池教授、鄭銘揚教授、鄭錦聰教授、顏炳郎教授、蘇仲鵬教授、蘇順豐教授

前言

2004 年政府把智慧型機器人列為未來重要產業發展項目，並訂定在 2020 年以前發展成為全球智慧機器人主要製造國。近年來國內多家廠商開始投入機器人產品開發，成立研發團隊。2010 年之行政院「智慧型自動化產業發展策略會議」研議加速推動智慧型自動化產業，2011 年成立「台灣智慧自動化與機器人協會」落實產業發展與技術創新研發。

在產業發展方面，廠商面臨大陸薪資調漲，成本增加，及缺工的情勢，許多廠商希望返台設廠，同時將製造自動化列為重要條件。而國際間面臨高齡化與少子化的社會結構，越來越重視環保與永續經營的理念，美國、日本、德國及韓國等分別訂出綠色製造、未來工廠、永續製造及智慧製造等產業發展重點。機器人與自動化在智慧製造領域扮演重要角色，而學術研發與產業需求結合將為未來政府推動之重點項目之一。

機器人在近 6 年來一直是國科會控制學門之規劃主題，研究計畫逐年成長，深受學術界的重視。控制學門之規劃十分具有參考價值，而因應國際學術發展趨勢及國內產業界之需求，今年學門召集人傅立成教授在學門規劃內容上特別成立一項「智慧型自動化與機器人」規劃主題，希望結合

國內菁英學者統整出未來發展方向。在 101 年 4 月 26 日召開之規劃討論會中，擬定 5 大子題及各子題分項，並確定規劃小組成員。智慧自動化與機器人發展方向規劃出之五大子題為：核心技術、醫療與輔助機器人系統、服務應用機器人系統、產業機器人與系統、及雲端行動資訊處理與自動化應用研究，分別由蔡清池教授、郭重顯教授、林沛群教授、胡竹生教授以及蘇順豐教授擔任召集人，並由 19 位規劃委員針對現今國內外研究以及未來研發重點提出重點規劃。

本規劃內容著重於各規劃項目之背景說明及未來技術需求，除了科學研究的價值以外，更重視對產業界的幫助，以期落實更務實之研究投入。

子題一：核心技術（Key Technologies）

本規劃子題為核心技術（Key Technologies），在這次的規劃工作中，根據學門之討論並參酌近幾年機器人核心技術之發展演變，草擬八個深具前景的研究層面做為規劃項目，分別由鄭銘揚教授、蔡清池教授、宋開泰教授、蘇國嵐教授、蘇仲鵬教授、李慶鴻教授，翁慶昌教授、王偉彥教授、李永勳教授、林沛群教授負責各個項目之規劃工作。

希望規劃之內容能夠做為學門智慧機器人相關研究學者之參考，在切磋觀摩之餘，能夠有效匯集研發能量，產生具影響力與突破性之研究成果。

分項子題 1：<u>影像伺服（Visual Servoing）--鄭銘揚教授</u>

針對國內學術界在視覺伺服控制架構可能研究方向的建議，包含利用 Lyapunov 理論探討所發展之視覺伺服控制架構之穩定性；將視覺伺服控制推廣至其他座標系，如極座標系、圓柱座標系與球面座標系等；在影像平面上對目標物件進行持續且穩定之追蹤，可能的解決方法如 Multi Cue, Kalman Filter, Mean Shift, Particle Filter 以及 Hidden Markov Model 等；以及將視覺伺服控制技術實現在工業用機器人如 6 軸機械手臂或 Delta Robot 等。

分項子題 2：<u>環境感測（Environmental Sensing and Perception）--蔡清池教授</u>

除了研發新型感測器或對感測器進行性能改善外，在未來感測器將會朝向整合化、微型化、模組化等方向發展。藉由開發、改善與整合感測器，並進行模組化及微型化之研究改進，提供更完整的環境資料擷取能力，以及方便安裝的小型模組化規格，以因應目前小型、自動化的機器平台發展，這對於未來完成行動敏捷與高效能自主移動的機器人是非常重要的一環。

分項子題 3：<u>人機互動（Human-Robot Interaction）--宋開泰教授</u>

人機互動技術在設計上的重點是放在人這方面，在設計時必須將人的需求作為優先考量。如何讓人能夠更簡易、更友善的操作機器人，這些都是在設計過程當中所必須要注意的。而所謂的人機

互動，根據字義上可以視為是人與機器人的溝通，互動技術則是包括人與機器人進行物理上的接觸、情感上的互動以及認知上的互動等。近年來，隨著科技的進步與需求，有越來越多的機器人進入到人類的生活當中，因此人與機器人實際接觸到的機會也越來越多，因此便產生了許多相關的研究，包括了人與機器人的安全互動、協同合作以及醫療看護等議題。

分項子題 4：<u>感測器融合（Sensors Fusion）--蘇國嵐教授、蘇仲鵬教授</u>

要透過多重感測融合的技術，來增加機器人運動的自主性（Autonomy）、以及面對複雜不確定環境的感知能力，包括虛擬環境地圖的建立、自我定位，與可行路徑的規劃等；此外，也可經由感測資訊的融合，提升執行特定任務的辨識與判斷能力。未來的日子裡智慧型機器人在我們日常生活中將扮演越來越重要的角色，提供更多的服務功能，特別是當運用感測器融合技術，將使機器人更具智慧，可以協助人類進行更多樣的服務。

分項子題 5：<u>運動控制（Motion Control）--李慶鴻教授</u>

控制問題涉及運動學、動力學與控制理論，因此基於機器手臂之動態運動控制有其迫切之必要性。近年來從兩軸機械手臂之線性時變控制器、PID 控制器、適應控制器，發展至不需速度項之適應控制與基於估測器之適應控制器設計；此外，亦有利用順滑模式控制器提供穩健之控制特性與模糊邏輯控制、或透過類神經網路之函數近似能力解決系統不確定性問題。

分項子題 6：<u>人形機器人技術（Humanoid Robot Technology）--翁慶昌教授</u>

如何在面對人類五花八門的互動下還能成功的表現出具智慧的互動力就變得相當有挑戰性。因此，雙足的移動特性與擬人的親和特性是人形機器人最大的優勢也是最困難的技術點。未來人形機器人的有前景之研究主題大致上可以分為：（1）擬人化步態軌跡研究、（2）動態自我平衡、（3）雙臂控制與（4）情感互動等四大項。

分項子題 7：<u>電源供應與管理（Power Supply and Management）--王偉彥教授、李永勳教授</u>

能源管理一直都是嵌入式系統研究的重點，尤其目前大多數的嵌入式系統的電力來源都以電池為主，好的能源管理方案可以有效的大幅提昇系統續航力和效能。在“多核心即時系統能源管理之排程設計”（張峻源，2009 年）中，研究多核心嵌入式系統即時排班配置問題並且排程規劃每筆資料之優先執行順序以減少能源消耗。在“嵌入式即時系統之能源管理機制”（李榮華，2003 年）中，提出一個可以同時降低處理器及週邊裝置之功率消耗的排程演算法，其特點為根據系統的利用率來決定處理器之速度，使系統利用率低的時候可以用較低功率的運算速度節省能源的消耗，另一方面也去偵測週邊裝置的使用狀況，在不使用週邊裝置時，儘可能地關閉週邊裝置的電源或降低其電源消耗。

分項子題 8：<u>仿生機器人系統（Biomemtic Robotic Systems）--林沛群教授</u>

機器人本身即是一個複雜系統，包含了如創意設計、機構設計、結構設計、感測器安裝、致動器匹配、機電整合、訊號處理、控制器設計、穩定性分析、機器人系統建置、運動規劃、實驗測試等多項子技術。而仿生機器人則又多涵蓋了仿生的面向，如對生物系統之運動進行學理上的瞭解、生物運動模型建立、生物運動狀態模擬分析、步態分析與開發、生物群體行為探討等等，以及擷取仿生概念後所引發的工程創新。

子題二：醫療與輔助機器人系統

『醫療與輔助機器人系統』為未來『醫療產業』之重要研發方向，其將逐漸取代傳統手術、治療、復形（Prosthesis）、復健等裝置，提供更優質醫療服務，並有效使用醫療資源、提高醫療品質並建全社會福祉。醫療與輔助機器人系統為國科會工程處控制學門在智慧型自動化與機器人領域相當重視的一環，也期待透過學門之研發方向規劃，吸引更多學者投入相關研發工作，以解決未來『高齡化社會』以及『醫療資源不足』下的嚴重社會問題。

分項子題 1：<u>復健機器人(Rehabilitation Robots)--顏炳郎教授</u>

近幾年來，相關研究與產品均有相當大的突破，包括上肢復健機器人（如 MIT-Manus、T-WREX 等）、腕部手掌復健機器人（如 HandCARE、HNEURARM、 NEUROExos 等）、下肢復健機器人（如 Lokomat、ALEX）、腳踝復健機器人平台、穿戴式步態分析模組、幼童專用復健機器人等等。此外，復健機器人可同時結合虛擬實境、網際網路等電腦科技等進行遠距復健。最後，復健機器人在協助腦神經受損病患之復健臨床上有著良好的成效，其也說明了復健機器人有極大潛力與商機。

分項子題 2：<u>行動輔助機器人(Assistive Robots)--郭重顯教授</u>

『行動輔助機器人』之研發係以病患之復形、機能強化（Functional Enhancement）與行動輔助等需求進行研發，因此其應用相當廣泛。行動輔助機器人根據不同研發屬性，其研究方向可分為復形與機能強化以及行動輔助兩部分加以建議。首先針對復形與機能強化機器人研發方向加以介紹。復形與機能強化機器人雖然臨床上功能是不一樣的，但是在工程與機電設計上有著類似的研究方向，因此合併一起討論。

分項子題 3：<u>手術機器人(Surgical Robots)--顏炳郎教授</u>

發展醫療機器人並非要取代外科醫師，而是要在手術過程扮演輔助醫師的角色，與醫師專長互補，提供更小傷口、更靈巧、更精準的手術工具操控進行手術。舉凡腦神經外科手術、臉部手術、眼科手術、骨科手術、胸腔手術（如心臟手術）、腹腔手術、骨盆腔手術（如攝護腺手術）、放射線

外科手術等等，醫療機器人均可協助醫師，使病患得到更好的治療效果。發展醫療機器人需要醫師共同合作，並決定特定手術應用領域。

分項子題 4：<u>生理訊號看護系統(Bio-Signal Healthcare System)--李柏磊教授</u>

本子題研究議題涵蓋範圍主要可以從生理訊號處理、量測系統、看護控制系統、與遠距看護網路四個部分進行探討。藉由新式感測器的設計，配合新穎訊號處理技術，讓使用者對於看護系統進行控制，或單純將生理訊號經由傳輸網路，交由雲端系統進行分析監控，以配合不同程度之病患需求，由輕度到重症的病患，依照不同情形，設計適用且好用的看護系統。

子題三：服務應用機器人系統

本子題內所規劃的大部分項目，也由於內容必須貼近普羅大眾，具有可商品化的特質，也因此，在研發的定位上，也必須慎重考量成本因素以及人性。本子題將近期學業界所發展服務機器人相關的項目分為四個分項，主軸為處理日常生活的庶務機器人、特定任務的保全與救援機器人、以及教育娛樂機器人。而由於清潔機器人相關技術近幾年來蓬勃發展，從學界研發到業界產品有完整的開發線，因此將清潔這一個項目自庶務機器人中獨立開來單獨討論。

分項子題 1：<u>庶務處理機器人(Domestic Robots) ---蔡清池教授</u>

要達到高智能化且多功能，多技能的智慧型行動庶務處理機器人，的確仍有許多的發展與創意空間，尤其在（1）仿人型靈巧且有力量順從的雙手指與手臂之設計，先進控制技術與嵌入式技術實現;（2）安全流暢的三維運動規劃、控制與系統實現；（3）利用多重感測融合技術達成環境與物件的強健感知，三維環境重建與定位；（4）發展模型化的認知方法，使機器人可有效地認識環境，物件與情境；（5）建立藉由視覺觀察、行為模仿與加強式學習，學習新技藝或新行為的技術；（6）以 iPhone 之設計概念建置直覺的人機互動操作技術;（7）發展高階推理能力的學習與服務機構導向的人機界面系統設計。

分項子題 2：<u>救援機器人(Rescue Robots) ---蘇仲鵬教授</u>

一般而言救援機器人必須具備下列基本能力：（一）救災現場條件的適應性；（二）配備齊全的感測器；（三）完善的自動或遙控能力與介面；（四）具遠端通信的中央導控與顯示介面系統；（五）定位與環境地圖的建立；（六）物件辨識與受難者偵測能力、（七）機器人間的溝通合作能力等。

分項子題 3：<u>清潔機器人(Cleaning Robots) ---黃國勝教授</u>

清潔機器人在服務機器人領域中乃最先在市場被接受的產品。其在無人操作監控操作情況下，即可完成室內環境的吸塵、玻璃擦拭等清潔工作，具有市場前景。但僅是目前的產品並不能完全自

主地清掃房間，因在路徑規劃、多感測器融合技術、環境建模和定位等方面都有許多問題有待解決，甚至在智慧和工作效率方面也還要進一步提高。

分項子題 4：<u>教育娛樂機器人(Edutainment Robots) ---林沛群教授</u>

在教育機器人方面，在開發新型態模組化的機器人教具和後端教學應用相關課程或書籍仍有很大發展空間。在機構方面，需求為一商品能夠涵蓋更多類型的機構、能模組化的與結構體任意組裝、並具有剛性等。在機電系統方面，需求為能相容於更多類型感測器或是致動器、涵蓋低階到高階的處理器、各式能量源的使用等等。在軟體方面，需要能針對不同年齡層的學子，提供適當的軟體介面，具備不同的開放性與程式編撰彈性。

子題四：產業機器人與系統（Industrial Robot and Systems）

產業用機器人、技術及系統的發展長久以來均由汽車生產製造業主導，由於該產業的成熟度與自動化程度高，整個產業機器人的發展已經進入價格競爭階段，且其技術大體上以與符合大批量製造的觀念為主。然而展望未來，在資訊高度透明與全球化的趨勢下，大量且單一規格的產品由於價格競爭激烈，將集中由少數企業主導，取而代之的是規格差異化或是客製化的多樣性產品，也因此產品製造將無法符合大規模生產的經濟效益，轉而需要小規模及高度彈性化的自動化生產技術。以人工為主的生產製造，是可以達到最大的彈性度，但是工資高漲，人員管理以及品質確保的問題將使得仰賴人工的方式越來越加困難。另一方面，製作專用的自動化機具，因為產品的量不夠大且規格變異，無法有足夠的經濟規模來支撐。因此，發展如人類智慧與工作彈性的通用型生產機具，便成為大多數製造業在本世紀最重要的課題。

分項子題 1：<u>自動搬運機器人（Automated Guided Vehicles）--宋開泰教授</u>

需要一套能夠解決多機器人的的運動規劃、軌跡規劃以及任務排程問題。然而，如何設計與評估一套適合使用的 AGV 系統，目前仍然沒有一個共通的標準來定義，因此 Berman 等人提出了一套 AGV 系統的運作性能量測方法，可以用來找出系統的問題或是比較不同系統間的性能。而在未來可以想見的是，AGV 的應用規模逐漸擴大之下，一套系統中可能會包含多達百台以上的移動式機器人在同時運作，這時將會有過去研究所無法發現或是解決的問題產生。因此，大規模的 AGV 系統設計與規劃將會是未來研究的重點發展項目之一。

分項子題 2：<u>裝配機器人（Assembly Robot）--胡竹生教授</u>

快速安裝與上線工作，以傳統的位置控制方法就很難實現，必須經歷耗時的校正程序才能使其與工件與世界座標間達到一定的準確度，一旦需要更動工件或生產流程則又需重新校正，因此導入

視覺技術使其可以透過對環境的認知而能夠快速的完成安裝與工序教導,就是相當重要的技術開發方向。

分項子題 3：<u>人機協同操作（Human Robot Collaboration）--胡竹生教授</u>

機器人助手可以被視為工業機器人的演變，並已有一段時間的研究，包含直接互動與直接接觸到人類的機器人系統。Khatib 提出一先進的機器人助手，由一個移動平台手臂來強化人的能力，其觀念為“額外的一雙手”，它可以移動反應人所施加的負載。Engelberger（Elderly Care Giver），Dario（MOVAID），Schraft（Nurse - O-BOT）針對家中的輔助系統也提出類似觀念，其目的旨在協助殘障人士生活在自然的家庭環境。其協助包含支撐引導人的行動，自主執行搬運或是準備簡單的飯菜等。Denso 提出了一個概念，可以迅速部署移動式機器手臂在傳統的裝配生產線，當生產量需求增加時可快速提高產線容量。

分項子題 4：<u>綠能機器人系統(Green Robots)--余國瑞教授</u>

美國伊利諾大學的研究人員開發出一種太陽能用除草機器人（Solar Powered Weed-killing Robot），頂部覆蓋拱形太陽能電池板，底部備有四個輪子，機械手臂先割斷雜草，然後再灑上除草劑。荷蘭科學家 Theo Jansen 利用塑膠管和空瓶，打造出環保風力機器人（Strandbeest），風力由白色帆布組成之大翅膀收集，當風將翅膀扇動，位於機器人腹部的一組塑料瓶即可儲存風能。日本東京 Speecys 公司研發出全世界第一款燃料電池機器人（Speecys-FC），五十公分高四點二公斤重，燃料電池藉由氫氣與氧氣之間的化學反應產生電力，水是其中僅有的副產品。國內部份則有行政院原子能委員會核能研究所開發以太陽能充電之輻射環境偵測機器人，太陽能板提供 12v 與 5A 之電力，具有戶外 GPS 導航、無線通訊與控制、各種輻射與災害偵檢等功能。

子題五：雲端行動資訊處理與自動化應用研究

雖然雲端的研究較偏重於資訊方面的研究，然而就控制學門而言，這樣的新興科技在控制相關的研究中也是相當重要的研究課題。而如是的科技也當然會對現有的控制研究有所衝擊，同時也會有一些新的研究課題產生。我們相信由於近幾年相關電腦設備能力的精進和普及再加上行動通訊機構的隨處可用，如是雲端概念的研究也將會變的非常重要而對控制學門的研究也會有其關鍵的衝擊。

分項子題 1：<u>雲端及行動資訊處理與控制應用技術--鄭錦聰教授</u>

結合更新進之控制技術如智慧型控制技術於智慧型手機當作行動資訊處理系統並結合雲端計算在現今技術中仍是一重要技術。本子題中以智慧型控制技術、機器學習與創意設計為基礎的行動資訊處理整合雲端與發展新的控制技術，進行可處理在一般環境下之創意控制應用技術，同時亦能

整合以雲端及行動資訊處理與控制之智慧型家庭與健康照護之先進應用。

分項子題 2：<u>智慧型運輸系統與雲端運算技術之整合--林正堅教授</u>

近年來隨著無線傳輸技術與雲端技術成熟，越來越多的相關研究朝著雲端運算的方向前進。一般而言，雲端運算（Cloud Computing）指的是「藉由網際網路傳遞、以服務形式呈現的應用程式（the Applications Delivered as Services over the Internet）」與「位於資料中心、實際提供此服務的硬體與系統軟體（the Hardware and Systems Software in the Data Centers that Provide Those Services）」二者的統稱。

分項子題 3：<u>銀髮族及慢性病患生活與照護之資通訊自動化技術整合--王振興教授</u>

由於老年人口的快速增加、雲端運算技術的提升、以及生理訊號感測技術的長足進步，近年來在國內外有許多的雲端健康照護系統問世，現有健康照護系統大致可分下列幾種類別：遠距健康資訊共通系統（電子病歷）、遠距生理訊號監測系統、遠距生理訊號分析系統、遠距衛教系統。在遠距健康資訊共通系統方面，Google Health 以及 HealthVault 為醫療上常用的病歷、電子資料制定了共通的資料庫規格，其優點為可整合各式各樣的病歷以及電子資料。遠距生理訊號監測系統則是結合雲端技術與生理訊號感測的系統。

分項子題 4：<u>智慧型無線多功能生理監測微系統--王振興教授</u>

能整合多功能之生理感測器及發展無縫行人導航技術於身體感應網路中，透過無線感測網路以及雲端伺服管理系統，即時偵測及感知使用者的生理狀態以及所處位置，除了可以即時給予使用者生理狀態及所處位置之回饋外，更可在使用者心理或生理狀態異常時，自動通知醫護人員或家屬趕赴現場給予協助。未來研究之主題，將以身體感測網路之與雲端資訊之整合出發。

分項子題 5：<u>雲端機器人（Cloud Robots）--林正堅教授</u>

「雲端機器人（Cloud Robots）」即為“Cloud-connected Robots”，此「雲端」即指「雲端運算（Cloud Computing）」。換言之，在「將硬體與雲端相接合」的情況下，雲端機器人得以進行感知、瞭解、分享與反應等類同於人類的動作。如同“Robots with Their Heads in The Clouds”一文中所述，在與雲端運算結合的情況下，物體辨識、地圖導航、語音辨識與文字辨識等應用，也都可順利完成。

規劃子題：1. 核心技術

2. 醫療與輔助機器人系統
3. 服務應用機器人系統
4. 產業機器人與系統
5. 雲端行動資訊處理與自動化應用研究

子題一：核心技術（Key Technologies）

召 集 人：蔡清池教授

規劃委員：鄭銘揚教授、蔡清池教授、宋開泰教授、蘇國嵐教授、蘇仲鵬教授、李慶鴻教授、翁慶昌教授、王偉彥教授、李永勳教授、林沛群教授

規劃分項：1. 影像伺服（Visual Servoing）

2. 環境感測（ Environmental Sensing and Perception）
3. 人機互動（Human-Robot Interaction）
4. 感測器融合（Sensor Fusion）
5. 運動控制（Motion Control ）
6. 人形機器人技術（Humanoid Robot Technology）
7. 電源供應與管理（Power Supply and Management）
8. 仿生機器人系統（Bimemtic Robotic Systems）

前言

智慧機器人領域是二十一世紀極具潛力之新興產業，自工業機器手臂技術發展開始，在 1980 年代機器手臂已經能夠在如汽車製造業等產業成功的應用，許多工業組裝、焊接、噴漆等繁重與危險之工作，皆能以機器手臂取代之。在機器人核心技術上，由機器手臂之馬達控制、運動學、動力學之分析，以及各式控制系統之設計，再加上各式感測器之安裝，使得機器手臂之運作達到符合快速、高精度與高重現度之工業規格標準。

近年來，智慧機器人領域的發展一日千里，已有許多新的突破，系統整合與服務創新，例如: 人形機器人的行走能力已經由靜態平衡延伸到動態平衡的研究,人形機器人走入人群似乎已經指日可待；具有手眼力合作的雙手臂系統，已被用來執行廚房，家庭事務或一般庶務工作；健康照護機器人已經可以抱起病患，並以味覺感測器感知病患的生理狀況，提出照護措施; 加上定位，導航與移動能力的提升，移動機器人越來越有可能成為智慧型自走裝置；人機互動的開發使得機器人可以具有表情，更為擬人化，具有高速視覺與聽覺能力，甚至機器人認知能力的開發，將來將使機器人能夠與人互動，能夠接受人發出之指令或對人之需要做出反應；仿生機器人，如 Boston 動力公司所研發的大狗（Big Dog）與小狗（Little Dog），已可在不同地型與地面上行走；以上種種技術的

開發，預期將使智慧機器人成為人的夥伴與幫手，協助人類社會之進步，成為二十一世紀可能是因應社會變遷與老年化問題之最重要技術發展。

規劃內容

本規劃子題為核心技術（Key Technologies），在這次的規劃工作中，根據學門之討論並參酌近幾年機器人核心技術之發展演變，草擬八個深具前景的研究層面做為規劃項目，分別由鄭銘揚教授、蔡清池教授、宋開泰教授、蘇國嵐教授、蘇仲鵬教授、李慶鴻教授，翁慶昌教授、王偉彥教授、李永勳教授、林沛群教授負責各個項目之規劃工作。

希望規劃之內容能夠做為學門智慧機器人相關研究學者之參考，在切磋觀摩之餘，能夠有效匯集研發能量，產生具影響力與突破性之研究成果。

分項子題 1：<u>影像伺服（Visual Servoing) ---鄭銘揚教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

影像伺服（或稱視覺伺服，Visual Servoing）一詞，根據維基百科的定義[1]，係指一種將視覺感測器（如攝影機）所偵測之訊號作為回授資訊來控制機器人運動之技術。換言之，視覺伺服技術整合了電腦視覺與伺服控制兩大領域。另外由於視覺感測器提供非接觸式且被動(即不須發射訊號）的量測方式，因此視覺伺服特別合適應用在危險或是在感測器無法裝設的場合，例如可能有放射線汙染的地方或軍事武器等。

視覺感測器相對於機器人而言，就好比眼睛之於人類，可提供對周遭環境最直接且完整的偵測資訊，特別有助於機器人對周遭環境的認知（Perception）。而近年來由於攝影機成本持續降低且解析度愈來愈高，使得視覺回授的使用愈方便、可靠。另一方面，因為電腦之計算能力愈來愈強大，使得以往電腦視覺為人所垢病之處理時間過久問題大為舒緩。以上種種因素均使得視覺伺服技術逐漸成熟，而其應用也日益寬廣。

執行視覺伺服所可能用到之影像處理與電腦視覺技術相當多，大體而言包含影像前處理、特徵擷取、攝影機校正及立體視覺等，另外尚需要執行物件偵測、追蹤甚至辨識等工作。至於在伺服控制方面，其性能受限於影像擷取卡（Image Grabber），導致視覺回授之取樣頻率通常少於 100Hz（以市售之影像擷取卡而言大都是 30Hz），因此在設計控制器時必須考慮視覺回授所可能造成之時間延遲問題。另一問題是引入視覺回授於伺服控制系統需使用座標變換，因此視覺伺服控制器的設計通常比一般機電整合系統之控制器設計更複雜。

就目前機器人之相關理論研究、應用以及產業規模而言，仍是歐美日等先進國家居於領先地位。然而為縮短差距，除國內學術界早已進行各項相關研究外，近年來國內產官研亦投入相當數量的人力與財力於機器人之發展。例如鴻海集團積極開發並使用機械手臂以提昇其自動化製造之能力[2]。另外財團法人研究機構如工業技術研究院及精密機械研究發展中心等亦分別致力開發先進工業用機器人。事實上政府亦十分瞭解發展先進機器人之必要性及重要性，近幾年之經濟部產業白皮書即指出產業用機器人系統之發展重點在於精密視覺導引模組技術[3]，以方便機器人進行各種生產自動化之操作。由上述分析可知，開發具有視覺伺服能力之機器人是國內機器人研究及產業的發展重點之一。

國內相關研究

在 Hutchinson, Hager 和 Corke 三位學者於 1996 年發表著名的論文“A Tutorial on Visual Servo Control”[4]之後，國內有關於視覺伺服之研究開始萌芽並逐漸蓬勃發展。以近幾年而言，每年均有相當數量的國科會專題研究計畫是與視覺伺服相關。此外國內舉辦之各項大型專題實作競賽（如教育部、東元及上銀等所主辦之競賽），亦可見許多參賽隊伍之作品使用視覺伺服技術。換言之，國內各大學院校對於視覺伺服的研究仍是方興未艾並且持續投入。至於在法人研究機構方面，近幾年亦積極進行具視覺伺服功能之機器人研發，較廣為人知的是工研院與交通大學胡竹生教授所合作開發之投籃機器人，結合立體視覺與視覺伺服技術，其在 3 公尺距離的投籃命中率達 100%，研究成果受到國內外矚目，甚至為 IEEE Spectrum’s Robotics Blog 所報導[5]。相較於國內學術界的熱衷投入，國內產業界在視覺伺服技術的開發相對落後。雖然東元及上銀這兩大企業均致力舉辦與機器人技術相關之專題實作競賽，然而這兩間公司尚未推出具備視覺伺服技術的工業用機器人。另外台達電子與鴻海集團旗下賜福科技雖亦積極開發工業用機器人，但亦尚未推出具備視覺伺服技術的產品。

國外相關研究

國外從事視覺伺服技術開發研究的學者與企業相當多。以學術界而言，早期有美國 Carnegie-Mellon 大學的 Kanade、Khosla 及 Papanikolopoulos 等教授（目前任教於 Minnesota 大學），美國 Purdue 大學的 Kak 教授，後來有美國 Illinois 大學的 Hutchinson 教授，美國 Pennsylvania 大學的 Hager 教授及澳洲 Queensland 科技大學的 Corke 教授、法國 INRIA Rennes-Bretagne Atlantique

的 Chaumette 博士，以及日本東北大學的 Hasimoto 教授等。而歐日產業界更是早有使用視覺伺服技術之相關產品問世，如著名之瑞士大廠 ABB 所推出之具視覺伺服技術的平行架構機械手臂（Delta Robot）極適合應用於快速包裝或組裝作業[6]；又如日本機器人知名大廠 Fanuc 所推出之 Robot *i* series 亦應用視覺伺服技術[7]，可快速抓取不同形狀的零組件。除了機器人及軍事科技外，視覺伺服技術在其他方面亦有許多應用，例如汽車及飛行器的視覺導航以及用於醫學之 Cyber Knife [8]之視覺導引模組均是相當熱門之研究課題。

參考文獻

[1] http://en.wikipedia.org/wiki/Visual_Servoing

[2] 萬寶週刊 726 期。

[3] 產業技術白皮書，經濟部技術處，2011。

[4] S. Hutchinson, G. D, Hager, and P. I. Corke, “A tutorial on Visual Servo Control,” IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 12, no. 5, pp. 651-670, Oct. 1996.

[5] http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/industrial-robots/ robot-seal-plays-basketball

[6] http://www.abb.com/product/seitp327/cf1b0a0847a71711c12573f40037d5cf.aspx?productLanguage=us&country=TW

[7] http://www.fanuc.co.jp/en/product/robot/index.html

[8] http://www.accuray.com

[9] P. I. Corke and S. A. Hutchinson “A New Partitioned Approach to Image-Based Visual Servo control,” IEEE Trans. Robotics and Automation, vol. 17, no. 4, pp. 507-515, 2001.

[10] E. Malis, F. Chaumette, and S. Boudet, “2-1/2-D Visual Servoing,” IEEE Trans. Robot. Automat., vol. 15, no. 2, pp. 238-250, Apr. 1999.

[11] F. Chaumette and S. Hutchinson, “Visual Servo Control Part I: Basic Approaches,” IEEE Robot. Automat. Mag., vol. 13, no. 4, pp. 82-90, Dec. 2006.

[12] F. Chaumette and S. Hutchinson, “Visual Servo Control Part II: Advanced Approaches,” IEEE Robot. Automat. Mag., vol. 14, no. 1, pp. 109-118, Mar. 2007.

[13] W. C. Chang, “Hybrid force and vision-based contour following of planar robots,” J. Intell. Robot Syst., vol. 47, pp. 215-237, 2006.

[14] R. Osypiuk and B. Finkemeyer, “Hybrid Model-based Force/position Control: Theory and Experimental Verification,” Robotica, vol. 24, pp. 775-783, Nov. 2006.

[15] J. Baeten and J. D. Schutter, “Hybrid Vision/force Control at Corners in Planar Robotic Contour Following,” IEEE Trans. Mechatron., vol. 7, pp. 143-151, June 2002.

[16] C. C. Cheah, S. P. Hou, Y. Zhao, and J. J. E. Slotine, “Adaptive vision and force tracking control for robots with constraint uncertainty,” IEEE Trans. Mechatron., vol. 15, no. 3, pp.389-399, June 2010.

[17] L. Deng, F. Janabi-Sharifi, and W. Wilson, “Hybrid Motion Control and Planning Strategies for Visual Servoing,” IEEE Trans on Industrial Electronics, vol. 52, no.4, pp 1024-1040, August 2005.

[18] Nicholas R. Gans, Member, IEEE, and Seth A. Hutchinson, “Stable Visual Servoing Through Hybrid Switched-System Control,” IEEE Trans. Robot., vol. 23, no. 3, pp. 530-540, June. 2007.

[19] V. Lippiello, B. Siciliano, and L. Villani, “Position-based Visual Servoing in Industrial Multirobot Cells using a Hybrid Camera Configuration,” IEEE Trans. Robot., vol. 23, no. 1, pp. 73-86, Feb. 2007.

[20] K. Kuhnlenz and M. Buss "On Sensor Switching Visual Servoing," International Journal of Optomechatronics, vol. 2, pp.233–256, 2008.
[21] N. J. Cowan and D. E. Chang, "Geometric Visual Servoing." IEEE Trans. Robotics, vol. 21, no. 6, pp. 1128-1138, 2005.
[22] R. T. Fomena and F. Chaumette, "Improvements on Visual Servoing from Spherical Targets Using a Spherical Projection Model," IEEE Trans. Robot., vol. 25, no. 4, pp.874-886, Feb 2009.
[23] R. T. Fomena, O. Tahri, and F. Chaumette, "Distance-Based and Orientation-Based Visual Servoing from Three Points," IEEE Trans. Robot., vol. 27, no. 2, pp.61-76, Feb 2011.
[24] J. Kwon and F. C. Park "Visual Tracking via Particle Filtering on the Affine Group," The International Journal of Robotics Research, vol.29, pp.198-217, 2010.

2.研究方向及具體建議

1996 年 Hutchinson, Hager 和 Corke 三人在他們著名的論文"A Tutorial on Visual Servo Control"[3]中將視覺伺服分為 Position-based Visual Servo 及 Image-based Visual Servo 兩種架構。若控制系統之致動器為伺服馬達，則依據伺服馬達驅動器是操作在速度模式或是轉矩模式，Position-based Visual Servo 及 Image-based Visual Servo 又可再細分為 Dynamic Look and Move 及 Direct Visual Servo 兩種方式。另外若根據攝影機所裝設的位置來區分，則可分類為 Eye in Hand 或 Fixed in Workspace （或稱 Eye to Hand）兩種。早期因視覺回授之取樣頻率低且未針對控制架構深入探討，大多數之實際應用均採取 Dynamic Look and Move 方式。然而隨著取樣頻率的提升且控制架構的精進，採取 Direct Visual Servo 的研究者有愈來愈多的趨勢。

一般而言，目前動態視覺追蹤系統仍多採用 Dynamic Look and Move 方式，亦即將伺服馬達驅動器設定在速度模式。主要原因是動態視覺追蹤系統成敗最關鍵的部份通常是電腦視覺技術中物件偵測、追蹤與辨識的精確性，而非控制架構。然而若針對工業用機器人而言，則視覺伺服技術考慮的重點將有所不同。主要原因是工業用機器人常用於生產線上之物件抓取或組裝，這些人造物件幾乎都是剛性體，其影像特徵較明顯，且光源條件亦較穩定且變化少。這些因素使得電腦視覺方面之影像前處理、特徵擷取、立體視覺及攝影機校正問題較易處理。因此針對工業用機器人的視覺伺服技術開發，其控制架構的設計及探討更為重要。

以 Position-based Visual Servo 和 Image-based Visual Servo 這兩種架構來進行比較，Position-based Visual Servo 的優點是其誤差訊號定義在笛卡兒直角座標系。換言之，控制器是定義在三維工作空間，十分合適直接用來控制帶動各軸運動的伺服馬達。然而 Position-based Visual Servo 之缺點是需要精確地校正攝影機，若攝影機校正不精確則將導致三維模型重建不精確，進而影響控制器性能。反觀 Image-based Visual Servo 的優點是其較不受攝影機校正精確度的影響，而且相關計算較簡單，不過缺點是其誤差訊號定義在影像平面。換言之，需要 Image Jacobian 將定義在影像平

面之速度轉換至定義在機器人工作空間之速度。然而若 Image Jacobian 是奇異（Singular）或是 Poor Conditioning 時，則會衍生控制問題[9]。事實上許多學者發現單只使用 Position-based Visual Servo 或 Image-based Visual Servo 其中一種架構並無法完全解決工業用機器人於生產線上所可能碰到的問題。因此 Malis, Chaumette 及 Boudet 於 1999 年提出整合上述兩種架構優點之 2-1/2-D 視覺伺服控制架構[10]，一般將之歸類為混合式架構（Hybrid Approach）。此外 Hutchinson 及 Corke 於 2001 年針對 Image-based Visual Servo 提出 Partitioned Approach[9]，企圖解決在 Image-based Visual Servo 架構中雖然影像平面上之軌跡合適，然而其對應之笛卡兒直角座標系軌跡卻可能極不合適之問題。另外為納入 1996 年"A Tutorial on Visual Servo Control"發表後至 2006 年之間視覺伺服技術新的進展，Chaumette 及 Hutchinson 於 2006 年及 2007 年發表"Visual servo control part I: basic approaches"[11]以及"Visual servo control part II: advanced approaches,"[12]兩篇論文，文中亦利用 Lyapunov 定理證明所探討之視覺伺服控制架構之穩定性。此外有些研究者嘗試分別將視覺訊號與系統之其他輸出訊號回授並整合控制，如視覺與力量、視覺與位置等[13-16]，這類控制架構一般亦稱之為混合式控制（Hybrid Control）。另有一些研究者探討在一控制問題中，針對 Position-based Visual Servo 及 Image-based Visual Servo 這兩種架構之間進行適當切換（Switching）[17,18]，此外也有學者針對同時使用（或切換使用）Eye in Hand 及 Eye to Hand 這兩種不同攝影機（或多攝影機）之視覺伺服控制架構進行探討[19,20]。另一個可能之研究方向是將視覺伺服控制推廣至其他座標系，如極座標系、圓柱座標系或球面座標系等[21-23]。主要之原因是目前視覺伺服架構大都針對三維笛卡兒直角座標系或是二維影像平面進行探討，然而在自走車視覺導航時所使用之全景攝影機（Catadioptric Camera）卻常需使用球面座標，針對這方面的深入探討研究有其必要。

綜上所述，底下為針對國內學術界在視覺伺服控制架構可能研究方向的建議。

(1) 利用 Lyapunov 理論探討所發展之視覺伺服控制架構之穩定性，如 Position- based Visual Servo、Image-based Visual Servo、2-1/2-D Visual Servo、Partitioned Approach、Hybrid Control、Switching Approach 及 Sensor Switching Visual Servo 等。

(2) 將視覺伺服控制推廣至其他座標系，如極座標系、圓柱座標系與球面座標系等。

(3) 如何在影像平面上對目標物件進行持續且穩定之追蹤為視覺伺服控制能否成功之一重要關鍵，可能的解決方法如 Multi Cue、Kalman Filter、Mean Shift、Particle Filter [24]以及 Hidden Markov Model 等。

(4) 將視覺伺服控制技術實現在工業用機器人如 6 軸機械手臂或 Delta Robot 等，提昇國內機器人相關產業之技術水平及競爭力。

分項子題 2：環境感測（Environmental Sensing and Perception)---蔡清池教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

智慧機器人要能自主（Autonomy）運行牽涉到許多技術，其中環境感測與感知（Environmental Sensing and Perception）尤其重要，唯有能夠認知、瞭解環境，才能使機器人真正自主行動，否則機器人在執行任務時將被侷限在小範圍移動或直線方向行進等較單純的工作上。環境感測泛指移動機器人使用適當的感測器對其所處的環境，進行所需的量測與感知；其感知的目的是從原始的量測訊號進行特徵萃取後，或作初步的幾何形狀識別，或作進階的景物理解與重建，或作環境內容的認知。通常移動機器人利用許不同功能之主動式被動式外部感測器，擷取環境資訊，進行環境感知與認知。主動式外部感測（如超音波，雷射掃描器，Kinect，主動式光學元件 SR4000 等）提供主動能量，執行主動探測環境，而被動式外部感測器（如觸覺感測器，味道感測器，CCD 與 CMOS 攝影機等）接收來自環境的能量或者分子擴散概況，轉換成環境資訊。目前環境感知之最主要的應用是地圖建立，定位，環境探索，環境的認知、路徑規畫，自主防碰撞，行為決策，機器人視覺、聽覺、觸覺，味覺等功能[1-13]。

新型感測器與其感知技術的研究已被國內研究機構或政府單位列為智慧型機器人環境感測之關鍵核心技術之一。新型感測器的研發部不但需考慮其技術，功能，感測特性，而且須考慮其價格。新型感知技術常伴隨新型感測器而生，亦可形成新而有用的研發主題。除了研發新型感測器或對感測器進行性能改善外，在未來感測器將會朝向整合化、微型化、模組化等方向發展。藉由開發、改善與整合感測器，並進行模組化及微型化之研究改進，提供更完整的環境資料擷取能力，以及方便安裝的小型模組化規格，以因應目前小型、自動化的機器平台發展，這對於未來完成行動敏捷與高效能自主移動的機器人是非常重要的一環。

參考文獻

[1] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, ”Introduction to Autonomous Mobile Robots”, The MIT Press, 2004.

[2] J. Borenstein, H.R. Everett, and L. Feng, Navigating Mobile Robots : Systems and Techniques, A K Peters Wellesley, Massachusetts, 1996.

[3] C. C. Tsai, “A localization system of a mobile robot by fusing dead-reckoning and ultrasonic measurements,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Vol. 47, pp. 1399-1404, Oct. 1998.

[4] K. T. Song and W. H. Tang,” Environment perception for a mobile robot using double ultrasonic sensors and a CCD camera,” IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 43, pp.372-379, June 1996.

[5] N. Ganganath and H. Leung, “Mobile Robot Localization Using Odometry and Kinect Sensor.” IEEE Int. Conf. ESPA, pp. 91 –94, 2012

[6] J. Brezmes, M. Fructuoso, L.L. Ma., E. Llobet, X. Vilanova, , I. Recasens, J. Orts, , G.. Saiz, and X. Correig, ” Evaluation of an electronic nose to assess fruit ripeness,” IEEE on Sensors Journal ,Vol. 5, pp. 97-108, Feb. 2005.

[7] V.S. Kodogiannis, J.N. Lygouras, A. Tarczynski, , and H.S. Chowdrey, ,” Artificial Odor Discrimination System Using Electronic Nose and Neural Networks for the Identification of Urinary Tract Infection,” IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, Vol. 12, pp.707-713, Nov. 2008 .

[8] G.M. Krishna, and K. Rajanna, ,” Tactile sensor based on piezoelectric resonance,” IEEE on Sensors Journal, Vol. 4, pp.691-697, Oct. 2004.

[9] L. M. Koo, K. Jung, J. C. Koo, J. D. Nam, Y. K. Lee,and H. R. Choi, “Development of Soft-Actuator-Based Wearable Tactile Display,” IEEE Transactions on Robotics , Vol. 24, pp.549-558, June 2008.

[10] H.S. Sahambi, and K. Khorasani, ,” A neural-network appearance-based 3-D object recognition using independent component analysis,” IEEE Transactions on Neural Networks, Vol. 14, pp.138-149, Jan. 2003.

[11] S.A.C. Schuckers, N.A. Schmid, A. Abhyankar, V. Dorairaj, C.K. Boyce, and L.A. Hornak ,” On Techniques for Angle Compensation in Nonideal Iris Recognition,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 37, pp.1176-1190, Oct. 2007.

[12] J. Gaspar, , N. Winters, and J. Santos-Victor, “ Vision-based navigation and environmental representations with an omnidirectional camera,” IEEE Transactions on Robotics and Automation, Vol. 16, pp.890-898, Dec. 2000.

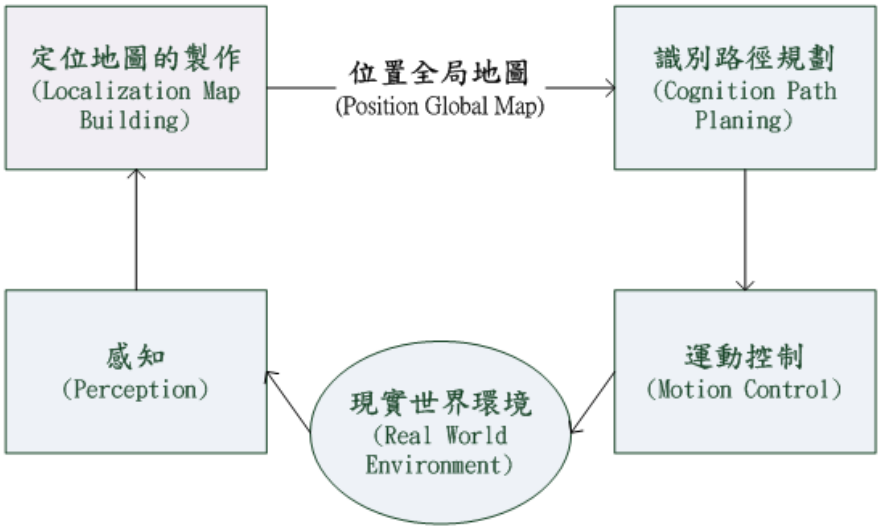
[13] C. M. Lee and S.S. Narayanan, ,” Toward detecting emotions in spoken dialogs,” IEEE Transactions on Speech and Audio Processing, Vol. 13, pp.293-303, March 2005.

[14] H. H. Lin and C. C. Tsai, “Ultrasonic Localization and Pose Tracking of an Autonomous Mobile Robot via Fuzzy Adaptive Extended Information Filtering,” IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol.57, no.9, pp.2024-2034,2008.

2. 研究方向及具體建議

(1) 同時地圖建立與定位

圖 2 為含環境感測，定位與地圖建立，環境認知，路徑規畫與運動控制之自主移動式機器人導航控制結構圖。在導航，定位與地圖建立的研究範疇之內，同時地圖建立與定位（Simultaneous Localization and Mapping） 系統是一自 2000 以來熱門的研究主題，其常用的外部感測器有一或二維雷射掃描器，單或多台攝影機，多超音波感測器結構等等，而常用於同時地圖建立與定位的訊號處理法則是蒙地卡羅法（Monte Carlo method）、馬可夫鏈（Markov Chain），增廣卡爾曼濾波器（extended Kalman Filtering），信息濾波器（Information Filtering），粒子濾波器（Particle Filter），或其它結合模糊邏輯之非線性濾波法則等。就技術的發展而言，以上的問題仍有研發空間，尤其是伴隨感測器與感知處理法則之功能改善與創新。較有展望的感測器主題有全方位攝影機，高速 3D 的雷射掃描器，高速高解析度的雙攝影機，低價的 Kinect 感測器，以及結合可變頻率，定頻率與人工智慧的超音波感測器。另外，低價高性能的新型感測器，如雷射感測器、光學式立體視覺感測系統與功能更強的超音波感測器[14]，亦是兼具學術與實用價值的研究方向。



圖三、 自主移動式機器人導航控制結構圖

(2) 強健的環境辨識

智慧機器人在較不受約束的環境中運作，必要具有強健的（Robust）感知功能，以應付環境變化，進而順利完成導航任務以及使用者在與環境間之互動，或者提供操作者了解機器人行為、工作及目前狀態。強健的（Robust）感知功能可運用多重感測融合，模糊技術，EKF 與 UKF 融合，訊號處理等技術達成之。

(3) 觸覺（電子皮膚）

在日常生活中我們透過電腦的視覺與聽覺功能取得大部分資訊,但其實人體上分佈最廣的感覺是觸覺,如何完整利用這種被忽略的感覺是非常重要的。電子皮膚能為視覺受損者提供一種通訊方法，功能就類似盲人點字一樣，它也能當成一種觸覺顯示織物、虛擬實境鍵盤使用、遠距外科手術手套、遠距觸覺傳送系統等使用。目前國內外對於電子皮膚的研究，大部分都還是針對材料與感測[8]，像是韓國研究的觸覺顯示器[9]，只有 OK 繃的大小，這種新顯示器較柔軟且具有彈性，足以包覆人體任何部位，例如指尖、手掌或手臂。目前的電子皮膚已部分實際應用在機器人上。目前有趣的研究主題是利用電子皮膚達到類似人類的痛覺，讓行動機器人能更接近真實的人類。

(4) 嗅覺（電子鼻）

人類的嗅覺可能會因心身對化學物質的反應，導致的個別差異，產生不同的判斷，例如同一塊蛋糕，甲試驗者也許用鼻子聞過會判斷為有點甜，但是乙試驗者也許會判斷為非常甜，藉由電子鼻避免個人感官造成的判斷誤差，尤其是電子鼻所展現的氣味剖析圖，更是氣味品鑑師或氣體色譜分析儀與質譜儀量測技術等所望塵莫及的，在實際上除了可做為品酒或咖啡等用途，還可以做為瓦斯或有毒氣體的安全偵測系統。電子鼻識別氣味的主要原理是在陣列中的每個感測器對被測氣體都有不同的靈敏度，例如一號氣體可在某個感測器上產生高回應，而對其他感測器則是低回應，同樣，

二號氣體產生高響應的感測器對一號氣體則不敏感，歸根結底，整個感測器陣列對不同氣體的回應圖案是不同的，正是這種區別，才使系統能根據感測器的回應圖案來識別氣味。

目前電子鼻的實際應用有偵測水果是否成熟[6]，在醫學方面可利用電子鼻追蹤疾病[7]，而現今台灣對於電子鼻的研究與應用屬於正在起步的階段,目前還已有將電子鼻實際應用在行動機器人之實例，因此未來將朝向將電子鼻實際應用在健康照護服務與救難行動機器人之研究。

(5) 3D 環境探索與重建技術

為能在動態的 3D 環境中運作，需運用 Kinect，主動式雷射，SR4000，多眼立體攝影機系統等外部感測元件，主動偵測出環境的情況，然後該量測訊號重建該 3D 環境模型，並發展在環境中順暢及安全地移動的 3D 路徑規畫，進而達成 3D 導航的功能。

(6) 環境認知

研究對感知、智能、語言、計算、推理甚至意識等諸多現象和模型化認知系統，進而獲得可以在未來行動中使用的環境的新模型與理解，進而使智慧移動機器人更容易適應新環境。

分項子題 3：<u>人機互動（Human-Robot Interaction)---宋開泰教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

人機互動（Human-Robot Interaction, HRI）研究領域指的是了解、設計以及評估一套可以讓人類來使用的機器人系統介面[1]。因此人機互動技術在設計上的重點是放在人這方面，在設計時必須將人的需求作為優先考量。如何讓人能夠更簡易、更友善的操作機器人，這些都是在設計過程當中所必須要注意的。而所謂的人機互動，根據字義上可以視為是人與機器人的溝通，互動技術則是包括人與機器人進行物理上的接觸、情感上的互動以及認知上的互動等。近年來，隨著科技的進步與需求，有越來越多的機器人進入到人類的生活當中，因此人與機器人實際接觸到的機會也越來越多，因此便產生了許多相關的研究，包括了人與機器人的安全互動、協同合作以及醫療看護等議題[2]。例如 Iwata 等人所設計的 WENDY 機器人[3]，WENDY 在兩隻機械手臂上均覆蓋了大面積的觸覺感測器，因此能夠透過觸覺來與人進行互動。Minato 等人甚至更進一步開發了一部全身均覆蓋了觸覺感測器的人型機器人[4]，該研究團隊希望能夠透過這樣的觸覺資訊來讓機器人能夠感測自己的動作。而在醫療看護議題上，Paro[5]是相當具有代表性的機器人之一。Paro 能夠根據觸覺感測器的資訊，並透過人工智慧的技術，根據觸摸方式的不同而有不同的反應，因此能夠透過讓人類撫摸來達到撫慰老人心靈的效果。另外 RI-MAN 能夠將病患用雙手機械手臂抱起[6]，用來協助護理人員搬運病患，減輕護理人員的工作量。另一方面，HRI 系統的性能目前仍然欠缺一套能被研

究者所接受的評估方法，而心理生理學量測（Psychophysiology Measurements）在 HRI 方面的應用則可能是一個契機[7-10]，利用腦波、肌電訊號、皮膚電流、心跳或是呼吸等生理訊號量測方法來評估 HRI 系統的性能，讓設計者能夠知道 HRI 系統是否適合使用，以及未來可以改進的部分。

參考文獻

[1] M.A. Goodrich and A.C. Schultz, "Human-robot interaction: a survey," Foundations and Trends in Human-Computer Interaction, vol.1, issue 3, 2007, pp.203-275.

[2] B. D. Argall and A. G. Billard, "A survey of Tactile Human-Robot Interactions," Robotics and Autonomous Systems, vol. 58, issue 10, 2010, pp.1159-1176.

[3] H. Iwata and S. Sugano, "Humanrobot-contact-state identification based on tactile recognition,"IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol.52, no.6, 2005,pp.1468-1477.

[4] T. Minato, Y. Yoshikawa, T. Noda, S. Ikemoto, H. Ishiguro and M. Asada, "CB2: a child robot with biomimetic body for cognitive developmental robotics," in Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems, California, USA, Nov. 29-Dec. 1, 2007, pp.557-562.

[5] K. Wada and T. Shibata, "Social effects of robot therapy in a care house - change of social network of the residents for two months," in Proceedings of the IEEEInternational Conference on Robotics and Automation, Roma, Italy, 10-14, April, 2007, pp.1250-1255.

[6] T. Mukai, M. Onishi, T. Odashima, S. Hirano and Z. Luo, "Development of the tactilesensor system of a human-interactive robot RI-MAN,"IEEE Transactions onRobotics, vol. 24, issue2, 2008, pp.505-512.

[7] P. Rani, N. Sarkar, C. A. Smith, and L. D. Kirby, "Anxiety detectingrobotic system - towards implicit human-robot collaboration,"Robotica,vol. 22, issue 1, 2004, pp. 85 - 95.

[8] K. Itoh, H. Miwa, Y. Nukariya, M. Zecca, H. Takanobu, S. Roccella,M. C. Carrozza, P. Dario and T. Atsuo, "Development of a BioinstrumentationSystem in the Interaction between a Human and aRobot," in Proceedings of International Conference of Intelligent Robots and Systems,Beijing, China, 9-15, Oct., 2006, pp.2620-2625.

[9] D. Kulic and E. Croft, "Physiological and subjective responses toarticulated robot motion,"Robotica, vol. 25, issue 1, 2007, pp.13-27.

[10] C. Liu, P. Rani and N. Sarkar, "Affective State Recognition andAdaptation in Human-Robot Interaction: A Design Approach," inProceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems, Beijing,China, 9-15, Oct., 2006, pp. 3099-3106.

2. 研究方向及具體建議

以下我們規劃出幾個在 HRI 這領域中未來可能的研究方向與具體建議：

(1) 機器人觸覺系統

讓機器人具有觸覺對於 HRI 來說也是相當重要的一環，特別是在安全互動、協同合作以及醫療看護等領域上特別需要此一技術。因此開發大面積的機器人觸覺系統，而不是只有特定幾個部位。並且能夠降低價格、提高精度與可靠度，這將使得上述幾項應用能夠更為完整與實用。

(2) 自然語言溝通

語音辨識技術在 HRI 中一直扮演重要的角色，但是目前大多數仍然是辨識出語句中的關鍵字來做為機器人的指令，而不是類似像人與人間利用語意的方式。因此開發自然語言溝通技術，使得機器人能夠進行語意辨識，這將使得人與機器人間的互動更為自然，更能夠貼近一般人類的互動方式。

(3) 互動行為學習

讓機器人具有學習的能力一直是機器人研究領域的目標，特別是在 HRI 這方面。因為在人與機器互動的過程中，人會希望機器人能夠有的反應在大多時候都是會超出設計者的預期。因此開發具有互動行為學習能力的 HRI 系統，將能夠使得互動過程不必侷限於設計者的考量，而是能夠根據學習的過程來達到更為自然的目的。

(4) 人類行為意圖辨識

針對在未來可能會有更多一般的使用者，例如是過去從未接觸過機器人的使用者而言，會因為不熟悉操作方式而無法使用機器人。因此開發具有感測人類意圖的技術將使得機器人能夠根據人類的行為意圖而不是固定的行為指令來進行互動，讓人與機器人間的互動反應更為自然。

(5) 安全互動

在未來會有越來越多的機器人被應用到人類的生活當中，因此當人與機器人在進行互動時，安全就成為了一個重要的議題。因此開發能夠讓機器人在運作時具備避免與人類發生碰撞的技術，將能夠使得將機器人應用於實際生活中能夠被更為接受，也能夠保護人類同時也能夠保護機器人本身。

(6) HRI 評測方法

目前多數的關於 HRI 方面的研究都還沒有適合的方法來評測系統的性能。因此開發 HRI 評測的方法將能夠幫助未來 HRI 的研究能有準則能夠依循，並能夠根據評測結果來設計開發或是改進系統。

分項子題 4：<u>感測器融合（Sensor Fusion)---蘇國嵐教授、蘇仲鵬教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

透過多重感測融合技術，將感測資料做最佳的組合，使得到準確有用的信號或資訊，做為控制決策的參考信號，是一項非常重要的課題。特別是，當智慧型機器人系統已經廣泛的應用於工廠自動化、醫院自動化、博物館及各種展覽之導覽、外科手術輔助系統、太空探險、軍事應用、搜尋救災、家庭服務、辦公室服務、娛樂用途的玩具、甚至替人類執行危險任務：例如拆炸彈、檢查核反

應爐、水底探勘等等，更需要透過多重感測融合的技術，來增加機器人運動的自主性（Autonomy）、以及面對複雜不確定環境的感知能力，包括虛擬環境地圖的建立、自我定位，與可行路徑的規劃等[1][2]； 此外，也可經由感測資訊的融合，提升執行特定任務的辨識與判斷能力。未來的日子裡智慧型機器人在我們日常生活中將扮演越來越重要的角色，提供更多的服務功能，特別是當運用感測器融合技術，將使機器人更具智慧，可以協助人類進行更多樣的服務。

典型的感測融合技術通常從實體信號層到抽象的決策層，可概分成幾個層次的融合：信號層、像素層、特徵層、符號層或稱決策層等，融合理論往往基於「加權平均」、「卡曼濾波（Kalman Filter）原理」、「粒子濾波（Particle Filter）原理」、「貝氏估測（Bayesian Estimation）理論」、「統計決策理論」、與「模糊類神經網路」等。特別是，在多重感測融合理論中如何對目標物作驗証，提高其可信度是很多學者研究的方向，一般可以分為三種，分別為低階融合（Low Level Fusion）、中階融合（Medium Level Fusion）和高階融合（High Level Fusion），每一類階皆含有多種不同之理論應用，當然也可以融合不同階之理論於一系統中使用，所以其應用方式具有很大之彈性。

參考文獻

[1] 林詩頎，利用多重感測融合理論於智慧型自主式移動機器人同時定位及地圖建立。（98）國立中正大學光機電整合工程研究所碩士論文。

[2] 洪郁達，應用多重感測器融合方法於自主性移動機器人運動規劃系統之研究。（98）國立中正大學光機電整合工程研究所碩士論文。

[3] P. Jensfelt and S. Kristensen, “Active global localization for a mobile robot using multiple hypothesis tracking”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, vol. 17, pp. 748-760, 2001.

[4] U. Larsson, J. Forsberg, and A. Wernersson, “Mobile robot localization: Integrating measurements from a time-of-flight laser”, *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 43, pp. 422-431, 1996.

[5] S. Decker, H. Gander, M. Vincze, and J. P. Prenninger, “Dynamic measurement of position and orientation of robots”, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, vol. 41, pp. 897-901, 1992.

[6] Kuo L. Su Chia J. Wu and Jr H. Guo, “Development of a Trajectory Planning Method Using Cubic Bezier Curve for Mobile Robot,” International Forum on System and Mechatronics, Tainan, Taiwan, December 3-6, 2007, pp.281-287.

[7] Ren C. Luo, Kuo L. Su and Chi W. Deng “Multisensor Based Power Supply Diagnosis System for Intelligent Security Robot,” IEEE International Conference on Industrial Electronic, Control, and Instrumentation （IECON’2003）, pp.2500-2506.

[8] Kuo L. Su Jyh H. Tzou and Chien C. Liu, “Development of a Multisensor-Based Residual Power Prediction System for Mobile Robots,” IEEE Workshop on Advanced Robotics and its Social Impacts 2007 （ARSO '07）, Hsinchu, Taiwan, December 9-11, 2007, pp.114-119.

[9] Ren C. Luo, Kuo L. Su**,** “Multilevel Multisensor Based Intelligent Recharging System for Mobile Robot,” IEEE Transaction on Industry Electronic. Vol.55, No.1, January, 2008, pp.270-279.

[10] Ren-C. Luo, Sheng-Ven Shiau, Kuo-Lan Su and Chin-Chi Hsiao, “Development of a Power Detection Module for the Intelligent Home,” The Intelligent Building and Smart Home Conference,

Nov. 18-20, 2009. pp. 197-200.

2.研究方向及具體建議

就智慧型機器人結合多重感測融合理論之未來發展，大致可分為下列幾項：

(1) 智慧型機器人環境偵測及自動避障系統

智慧型機器人可以結合各種不同之感測器模組，經由融合理論之運算，除去不準確及誤差較大之量測信號，以獲得準確之量測值，一般使用之量測裝置可為紅外線、超音波、雷射測距儀、各式定位系統及影像辨識系統[3-6]。

(2) 智慧型機器人影像辨識及互動系統

結合單一或多組影像辨識系統之資料融合判斷，可以得到正確之環境資料，也可以促使智慧型機器人執行正確之行為動作，除此之外對於人物和姿態之辨識，以完成和人之間的互動，以增加機器人之娛樂性。

(3) 智慧型機器人自我偵測及診斷系統

然而在智慧型機器人的研究領域大部份都忽略了自走式機器人之自我偵測及診斷功能，其中包含內部所有硬體裝置是否正常，以及各種信號量測值之正確性，並判斷和預估使用之壽命和時間，所以導入融合理論為必要之程序，比如以智慧型機器人之電力偵測、剩餘電力預估和自動充電功能為例。然而在這分秒必爭的時代中，假若能讓機器人擁有一套功能具備自動充電系統，機器人於空餘時間能安全的進行自我電力偵測，以及在弱電時能夠自行完成充電，可說是智慧型機器人於長期工作下之重大的訴求，因此對於自動充電的性能與需求是不可忽略[7-10]。

(4) 感測器網路之建立

感測器網絡系統通常包括感測器節點（sensor node）、匯聚節點（sink node）和管理節點。大量感測器節點隨機部署在監測區域（sensor field）內部或附近，能夠透過自組方式構成網絡，其中機器人為優異之主動式感測器節點。感測器節點監測的數據沿著其他感測器節點逐跳的進行傳輸，在傳輸過程中監測數據可能被多個節點處理，經過多跳路由到匯聚節點。用戶通過管理節點對感測器網絡進行配置和管理，發佈監測任務以及收集監測數據。在此可以經由多重融合理論來獲得較為準確之監測數據。

(5) 智慧型優資生活空間

遠雄集團也推出二代住宅之計畫，並預定於固定式之保全模組中結合智慧型機器人系統。在未

來智慧型科技發展中，機器人若以群體而相互合作，來取代單一智慧型機器人，以補足單一機器人在執行家庭保全時所遺漏的死角，以群體而相互合作的機器人，結合融合理論之整合決策，可以同時追蹤多個可疑目標；這些應用使的智慧型機器人融入我們的日常生活中，節省了不少人力。

分項子題 5：<u>運動控制（Motion Control)---李慶鴻教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

機器人與自動化領域是二十一世紀極具潛力之產業，自機器手臂（Robot Manipulator）技術發展開始，在 1980 年代機器手臂已經成功的應用在如汽車、製造等產業，在許多工業組裝、焊接、噴漆、進料等繁重或危險之工作，皆能以機器手臂或移動機器人（Mobile Robot）取代[1, 2]。在此，舉凡機械手臂或移動機器人系統進行路徑規劃及控制其運動行進軌跡，其相關之研究與技術開發均可視為運動控制（Motion Control）之範疇。近年來在自動化與機器人應用上，利用智慧型系統與控制已有許多的討論與成果，透過適應性、具學習能力、穩健特性之控制器設計，達到追蹤控制（tracking）之目的。

如上述，智慧型自動化與機器人領域可大致分為具行動載具特性之移動機器人與工業機器人（Industrial Robot），兩系統之發展與控制中均希望控制器設計具備學習功能、穩健特性與適應性等技術，以解決機器人系統之建模誤差、外界干擾、感測器誤差與參數變動（或不確定性）造成性能不佳或系統不穩定之現象，進而提高系統之穩健性與性能達到快速、精確之效能。

在移動機器人之運動控制方面，常使用之數學模型從三階的簡單模型至具致動器特性之五階模型[3-12]，進而至全向輪機器人（Omni-directional Mobile）與串接式（Chained Form）之機器人模型均被提出[13-15]。在控制器設計上，基於運動控制之追蹤控制器設計，由早期的利用線性簡化模型提出之線性狀態控制、LQR 控制器設計，兩者之追蹤控制器均在機器人速度不為零的限制下提出[3]。非線性系統理論如基於 Barbalat Lemma 之遞迴步階（Backstepping）、模糊控制、滑動模式控制、適應性類神經網路控制、非線性時變控制器…等也被提出並驗證[5-7, 9-12, 16]。此外，藉由多種感測裝置感知外在環境的障礙物分佈，並完成線上路徑規劃與避障也是移動機器人追蹤控制之相關應用[17]。

在機械手臂或工業機器人控制方面，由機器手臂之馬達控制、運動學分析（Kinematics）、動態分析（Dynamics），及各式控制系統之設計，配合感測器之安裝與校正，使得機器手臂之運作達到符合工業規格之標準。在工業自動化需求上，過去常使用點對點之程序控制（Process Control），

然近年來三軸、五軸至六軸機器關節形機器手臂已被廣泛的應用在工廠自動化、物件裝卸、拋光、切削、研磨…等（其中尤以六軸關節形機械手臂之功能最具彈性），然而其控制問題涉及運動學、動力學與控制理論，因此基於機器手臂之動態運動控制有其迫切之必要性。近年來從兩軸機械手臂之線性時變控制器、PID 控制器、適應控制器，發展至不需速度項之適應控制與基於估測器之適應控制器設計[18-21]；此外，亦有利用順滑模式控制器提供穩健之控制特性與模糊邏輯控制、或透過類神經網路之函數近似能力解決系統不確定性問題[22-26]。

參考文獻

[1] R. Miller, Fundamentals of Industrial Robots and Robotics, PWS-Kent, 1988.

[2] Executive Summary of World Robotics 2011- Industrial Robots, http://www.worldrobotics.org/uploads/media/2011_Executive_Summary.pdf

[3] T. C. Lee, K. T. Song, C. H. Lee and C. C. Teng, "Tracking control of unicycle-modeled mobile robots using a saturation feedback controller, " IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., Vol. 9, No. 2, pp. 305-318, 2001.

[4] C. C. Tsai, H.C. Huang, S. C. Lin, and W. L. Luo, "Adaptive neural networkcontrol of a Self-balancing Two-wheeled Scooter," IEEE Trans. Ind. Electron., VOL. 57, NO. 4, pp. 1420-1428, 2010.

[5] C. H. Lee, T. C. Lee, and C. C. Teng, "Tracking Control of Mobile Robots without Constraint on Velocities," IEICE Trans. on Fund. of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol. E84-A, No. 9, pp.2288-2295, 2001.

[6] C. L. Hwang, L. J. Chang, and Y. S. Yu, "Network-based fuzzy decentralized sliding-mode control for car-like mobile robots," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 54, no. 1, pp. 574-585, 2007.

[7] T. C. Lee, C. Y. Tsai, and K. T. Song, "Fast parking control of mobile robots: a motion planning approach with experimental validation," IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., vol. 12, no. 5, pp. 661-676, 2004.

[8] T. Das, I. N. Kar, and S. Chaudhury, "Simple neuron-based adaptive controller for a nonholonomic mobile robot including actuator dynamics," Neurocomputing, vol. 69, no. 16-18, pp. 2140-2151, 2006.

[9] K. D. Do, Z. P. Jiang, and J. Pan, "Simultaneous tracking and stabilization of mobile robots: An adaptive approach," IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 49, pp. 1147-1152, 2004.

[10] D. Chwa, "Sliding-mode tracking control of nonholonomic wheeled mobile robots in polar coordinates," IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., Vol. 12, pp. 637-644, 2004.

[11] R. J. Wai, and C. M. Liu, "Design of dynamic petri recurrent fuzzy neural network and its application to path-tracking control of nonholonomic mobile robot," IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 7, pp. 2667-2683, 2009.

[12] T.-H. S. Li, S. J. Chang, and Y. X. Chen, "Implementation of human-like driving skills by autonomous fuzzy behavior control on an FPGA-based car-like mobile robot," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 50, no. 5, pp. 867-880, 2003.

[13] H. C. Huang and C. C. Tsai, "Adaptive robust control of an omnidirectional mobile platform for autonomous service robots in polar coordinates," Robotics and Autonomous Systems, vol. 57, no. 4, pp. 439-460, Apr. 2008.

[14] C. C. Wong, Y. H. Lin, S. A. Lee, and C. H. Tsai, "GA-based fuzzy system design in FPGA for an omni-directional mobile robot," Journal of Intelligent and Robotic Systems, vol. 44, no. 4, pp. 327-347, Dec. 2005.

[15] Z. P. Jiang and H. Nijmeijer, “A recursive technique for tracking control of nonholomomic systems in chained form,” IEEE Trans. on Automatic Control, Vol. 44, pp. 265-279, 1999.

[16] G. Antonelli, S. Chiaverini, and G. Fusco, “A fuzzy-logic-based approach for mobile robot path tracking,” IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 15, no. 2, pp. 211-221, 2007.

[17] S. Y. Oh, J. H. Lee, and D. H. Choi, “A new reinforcement learning vehicle control architecture for vision-based road following,” IEEE. Trans. Vehicular Technol., vol. 49, no. 3, pp. 997-1005, 2000.

[18] 施慶隆.李文猶，機電整合控制-多軸運動設計與應用（第二版），2009.

[19] F. Sun, Z. Sun, and P. Y. Woo, “Neural network-based adaptive controller design of robotic manipulators with an observer,” IEEE Trans. Neural Netw., vol. 12, no. 1, pp. 54-67, 2001.

[20] J. Moreno-Valenzuela, V. Santibáñez, E. Orozco-Manríquez, and L. González-Hernández, “Theory and experiments of global adaptive output feedback tracking control of manipulators,” IET Control Theory Appl., Vol. 4, No. 9, pp. 1639-1654, 2010.

[21] N.V.Q. Hung, H. D. Tuan, T. Narikiyo, and P. Apkarian, “Adaptive control for nonlinearly parameterized uncertainties in robot manipulators,” IEEE Trans. Contr. Syst. Technol., Vol. 16, No. 3, 458-468, 2008.

[22] L. M. Capisani, A. Ferrara, A. Ferreira, and L. M. Fridman, “Manipulator fault diagnosis via higher order sliding-mode observers,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 59, No. 10, pp. 3979-3986, 2012.

[23] M. Jin, J. Lee, P. H. Chang, and Chintae Choi, “Practical nonsingular terminal sliding-mode control of robot manipulators for high-accuracy tracking control,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 9, pp. 3593-3601, 2009.

[24] L. M. Capisani and A. Ferrara, “Trajectory planning and second-order sliding mode motion/interaction control for robot manipulators in unknown environments,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 59, No. 8, pp. 3189-3198, 2012.

[25] J. L. Meza, V. Santibáñez, R. Soto, and M. A. Llama, “Fuzzy self-tuning PID semiglobal regulator for robot manipulators,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 59, No. 6, pp. 2709-2717, 2012.

[26] C. C. Cheng S. H. Chien, and F. C. Shih, “Design of robust adaptive variable structure tracking controllers with application to rigid robot manipulators,” IET Control Theory Appl., Vol. 4, Iss. 9, pp. 1655-1664, 2010.

[27] S.I. Han and J.M. Lee, “Friction and uncertainty compensation of robot manipulator using optimal recurrent cerebellar model articulation controller and elasto-plastic friction observer,” IET Control Theory Appl., Vol. 5, Iss. 18, pp. 2120–2141, 2011.

[28] J . Swevwes, W. Verdoncj, and J. D. Schutter, “Dynamic Model Identification for Industrial Robots,” IEEE Control Systems Magazine, Vol. 27, Iss., 5, pp. 58-71, 2007.

[29] J. Becedas, I. Payo, and V. Feliu, “Two-flexible-fingers gripper force feedback control system for its application as end effector on a 6-DOF manipulator,” IEEE Trans. on Robotics, Vol. 27, No. 3, pp. 599-615, 2011.

[30] R. J. Wai and Z. W. Yang, “Adaptive fuzzy neural network control design via a T–S fuzzy model for a robot manipulator including actuator dynamics,” IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, part-B, Vol. 38, No. 5, pp. 1326-1346, 2008.

[31] D. Brambilla, L. M. Capisani, A. Ferrara, and P. Pisu, “Fault detection for robot manipulators via second-order sliding modes,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 55, No. 11, pp. 3954-3963, 2008.

[32] M. Ruderman, F. Hoffmann, and T. Bertram, “Modeling and identification of elastic robot joints with hysteresis and backlash,” IEEE Trans. Ind. Electron., Vol. 56, No. 10, pp. 3840-3857, 2009.

[33] S.H. Park and S.I. Han, “Robust-tracking control for robot manipulator with deadzone and friction using backstepping and RFNN controller,” IET Control Theory Appl., Vol. 5, Iss. 12, pp. 1397-1417, 2011.

2. 研究方向及具體建議

無論是移動機器人或是多軸機械手臂之控制均需建立完整之數學模型，提供分析與模擬，因此以提供控制器設計與硬體實現之完整資訊。建議研究方面包含如下[27-33]：

(1) 機械手臂核心均為馬達控制，手臂關節存在摩擦力影響，因此需要估測摩擦力並建立摩擦力模型，在控制器設計中需克服各軸關節中的摩擦力，進而提高控制性能

(2) 討論馬達致動器的動態特性與相關控制

(3) 移動機器人於高速行進間轉彎側滑力模型建立與相關控制

(4) 多數文獻均假設系統滿足線性參數特性，未來可探討非線性參數及其影響

(5) 機械手臂末端之力回饋控制

(6) 機械手臂系統的故障偵測與控制，在個別馬達故障時仍可完成規劃之工作

(7) 探討系統齒輪比之間的間隙或遲滯的問題與補償控制器設計

(8) 基於狀態估測器之學習控制器設計

分項子題 6：<u>人形機器人技術（Humanoid Robot Technology)---翁慶昌教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

在各式各樣的機器人中，人形機器人的雙足移動能力與人形外觀的親和力是其他機器人無法取代的特性。移動能力方面，雖然足形移動方式的極速不像輪形的移動方式那麼快，然而在一般的自然環境中如土壤鬆軟區，卻是足形機構較容易到達但是輪形及履帶形車輛卻是不容易穿越的區域。除此之外，在一般的居家環境中，雙足人形機器人能夠適合於所有依照人類所設計的環境，而輪形機器人卻不一定能完全適合。另外一個人形機器人的優勢則是因為其特有的人形外形會讓人類覺得容易親近而不僅是一台冷冰冰的機器，這點對於人類接受機器人的意願有相當大的幫助。也正因為如此，如何在面對人類五花八門的互動下還能成功的表現出具智慧的互動力就變得相當有挑戰性。因此，雙足的移動特性與擬人的親和特性是人形機器人最大的優勢也是最困難的技術點。

目前已經有幾個相當知名的人形機器人成果，包含 Honda Asimo[1]、Sony QRIO[3]、Toyota Partner Robot[4]以及日本產業技術綜合研究所（AIST）、川田工業（Kawada）以及川崎重工業（Kawasaki）所共同開發之 Humanoid Robotics Program （HRP） [2]，主要是被開發從事實際環境工作的人型機器人。剛開始，HRP 是屬於非常陽剛的造型，後來 AIST 公佈以日本女性為設計出發點的 HRP-4C。HRP-4C 機器人具有相當逼真的頭部，可以自由行走並與人類語音溝通。另外，

Boston Dynamics 在 2011 年所公佈了 Petman，這台由軍方支持歷經兩年多設計與製造的人形機器人，可以做軍人基本動作以及在跑步機上做擬人的快速行走，更可以在受到外力推擠的同時快速的用身體及步態軌跡的補償來自主平衡[5]。從四十年前第一台電子驅動的人形機器人出現至今[6]，已經有越來越多的研究學者提出不同的研究成果。

參考文獻

[1] http://world.honda.com/ASIMO/

[2] http://www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2009/20090513/20090513.html

[3] http://www.sony.net/SonyInfo/News/Press_Archive/200312/03-060E/

[4] http://www.toyota-global.com/innovation/partner_robot/

[5] http://www.bostondynamics.com/robot_petman.html

[6] http://www.humanoid.waseda.ac.jp/booklet/kato_2.html

[7] T. McGeer, "Passive dynamic walking," International Journal of Robotics Research, pp. 62–82, 1990.

[8] S. Grillner, "Locomotion in vertebrates: central mechanisms and reflex interaction," Physiological Reviews, vol. 55, pp. 367–371, 1975.

[9] K. Akazawa, "mechanisms of frequency and pattern control in the neural rhythm generators," Biological Cybernetics, vol. 56, pp. 345–353, 1987.

[10] G. Endo, J. Morimoto, J. Nakanishi, and G. Cheng, "An empirical exploration of a neural oscillator for biped locomotion control," International Conference on Robotics and Automation （ICRA）, pp. 3036–3042, 2004.

[11] G. Taga, Y. Yamaguchi, H. Shimizu, "Self–organized control of bipedal locomotion by neural oscillators in unpredictable environment," Biological Cybernetics, vol. 65, pp. 147–159, 1991.

[12] H. Hase and N. Yamazaki, "A self–organizing model to imitate human development for autonomous bipedal walking," 6th International symposium on Computer Simulation in Biomechanics, pp. 9–12, 1997.

[13] J. J. Hu, M. M. Williamson, and G. A. Pratt, "Bipedal locomotion control with rhythmic neural oscillators," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 1475–1481, 1999.

[14] M. Takahashi, T. Narukawa, K. Miyakawa, and K. Yoshida, "Combined control of CPG and torso attitude control for biped locomotion," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp. 4051–4056, 2005.

[15] A. Goswami, "Postural stability of biped robots and the foot rotation indicator （FRI） point, " International Journal Robotic Research, vol. 18, no. 6, pp. 523–533, 1999.

[16] M. Vukobratovic and J. Stepanenko, "On the stability of anthropomorphic systems," Mathematical Biosciences, vol. 15, Oct., p. 1–37, 1972.

[17] M. Vukobratovic and B. Borovac, "Zero-mement point – thirty five years of its life," International Journal of Humanoid Robotics （IJHR）, vol. 1, pp. 157–173, 2004.

[18] S. Kajita and K. Tanie , "Study of dynamic walking control of a biped robot along a potential energy conserving orbit," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 8, pp. 431–438, 1992.

[19] G. Cabodevila and G. Abba, "Quasi optimal Gait for a Biped Robot using Genetic Algorithm," IEEE International conference on systems, Man, and Cybernetic-Computational cybernetics and simulation, pp. 3960–3965, 1997.

[20] M. W. Spong and F. Bullo, "Controlled symmetries and passive walking," IEEE Transactions on

Automatic Control, vol. 50, July 2005, pp. 1025–1031.
[21] Y. Hurmuzlu and Moskowitz, “The role of impact in the stability of bipedal locomotion,” Dynamics and stability of systems, vol. 1, 217–234, 1986.
[22] Q. Wu and R. Swain, “A mathematical model of the stability control of human thorax and pelvis movements during walking,” Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering, vol. 5, 67–74, 2002.
[23] K. Y. Yi, “Walking of a biped robot with passive ankle joint,” International Conference of Control Applications, 484–489, 1999.
[24] J. Furusho and A. Sano “Sensor-based control of a nice-link biped,” International Journal of Robotics Research, vol. 9, no. 2, pp. 83–98, 1990.
[25] J.G. Juang, “Fuzzy neural network approaches for robotic gait synthesis,” IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics - Part B, Volume 30, pp. 594–601, 2000.
[26] S. Murakami, E. Yamamoto, and K. Fujimoto, “Fuzzy control of dynamic biped walking robot,” IEEE International Conference on Fuzzy Systems, vol. 1, pp. 77–82, 1995.
[27] http://robonaut.jsc.nasa.gov/default.asp
[28] http://www.nasa.gov/pdf/464887main_Robonaut2_FactSheet.pdf
[29] http://www.dlr.de/rm/en/desktopdefault.aspx/tabid-5471/
[30] http://twendyone.com/
[31] http://www.geminoid.jp/projects/kibans/Telenoid-overview.html
[32] http://robotic.media.mit.edu/

2.研究方向及具體建議

未來人形機器人的有前景之研究主題大致上可以分為：（1）擬人化步態軌跡研究、（2）動態自我平衡、（3）雙臂控制與（4）情感互動等四大項。其分別整理敘述如下：

(1)擬人化步態軌跡研究

在擬人化步態的研究上包含了步態的軌跡以及軌跡的產生。由於兩足機器人的系統並沒有一個特定的動態模型可以完全的描述其運動，主要是兩足機器人運動是多自由度與機構耦合的複雜非線性系統，再者兩足機器人的步態規劃必須考量平衡的問題。因此如何在同一時間控制多個自由度來完成快速且穩定的兩足步態軌跡就是一個非常值得研究的問題。

1990 年時，McGeer 設計了一個以機構為主體的被動式的動態行走機器人，該機器人行走時所依靠的動力來源為重力，說明了一個行走的動作可以單純依靠機械結構的設計來完成而不需要太多的輸入控制[7]。被動式動態行走的觀念亦說明了人類在行走的時候會儘量以最小能量的需求來完成行走的動作。

另外中樞模式產生器（Central Pattern Generator, CPG）的概念則是在 1975 年被 Grillner 提出。Grillner 認為生物運動的中央形式產生器理論中是以連續交互刺激與抑制多組肌肉來完成一連串動作，此種神經元不斷交互作用產生的振盪方式可產生出連續且規律的動作[8-9]。此種方式，在 1991 年的時候 Taga 以模擬的方式成功的將這樣的一個觀念導入八連桿的人形機器人上，透過神經振盪

的方式，機器人可以成功的產生步態[10]。然而由中樞模式產生器來做為機器人步態的設計方式，其參數之調整複雜，且不容易分析[11]，因此一些最佳化的參數調整方法在後來就被提出來[12-14]。

(2)動態自我平衡

在人形機器人的世界中，行走能力是評估其性能的最主要依據。如何讓機器人在行走的過程中，穩定且快速的完成動作，是所有人形機器人研究者的最大目標。常見的平衡指標包括：壓力中心（Center of Pressure, CoP），腳旋轉指標（Foot – Rotation Indicator, FRI）[15]，以及最常被引述的零力矩點（Zero Moment Point, ZMP）觀念等[16][17]。人形機器人於行走的研究便是要如何用一套有效的步態軌跡控制來滿足平衡指標。產生機器人部形存在時，最需注意的問題之一便是步態產生的時間。因為步態的節點順暢度是依賴於連續且快速的移動節點，若是步態產生的速度過慢時便會出現動作不流暢破壞穩定度的問題。

在平衡穩定的控制方式中有部分學者透過簡化系統的方式將動態平衡以連桿與倒單擺的方式來做為控制之系統[18-22]。Hurmuzlu 與 Moskowitz[21]發展一兩連桿倒單擺數學模型而且研究其穩定度與運動的撞擊力。Yi[23]提出一控制器在雙足機器人塑模成兩連桿時用以控制其腳踝。另外 Furusho 和 Sano 設計 8 個自由度結合倒單擺控制的二足機器人[24]。另外，也有學者是利用模糊類神經系統來控制機器人的重心位置[25]，Murakani S.等人則是利用模糊控制來完成機器人的行走控制，透過重心位置與各馬達的角速度與角度來做為輸入，已模糊控
制器完成機器人的平衡行走[26]。

(3)雙臂控制

在人形機器人中另一個備受期待的主題便是人形機器人的雙臂。由於雙臂的控制成果是可以在不考慮平衡的情況下，直接於工業控制領域上實現。各國截至目前為止亦有了幾項著名的成果，其中包含美國 NASA 所開發的 Robonaut、德國太空中心所開發的 Justin 以及日本早稻田大學所開發的 Twendy-One。

Robonaut2，如圖 1 所示，是由美國 NASA 所主導的具雙臂的擬人形機器人，目標是幫忙人類在危險區域完成工作[27]。機器人共有 42 個自由度，身上裝設超過 38 個處理器與 350 個以上的各式感測器，另外，四個影像感測器與一個紅外線影像感測器所組成的視覺系統讓機器人對於周遭環境的判斷能夠更為準確[28]。目前 Robonaut 2 已經在 2011 年由發現號太空梭送至太空中，並重新安裝完成要進行外太空中一些必要但是危險的工作，例如外太空無氧無重力下的儀表穩定安裝等任務。

圖四、 Robonaut 2

Justin，如圖 2 所示，是德國太空中心（DLR），所研發的研究機器人平台 Rollin's Justin，裝有兩組 Light-width Robot 手臂，手臂重 14kg，可載重 15kg，載重比高[29]。機器人的上半身共有 43 個可以控制的自由度，每個手臂有七個自由度，每個手部有 12 個自由度，由碳纖維所組成與連結。另外機器人身上並配有重量抑制安全煞車器、立體攝影機系統、雷射測距儀以及慣性量測系統，透過訓練機器人可以完成空中拋接球的動作。

圖五、Justin

如圖六所示之 Twendy-One 是日本早稻田大學管野研究室發展出的與人共生機器人，主要功能是被設計來支援家裡事務並與人交流共處，其最大特徵是身體各部位裝有許多被動軟件（力量和碰觸感應器），透過這被動軟件吸收外界的誤差與干擾，在接觸外界環境與人類時便能發揮較高的反應力與適應能力[30]。有效利用全身感測與手臂控制能力來完成抓取物件、家事支援與居家照護等功能。

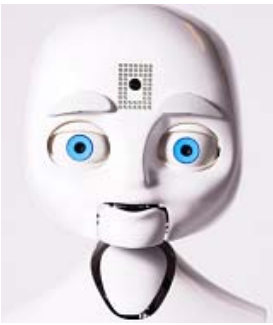
(a)

（b）

圖六、Twendy-One

(4)情感互動

而人形機器人最大的期待願景之一就是在於擬人化的型態可以加速人類與機器人的情感互動交流。日本大阪大學的 Ishiguro 教授則在 2010 年發表了 Telenoid R1 機器人[31]，如圖 5（a）所示。此款機器人不同於以往該實驗室所發表的機器人都會盡量做到全身擬人化，Telenoid R1 則希望破除除了表情之外所有類似人的既定印象，所以 Telenoid R1 並沒有明確的身體與四肢。使用者透過直接或視訊的的方式可以和機器人 Telenoid R1 進行溝通，系統將會擷取使用者的表情，以及對話的內容來做相對應的表情。另外，美國麻省理工學院媒體實驗室 Grupene 所領軍的團隊所發表的 Zexi，如圖 5（b）所示，也是近年來成功的一個情感互動機器人[32]。Nexi 是不但擁有學習能力、應變能力，透過訓練 Nexi 可以成功的學習與人互動。另外，Nexi 也可以透過臉上的眉毛、眼球與嘴巴的活動裝置來表達包括高興、閉眼、皺眉、難過、生氣，無聊，疑惑，開心等表情。



（b）

圖七、情感互動機器人：（a）Telenoid R1 與（b）Nexi

分項子題 7：<u>電源供應與管理（Power Supply & Management)---王偉彥教授、李永勳教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

現今的能源管理系統發展的趨勢已由封閉式系統演進到開放式系統，同時也結合網際網路，提供更多有用的資訊幫助管理人員在電源供應與管理的部分，能夠持續保持良好的管控。機器人的能源主要來自蓄電池模組，而電池模組壽命週期的延長是機器人長期使用的重要條件。電池能量管理系統（Battery Energy Management System, BEMS）可以精確估測和延長其航程及電池模組的壽命[1]-[3] 。

能源管理網路系統透過資料擷取及串列通訊介面系統與其他相關的安全監控系統作機器人執

行任務的動態智慧型監控，以期使整體的監控系統能在最佳的能源效率及安全保護狀態下執行任務[1]。

在[4]中發展一套以網路為平台的能源管理系統。由於能源管理牽涉到設備與元件各有不同的通訊協定與控制工具，因此各自形成不同的區域性控制網路，為了將各控制網路中的資訊整合並進行分析，此研究發展了一個以代理者（Agent）為基礎的能源管理網路。主要的方法是利用資料庫技術與行動代理者程式（Mobile Agent）[5]作為資訊網路和控制網路間資料整合的工具，以串聯整套的智慧型能源管理網路[6]。

因為材料技術的問題，使得現今太陽能電池[7]轉換電能的效率並不理想，倘若能提高太陽能電池轉換電能後的能源利用率就可以提昇太陽能電力系統整體之效能。文獻[8]提出了交錯式太陽能能源管理系統使用 PIC18F4520 微控制器作為控制核心，整合管理能源消耗與能源儲存的機制，利用模糊控制的方法將太陽能電池產出電能在能源消耗[9]與儲存之間依適當比例分配，使太陽能電池所發出的能源可作最有效率的使用，其中所應用交錯式供電的構思，除方便整合硬體架構外，並可同時獲得額外的好處，例如：可增加電源供電的調整機制、整合/獨立工作操作模式以拓展系統有效工作區間，以及降低設備之溫度…等等。在[10]中，實現鉛酸電池（Lead-acid Batteries）與超級電容（Super Capacitor）並聯供電系統之設計，採用 8051 架構的處理器，將目前負載所需要的能量，透過電流分配的方式，進行電力調度[11]，讓鉛酸電池的轉換效率維持在良好狀態，進而增加鉛酸電池的供電量。當負載所需電流未超過鉛酸電池之額定輸出時，鉛酸電池經降壓轉換器提供能量至負載並同時經場效電晶體對超級電容充電；當負載所需電流超過鉛酸電池之額定輸出時，鉛酸電池與超級電容分別經降壓轉換器並聯供電給負載。文獻[12,13]應用階層式模糊類神經架構估測鋰離子電池與超高電容的殘存電量。在階層式模糊類神經殘存電量估測架構中加入一個直流內電阻的參數，進行訓練及測試。並且選用不同的充電電流比例，來觀察超高電容放電時殘存電量的差異性，利用階層式模糊類神經殘存電量估測架構做訓練及測試。

能源管理一直都是嵌入式系統研究的重點，尤其目前大多數的嵌入式系統的電力來源都以電池為主，好的能源管理方案可以有效的大幅提昇系統續航力和效能。在[14]中，研究多核心嵌入式系統即時排班配置問題並且排程規劃每筆資料之優先執行順序以減少能源消耗。在[15]中，提出一個可以同時降低處理器及週邊裝置之功率消耗的排程演算法，其特點為根據系統的利用率來決定處理器之速度，使系統利用率低的時候可以用較低功率的運算速度節省能源的消耗，另一方面也去偵測週邊裝置的使用狀況，在不使用週邊裝置時，儘可能地關閉週邊裝置的電源或降低其電源消耗。此排程演算法[16]可以很容易實作於即時作業系統中，使得系統電源不僅可以有效地運用，系統內的

工作亦可以在設定之執行期限內執行完畢。

參考文獻

[1] 李永勳，「車輛節能創新技術研發計畫-子計畫:車用智慧型電池管理系統技術研究」，中山科學研究院，2009 年 2 月 至 2009 年 11 月

[2] Yuang-Shung Lee、Ming-Wang Cheng、Shun-Ching Yang，"Fuzzy Controlled Individual Cell Equalizers for Lithium-Ion Batteries"，IEICE Transactions on Communication，Vol. E91-B，No. 7，July 2008，pp.2380-2392

[3] Yuang-Shung Lee, and Guo-Tian Cheng, ”Quasi-Resonant Zero Current Switching Bi-directional Converter for Battery Equalization Applications,” IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. 21, No. 5, September 2006, pp. 1213-1224.

[4] 王俊仁，“以代理者為基礎的智慧型能源管理網路之研究”，國立臺灣大學機械工程學研究所，碩士論文，民國 91 年。

[5] 薛俊輝，“自動監控與能源管理之智慧型網路系統”，國立臺灣大學機械工程學研究所，碩士論文，民國 89 年。

[6] T. Salsbury and R. Diamond, “Performance validation and energy analysis of HVAC systems using simulation,” Energy and Buildings, 2000.

[7] I. García, P. Espinet-González, I. Rey-Stolle, and C. Algora, “Analysis of Chromatic Aberration Effects in Triple-Junction Solar Cells Using Advanced Distributed Models,” IEEE Journal of Photovoltaics, vol. 1, no. 2, pp. 219-224, 2011.

[8] 劉育仁，“智慧型交錯式太陽能能源管理系統之設計與應用”，國立高雄應用科技大學電機工程系，碩士論文，民國 98 年。

[9] A. Vergnano, C. Thorstensson, B. Lennartson, P. Falkman, M. Pellicciari, F. Leali, and S. Biller, “Modeling and Optimization of Energy Consumption in Cooperative Multi-Robot Systems,” IEEE Trans. on Automation Science and Engineering, vol. 9, no. 2, pp. 423-428, 2012.

[10] 鄭宗銘，“鉛酸電池與超級電容並聯供電之能源管理”，國立彰化師範大學車輛科技研究所，碩士論文，民國 99 年。

[11] Q. Li, S. S. Choi, Y. Yuan, and D. L. Yao, “On the Determination of Battery Energy Storage Capacity and Short-Term Power Dispatch of a Wind Farm,” IEEE Trans. on Sustainable Energy, vol. 2, no. 2, pp. 148-158, 2011.

[12] 章偉倫，“使用階層式模糊類神經網路作串接鋰電池與超高電容的殘存電量估測”，輔仁大學電機工程學系，碩士論文，民國 99 年。

[13] I-H. Li, W.-Y. Wang, S.-F. Su, and Y.-S. Lee, “A Merged Fuzzy Neural Network and Its Applications in Battery State-of-Charge Estimation,” *IEEE Trans. on Energy Conversion,* vol. 22, no. 3, pp. 697-708, 2007.

[14] 張峻源，“多核心即時系統能源管理之排程設計”，國立臺灣科技大學電子工程系，碩士論文，民國 98 年。

[15] 李榮華，“嵌入式即時系統之能源管理機制”，國立成功大學電機工程學系，碩士論文，民國 92 年。

[16] V. Swaminathan and K. Chakrabarty, “Energy-conscious, deterministic I/O device scheduling in hard real-time systems,” IEEE Trans. on Computer-Aided-Design of integrated circuits and systems, pp. 847-858, July 2003

2. 研究方向及具體建議

(1)電池能量管理系統

電池能量管理系統之監控系統可以記錄電池的殘存電容量（State of Charge, SOC）、電池的健康度（State of Health, SOH）、電池充電控制及充電等化（Charge Equalization）、電池放電控制及過放電保護（Overcharge Protection）、電池及環境的過溫度保護（Overtemperature Protection）、電源系統的過電流及過電壓保護（Overcurrent and Overvoltage Protection）、電車之能源回收控制（Energy Recovery Control）等。

(2)電池壽命與電力消耗評估

在機器人的控制上如何有效的管理電池消耗是一個重要的課題，由於機器人的電力來源最常使用的是電池，而電池的壽命與電力的消耗關係將會影響到機器人的控制。因此，如何有效率地的評估電力消耗與電池的壽命，並且規劃電力最佳的使用量，讓機器人達到最大的巡邏範圍將是一個重要的研究主題。

(3)智慧型自主式充電系統

當系統評估能源消耗將完畢時，機器人需要到固定的地方充電，以下提供兩種方式給予參考：

A. 在控制端需要將機器人執行任務時所經過的路徑紀錄下來，若到達電池的最大容許範圍之後，必須沿著先前紀錄的路徑往回行走，回到充電站充電。

B. 在巡航的路徑上架設多個充電站，使機器人的巡航範圍得以擴大。

(4)能源管理網路系統

透過資料擷取及 CAN Bus 的串列通訊介面系統與其他相關的安全監控系統作機器人執行任務的動態智慧型監控，以期使整體的監控系統能在最佳的能源效率及安全保護狀態下執行任務。

分項子題 8：<u>仿生機器人系統（Bimemtic Robotic Systems)---林沛群教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

隨者近年來對生物系統與其潛藏奧秘的應用性有較深入的認知，以及建構機器人整體系統所需相關元件與技術逐漸發展成熟，這兩個分別隸屬於科學和工程的研究領域產生了「仿生機器人」這一個交集。廣義的定義，泛指機器人應用了自然界生物系統中所擁有的一些機制與設計，使機器人能展現該生物系統所具有的特定功能，因此，研究所涵蓋之範圍包羅萬象，由最前端的仿生概念發想或生物特性分析，到元素層級的生物材料，到子系統如人工肌肉、人工眼、類神經網路、人工智

慧等，到系統層級如機器人建構、運動分析、與類生物行為發展等等。而在目前機器人學界的氛圍中，對仿生機器人較具有共識但較狹義的認定，則傾向於限定在外型或功能和生物具相似度，且可移動的機器人，著重在系統整合層次，以外顯的仿生行為來認定。

以生物生存環境來區分，仿生機器人系統可分為空中、陸上、與水下三類型的機器人。水下仿生機器人也以魚類型之研究居多，探討並模仿魚類在水下快速且敏捷的運動能力，如美國 MIT 的 Robo-Pike[1]、英國 Essex Univ.的 Robot fish、台灣 NTU 的 robotic fish 等等。而其它類型的水下機器人如美國 MIT 的海龜機器人 RoboTurtle、德國 Festo 的水母機器人 AquaJelly、日本 TIT 的水蛇機器人 ACM-R5[2]等。在空中的部分也以仿鳥類飛行為主，美國 UC-Berkeley 的 DASH[3]、日本 Chiba Univ.的 MAV、美國 Harvard Univ.的 Microrobotic Fly[4]等等。在仿陸上運動的機器人以足式為主，因技術程度的限制，早期具有高自由度半靜態運動和低自由度動態運動[5]兩種不同機器人建構方式的研究走向，在近年來這兩條研究路線逐漸彙整，開始有高自由度動態運動的研究，使得研發更進一步的邁向生物所具有的架構與運動特性。以高自由度半靜態運動方式研發的機器人，基本上是由具先天穩定性的六足機器人開始發展，如美國 OSU 的 OSU Hexapod、美國 MIT 的 Hannibal[6]和 Attila、和德國 FZI 的 Lauron[7]等。在四足方面，如日本 TIT 的 Titan[2]系列，和 SONY 商品化的機器狗 AIBO。後者在學界有獨特的價值，AIBO 提供開發演算法以及機器人學習方面的空間，探討多機器人如何協調以及機器人自身的智慧開發，因此是早期機器人足球賽 RoboCup[8]的標準平台。隨著技術的演進，具高平衡難度的二足機器人也在近十數年逐漸發展出來，如日本 Waseda Univ.的 Wabian[9]系列、Honda 的 Asimo[10]、Sony 的 Qrio、韓國 KAIST 的 HUBO 系列、日本 AIST 的 HRP 系列等，而 AIST 最新版的 HRP-4C[11]具有非常仿真的女孩外形又以及跳舞的能力。另一方面，則有學者以低自由度動態運動方式來進行研發，因低自由度系統使機器人輕量化，也使本身系統模擬及控制器設計能從純理論方式切入，能進行較為系統化之研究，可學理性的瞭解動態行為與運動穩定性之關連。如早期美國 MIT 的單足機器人 monopod[12]和四足 quadruped 和二足 biped、加拿大 McGill Univ.的四足 Scout[13]系列、日本 KIT 的四足 Tekken[14]系列、美國 CWRU 的六足 Wheg[15]系列、美國 Univ. Michigan 的六足 RHex[16]系列、美國 Stanford Univ.的六足 Sprawl[17]系列。而近年由美國 Boston Dynamics[18]所研發的 BigDog、LS3、Petman、T-800 Altas、和 Cheetah 等，則實現了高自由度系統的動態行為，為近年來研發足式機器人非常強的團隊。陸上運動除了水平方向之外，也有爬牆或爬樹類型的仿生機器人，如美國 Stanford Univ.的靜態六足 Spinybot 和 Stickybot[19]、美國 Univ. Pennsylvania 的靜態六足 RiSE[20]和動態二足 Dynaclimber、香港 CUHK 的 Treebot 等。除此之外，近年也有部分團隊致力於足式跳躍機器人的研究，如日本

Univ. Tokyo 的 Mowgli、瑞士 EPFL 的 jumping robot、美國 BDI 的 Sand Flea 等。在足式之外，則有仿蛇運動的仿生機器人，如日本 TIT Hirose-Fukushima Lab[2]具有一系列機器人，部分機型同時具有陸上和水下運動的功能。而美國 CMU Biorobotics Lab[21]也具有一系列 Modular snake robots 的發展，美國 Univ. Michigan 的 Omni-thread 系列等。由於學業界研發的機器人多有命名，相關資料由學術網路資料庫或是 Google 等媒介均容易取得，礙於篇幅限制，僅羅列部分參考文獻。

參考文獻

[1] http://web.mit.edu/towtank/www/Pike/pike.html

[2] http://www-robot.mes.titech.ac.jp/home_e.html

[3] http://robotics.eecs.berkeley.edu/~ronf/Biomimetics.html

[4] http://micro.seas.harvard.edu/

[5] M. Raibert, Legged robots that balance: MIT Press, 2000

[6] A. Angle, "Design of an artificial creature," Master thesis, MIT, 1991

[7] B. Gassmann, F. Zacharias, J. M. Zollner, and R. Dillmann, "Localization of walking robots," presented at the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2005.

[8] http://www.robocup.org/

[9] http://www.takanishi.mech.waseda.ac.jp/top/research/wabian/index.htm

[10] http://www.honda-taiwan.com.tw/technology_ASIMO_new.html

[11] http://www.aist.go.jp/aist_e/latest_research/2009/20090513/20090513.html

[12] M. H. Raibert, H. B. Brown, and M. Chepponis, "Experiments in balance with a 3D one-legged hopping machine," International Journal of Robotics Research, vol. 3, pp. 75-92,1984.

[13] I. Poulakakis, J. A. Smith, and M. Buehler, "Modeling and experiments of untethered quadrupedal running with a bounding gait: The Scout II robot," International Journal of Robotics Research, vol. 24, pp. 239-256, Apr 2005.

[14] H. Kimura, Y. Fukuoka, and A. H. Cohen, "Adaptive dynamic walking of a quadruped robot on natural ground based on biological concepts," International Journal of Robotics Research, vol. 26, pp. 475-490, May 2007.

[15] http://biorobots.cwru.edu/projects/whegs/whegs.html

[16] U. Saranli, A. A. Rizzi, and D. E. Koditschek, "Model-based dynamic self-righting maneuvers for a hexapedal robot," International Journal of Robotics Research, vol. 23, pp. 903-918, Sep 2004.

[17] S. Kim, J. E. Clark, and M. R. Cutkosky, "iSprawl: Design and tuning for high-speed autonomous open-loop running," International Journal of Robotics Research, vol. 25, pp. 903-912, Sep 2006

[18] http://www.bostondynamics.com/

[19] S. Kim, M. Spenko, S. Trujillo, B. Heyneman, D. Santos, and M.R. Cutkosky, “Smooth Vertical Surface Climbing with Directional Adhesion,” IEEE Transactions on Robotics, 24（1）:65-74, Feb 2008

[20] M. A. Spenko, G. C. Haynes, J. A. Saunders, M. Cutkosky, A. Rizzi, R. J. Full, and D. E. Koditschek, “Biologically Inspired climbing with a Hexapedal Robot,” Journal of Field Robotics. Volume 25, Issue 4–5, 2008

[21] http://www.cs.cmu.edu/~biorobotics/

2.研究方向及具體建議

機器人本身即是一個複雜系統，包含了如創意設計、機構設計、結構設計、感測器安裝、致動器匹配、機電整合、訊號處理、控制器設計、穩定性分析、機器人系統建置、運動規劃、實驗測試等多項子技術。而仿生機器人則又多涵蓋了仿生的面向，如對生物系統之運動進行學理上的瞭解、生物運動模型建立、生物運動狀態模擬分析、步態分析與開發、生物群體行為探討等等，以及擷取仿生概念後所引發的工程創新。就整體的概念，是一跨領域的系統整合，具有科學端的價值，也為未來工程趨勢潮流之一。而單獨就各子題研究來看，則與產業自動化所需各項關鍵技術有著極大的關連性，具有協同產業發展的利基。

以功能論，仿生機器人系統之運作為三項程序的循環（i.e.,對大部分自動化設施也是一樣）：感測、決策、與運動。每一項程序內各有數項關鍵技術，分述如下：

(1) 感測：目的在瞭解自身和周遭環境狀態，含硬體開發與演算法，分水下、陸上、與空中三種應用環境

a. 複雜環境偵測技術：如立體視覺、立體聽覺、2D 和 3D 雷射掃瞄、嗅覺、味覺等

b. 與外界交互感測技術：多軸力感測、壓力感測陣列等

c. 本體感測：慣性量測系統技術（含重力消除方法）、本體運作狀態監測技術等

(2) 決策：目的在建立適當控制法則

a. 生物運動模型建立

b. 系統穩定性分析

c. 多自由度同動與協調控制

d. 力與位置複合控制

e. Centralized 和 Decentralized 複合架構開發

f. 人工智慧與機器學習

g. 群體溝通與協同

(3) 運動：目的在讓機器人產生適當的運動，分水下、陸上、與空中三種應用環境

a. 能量源：高容量或是高（平均或瞬時）功率能源系統

b. 能量轉換：高能量密度移動與轉動致動器

c. 機構：多自由度機構設計與空間配置技術

d. 結構：輕量化之高剛性、或特定彈性範圍、或特定阻泥範圍之複合材料開發

e. 機電系統：模組化、輕量化、介面多元化、與高運算能力之即時運算系統

f. 高分子或生物材料相關技術

(4) 系統整合與運作

a. 標準步態生成程序與特性分析

b. 適用特定外在環境之（開回路或閉回路）步態開發

c. 動態步態開發

子題二：醫療與輔助機器人系統

召集人：郭重顯教授

規劃委員：顏炳郎教授、郭重顯教授、李柏磊教授

規劃分項：1. 復健機器人

2. 行動輔助機器人

3. 手術機器人

4. 生理訊號看護系統

前言

『醫療與輔助機器人系統』為未來『醫療產業』之重要研發方向，其將逐漸取代傳統手術、治療、復形（Prosthesis）、復健等裝置，提供更優質醫療服務，並有效使用醫療資源、提高醫療品質並建全社會福祉。醫療與輔助機器人系統為國科會工程處控制學門在智慧型自動化與機器人領域相當重視的一環，也期待透過學門之研發方向規劃，吸引更多學者投入相關研發工作，以解決未來『高齡化社會』以及『醫療資源不足』下的嚴重社會問題。

研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

『醫療與輔助機器人系統』是相當實務之研究，其終端成果是要能實際應用於人類醫療服務，以解決現有醫療技術之瓶頸及問題。此外，『醫療與輔助機器人系統』是跨領域的整合性研究，其涵蓋了臨床醫學、人因工程以及工程機電系統（含機構、感測、控制、演算法、軟體工程、資通訊等等）研發。一般來說，醫療與輔助機器人系統可透過臨床醫學定義臨床問題、醫療程序（Protocol）、規範與效能指標；透過人因工程技術設計使用者（病患、醫師、照護人員等等）之產品使用情境；最後由工程團隊進行機電與資訊技術研發以及系統整合驗證。此一『醫療與輔助機器人系統』子題

係由不同臨床醫學應用加以分類與規劃，其分成『復健機器人』（顏炳郎教授規劃）、『行動輔助機器人』（郭重顯教授規劃）、『手術機器人』（顏炳郎教授規劃）與『生理訊號看護系統』（李柏磊教授規劃）等四個子項目。

『復健機器人』之研發可以由病患復健品質與成效以及照護人員負擔兩方面進行考量，其不但可以降低照護人力之需求，也可避免照護者因情緒及經驗上的不足導致病患復健成效下降，甚至造成二次傷害。復健機器人可應用於中風及術後病患上肢及下肢復健。在國內，台灣大學傅立成教授[1 - 3]、成功大學朱銘祥教授[4 - 6]、長庚大學李明義教授[7 - 8]等均有相當具有代表的復健機器人研發成果。在國外，上肢及下肢復健機器人之研發成果在近年來相當多。特別的是在 2012 年 5 月由倫敦帝國學院（Imperial College London）Burdet 教授於 IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering 以特別邀稿[9]形式探討運動技能學習及神經復健（Motor Skill Learning and Neuro-Rehabilitation）相關研究，由此可見復健機器人的重要性；此一特別邀稿中代表性之復健機器人論文可參考[10 - 12]。此外，由 Delaware 大學 Agrawal 教授所提出之結合跑步機與下肢外骨骼結構復健訓練系統[13 - 14]也相當具有代表性。

『行動輔助機器人』之研發係以病患之復形、機能強化（Functional Enhancement）與行動輔助等需求進行研發，因此其應用相當廣泛。復形應用之機器人主要為電子式義肢，其用以修補病患因先天因素或後天傷害所造成之肢體缺損，並恢復其功能。國內產業以德林義肢公司[15]所研發之產品最具代表性；學術界研發團隊則包括了台灣大學[16 - 17]、清華大學[18]、成功大學[19]、長庚大學[20]等等；國外代表性之研究可以參考[21 - 23]。機能強化應用之機器人主要為外骨骼結構，其用以提供更高或穩定的骨骼運動輸出（Skeletal Motor Output），其目的在於輔助病患步行之穩定度；也可以提高作業承載力量，減少職業傷害。國內研發團隊包括了台灣大學[24]、清華大學[25]、長庚大學[26]、臺南大學[27]等等；國外代表性之研究可以參考[28 - 30]。行動輔助應用之機器人包括了機器人輪椅（Robotic Wheelchair）、助行器機器人以及外骨骼裝置。由於外骨骼裝置已於前面提過，因此不再重複。機器人輪椅之研究係將智慧型移動式機器人技術應用到電動輪椅，並結合不同創新介面（如腦波、眼動訊號等等）以增加輪椅之操控方便性、自主性與安全性。此外，助行器機器人也是將智慧型移動式機器人技術加以應用，並輔助視障或行動不便人士之行動。國內研發團隊包括了台灣大學[31 - 32]、交通大學[33 - 34]等等；國外代表性之研究可以參考[35 - 37]。

『手術機器人』之研發目的為輔助外科醫師於手術過程中進行組織之切除與復形，以提高手術品質、降低手術時間、減少傷口與侵入之範圍。透過醫療機器人系統所提供的靈巧操控、精準定位以及術前規劃等特點，醫療機器人在未來的外科手術作業中，將扮演極為重要的角色； Intuitive

Surgical 公司之 da Vinci Surgery 系統[37]即為一非常成功之手術機器人產品。國內目前手術機器人研發成果包括：膝關節手術機器人[38]、腹腔鏡手術用機器人 [39]、以及外科手術導引系統[40]、、等等；國外代表性之研究可以參考[41 - 43]。

最後，『生理訊號看護系統』之研究議題涵蓋生理訊號處理、量測系統、看護控制系統、與遠距看護網路四個部分。藉由新式感測器的設計，配合新穎訊號處理技術，讓使用者對於看護系統進行控制，或單純將生理訊號經由傳輸網路，交由雲端系統進行分析監控，以配合不同程度之病患需求，由輕度到重症的病患，依照不同情形，設計適用且好用的看護系統。國內研發成果如[44 - 46]等等；國外代表性之研究可以參考[47 - 49]。

規劃內容

研究方向及具體建議

此一小節首先針對個子項目進行研究項目之建議，詳細建議內容請參閱接下來的各分項細部規劃。

一、 復健機器人研發方向：專用復健機器人設計、結合虛擬實境與其他感官刺激的復健訓練、復健量化評估、居家復健機器人與遠距居家復健系統

二、 行動輔助機器人根據不同研發屬性，其又可分為復形與機能強化以及行動輔助兩部分。

- 復形與機能強化機器人研發方向：創新、輕量、高剛性與符合人因工程之創新機構設計、多重感測（Multi-sensory）與感測融合（Sensor Fusion）技術、生醫訊號處理與識別、運動軌跡規劃與穩定控制、順應性控制與安全保護、人機介面與互動、使用者訓練與評估系統
- 行動輔助機器人研發方向：創新前瞻行動輔具機器人設計、人機互動與輔具操控介面、環境感知與定位系統、路徑規劃與自主導航系統、生理訊號監控

三、 手術機器人研發方向：微創手術技術、影像導引技術、低成本系統、方位校準技術、人機互動控制技術

四、 生理訊號看護系統：看護控制系統、新穎生理訊號處理技術、新式生理訊號感測器、遠距看護監控系統

參考文獻

[1] 許立群, 以重力補償為基礎之上肢復健機器人, 臺灣大學 電機工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[2] 蔡秉淳, 多關節復健機器人用於上肢物理治療與訓練, 臺灣大學 電機工程研究所碩士論文，民

國 98 年。

[3] 周晏榆, 針對上肢治療與訓練型復健機器人之設計及其應用, 臺灣大學 電機工程研究所碩士論文，民國 97 年。

[4] 周晏榆, 神經復健機器人於中風病患肩肘與前臂關節不正常協同動作之評估及治療, 成功大學機械工程研究所博士論文，民國 99 年。

[5] 楊竣淵, 神經復健機器人於中風病患肩肘與前臂關節不正常協同動作之評估及治療, 成功大學機械工程研究所碩士論文，民國 98 年。

[6] 高聖涵, 肌電圖回授復健機器人於中風病患踝關節主動扭矩控制之研究, 成功大學 機械工程研究所碩士論文，民國 97 年。

[7] 翁祥瑜, 外骨骼結構磁流變液阻尼調控下肢步行復健系統開發與功能測試, 長庚大學機械工程研究所碩士論文，民國 100 年。

[8] 鄭朝駿, 全人工髖關節術後病患脫位防止、運動控制及本體感覺訓練之復健系統開發與驗證, 長庚大學醫療機電工程研究所碩士論文，民國 100 年。

[9] E. Burdet, V. Sanguineti, H. Heuer, and D.B. Popović, “Guest Editorial Motor Skill Learning and Neuro-Rehabilitation,” IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 237 – 238, 2012.

[10] I. Carpinella, D. Cattaneo, R. Bertoni, and M. Ferrarin, “Robot Training of Upper Limb in Multiple Sclerosis: Comparing Protocols With or Without Manipulative Task Components,” IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 351 – 360, 2012.

[11] J. Zariffa, N. Kapadia, J.L.K. Kramer, P. Taylor, M. Alizadeh-Meghrazi, V. Zivanovic, U. Albisser, R. Willms, A. Townson, A. Curt, M.R. Popovic, and J.D. Steeves, “Relationship Between Clinical Assessments of Function and Measurements From an Upper-Limb Robotic Rehabilitation Device in Cervical Spinal Cord Injury,” IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 341 – 350, 2012.

[12] J. Klein, S.J. Spencer, and D.J. Reinkensmeyer, “Breaking It Down Is Better: Haptic Decomposition of Complex Movements Aids in Robot-Assisted Motor Learning,” IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 20, No. 3, pp. 268 – 275, 2012.

[13] S.K. Banala, S.K. Agrawal, S.H. Kim, and J.P. Scholz, “Novel Gait Adaptation and Neuromotor Training Results Using an Active Leg Exoskeleton,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 15, No. 2, pp. 216 – 225, 2010.

[14] S.K. Banala, S.H. Kim, S.K. Agrawal, and J.P. Scholz, “Robot Assisted Gait Training With Active Leg Exoskeleton（ALEX）,” IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 2 – 8, 2009.

[15] 德林義肢公司網站，http://www.tehlin.com/

[16] 杜政憲, 應用於膝上型人工義肢之小型可調整式阻尼器之設計開發與特性研究, 臺灣大學機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[17] 林冠宏, 基於即時處理與 FPGA 實現之神經義肢驅動系統, 臺灣大學醫學工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[18] 曾劭暉, 下肢輔具之生物回饋控制, 清華大學動力機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[19] 賴昆宏, 全接觸式小腿義肢承筒之有限元素分析與實驗評估, 成功大學 機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[20] 徐啟峰, 動力輔助膝上義肢機構設計與本體感覺補償暨協同控制系統開發, 長庚大學醫療機電工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[21] X. Zhang, Y. Liu, F. Zhang, J. Ren, Y.L. Sun, Q. Yang, and H. Huang, “On Design and Implementation of Neural-Machine Interface for Artificial Legs,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 8, No. 2, pp. 418 – 429, 2012.

[22] K.H. Ha, H.A. Varol, and M. Goldfarb, “Volitional Control of a Prosthetic Knee Using Surface Electromyography, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 58, No. 1, pp. 144 – 151, 2011.

[23] K.E. Zelik, S.H. Collins, P.G. Adamczyk, A.D. Segal, G.K. Klute, D.C. Morgenroth, M.E. Hahn, M.S. Orendurff, J.M. Czerniecki, and A.D. Kuo, “Systematic Variation of Prosthetic Foot Spring Affects Center-of-Mass Mechanics and Metabolic Cost During Walking,” IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 19, No. 4, pp. 411 – 419, 2011.

[24] 吳佳峻, 具肌力輔助及復健效能之可攜式下肢輔具概念設計, 臺灣大學機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[25] 許承志, 穿戴式下肢動力輔具設計與實作, 清華大學動力機械工程研究所碩士論文，民國 98 年。

[26] 李俊廷, 外骨骼步態復健機器人之設計與開發, 臺南大學系統工程研究所碩士論文，民國 96 年。

[27] 翁祥瑜, 外骨骼結構磁流變液阻尼調控下肢步行復健系統開發與功能測試, 長庚大學機械工程研究所碩士論文，民國 100 年。

[28] H. Kawamoto, T. Hayashi, T. Sakurai, K. Eguchi, and Y. Sankai, “Development of single leg version of HAL for hemiplegia,” IEEE Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 5038 – 5043, 2009.

[29] A.B. Zoss, H. Kazerooni, and A. Chu, “Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton（BLEEX）,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 11, No. 2, pp. 128 – 138, 2006.

[30] E. Strickland, “Good-bye, Wheelchair,” IEEE Spectrum, Vol. 49, No. 1, pp. 30 – 32, 2012.

[31] 蔡豐州, 創新電動輪椅之手輪馬達最佳化設計與應用, 臺灣大學機械工程研究所碩士論文，民國 98 年。

[32] 簡仁建, 具有適應性導航的輪椅系統, 臺灣大學電機工程研究所博士論文，民國 98 年。

[33] 林敬達, 以模糊理論為基礎實現智慧型輪椅機器人之自動停車設計, 交通大學電控工程研究所碩士論文，民國 97 年。

[34] 楊翔斌, 基於使用者意圖之行動輔具設計, 交通大學電控工程研究所碩士論文，民國 98 年。

[35] T. Carlson and Y. Demiris, “Collaborative Control for a Robotic Wheelchair: Evaluation of Performance, Attention, and Workload,” IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 42, No. 3, pp. 876 – 888, 2012.

[36] L. Montesano, M. Diaz, S. Bhaskar, and J. Minguez, “Towards an Intelligent Wheelchair System for Users with Cerebral Palsy,” IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 193 – 202, 2010.

[37] B. Rebsamen, E. Burdet, C. Guan, H. Zhang, C.L. Teo, Q. Zeng, C. Laugier, and M.H. Ang Jr. “Controlling a Wheelchair Indoors Using Thought,” IEEE Intelligent Systems, Vol. 22, No. 2, pp. 18 – 24, 2007.

[38] C.H. King, M.O. Culjat, M.L. Franco, C.E. Lewis, E.P. Dutson, W.S. Grundfest, and J.W. Bisley, “Tactile Feedback Induces Reduced Grasping Force in Robot-Assisted Surgery,” IEEE Transactions on Haptics, Vol. 2, No. 2, pp. 103 – 110, 2010.

[39] 劉士鳴, 膝關節手術機器人之微創型鉗制法開發, 台北科技大學自動化科技研究所碩士論文，民國 97 年。

[40] 吳忠倫, 腹腔鏡手術用機器人之分析、控制與實作, 清華大學動力機械工程研究所碩士論文，民國 94 年。

[41] 陳彥竹, 應用於股骨長骨骨折回復之 C-arm 影像輔助手術導引系統, 國立中央大學機械工程研究所碩士論文，民國 96 年。

[42] H. Lee, Y. Choi, and B.J. Yi, “Stackable 4-BAR Manipulators for Single Port Access Surgery,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 17, No. 1, pp. 157 – 166, 2012.

[43] L. Ott, F. Nageotte, P. Zanne, and M. de Mathelin, “Robotic Assistance to Flexible Endoscopy by Physiological-Motion Tracking,” IEEE Transactions on Robotics, Vol. 27, No. 2, pp. 346 – 359, 2011.

[44] A.H. Zahraee, J.K. Paik, J. Szewczyk, and G. Morel, “Toward the Development of a Hand-Held Surgical Robot for Laparoscopy,” IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 15, No. 6, pp. 853 – 861, 2010.

[45] 王琬茹, 多通道行動與無線 EEG 系統之新式設計, 交通大學電控工程研究所碩士論文，民國 100 年。

[46] 陳昭憲, 適用於腦波人機介面之腦波量測系統, 中央大學電機工程研究所碩士論文，民國 96 年。

[47] R. Barea, L. Boquete, M. Mazo and E. López. “Wheelchair Guidance Strategies Using EOG,” Journal of Intelligent Robotics System, Vol. 34, pp. 279 - 299, 2002.

[48] A. Hyvarinen, E. Oja, “A Fast Fixed-point Algorithm for Independent Component Analysis,” Neural Computing, Vol. 9, No. 7, pp. 1483 - 1492, 1997.

[49] T. J. Sullivan, S. R. Deiss, and G. Cauwenberghs, “A Low-noise, Non-contact EEG/ECG Sensor,” IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference, pp. 154-157, 2007.

分項子題 1：復健機器人

規劃委員：顏炳郎教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

傳統復健須人工徒手一對一治療，耗費人力也造成病人訓練次數受限，加上病人居家時難以得到妥善照護，訓練效果受限，其可能因而耽誤病人的復健黃金時期。使用復健機器人可協助家屬與治療師執行重覆且費時的肢體復健運動，有效提升復健治療效果，因此受到國內外各研究團隊[1]極大重視。近幾年來，相關研究與產品均有相當大的突破，包括上肢復健機器人（如 MIT-Manus[2]、T-WREX[3]等）、腕部手掌復健機器人（如 HandCARE[3]、HNEURARM、 NEUROExos 等）、下肢復健機器人（如 Lokomat[4]、ALEX[5]）、腳踝復健機器人平台[6]、穿戴式步態分析模組[7-8]、幼童專用復健機器人等等。此外，復健機器人可同時結合虛擬實境[9]、網際網路等電腦科技[10]等進行遠距復健。最後，復健機器人在協助腦神經受損病患之復健臨床上有著良好的成效[11]，其也說明了復健機器人有極大潛力與商機。

參考文獻

[1] B.C. Tsai, W.W. Wang, L.C. Hsu, L.C. Fu, and J.S. Lai, “An Articulated Rehabilitation Robot for Upper Limb Physiotherapy and Training,” IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robot and System, pp. 1470 – 1475, 2010.

[2] A.C. Lo, P.D. Guarino, L.G. Richards, et al., “Robot-assisted Therapy for Long-term Upper-limb Impairment after Stroke,” New England Journal of Medicine, Vol. 362, pp. 1772 – 1783, 2010.

[3] L. Dovat, O. Lambercy, R. Gassert, et al., “HandCARE: a Cable-actuated Rehabilitation System to Train Hand Function after Stroke”, IEEE Transaction on Neural System and Rehabilitation Engineering, Vol. 16, pp. 582 – 591, 2008.

[4] G. Colombo, M. Joerg, R. Schreier, and V. Dietz, “Treadmill Training of Paraplegic Patients Using a Robotic Orthosis,” Journal of Rehabilitation Research and Development, Vol. 37, No. 6, pp. 693 – 700, 2000.

[5] S.K. Banala, S.H. Kim, S.K. Agrawal, and J.P. Scholz, “Robot Assisted Gait Training With Active Leg Exoskeleton （ALEX）”, IEEE Transaction on Neural System and Rehabilitation Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 2 – 8, 2009.

[6] M. Girone, G. Burdea, M. Bouzit, V. Popescu, and J.E. Deutsch, “Stewart Platform-based System for Ankle Telerehabilitation,” Autonomous Robots, Vol. 10, No. 2, pp. 203 – 212, 2001.

[7] K. Kyoungchul, M. Tomizuka, “A Gait Monitoring System Based on Air Pressure Sensors Embedded in a Shoe”, IEEE/ASME Transaction on Mechatronics, Vol. 14, No. 3, pp. 358 – 370, 2009.

[8] C.M. Yang, C.M. Chou, J.S. Hu, S.H. Hung, C.H. Yang, C.C. Wu, M.Y. Hsu, and T.L. Yang, “A Wireless Gait Analysis System by Digital Textile Sensors”, Annual International Conference of the IEEE Engineering Medicine Biology Society, pp. 7256 – 7260, 2009.

[9] S.V. Adamovich, G.G. Fluet, E. Tunik, A.S. Merians, “Sensorimotor Training in Virtual Reality: a Review,” Neurorehabilitation, Vol. 25, pp. 29 – 44, 2009.

[10] X Feng, JM Winters, “A Pilot Study Evaluating Use of a Computer-assisted Neurorehabilitation Platform for Upper-extremity Stroke Assessment”, Journal Neuroenginnering Rehabilitation, Vol. 6, p5 （Abstact）, 2009.

[11] P.C. Kung, C.C.K. Lin, M.S. Ju, and S.M. Chen, “Reducing Abnormal Synergies of Forearm, Elbow and Shoulder Joints in Stroke Patients with Neuro-rehabilitation Robot Treatment and Assessment,” Journal Medicine Biology Engineering, Vol. 32, No. 2, pp. 139 – 146, 2012

2.研究方向及具體建議

復健機器人研究方向建議如下：

(1) 專用復健機器人設計：針對復健肢體所設計之專用機器人（如上肢復健、下肢復健、手部復健、踝部復健，或多部位整合復健等）進行機構設計，其可根據肢體所有部位充分運動軌跡之自由度以及適應病患不同身體尺寸進行調整；同時具有被動、主動與半主動之控制模式。除針對成人病患設計以外，以幼童病患為對象特殊設計之復健機器人亦是未來重要研究方向。

(2) 結合虛擬實境與其他感官刺激的復健訓練：透過視覺（不同物件、路況）、聽覺，觸感等其他感官刺激，進行肢體特有復健運動模式的設計，並進行與正常生活行動關聯之研究，同時可結合肌電信號等各類生理信號，進行病患運動狀況即時監控與分析，並設計產生對應最佳復健模式與阻力/助力之調配機制。

(3) 復健量化評估：針對復健機器人或復健評估專用機器，透過感測器所量取各類信號進行分

析，如扭力、速度、運動軌跡、步態、肌電信號，活動範圍與重心移動等等，建構客觀之病患復原量化指標，並與功能性醫療影像（如 fMRI）、傳統量表進行比對研究。

(4) 居家復健機器人與遠距居家復健：建構居家復健系統，包括結合雲端、視訊與虛擬實境之遠距居家復健系統開發；並搭配在不同復原程度下，可應用於居家使用之互換式、低成本或可攜式復健機器人。

分項子題 2：行動輔助機器人

規劃委員：郭重顯教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

『行動輔助機器人』之研發係以病患之復形、機能強化（Functional Enhancement）與行動輔助等需求進行研發，因此其應用相當廣泛。復形應用之機器人主要為電子式義肢，其用以修補病患因先天因素或後天傷害所造成之肢體缺損，並恢復其功能。國內產業以德林義肢公司[1]所研發之產品最具代表性；學術界研發團隊則包括了台灣大學[2 - 3]、清華大學[4]、成功大學[5]、長庚大學[5]等等；國外代表性之研究可以參考[7 - 9]。機能強化應用之機器人主要為外骨骼結構，其用以提供更高或穩定的骨骼運動輸出（Skeletal Motor Output），其目的在於輔助病患步行之穩定度；也可以提高作業承載力量，減少職業傷害。國內研發團隊包括了台灣大學[10]、清華大學[11]、長庚大學[12]、臺南大學[13]等等；國外代表性之研究可以參考[14 - 16]。行動輔助應用之機器人包括了機器人輪椅（Robotic Wheelchair）、助行器機器人以及外骨骼裝置。由於外骨骼裝置已於前面提過，因此不再重複。機器人輪椅之研究係將智慧型移動式機器人技術應用到電動輪椅，並結合不同創新介面（如腦波、眼動訊號等等）以增加輪椅之操控方便性、自主性與安全性。此外，助行器機器人也是將智慧型移動式機器人技術加以應用，並輔助視障或行動不便人士之行動。國內研發團隊包括了台灣大學[17 - 18]、交通大學[19 - 20]等等；國外代表性之研究可以參考[21 - 23]。

參考文獻

[1] 德林義肢公司網站，http://www.tehlin.com/

[2] 杜政憲, 應用於膝上型人工義肢之小型可調整式阻尼器之設計開發與特性研究, 臺灣大學機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[3] 林冠宏, 基於即時處理與 FPGA 實現之神經義肢驅動系統, 臺灣大學醫學工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[4] 曾劭暉, 下肢輔具之生物回饋控制, 清華大學動力機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[5] 賴昆宏, 全接觸式小腿義肢承筒之有限元素分析與實驗評估, 成功大學 機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[6] 徐啟峰, 動力輔助膝上義肢機構設計與本體感覺補償暨協同控制系統開發, 長庚大學醫療機電工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[7] X. Zhang, Y. Liu, F. Zhang, J. Ren, Y.L. Sun, Q. Yang, and H. Huang, "On Design and Implementation of Neural-Machine Interface for Artificial Legs," IEEE Transactions on Industrial Informatics, Vol. 8, No. 2, pp. 418 – 429, 2012.

[8] K.H. Ha, H.A. Varol, and M. Goldfarb, "Volitional Control of a Prosthetic Knee Using Surface Electromyography, IEEE Transactions on Biomedical Engineering, Vol. 58, No. 1, pp. 144 – 151, 2011.

[9] K.E. Zelik, S.H. Collins, P.G. Adamczyk, A.D. Segal, G.K. Klute, D.C. Morgenroth, M.E. Hahn, M.S. Orendurff, J.M. Czerniecki, and A.D. Kuo, "Systematic Variation of Prosthetic Foot Spring Affects Center-of-Mass Mechanics and Metabolic Cost During Walking," IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 19, No. 4, pp. 411 – 419, 2011.

[10] 吳佳峻, 具肌力輔助及復健效能之可攜式下肢輔具概念設計, 臺灣大學機械工程研究所碩士論文，民國 99 年。

[11] 許承志, 穿戴式下肢動力輔具設計與實作, 清華大學動力機械工程研究所碩士論文，民國 98 年。

[12] 李俊廷, 外骨骼步態復健機器人之設計與開發, 臺南大學系統工程研究所碩士論文，民國 96 年。

[13] 翁祥瑜, 外骨骼結構磁流變液阻尼調控下肢步行復健系統開發與功能測試, 長庚大學機械工程研究所碩士論文，民國 100 年。

[14] H. Kawamoto, T. Hayashi, T. Sakurai, K. Eguchi, and Y. Sankai, "Development of single leg version of HAL for hemiplegia," IEEE Annual International Conference of Engineering in Medicine and Biology Society, pp. 5038 – 5043, 2009.

[15] A.B. Zoss, H. Kazerooni, and A. Chu, "Biomechanical Design of the Berkeley Lower Extremity Exoskeleton（BLEEX）," IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 11, No. 2, pp. 128 – 138, 2006.

[16] E. Strickland, "Good-bye, Wheelchair," IEEE Spectrum, Vol. 49, No. 1, pp. 30 – 32, 2012.

[17] 蔡豐州, 創新電動輪椅之手輪馬達最佳化設計與應用, 臺灣大學機械工程研究所碩士論文，民國 98 年。

[18] 簡仁建, 具有適應性導航的輪椅系統, 臺灣大學電機工程研究所博士論文，民國 98 年。

[19] 林敬達, 以模糊理論為基礎實現智慧型輪椅機器人之自動停車設計, 交通大學電控工程研究所碩士論文，民國 97 年。

[20] 楊翔斌, 基於使用者意圖之行動輔具設計, 交通大學電控工程研究所碩士論文，民國 98 年。

[21] T. Carlson and Y. Demiris, "Collaborative Control for a Robotic Wheelchair: Evaluation of Performance, Attention, and Workload," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, Vol. 42, No. 3, pp. 876 – 888, 2012.

[22] L. Montesano, M. Diaz, S. Bhaskar, and J. Minguez, "Towards an Intelligent Wheelchair System for Users with Cerebral Palsy," IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering, Vol. 18, No. 2, pp. 193 – 202, 2010.

[23] B. Rebsamen, E. Burdet, C. Guan, H. Zhang, C.L. Teo, Q. Zeng, C. Laugier, and M.H. Ang Jr. "Controlling a Wheelchair Indoors Using Thought," IEEE Intelligent Systems, Vol. 22, No. 2, pp. 18 – 24, 2007.

2.研究方向及具體建議

行動輔助機器人根據不同研發屬性,其研究方向可分為復形與機能強化以及行動輔助兩部分加以建議。首先針對復形與機能強化機器人研發方向加以介紹。復形與機能強化機器人雖然臨床上功能是不一樣的，但是在工程與機電設計上有著類似的研究方向，因此合併一起討論；其研究方向及具體建議如下：

(1) 創新、輕量、高剛性與符合人因工程之創新機構設計：以創新方法與材料設計輕量與高剛性復形與機能強化輔具機構，達到減少使用者重力負荷與輔具電能消耗之目的。此外，以人因工程為出發點，評估使用者使用情境，使研發成果能更落實於使用者之實務臨床應用上，並兼具美觀與實用。最後，考量模組化與客製化之技術，針對不同病患或使用者需求量身打造合適之復形及機能強化輔具。

(2) 多重感測（Multi-sensory）與感測融合（Sensor Fusion）技術：透過不同電生理訊號（如肌電圖）感測以及力量、壓力、形變、幾何與溫度感測技術之整合，提供使用者意念（Volition）之即時識別。

(3) 訊號處理與識別：以高效能演算法進行上述多重感測訊號之使用者意念識別；其必須考量到個別性差異、即時計算性、抗雜訊干擾與穩定性等等。

(4) 運動軌跡規劃與穩定控制：針對不同的運動模式與參數進行個別化之運動軌跡規劃；此外，也能透過控制策略達成穩定與協調性之步態。

(5) 順應性控制與安全保護：復形與機能強化輔具在運動的過程中可針對環境中的接觸或者碰撞進行順應性（Compliance）控制與安全保護。此外，在足部復形與機能強化輔具接觸到地面時也可以降低與地面的衝擊力量。

(6) 人機介面與互動：以創新之人機與互動介面技術來提供容易且直覺的控制方式，使其更易於使用。

(7) 使用者訓練與評估系統：醫療輔具機器人為客製化與個別化之產品；因此其必須針對不同使用者定義使用程序，開發使用者訓練與評估系統，以識別出個人化參數來控制復形與機能強化輔具裝置。另外，也可以提供使用者進行訓練，並能評估其使用成效。

(8) 節能與驅動電力：除了低耗電控制策略外，也能考量以人體行動能量來對電池充電。

接下來就行動輔助機器人研發方向加以討論。由於外骨骼裝置已於前一部分說明，所以此一部分只針對機器人輪椅與助行器機器人研究方向進行建義。機器人輪椅與助行器機器人雖然在臨床功能上是不一樣的，但是工程與機電設計上有著類似的研究考量，因此合併一起討論；其研究方向及

具體建議如下：

(1) 創新前瞻行動輔具機器人設計：除了平地移動特性外，針對有高低落差之地面、樓梯及台階可以思考相關創新設計方案。

(2) 人機互動與輔具操控介面：除了搖桿操控介面外，以創新電生理訊號（如眼動圖或腦波）與力回饋方式進行控制；其除了可以增加病患之族群外，亦可提供更直覺性之操控方式。

(3) 環境感知與定位系統：偵測環境中障礙物、危險處及標的物，以各種室內及戶外定位技術來提醒使用者（如老人與視障人士）以及進行導航。

(4) 路徑規劃與自主導航系統：結合上述環境感知與定位系統，研發先進路徑規劃方法以及自主導航技術，建構行動輔具機器人智慧與自主能力，提高使用安全性。

(5) 生理訊號監控：結合生理訊號量測裝置，進行輪椅使用者之生理訊號監控，以確保使用者之安全，並於緊急事件發生時，進行即時通報，爭取黃金救援時間。

分項子題 3：手術機器人

規劃委員：顏炳郎教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

隨著人口老年化，以及病患對於醫療品質的日益重視，醫療在質與量上都需要滿足更高的需求。透過醫療機器人系統所能提供的靈巧操控，精準定位，以及術前規劃等特色，醫療機器人在未來的治療過程中，將扮演極為重要的角色[1-3]。因此自從 1985 年，第一個在腦神經外科手術中協助醫師將手術器械抓持在特定方位的裝置開始，世界各國都極力在這個領域發展，目前大都已進入臨床實驗階段，或已經商業化，如 da Vinci、ROBODOC、Acrobot[4]，即為最典型也已經商業化的成功例子，目前各國如歐盟[5]以及日本，韓國，大陸等亞洲國家也都非常積極投入，並認為醫療照護在未來將成為非常重要的產業。

參考文獻

[1] P. Kazanzides, G. Fichtinger, G.D. Hager, A.M. Okamura, L.L. Whitcomb, and R.H. Taylor, “Surgical and Interventional Robotics: Core Concept, Technology, and Design” IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 15, No. 2, pp. 122-130, 2008.

[2] G. Fichtinger, P. Kazanzides, A.M. Okamura, G.D. Hager, L.L. Whitcomb, and R.H. Taylor, “Surgical and Interventional Robotics: Part II, Surgical CAD-CAM System,” IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 15, No. 2, pp. 94-103, 2008.

[3] G.D. Hager, A.M. Okamura, P. Kazanzides, L.L. Whitcomb, G. Fichtinger, and R.H. Taylor, “Surgical and Interventional Robotics: Part III,” IEEE Robotics and Automation Magazine, Vol. 15, No. 2, pp. 84-93, 2008.

[4] B. Davies, M. Jakopec, S.J. Harris, F.R. y Baena, A. Barrett, A. Evangelidis, P. Gomes, J. Henckel,

and J. Cobb, “Active-Constraint Robotics for Surgery”, Proceedings of the IEEE, Vol. 94, No. 9, pp. 1696-1704, 2006.

[5] S.Y. Ko, L. Frasson, and F.R. y Baena, “Closed-Loop Planar Motion Control of a Steerable Probe with a “Programmable Bevel Inspired by Nature,” IEEE Transactions on Robotics, Vol. 27, No. 5, pp. 970- 983, 2011.

2.研究方向及具體建議

發展醫療機器人並非要取代外科醫師，而是要在手術過程扮演輔助醫師的角色，與醫師專長互補，提供更小傷口、更靈巧、更精準的手術工具操控進行手術。舉凡腦神經外科手術、臉部手術、眼科手術、骨科手術、胸腔手術（如心臟手術）、腹腔手術、骨盆腔手術（如攝護腺手術）、放射線外科手術等等，醫療機器人均可協助醫師，使病患得到更好的治療效果。

發展醫療機器人需要醫師共同合作，並決定特定手術應用領域；研究方向建議可朝：

(1) 微創手術技術：採主從機械臂架構之軟組織手術輔助機器人，朝擁有高靈巧性，小體積，可進入的彎曲的腔體，或在軟組織中循彎曲路徑移動，符合微創手術需求。此外，如 Snake-like、Capsule Endoscope、Steerable Catheter 等醫療機器人在手術工具端有感測器（如力量、觸覺或生物信號等），且於主控端有高操控性之靈巧機構與觸感（Haptic）回授控制。

(2) 影像導引技術：融合多種醫學影像之影像導引系統可顯示術中器官的變形與移動，可自動進行術中影像追蹤，並產生導引手術工具之虛擬導具（Virtual Fixture）。

(3) 低成本系統：採用『智慧型工具』概念發展低成本之小型手術機器人，其可直接安裝於手術器官上，可避免器官移動而影響手術精度（如骨科之 MBARS，神經外科之 SpineAssist）或者因器官跳動造成操控上的困難（如心臟科之 Heartlander）。此外，手持式機器人（Blue Technology）也是重要的發展方向。

(4) 方位校準技術：以生理特徵點直接進行座標轉換之方位校準，改善 ICP 之校準精度與速度之方位校準策略，並可針對將軟組織變形納入考量之非剛性方位校準策略等。

(5) 人機互動控制技術：研發符合人體工學之人機互動裝置，發展智慧型人機控制器。

分項子題 4：生理訊號看護系統

規劃委員：李柏磊教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

隨著科技日新月異的發展，人們的生活環境有了莫大的改善；加上醫學技術的大幅提升，使得

人類在優良的健康條件下生活，而增加了壽命，因此人口老化成了全球不可避免的趨勢。根據內政部戶政司於 2007 年的統計資料，自 1993 年 9 月起，我國 65 歲以上老年人口已達全國人口比率 7%，正式邁入聯合國衛生組織之高齡化社會。根據行政院經濟建設委員會之推估，我國老年人口於 2032 年達總人口數之 20%，人口老化速度明顯高於歐美國家。而同屬亞洲之鄰國日本老年人口預估佔全國人口的比例將由 1995 年之 14.6%提高至 2015 年之 26%。在醫藥發達的今天，年老後雖然有好的健康狀況，但隨著年齡增長，人體的功能性及認知性也隨之退化缺損，因此解決老人照護問題勢必成為政府重要的施政方針，並且需要龐大長期性的看護社會資源。除了老年人的醫療照護需求急遽增加，腦中風、漸凍人以及其他肢體麻痺或癱瘓等病患皆是屬於無法自行照顧而需要照護人員協助平時生活起居的患者。所以，為了兼顧支出及照護品質，如何未雨綢繆，開發高效能的生理訊號看護系統，是一項刻不容緩的議題。

由於人體生理訊號相當微弱，一般從毫伏特（mv）~微伏特（μv）等級不等，這些訊號大多伴隨著許多不可預期的內在或外在雜訊（如：肢體擾動、電磁波雜訊、量測雜訊等），因此通常需要有效的訊號處理技術，量測特定生理訊號並解譯，達成照護或監測的目的。在生理訊號處理的發展上，目前已發展相當多先進訊號處理技術；舉例而言，如：美國加州聖地牙哥分校[1] 、芬蘭赫爾辛基大學的獨立成份分析法(ICA)[2]、或是中央大學數據分析方法研究中心的希爾伯黃轉換(HHT)[3]，都是重要的分析技術。而看護系統的應用設計，可以包含使用者自行照護、或者醫護人員遠端照護病人兩方面。在使用者自行照護系統方面，相關研究成果包括成功大學運動區腦波人機介面系統[4]、中央大學視覺腦波人機介面系統[5]、交通大學駕駛員腦波偵測系統[6]、逢甲大學團隊的追瞳系統[7]、眼動波（EOG）操控人機介面[8]、肢體辨識系統等。另外，在遠端醫護人員照護系統與技術之研發成果包括了可攜式隨身心電圖系統、非接觸式生理量測系統、紅外光血氧計、智慧型跌倒偵測儀、遠距看護監控系統等等，這些都是重要的議題。

參考文獻

[1] S. Makeig, A.J. Bell, T.P. Jung, and T.J. Seijnowski, “Independent Component Analysis of Electroencephalographic Data,” Advances in Neural Information Processing Systems, MIT press, Cambridge MA, pp. 145-151, 1996.

[2] A. Hyvarinen, E. Oja, “A Fast Fixed-point Algorithm for Independent Component Analysis,” Neural Computing, Vol. 9, No. 7, pp. 1483-1492, 1997.

[3] N.E. Huang, S.R. Shen, M.C. Long, H.H. Wu, Q. Shih, N.C. Yen, C.C. Tung, and H. H. Liu, “The Empirical Mode Decomposition and the Hilbert Npectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis,” Proceeding of the Royal Society A, vol. 454, pp. 903-995, 1998.

[4] C.W. Chen, C.C. K. Lin, M.S. Ju, “Detecting Movement-Related EEG Change by Wavelet Decomposition- Based Neural Networks Trained with Single Thumb Movement,” Clinical Neurophisiology, Vol. 118, , pp. 802-814, 2007.

[5] P. L. Lee, J. J. Sie, Y. J. Liu, M. H. Lee, C. H. Shu, P. H. Li, C. W. Sun, and K. K. Shyu, "An SSVEP-actuated Brain–computer Interface Using Phase-tagged Flickering Sequences: A Cursor System," Annals of Biomedical Engineering, Vol. 38, No. 7, pp. 2383–2397, 2010.

[6] C.T. Lin, S.A. Chen, T.T. Chiu, H.Z. Lin, and L.W. Ko, "Spatial and Temporal EEG Dynamics of Dual-Task Driving Performance," Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation（JNER）, Vol. 8, Vol. 11, 2011

[7] C.S. Lin, L.W. Lue, M.S. Yeh, T.S. Hwang, S. H. Lee, "A New Image Processing Method for Evaluating the Pupillary Responses in a HMD Type Eye-tracking Device," Optics and Laser Technology, Vol.35, No. 7, pp. 505-515, 2003.

[8] R. Barea, L. Boquete, M. Mazo and E. López. "Wheelchair Guidance Strategies Using EOG," Journal of Intelligent Robotics System, Vol. 34, pp. 279-299, 2002,.

[9] T.J. Sullivan, S.R. Deiss, and G. Cauwenberghs, "A Low-noise, Non-contact EEG/ECG Sensor," IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference, pp. 154-157, 2007.

2.研究方向及具體建議

本子題研究議題涵蓋範圍主要可以從生理訊號處理、量測系統、看護控制系統、與遠距看護網路四個部分進行探討。藉由新式感測器的設計，配合新穎訊號處理技術，讓使用者對於看護系統進行控制，或單純將生理訊號經由傳輸網路，交由雲端系統進行分析監控，以配合不同程度之病患需求，由輕度到重症的病患，依照不同情形，設計適用且好用的看護系統。未來之研究方向，依重要性建議可朝以下四項發展：

(1) 看護控制系統研發：本研究之重點在於針對具有不同活動能力的使用者，依照病患情形開發適用的新穎控制技術看護系統。主要可以分為腦機介面（BCI）與人機介面（HMI）兩部分，腦機介面可以針對不同大腦訊號進行設計（如：視覺誘發電位、運動區腦波訊號、P300 腦波、Alpha 波等），利用高等訊號處理、分類器（Classifier）等自適性技術，開發可以適用於大部分使用者的腦波看護系統；在人機介面方面，可以依照使用者的活動情形，開發追瞳技術、手勢（或肢體）互動操作介面、眼動波操控滑鼠等。其它運用新式生理控制之看護系統，皆包含在本子題的範圍內。

(2) 開發新穎生理訊號處理技術：人體具有許許多多的生理訊號，每一種生理訊號都有其特殊的頻帶範圍與波形特性，如：Alpha 波（10 Hz）、Beta 波（20 Hz）、眼電圖（0.1 ~ 40 Hz）等。而在這些生理訊號監控與應用的關鍵在於如何能夠萃取出所需要的生理訊號，濾除不需要的雜訊。尤其是在可攜式生理量測系統的應用上，系統必須面對受試者肢體擾動、以及暴露在高雜訊環境中的挑戰。錯誤的生理訊號判讀，將導致嚴重的誤判後果，本研究發展重點在於新穎訊號處理的研究，尤其是即時訊號處理與數位電路系統的研製。

(3) 新式生理訊號感測器之研發：生理訊號可以包含光波（如：紅外光血氧計）、聲波（如：語音溝通系統、電子耳等）、磁波（腦磁波儀）、電波（如：腦電波、心電圖、肌電波等）不同形式，

不同形式的生理訊號則需要使用不同的感測器進行量測。然而，過於笨重或長期接觸的量測裝置（如：腦波與肌電波電極 ），常造成使用者使用上不方便，或是長期配戴造成紅腫、過敏的現象。因此，國內像是交通大學與國外研究團隊[9]皆致力於開發輕巧的乾式電極或非接觸式電極的研究，其它如紅外光可攜式量測系統的研製，都有助於看護系統的使用性與便利性的提升。

(4) 遠距看護監控系統：主要針對遠距生理訊號或智慧型防跌倒之監控系統進行研究，藉由有線、無線、穿戴微小化的生理參數感應器，建構家庭內監控環境之建置，量測使用者之心電訊號、血氧訊號、腦波訊號、血壓訊號等，讓遠端的醫護人員能有效掌握使用者的生理參數情形。發展範圍包括智慧型家庭內監控環境建置開發、以及有效率的生理訊號資料傳輸技術。

子題三：服務應用機器人系統

召集人：林沛群教授

規劃委員：蔡清池教授、蘇仲鵬教授、黃國勝教授、林沛群教授

規劃分項：1. 庶務處理機器人

2. 救援機器人

3. 清潔機器人

4. 教育娛樂機器人

前言

隨著機器人領域與相關技術的持續發展，許多和普羅大眾相關的應用逐漸衍生出來，背後的動機，自是希望能以機器人來取代人們進行一些在日常生活中所需要處理的一些事項。本子題所規劃的內容，冀望在這個思維與架構下，將近幾年來所可以進行的相關研發內容作一個分類與彙整。本子題內所規劃的大部分項目，也由於內容必須貼近普羅大眾，具有可商品化的特質，也因此，在研發的定位上，也必須慎重考量成本因素以及人性。同時，也由於人們生活中所需處理的事項大抵上是不變的，因此，在短程和長程的發展目標上，相對於其它機器人領域較為明確。舉例來說，人們當然是希望能有一個全能的機器人在家中服務，協助處理日常生活瑣事（清潔、烹調、照顧老人小

孩等)，這是一個長遠的目標，因此，切入方式自然是以每一個單一項目個別突破，後續再尋求彙整。在這一個架構之下，服務項目就可以切割成許多短期內可以聚焦的目標。iRobot 所生產的清潔機器人便是一個很經典的案例，以某個水準之上的機器人技術，開發出單一功能的大眾商品，但價格上人們可接受且服務上人們可滿意，因此能席捲全世界，迄今已賣出約 300 萬台，並仍具有後續強大的商機。LEGO 所生產的 Mindstorms NXT 則是另一個經典的案例，是一個適用於廣大年齡層，具有教育和娛樂雙重意義的產品。

本子題將近期學業界所發展服務機器人相關的項目分為四個分項，主軸為處理日常生活的庶務機器人、特定任務的保全與救援機器人、以及教育娛樂機器人。而由於清潔機器人相關技術近幾年來蓬勃發展，從學界研發到業界產品有完整的開發線，因此將清潔這一個項目自庶務機器人中獨立開來單獨討論，因此，本子題下規劃共四個分項。在這裏非常感謝蔡清池教授、蘇仲鵬教授、和黃國勝教授的大力幫忙，使這一個子題的規劃能順利完成。

分項子題 1：<u>庶務處理機器人 ---蔡清池教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

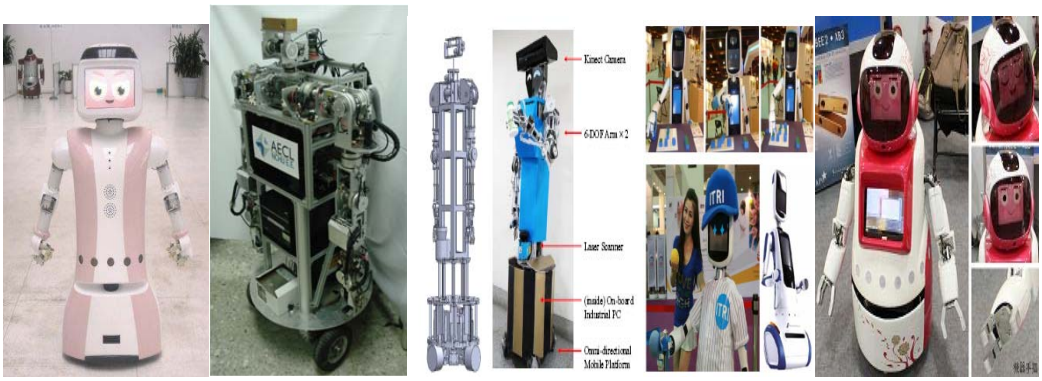
服務機器人（Service Robot）的廣義定義是指廣泛用於提供對人類福利和設備有用的服務（製造操作除外）的半自主或自主的機器人。依此定義，本規畫所探討的庶務處理機器人是指可使用於住家或工作場所，幫助人們處理日常事務的半自主或自主的服務型機器人。另依使用的目的而言，庶務處理機器人可以協助處理家庭事務（如家庭保姆、衣物摺疊與處裡、清洗窗戶，打掃清廚房、洗碗，寵物照護，護理支援、食物與藥品遞送、居家伙伴、居家節能省碳管理等事務)，也可用作為一般工作場所活動的處理平台（如咖啡遞送，物件組裝，食物烹調等)。

（a）　（b）　（c）　（d）　（e）　（f）　（g）

圖八、 庶務處理機器人系統：（a）ARMAR-IIIa,（b）Rosie,（c）Smart Pal V,（d）Wakamura,（e）PR2, (f）TUM-Rosie,（g) Twendy-One.

世界上庶務處理機器人之研究，早已行之多年，且有許多公開展示的機型。圖八說明已在國際上公開發表的七種庶務處理機器人系統: 圖八（a）為德國 Karlsruhe 大學所研製的第三代輪型雙手臂服務機器人（ARMAR-IIIa），含有主動式的雙視覺系統與 7 自由度的雙手與臂，可進行視覺伺服，進行物件抓取與進一步的操作功能，可用於食物烹調，食物遞送，以及廚房工作[1]。圖八（b）皆為日本 Toyota 公司所研發的 Rosie 清潔機器人; Rosie 備用於商業機場導引、行李搬運、護理支援等庶務工作。圖八（c）為日本安川電機公司所開發的 Smart Pal V 服務機器人，專用於家庭保姆與洗衣打掃清廚房等庶務工作。圖八（d）為大眾熟悉的輪型移動雙臂機器人 Wakamura[2]，可用於家事服務、餐飲服務與健康照護等工作。圖八（e）為 Willow Garage 公司所研製的 PR2 機器人，可用於家事服務等工作。圖八（f）為結合 Mecanum 全方位運動平台的移動雙臂機器人 TUM-Rosie，有物件抓取與行動操作等能力， 可用於家庭事務與一般工作場所的庶務工作。圖八（g）是日本早稻田大學 Sugano Lab 的發展出的擬人化機器人 Twendy-One ，其前身是 Wendy，被設計來支援家裡的大小事、家庭照護，可與人交流共處，其最大特徵是身體各部位裝有許多被動軟件（力量和碰觸感應器），透過這被動軟件吸收外界的誤差與干擾，在接觸人類時才能發揮較高的應答性與適應能力。有效利用此元件技術，Twendy-One 可使其能尋求抓取物件、安排家事支援，實現居家照護、與人共生的功能[3]。

國內所發展的服務機器人之發展已有不錯的成果，亦能逐漸地趕上國際的研發水平，但其使用的目的與功能，僅能說具有某部分庶務處理功能的服務機器人。圖九（a）為 Monica[4]，為台灣大學羅仁權教授領導的研究團隊所研發之機器人，手臂具有 4 個自由度，手掌為 10 個自由度，其手指從雞蛋到原子筆都可輕鬆夾取。圖九（b）為中興大學所開發的 AECL1 輪型雙臂服務機器人[5]，可用於娛樂、泡咖啡與製造組裝等工作。圖九（c）為交通大學電控所所開發的移動雙臂服務機器人，可用於居家服務等工作[6]。圖九（d）為 ITRI 機械與系統研究所開發的智慧型服務機器人 Roppie，圖九（e）為台大電機系所開發的智慧機器人 Julia。



（a） （b） （c） （d） （e）

圖九、 國內發展具有庶務工作能力的的雙臂服務機器人：（a）Monica,（b）中興大學 AECL1 雙臂服務機器人,（c）交通大學移動雙臂服務機器人,（d）ITRI 機械與系統研究所開發的智慧型服務機器人 Roppie,（e）台灣大學電機系的 Julia.

綜觀上述國內外已發展的庶務處理機器人技術，可得知這些機器人具有以下的技術特色。其一是具有多功能，具整合視覺伺服與力量控制的雙手臂系統已被廣泛使用。其二是其運動平台與雙手臂的運動路徑規畫與控制方面，已有廣泛深入的研究。其三是已有稍具複雜環境與物件認知的功能，可從較複雜環境中找尋所需的物件。其四是可執行多模式的人機互動技術，使用語音，手勢，視覺與觸覺等互動模式。其五是多重訊號融合技術備使用得到更強健的感知技術。其六是有效可行的系統整合與其創新應用。但上述的技術仍有許多美中不足之處，例如（1）雙手臂系統的靈巧與智慧操作等性能，離真人般的靈巧雙手尚有一段距離;（2）整合運動平台與雙手臂等兩模組的運動規劃、控制與系統實現，使可完成更複雜的工作，需待進一步的努力；（3）技藝學習技術尚未成熟且未推廣至庶務處理機器人;（4）仿人式的認知技術尚待發展; （5）未有高階推理能力的學習與服務機構導向的人機界面系統設計；（6）整合移動、手、眼、力、腦認知等功能的進階研究，尚在萌芽階段。

參考文獻

[1] T. Asfour, K. Regenstein, P. Azad, J. Schr¨oder, A. Bierbaum, N. Vahrenkamp and R. Dillmann,“ARMAR-III: An Integrated Humanoid Platform for Sensory-Motor Control,” IEEE-RAS InternationalConference on Humanoid Robots, pp. 169-175, 2006.

[2] Z. Li, A. Ming, N. Xi, M. Shimojo, and M. Kajitani, “Mobile manipulator collision control with hybrid joints in human-robot symbiotic environments,” Proc. of IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, Sendai, Japan, pp. 154-161, September 28-October 2, 2004.

[3] H. Iwata and S. Sugano, “Design of human symbiotic robot TWENDY-ONE,” IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 580-586, 2009.

[4] 台灣大學羅仁權教授網站，http://www.ee.ntu.edu.tw/profile?id=758.

[5] C.C. Tsai, Y.S. Wang, Y.Y. Li, “Design and Implementation of an Anthropomorphous Two-Armed Robot with Multiple Task Applications,” Proc. of 2009 International Conference on Service and Interactive Robots, Taipei, Taiwan, August 6-7, 2009.

[6] K. T. Song, C. H. Lin, S. C. Tsai, S. C. Hung, Y. C. Liao, C. C. Wu, “Development of Robot-on-Demand Behaviors Based-on Visual Tracking and Wireless Sensor Network,” 2011 International Conference on Service and Interactive Robots, National Chung Hsing University, Taichung, Taiwan, pp. 261-266, Nov.25-27, 2011.

2.研究方向及具體建議

綜合以上國內外有關庶務處理機器人的研究現況而言，要達到高智能化且多功能，多技能的智

慧型行動庶務處理機器人，的確仍有許多的發展與創意空間，尤其在（1）仿人型靈巧且有力量順從的雙手指與手臂之設計，先進控制技術與嵌入式技術實現;（2）安全流暢的三維運動規劃、控制與系統實現；（3）利用多重感測融合技術達成環境與物件的強健感知，三維環境重建與定位；（4）發展模型化的認知方法，使機器人可有效地認識環境，物件與情境；（5）建立藉由視覺觀察、行為模仿與加強式學習，學習新技藝或新行為的技術；（6）以 iPhone 之設計概念建置直覺的人機互動操作技術;（7）發展高階推理能力的學習與服務機構導向的人機界面系統設計。

分項子題 2：<u>救援機器人 ---蘇仲鵬教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

近年來由於地球環境劇烈變遷，各地天災頻傳，災區救援成了非常重要的課題與挑戰。為了加速災區救援行動，降低救難人員的安全風險以及提升遇難者搜救的效率，救災機器人成為重要的輔助搜救利器。有鑑於此，國際非常著名的機器人競賽 RoboCup 也將救援機器人獨立列為單項的年度重要競賽[1]，吸引來自世界各國機器人研發團隊的熱烈參與，共同激發創意並切磋救災機器人的相關技術，其重要性可見一般。若以救災的工作性質而言可大致區分為「災區(廢墟)偵搜(Search）與輔助救援（Rescue）機器人」兩類；災區（廢墟）偵搜又可大致區分為空中搜索與地面偵查機器人，當搜救人員無法或尚未進入災難現場，可協助傳回災區影像並建立準確可靠的模擬地圖，並且隨時更新，讓無法或尚未進入現場的搜救人員能掌握裡面的情況，能快速擬定妥善的救災策略，減少傷亡；而輔助救援機器人，則藉由配置各種感測器協助標示危險地區，並檢測是否有生命反應，以完成受難者的搜救任務。

由於救災機器人必須在嚴苛的環境中進行探索與救援，機器人的機構設計，除了必須能在救災現場各種複雜的環境下運動之外，必要時也要配備機器手臂使具有簡單的障礙排除能力；就機器人操控方式可分為遠端遙控或自主運動控制機器人，而完善的機器人自主運動能力則涉及許多技術，其中環境感知（Scene Understanding）尤其重要，唯有能夠認知、瞭解環境，才能使機器人真正自主行動，特別是機器人必須能夠在諸多障礙物的環境中，就起始位置與目標位置間，規劃出一條不會碰撞（Collision-Free）的路徑軌跡，要具備這樣的能力，機器人系統必須能夠在非結構的環境下建構虛擬環境地圖（Map Building)、自我定位（Localization)、並完成自主（Autonomous）運動的控制。

所謂地圖建構是指建立環境中的靜態物體在空間上的距離關係，定位則是確立機器人在環境地圖的空間位置。為因應即時建立地圖與自主定位的需求，同時建地圖與定位（Simultaneous

Localization and Mapping，SLAM）[2][3]的技術可以提供一解決方案，作法係機器人在未知環境中以探索的方式同時進行導航與地圖建置的工作，當機器人被放置在一個未知的環境中，機器人能夠啟動探索環境的運作模式自主移動，並且在過程中融合感測裝置的資訊，描繪出周圍的環境變化，如此一點一滴的描繪出障礙物佔有格狀圖的虛擬地圖輪廓，待機器人完成探索工作並回到最初放置的原點即完成整個虛擬地圖的建置，當機器人接收到新的移動命令或執行任務時可依據此虛擬地圖進行定位，隨時獲知自身在室內環境中的位置座標[16]。

用於災區能進行低空搜索及定點停懸偵測的空中搜索救援機器人，典型的有小型遙控或自主飛行無人旋翼機，包括無人直升機（Unmanned Helicopter）或多旋翼機（Multi-rotor Craft）。近年來對於無人直升機自主飛行控制之研究，在國外已有相當的成果，除了在業界已有各式各樣不同用途的產品問世之外，在學術界較有成就且令人深刻的，就屬美國麻省理工學院的 MIT-DSAAV [4]，史丹佛大學的 Stanford- Hummingbird [5] ，加州柏克萊大學的 UC Berkely – BEAR [6]，喬治亞理工學院的 SiCX 12 [7] ，及日本東京工業大學的 Sugeno 團隊[8]等；國內無人自主無人直升機的研究則仍在研究發展階段。而各種自主飛行多旋翼機系統，典型的有三旋翼、四旋翼及六旋翼機，國內外有不少研發成果可參閱 Youtube 網站所發表的相關信息。至於災區地面偵蒐與救援機器人，除了典型的各種輪型及履帶機器人[9][10][11][12]外，更有用於地震現場的蛇形機器人[13][14]，機器蛇目標主要在搜索，雖然移動速度不快，但卻能在各種彎角轉彎，或是把自己縮起來以通過小洞，加上配備有如同眼睛的攝影機，這種機器蛇可以將災區內部的情況傳送給外頭的援救者，它們也可以被用於檢驗橋梁、礦山、任何對於人而言太過密閉的空間。此外，用於障礙物排除、拆除炸彈與爆破的救援機器人，適合應用在如紐約世貿大樓災難與日本 311 福島核災現場，如美國偵查排爆機器人 TALON Robot[14]是一個強力、堅韌、輕巧的履帶車型機器人，有全天候、日夜、水陸兩棲工作能力，可爬 43 度的樓梯，40 度的斜坡，高 38cm 的障礙物，並在任何地形巡航，能舉起 11KG 重物品，任何環境均可使用，並且可以潛水，深度為 27 公尺。

參考文獻

[1] RoboCup Rescue Robot Rules,http://www.robocup2010.org/documents/RoboCupRescueRules_2009.pdf

[2] C.-C. Wang, “Simultaneous Localization, Mapping and Moving Object Tracking," in Robotics Institute Pittsburgh, PA: Carnegie Mellon University, 2004.

[3] Chen Chen and Yinhang Cheng, “Research on Map Building by Mobile Robots,” Second International Symposium on Intelligent Information Technology Application （IITA '08）, Vol. 2, 20-22 Dec. 2008, pp. 673 – 677.

[4] http://web.mit.edu/whall/www/heli/paper/paper.html

[5] http://www.stanford.edu/group/arl/projects/hummingbird-autonomous-helicopter

[6] http://robotics.eecs.berkeley.edu/bear/
[7] http://www.guidedsys.com/VTOL/sicx-12-uav.php
[8] M. Sugeno, “Development of an Intelligent Unmanned Helicopter,” in H.T. Nguyen and N.R. Prasad Ed.: Fuzzy Modeling and Control: Selected Works of M. Sugeno, CRC Press NY, 1999, pp.13-43.
[9] C. Dornhege, J. Bendler, R. Bersan, P. Blohm, M. Gloderer, A. Hertle, T. Liebetraut, D C. Puyol, A. Kleiner, and B. Nebel, “RoboCup Rescue 2010 - Robot League Team RescueRobots Freiburg（Germany）,” Workshop Robocup Singapore 2010.
[10] K. Uschin, S. Inteam, T. Benjawilaikul, N. Sae-eaw, A. Trakultongchai, P. Klairith, W. Jitviriya, and P. Jenkittiyon,” RoboCup Rescue 2010 - Robot League Team iRAP_PRO （Thailand）,” Workshop Robocup Singapore 2010.
[11] K. Ohno1 and T. Yoshida, “RoboCupRescue 2010 - Robot League Team （Japan）,” Workshop Robocup Singapore 2010.
[12] N. Enayati, G. Mahaseni, A. Tamjidi, M. Fallahinejad, A. Mobarhani, S. Malektaji, and F. Najafi, “RoboCupRescue 2010 - Robot League Team PARS （Iran）,” Workshop Robocup Singapore 2010.
[13] http://pansci.tw/archives/1697
[14] http://www.ri.cmu.edu/research_project_detail.html?project_id=407&menu_id=261
[15] 連育德．吳鎮宇．吳旻修．蔡宗親．陳冠廷．鍾睿洲．郭重顯，” RoboCup 2010 各國救災機器人現況分析”，機器人世界情報網，2010 年 10 月。
[16] 許陳鑑教授，”機器人核心技術：地圖建立與定位”， 98 年度國科會工程處控制學門規畫主題。

2.研究方向及具體建議

一般而言救援機器人必須具備下列基本能力[15]：（一）救災現場條件的適應性；（二）配備齊全的感測器；（三）完善的自動或遙控能力與介面；（四）具遠端通信的中央導控與顯示介面系統；（五）定位與環境地圖的建立；（六）物件辨識與受難者偵測能力、（七）機器人間的溝通合作能力等。因此相關研究主題可規劃如下：

(1)救援機器人的機構設計：

為因應複雜的救災現場條件，機器人的機構設計也必須有足夠的彈性，以適應包括崎嶇、高低不平、斜坡、狹窄、泥濘、濕滑的路面，以滾輪、履帶、滑動或足行前進，或交互運行。有時也要考慮高溫下、高汙染或高輻射等條件下工作，必須有必要的防護設計。此外，往往也需具備障礙排除以及協助救援的機構設計。

(2)感測器融合技術的研究：

自主救援機器人通常是透過雷射測距（Laser Range Finder）、超音波測距、和慣性測量儀（Inertia Measurement Unit）作為機器人自主運動的狀態感測信號，作為自主運動控制的回授信號，經由控制器產生適當的控制信號，以進行探索、偵測、搜尋與救援的工作，其中包括自動地圖建模、自我定位、路徑規劃以及自動避障的功能；另外也藉由熱感測影像、麥克風及喇叭，和二氧化碳濃度感測器等，來偵測環境之聲音並檢測是否有生命反應以完成受難者

的搜救任務。針對有限的感測器，往往需要將感測資料進行融合，產生必要的自主運動的狀態信號，以及受難者救援所需的訊息。

(3)自主運動控制器設計：

面對複雜多變的不確定環境，以及不同性質的搜尋與救援機器人，如何設計有效的運動控制器，提升機器人的自主性（Autonomy）是一項非常重要的研究主題。包括遙控/自動的切換、環境狀態圖的設計、有效的控制律、電源規劃及管理、感測器資料傳輸與介面等，特別在小體積、低耗能的要求下，控制板的實現可能需要以特殊的 DSC 晶片、MCU 或嵌入式單晶片（Programmable System on Chip, PSoC）來實現。

(4)定位與環境地圖的建立：

並行建立地圖與定位（SLAM）的技術是救援機器人功能設計上的一項核心議題。機器人在未知環境中以探索的方式同時進行導航與地圖建置的工作，使得在一個未知的環境中，能夠啟動環境探索的運作模式自主移動，並融合感測裝置的資訊描繪出周圍的環境變化，建立虛擬的地圖輪廓，使得當機器人接收到新的移動命令或執行任務時可依據此虛擬地圖進行定位，並規劃一條行進路線是一項重要的研究主題。

(5)中央導控系統與顯示介面設計：

設計功能完善的中央導控電腦系統，包括可靠的遠端通信界面，作為對機器人下達移動命令或任務指令，並顯示機器人的運動狀態、虛擬環境地圖、即時影像，以及機器人的健康狀態等訊息是救災機器人設計不可或缺的一部份；除了機器人自主運動中對中央端提供災區重要訊息外，往往也需要遙控撥桿介面，使得操控人員可以透過中央控制站，切換機器人為遙控模式，並直接透過撥桿操控機器人行進，特別是針對受難者的協助救援時，透過遙控模式可以更直接地提供救援並與受難者通信。

分項子題 3：<u>清潔機器人 ---黃國勝教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

清潔機器人產品中，由美國 iRobot 公司的 Roomba 系列吸塵機器人產品成為開拓其市場的先鋒之一，iRobot 公司所推出 Roomba 是第一個較為一般家庭所廣為接受的機器人，雖然只是一具家用型地板清潔機器人，但由於它的功能十分符合人們生活上的需求，除了先期推出具備地板吸塵功能的機器人產品之外，亦逐漸將應用範圍擴展至洗地、掃地、游泳池清潔、排水溝清潔、家庭監測共六型服務型機器人，目前該公司產品已經累計銷售達到約 300 萬台。近年來我國松騰實業也有

相應推出同為家庭吸塵清潔功能的機器人產品，截至目前為至松騰實業已經壯大成為台灣第一大、全球第二大清潔機器人品牌，且近期與微星科技合作共同推出同時具備保全、陪伴、吸塵 3 合 1 機器人 RV-13ipc，也將開發保全機器人 MIP-01，市場預估今年的銷售量將可成長 50%。另外根據國際機器人聯盟（International Federation of Robotics，IFR）的統計指出 2006 年至 2009 年之間智慧型清潔機器人有將近 400 萬台的銷售量。基本上，在清潔機器人技術還未完全成熟的現在，清潔機器人的分類還不太明確，但就依功能廣義上大致可以分為四種：

1、家庭用地面清潔機器人、

2、大樓用地面清潔機器人（可行至不同樓層工作）、

3、玻璃外牆用清潔機器人、

4、其它用途清潔機器人。

隨著近年來計算機技術、人工智慧技術、感測技術、以及致動技術的迅速發展，清潔機器人控制系統的研究和開發已具備了堅實的基礎和良好的發展前景。清潔機器人系統通常是由四個部分組成:移動機構、感測系統、控制系統、和清潔致動系統。移動機構是清潔機器人的本體，決定了清潔機器人的運動空間，一般而言，平面移動係採用差速輪式機構，而垂直移動則採用懸吊吸附方式的機構。感測系統一般採用超聲波測距儀、接觸和近接感測器、紅外線感測器和 CCD 攝影機等。清潔機器人的控制與工作環境往往不確定或無結構性（Unstructured），因此必須兼顧安全可靠性、抗干擾性以及清潔達成度。近年來對於工作在複雜結構環境中的自主式行動機器人的研究中，大都集中在於如何進一步提高其自主性，環境識別及避障、及時傳輸及人工智慧方法等尋功能。而此皆需藉由全域環境模型地圖，機器人從而可獲取路徑規劃資訊，再用感測器或視覺探測環境、分析信號，以及建立環境模型，獲得環境的更多資訊。就目前而言、對清潔機器人設計研發展影響較大的關鍵技術大致可概分為：1. 路徑規劃技術、2. 多感測器融合 技術、3. 致動技術、4. 電源技術等等。

(1) 路徑規劃技術

路徑規劃就是根據機器人所感知到的工作環境資訊，按照預定績效指標或成本，在起始點和目標點規劃出一條與環境障礙無碰撞的路徑，並且實現所需清掃區域的合理完全路徑覆蓋，其本質上就是行動機器人運動過程中的導航和避碰。大多數清潔機器人都會配備或供選購“虛擬牆”，使用兩個紅外發射器或磁感應器來給清潔機器人製造一堵虛擬的牆，從而限定其工作區域來保護機器人或保護主人隱私。當機器人電力不足是，其會發出紅外或氣味標記工作停止地點和已清潔地面，還有的用超聲波記錄下該地點的超聲波環境，在用感測器找到並返回

泊位器充電後就會自動找到標記地繼續工作。

隨著計算機技術和感測器技術的發展，多感測資訊融合技術應用在結構化或非結構化環境下運動已是行動機器人關鍵技術發展的重點之一。機器人工作環境大致可分為靜態結構化環境、動態已知環境和動態不確定環境等。路徑規劃係按獲取環境資訊的方式不同，大致分為三種類型: a. 基於環境模型（環境地圖）之路徑規劃，主要處理結構化環境，而規劃方法有柵格法、可視圖法、拓撲法等。 b.基於感測器資訊之路徑規劃，主要用於非結構化環境，克服環境條件或形狀無法預測的因素，方法有人工勢場法、確定柵格法、和模糊邏輯算法等。c. 基於行為行動機器人之路徑規劃，其是行動機器人路徑規劃問題研究中的較新研究領域，此法係將導航問題分解為許多相對獨立單元即行為模組，如避碰、跟踪、目標追尋等。

(2) 多感測器融合技術

要讓清潔機器人具有實用性，關鍵技術在於如何以感測技術解決對周圍環境瞭解的問題。大部分的清潔機器人都可以對障礙物做出反應，有的是使用觸感在碰觸到障礙物後，後退並調整行進角度再次嘗試繞開障礙物繼續工作。有的是使用紅外或超聲波感測，測量機器人與障礙物間的距離，再保持安全距離進行沿障礙物清掃。有些清潔機器人下方也安裝有紅外或超聲波感測器，可以防止清潔機器人從高處掉落，當機器前方的底部感測器測量到機器人與地面的高度超過設定值時，機器人就會後退調整角度再次嘗試，直至找到安全路徑為止。

而感測技術所需感測資料通常來自內部感測器和外部感測器，其中內部感測器有編碼器、加速度計、陀螺儀、電磁羅盤等。大致用於控制和監測機器人本身（Reckoning）。外部感測器包括視覺感測器、超聲波感測器、紅外線感測器、接觸和接近感測器等安裝在機器人自身用於感知外部環境資訊。在目前國內外商售清潔機器人都採用了大量的感測器，有效地把大量的感測器觀測資訊進行資料融合處理，從而使機器人獲得最大量的外部環境資訊，其主要優點就是在同樣的觀測條件下，可以協調使用多個感測器，把分佈在不同位置的多個同質或異質感測器所提供的局部不完整觀測量及相關資料庫中的相關資訊加以融合或整合，消除多感測器間存在的冗餘和矛盾，降低不確定性，從而獲得對物體或環境的一致性描述，這都是任何單一感測器所無法獲得的。運用多感測器融合技術對提高行動機器人定位、避障、環境建模、避障精度等皆為關鍵技術。

(3) 清潔致動技術

關鍵技術在於如何研發出低噪音、高吸力、低耗能、易清洗、甚至具辨識清潔度的能力，譬如吸塵機器人的灰塵檢測等等。玻璃外牆用清潔機器人是使用軌道進行移動，其會在玻璃外

牆上的凸起支架上固定和移動，如何在室外多重干擾下，如強風、日照下可以穩定強健地循跡連動是一十分關鍵的技術。

(4) 電源技術

電源技術是清潔機器人研究工作的核心問題之一，其除了為機器人運動、清潔及控制電路提供能量外，還需具理想化自動充電方案，及有效內控省電模式，以保證機器人能及時進行充電，讓機器人自動完成對指定環境的吸塵任務。另一方面，移動電源不僅對清潔機器人移動機構提供動力，為控制電路提供穩定的電壓，也為吸塵操作模組及感測模組提供能源等。在這一領域，一般採用化學電池作為移動電源，如鉛酸電池、NiCd、NiMi 等。理想的電源在放電過程中應該能夠具備: a.保持恆定的電壓。 b. 內阻小以便快速放電。 c. 可充電。 d. 成本低等特點。但實際上沒有一種電池可同時具備上述優點。由於室內清潔機器人要求具有體積小、自重輕等特點，所以電源的體積重量也是一個重要的考慮因素，這就要求設計人員選擇一種體積小、容量大、可重複使用性高的電池，盡可能增加清潔機器人的不間斷工作時間。

參考文獻

[1] IEEE Robotics and Automation Society,

[2] http://www.servicerobotik.de/CleaningRobots.php.

[3] WinterGreen Research Inc., Robot Home Cleaning, Cooking, Pool Cleaning, and Lawn Mowing Market Strategy, Market Shares, and Market Forecasts, 2008-2014,

[4] http://www.giichinese.com.tw/publisher/WG.shtml, 2008 年 1 月。

[5] Tørrissen, B. C. （Last Acessed: October 1, 2009）.

[6] http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gecko_foot_on_glass.JPG.

[7] Rodriguez, H. L., Bridge, B. and Sattar, T. P.（2008）. Climbing ring robot for inspection of offshore wind turbines, in L. Marques, A. de Almeida, M. O. Tokhi and G. S. Virk. （eds）, Advances in Mobile Robotics, World Scientific, pp. 555-562, 2008.

2.研究方向及具體建議

清潔機器人在服務機器人領域中乃最先在市場被接受的產品。其在無人操作監控操作情況下，即可完成室內環境的吸塵、玻璃擦拭等清潔工作，具有市場前景。但僅是目前的產品並不能完全自主地清掃房間，因在路徑規劃、多感測器融合技術、環境建模和定位等方面都有許多問題有待解決，甚至在智慧和工作效率方面也還要進一步提高。所以以短程而言，清潔機器人研發還需要在以下幾個方面取得進展：

(1) 完全自主性。所以必須結合機器視覺、適應性控制、環境識別、遺傳演算法及模糊邏輯等人工智慧技術，研究開發出對環境變化具有良好的適應性和強健性、對環境障礙物具有安全可靠的

防碰撞功能的智慧運動規劃與控制器，高效節約地使用電源能量，使清潔機器人完成與人工作業品質相同甚至更好的吸塵工作。

(2) 具功能擴展性。清潔機器人是一個具智慧性可移動的平臺，在清潔功能之外可以進行功能擴展，使用通訊功能連接入網，比如：進行家電控制、房間環境監測（防止火災、電器故障、盜竊等）。這樣，即使價格上稍貴亦可被市場接受。

(3) 降低成本。隨著技術的成熟，性能不斷提高及大量生產，未來幾年內應會推出價格適中的全自動清潔機器人產品，進而使清潔機器人能像普通家電產品一樣走進家庭，帶來可觀的市場和經濟效益。

分項子題 4：<u>教育娛樂機器人 ---林沛群教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

和智慧型自動化和機器人這一個研究重點中的其它項目相比,教育娛樂機器人本身的定位具有其特殊性，不僅需具備科學與工程技術上的發展，還必須貼近群眾。也因此，在研發的定位上，也必須慎重考量成本因素以及人性。成本與售價合理，才容易被普羅大眾接受，符合人性，才能激起消費者的購買慾或認同感。

不同於從小到大在學校學習的眾多課程，以課本與講授方式來進行理論與抽象概念的學習，教育機器人對台灣工程教育，具有特殊切入方式與價值：(1) 對學子來說，機器人是具有吸引性與話題性的，議題可以很生活化也可以很未來性到如同科幻小說或是電影中描述的意象，可橫跨務實和想像之間廣大的面向中。(2) 機器人教育基本上是經由實務方式，以動手實做來學習，使學子們能實際應用體驗其它課程所學的理論，可歸類為理論學習後的成果導向驗證。(3) 機器人本身是一個複雜的系統，在學生實做過程中企圖使機器人能產生動作的同時，也在教育學子們系統工程的概念，學習利用各個功能不同的元件，組成一個系統使其能產生所需求的動作。系統這一個概念，正是目前台灣教育體系下所極為欠缺的一個部分。因此，筆者個人相信，藉由教育機器人的開發，以及近年來各式各樣機器人研習班的開設或是各種比賽的舉辦,會直接間接補強學子們在系統方面的觀念與認知,對於培養未來整合性人才會有正面的效益。在另一方面,隨著機器人領域的持續發展，近年來娛樂機器人也逐漸問世。部分機器人產品，同時具有娛樂和教育複合功能，寓教於樂。而大部分主流認定的娛樂機器人,則著重在與人之間有情感面的互動性。在這個架構之下又分為兩個類別，一為展演型機器人，如以機器人為班底的演奏或表演機器人，具有類似於人們聽音樂會或是看戲劇表演的特質。另一為個人的娛樂機器人，以小型且商品化的機器人為主。

以研究的面向評估，娛樂和教育是不同的主軸，但從一個商品開發並普及到普羅大眾的角度來看，教育和娛樂往往是複合不可分的。從最低階的機器人商品開始談起（定位為有簡單智能可動的機器人），基本上是玩具類型的娛樂為主，這類商品在各式玩具店中便有許多的選擇。如日本 TAMIYA 的 Wall Hugging Mouse、美國 HEXBUG、美國 Wowwee 的 RoboSapien 等。隨著產品定位越高階，產品和使用者互動的功能會逐漸增加，如美國 Fisher-Price 的 T.M.X. Elmo、日本 SEGA Toys 的 idog 和 ifish、美國 Innvo Labs 的 Pleo 等電子寵物，在往更高階邁進，情感面的影響會逐漸增加，如日本 SONY 的 AiBO、日本的 ifbot、日本 NEC 的 PaPeRo、韓國的 iRobiQ、日本 AIST 的 Paro 等伴侶機器人。另一方面，隨著產品定位越高逐漸增加複雜性，若商品本身可拆解組合與模組化去應用，教育的功能則會逐漸浮現，廣受流行丹麥 LEGO 的 Mindstorms NXT 就是一個結合娛樂和教育的經典案例，是一個讓各年齡層學子們學習機構、結構、感測、運動、程式、與系統整合的一個非常有效益的教具。韓國 Robotis 的 Bioloid 也具有類似功能，但模組化程度和價格競爭力則不如前者。另外，具特殊化功能的高價產品也於這幾年問世，如 KONDO 的 KHR 小型人型機器人等，也是早期人形機器競賽所常用的平台。往上更高階趨近於高等教育和研究層級的商品，有 Robotis 的小型人形機器人 DarWin-OP 和作為機器人足球賽 RoboCup 標準平台 Aldebaran Robotics 的 Nao 等等。除了上述商品以整個系統銷售之外，機器人於機電系統部分也具有模組化教具的需求，一方面相關內容可以銜接標準機電整合課程，一幫面也強化學子學習機械自動化過程中所需回授控制相關技能，美國 Parallax 公司以自創 BasicStamp 為核心，發展出一系列相關機電產品，台灣利基應用科技 Innovati 也發展出類似產品架構。而歐美許多機器人零組件銷售商，如美國 Pololu、加拿大 RobotShop、美國 Acroname、英國 Robot Electronics、也逐漸開發出各式各樣具教育與研究雙用途的機器人相關零組件，台灣飆機器人也朝這一個商業模式邁進。在展演機器人方面，由於資金和規模較龐大，目前大多未進入商品模式，而以科技水準展示為主，由於議題性的緣故，也以人形機器人居多，如日本 HONDA 的 Asimo、日本 SONY 的 Qiro、日本 TOYOTA 的 partner robots、日本 AIST 的 HRP-4C、韓國 KAIST 的 HUBO 等。由於學業界研發的機器人或商品化產品多有特定命名，相關資料由學術網路資料庫或是 Google 等媒介均容易取得，礙於篇幅限制，參考文獻的詳細資料便不在此一一列出。

2.研究方向及具體建議

機器人本身即是一個複雜系統，包含了機構、結構、感測、致動、機電整合、與系統建置等面向。教育機器人的發展，便建構在上列項目適當的整合性（科技端）與吸引性（商品端），以及提

供使用者適當的模組性與開放性之上。而娛樂機器人的發展，則更側重在整合性、低價性、與吸引性之上。

在教育機器人方面，在開發新型態模組化的機器人教具和後端教學應用相關課程或書籍仍有很大發展空間。在機構方面，需求為一商品能夠涵蓋更多類型的機構、能模組化的與結構體任意組裝、並具有剛性等。在機電系統方面，需求為能相容於更多類型感測器或是致動器、涵蓋低階到高階的處理器、各式能量源的使用等等。在軟體方面，需要能針對不同年齡層的學子，提供適當的軟體介面，具備不同的開放性與程式編撰彈性。簡而言之，在建構該類型教具的背後，是完善的軟硬體整合與模組化。當然，教育的本質在學習，因此教具發展的背後需要適當的教材輔助，教材的編撰又以學生學習的核心能力為指標，以希望學生學習到的核心能力為出發點，反推如何以教具誘導出各單元學習成效，以及各單元間整合後的系統性核心能力。

在娛樂機器人方面，著重在娛樂功能的創新與互動功能的深化。以功能論，機器人的運作為三項程序的循環（i.e.,對大部分自動化設施也是一樣）：感測、決策、與作動。或許對某些低階的機器人玩具而言，是以固定的決策（i.e.,程式）驅動後端的作動（包含動作、聲音、光等各種型態），但對大多中階以上的機器人，三項程序大抵上是不可免的。娛樂的對象為人（或其它動物），因此感測的對象以人為主軸，設法擷取人的表情、眼球運動、語言、手勢、手部動作、身體姿態、運動狀態、生理訊號、和機器人間的交互作用力等等。之後，尋找對應分析這些感測訊號背後的情感因子，包含情緒、語意、認知等等，以各類型或新開創的人工智能建構出適當的決策，並藉由機器人實際的作動與反應，來產生感動或撫慰人心的效果。以學術層面來看，因相關感測器或是致動器大致上不會有太大變革，因此關鍵技術落在人工智能的發展上，來建構出簡單又精確的互動反應機制。以實際影響層面來看，則必須審慎考量成本以及吸引性，以確認商品化的可行性。

子題四：產業機器人與系統（Industrial Robot and Systems）

召集人：胡竹生教授

規劃委員：宋開泰教授、胡竹生教授、余國瑞教授

規劃分項：1. 自動搬運機器人（Automated Guided Vehicles）

2. 裝配機器人（Assembly Robot）

3. 人機協同操作（Human Robot Collaboration）

4. 綠能機器人系統

前言

產業用機器人、技術及系統的發展長久以來均由汽車生產製造業主導，由於該產業的成熟度與自動化程度高，整個產業機器人的發展已經進入價格競爭階段，且其技術大體上以與符合大批量製造的觀念為主。然而展望未來，在資訊高度透明與全球化的趨勢下，大量且單一規格的產品由於價格競爭激烈，將集中由少數企業主導，取而代之的是規格差異化或是客製化的多樣性產品，也因此產品製造將無法符合大規模生產的經濟效益，轉而需要小規模及高度彈性化的自動化生產技術。以人工為主的生產製造，是可以達到最大的彈性度，但是工資高漲，人員管理以及品質確保的問題將使得仰賴人工的方式越來越加困難。另一方面，製作專用的自動化機具，因為產品的量不夠大且規格變異，無法有足夠的經濟規模來支撐。因此，發展如人類智慧與工作彈性的通用型生產機具，便成為大多數製造業在本世紀最重要的課題。

分項子題 1：<u>自動搬運機器人（Automated Guided Vehicles) ---宋開泰教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

自動搬運機器人（Automated Guided Vehicle, AGV）是一種能夠自主搬運物品或原物料並沿著路徑行走的移動式機器人。其應用範圍相當廣泛，從各種製造工廠到自動倉儲系統，或是網通物流配送等皆可以看到 AGV 的成功應用實例，例如 KIVA Systems[1-3] 。KIVA Systems 公司開發了一套訂單履行系統（Order Fulfillment System），整合了移動式機器人、自動倉儲管理系統以及自動訂單處理系統，使得客戶的訂單能夠更快速地出貨。

AGV 的定位與導航方式對於系統的可靠度與建造成本有著相當大的關聯，現今 AGV 多數利用地下埋線、磁性感應、雷射或是光學標籤等方式來讓 AGV 能夠沿著路徑移動或是偵測工作站的位置。因此對於現今製造業所需求的彈性製造流程，當製程改變時，往往也需要改變 AGV 系統的定位與導航設定，因此 Herrero-Pérez 等人[4]提出了一套智慧方法能夠解決當運作場地改變之後，傳統的 AGV 系統會需要人工重新設定的問題。另外，為了提高生產或是搬運效率，一套 AGV 系統中並不會只有一台移動式機器人，因此就會需要一套能夠解決多機器人的的運動規劃、軌跡規劃以及任務排程問題[5]。然而，如何設計與評估一套適合使用的 AGV 系統，目前仍然沒有一個共通的標準來定義，因此 Berman 等人[6]提出了一套 AGV 系統的運作性能量測方法，可以用來找出系統的問題或是比較不同系統間的性能。而在未來可以想見的是，AGV 的應用規模逐漸擴大之下，一套系統中可能會包含多達百台以上的移動式機器人在同時運作，這時將會有過去研究所無法發現或是解決的問題產生。因此，大規模的 AGV 系統設計與規劃[7-8]將會是未來研究的重點發展項目

之一。

參考文獻

[1] E. Guizzo, “Three Engineers, Hundreds of Robots, One Warehouse,” IEEE Spectrum, 45（7）, July, 2008, pp.22-29.

[2] R. D’Andrea and P. Wurman, “Future challenges of coordinating hundreds of autonomous vehicles in distribution facilities,” in Proceedings of IEEE International Conference on Technologies for Practical Robot Applications, Massachusetts, USA, 10-11, Nov., 2008, pp.80-83.

[3] P. R. Wurman, R. D’Andrea and M. Mountz, “Coordinating hundreds of cooperative, autonomous vehicles in warehouses,” in Proceedings of the 19th National Conference on Innovative Applications of Artificial Intelligence - Volume 2, Vancouver, Canada, 22-26, July, 2007, pp. 1752-1759.

[4] D. Herrero-Pérez and H. Martínez-Barberá, “Modeling Distributed Transportation Systems Composed of Flexible Automated Guided Vehicles in Flexible Manufacturing Systems,” IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 6, no. 2, 2010, pp.166-180.

[5] E. K. Xidias and P. N. Azariadis, “Mission design for a group of autonomous guided vehicles,” Robotics and Autonomous Systems, vol. 59, issue 1, 2011, pp.34-43.

[6] S. Berman, E. Schechtman and Y. Edan, “Evaluation of automatic guided vehicle systems,” Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, vol. 25, issue 3, 2009, pp.522-528.

[7] I. F.A. Vis, “Survey of research in the design and control of automated guided vehicle systems,” European Journal of Operational Research, vol. 170, issue 3, 2006, pp.677-709.

[8] K. J. Roodbergen and I. F.A. Vis, “A survey of literature on automated storage and retrieval systems,” European Journal of Operational Research, vol. 194, issue 2, 2009, pp.343-362.

2.研究方向及具體建議

以下我們規劃出幾個在 AGV 系統這領域中未來可能的研究方向與具體建議：

(1) 定位與導航

目前多數 AGV 系統仍仰賴外部裝置來定位與導航，例如：在地板下埋入導線或磁鐵、在牆壁或地板裝設雷射標籤等。因此當運作場地有所改變時，這些外部裝置也會需要重新安裝。因此開發不需仰賴外部裝置的定位與導航技術將能夠克服此一問題，使得 AGV 能夠透過本體上的感測器，即能夠在運作場地中移動執行任務，並且能夠適應運作場地的改變而不需要額外的設定或是安裝其他裝置。

(2) 無線通訊

AGV 與主控中心的通訊主要是透過無線通訊技術來達成。但是無線訊號所能覆蓋的範圍有限，因此會需要安裝許多的無線通訊節點來覆蓋整個運作場地。而目前無線訊號在各個節點間切換會需要耗費較長的時間，造成資料無法即時的傳送或接收。因此會需要一種新的能夠快速在節點當中切換的無線通訊技術來解決此一問題。

(3) 感測器

開發新的更低成本的感測器並且能夠提供更高精度資訊與更好的可靠度，例如：雷射測距儀、紅外線測距儀、陀螺儀與加速計等，能夠使得整體的建造成本能夠降低，系統的運作也能更為可靠。

(4) 電源管理

AGV 多數使用電池作為動力來源，當電力即將耗盡時，AGV 必須要能夠自動的回到充電站充電或是更換電池。因此開發一套電源管理系統能夠對 AGV 進行快速充電或是電池抽換，將能夠使得系統保持良好的運作。或是開發更高容量、更小體積與單價更低的電池也是另一個研究發展的重點項目。

(5) 動態任務管理

因應全球化高度的競爭，產品生命週期均大幅縮短。這意味著製造工廠需要經常推出新產品來滿足市場需求。因此 AGV 系統要能夠根據製造流程的變更而能夠彈性且快速地的調整路線、任務或是工作排程等來跟上製造的需求。因此需要開發能夠即時且容易彈性調整的動態任務管理技術來因應快速變動的市場需求。

(6) 動態交通控制

當有上百台的 AGV 在場地中移動時，AGV 的交通控制（Traffic Control）就變得相當重要。若是同時有太多 AGV 要到同一工作站，或是太多移動路徑的重疊時，將會造成交通死結。因此需要開發能夠即時且容易彈性調整的多機器人的交通控制技術，來達到避免交通死結的情形並且使得 AGV 的移動路徑達到最佳化。

(7) 動態倉儲管理

物品或原物料存放的位置會影響到 AGV 系統的工作效率。例如經常需要搬運的原物料卻是放在離工作站最遠的位置，因此 AGV 必須要移動較長的距離才能夠運送。但是物品或原物料的需要程度並不會是固定的，會因為製造流程的不同，或是商品熱銷的程度不同而會有所變化。因此需要動態倉儲管理技術，能夠因應製造流程的不同、產品銷售的不同或是緊急程度的不同而能夠適當的管理安排物品或原物料在倉庫中所存放的位置，使得 AGV 的移動搬運能夠達到最佳化。

(8) 系統監控

當 AGV 系統導入產業應用之後，仍然需要維護、調整或是改進原有的系統。因此開發 AGV 系統性能與監控技術，能夠收集系統的運作資料，了解目前系統運作的性能瓶頸，並且監控系統的運作情況，找出或是預測系統可能會發生的錯誤等。另外也能夠根據所收集到的資料

用來改進以及幫助設計新一代的 AGV 系統。

分項子題 2：裝配機器人（Assembly Robot）

規劃委員：胡竹生教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

產業用機器人、技術及系統的發展長久以來均由汽車生產製造業主導，由於該產業的成熟度與自動化程度高，整個產業機器人的發展已經進入價格競爭階段，且其技術大體上以與符合大批量製造的觀念為主。然而展望未來，在資訊高度透明與全球化的趨勢下，大量且單一規格的產品由於價格競爭激烈，將集中由少數企業主導，取而代之的是規格差異化或是客製化的多樣性產品，也因此產品製造將無法符合大規模生產的經濟效益，轉而需要小規模及高度彈性化的自動化生產技術。以人工為主的生產製造，是可以達到最大的彈性度，但是工資高漲，人員管理以及品質確保的問題將使得仰賴人工的方式越來越加困難。另一方面，製作專用的自動化機具，因為產品的量不夠大且規格變異，無法有足夠的經濟規模來支撐。因此，發展如人類智慧與工作彈性的通用型生產機具，便成為大多數製造業在本世紀最重要的課題。

為因應上述的產業變革，創新的產業機器人技術將扮演非常關鍵的角色，因為機器人屬於通用型的生產機具，可以應用在許多不同產業。但是其使用上，已不再如傳統方式進行大量與重複性的動作，而是需具備快速安裝，快速教導，可同時進行多項工作，以及可以因應環境變異等。這其中牽涉相當多的控制、感測與人工智慧等的理論開發與應用。例如快速安裝與上線工作，以傳統的位置控制方法就很難實現，必須經歷耗時的校正程序才能使其與工件與世界座標間達到一定的準確度，一旦需要更動工件或生產流程則又需重新校正，因此導入視覺技術使其可以透過對環境的認知而能夠快速的完成安裝與工序教導，就是相當重要的技術開發方向。其次，面對綠色環保的趨勢，未來工業機器人的節能也將成為重要的議題，輕量化與低耗能的設計，也將是產業機器人能否在自動化生產線上大量運用的關鍵。以下列舉自動化產業所需的關鍵技術，進而推估機器人所需要具備的核心能力：

(1) 可調適與重組的組裝生產線：運用指定的工業機器人手臂，工具和輔助材料，在不到 24 小時內能夠建立，配置和程式化新產品組裝線並開始運轉。

(2) 類人之手指靈巧度：機器人手爪需具備一定數量的獨立關節，以及達到一定程度的靈活度，可進行任意工件或工具抓取，以及簡單形狀的物件姿態操控。

(3) 可建模與模擬之生產線：機器人技術的導入使得生產線在設計前可以進行大量的模擬，並與供

應鏈模擬結合，使得生產線建構與運轉達到無失誤與最佳化。

(4) 非結構化環境認知：3D 環境感知技術使得自動化可以在非結構化的工廠環境進行批量式的生產。

(5) 與人類協同工作的安全機器手臂：組裝線機器人可以偵測並認知人類手勢與自然命令（如語音），並且可以與人類共同完成如鎖螺絲的動作，連續 8 小時而無需第 3 者介入協助。

參考文獻

[1] Ran Chen and Wenli Yao, "Frontiers of Manufacturing Science and Measuring Technology," Advanced Materials Research, Volumes 230 – 232.

[2] Xun Xu, Integrating Advanced Computer-Aided Design, Manufacturing, and Numerical Control: Principles and Implementations, Information Science Reference; 1 edition （December 11, 2008）

[3] S. Mekid, P. Pruschek and J. Hernandez, "Beyond intelligent manufacturing: A new generation of flexible intelligent NC machines," Mechanism and Machine Theory, Volume 44, Issue 2, February 2009, Pages 466–476.

[4] N. Suresh Kumar and R. Sridharan, "Simulation modeling and analysis of part and tool flow control decisions in a flexible manufacturing system," Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 25, Issues 4–5, August–October 2009, Pages 829–838

[5] Torgny Brogardh, "Present and future robot control development—An industrial perspective," Annual Reviews in Control 31 （2007） 69–79.

2.研究方向及具體建議

由上述的技術需求，推估未來產業組裝機器人可能的研究方向為：

(1) 自調適與學習能力：機器人在工廠使用的最大障礙之一是對工作單元（Work Cell）的工程成本太高，這包含設計，製造和安裝夾治具，輸送帶，和各種感測器和軟體。這些工程成本，往往是幾倍於機器人的本體成本，必需要以技術精進加以降低。未來機器人必須能夠在比目前的系統能夠容忍的更大不確定性環境下執行任務。可能實現這一目標的方式是通過示範教導學習（Learning by Demonstration）。這個技術是讓人在一般環境下執行任務多次，機器人透過觀察，然後在安全的限制下，重複模仿執行相同的任務，並比較人類的行動和任務結果來達到完全模仿的目標。機器人也能通過監測其行動來調適並比較標稱參數的任務描述，以調整參數來優化其性能。

(2) 建模，分析，模擬和控制：未來的製造系統，將需要零件或部件的實體或模型進行不定時的間歇性接觸，處理如片狀的軟質材料，操作閉鏈（Close-chain）的連桿機構，應付系統的機構拓撲及運動的變異，以及了解微觀和奈米尺度的相關物理特性。對於這些複雜的製造行為，靜態以及動態模型建立與模擬技術絕對是必要的，而且需要實驗驗證，並結合搜尋和最佳化理論。這些研究的進展加上高速計算的成本日益下降，將可能全方位的模擬製造系統，從原材料的處

理到零件生產，組裝和測試。

(3) 控制與規劃：未來的機器人將需要更先進的控制和規劃理論與實際應用，能夠處理具大範圍不確定性的技術，擁有更大的錯誤容忍度，以及能夠控制的自由度比目前系統更多。例如可能會需要機器人手臂安裝於移動平台上，儘管手臂的基座不是固定在地板上，其終端效應器仍可進行準確定位並執行精細操作任務，此類的機器人可能有 12 個以上的自由度，且包含不確定的地面磨擦力，需要更先進的控制與規劃理論來支撐其應用。另一個極端是擬人化的人形機器人，可能有多達 60 自由度。這類複雜的機器人因為控制參數維度太大，其最佳化的參數求解問題將是相當大的挑戰。

(4) 感知技術：未來的工業機器人將需要大幅改善感知系統，以觀察並認知其工作進度，包含周圍的人與機器人的任務執行狀況。除了監測外，機器人應能即時檢查部品和組件，以避免浪費時間和成本在不符規格的半成品。更進一步是機器人能夠估計的人類情緒和身體狀態，因為此為保持最大的生產力的重要資訊。要做到這一點，需要更好的觸覺和力傳感器，與視覺的理解方法。重要的挑戰包括非侵入性的生物感測器和人類的行為和情感的模型。其次是工作單元的工程成本大多來自於減少不確定性的需求。為降低此成本，機器人必須能夠透過高傳真度感測器與訊號處理來消除不確定性，或採取行動來降低不確定性。機器人藉由感測器訊號，必須能夠對關鍵部件的裝配和追踪建構幾何和物理模型。如果某項工作是需人類協同，那麼非侵入性的生物感測器還必須偵測人類的狀態。以前依靠昂貴治具的抓取和組裝策略必須重新設計，以善用這些技術來消除不確定性。

(5) 新機構與新型的制動器：透過機構與制動器的改進以改良機器人的性能是機器人的基礎研究之一。然而，對於新領域的應用，例如操控在奈米和微觀尺度，或是對材料敏感的環境中，例如在核磁共振成像掃描環境，或是與人類共享工作空間的情形，其機器人設計將不得不重新考慮（包括材料的選擇）。新的人類倍力裝置如外骨骼等，將需要高強度/重量比，與低噪音與電磁干擾的驅動器，以及自然的人機介面。

(6) 人機互動技術：在未來的工廠，機器人與人類和其他機器人將時常發生近距離的接觸，例如共同搬動物體或是同時固定同一工件等。當機器人與人類合作時，必須能夠認知到人類的活動，以保持適當的任務同步。其次，機器人必須能夠與人類透過口頭和非口頭上的多種方式溝通，而且必須是容易訓練的。這些情況顯示需要新的遙感系統（Remote Sensing），且比目前的技術具有更高的頻寬和分辨率，利用遙感系統捕捉人類的生物識別特徵以改變機器人的控制行為，在機器人的控制研究領域相當稀少。本質安全型（Intrinsically Safe）機器人的設計與故障

安全操作系統和工具，來驗證機器人的安全性和工作程序的正確性，也將是重要的研究課題。

(7) 知識架構與表示方法：未來的製造機器人必須有足夠的智能，有效地與人及其他機器人分享工作空間，並學習如何提高本身的效率與經驗。為了實現這樣的功能，機器人作業系統與其背後的模型和演算法，必須有足夠豐富的表徵和正確的結構。各種操作技能和相關物理性質，化學性質，與環境納入其執行任務時影響，均要有清楚的方式來表示。其架構應該有連續的低階感知與行動閉迴路，並連接高階的推理與監督。機器人將具備有彈性且豐富的技能學習功能，並利用觀察人類和其他機器人的操作進行自主學習。機器人將需要新方法來表示環境的不確定性和任務監視，以達到錯誤回復和基於這些錯誤的自我技能增強。

分項子題 3：<u>人機協同操作（Human Robot Collaboration) ---胡竹生教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

機器人的優勢在於他們有能力重複處理簡單的工作，不會疲勞，然後精準度可以維持在一定的範圍內。相比之下，人的特點就是對於任務或是工作的認知與理解能力。因此人類和機器人的組合，各自提供其專長，加上最佳化的工作分配，可以合理的擴大可執行的工作範圍。以產業應用而言，人類與機器人的合作有利於自動化的靈活度提升，因此可以在完全自動化太昂貴或太複雜而難以自動化的領域，提供很好的解決方案。未來的生產因為受到產量以及產品生命週期不確定的影響，需要更高的彈性度。應對此彈性度要求的新挑戰導源自生產機具需適用於串流式生產過程、幾何變異的工件或產品，以及在模組或平台方面功能變異的產品，依靠機器人技術的彈性自動化解決方案將越來越多。然而，傳統的機器人技術有很大的限制，如果所執行的工作需要感知，靈巧度和推理，其技術複雜度往往無法符合成本效益以及可靠性。但是整個生產流程中有部分工作仍可能自動化。為達到更好的生產力，一個可以與作業人員合作，安全和靈活的機器人，是一個相當有潛力的技術開發方向。這個機器人助手的觀念可以被認為是一種智慧型的機器，在製造業環境提供裝卸，運輸，加工的援助和裝配任務。取決於涵蓋的工作區，它可以是移動或固定式的。

機器人助手進行人機協同操作的首要問題就是機器人與人將可能進行身體接觸，這個問題改變了普遍建立的機器人設計模式：從“精確的設計/安全的控制”邁向“安全的設計/精確的控制” [1-6]。其技術發展的關鍵問題在於建立一個本質安全（Intrinsically Safe）的機器人的同時，需要精準的控制具順應性的動態。傳統的工業機器人控制所關心的問題是工作程序中各端點的順應度（即剛度），並需要穩定的完成指定的任務。在過去二十年裡，許多的機器人互動控制技術的主要目標是可以實現簡單的被動式行為，如阻抗控制或力量控制。多數高性能控制方法是利用連接到終端效應器的力

傳感器，以直接量測並調整作用力，這適用於傳統的環境，但是這方法最近已被證明對人類和環境的互動性是不安全的。安全性高的機器人，其交互作用不僅限於終端效應器，也包含整個手臂。這需要更多的先進的全身控制和感測方法。一個簡單的方法來實現這個需求是調整機器人的關節順應性。各種新的機器人被動式或主動式變剛度關節的概念在近幾年被提出。然而，最關鍵的問題仍然是準確定位與柔順度這兩個對立條件之間的取捨以實現不同關節剛度。

機器人助手可以被視為工業機器人的演變，並已有一段時間的研究[8]，包含直接互動與直接接觸到人類的機器人系統。在 1984 年 MObiler 機器人為一個機器人手臂安裝在移動平台上，提供移動性和處理工具與工件[9]，但是當時過高的系統成本使其無法應用。 KAMRO 機器人企圖擴展這個概念。有兩隻伺服驅動手臂在一個全方位的移動平台，具備人類的技能和靈巧度並可以執行多樣的任務[10]。有若干個研究已制定人和機器人合作方式 - 各自執行具互補性的任務。COBOT 機器人通過設立虛擬的平面，來約束和引導其運動來處理或取放物件[11]。Khatib[12]提出一先進的機器人助手，由一個移動平台手臂來強化人的能力，其觀念為“額外的一雙手”，它可以移動反應人所施加的負載。Engelberger（Elderly Care Giver），Dario（MOVAID），Schraft（Nurse - O-BOT）針對家中的輔助系統也提出類似觀念，其目的旨在協助殘障人士生活在自然的家庭環境[13-15]。其協助包含支撐引導人的行動，自主執行搬運或是準備簡單的飯菜等。Denso 提出了一個概念，可以迅速部署移動式機器手臂在傳統的裝配生產線，當生產量需求增加時可快速提高產線容量[7]。MORPHA 計畫目標是研究相關技術，以自然和直觀的方式與使用者溝通，互動和協作[16]。包含系統整合和現場經驗的發展方案[17]：（1.）製造業助理[18]; （2.） 機器人助理管家和家庭護理。

人機互動是一個機器人界重要的研究課題[19]。一般性的研究重點是以人形機器人出發，模仿人類的移動性和技能，使他們可以在無改變的工廠或在家庭環境中應付複雜的任務[20]。一個機器人助手和工人之間的合作，其產生整體效益需要超過其他全人工或全自動的解決方案。有鑑於機器人助理所需“類似人類的方式交流和互動”的關鍵技術困難且進展緩慢，中程目標可以是移動式機器人手臂在廠區運送如工具機的工件以及上下料等；移動式機器人手臂在實驗室自動化中彈性的處理任務；增強工人的精度或力量，特別是在需力平衡和重裝配的場合；在製造單元裏的合作裝配機器人，除了標準的任務外，也可以提供如工件定位或零件和工具的取放協助[21]。

參考文獻

[1] Vukobratović M., Surdilović D., Ekalo Y., Katic D., Dynamics and Robust Control of Robot-Environment Interaction, World-Scientific, New-Jersey, 2009.

[2] Chiaverrini S., Siciliano B., Villani L., 1999, A Survey of Robot Interaction Control Schemes with Experimental Comparison, IEEE/ASME Trans. on Mechatronics, Vol. 4, No. 3, 273-285.

[3] Sami Haddadin, Alin Albu-Schäffer and Gerd Hirzinger: The Role of the Robot Mass and Velocity in Physical Human-Robot Interaction - Part I: Unconstrained Blunt Impacts, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation （ICRA 2008）, Pasadena, USA, 2008.

[4] Dongjun Shin, Irene Sardeliti and Oussama Khatib:A Hybrid Actuation Approach for Human-Friendly Robot Design, IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation （ICRA 2008）, Pasadena, USA, 2008.

[5] Albu-Schäfer A., Eiberger O., Grebenstein M., Haddadin S., Ott C., Wimböck T., Wolf S. and Hirzinger G., : „Soft Robotics“, IEEE Robotics & Automation Magazine, September 2008, pp. 20-26.

[6] Bicchi A., Tonnieti G., “Fast and “Soft-Arm” Tactics”, IEEE Robotics & Automation Magazine, June 2004, pp.22-33.

[7] “Development of Adaptive Production System to Market Uncertainty–Mobile Robot System. In: JARARobot News, November 1999, Vol. 12, No. 3, p. 1.

[8] K. Kawamura, D. M. Wilkes, T. Pack et al.: “Humanoids: Future Robots for Home and Factory.” In: Proceedings of the First International Symposium on Humanoid Robots, Waseda University, Tokyo, Japan, October 30th-31th, 1996, pp. 53-62.

[9] J. Schuler: Integration von Förder- und Handhabungseinrichtungen. Dissertation University of Stuttgart. Springer-Verlag Berlin Heidelberg New-York, 1987.

[10] U. Nassal: “Mobile Manipulation für autonome Mehrmanipulatorsysteme”. In: P. Levi; Th. Bräunl （Ed.）: Autonome Mobile Systeme 1994, 10. Fachgespräch Stuttgart, 13. und 14. Oktober 1994. Springer Verlag, pp. 134-142.

[11] J. E. Colgate, W. Wannasuphoprasit, M. A. Peshkin: “Cobots: Robots for Collaboration with Human Operators”. In: Proceedings of the International Mechanical Engineering Congress and Exhibition, Atlanta, GA, DSC-Vol. 58, pp. 433-39.

[12] O. Khatib: ”Mobile Manipulation: The Robotic Assistant.” In: Journal of Robotics and Autonomous Systems, vol. 26, 1999, pp.175-183.

[13] D. Holmstrom: “This Is Not Your Father's Robot”. In: The Christian Science Monitor, Boston, April 30th, 1998.

[14] P. Dario, E. Guglielmelli, C. Laschi, G. Teti: “MOVAID: A Mobile Robotic System for Residential Care to Disabled and Elderly People”. In: Proceedings of the First MobiNet Symposium, Athens, Greece, May 15-16, 1997.

[15] C. Schaeffer, T. May: “Care-O-bot: A System for Assisting Elderly or Disabled Persons in Home Environments”. In: Bühler, C.; Knops, H. （Ed.）: Assistive Technology on the Threshold of the New Millennium. Amsterdam u.a.: IOS Press, 1999, pp. 340-345 （Assistive Technologie Research Series 6）.

[16] MORPHA: The Interaction, Communication and Cooperation between Humans and Intelligent Robot Assistants. http://www.morpha.de/index_e.htm; January 2001.

[17] E. Prassler, R. Dillmann, C. Fröhlich, G. Grunwald, M. Hägele, G. Lawitzky, K. Lay, A. Stopp, W. von Seelen: „MORPHA: Communication and Interaction with Intelligent, Anthropomorphic Robot Assistants“. In: Proceedings of the Intl. Status Conference of the German Lead Projects in Human-Computer-Interaction, Saarbruecken, Germany, October 26-27, 2001, pp. 67-77.

[18] A. Stopp, S. Horstmann, S. Kristensen, and F. Lohnert: “Towards Interactive Learning for Manufacturing Assistants”. In: Proc. of the 10th IEEE Inter. Workshop on Robot-Human Interactive Communication （ROMAN'01）, Paris, France, Sept. 18th-21th, 2001.

[19] Homepage of the European Robotics Research Network （EURON）: http://www.euron.org/.

[20] Honda Motor Co. Ltd.: “Honda Debuts New Humanoid Robot "ASIMO". New technology allows robot to walk like a human”. Press Release, Nov. 20th, 2000, world.honda.com/news/2000/c001120.html.

[21] R. D. Schraft, S. Thiemermann: “Direct manrobot cooperation in a flexible assembly cell”, In: Proceedings of the 33rd International Symposium on Robotics, ISR 2002, October 7 – 11, 2002.

2.研究方向及具體建議

由上述的技術需求，推估未來人機協作可能的研究方向為：

(1) 本質性安全手臂機構與控制：本質性安全（Intrinsically Safe）的直覺式設計就是在運動過程當中，任何相反於運動方向的力量（如碰撞），只有慣性能夠抵抗。換句話說，如果是如齒輪的傳動機構，不可能是本質性安全的。線牽引式的傳動是其中一種作法，但是其精度一直是個問題，較少應用在工業上。近年來許多具順應性的關節傳動機構紛紛被提出，一大部分的方法是在機構內加入彈性以緩衝碰撞的外力，但是被動式的做法在需要剛度（如靜態支撐）的場合就無法應用。因此利用半主動式或是主動式的方法可能是一種研究方向，但是需要面對機構與控制的複雜度與穩定度等問題。其他研究課題尚包括智慧型輕量化材料與控制，撓性關節控制，以及力迴授控制等。力迴授與傳統的作法不一樣的是必須考慮整隻機器手臂，而非僅終端效應器。

(2) 人機主動安全系統：這方面的研究主要是利用環境或機器人本身的感測器來偵測可能的危險，並控制機器人的行為以避免危險。這包含人體追蹤，人類運動意圖預測，環境建構與認知，以及危險狀況預測等。在機器人控制方面則主要是即時避障，尤其是當有碰撞的可能性時，如何採取避障措施以化解慣性運動的威脅，以及最佳避障路徑等是研究重點，在此不是考慮終端避障，而是整隻機器手臂的避障。

(3) 示範教導學習（Learning by Demonstration）：這個技術是讓人在一般環境下執行任務多次，機器人透過觀察，然後在安全的限制下，重複模仿執行相同的任務，並比較人類的行動和任務結果來達到完全模仿的目標。目前比較成熟的做法是牽引式教導（Lead through Programming）。除了人工智慧方面的研究外，尚包括如何整合多模式的資訊以達到更精準快速的教導，例如語音與手勢資訊等。

(4) 控制與規劃：人機協作的機器人將需要更先進的控制和規劃理論與實際應用，能夠處理具大範圍不確定性的技術，擁有更大的錯誤容忍度，以及能夠控制的自由度比目前系統更多。例如可能會需要機器人手臂安裝於移動平台上，或是更多自由度以因應避障需求。這類複雜的機器人因為控制參數維度太大，其最佳化的參數求解問題將是相當大的挑戰。

(5) 感知技術：協作的機器人能夠估計的人類情緒和身體狀態，此為保持最大的生產力的重要資訊。要做到這一點，需要更好的觸覺和力傳感器，與視覺的理解方法。重要的挑戰包括非侵入

性的生物感測器和人類的行為和情感的模型。其次是機器人必須能夠透過高傳真度感測器與訊號處理來消除人的不確定性造成的錯誤，或採取行動來降低不確定性。機器人藉由感測器訊號，必須能夠對關鍵部件的裝配和追踪建構幾何和物理模型。

(6) 人機互動技術：當機器人與人類合作時，必須能夠認知到人類的活動，以保持適當的任務同步。其次，機器人必須能夠與人類透過口頭和非口頭上的多種方式溝通，而且必須是容易訓練的。這些情況顯示需要新的遙感系統（Remote Sensing），且比目前的技術具有更高的頻寬和分辨率，利用遙感系統捕捉人類的生物識別特徵以改變機器人的控制行為，在機器人的控制研究領域相當稀少。

(7) 知識架構與表示方法：與人類協作的機器人需要學習如何提高本身的效率與經驗，尤其是需要降低與人的作業習慣的衝突。為了實現這樣的功能，機器人作業系統與其背後的模型和演算法，必須有足夠豐富的表徵和正確的結構。各種操作技能和相關物理性質，化學性質，與環境納入其執行任務時影響，均要有清楚的方式來表示。其架構應該有連續的低階感知與行動閉迴路，並連接高階的推理與監督。機器人將具備有彈性且豐富的技能學習功能，並利用觀察人類的操作進行自主學習。機器人將需要新方法來表示環境的不確定性和任務監視，以達到錯誤回復和基於這些錯誤的自我技能增強。

分項子題 4：<u>綠能機器人系統 ---余國瑞教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

在二十世紀的世界能源結構中，人類所使用的電力能源相當依賴石油、天然氣及煤炭等化石能源。隨著科技的進步以及經濟發展，由於大量使用化石燃料，使得二氧化碳等溫室氣體大幅增加，形成溫室效應，造成地球暖化與環境嚴重汙染。且因化石燃料被過度開採，已日漸枯竭，傳統電力發電系統的發展面臨很大的挑戰。因此節能環保意識相繼抬頭，世界各國皆投入大量資金與人力積極發展綠色能源技術，建立分散式供電系統。這些再生能源如太陽能、風力、水力、潮汐、地熱、生質能等，皆具有乾淨、無污染，且取之不盡、用之不竭的特性。因此如何發展以綠能為動力來源之機器人，遂成為一重要研究課題。

目前已有應用綠色能源為動力之機器人，國外部份例如美國伊利諾大學的研究人員開發出一種太陽能用除草機器人（Solar Powered Weed-killing Robot）[1]，頂部覆蓋拱形太陽能電池板，底部備有四個輪子，機械手臂先割斷雜草，然後再灑上除草劑。荷蘭科學家 Theo Jansen 利用塑膠管和空瓶，打造出環保風力機器人（Strandbeest）[2]，風力由白色帆布組成之大翅膀收集，當風將翅膀

扇動，位於機器人腹部的一組塑料瓶即可儲存風能。日本東京 Speecys 公司研發出全世界第一款燃料電池機器人（Speecys-FC）[3]，五十公分高四點二公斤重，燃料電池藉由氫氣與氧氣之間的化學反應產生電力，水是其中僅有的副產品。國內部份則有行政院原子能委員會核能研究所開發以太陽能充電之**輻射環境偵測機器人**，太陽能板提供 12v 與 5A 之電力，具有戶外 GPS 導航、無線通訊與控制、各種輻射與災害偵檢等功能。

在眾多再生能源中，太陽能為乾淨且不影響生態，更無須費力開採即可直接供應之天然能源，為目前最受青睞且被評估為最具未來發展性與實用性之綠色能源。世界各國應用太陽能發電之功率，逐年大幅上升，全球太陽能光電市場已迅速擴大[4]。台灣也因應全球能源發展趨勢，在 2009 年 6 月立法院三讀通過「再生能源發展條例」，預計 2020 年再生能源佔總發電容量須達到 12%。對太陽光電設置費用特別提供補助，並給予太陽電能最佳躉購費率，全力推動太陽能發電系統。而台灣地理位置接近北回歸線，地處亞熱帶日照充足，因此發展太陽能光電技術，設計智慧型機器人，適合國內綠能機器人發展。其他以太陽能為機器人電力來源之相關應用，見參考文獻[5-7]。

參考文獻

[1] Raimon Casanova, Anna Arbat, Oscar Alonso, Andreu Sanuy, Joan Canals, and Angel Dieguez, “An Optically Programmable SoC for an Autonomous Mobile mm-Sized Microrobot,” IEEE Transactions on Circuits and Systems-I, Vol.58, pp. 2673-2685, 2011.

[2] http://www.strandbeest.com/

[3] [3] Iain A. Anderson, Ioannis A. Ieropoulos, Thomas McKay, Benjamin O’Brien, and Chris Melhuish, “Power for Robotic Artificial Muscles,” IEEE Transactions on Mechatronics, Vol.16, pp. 107-111, 2011.

[4] Janet L. Sawin and Eric Martinot, “Renewables 2010 Global Status Report”, REN21, 2010.

[5] Gregory S. Chirikjian, Yu Zhou, and Jackrit Suthakorn, “Self-Replicating Robots for Lunar Development,” IEEE Transactions on Mechatronics, Vol.7, pp. 462-472, 2002.

[6] Guangzhi Zhao, Ludan Wang, Sheng Cheng, and Jianwei Zhang, “Design and Realization of a Mobile Robot for Power Transmission Lines Inspection,” Proceeding of 2011 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation （ICMA）, pp. 1509-1514, 2011.

[7] Marco, T.G.; Cristina, V.; Paolo, A.; Luca, P.; Dario, G.A.; and Massimo, P. “Design considerations about a Photovoltaic Power System to Supply a Mobile Robot,” Proceeding of 2010 IEEE International Conference on Industrial Electronics （ISIE）, pp. 1829-1834, 2010.

[8] T. Esram and P. L. Chapman, “Comparison of Photovoltaic Array Maximum Power Point Tracking Techniques,” IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol.22, pp. 439-449, 2007.

2.研究方向及具體建議

使用太陽能作為行動機器人之供電系統時，發電效率是個非常重要的問題，除了尋求不同材料，例如單晶矽、多晶矽、薄膜太陽光電板，使光電轉換效率更高的太陽能電池之外，提昇太陽能電池的工作效率更是重要關鍵。由於太陽能光電板輸出電壓和電流特性為非線性關係，且太陽能電

池的輸出功率取決於太陽光照度強度及太陽能電池本身溫度等條件，太陽能電池有其最佳工作點，於此點可獲得最大之輸出功率[8]。但太陽能電池的最佳工作點往往隨著周圍環境而改變，為了提昇太陽能電池的工作效率，必須使用最大功率追蹤 MPPT （Maximum Power Point Tracking） 來依據外在環境變化調整太陽能電池功率輸出，而此 MPPT 必須搭配電源轉換器實現。相關研究方向建議如下：

(1)太陽光電池材料：

不同材料與不同製程之太陽光電池，模組轉換效率與工作特性亦不相同。目前除單晶與多晶矽太陽能電池、非晶矽薄膜太陽電池之外，由於聚光型砷化鎵太陽能電池轉換效率高受到重視。此外，有機與染料敏化太陽能電池也逐漸受到矚目。因此如何選用太陽光電池材料，以因應不同用途之機器人，為重要研究課題。

(2)MPPT 演算法：

關於太陽光電池的最大功率點演算法，研究文獻中提出諸多法則，如直線近似法、電壓迴授法、功率迴授法、增量電導法、擾動觀察法等。各有優缺點與適用環境，因此發展新型或混合型 MPPT 演算法，以因應不同用途之機器人，亦為重要關鍵。

(3)直流/直流電壓轉換器：

由於太陽能光電板於最大功率時之端電壓受環境變化影響，為了使電路能夠應用於較廣泛條件，因此設計兼具升壓與降壓功能之雙向直流/直流轉換器。輸入端電壓 VPV 連接至太陽能光電板，輸出端 VO 連接至機器人。此轉換器架構能在 VPV 大於 VO 時，操作於降壓模式（Buck Mode）；當 VPV 小於 VO 時，則轉換器操作於升壓模式（Boost Mode）。因此研發直流/直流電壓轉換器，為重要研究技術。

(4)鋰離子電池儲能設備：

由於太陽能發電過程並非呈現固定輸出，因此必須以鋰離子電池作為儲能設備，並利用充、放電系統，調節電力。因此如何設計微控制器對功率開關進行切換，控制充、放電系統，維持直流匯流排（DC Bus）電壓之穩定，亦為綠能機器人電能管理重要技術。

子題五：雲端行動資訊處理與自動化應用研究

召集人：蘇順豐教授

規劃委員：鄭錦聰教授、林正堅教授、王振興教授

規劃分項：1. 雲端及行動資訊處理與控制應用技術

2. 智慧型運輸系統與雲端運算技術之整合

3. 銀髮族及慢性病患生活與照護之資通訊自動化技術整合

4. 智慧型無線多功能生理監測微系統

5. 雲端機器人（Cloud Robots）

規劃內容

雲端行動資訊處理與自動化應用的探討研究主要是因應近代無所不在的計算技術及雲端概念計算而所衍生的相關研究。雖然雲端的研究較偏重於資訊方面的研究，然而就控制學門而言，這樣的新興科技在控制相關的研究中也是相當重要的研究課題。而如是的科技也當然會對現有的控制研究有所衝擊，同時也會有一些新的研究課題產生。我們相信由於近幾年相關電腦設備能力的精進和普及再加上行動通訊機構的隨處可用，如是雲端概念的研究也將會變的非常重要而對控制學門的研究也會有其關鍵的衝擊。

基於上述的想法，我們有以下的規劃子題（一）雲端行動資訊處理與控制應用技術；（二）智慧型運輸系統與雲端運算技術之整合；（三）銀髮族及慢性病患生活與照護之通訊自動化技術整合；（四）智慧型無限多功能生理監測微系統；及（五）雲端機器人。在本次的規劃中，我們並不是要去廣泛的涵括在雲端行動資訊處理與自動化應用所有可能的研究課題或去定義在此類研究中的基礎元素，因為前者涵蓋面太廣而在其中更重要是創意的實現，因此是不可能在規劃中充分的涵括。而後者則是較屬於資訊工程相關的研究規劃。在此次的規劃中，我們嘗試的去指出一些可能或現行的研究課題，期盼相關領域的研究學者能從中得到啟發進而開拓其專屬的研究領域。

分項子題 1：<u>雲端及行動資訊處理與控制應用技術 ---鄭錦聰教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

「所有東西即是服務（Everything Is Service）」，且任何的服務都能透過網際網路取得，雲端運算就是這些服務的基本系統架構。雲端運算（Cloud Computing）將大量的系統資源整合在一起，再以隨選服務（On-DemandService）的方式將資料運算資源提供給使用者，使用者可以在任何地方、經由任何終端設備，取得他們所需要的應用資源。雲端運算採用共享基礎架構，即便是加入更多的

行動資訊處理，其管理成本也不會明顯改變，使得雲端運算已成為當前最受企業關注的 IT 架構發展趨勢。另由於 CPU、手機、網路以及感應器等技術的突飛猛進，行動計算（Mobile Computing）已經使得世人對行動資訊處理以智慧型手機的期待，已超越了過去僅使用做為通話功能，進而整合雲端形成一先進之控制技術。而最近發展的智慧型手機（Smart Phone）是一種在手機內安裝了作業系統且可以隨意安裝和卸載應用軟體的手機。然而「Smart Phone 智慧型手機」這個說法主要針對「Feature Phone 功能手機」，並不意味現今的智慧手機有多麼 ”Smart”。因此如何結合更新進之控制技術如智慧型控制技術於智慧型手機當作行動資訊處理系統並結合雲端計算在現今技術中仍是一重要技術。本子題中以智慧型控制技術、機器學習與創意設計為基礎的行動資訊處理整合雲端與發展新的控制技術，進行可處理在一般環境下之創意控制應用技術，同時亦能整合以雲端及行動資訊處理與控制之智慧型家庭與健康照護之先進應用。

參考文獻

[1] E. Kanjo, J. Bacon, P. Landshoff and D. Roberts, “MobSens: Making Smart Phones Smarter,” IEEE Pervasive Computing Magazine, pp. 50-57, 2009.

[2] J. Baliga, R.W.A. Ayre, K. Hinton and R.S. Tucker, “Green Cloud Computing: Balancing Energy in Processing, Storage, and Transport,” Proceedings of the IEEE, Vol. 99, Issue 1, pp. 149 – 167, 2011.

[3] Wenwu Zhu, Chong Luo, Jianfeng Wang and Shipeng Li “Multimedia Cloud Computing,” IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 28, Issue 3, pp. 59 – 69, 2011.

[4] Sungkap Yeo and H.-H.S. Lee, ”Using Mathematical Modeling in Provisioning a Heterogeneous Cloud Computing Environment,” IEEE Computer Magazine, Vol. 44, Issue 8, pp. 55-62, 2011

[5] Y. Wei and M.B. Blake, “Service-Oriented Computing and Cloud Computing: Challenges and Opportunities,” IEEE Internet Computing, Vol. 14, Issue 6, pp. 72 – 75, 2010.

[6] A. Iosup, S. Ostermann, M.N. Yigitbasi, R. Prodan, T. Fahringer, and D.H.J. Epema, “Performance Analysis of Cloud Computing Services for Many-Tasks Scientific Computing,” IEEE Trans. on Parallel and Distribted Systems, Vol. 22, No. 6, pp. 931-945, 2011.

[7] A. Almutairi, M.Sarfraz, S. Basalamah, W. Aref and A.Ghafoor, “A Distributed Access Control Architecture for Cloud Computing,” IEEE Software,Vol. 29, Issue 2, pp. 36-44, 2012.

[8] J. Nichols and B.A. Myers, ”Controlling Home and Office Appliances with Smart Phones,” IEEE Pervasive Computing, Vol. 5, Issue 3, pp. 60-67, 2006.

[9] C.-L. Yang, C.-L. Tsai, K.-T. Cheng and S.-H. Chen, “Low-Invasive Implantable Devices of Low-Power Consumption Using High-Efficiency Antennas for Cloud Health Care,” IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, Vol. 2, Issue: 1, pp. 14 – 23, 2012.

[10] C.-L. Wu, C.-F. Liao and L.-C. Fu, “Service-Oriented Smart-Home Architecture Based on OSGi and Mobile-Agent Technology,” IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, Vol. 37, Issue 2, pp. 193 – 205, 2007.

2.研究方向及具體建議

本主題可從以下幾個參考方向進行：

(1) 發展雲端及行動資訊處理相關技術。

(2) 發展雲端及行動資訊處理之智慧型控制應用。

(3) 發展雲端行動資訊處理整合控制應用。

(4) 無線通訊 IEEE 802.15 無線個人網（Wireless Personal Area Network）控制技術發展與應用。

(5) 無線通訊控制應用技術開發。

(6) 智慧型手機之人機介面軟體開發。

(7) 智慧型手機行動控制技術。

(8) 行動資訊處理之進階控制整合技術。

(9) 行動雲端資訊整合與控制技術開發。

(10) 智慧型雲端及行動資訊處理控制技術。

(11) 雲端及行動資訊處理最佳化技術開發。

(12) 具可學習之雲端及行動資訊處理控制技術。

(13) 雲端及行動資訊處理創意控制技術開發。

(14) 雲端及行動資訊處理與控制在智慧型家庭技術開發。

(15) 雲端及行動資訊處理與控制在健康照護技術開發。

預期成果

雲端及行動資訊處理之研究與整合控制技術是未來會成長十分快速的產業。我國已建立完整的電子及資訊業的垂直整合及水平分工能力，以及優異的研發及製造能力，這些均是切入雲端及行動資訊處理與控制應用技術最佔優勢的地方。透過本子題的實施，相信可為國內雲端及行動資訊處理與控制技術、資訊技術與系統控制整合領域，建立自主性的技術，為國內相關業界走出一條路。此外各分項單元亦將會有許多學術卓越的研究方向，預期這些研究方向均可在國際知名期刊發表。另外，相關技術，獲得突破後，也將可申請專利。此外這些結果，可為國內電子業、資訊業及系統整合科技業擬訂我國發展智慧型雲端及行動資訊處理與控制的系統策略的參考，以及相關單位制訂有關標準的主要參考。

分項子題 2：智慧型運輸系統與雲端運算技術之整合 ---林正堅教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

發展 ITS 旨在運用先進科技於運輸系統，使有限的運輸資源作最有效的利用，以增進「行」的便利，提昇人民生活品質。ITS 的內容涵蓋技術面與行政法令面等兩方面的相關課題，發展 ITS 的目的即在於整合兩大方面的相關資源，有效地改善交通運輸問題。歸納發展 ITS 的目標可以分為安

全、環保、效率，以及經濟等四大目標，各項目標之內涵與相對應的標的為：

目標一：減少交通事故，提昇行車安全

根據內政部警政署統計，歷年來台灣地區每年因交通事故而死亡的人數皆維持在三千人左右，而受傷人數亦在三千人左右，以民國 86 年台灣地區因交通事故的死、傷人數各為 2,722 及 2,413 人，分析其肇事原因，百分之九十七以上是駕駛不當所致。這些交通事故不僅造成個人及家庭的負擔，更是社會有限醫療資源及國家生產力的損失。有鑒於此，發展 ITS 的首要目標即是利用資訊及控制等科技，輔助駕駛人行車，以增進交通安全。這方面的系統有碰撞預防系統（Pre-crash Restraint Deployment）及自動公路系統（AHS）。此外，藉由先進交通控制系統的佈設，可以有效減少延滯及旅行時間，提昇道路服務品質，對降低交通事故率及增進交通安全亦有顯著的貢獻。

參考美國聯邦運輸部的估計，實施 ITS 的相關措施，例如匝道儀控（Ramp Metering）、超速照相（Speed Enforcement Camera），以及碰撞預警系統（Collision Warning Systems），可以減少交通事故比率，分別為 24~50%、20~80%、33~40%。推動 ITS 相關工作，對改善交通安全與減少交通事故均有顯著的效益。

目標二：減少空氣、噪音污染，提高能源使用效率

根據台北市環保局統計委託台大環工所之研究報告指出，台北市空氣污染物中約 99.5%的一氧化碳（CO）、99%的碳氫化合物（HC），以及 98%的氮氧化合物（NOX）來自機動車輛。此外，分析台灣地區歷年來運輸部門溫室氣體排放量的情形，以民國 85 年為例，其中以公路為最高，佔 84.04%，其次為航空，佔 13.16%；其次，以民國 69 年至民國 85 年溫室氣體排放量的成長率而言，公路亦成長 3.4 倍，大量使用公路系統的機動車輛，造成日益嚴重的空氣污染問題，更直接威脅大自然與環境的永續發展。

ITS 可以提供用路人行車資訊，避免交通擁擠；另外藉由大眾運輸系統的改善以及便利的轉乘資訊的提供，可以轉移部份私人運具旅次至大眾運輸工具，減少私人運具的使用，降低空氣污染及噪音等對環境所造成的衝擊。提昇公路運輸的能源使用效率，對國家能源的整體規劃有實質的幫助。利用 ITS 的各項技術，可以降低交通擁擠並轉移部份私人運具旅次到大眾運輸工具，以提昇運輸系統的能源使用效率，進一步降低運輸系統對環境所造成的衝擊程度。

為配合經濟部能源會於民國八十七年五月召開的「全國能源會議」所規劃的各部門 能源節約量與二氧化碳排放減量，經初步估算，應用 ITS 的各項系統與技術，在目標年 2010 與 2020 年，分

別可以節省 9.0 與 14.0 萬公秉油當量的消耗，以及減少 21.0 與 31.0 萬公噸的二氧化碳排放量，顯然 ITS 對於能源消耗的節省與環境污染的改善具有舉足輕重的角色。

目標三：降低交通擁擠，提高運輸機動性

應用 ITS 的各項系統與技術，可以有效改善交通擁擠，降低用路人的旅行成本。下列幾點說明：

1.	藉由即時路況資訊的提供，用路人可以避開擁擠路段，選擇替代道路或運具，甚至延遲出發時間，以避免尖峰時刻的交通擁擠。
2.	迅速偵測並排除道路事故，以減緩因事故所造成的交通擁擠，甚至避免連續事故的發生，造成更嚴重的交通壅塞。
3.	良好的大眾運輸系統可以吸引部份私人運具旅次，減緩交通擁擠問題。
4.	即時而動態的交控系統可以隨時偵測交通狀況，自動調整交控策略，減少延滯及旅行時間，對改善交通擁擠亦有助益。
5.	藉由電子式自動收費系統的佈設，可以改善收費站區附近的交通擁擠，並且可以作為道路擁擠定價（Congestion Pricing）策略的基礎。
6.	提供共乘的資訊和機會，可以減少私人運具的旅次。
7.	ITS 可以提供用路人停車場位置及路線導引等資訊，避免因盲目尋找停車空間，而造成的交通擁擠。

提高所有陸上運輸系統的機動性和便利性乃 ITS 所欲達成的目標之一。例如，提供民眾有效的大眾運具轉乘資訊，可以使潛在的使用者更便利且願意使用大眾運具。此外，藉由特殊設計的路線及運具，可以改善弱勢團體（如老人及殘障同胞）「行」的問題。

目標四：促進相關產業發展，增加就業機會

發展 ITS 除了可以改善交通擁擠及增進交通安全之外，藉由 ITS 各項技術的研發，可以帶動相關產業的發展，並落實關鍵技術在國內生根的目標。例如透過電子式自動收費系統的研發與應用，可以促使國內電子、資訊、通信及自動控制等技術及產業蓬勃發展，對促進產業升級與增加就業機會皆有幫助。[1]

近年來隨著無線傳輸技術與雲端技術成熟，越來越多的相關研究朝著雲端運算的方向前進。一般而言，雲端運算（Cloud Computing）指的是「藉由網際網路傳遞、以服務形式呈現的應用程式（the Applications Delivered as Services over the Internet）」與「位於資料中心、實際提供此服務的硬體與系統軟體（the Hardware and Systems Software in the Data Centers that Provide those Services）」二者的統稱 [2]。

參考文獻

[1] Intelligent Transportation Society of Taiwan, “http://www.its-taiwan.org.tw/”.

[2] Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy Katz, Andy Konwinski, Gunho Lee, David Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica, and Matei Zaharia, “A View of Cloud Computing,” *Communications of the ACM*, Vol. 53, No. 4, pp. 50-58, 2010.

[3] Damon Kohler, Ryan Hickman, Ken Conley, Brian Gerkey, “Cloud Robotics,” http://www.google.com/events/io/2011/sessions/cloud-robotics.html, 2011.

[4] Encyclopædia Britannica Online, “automation,” http://www.britannica.com/EBchecked/topic/44912/automation/24859/Transportation, May 14, 2012.

2.研究方向及具體建議

智慧型運輸系統結合至雲端運算等相關技術，未來可研究之方向包含[4]：

(1) 自動駕駛系統（Autopilot System）

(2) 自動導航系統（Automotive Navigation System）

(3) 行人偵測（Pedestrian Detection）

(4) 流量管制系統（Traffic Flow Control System）

(5) 電子收費（Electronic Toll Collection）

(6) 路口監視系統（Intersection Surveillance System）

(7) 大眾運輸系統（Mass Transit System）

(8) 電腦輔助派車系統（Computer-aided Dispatching System）

(9) 車隊管理系統（Fleet Management System）

(10) 停車輔助系統（Parking Assistive System）

(11) 自動車輛定位（Automatic Vehicle Locator）

分項子題 3：銀髮族及慢性病患生活與照護之資通訊自動化技術整合 ---王振興教授

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

研究動機與國內外現況

依據行政院經建會於民國 95 年的調查及推估，台灣老人人口所佔的比例，從 1991 年的 6.5%預估到 2016 年即會上升到 13.0%，而在未來的 20 年中更會因為戰後嬰兒潮世代進入老年而更明顯，至 2026 年老人人口比率將達到 20.6%，即每五個人中就有一位老年人。除了老人人口快速增加的趨勢外，老人人口結構呈現長壽化預估在 2051 年時老人人口比率將達到 37.0%。政府為因應未來的台灣人口結構老化的急劇變化，全力投入國內醫療產業之發展，以發展科技化健康照護及創新服務為主要方向，並積極推動長期照顧十年計畫及遠距照護試辦計畫，讓台灣人民都能有更好的生活品質。

銀髮族常見的危害健康因素如下：（1）活動量不足：Chen 針對國內 19300 位 65 歲以上銀髮族所做的調查顯示，將近 55.5%的銀髮族至少罹患一種慢性病，而其中卻僅 15%於休閒時從事運動[1]；（2）睡眠障礙：Lai 針對城市型社區銀髮族的睡眠品質進行研究，結果顯示社區 65 歲以上的銀髮族有 50%的睡眠障礙經驗[2]；（3）平衡失調：在台灣，因平衡失調而造成的跌倒是銀髮族事故傷害的第二大主因，社區銀髮族跌倒的盛行率約在 10%-20%，其中 37%的銀髮族有重複跌倒的情形發生；4） 慢性疼痛：台灣社區銀髮族慢性疼痛盛行率約達 42%，其中以退化性關節炎為主因，而最常被提及的疼痛部位為膝蓋。上述種種問題更因為高齡人口的增加而越顯重要。

在慢性疾病的部分，民國 98 年國人十大死因，慢性病即佔七種。慢性疾病不僅嚴重衝擊個人健康，也增加國家醫療支出與社會成本，造成公共健康的重大負擔，其中，規律的身體活動是健康生活型態中很重要的一環，身體活動不足是許多慢性疾病的主要危險因子，規律的身體活動對於健康的益處在近年來已經被國內外許多研究所證實。規律的身體活動可減少全因死亡率（All-cause Mortality）、預防心血管疾病、糖尿病、癌症、骨質疏鬆、肥胖、中風及憂鬱疾患等[3-8]。對老年人而言，身體活動可以改善身體功能、生活獨立性[9]、社會支持及幸福感[10]。

由於老年人口的快速增加、雲端運算技術的提升、以及生理訊號感測技術的長足進步，近年來

在國內外有許多的雲端健康照護系統問世，現有健康照護系統大致可分下列幾種類別：**遠距健康資訊共通系統（電子病歷）、遠距生理訊號監測系統、遠距生理訊號分析系統、遠距衛教系統**。在**遠距健康資訊共通系統**方面，Google Health 以及 HealthVault 為醫療上常用的病歷、電子資料制定了共通的資料庫規格，其優點為可整合各式各樣的病歷以及電子資料[11-12]。**遠距生理訊號監測系統**則是結合雲端技術與生理訊號感測的系統；美國的 Health Hero Network 所出品的 Health Buddy System，使用者透過體重計、血壓計、血糖計、尖峰吐氣流速器等生理訊號量測設備測量老年人長期的生理資訊，並儲存在資料庫伺服器上，供醫療人員以及使用者進行長期追蹤[13]。在**遠距生理訊號分析系統**方面，大多著重於特定的疾病分析，例如國內鉑眾科技推出的居家睡眠檢測，使用者透過隨身的心電圖量測，經由服務人員上傳到伺服器運算，檢測是否發生睡眠呼吸中止症以及對應的睡眠品質[14]。**遠距衛教系統**方面則有日本 NTT 推出的遠距健康教室，運用 WebCam 視訊工具，由衛教人員教導衛教常識以及運動指導，以提升用戶健康狀況[15]。

參考文獻

[1] C. H. Chen, “Physical exercise and sense of well being among Chinese elderly in Taiwan,” Doctoral dissertations, University of Texas at Austin, Austin, 1995.

[2] H. L. Lai, “Self-reported napping and nocturnal sleep in Taiwanese elderly insomniacs,” Public Health Nursing, vol. 22, pp. 240-247, 2005.

[3] T. S. Church, Y. J. Cheng and C. P. Earnest, “Exercise capacity and body composition as predictors of mortality among men with diabetes,” Diabetes Care, vol. 27, no. 1, pp. 83-88, 2004.

[4] F. B. Hu, M. J. Stampfer, C. Solomon, S. Liu, G. A. Colditz, F. E. Speizer , W. C. Willett and J. E. Manson, “Physical activity and risk for cardiovascular events in diabetic women,” Ann Intern Med, vol. 134, no. 2, pp. 96-105, 2001.

[5] Conn VS, Hafdahl AR, Mehr DR, J. W. LeMaster, S. A. Brown and P. J. Nielsen, “Metabolic effects of interventions to increase exercise in adults with type 2 diabetes,” Diabetologia, vol. 50, no. 5, pp. 913-921, 2007.

[6] D. E. Thomas, E. Elliott and G. Naughton, “Exercise for type 2 diabetes mellitus,” Cochrane Database Systematic, vol. 3, 2009.

[7] N. G. Boulé, E. Haddad, G. P. Kenny, G. A. Wells and R. G. Sigal, “Effects of exercise on glycemic control and body mass in type 2 diabetes mellitus: a meta-analysis of controlled clinical trials,” JAMA, vol. 286, pp. 1218-1227, 2001.

[8] Chiara Di Loreto, Carmine Fanelli, Paola Lucidi, Giuseppe Murdolo, Arianna De Cicco, Natascia Parlanti, Fausto Santeusanio, Paolo Brunetti and Pierpaolo De Feo, “Validation of a counseling strategy to promote the adoption and the maintenance of physical activity by type 2 diabetic subjects,” Diabetes Care, vol. 26, pp. 404-408, 2003.

[9] G. A. Brooks, N. F. Butte, W. M. Rand, J. P. Flatt and B. Caballero, “Chronicle of the Institute of Medicine physical activity recommendation: how a physical activity recommendation came to be

among dietary recommendations," Am J Clin Nutr, vol. 79, pp. 921s-30s, 2004.
[10] J. A. Hawley, "Exercise as a therapeutic intervention for the prevention and treatment of insulin resistance," Diabetes Metab Res Rev, vol. 20, pp. 3833-3893, 2004.
[11] http://www.google.com/health/
[12] http://www.microsoft.com/en-us/healthvault/
[13] http://www.bosch-telehealth.com/
[14] http://www.platinum-team.net/Frame/sleep_3_2.html
http://arc.cust.edu.tw/ILSDS-1/Seminar/971029/TXT/971029.pdf

2.研究方向及具體建議

現有的雲端健康照護系統大多只解決單一的問題，例如，遠距生理訊號監測系統量測到各式生理訊號，但系統只進行訊號儲存而沒有針對訊號的意義進行回饋；遠距生理訊號分析系統提供生理訊號分析結果及解釋，但系統無法針對分析結果提供後續的處置與服務；遠距衛教系統雖立意良好，但是授課的衛教人員有限，在老年人口急速成長的今日，很難服務到每一個有需要的老人。為解決上述現有之問題，本研究主題鎖定銀髮族關懷照護核心議題：強化老人慢性疾病預防、健康促進、增加自我照顧之能力，進而改善生活品質、提高生存的尊嚴與降低醫療成本。開發兼具生理訊號收集、生理訊號分析、遠距衛教課程提供、成效追蹤之資通訊整合雲端化系統。具體規劃發展之方向如下：

(1) 於智慧型手持裝置上開發呈現生理訊號分析結果之人機介面

隨著科技的進步以及發展，身體感測網路（Body Sensor Network）的發展也逐步趨向成熟，然而若要讓身體感測網路所蒐集到之生理訊號及位置等資訊被充分利用，必須擁有一生理狀態偵測、評定與預估之技術，並整合為一處理機制，以即時回饋並提醒使用者及後端醫療人員。本項發展之重點在於於是慧型手持裝置上開發一人機介面以協助銀髮族使用者、後端醫護人員以及其家屬解讀、理解生理訊號所對應之狀態及其風險，並且透過無線網路與雲端結合，當使用者發生緊急狀況時，能第一時間給予警報，在最短的時間進行接受治療。

(2) 開發相關生理訊號之分析演算法

由於透過身體感測網路所收集到的生理訊號種類繁多，因此透過不同訊號來源以及種類，可開發出具有不同目的之演算法。如加速度訊號可分析慢性疾病患者日常之活動量及活動型態、失眠患者之睡眠效率；心電訊號可判斷使用者是否有潛在或立即的心血管疾病危險；體溫可用來評估銀髮族之生物節律強健度等。本項發展期望透過多重生理訊號的分析演算法，解讀、理解生理訊號所對應之狀態及其風險。

(3) 建置雲端資料儲存/分析伺服器服務平台。

由於智慧型手持裝置規格眾多，無法負擔儲存龐大之生理訊號資料以及對生理訊號進行複雜之運算。本項發展重點在於以基礎設施即服務（Infrastructure as a Service, IaaS）的方式，建置雲端資料儲存/分析伺服器服務平台，研究重點在於建立個人的生理訊號管理及衛教課程搜尋系統，以及透過強健度測試（Robustness Testing）及穩定度測試（Stability Testing）等方法，驗證伺服器生理訊號演算法之分析能力及資通訊整合雲端化系統之成效追蹤。

分項子題 4：<u>智慧型無線多功能生理監測微系統 ---王振興教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

近年來隨著無線傳輸技術、微機電製程技術的成熟以及雲端運算環境相關基礎建設的普及，使得須整合上述三項技術的身體感應網路（Body Sensor Networks）開始被各大醫療研究中心重視[1]-[3]，常見配戴於人體上的身體感應感測器可量測的訊號有加速度（Acceleration）、血壓（Blood Presure）、血糖（Blood Sugar）、呼吸中二氧化碳濃度（Carbon Dioxide）、生理電訊號（心電/腦波/肌電，ECG/EEG/EMG）、角速度（Gyroscope）、濕度（Humidity）、血氧（Carbon Dioxide）、呼吸次數（Respiration）、體溫（Temperature）等[4]；而近年來 INS/GPS 整合式無縫行人導航技術也受惠於微機電製程技術，大幅提升了整合進身體感應網路的可行性[5]。上述生醫資訊、位置訊號透過常見的無線傳輸技術如 MICS （Medical Implant Communication Service）、WMTS （Wireless Medical Telemetry Service）、UWB （ultra-wideband）、IEEE 802.15.4 （ZigBee）、IEEE 802.15.1（Bluetooth）、WLANs （802.11b/g）等方式[6]，上傳至雲端伺服器，進行資料的自動化儲存與分析，並即時的給予使用者生理回饋與提醒。若能將此一自動化智慧型無線生理監測系統的實現，便可減少醫療人員的負擔、降低社會成本，並提高國人的生活品質。

近年來有相當多的研究整合了網路（雲端）以及嵌入式系統（感測器）進行了智慧型照護系統的開發與研究。在相關研究中，針對特定疾病的智慧型老人照護系統是最廣泛的一種，例如：國內學者開發了失智症老人無線緊急照護系統，此系統包含了結合了射頻身分識別標籤（Radio Frequency Identification, RFID）及全球定位系統（Global Position System, GPS）的感測器，包含地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）的伺服器，並且透過通信公司的 GPRS 行動網路連結感測器以及伺服器。此套失智症老人無線健康照護系統可以提供室內外的監控、緊急呼救、以及遠端遙控等功能，可減低失智老人走失的機會。我國振興醫院推出用於患有急性心臟疾病的護心卡，使用者將護心卡量測得到的心電圖，透過市內電話或是行動電話傳輸至控制中心，由專門的醫

療人員進行患者心電圖的解讀，並告知患者是否需要緊急就醫。除了針對特定疾病開發的照護系統之外，亦有結合網路以及生理訊號量測設備的應用，如 Pandian 等人開發了 Smart Vest 生理訊號感測器系統，此感測器系統包含可洗滌的生理訊號感測背心及伺服器系統。生理訊號感測背心可量測老人使用者的生理訊號，包括心電圖、心跳、體溫、血壓、皮膚電導等，並且經過伺服器針對數據進行正常與否的判斷，在老人使用者生理狀況不佳時，及早進行示警[7]。綜合上述的遠端照護系統，目前技術較缺乏針對生理訊號細部分析的功能，並基於生理狀況的分析結果，提供改善健康狀態的課程，並且持續追蹤。

參考文獻

[1] U. Anliker, et al., "A wearable multiparameter medical monitoring and alert system," IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine, vol. 8, pp. 415-427, 2004.

[2] M. F. A. Rasid and B. Woodward, "Bluetooth telemedicine processor for multichannel biomedical signal transmission via mobile cellular networks," IEEE Trans. Information Technology in Biomedicine, vol. 9, pp. 35-43, 2005.

[3] M. R. Yuce, P. C. Ng, and J. Y. Khan, "Monitoring of physiological parameters from multiple patients using wireless sensor network," Journal of Medical Systems, vol. 32, pp. 433-441, 2008.

[4] C. Liolios, C. Doukas, and G. Fourlas, "An overview of body sensor networks in enabling pervasive healthcare and assistive environments," in PETRA '10 Proceedings of the 3rd International Conference on PErvasive Technologies Related to Assistive Environments. （ACM）, New York, NY, USA, 2010.

[5] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," IEEE Trans. System, Man, and Cybernetics-part C: Applications and reviews, vol. 37, pp. 1067-1079, 2007.

[6] M. R. Yuce, "Implementation of wireless body area networks for healthcare systems," Sensor and Actuators A: Physical, vol. 162, pp. 116-129, 2010.

[7] P. S. Pandian, K. Mohanavelu, K. P. Safeer, T. M. Kotresh, D. T. Shakunthala, P. Gopal, and V. C. Padaki, "SmartVest: Wearable multi-parameter remote physiological monitoring system," Medical Engineering & Physics, vol. 30, pp. 466-477, 2008.

2.研究方向及具體建議

未來研究之方向希望能整合多功能之生理感測器及發展無縫行人導航技術於身體感應網路中，透過無線感測網路以及雲端伺服管理系統，即時偵測及感知使用者的生理狀態以及所處位置，除了可以即時給予使用者生理狀態及所處位置之回饋外，更可在使用者心理或生理狀態異常時，自動通知醫護人員或家屬趕赴現場給予協助。未來研究之主題，將以身體感測網路之與雲端資訊之整合出發，朝下列五項發展：

(1) 提升身體感應網路訊號之可靠度（Reliability）：

降低無線傳輸資料封包的遺失率（Packet Loss Probability）以及減少封包傳輸延遲（Packet

Transmission Delay）為提升訊號可靠度的兩個主要議題，資料封包的遺失率會受到因無線傳輸環境產生之位元錯誤率（Bit Error Rate, BER）的影響。因此，如何在通訊架構的實體層（Physical Layer, PHY）依身體感測網路生理訊號的特性發展可適應性調變（Adaptive Modulation）技術及資料編碼（Coding Techniques） 技術；以及如何在媒介存取控制層（MAC Layer）設計封包傳送大小、封包重送機制等是本項發展的研究重點。

(2) 降低生理感測器之功率消耗（Power Consumption）

由於身體感測網路需依賴電池驅動，因此感測器及系統的功率消耗便成為其最重要的考量因素，也直接影響了身體感測網路系統的實用性。因此本項發展的研究重點在於開發動態電源管理技術（Dynamic Power Management Techniques），藉以設計調節微控制器的運算時間及運算量，以及無線傳輸的啟動時間，讓身體感應網路中各個生理訊號感測器之使用時間盡可能的延長。

(3) 開發身體感應網路感測器之可擴充性（Scalability）

由於身體感測網路結合眾多生理監測及無縫行人導航系統，隨著不同族群的特殊需求及使用限制（如失智老人須增加行人導航、心律不整病患則須有心電訊號感測器等），應具備有可擴充性及可改變感測器配戴數量的特點，因此，本項發展的研究重點在於媒介存取控制層中，研發可重新配置感測器數量及重新分配取樣率（Sampling Rate）之技術，讓身體感應網路具有強健的感測器可擴充性功能。

(4) 發展身體感應網路資料蒐集與分析結果呈現之人機介面（Human-Machine Interface）

若要讓身體感應網路所蒐集到之生理訊號及位置等資訊被充分利用，必須擁有生理狀態偵測、評定與預估之技術，並整合為一處理機制，以即時回饋並提醒使用者及後端醫療人員。本項發展的研究重點在於利用身體感應網路所蒐集到之生理訊號與位置資訊，開發特殊生理狀況及生理反應之即時提醒、示警技術，並開發一人機介面以協助一般使用者解讀、理解生理訊號所對應之狀態及其風險。

(5) 建置自動化雲端分析回饋平台

由於身體感應網路所蒐集到的生理訊號種類繁多，數據的分析處理方式及資料的儲存空間皆需讓研究者具有自行分配、調整的特色。因此，本項發展的重點在於使用雲端運算服務模式中的基礎設施即服務（Infrastructure as a Service, IaaS），建置自動化雲端分析回饋平台，由於系統中處理到個人的生理訊號以及位置等個人隱私資訊，因此雲安全（Cloud Security）以及使用者帳戶管理等議題將為主要研究方向。

分項子題 5：<u>雲端機器人（Cloud Robots) ---林正堅教授</u>

1.研究動機與國內外研究現況及重要參考文獻

「雲端機器人（Cloud Robots，如圖 1 所示）」即為“Cloud-connected Robots”[1]，此「雲端」即指「雲端運算（Cloud Computing）」[2]。換言之，在「將硬體與雲端相接合」的情況下，雲端機器人得以進行感知、瞭解、分享與反應等類同於人類的動作。如同[3]一文中所述，在與雲端運算結合的情況下，物體辨識、地圖導航、語音辨識與文字辨識等應用，也都可順利完成。

圖十、 “The cloud enables smarter robots.” [1]

綜而言之，雲端機器人將可解決以下幾點傳統機器人學上的問題 [1]：

- 大量資料的處理 （“process large amounts of data”）；
- 多裝置間的知識共享 （“share knowledge among multiple devices”）；
- 與使用者互動的新模式創建 （“create new forms of user interaction”）。

參考文獻

[1] Damon Kohler, Ryan Hickman, Ken Conley, Brian Gerkey, “Cloud Robotics,” http://www.google.com/events/io/2011/sessions/cloud-robotics.html, 2011.

[2] Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy Katz, Andy Konwinski, Gunho Lee, David Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica, and Matei Zaharia, “A View of Cloud Computing,” *Communications of the ACM*, Vol. 53, No. 4, pp. 50-58, 2010.

[3] Erico Guizzo, “Robots with Their Heads in The Clouds,” *IEEE Spectrum*, March 2011, Vol. 48, No. 3, pp. 16-18.

[4] Rajiv Khosla, Mei-Tai Chu, Reza Kachouie, Keiji Yamada, Tomoharu Yamaguchi, ” Embodying Care in Matilda: An Effective Communication Robot for The Elderly in Australia,” *IHI '12 Proceedings of the 2nd ACM SIGHIT International Health Informatics Symposium*, ACM New York, NY, USA ©2012, table of contents ISBN: 978-1-4503-0781-9.

[5] Mitsuyoshi Hori, Eiji Kawashima, Tomihiro Yamazaki, “Application of Cloud Computing to Agriculture and Prospects in Other Fields,” *FUJITSU Sci. Tech.*, Vol. 46, No. 4, pp. 446-454,

October 2010.

2.研究方向及具體建議

以下是幾項雲端機器人的可能應用方向:

(1) 具環境偵測應用之雲端機器人

為了要讓機器人能夠擁有與人類相同的感官，我們在機器人身上裝設了許多強大的感測器，但是機器人身上的運算元件卻跟不上人類的大腦，難以有效的將感測到的環境資訊發揮功能。若能將機器人的感官系統與雲端運算的技術互相結合，將繁重的運算工作交給雲端系統做處理（例如圖形辨識、語音辨識或決策分析等）[3]，則機器人所能執行的工作與能力將會大大的提升。同時亦能夠有效的降低機器人的體積與成本並且提升電池的續航力。

(2) 具居家照護應用之雲端機器人

資訊系統分成許多種類（例如:管理資訊系統、地理資訊系統、醫療資訊系統...等），利用這種方式建立一個大型的資料庫系統，當機器人需要某些訊息時，可直接利用無線網路的方式連結到此系統，獲得到它所需的資訊。（例如:看護機器人得知病患須打針或用藥時，能獲取到相關如打針或用藥資訊以及步驟，也能回傳相關病患當時身體狀況資訊當作一個資訊提供。）

(3) 具醫護應用之雲端機器人

在目前發生醫院護士大量短缺的情況下，需要由機器人來分擔醫院護士的工作顯得非常迫切。但要輔助護士的工作需要大量的資料空間及計算（例如：病人的資訊管理、醫療資訊等），此時就可以利用雲端運算或建立資料庫。而機器人為複數的情況下，機器人之間的溝通[4]就很重要（例如：機器人彼此的分工等），如利用雲端運就不需要將大量的運算用在溝通上了。

(4) 具農業自動化應用之雲端機器人

現今農業自動化越來越發達，也越來越多農業型機器人的製造，但這些機器人都需要大量的資料運算（例如：環境資訊、路徑規劃、影像辨識等），故藉由雲端運算幫助減少機器人本身的運算量，讓機器人能夠利用有用的資訊，更迅速的完成工作。例如葡萄園需要修剪枝葉，就必須先取得環境資訊及路徑規劃，避免壓到作物，並利用影像辨識取得正確需要修剪位置做修剪[5]。

(5) 具車載系統應用之雲端機器人

處於現今繁雜的交通環境當中，人們時常會因為各種交通狀況影響外出行程，而現今的行車導航系統又不足以應付各種情況，導致人們每天要為了通勤而苦。假若現今交通運輸設備上的車載資訊系統能夠與雲端運算技術做結合，利用雲端系統針對即時交通狀況規劃出最佳路徑，則各個駕駛透過此路徑來行駛，將能夠有效的分散交通流量。此外，雲端系統亦能夠拓展到其他相關的交通系統上。例如結合至警網（或保全）巡邏系統，或是運用於垃圾車的載運路線規劃，當垃圾車滿載垃圾時即可回傳資訊到雲端系統，並由雲端系統通知其他鄰近的垃圾車過來支援等等，藉此達到分工合作的目的。

國科會工程處控制學門規劃主題

『電動車輛與智慧型運輸系統之控制』規劃摘要

規劃主題架構表

規畫主題：電動車輛與智慧型運輸系統之控制

召 集 人：吳炳飛教授

副召集人：陳柏全教授(電動車輛)、蘇昭銘教授(智慧型運輸系統)

規畫委員：胡竹生教授、陳科宏教授、連豊力教授、陳彥霖教授、黃聖傑教授、彭昭暐教授、張建彥教授

為加速培植台灣未來競爭力，智慧電動車為行政院規畫的四大智慧型產業之一。政府投入智慧化車輛研發資源，在自主車型與建構產業智慧化技術展示平台專案計畫、加強資訊電子與車輛產業整合、先導性創新示範運用計畫、汽車零組件專業貿易商等計畫、擴展商用運輸系統的智慧化後勤服務等，增強汽車電子產業的價值鏈。在智慧化車輛產業方面，由於汽車與民眾的生活密不可分，未來透過智慧車輛與汽車電子科技的研發，將徹底顛覆汽車只是代步工具的傳統印象，智慧化車輛策略性產業將帶動人、車、環境資訊的便利，有效處理道路擁擠、停車及道路救援等問題，達到智慧好生活的目標。智慧車必須利用控制科技整合資通訊科技產業(ICT)與汽車工業。但台灣 ICT 產業偏重消費性電子，故 GPS/GIS 與視聽影音為其強項，但行車安全牽涉到較高層次的影像辨識、感測器技術、與智慧型車輛控制技術。這方面台灣的 ICT 產業普遍較弱。運用感測技術作為輔助，自動偵測車輛安全所需的相關資訊，提供一個車輛安全的全方位防護系統，這在智慧型運輸系統研究上是很重要的課題。國外技術母廠經常是台灣沒有就不給，若台灣自己有能力開發就拿出來授權。自己有技術才能與技術母廠得到較平等對待。由此可知智慧車的研究與開發，不僅對國家未來科技與社會將有重大的影響，且對世界汽車電子產業的趨勢亦然。

「食衣住行」是人們日常生活的 4 大需求。而我們一直強調「科技始終來自人性」，如何利用控制科技將人類生活重大需求的“行”整合在生活中是本規劃小組的方向。我們將「電動車輛」讀例誠一規劃子題而將與車互動的錄與人規劃成另一子題「智慧型運輸系統」由兩位副召集人分別擔任

各子題的規劃:

規劃子題一：電動車輛（陳柏全教授）

我們既然是用政府的資源，就希望此一研究能對產業經濟有所幫助，也就是說我們希望以電動車產業而言，業者需要的技術，由我們控制學門規劃具可行的技術研究案，縮短產與學研間的距離。規劃方向主要朝電動車智慧化與綠能化。主題包括了駕駛安全，節能控制等等的控制科技。這也是控制學門的學者們可大力著墨之處。所以我們規劃了 5 個研究方向：

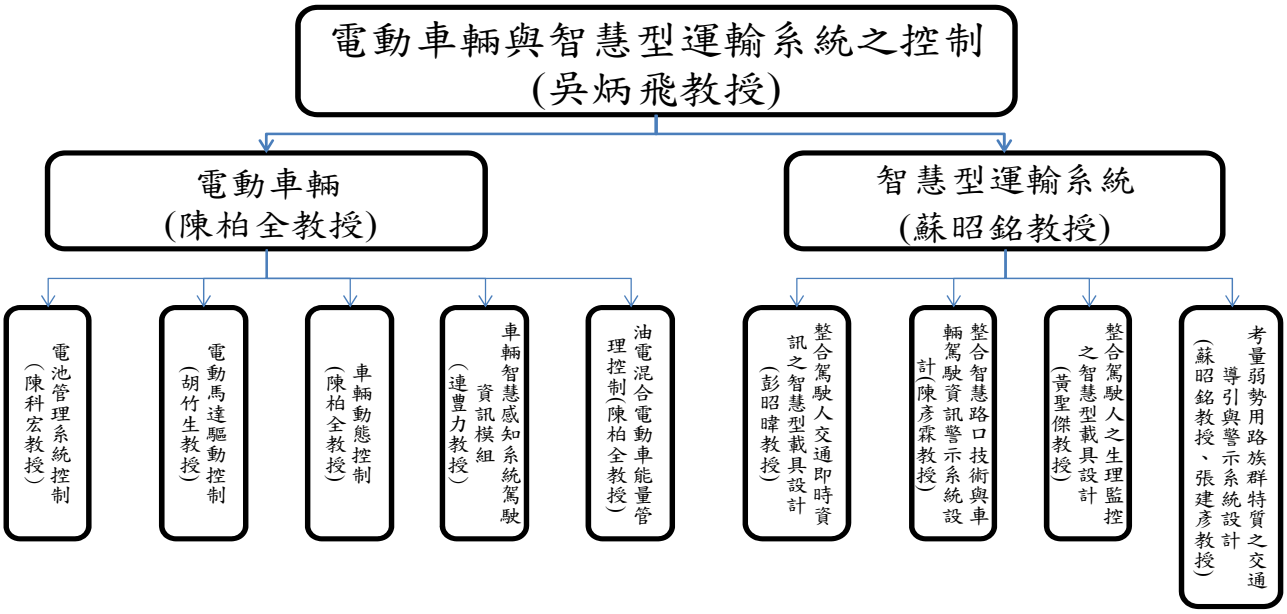
1. 電池管理系統控制
2. 電動馬達驅動控制
3. 車輛動態控制
4. 車輛智慧感知系統駕駛資訊模組
5. 油電混合電動車能量管理控制

規劃子題二：智慧型運輸系統（蘇昭銘教授）

有了車輛，「行」的需求還包括車在路上智慧行走及車與人的互動，這就是智慧型運輸系統的領域了。科技雖來自人性，但不夠人性化與人道關懷，特別是針對身障人士及年長者在用路時的人道關懷，所以在智慧型運輸系統規劃上我們朝「弱勢用路人保護服務」(Vulnerable Individual Protection Services, VIPS) 及遠距照護兩個主軸規劃，希望能同時兼顧到老人，弱勢用路人的用路權與人權。台灣已面臨的老年化的社會，當我們逐漸失去身體上的行動能力時，我們更期待科技可以為我們帶來行的便利與照護考慮。於是我們以智慧型輪椅(另一種電動車輛)為規劃主角，將控制科技應用在此平台上，而有以下 4 個建議研究方向：

1. 整合駕駛人交通即時資訊之智慧型載具設計
2. 整合智慧路口技術與車輛駕駛資訊警示系統設計
3. 整合駕駛人之生理監控之智慧型載具設計
4. 考量弱勢用路族群特質之交通導引與警示系統設計

規劃圖整理如下:

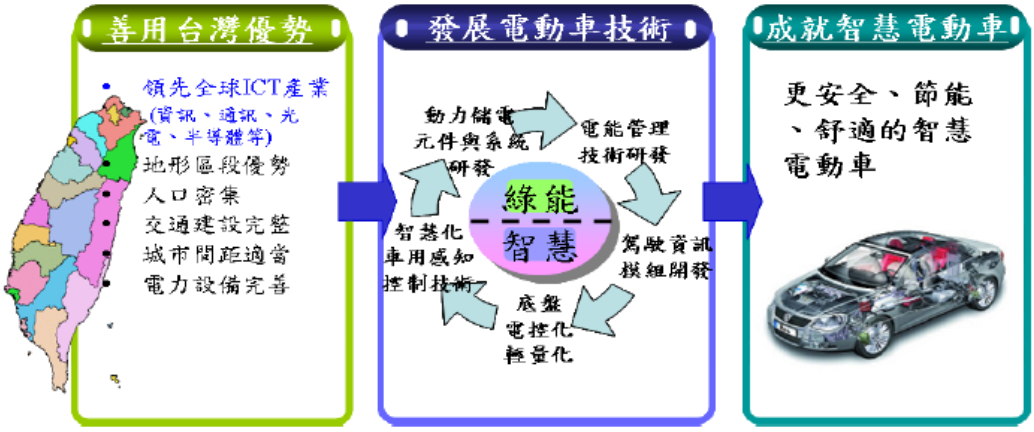


子題一：電動車輛

副召集人：陳柏全教授

規畫委員：陳科宏教授、胡竹生教授、連豊力教授

全球暖化問題持續惡化，石油價格高漲已成為長期趨勢。世界各大車廠因應石油枯竭問題，均投入大量資源投入電動車輛研發與生產，因此兼具能源與環保效益的電動車輛掀起一陣研發熱潮。電動汽車的興起，造成了汽車產業供應鏈的重組，新加入供應鏈體系的電動驅動系統相關技術，如馬達、電池與控制器，更是電動汽車發展的關鍵所在。台灣具領先全球 ICT (Information and Communication Technologies)產業，將可以加值應用電動車成為更安全、節能、舒適的「智慧化」電動車，即所謂之智慧電動車，如圖十一所示。此外，台灣地形區段具優勢，人口密集，城市間距適當，交通建設便利，具備電力充足等核心價值，適合發展智慧電動車。

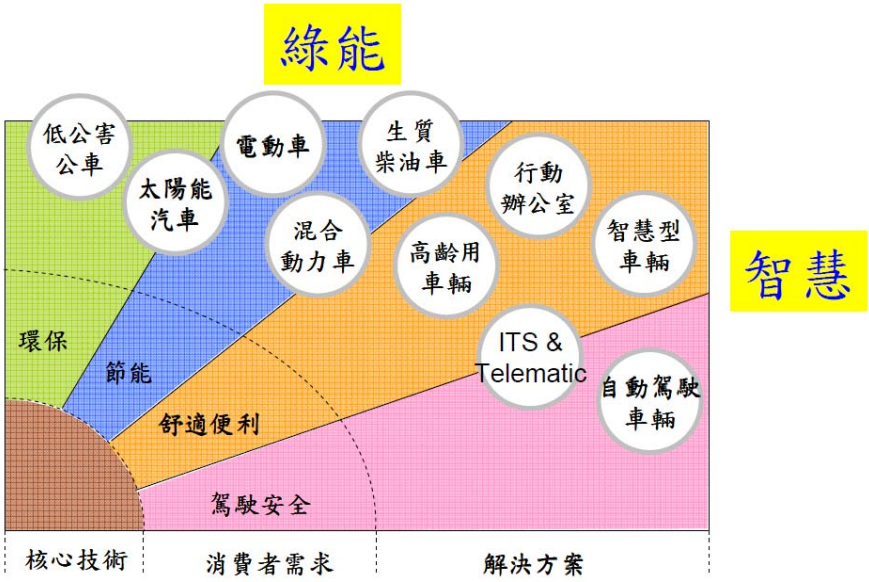


圖十一、 台灣發展智慧電動車優勢[1]

台灣電動車關鍵零組件廠商現況，如圖十二所示，富田科技、公準精密及致茂電子已與美國 Tesla Motors 智慧電動車製造商簽訂合約，分別供應智慧電動車用感應馬達與動力控制模組。此外，能元科技更是負責提供 BMW 第一款電動車 Mini-E 的鋰電池模組，台灣電動車相關零組件廠商在國際之競爭力強，實力不容小覷。

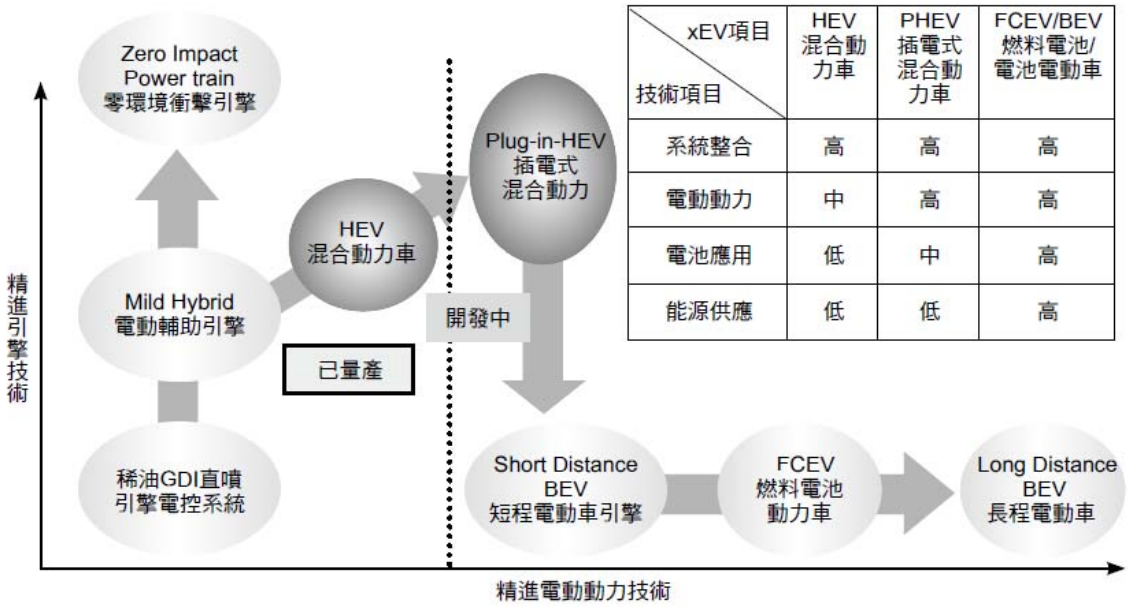
圖十二、 台灣電動車關鍵零組件廠商現況[2]

智慧電動車是政府推動的產業方向，智慧的部分包含很廣，只要與駕駛輔助系統相關的項目都是屬於智慧的範疇，如圖十三所示，車輛動態控制是其中一項，車輛智慧感知系統與駕駛資訊模組，則是屬於另外很重要的一項。



圖十三、 台灣汽車產業發展趨勢：智慧+綠能 [3]

現今發展純電動車的最大考驗在於續航力問題,因此採用內燃機與電動馬達的油電混合電動車(Hybrid Electric Vehicle, HEV)為目前最佳的解決方案，其特點在於可以提供引擎與馬達混合驅動力的並聯架構，或者以引擎來發電將電能儲存於電池，再以電池電能來驅動馬達使車運行的串聯架構,目前節能動力車在市場的需求逐漸取代傳統純內燃機引擎車輛。由於電池的種類和容量在最近十年飛快成長，以及為儘量使用高效率馬達來做為車輛驅動力的目的，可充式節能動力車(Plug-in HEV)可能逐漸取代 HEV 成為主流，如圖 4 所示。



xEV項目 / 技術項目	HEV 混合動力車	PHEV 插電式混合動力車	FCEV/BEV 燃料電池/電池電動車
系統整合	高	高	高
電動動力	中	高	高
電池應用	低	中	高
能源供應	低	低	高

圖 4. 電動車輛與技術分析[4]

參考文獻

[1] 經濟部，智慧電動車發展策略與行動方案，2010。

[2] 陳文仁，電動車產業發展現況與趨勢，2010。

[3] 陳國榮，台灣汽車產業發展的優勢與挑戰，2009。

[4] 經濟部，2010 年能源產業技術白皮書，2010。

子題一：電動車輛

副召集人：陳柏全教授

次子題一：電池管理系統控制

規畫委員：陳科宏教授

一、 前言

(一)、 研究動機與國內外研究現況

在能源短缺的時代裡，如何使用綠色及再生能源來減緩石油危機及環境汙染成為一重要之議題。而隨著經濟發展，車輛普及率逐年升高，全球消耗的石油能源與日劇長，經濟的變動也往往隨著石油而波動，另外，近年開始歐盟提倡綠色環保理念，訂定多項綠能環保的規範，在車輛動力上若能發展使用低汙染之能源(電動車)，對於進入歐盟市場將是一大優勢。故對於電動車之研究將是一大主流。

然而，純電動車至今仍無法成為主要代步工具原因除了電池材料之技術尚未成熟之外，在車用電源管理技術上也處於起步階段。除了車輛內的電池管理系統之外，在電池充電部分也有許多問題待需解決，因為電池充電耗時，動輒數小時，且隨著使用時間增長而逐漸老化，造成實際可用電量下降，再加上充電站之建置尚未普及化，種種原因限制了電動車之發展。

目前市面上多數電動車含有多組之電池，一部分提供電動車所需之能量，其餘則做為備用。電池之能量來源完全依賴家中車用插頭或是充電站,因此車子所能行駛的範圍就會受限於車用電池之總電量及充電站之分佈。而在傳統電池之做法通常為小電池串連出一高電壓[1]，形成電池管理系統之單一輸出，再經由不同之降壓轉換器連接到不同負載，以供應各自負載之能量，而這樣的做法在實際應用時彈性較低。因為當電池發生狀況時，就必須停止系統運作來進行更換動作，如此之做法將大幅降低電動車之可靠性。此外，大量的電池串接在電池平衡電路上會變得相當複雜，因為需要去對很多數量之電池進行平衡，可能造成整理充電效率降低以及充電時間增加，故在電池模組部分，使用並聯電池輸出可大幅改善[2]，使電池管理系統更具彈性，因為可隨時根據負載狀況而動態更動電池並聯數量，而且不需因為部分電池損毀將系統停止運作，這對電動車系統來說是相當重要的，而部分公司也利用這樣並聯輸出的優點，實際應用到電動車規劃上[3]。另一方面，當電池管理系統在連接到負載端提供電動車內部各元間之動力需求時,傳統的作法上會將各負載皆接到同一個電池管理系統輸出，再透過各自額外附加的直流轉換器提供各自所需要的電壓。這樣的做法不

僅無法妥善分配各負載所需之能量，還需在電路設計時附加額外的直流轉換器，增加電路設計複雜度與成本。故實現一並聯分散式多輸出之電池管理系統將使產品更具有競爭力，因為其可提供高整合度且高穩定度之電池管理系統以供電動車使用。事實上，為避免電池並聯時電壓高的回充電池電壓低的，在並聯前應先接到一直流轉換器[2]，而電池與直流轉換器形成一電池模組，再將電池模組並聯對負載放電，但如此的做法對於各個電池模組內之直流轉換器而言，全部電池模組合起來會形成一個多輸入單輸出之轉換系統，如此一來在電池並聯供電時，將可能發生各路電池所提供之放電電流不相等之結果，如此一來將造成放電效率降低，且可能使部分電池發生放電電流過大之危險。故在實現並聯分散式多輸出之電池管理系統時，必須針對此問題提出改良[4]，達到各路電流可以平均分配之結果，有效提升電池管理系統之效率。

(二)、 參考文獻

[1] C. W. Seitz, “Industrial Battery Techniques and Markets,” Aerospace and Electronics System Magazine, Vol. 9, May 1994, pp. 10-15.

[2] C. S. Moo, K. S. Ng, and Y. C. Hsieh, “Parallel Operation of Battery Power Modules,” *IEEE PEDS*, pp. 983-988, 2005.

[3] US Patent, US20090218987.

[4] Tin-Jong Tai, and Ke-Horng Chen, “Switching Loss Calculation (SLC) and Positive/Negative Slope Compensation Dynamic Droop Scaling (PNC-DDS) Technique for High-Efficiency Multiple-Input-Single Output (MISO) Systems,” IEEE Transactions on power electronics, vol. 24, no. 5, pp. 1386-1397, May. 2009.

二、 規劃內容

(一)、 研究方向及具體建議

由於電池充電耗時，且隨著使用時間逐漸老化，再加上充電站之建置以及家用充電插頭之發展尚未普及化，更限制了電動車之使用。為了提升電動車的續航力，在車子運行或是停置時，可自動利用綠色能源對電池充電，如此一來，便可使電池上的電量時常維持在一個較高的位準，有效提升電池之續航力，另一方面也具備節能環保的優點。此外，為了追求更高之管理彈性，使用多輸出之電池管理系統，同時利用電池管理系統內部之降壓轉換器取代掉外部負載端之降壓轉換器，如此一來更可達到高整合度之系統，提高產品競爭力。

結合電池管理系統之多輸入多輸出特性與必要的智慧型控制，需要一多輸入多輸出分散式電池管理系統。充電站與綠色能源輸入到車子中央的電池管理系統，對內部的電池模組(Battery module)充電，而根據不同輸出負載，透過電池模組的降壓轉換器，提供適當的輸出電壓到負載端。

(1) 分散式電池管理系統架構規劃

a、 輸入能源(Input Sources)

電動車之電能來源為充電站以及家用充電插座，當電動車能量耗盡時必須進入充電站進行充電，可行駛路成相當有限。若可以使用綠色能源對電動車充電，則其路程得以延長。對於電動車而言，最容易取得之綠色能源為太陽能(Solar Energy)以及能量採集(Energy Harvesting)。在車上加裝太陽能板，太陽光發電系統可將太陽能轉換為電能並儲存於電池中。而能量採集技術可採集行駛中之能量，例如:採集煞車時所產生之回充能量、收集滑行行駛狀態所產生之能量等。為了提升電池使用之效率，在電動車運行的同時，利用唾手可得之綠色能源將備用電池進行充電，不但可以提升其續航力，更可以節省在充電站充電時間。

b、 分散式電池系統(Distributed Battery System)

電池管理系統具有輸入端與輸出端，輸入端負責對電池充電，而輸出端則透過電池對車輛系統負載放電。輸入端之能量來源除了使用充電站之充電插座外，也可使用綠色能源以及再生能源對電池充電，達到節能省電的目的。至於整個車輛系統的負載端可分成很多部分，例如電動車的中央控制系統(ECU)、電動車的Electric Power Steering(EPS)、馬達變頻器 (Inverter)、馬達(Motors)等輸出負載。對於不同輸出負載，電池管理系統都必須可以供應適當能量，以確保車輛可以維持穩健的運行狀況，故在電池管理系統中，必須針對不同負載需求，提供最有效的能量輸出。除了輸入端有多重的輸入能源選擇，在輸出端也具備多重的負載輸出，形成一多輸入多輸出之電源管理系統。由於電動車是以電池為動力來源,電池管理系統必須有效率地控制電池的充放電以求良好的電池使用情形，並使車輛避免動力短缺，故在電池管理系統的設計就必須小心謹慎，所以如何達到一智慧型的電池管理系統將是首要目的。

一般電動車之動力來源為電池串聯(電池集中)提供大的電壓給負載，故不同負載端必須再接上一降壓轉換器(Buck Converter)以提供不同負載適當的電壓，但為了使能量分配可以最佳化，且使電池管理系統更具彈性，內部電池組合應為並聯式(電池分散)，當負載變動或突然有一電池損毀時，改變電池並聯組數使負載可以持續得到適合的能量，所以使用分散式並聯的電池組合型式將是電池管理系統的趨勢。然而，在電池並聯時將會面臨電池電量不同時，電壓不同的電池並聯之問題，所以在電池並聯之前，應先連接到一降壓轉換器，根據電池上不同電壓轉換成相同的輸出電壓，並聯後一起對負載放電。而如此一來，在電池管理系統中便可利用內部用來並聯之降壓轉換器提供各自負載所需的電壓，故對於傳統電池管理系統接到負載前須使用的降壓轉換器便可去除，更進一步使外部電路設計簡化與節省成本，提高產品競爭力。

電動車系統含有多組之電池(分散式電池系統)，一組提供電動車所需之能量，其餘則做為備用，亦或是將多組電池並聯使得電動車得以獲得更多能量。例如，其中兩組電池組(Battery Cells)因其電量不足，連接至充電端(Charge Line)進行充電;其中兩組電池組根據負載電流大小提供足夠的能量至負載端(Load Line);剩下之電池組因其電量充足且負載能量足夠，則停止動作，即不進行充電也不進行放電。

(2) 多輸入多輸出之系統

車輛系統的負載端可分為很多部分，傳統的做法只有單一輸出電壓(V_{OUT})，並在其後並聯多個直流/直流降壓器(DC/DC Buck Converter)，分別提供不同負載所需之電壓及電流。此做法最大之缺點為，當車用電子系統中共有 n 個負載時，必須在輸出端並聯 n 個直流/直流降壓器。對於電動車製造業者在使用方面，皆需預先決定直流/直流降壓器之數目，針對不同種類之電動車，則必須重新設計安排，其使用彈性相當小。再者，電動車內所有負載均接至同一輸出端時，若任意一負載發生短路之情形，瞬間會將本系統輸出之所有電流導引至此，此負載將會燒毀，其餘的負載產生瞬間能量短缺，不但會影響統穩定度，更會導致嚴重之安全性問題。

多輸入多輸出分散式電池管理系統可用來解決此問題，和單輸出之架構相同處為，電動車能量之來源仍由多重能源將能量匯集至充電端(Charge Line)，而在負載端卻可提供 n 個不同輸出電壓供給至不同負載。負載電力線(Load Lines)可被劃分為 n 條，line 1, line 2,…line n。在電源管理系統控制器(Battery Management System Controller)之控制下，每條負載電力線(Load Lines)之能量分別由不同之電池組提供，使得負載可以獲得預定之電壓與電流。各條負載電力線(Load Lines)上均連接適當之電池組數來應應不同負載之能量，而適當之電池組數分別由各負載之平均操作電流來預先決定。總共之負載數目 n 並非為一預先決定之定值，可根據不同車用系統之應用來進行調整，實際應用上之彈性也較大。

在實際應用上，每個電池組都各由一電池管理晶片(BM IC)來控制，其中包含一充電器(Charger)，可控制電池之充電電流，精準的將電池充至預定電壓。當電池管理系統控制器決策好各個電池組之操作狀態後，會將此訊息傳至其電池管理晶片使電池組操作在既定之狀態。對必須進行充電的電池組之電池管理晶片發送充電訊號，這些電池組便透過充電電力線(Charging Line)開始充電;對於需要放電之電池組，對電池管理晶片發送放電訊號，電池停止充電，並透過負載電力線(Load Lines)放電對負載進行放電。

採用多輸出的控制方法，與單一輸出的做法相比，具有可在電池端就妥善分配能量給各負載的優點，同時也具有較高的安全性以及系統的穩健性(Robustness)，可以正確的因應不同負載端的需

求，並確保在任何意外發生時，均可保持穩定的輸出能量。

(3) 電池電量之使用率

由於電池的輸出電壓(V_{BAT})與其上的電量(SOC)有一曲線的關係，不同的電壓對應到不同的電量(註：不同電池的曲線關係會不相同)。傳統做法中，電池經由一降壓直流/直流轉換器使得負載端得以操作在穩定之電壓下，當電池放電至較低電量時，其輸出電壓亦會下降，使得此直流/直流降壓轉換器因輸入電壓過低而無法正常操作。因此，對於傳統做法，電池電壓的可用範圍可被定義出來。有兩個電池的電壓位準: $V_{O,MAX}$ 與 $V_{O,MIN}$。$V_{O,MAX}$ 代表電池電量最高點，即 $SOC=100\%$所對應之電池電壓值，而 $V_{O,MIN}$ 則代表電池電壓可使用的最低點。當電池電壓低於 $V_{O,MIN}$ 時，因為電壓太低使直流/直流降壓轉換器之輸入電壓過低而無法產生負載所需之電壓值，電池必須回到充電端充電。事實上，電池中仍存有許多電量，但因負載電壓之規格較嚴謹，電池電量可被運用之部分相當有限，造成在電壓稍低時電池電量無法被使用。在這種情況下，電池充放電次數將大幅增加使得系統效率下降，對於某些材料之電池，可能加速其老化之速度。

使用直流/直流升降壓轉換器(DC/DC Buck Boost Converter)來取代直流/直流降壓轉換器，在電池電壓低於 $V_{O,MIN}$ 時，電池電壓可以藉由轉換器中的升壓功能(boost mode)，將電池電壓提升至適當的位準。因此，電池電壓可使用之範圍將會由 $V_{O,MIN}$ 向下延伸，使得電池可以放出更多電量。因此，在並聯之電池組放電至負載端時，使用一升降壓直流/直流轉換器穩定輸出電壓，不但可使負載得到高品質之電源同時也使得電池得以在安全之範圍內放電完全。電池之使用時間可被延長，電池切換充放電的次數也可有效地被降低，對於整體系統的效率具有提升的效果。

(4) 充電器設計

目前市面上所使用之充電技術大致可分為兩類，線性充電器(Linear Charger)以及切換式充電器(Switching Charger)。傳統之線性充電器之優點為其外部零件組很少，面積較小，所產生之雜訊也較少。但其主要問題為效率不高，隨著其輸出功率之增加，效率也更加降低。而切換式充電器之效率較高，適用於大功率之充電，但設計較為複雜，所佔之面積也較大。而隨著電子產品之功能越來越強大，更多的功能被整合在可攜式電子產品中，所需之耗電量也隨之增加，因此，切換式充電器之使用將成為一趨勢。

電池的充電過程可分為三階段: 預充電(Precharge)、快速充電(Fast Charge)以及定電壓充電(Constant Voltage Charge)。對於長時間未使用或新電池，若使用大電流快速充電會對電池造成傷害並縮短電池的壽命。因此，在預充電階段先利用小電流對電池進行充電直到電池脫離深層放電之狀態。由於充電時間為充電器之重要考量，接著進入快速充電階段，利用大電流對電池進行快速充電，

迅速恢復電池電能，而定電流充電時間由電池容量和充電速率決定。當電池接近充電完成時，為了避免過度充電造成電池之損壞，充電流程進入定電壓充電狀態。此時嚴密監測電池之電壓，使電池電壓維持在預設之電壓值，而充電電流隨著電池電量增加而逐漸減小，最後完成整個充電流程。在實現方法上，快速充電可分為定電流充電和脈衝充電兩種。定電流充電是以一預設或可程式化之大電流進行充電，為許多產品之實現方法；脈衝電流充電則於每一充電週期內取一小段時間休息，將充電電流降為零，可使正負離子更均勻分布於電解液中、減少極化現象帶來之能量消耗、加快充電速率、提升充電效率、減少在充電過程中的升溫現象以及延長電池壽命。但目前市面上之充電器晶片中鮮少含有脈衝充電之功能。

高效率切換式充電器之基本架構和切換式直流/直流降壓轉換器相似，其電路區塊包括誤差放大器(Error Amplifier)、比較器(Comparator)、邏輯控制電路(Logic Control Circuits)、電壓準位移動器(Level Shifer)、暫停時間(Dead Time)。由於電池的充電過程可分為三階段，當充電器操作在不同階段時，必須使用分別使用不同之迴路來控制。因此，充電迴路中包含電壓迴路(Voltage Loop)、電流迴路(Current Loop)以及限流迴路(Current Limit Loop)。其中必須使用電流感測放大器(Current Sense Amplifier)，並針對各個迴路進行穩定性分析，使得充電器不論操作在哪個電階段都可以穩定的對電池充電。

(二)、 每年經費建議

(1) 以五個不同方向進行研究，每件平均300萬元（含材料費及儀器設備費）。
(2) 預估每年 1500 萬元

子題一：電動車輛

副召集人：陳柏全教授

次子題二：電動馬達驅動控制

規畫委員：胡竹生教授

一、 前言

(一)、 研究動機與國內外研究現況

隨著對環境保護和較高的能源使用效率車輛的需求不斷提昇，純電動汽車，油電混合電動汽車

（Hybrid Electric Vehicle，HEV），插電式油電混合電動汽車（Plug-in HEV），以及燃料電池汽車等將成為本世紀車輛技術發展的主流。電能的轉換對這些車輛而言將成為最主要的核心技術，其目的在提高車輛性能，燃料經濟性，排放，乘客舒適度和安全性。其功率轉換器的挑戰為高效率，堅固耐用，體積小，及低成本。例如在燃料電池汽車的的功率調節單元(DC-DC 轉換器)，用以匹配燃料電池與電池的電壓。或者在線傳轉向(Steer-by-Wire)和線傳剎車(Brake-by-Wire)應用，一個快速反應的電動機，變頻器，及控制系統是必不可缺的，且必須能夠在惡劣的環境條件下運作。此外，功率級驅動器與馬達一體化的模組，不僅提高了整個系統的可靠性，也降低了成本與體積等，除了電力電子與電動機的技術外，控制技術的發揮將扮演重要的關鍵角色。

目前的內燃引擎汽車，其平均可供推進用的能量約為總耗能的12-20% [1]，原因除了引擎之外還包括能量轉換中的損失。而電力牽引的使用，提供了另外一種推進汽車的能量，目前於改善汽車性能、提升能源使用效率以及降低污染物排放等目的中，此技術為最具發展前景的科技[2]。電動車載具包含之技術除了車體結構設計，傳動系統設計等機械專業領域，也包含了複雜的機電控制系統，此機電系統一般而言可以分為馬達控制系統與電源控制系統兩個主要部份。如何建構一個安全穩定又有效率的電動車馬達控制系統以及動力提供問題為電動車推展與普及的關鍵之一。其中電力電子及其控制元件主宰著電動車載具的效率，成本以及其大小[3]，且其市場規模將在汽車半導體設計生產上占相當重要的地位。例如一台一般的HEV，其電力電子及其控制元件的總需求佔一片6吋晶圓的30% [4] (或是12吋晶圓的7%)。假設製程可行，則一片12吋晶圓約等於14輛電動車載具。根據拓樸產業研究所的推估，2008年全球汽車總產量為6779萬輛。如果電動車將完全取代內燃引擎汽車，則以2008年的產量，電力電子及其控制元件每年約需484萬片12吋晶圓。以單廠月產能3萬片，將需約十四座12吋晶圓廠，這還不包含售後零件等。如果按照文獻[5]的推估，未來五十年行動車輛的數量將成長至25億輛，則其所需元件的生產規模將非常驚人。

電動車輛載具之整體效率高於內燃機(Internal Combustion Engine，ICE)引擎為主之車輛載具，除了低速時，電動馬達本身之能源轉換效率高於內燃機引擎以外；另外重要一點的是，當車輛載具因為路況需要作減速動作時，原本電動馬達可以轉換為發電機，將車輛載具之動能回送到載具上的儲能元件(通常是電池)上，而不是利用煞車機構將動能轉成廢熱消耗掉。在車輛載具在加速運動時，功率流向(Power flow)必須從直流側到交流側；作減速運動時，功率流向必須從交流側往直流側。因此，車輛載具之電力轉換單元(Power Conversion Unit, PCU)，必須具有雙向功率流向功能，且維持低損失之功率轉換。

目前可見的電動車依照動力系統(電瓶)的不同可以分為三種類型[6]，分別為蓄電池系統、燃料電池以及油電混合動力系統。

- 蓄電池系統：由電池組、充電器、馬達與電力控制系統所組成，現行電動車主要以”鉛酸電池”發電，而鋰電或鎳氫電池則較少見，通常此種電動車會有續航力不高，充電費時以及廢棄電池造成的污染等問題，因此應用侷限於室內代步車，高爾夫球車等，然而近年來鋰電池的發展可以大幅降低體積、重量以及提高充電速度等問題[7]，但於穩定性及續航力上仍有待加強。
- 燃料電池：以氫能為主的燃料電池，由電池組、儲氫裝置、馬達以及控制組件組成，其里程數取決於所載裝於車上之燃料多寡，因此極具取代目前石化燃料車的潛力，而目前的問題在於儲氫瓶裝置之安全性、容量、成本以及加氫站建構不普及[8]，其次因燃料電池本體之觸媒層(白金)價格過高、life cycle 過低、附件系統過龐雜限制了量產可能。然而由於其零污染、低噪音、高能源使用效率等特性，我國將此類型動力車定義為長程目標[9]。
- 油電混合動力：是目前世界主要汽車廠認為可行性最高的產品架構[9]，顧名思義其結合多個以上的動力來源提供能量，其可以為內燃機引擎、蓄電池、動力電池等的結合[10]。

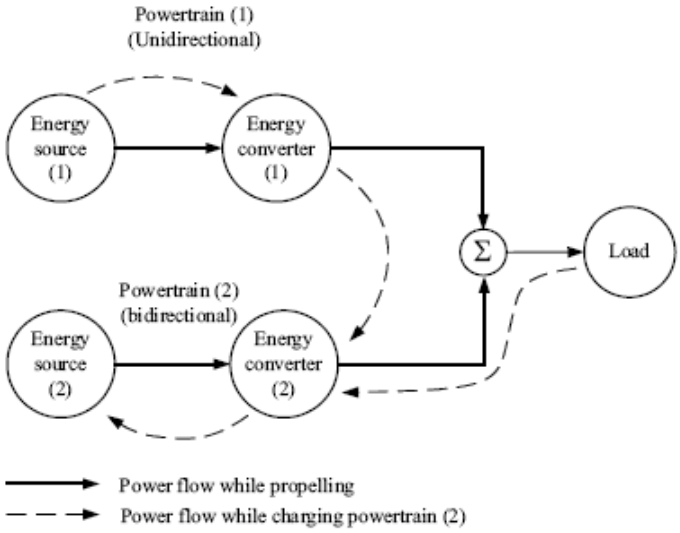
上述架構中，油電混合電動車堪稱近十年內最具發展性的取代架構[10]，目前常見的相關研究為內燃機引擎與蓄電池組合之混(複)合式電動機，其原因為此架構具備以下之優點：

- 高度的響應性能(例如:較快的加速度)：因為可提供高功率、快速的功率響應
- 高經濟價值(較長的行駛距離/每加侖汽油)：由於允許採用較小型的內燃機引擎並且讓其工作在最佳效率的工作點上，相較於傳統汽車，此架構具有較高的石油使用效率
- 相較於儲內燃機引擎推動有較低的廢氣排放量
- 持久的行駛：由於具備煞車充電機制，蓄電池電力可以在行駛中補充，加上內燃機引擎運作於最佳效率的工作點，讓整體汽車之行駛時間與距離得以較其他架構久
- 所需元件(汽油引擎、電動馬達、電池等)皆為現成可用

由於目前混(複)合型電動車大部分為雙能量來源，其架構配置可以略分為三種，而每一種皆有不同的控制概念與數種不同的控制方法,不同的配置架構配上不同的控制策略皆有不同的性能響應以及操作特點，而這些組合是否存在最佳化的解決方案，是目前各研究單位正在積極尋找與發展的答案。大部分的設計其基本概念與配置架構[2]如下：

- 基本概念：如圖十四所示，此架構為雙能源動力系統，其中一動力源(Energy Source 2)為可充電式架構(例如:蓄電池)，此架構共有九種運作模式：
  - 只有 Powertrain 1. 驅動負載
  - 只有 Powertrain 2. 驅動負載
  - Powertrain 1 和 Powertrain 2 一起驅動負載

- 負載提供 Powertrain 2 充電
- Powertrain 1 提供 Powertrain 2 充電
- Powertrain 1 和負載同時提供 Powertrain 2 充電
- Powertrain 1 同時驅動負載以及提供 Powertrain 2 充電
- Powertrain 1 提供 Powertrain 2 充電，同時 Powertrain 2 驅動負載
- Powertrain 1 驅動負載，同時負載提供 Powertrain 2 充電

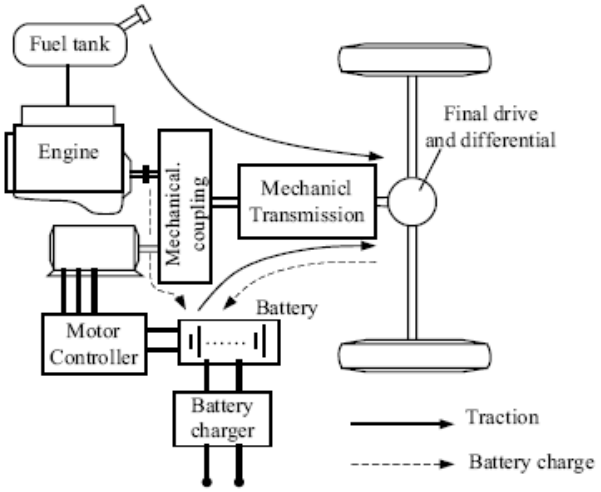


圖十四、 油電混合電動車之動力配置示意圖

通常負載所消耗的功率隨著行車時的加速減速、上波下波等路況而隨機變動，而實際上可以將其分為兩個成分：平均功率、動態功率。如果某一動力源為內燃引擎，其控制策略會讓內燃引擎提供穩定的平均功率，而讓電動馬達提供動態功率，由於經由分析，可以讓內燃引擎持續運作於作佳效率的工作點上，提供穩定且較省油的平均功率，而過多與不足的功率則會由電動馬達與蓄電池組的充放電來補足，於理想狀態下，動態功率在週期內的行駛中淨值為零，因此蓄電池電力理想中並不會有所損耗，而只是一個能量轉換機制。

- 平行架構 (圖十五)

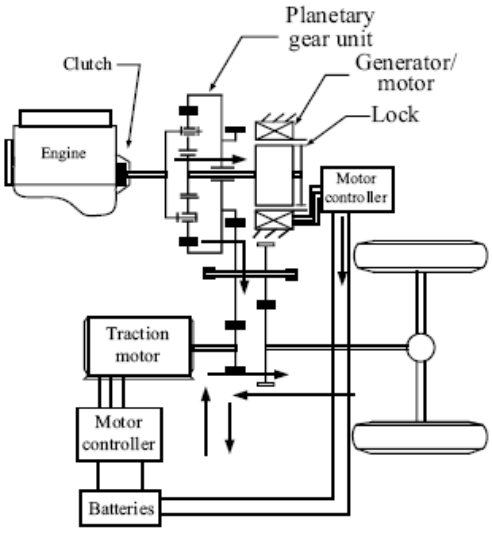
顧名思義此架構為兩種動力源皆可直接驅動提供機械能於汽車之加減速，優點為 (1) 可以減少一次的能量轉換，相較於串接式，此部分的能量損失較低 (2) 較小巧的，由於免去一個電力轉換器以及可以使用較小的馬達。然而主要的缺點為 (1) 無法保證內燃引擎一直維持在最佳功率效益的工作點範圍內 (2) 控制策略較複雜。此架構因為體積較小，可應用於小型車。



圖十五、 平行架構之油電混合電動車能量驅動方塊圖

- 串接-平行架構 (圖十六)

此架構經由“Planetary Gear Unit”可將內燃引擎產生的動力分為兩部份，第一部分提供車子力矩與速度，第二部份將多餘的能量儲存於蓄電池中，經過一判斷機制可以得知第二部份能量流是否大於零，若大於零，表示“Generator/Motor”區塊運作於發電機模式，將多於能量儲存；反之則運作於馬達模式，由蓄電池供電與引擎一同提供所需之力矩。此架構具有串接與平行架構的優點，不過系統與控制皆較複雜。

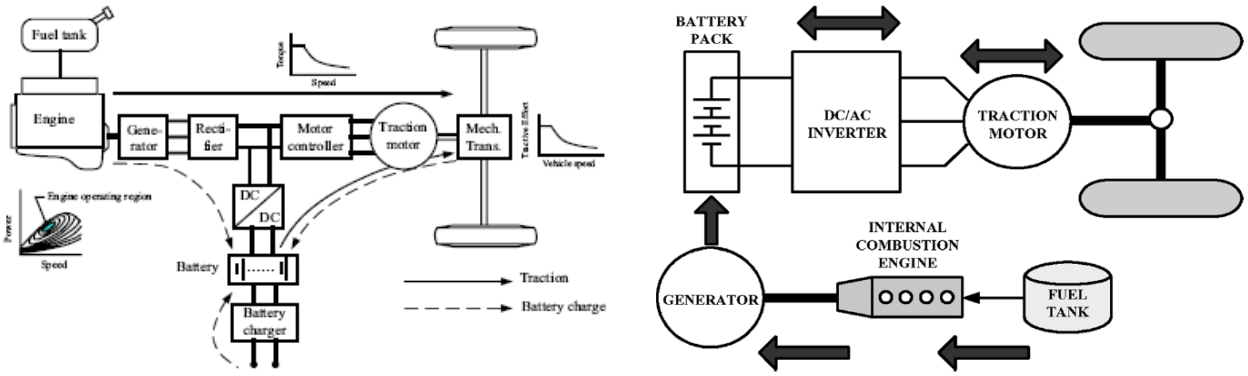


圖十六、 串接-平行架構之油電混合電動車能量驅動方塊圖

- 串接架構(圖十七)

串接架構是將一蓄電池-馬達趨動組放在傳統內燃引擎與車輪驅動機械機制之間，以提供煞車時之能量儲存能力，其優點在於 (1) 內燃引擎可以完全運作在最佳功率效益之工作點範圍內，使整體機制耗能降低 (2) 輪胎所需力矩來源只有電動馬達，因此速度控制單純簡單 (3) 架構簡單。然而其缺點為 (1) 內燃引擎所提供的能量需經過兩次轉換(內燃引擎的機械能→ 經由

發電機轉換為電能→再經由牽引馬達轉換為機械能)才得以轉為推進動力，造成轉換損失 (2) 需要兩個電力電子裝置 (3) 所使用之牽引馬達較大，由於馬達為此架構為一提供力矩的機制，為了達到需求，必須使用大馬達。然而此架構簡易的特性，讓控制與封裝容易，但由於其馬達及電池規格均較為龐大，需要足夠的空間，因此過去大多應用於大型汽車、軍用戰車、大巴士以及大型火車頭等。



(a) (b)

圖十七、 兩種不同的串接架構之油電混合電動車能量驅動方塊圖

由於環保問題日益嚴重，即使是油電混合電動車也需要近一步降低其 CO_2 排放量，零排放量的全電動車(AEV, All Electric Vehicle)在續航力上明顯不足，短期內電瓶快充或電瓶交換的基礎架構(infrastructure)無法突破，因此目前大多認為串接架構(圖 4)是未來主流，也就是說內燃引擎只需在續航力不足時開啟，因此將大量降低 CO_2 排放量。更進一步的觀念是所謂的插電式油電混合電動車，其首要目的是使其純電動可行駛里程滿足一般都會區上下班的需求(美國 70%的日常上下班需求約 40 英哩)，同時可以回家後直接使用市電(110 or 220V)充電瓶，而引擎只在開長途時開啟充當發電機。插電式油電混合電動車在美國白宮 2006 年 Advanced Energy Initiative [11]已被提及，並強調此科技的發展將大量降低美國對原油的依賴。美國能源部亦在 2007 年對外出版了 Plug-In HEV R&D Plan [12]，內容明定了短中長期的目標:

- Near-term focus on adapted technology; electric range of 10-20 miles (reduced performance) or charge-depleting (hybrid) range of 20 miles (full performance)
- Mid-term (3-5 years) development for PHEV-specific designs; electric range of 20+ miles or charge-depleting (hybrid) range of 40 miles (both full performance)
- Long-term (5-10 years) development projects will target components/capabilities to meet the 40+ miles electric range target.

其中 electric range 代表全電里程，charge-depleting 代表電瓶電量持續下降模式，與 charge-sustaining

不同，charge-sustaining 代表電瓶電量維持一定水平，因此內燃引擎必須有一定的輸出馬力，也代表高的 CO_2 排放量。使用 charge-depleting 時則內燃引擎輸出馬力可以維持在最精簡狀況進而降低 CO_2 排放量。值得注意是該目標認為約 5-10 年後，全電里程將可能突破 40 英哩的目標。電能的轉換對這些車輛而言將成為最主要的核心技術，其目的在提高車輛性能，燃料經濟性，排放，乘客舒適度和安全性。其功率轉換器的挑戰為高效率，堅固耐用，體積小，及低成本。例如在燃料電池汽車的的功率調節單元(DC-DC 轉換器)，用以匹配燃料電池與電池的電壓。或者在線傳轉向(Steer-by-Wire)和線傳剎車(Brake-by-Wire)應用，一個快速反應的電動機，變頻器，及控制系統是必不可缺的，且必須能夠在惡劣的環境條件下運作。此外，功率級驅動器與馬達一體化的模組，不僅提高了整個系統的可靠性，也降低了成本與體積等，除了電力電子與電動機的技術外，控制技術的發揮將扮演重要的關鍵角色。在電動馬達的選擇上，早期有分別使用過各式直流馬達、感應馬達、磁阻馬達(Switched Reluctance Motor, SR)與永磁同步馬達[15-21]，如下表所示。直流馬達因為碳刷之維護問題，感應馬達與磁阻馬達因為發電電路架構複雜等問題，逐漸被排除再電動載具之應用上。就目前的發展來看，永磁同步馬達因為效率高，功率密度高，且相同的發電機電路組態，越來越多開發廠商使用永磁同步馬達。此外，早期電動載具的發展，有將電動馬達與車輪結合在一起，所謂車輪馬達(Wheel Motor)的設計構想，由控制模組直接控制車輪馬達，進一步節省機械傳動上的損失。但目前看來，這部份的省能有限，且加重控制器負雜度與計算負擔，以逐漸不被關注。因此，整個電動載具之架構，基本上仍回到由驅動器驅動馬達，並由機械結構進行後續傳動。

表1. 各廠牌使用馬達分類

EV Model	**EV drives**
Fiat Panda Elettra	Series DC drive
Mazada Bongo	Shunt DC Drive
Conceptor G-Van	Seperately excited DC drive
Suzuki Senior Tricycle	PM DC drive
GM EV1	Induction drive
Toyota Prius	PM brushless drive
Chloride Lucas	SR drive

由於目前電動車輛正蓬勃發展，相關的轉換器架構、規格皆未統一，呈現各廠牌發展各自專用的轉換器。然而，可預見的是，隨著電動車輛發展的日漸成熟，電力轉換器的架構與規格，基於成本與管理之考量，勢必會逐漸趨向單一化，僅少數幾種電氣規格繼續使用沿用下來。小客車有小客

車之規格，大客車/卡車有大客車/卡車之規格，甚至捷運/高鐵會有大容量之規格。這裡的電氣規格指的是輸入直流電壓大小、輸出交流電壓大小與處理之最大功率大小。

(二)、 參考文獻

[1] S. S. Williamson, S. M. Lukic and A. Emadi, "Comprehensive drive train efficiency analysis of hybrid electric and fuel cell vehicles based on motor-controller efficiency modeling," *IEEE Transactions On Power Electronics*, vol. 21, no. 3, pp. 730-740, May 2006.

[2] Y. Gao and M. Ehsani, "Hybrid electric vehicle: overview and state of the art," I*EEE International symposium on industrial electronics*, vol. 1, pp. 307-316, June 2005.

[3] Z. John Shen and Ichiro Omura, "Power Semiconductor Devices for Hybrid, Electric, and Fuel Cell Vehicles," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 95, No. 4, April 2007.

[4] A. Kawahashi, "A new-generation hybrid electric vehicle and its supporting power semiconductor devices," in Proc. 2004 Int. Symp. Power Semiconductor Devices and ICs, pp. 23–29.

[5] C.C. Chan and Y.S. Wong, Electric Vehicles Charge Forward," *IEEE Power and Energy Magazine*, Volume 2, Issue 6, Nov.-Dec., Page(s):24 - 33 2004.

[6] C. C. Chan, "The State of the Art of Electric and Hybrid Vehicles," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 90, No. 2, February 2002.

[7] http://www.hiyp.com.tw/mjdka/html/1176.html

[8] http://www7.www.gov.tw/todaytw/2007/international/ch04/3-4-05-0.html

[9] http://auto.itri.org.tw/research/93_achievement.html

[10] K.T. Chau and Y.S. Wong, "Overview of power management in hybrid electric vehicles," *Energy Conversion and Management*, 43 (2002), pp. 1953–1968.

[11] http://www.whitehouse.gov/stateoftheunion/2006/energy/index.html

[12] Plug-In Hybrid Electric Vehicle (PHEV) R&D Plan, *External Draft*, U.S. Department of Energy's Office of Energy Efficiency and Renewable Energy, Feb., 2007. (available at: http://www.eere.energy.gov)

[13] K.T. Chau and Y.S. Wong, "Overview of power management in hybrid electric vehicles," Energy Conversion and Management 43 (2002) 1953–1968.

[14] K. T. Chau, C. C. Chan, and C. Liu, "Overview of Permanent-Magnet Brushless Drives for Electric and Hybrid Electric Vehicles," IEEE Trans. on Industrial Electronics,, vol. 55, no. 6, JUNE 2008.

[15] S. Sadeghi, J. Milimonfared, M. Mirsalim and M. Jalalifar, "Dynamic Modeling and Simulation of a Switched Reluctance Motor in Electric Vehicle," IEEE Conference, ICIEA, 2006.

[16] H. Gao, Y. Gao and M. Ehsani, "A Neural Network Based SRM Drive Control Strategy for Regenerative Braking in EV and HEV," in Proceedings of IEEE Electric Machines and Drives Conf., pp. 571-575, 2001.

[17] G. Nanda, and N. C. Kar, "A Survey And Comparison Of Characteristic Of Motor Drives Used In Electric Vehicles," in Proceedings of IEEE CCECE Conf., pp. 811-814, 2006.

[18] K. M. Rahman, N. R. Patel, T. G. Ward, J. M. Nagashima, F. Caricchi, and F. Crescimbini "Application of Direct-Drive Wheel Motor for Fuel Cell Electric and Hybrid Electric Vehicle Propulsion System," in Proceedings of IEEE Transactions on Industry Applications Conf, vol 42, no.

5, SEP. pp. 1185-1196, 2006.

[19] N. A. Rahim, H. W. Ping, M. Tadjuddin, “Design of an In-Wheel Axial FluxBrushless DC Motor for Electric Vehicle,” in Proceedings of IEEE IFOST Conf, pp. 16-19, Oct. 2006.

[20] Z. Qianfan, C. Shumei, and T. Xinjia, “Hybrid Switched Reluctance Motor Applied in Electric Vehicles,” in Proceedings of IEEE VPPC Conf, pp. 359-363, 2007.

[21] S. Jianguo, C. Quanshi, “Research of Electric Vehicle IM Controller Based On Space Vector Modulation Direct Torque Control,” in Proceedings of IEEE ICEMS Conf, Sep. 2005, vol. 2, pp. 1617-1620.

[22] HE Hucheng, LIU Weiguo, LANG Baohua ,MA Ruiqing, “A Novel Soft Switching Inverter for BLDCM EV Propulsion System,” in Proceedings of Industrial Electronics and Applications, ICIEA’07, Page(s):332 - 336

[23] João Silvestre,“Half-bridge bidirectional DC-DC Converter for small Electric Vehicle,” in Proceedings of Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2008. SPEEDAM 2008. International Symposium on 11-13 June 2008 Page(s):884 - 888

[24] Zhong Du, Burak Ozpineci, and Leon M. Tolbert, “Inductorless DC-AC Cascaded H-bridge Multilevel Boost Inverter for Electric/Hybrid Electric Vehicle Applications,” in Proceedings of Industry Applications Conference, 2007. 42nd IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2007 IEEE 23-27 Sept. 2007 Page(s):603 - 608

[25] Krishna P. Yalamanchili and Mehdi Ferdowsi, “Review of Multiple Input DC-DC Converters for Electric and Hybrid Vehicles,” in Proceedings of Vehicle Power and Propulsion, 2005 IEEE Conference 7-9 Sept. 2005 Page(s):160 – 163

[26] Zhang Chuanwei.Bai Zhifeng, Cao Binggang, Li Jingcheng, “Study on Regenerative Braking of Electric Vehicle,” in Proceedings of Power Electronics and Motion Control Conference, 2004. IPEMC 2004. The 4th International Volume 2, 14-16 Aug. 2004 Page(s):836 - 839 Vol.2

[27] Yee-Pien Yang, and Tsung-Hsien Hu, “A New Energy Management System of Directly-Driven Electric Vehicle with Electronic Gearshift and Regenerative Braking,” in Proceedings of American Control Conference, 2007. ACC '07 9-13 July 2007 Page(s):4419 - 4424

[28] Yimin Gao, Liang Chu, And Mehrdad Ehsani, “Design and Control Principles of Hybrid Braking System for EV, HEV and FCV,” in Proceedings of Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE 9-12 Sept. 2007 Page(s):384 - 391

[29] Binggang Cao, Zhifeng Bai, Wei Zhang, “Research on Control for Regenerative Braking of Electric Vehicle,” in Proceedings of Vehicular Electronics and Safety, 2005. IEEE International Conference on 14-16 Oct. 2005 Page(s):92 – 97

[30] A. P. Ashburn, B. A. M. Reston, A. A. G. Fairfax, “Multiphase motor having different winding configurations for respective speed ranges”, United States Patent, No. 6853107 B2.

[31] P. Rochelle, R. Spee, A. K. Wallace, “The effect of stator winding configuration on the performance of brushless doubly-fed machines in adjustable speed drives”, Industry Applications Society Annual Meeting, 1990, pp. 331-337, vol. 1, Oct. 7-12.

[32] S. Mantero, E. de Paola, and G. Marina, “An optimized control strategy for double star motors configuration in redundancy operation mode,” in Proc. Eur. Power Elect. Applicat. Conf. EPE, Lausanne, Switzerland, 1999.

[33] M. Steiner, R. Deplazes, and H. Steimler, “A new transformerless topology for AC-fed traction vehicles using multistar induction motors,” EPE J., vol. 10, no. 3–4, pp. 45–53, 2000.

[34] T. M. Jahns, “Improved reliability in solid-state ac drives by means of multiple independent phase-drive units,” IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. IA-16, no. 3, pp. 321–331, 1980.

[35] J. R. Fu and T. A. Lipo, “Disturbance-free operation of a multiphase current-regulated motor drive with an opened phase,” IEEE Trans. Ind. Applicat., vol. 30, pp. 1267–1274, Sept./Oct. 1994.

[36] J. L. F. van der Veen, L. J. J. Offringa, and A. J. A. Vandenput, “Minimizing rotor losses in high-speed high-power permanent magnet synchronous generators with rectifier loads,” Proc. Inst. Elect. Eng., vol. 144, no. 5, pp. 331–337, 1997.

[37] D. Zdenek, “25 MW high-speed electric drive with thyristor speed control,” Czech. Heavy Ind., no. 4, pp. 5–9, 1986.

[38] A. N. Golubev and S. V. Ignatenko, “Influence of number of stator winding phases on the noise characteristics of an asynchronous motor,” Russian Elect. Eng., vol. 71, no. 6, pp. 41–46, 2000.

[39] S. Williamson and S. Smith, “Pulsating torques and losses in multiphase induction machines,” in Proc. IEEE Ind. Appl. Soc. Annu. Meeting IAS’01, Chicago, IL, 2001.

[40] G. K. Singh, “multiphase induction machine drive research—a survey,” Elect. Power Syst. Res., vol. 61, pp. 139–147, 2002.

[41] M. Jones and E. Levi, “A literature survey of state-of-the-art in multiphase ac drives,” in Proc. 36th Univ. Power Eng. Conf. UPEC, Stafford, U.K., 2002, pp. 505–510.

[42] Levi, E., Jones, M., Vukosavic, S.N. and Toliyat, H.A., “A novel concept of a multiphase, multimotor vector controlled drive system supplied from a single voltage source inverter,” IEEE Transactions on Power Electronics, March 2004, Volume: 19, Issue: 2, page(s): 320- 335.

[43] Hyung-Min Ryu, Jang-Hwan Kim, Seung-Ki Sul, “Analysis of multiphase space vector pulse-width modulation based on multiple d-q spaces concept,” IEEE Transactions on Power Electronics, Nov. 2005, Volume: 20, Issue: 6, page(s): 1364- 1371

[44] Casadei, D., Serra, G., Tani, A., and Zarri, L., “General Inverter Modulation Strategy for Multi-Phase Motor Drives,” IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE 2007), 4-7 June 2007, pp. 1131-1137

[45] R. Teodorescu, S. Munk-Nielsen, F. Blaabjerg and J. K. Pedersen, “Comparative Analysis of Three Interleaved Boost Power Factor Corrected Topologies in DCM”, in Proceedings of PESC’01, pp. 3-7, 2001.

[46] A. Newton, T. C. Green, and D. Andrew,“AC/DC power factor correction using interleaved boost and Cuk converters,” in Proceedings of Power Electronics and Variable Speed Drives, pp. 293-298, 2000.

[47] M. A. P. Andrade, L. Schuch, and J. R. Pinheiro, “Generalized Switching Logic Scheme for CCM-PFC Interleaved Boost Converters,” in Proceedings of PESC’04, pp. 557-568, 2004.

[48] H. G. Lei, X. J. Yang, H. L. Miao, and P. S. Ye, “Power Switch Driving Techniques in Single-Phase Dual-Parallel Interleaved Boost PFC,” in Proceedings of Power Electronics and Drive Systems, pp. 1086-1089, 2003.

[49] P. W. Lee, Y. S. Lee, D. K. W. Cheng, and X. C. Liu, “Steady-State Analysis of An Interleaved Boost Converter with Coupled Inductors,” IEEE Trans. on Industrial Electronics,, vol. 47, no. 4, August

2000.

[50] H. B. Shin, J. G. Park, S. K. Chung, H. W. Lee, and T. A. Lipo, “Generalized Steady-State Analysis of Multiphase Interleaved Boost Converter with Coupled Inductors,” IEE Proc.-Electr. Power Appl., vol. 152, no. 3. May 2005.

[51] A. K. Gupta, and A. M. Khambadkone, “A Space Vector PWM Scheme for Multilevel Inverters Based on Two-Level Space Vector PWM,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 53, no. 5, pp. 1631-1639, Oct. 2006.

[52] J. H. Seo, C. H. Choi, and D. S. Hyun, “A New Simplified Space–Vector PWM Method for Three-Level Inverters,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 16, no. 4, pp. 545-550, Jul. 2001.

[53] Z. Shu, , J. Tang, Y. Guo, and J. Lian, “An Efficient SVPWM Algorithm With Low Computational Overhead for Three-Phase Inverters,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 22, no. 5, pp. 1797-1805, Sep. 2007.

[54] N.V. Nho, and M.-J. Youn, “Comprehensive study on space-vector-PWM andcarrier-based-PWM correlation in multilevel invertors,” IEE Proc.-Electr. Power Appl., Vol. 153, No. 1, pp. 149-158, Jan. 2006.

[55] H. Hu, W. Yao, and Z. Lu, “Design and Implementation of Three-Level Space Vector PWM IP Core for FPGAs,” IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 22, no. 6, pp. 2234-2244, Nov. 2007.

[56] O´. Lo´pez, J. A´ lvarez, J. Doval-Gandoy, F. D. Freijedo, “Multilevel Multiphase Space Vector PWM Algorithm With Switching State Redundancy,” Industrial Electronics, IEEE Transactions on vol. 55, Issue 5, pp. 1933-1942,May 2008.

[57] R. Naderi, and A, Rahmati, “Phase-Shifted Carrier PWM Technique for General Cascaded Inverters,” IEEE Transactions On Power Electronics, vol. 23, no. 3, pp. 1257-1269, MAY 2008.

[58] X. Lin-Shi, F. Morel, A. M. Llor, B. Allard, and J. M. Rétif, “Implementation of Hybrid Control for Motor Drives,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 54, no. 4, pp. 1946-1952, Aug. 2007.

[59] M. N. Cirstea, and A. Dinu, “A VHDL Holistic Modeling Approach and FPGA Implementation of a Digital Sensorless Induction Motor Control Scheme,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 54, no. 4, pp.1853-1864, Aug. 2007.

[60] E. Monmasson, and M. N. Cirstea, “FPGA Design Methodology for Industrial Control Systems—A Review,” IEEE Transactions On Industrial Electronics, vol. 54, no. 4, pp. 1824-1842, Aug. 2007.

[61] F. J. Lin., C. K. Chang, and P. K. Huang, “FPGA-Based Adaptive Backstepping Sliding-Mode Control for Linear Induction Motor Drive,” IEEE Transactions On Power Electronics, vol. 22, no. 4, Jul. 2007.

[62] M. W. Naouar, E. Monmasson, A. A. Naassani, I. S. Belkhodja, and N. Patin, “FPGA-Based Current Controllers for AC Machine Drives—A Review,” IEEE Transactions On Power Electronics, vol. 54, no. 4, pp. 1907-1925, Aug. 2007.

二、 規劃內容

(一)、 研究方向及具體建議

茲就電動載具電動機驅動控制上的未來研究方向作下列陳述，相關文獻參考 [22-62]：

(1) 提昇驅動器效能，強健性與壽命的相關研究

此為驅動器一向以來的核心研究課題。創新的驅動器拓樸與控制方法，創新的驅動控制策略，軟切換，多階電壓源反流器控制，電流源反流器控制等，均為重要的研究課題。

(2) 降低電磁干擾的驅動器控制

電動車由於其功率大，其驅動器的切換造成的電磁干擾是系統整合上相當棘手的問題，以控制方法降低功率元件的切換損失，進而降低電磁輻射，相較於被動式的電磁濾波其成本更低，最佳化的設計同時兼顧控制效能將是具挑戰性的研究課題。

(3) 新型電動機的驅動級控制研究

例如多相電動機(Multi-phase Machines)，軸向磁通電動機(Axial-flux Machine)，輪穀馬達(in-wheel motor)，感應馬達等。其研究目的在於設計驅動級控制方法，有效的運用新型的馬達設計，提昇整體控制效能。

(4) 電流/力矩控制研究

快速的電流命令追蹤，降低電流諧波以及力矩鏈波等，均需要精確的控制器設計，尤其是電磁煞車，需考慮雙向的電流控制等。

(5) 穩健的無感測電動機控制研究

在電動機及其他電機控制領域，以觀測方法免去速度/位置傳感器或是電流傳感器的需求，已有多年的研究。但這些技術尚未被實際應用於汽車上。觀測與控制器的穩健性將是未來導入此技術的關鍵。

(6) 新型功率元件的控制

次世代高能隙(Wide Bandgap)功率電晶體如氮化鎵或碳化矽，因其耐壓、耐熱以及切換損失均較 MOSFET 與 IGBT 為佳，因此極可能取代後兩者成為大功率應用的主流，設計與製作此類功率元件的驅動器，以及相匹配的控制方法與驅動電路，將是提昇整體驅動效能的重要方向。

(7) 控制技術的應用

強健控制，適應控制以及非線性控制等方法的應用，解決系統非線性動態的影響，以及參數飄移等問題。線性或非線性觀測器用以觀測電動機狀態等，這包含容錯控制以及驅動器系統穩定性監視等。

(二)、 每年經費建議

(1) 每件平均 100 萬元（含實驗材料費、論文發表費、儀器設備費、及差旅費等）。

(2) 預估每年 1000 萬元

子題一：電動車輛

副召集人：陳柏全教授

次子題三：車輛動態控制

規畫委員：陳柏全教授

一、 前言

(一)、 研究動機與國內外研究現況

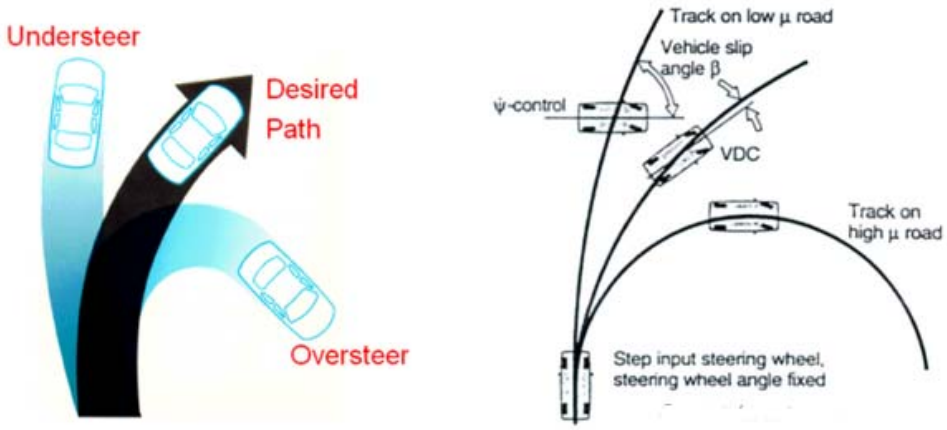
近年來國內外車廠與研發單位皆將車輛主動安全控制系統列為重要研發之一，其中車輛動態控制相關的部分包含循跡控制系統(Traction Control System, TCS)、防鎖死煞車系統(Antilock Brake System, ABS)與電子穩定控制 (Electronic Stability Control, ESC)等系統。

利用馬達驅動的電動車輛因為其低速扭力較大，當車輛行駛於濕滑路面時，容易因為過大的驅動力而導致打滑的情況發生，TCS 可利用煞車或直接調整驅動力矩，將輪胎與地面間的滑差維持於穩定區域內，以保有一定的驅動性能，與適度的輪胎側向力餘裕，以進行轉向或保持行車穩定性。車輛進行煞車時，煞車力過大將導致前輪或後輪鎖死，增加車輛煞車距離與時間且無法操控車輛行駛方向，使得駕駛者發生意外。ABS 可直接調整煞車力矩，將輪胎與地面間的滑差維持於穩定區域內，以保有一定的煞車性能，與適度的輪胎側向力餘裕，以進行轉向或保持行車穩定性。

ESC 可用來避免車輛轉向不足或轉向過度的問題，美國高速公路運輸安全局(National Highway Transportation Safety Administration, NHTSA)指出 ESC 能降低單一車輛整體意外 30~50%可能性，若美國的運輸車輛都加裝此系統，每年將可挽救超過一萬條生命，功能僅次於安全帶，卻勝於安全器囊。因此 NHTSA 宣布在 2012 年開始，所有在美國銷售新車都必須搭配 ESC[1]。如果是單一馬達驅動的電動車，其控制架構與傳統內燃機車輛相同，須利用電液壓煞車系統(electro-hydraulic braking system, EHB)進行差動煞車，以產生可以影響偏航動態的偏航力矩。如果是利用車輪馬達驅動的電動車輛，則除了差動煞車外，尚可利用差動驅動來產生偏航力矩，增加控制的自由度。

ESC 藉由彙整車輛的重要感知器(如方向盤轉角感知器、偏航角速度感知器、側向加速度與輪

速感知器等)，來判定車輛目前是否發生轉向不足或轉向過度的情況，如圖十八(a)所示；其中圖十八(b)顯示出在低摩擦係數路面下，若單純只考慮偏航角速度追隨之結果會導致車身側滑角過大，產生失控之情況，因此必須去限制車身側滑角，以保持穩定行駛。



(a) (b)

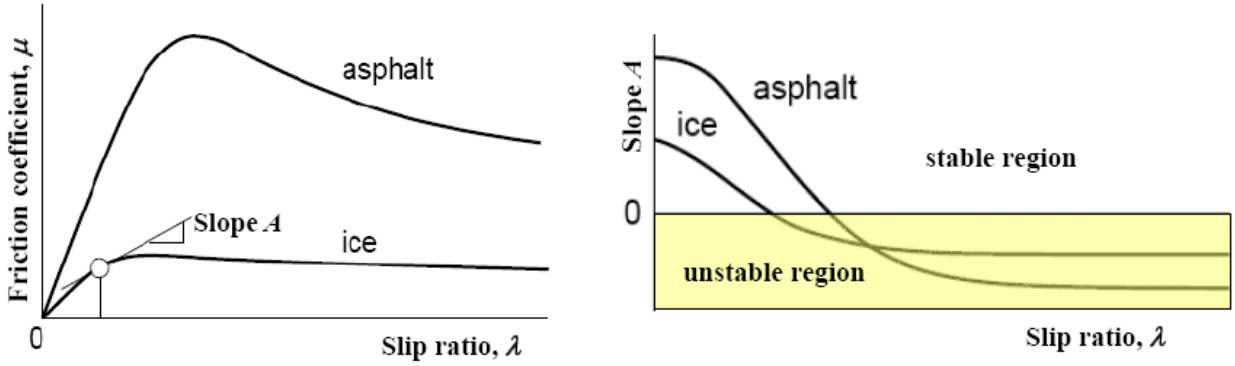
圖十八、 轉向不足與轉向過度示意圖[2]

循跡控制系統

TCS 是針對將打滑的驅動狀況，進行滑差控制，防止驅動輪打滑。當路面狀況不同時，目標滑差也會跟著不同，若沒有即時估測出此時路面摩擦係數將無法指定最佳的目標滑差，以達到最佳的控制性能。在路面狀況估測部分，Sado[3]、Furukawa 與 Hori[4]利用路面摩擦係數 μ 及輪胎滑差 λ 等資訊，配合遞迴最小平方法(Recursive Least Square, RLS)及固定軌跡法(Fixed Trace, FT)，估測出 $\mu-\lambda$ 曲線的斜率值 A，如圖十九所示，當斜率小於零時，代表輪胎已經打滑;斜率大於零時，則代表輪胎尚未打滑。路面狀況估測器可以用來即時偵測輪胎是否打滑，Wang 等人[6]把路面估測器分成兩個部分，當輪胎處於低滑差區域時，根據輪胎驅動力、正向力與滑差值，配合 RLS 來估測出 $\mu-\lambda$ 曲線的斜率值;當輪胎處於高滑差區域時，容易造成斜率值估測錯誤，改用輪胎正向力與驅動力配合 RLS 估測輪胎與地面間之摩擦係數，判斷是否進入易打滑的路面。當輪胎在高滑差區域時，是處於 $\mu-\lambda$ 曲線線性區以外的範圍，容易造成估測誤差[6]，因此 Abeykoon 等人[7]將路面狀況估測器的估測值分成四個區域，並根據估測值大小及目前的滑差資訊計算求得最佳滑差值。Kataoka 等人[8]則是提出兩種方式來估測最佳滑差值，一種是利用路面狀況估測器所估測出的斜率值，配合梯度搜尋法來尋找最佳滑差值;另一種則是將路面狀況估測器所估測出的斜率，配合路面摩擦係數及滑差資訊，利用模糊理論來估測出最佳滑差值。

在滑差控制部分，Guangcai 等人[9]利用輪胎的角速度、角加速度、輪胎半徑、馬達扭矩、輪

胎轉動慣量及車重進行滑差估測，並根據目標滑差與估測滑差的誤差值來決定輪胎的參考轉速，利用模糊滑動模式控制器，控制驅動力矩，將滑差控制在穩定區域內。Pusca 等人[10]與 Mahdi 等人[11]則是將滑差控制小於 0.25 的穩定區域內，同時也將轉彎時輪胎所產生的側滑角也考慮進來，除了可以防止驅動輪打滑外，也有助於抑制轉向時車身側滑角的擾動與偏移。Chen [12]利用正向力估測器與驅動力估測器，進行路面摩擦係數的估測。接著根據路面摩擦係數及輪胎滑差，利用路面狀況估測器，得知摩擦曲線的斜率，並依此設計目標滑差計算法則，利用自組織模糊控制進行滑差控制，根據滑差的誤差及誤差的變化量，調整增益值，並乘以駕駛者的扭矩需求，以得到馬達扭矩參考命令。



圖十九、 $\mu-\lambda$ 曲線斜率示意圖[5]

防鎖死煞車系統

ABS 是針對將鎖死的煞車狀況，進行滑差控制，防止車輪鎖死。當路面狀況不同時，目標滑差也會跟著不同，若沒有即時估測出此時路面摩擦係數將無法指定最佳的目標滑差，以達到最佳的控制性能。在路面摩擦係數估測方面， Rajamani 等人[13]歸納可分為擴展卡爾曼濾波器、滑差斜率(Slip-Slope)法、基於側向動態 (Lateral-Dynamics) 估測及各輪輪胎路面摩擦係數估測。

在路面狀況估測方面，Cabrera 等人[17]以估測滑差與煞車扭力之條件判別三種可能的路面狀況，並以模糊邏輯推論得知目標滑差。Chikhi 等人[18]利用滑差、路面摩擦係數及正向力等資訊，並配合 Magic Formula 輪胎模型，得知該路面的目標滑差。Castro 等人[16]利用路面摩擦係數與滑差進行前饋類神經網路配合極速學習機(Extreme Learning Machine)，來估測出路面摩擦係數峰值與目標滑差，即時估測出路面狀況。

以單一馬達驅動的電動車輛，一般與傳統內燃機車輛相同，是使用 EHB 進行防鎖死煞車控制。Tan 與 Chin[17] 、Chin 等人[18]使用滑動模式理論設計控制器，利用煞車油壓與目標油壓作為滑動模式控制器輸入，並輸出油壓電磁閥全開及全關訊號，探討半車模式於不同滑差控制點的控制性能。Chio 與 Cho[19]則是利用脈寬調變法則與滑動模式控制器結合，並於煞車試驗台上進行四輪煞

車控制。若是使用車輪馬達驅動的電動車輛，可利用再生煞車來進行煞車控制。Mi 等人[20]提出利用反覆學習控制，使馬達的扭矩能將輪胎的滑差值控制於最高摩擦係數處，能在煞車期間產生最大煞車力。Lin 與 Hsu[21]則提出一複合控制系統配合迴授型類神經網路觀測器來發展 ABS，並且完成不同路面狀況的煞車性能測試。

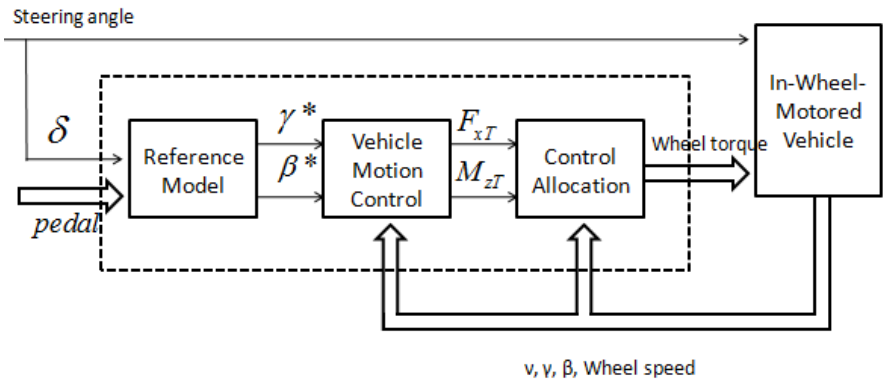
電子穩定控制

為了避免轉向不足或轉向過度，ESC 利用直接偏航力矩控制(Direct Yaw Moment Control, DYC)，進行偏航角速度控制與車輛側滑角限制，以維持車輛動態行駛的穩定性。如果是單一馬達驅動的電動車，其控制架構與傳統內燃機車輛相同，須利用 EHB 進行差動煞車，以產生可以影響偏航動態的偏航力矩。如果是利用車輪馬達驅動的電動車輛，則除了差動煞車外，尚可利用差動驅動來產生偏航力矩，增加控制的自由度。Masao 等人[22]利用模型匹配控制改善車輛過彎時之動態行為，但是對於外在環境變化所造成的影響不夠強健；為了克服環境干擾的影響， Sakai 與 Hori[23]等人提出一個強健性模型匹配控制來改善模型匹配控制既有之缺點，並利用 LQR 設計最佳回饋控制增益值，求得所需參考偏航力矩。在假設各輪工作負載平衡下，縱向輪胎力分配為前後輪相等，左右輪正負號相反，總和滿足駕駛者之驅動/煞車需求。Kanou 等人[24]針對後兩輪驅動電動車提出上層 DYC 與下層滑差控制策略，上層控制主要是根據車輛動態響應產生參考偏航力矩，其後兩輪縱向力輪胎增減量的分配為左右正負相反，下層控制主要是根據路面情況的變化，並使用 RLS 來估測驅動強度的方式，進行滑差控制。

由於各輪負載會影響輪胎驅動力的大小，若在力矩分配之前沒有考慮輪胎工作負載率之影響，將無法達到最佳分配的效果，分配後的各輪驅動力總和，仍需滿足駕駛者的油門與煞車命令。He 等人[25]利用前饋控制和 LQG 設計出車輛動態控制所需最佳偏航力矩，針對四輪工作負載率之成本函數進行最佳化，求得分配至各輪參考驅動力。Li 等人[26]使用非線性模型與輪胎模型，並利用滑動模式控制器設計產生參考偏航力矩，根據權重虛擬反矩陣分配而產生各輪參考滑差，進行滑差控制。

若單純只考量偏航角速度追隨，只能達到偏航角速度追隨的功能，卻無法兼顧限制車身側滑角的穩定性效果，在危急時很容易發生旋轉失控之情況。因此 Zheng 等人[27]，設計 LQR 進行偏航力矩控制，並根據實際與參考滑差的誤差設計了滑動模式控制器，根據參考偏航角速度來進行左右輪差動煞車。Zou 等人[28]根據二自由度自行車模型，使用模糊控制去設計目標動態調整法，即時找出最佳參考偏航角速度，並利用動態模糊滑動控制器與成本函數得到最佳的權重值，產生回饋補償之偏航力矩，配合前饋補償之偏航力矩，使其產生保持車輛穩定的最佳偏航力矩。綜合以上之文

獻回顧，四輪車輪馬達驅動電動車的 ESC 控制架構可歸納如圖二十所示。



圖二十、 四輪車輪馬達驅動電動車 ESC 控制架構[29]

車輛動態控制常用到滑差控制，然而在現實中滑差資訊並無法直接得知，因此須利用車速估測器與輪速感知器相關資訊求得。在車速估測方面，Kobayashi 等人[30]則利用輪胎轉速及車輛加速度訊號，並配合模糊控制器來調整卡爾曼濾波器參數，以估測出絕對車速。Daib 和 Kiencke[31]利用輪胎轉速、車輛加速度和偏航角速度等訊號經過前處理，配合模糊理論估測出車速訊號。Ray[32]利用一個擴展卡爾曼濾波器來估測車速及輪胎力; Jiang 和 Gao[33]利用輪胎速度，並配合一非線性濾波器來估測車速，當車輛於減速時，利用輪胎峰值轉速來估測出非線性濾波器的參數，即時提供精準的車速估測結果。Song 等人[34]利用輪胎速度及縱向加速度訊號，使用卡爾曼濾波器，並考慮輪胎轉動半徑及滑差的影響，進行車速估測。

(二)、 參考文獻

[1] NHTSA Proposed FMVSS No. 126 electronic stability control systems, August, 2006.

[2] A. Van Zanten, R. Erhardt, and G. Pfaff, “VDC, the Vehicle Dynamics Control System of Bosch,” SAE 950759, 1995.

[3] H. Sado, S.-I. Sakai, and Y. Hori, “Road condition estimation for traction control in electric vehicle,” in *Proc. IEEE Int. Symp. Ind. Electron. (ISIE’99)*, Jul. 12–16, 1999, vol. 2, pp. 973–978.

[4] K. Furukawa and Y. Hori, “Recent development of road condition estimation techniques for electric vehicle and their experimental evaluation using the test EV “UOT March I and II” ”, *Industrial Electronics Society, 2003. IECON '03. The 29th Annual Conference of the IEEE*, vol.1, Nov. 2003, pp. 925- 930.

[5] T. Umeno, E. Ono, K. Asano, S. Ito, A. Tanaka, Y. Yasui, and M. Sawada, “Estimation of tire-road friction using tire vibration model,” SAE International, Warrendale, Pennsylvania, USA, 3 April 2002.

[6] J. Wang, L. Alexander, and R. Rajamani, “Friction Estimation on Highway Vehicle Using

Longitudinal Measurements," *ASME Journal of Dynamic System, Measurement and Control*, Vol. 126, No. 2, pp. 265-275, June 2004.

[7] A.M.H.S. Abeykoon and K. Ohnishi, "Estimation of Optimal Slip for Traction Force Improvement of a Mobile Manipulator," *Proceeding of International Conference on Information and Automation*, December 15-18, 2005, Colombo, Sri Lanka.

[8] H. Kataoka, H. Sado, I. Sakai, and Y. Hori, "Optimal Slip Ratio Estimator for Traction Control System of Electric Vehicle Based on Fuzzy Inference," *Transactions of the Institute of Electrical Engineers of Japan.* Vol. 120-D, No. 4, pp. 581-586.

[9] G. Zou, Y. Luo, K. Li, and X. Lian, "Slip ratio control of independent AWD EV based on fuzzy DSMC," *IEEE International Conference on Vehicular Electronics and Safety*, 2007, ICVES. pp. 1-6, Dec. 2007.

[10] R. Pusca, Y. Ait-Amirat, A. Berthon, and J.-M. Kauffmann, "Modeling and simulation of a traction control algorithm for an electric vehicle with four separate wheel drives," *IEEE 56th Vehicular Technology Conference*, vol. 3, pp. 1671-1675, Sept. 2002.

[11] M. Jalili-Kharaajoo and H. Rouhani, "Robust nonlinear control applied to traction control of electric vehicles," *Proceeding of the 2003 10th IEEE International Conference on Electronics, Circuits and Systems, 2003. ICECS 2003*, Vol. 1, pp. 392-395, Dec. 2003.

[12] B.-C. Chen, C.-H. Chu, and S.-J. Huang, "Fuzzy Sliding Mode Control of Traction Control System for Electric Scooter," *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD), 2010 Seventh International Conference on*, On page(s): 691 - 695 Volume: 2, 10-12 Aug. 2010.

[13] R. Rajamani, D.-N. Piyabongkarn, J.-Y. Lew, K. Yi, and G. Phanomchoeng, "Tire Road Friction Coefficient Estimation," *IEEE Control Syst. Mag.*, vol. 30, no. 4, pp. 54–69, Aug. 2010.

[14] J.-A. Cabrera, A. Ortiz, J.-J. Castillo, and A. Simon, "A Fuzzy logic control ABS integrated in the IMMa tire test bench," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, pp. 1937-1949, 2005.

[15] F. Chikhi, A. El Hadri, and J. C. Cadiou, "ABS control design based on wheel-slip peak localization," *Fifth Int. Workshop on Robot Motion and Control*, June 23-25, 2005.

[16] R. De Castro, R.-E. Araujo, J-.S. Cardoso, and D. Freitas, "A New Linear Parametrization for Peak Friction Coefficient Estimation in Real Time," 2010 *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, pp. 1-6, Sept. 2010.

[17] H.-S. Tan and Y.-K. Chin, "Vehicle traction control: Variable structure control approach," *Trans. of the ASME Journal of Dynamic System, Measurement and Control,* Vol. 113, No. 2, pp. 233-230, 1991.

[18] Y.-K. Chin, W.-C. Lin, D.-M. Sidlosky, D.-S. Rule, and M.-S. Sparschu, "Sliding mode ABS wheel-slip control," *1992 American Control Conference*, Chicago, IL, June, pp. 1-5, 1992.

[19] S. Choi and D.-W. Cho, "Control of wheel slip ratio using sliding mode controller with pulse width modulation," *Vehicle System Dynamics,* Vol. 32, Numbers 4-5, pp. 267-284, November 1999.

[20] C. Mi, H. Lin, and Y. Zhang, "Iterative learning control of antilock braking of electric and hybrid vehicles," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 2, pp. 486–494, Mar. 2005.

[21] C.-M. Lin and C.-F. Hsu, "Neural-network hybrid control for antilock braking systems," *IEEE Transactions on Neural Networks*, Vol. 14, No. 2, pp. 351-359, 2003.

[22] N. Masao, " Integrated control law of active rear wheel steering and direct paw moment control,"

Proc. Of AVEC'96,1996.

[23] S.-I. Sakai and Y. Hori, "Robustified model matching control for motion control of electric vehicle," *Proceedings of International Workshop on Advanced Motion Control*, pp. 574-579, 1998.

[24] T. Kanou and H. Fujimoto, "Slip-ratio Based Yaw-rate Control with Driving Stiffness Identification for Electric Vehicle," *Proceedings of the 9th International Symposium on Advanced Vehicle Control*. pp. 786-79, October 2008.

[25] P. He and Y. Hori, "Experimental Evaluation of Dynamic Force Distribution Method for EV Motion Control," *Proceedings of Power Conversion Conference-Nagoya*, pp. 682-687, April 2007.

[26] F. Li, J. Wang, and Z. Liu, " On the Vehicle Stability Control for Electric Vehicle Based on Control Allocation," *2008 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, VPPC 2008, art. no. 4677723.

[27] S. Zheng, H. Tang, Z. Han, and Y. Zhang, " Controller design for vehicle stability enhancement," *Control Engineering Practice 14,* 1413-1421, 2006.

[28] G. Zou, Y. Luo, X. Lian, and K. Li, "A Research of DYC for Independent 4WD EV Based on Control Target Dynamic Regulated," *IEEE:* 1-7(2007).

[29] J. Wang and R.-G. Longoria, "Coordinated Vehicle Dynamics Control with Control Distribution," *Proceedings of the 2006 American Control Conference Minneapolis, Minnesota, USA*, June 14-16, 2006.

[30] K. Kobayashi, K.-C. Cheok, and K. Watanabe, "Estimation of absolute vehicle speed using fuzzy logic rule-based kalman filter," *Proceedings of the American Control Conference, 1995,* Vol. 5, pp. 3086-3090, Jun. 1995.

[31] A. Daiss and U. Kiencke, "Estimation of vehicle speed fuzzy-estimation in comparison with Kalman-filtering," *in Proc. 4th IEEE Conf. Control Application*, 1995, pp. 281–284.

[32] L.-R. Ray, "Nonlinear Estimation of Vehicle State and Tire Force," P*roceedings of American Control Conference*, Chicago, Illinois, pp. 526-530, June 1992.

[33] F. Jiang and Z. Gao, "An adaptive nonlinear filter approach to the vehicle velocity estimation for ABS," *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Control Applications*, 2000. pp. 490-495, Sept. 2000.

[34] C. Song, M. Uchanski, and J. Hedrick, "Vehicle Speed Estimation Using Accelerometer and Wheel Speed Measurements," SAE Technical Paper 2002-01-2229, 2002.

二、 規劃內容

(一)、 研究方向及具體建議

(1) 循跡防滑控制/防鎖死煞車控制

TCS 與 ABS 一般皆是進行滑差控制，只是應用於驅動/煞車的不同時機。滑差是由輪速與車速計算得知，但由於絕對車速不易量測，必須利用估測器以得到車速資訊。滑差控制的參考滑差命令與路面摩擦係數密切相關，必須要能估測路面摩擦係數，指定正確的參考滑差命令，接著控制驅動力矩/煞車力矩，以達到最佳的滑差控制性能。

(2) 車身側滑角估測

ESC 須能同時追隨偏航角速度參考命令與限制車身側滑角，以保持良好操控性與車輛行駛穩定性，偏航角速度可以直接由感知器量測得知，而車身側滑角並不能直接量測，必須進行估測。若是使用車輛動態模型進行估測，在各種不同摩擦係數的路面時，等效的轉向剛性(Cornering Stiffness)也會跟著變化，須能線上即時鑑別轉向剛性，才能有效改善估測準確性。但道路若有側傾的 Bank Angle (Superelevation)時，須能一併納入估測模型，以免影響車身側滑角的估測結果。

(3) 電子穩定控制

車輛行駛時，因為道路摩擦係數、輪胎模型特性與負載轉移的關係，輪胎轉向剛性並非為定值，許多研究為了控制器設計方便起見皆假設為定值，雖可利用強健性控制解決參數不確定性的問題，但容易導致控制命令的震盪，影響駕駛操控的順暢感；若能配合線上鑑別轉向剛性，減少參數不確定性的影響，將可有效提升控制性能。

(4) 驅動/煞車力矩分配

四輪車輪馬達驅動電動車，是屬於過度致動(over Actuated)的系統，如何在滿足駕駛者操控的需求下，動態的分配各輪的驅動力矩/再生煞車力矩，以合理的分配輪胎工作負載，避免車輪打滑或者鎖死，導致車輛動態失控，是屬於一個控制分配(Control Allocation)的問題。

(5) 主動式容錯控制

四輪車輪馬達驅動電動車有一個車輪馬達驅動效率降低，或者是損壞的話，將會嚴重影響車輛行駛的安全性，因此在車輪馬達故障時，必須能主動偵測到哪一個車輪馬達發生故障，並利用其他三個正常的車輪馬達來進行控制分配重組態(Reconfiguration)，以保持穩定的工作並維持一定的操控性能，則是屬於一個主動式容錯控制(Active Fault Tolerant Control)的範疇。

(二)、 每年經費建議

(1) 每件平均 100 萬元（含實驗材料費、論文發表費、儀器設備費、及差旅費等）。

預估每年 1000 萬元

子題一：電動車輛

副召集人：陳柏全教授

次子題四：車輛智慧感知系統駕駛資訊模組

規畫委員：連豊力教授

一、 前言

(一)、 研究動機與國內外研究現況

先進安全車輛為智慧型運輸系統的其中一環，係整合應用車內感測資訊、通訊偵測與控制等先進技術，配合車輛操縱控制，以提升車輛行車安全性。藉由車內資通訊系統與車輛智慧型感知系統可降低駕駛者工作負荷與減低人為疏失發生之機率，進而預防意外事故之發生，提高行車之安全。

在車輛智慧型感知系統中，車用導航設備是最基本車用設備，市面上已有許多家車用導航的設備，不僅能提供行車用路人到達目的地之導航資訊外，現在還提供由交通部運研所免費提供的RDS-TMC 副載波即時交通路況廣播服務，結合車用導航的設備產品應用於台灣地區警察廣播電台即時路況的廣播，讓使用者可以接收即時路況，透過車用導航的重新規劃路徑，迴避車潮，順利抵達目的地。導航系統只能反應了車輛目前所在的位置，但仍無法反應當前在近距離的車外行車環境資訊，因此，唯有感知近距離即時的車外行車環境資訊，適時提供駕駛者安全行駛之訊息，才能更真切地達到輔助行車安全的目的。

目前在車輛智慧感知系統與駕駛資訊模組研究中，吾人可以歸納出研究的主軸為下列幾個方向(如圖二十一所示)： 車體動態感知、車室內狀態感知、車外環境感知三大方向。在車體動態感知之研究，主要是針對車體運動的位置、速度及車體的姿態(pose)感知，由這些車體運動的資訊，評估並預測未來車輛行駛安全與否之考量。在車體感知上，擷取自車的車輛資訊(油門、煞車、方向盤…等)及車外感測器(慣性導航系統 Inertial Navigation System, INS、陀螺儀、GPS…等)收集車身姿態的資訊[1]，結合駕駛行為模式去預估車輛未來的行車路徑，最後依據與周邊物體運動軌跡之相對運動關係，預先對駕駛者提出碰撞警告，以及剎車、加速、轉向等建議駕駛指令，幫助駕駛者即時修正其駕駛行為，同時，也可依據車體的運動資訊推估車輛行駛時可能產生之側滑、覆滾[2], [3]提出警示或建議駕駛之指令。

車室內狀態感知之研究，主要是針對車室內駕駛者感知其注意力或生理精神狀態並適時給予安全駕駛之警示資訊，同時對於車內攜有嬰幼兒座椅是否處於安全狀態進行感知偵測，以預防後續意

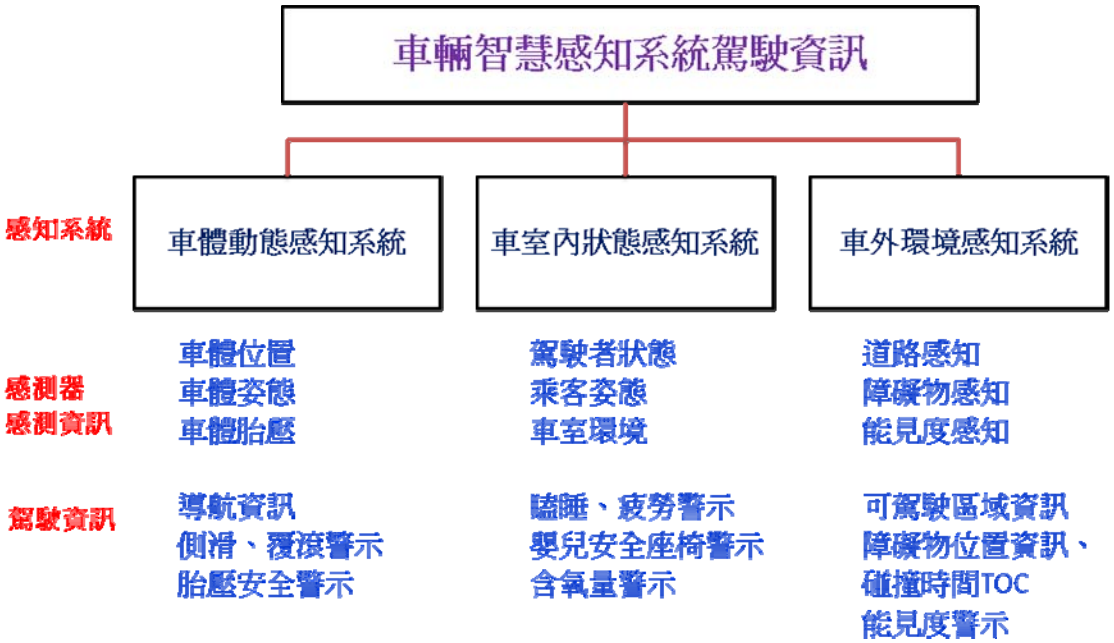
外事故發生。在駕駛者狀態感知上，可歸內整理出三個研究面向，其一是以駕駛者生理訊號感知，進而推估駕駛者是否為疲勞或瞌睡狀態[4]，雖然具有較直接且準確的駕駛者生理訊號，但因感測器須穿戴或接觸駕駛者身體才能準確量測，而造成對駕駛者不必要的干擾，其二為利用駕駛者在車道保持系統(lane keeping system)中，車道維持的狀態，進而評估駕駛者注意力之精神狀態[5]，雖然可利用現有的駕駛輔助系統上推測駕駛者可能的精神狀態，但是可能會因駕駛習慣不同，系統需要適時地學習駕駛行為特性，才能發揮準確偵測性能。其三為利用電腦視覺對駕駛者的姿態(頭部擺動、眼瞼開合、嘴巴閉合)去推估駕駛者精神狀態[6]，其優點是利用簡易便宜的攝影機即可進行偵測，但人需要大量且多樣的駕駛者精神狀態之特徵資料庫，才能準確偵測出目前駕駛者的精神狀態，並提出安全駕駛警示之訊息。

車外環境感知之研究，主要是針對車輛行駛或停車時，感知車周環境之可行駛區域和動態、靜態障礙物以及天候和光線等資訊，以提供駕駛者安全行駛之警示參考。在道路路面感知上，已有許多研究根據結構化道路(structured road)上之車道標示線偵測，來界定道路路面資訊，一般是以視覺感測的方式建立車道資訊，Collado 等人所研發的道路標線系統能偵測並分類道路標線，此系統先以邊緣偵測抓取出直線的道路邊界，並以傅立葉分析的方式辨識出道路線的種類 [7]。另外，也可利用立體視覺並將影像轉經由反透式轉換映射 (Inverse perspective mapping) 轉換成鳥瞰圖，融合左右影像所偵測車道之結果，增加車道偵測之可靠度 8。然而，此系統之偵測效能卻因道路上光線變化及陰影產生不可忽視之影響；對於此影響，可以藉由結合差動式全球定位系統(dGPS)和車體運動資訊進行車道線位置的偵測與追蹤[9]，同時得到目前車輛在車道上之位置，對於應用在變換車道(lane changing)、車道偏離警示(lane departure warning)以及車道保持(lane keeping)有不錯的效能。然而，當車輛行駛於非結構化道路(non-structured road)環境時，例如鄉村、校園、巷弄等道路，由於並無道路邊線及車道分隔線，上述車道線偵測方法則無法適用，在此條件下，利用雷射雷達(LASER RADAR)在非結構化道路上偵測車道路面，能夠有效的偵測出路面的邊界[10]，在以視覺基礎的非結構化道路路面偵測上，He 利用邊緣偵測並結合路面區塊色彩資訊，成功地偵測出道路邊界，但此系統亦受到路面陰影之影響[11]；另外 Alvarez[12] 等人則使用單眼彩色相機，將影像中的色彩轉換至與照明程度獨立的特徵空間(illuminant-invariant feature space)中，以消除光照與陰影所照成的影響，並使用似然性分類器(likelihood-based classifier)區辨某一像素是否屬於路面區塊，然而，此感測方式只能獲得單車道邊緣資訊，無法適用於多車道系統中。

在車外環境感知中，除了偵測可行駛路面區域外，障礙物偵測與辨識也是相當重要的研究領域，在路面上一般常見的有車輛、行人、腳踏車等障礙物，隨著不同的交通場景中，障礙物出現的

種類也有所不同，雷射感測器在對於遠距離之障礙物位置偵測上有不錯的效能[13]，但是對於障礙物的識別卻不易獲得，Bertozzi 利用立體視覺的方式結合反透式轉換可以估算出障礙物的位置和尺寸大小[8]，另外，Sun 整理歸納出利用視覺偵測車輛障礙物的兩大步驟: Hypothesis Generation (HG) 和 Hypothesis Verification (HV)，先假設障礙物可能的存在的區域，再驗證這些假設區域是否具有障礙物的特徵來判定障礙物[14]。另外，對於車外障礙物的辨識上，Ess 使用色彩分割技術結合 AdaBoost 之機器學習演算法，成功地在都市交通場景中識別出 13 種車外環境的景物[15]，充分發揮視覺感知的特色，提供了駕駛者豐富的車外環境與行車安全警示之資訊。

在車外環境感知中另一影響安全駕駛的因素，為行車時能見度度(visibility)的研究分析，利用影像視覺技術建立 fog modeling，進而評估因車外 fog 所造成能見度的影響，並對駕駛者提出警示[16]，另外，Hautière 更進一步在不同天候條件下，推導出 visibility distance 計算的公式[17]，作為輔助駕駛之參考。



圖二十一、車輛智慧感知系統駕駛資訊模組研究方向

(二)、 參考文獻

[1] B. Barshan and H. F. D. Whyte," Inertial Navigation Systems for Mobile Robot," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 11, no. 3, June, pp. 328-342, 1995.

[2] L. Li,F.-Y.Wang,and Q.Zhou, "A Robust Observer Designed for Vehicle Lateral Motion Estimation,"Proceedings of IEEE 2005 *Intelligent Vehicles Symposium*, pp.417-422.

[3] J. Stéphant, A.Charara,and D.Meizel,"Virtual Sensor: Application to Vehicle Sideslip Angle and

Transversal Forces,"*IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 51, No. 2, April 2004, pp. 278-289.

[4] C. T. Lin, R. C. Wu, S. F. Liang , W. H. Chao, Y. J. Chen, and T. P. Jung, "EEG-based Drowsiness Estimation for Safety Driving Using Independent Component Analysis," IEEE Trans. on Circuits and Systems I, vol. 52, no. 12, pp. 2726-2738, 2005.

[5] T. Pilutti, and A.G. Ulsoy, "Identification of driver state for lane-keeping tasks," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics, Part A, vol. 29, pp. 486-502, 1999.

[6] R. Coetzer and G. Hancke, "Driver fatigue detection: A survey," IEEE AFRICON Conference, pp. 1-6, September 2009.

[7] J. M. Collado, C. Hilario, A. Escalera, J. M. Armingol, "Detection and classification of road lanes with a frequency analysis," IEEE Intelligent Vehicles Symposium, pp. 78- 83, 6-8 June 2005.

[8] M. Bertozzi and A. Broggi, "Gold: A parallel real-time stereo vision system for generic obstacle and lane detection," IEEE Trans. Image Process., vol. 7, no. 1, pp. 62–81, Jan. 1998.

[9] J. McCall and M. M. Trivedi., "Video-based lane estimation and tracking for driver assistance: Survey, system, and evaluation," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 7, no. 1, pp. 20-37, March 2006.

[10] B. Ma, S. Lakshmanan, and A. O. Hero, "Simultaneous detection of lane and pavement boundaries using model-based multisensor fusion," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 1, no. 3, pp. 135–147, Sep. 2000.

[11] Y. He, H. Wang, and B. Zhang, "Color-based road detection in urban traffic scenes," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol. 5, no. 4, pp. 309-318, Dec. 2004.

[12] J. M. Álvarez, A. M. López, "Road Detection Based on Illuminant Invariance," IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, vol.PP, no.99, pp.1-10, 2010.

[13] J. Hancock, M. Hebert and C. Thorpe. "Laser Intensity-Based Obstacle Detection", IEEE International Conference on Intelligent Robots and Systems, vol. 3, pp. 1541-1546, Oct. 1998.

[14] Z. Sun, G. Bebis, and R. Miller, "On-Road Vehicle Detection: A Review," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence., vol. 28, no. 5, pp. 694-711, 2006.

[15] A. Ess, T. Mueller, H. Grabner, and L. Van Goo,"Segmentation based urban traffic scene understanding," in Proc. of BMVC, 2009, pp. 1-11.

[16] N. Hautière, J.-P. Tarel, J. Lavenant, and D. Aubert, "Automatic fog detection and estimation of visibility distance through use of an onboard camera," Mach. Vis. Appl., vol. 17, no. 1, pp. 8–20, Apr. 2006.

[17] N. Hautière, D. Aubert, E. Dumont, and J. P. Tarel, "Experimental Validation of Dedicated Methods to In-Vehicle Estimation of Atmospheric Visibility Distance," IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, vol. 57, pp. 2218-2225, Oct. 2008.

二、 規劃內容

(一)、 研究方向及具體建議

- 車輛動態變數估測

  a、 針對車輛側向運動趨勢與行為之強健型觀測器分析與設計

b、 適應型輪胎與路面摩擦力估測

- 駕駛狀態之監控與行為模式之鑑別

a、 利用非侵入式之偵測技術強化偵測與識別之準確率

b、 駕駛者之疲勞狀態資料庫的建立，偵測演算法之可靠度分析

c、 駕駛者行為模式之分析與鑑別

- 動態駕駛環境之感知與情境理解演算法

a、 三維動態情境之分析，即時情境幾何關係估測與即時路面幾何狀態估測

b、 環境中靜態物體（路邊物體或障礙物）之立體位置與角度姿態估測

c、 環境中動態物體（車輛與行人）之位置與運動軌跡估測

- 自動道路環境與情境辨識與分類

a、 路面與非路面環境之辨識

b、 多重路面環境之辨識與分類，例如：市區道路，鄉間道路，主要道路，次要道路，多車道路面等

c、 道路路面狀態辨識與決策，例如：乾路面，濕路面，油漬路面，泥土路面，雪地路面等

- 即時道路邊界辨識與理論模式

a、 分岔道路的辨識與理論模式

b、 道路幾何型態之建立與即時導航指示法則

- 夜間駕駛之物體偵測與追蹤演算法

a、 靜態物體之偵測與標的定位

b、 移動物體之偵測與追蹤

c、 夜間盲點偵測與推估

d、 可見度與距離之估測

(二)、 每年經費建議

(1) 每件平均 100 萬元（含實驗材料費、論文發表費、儀器設備費、及差旅費等）。

預估每年 1000 萬元

子題一：電動車輛

副召集人：陳柏全教授

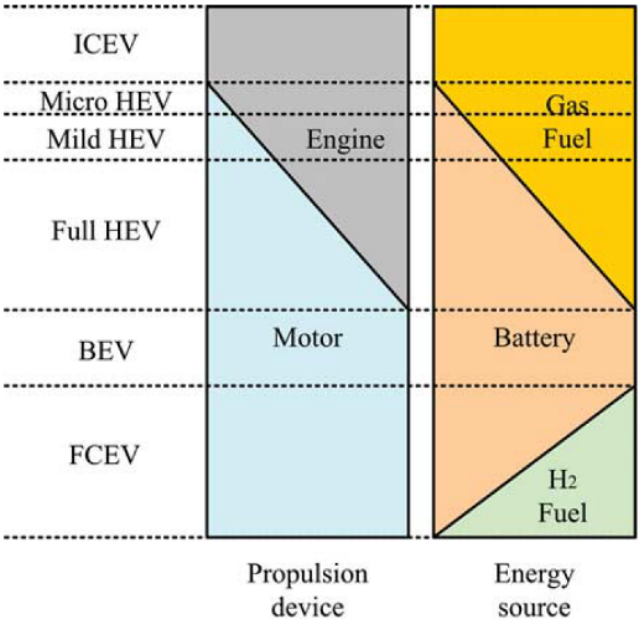
次子題五：油電混合電動車能量管理控制

規畫委員：陳柏全教授

一、　前言

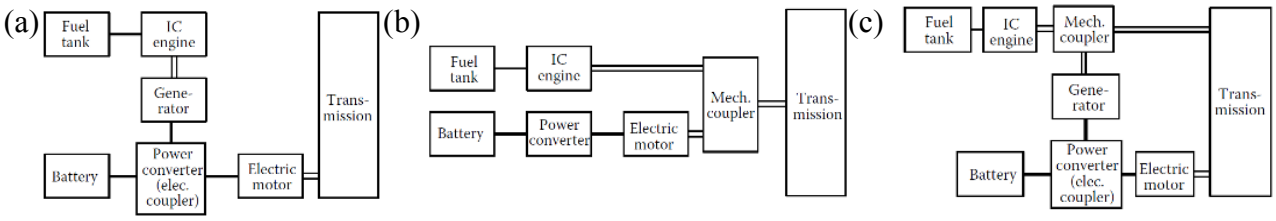
(一)、　研究動機與國內外研究現況

全球暖化問題持續惡化，石油價格高漲已成為長期趨勢。世界各大車廠因應石油枯竭問題，陸續著手開發下一世代新能源車輛；各大車廠為了降低汙染排放紛紛發展了缸內直噴引擎、稀薄燃燒引擎、阿克金森循環引擎、可變汽門正時等以改善傳統內燃機的效率，以推動裝置與能量來源作為分類可以發現車輛發展會不斷增加對於電能使用的依賴[1]。油電混合電動車(Hybrid Electric Vehicle, HEV) 能量管理控制可找出引擎與電能最佳的動力使用分配比例，以降低燃油消耗與減少廢氣排放。



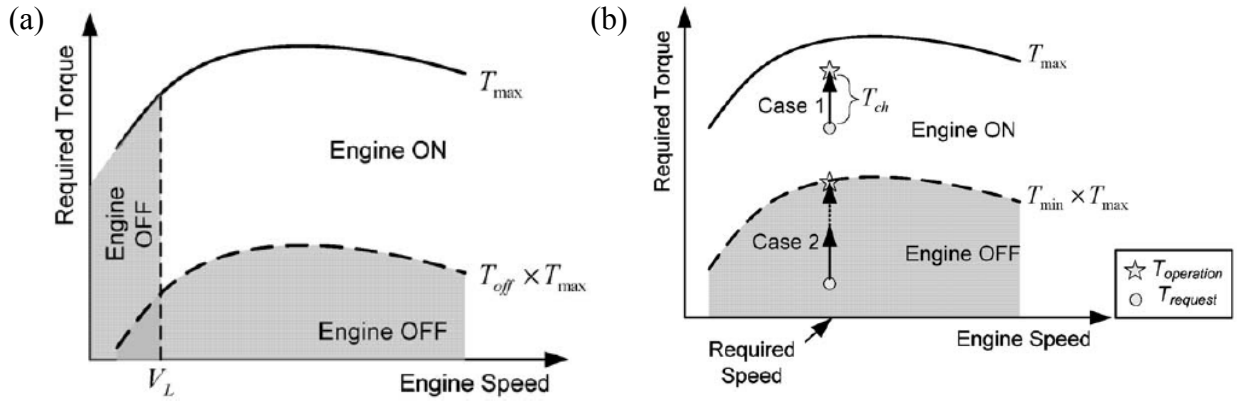
圖二十二、車輛動力系統發展趨勢[1]

HEV 可以依據動力系統架構分為串聯式、並聯式以及串並聯式，其中串聯式油電混合電動車(Series Hybrid Electric Vehicle, SHEV)的引擎動力不會直接輸出驅動車輛前進，車速不會直接影響到引擎轉速，故引擎可以操作在最佳效率區，但發電機模組產生電能至驅動馬達經過兩次的能量轉換，故整體效率較低；並聯式油電混合電動車(Parallel Hybrid Electric Vehicle, PHEV)的引擎與馬達同時可以輸出動力驅動車輛前進，此架構具有可使用較小規格之引擎與馬達以及整體效率較高，但引擎工作範圍較為狹隘且結構與控制較為複雜；串並聯式油電混合電動車(Series-Parallel HEV)可經由動力分配裝置，控制串並聯的分配比例，同時具有 SHEV 與 PHEV 之優點，但結構與控制最為複雜[2]。

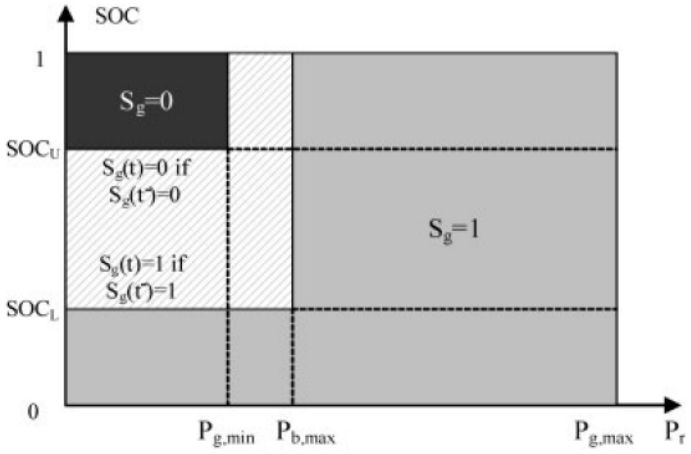


圖二十三、HEV 動力架構分類(a)SHEV(b)PHEV(c)Series-Parallel HEV[3]

HEV 能量管理控制策略可以分為三類，第一類為以規則為基礎(Rule-based)，通常是藉由工程師的經驗與直覺，加上分析 HEV 各組件的效率後決定動力分配的控制規則。Montazeri-Gh 等人[4]針對 PHEV 架構，以電池殘電量(State of Charge, SOC)是否低於預定門檻下限值分成兩種操作模式，當電池 SOC 高於預定門檻下限值(SOC_L)時，且車速低於電動驅動車速或者需求扭力低於截止扭力，將以純電動模式驅動車輛，除此之外將啟動引擎進入混合動力驅動模式；當電池 SOC 低於預定門檻下限值時，引擎除了要滿足駕駛者的動力需求外還要額外輸出動力驅動發電機對電池充電，如圖二十四所示。Gao 等人[5]提到兩種根據 SHEV 架構的控制策略，第一種為恆溫控制策略(Thermostat Control Strategy, TCS)，當電池 SOC 低於預定門檻下限值將啟動引擎於最佳效率區對電池充電，反之則不起動；第二種為動力追隨控制策略(Power Follower Control Strategy, PFCS)，此種控制策略以發電機模組(Genset)為主要動力源，以發電機模組動力滿足駕駛者動力需求並維持電池 SOC 於固定範圍，如圖二十五所示。



圖二十四、PHEV 之 Rule-based 控制策略(a)$SOC>SOC_L$(b)$SOC<SOC_L$[4]

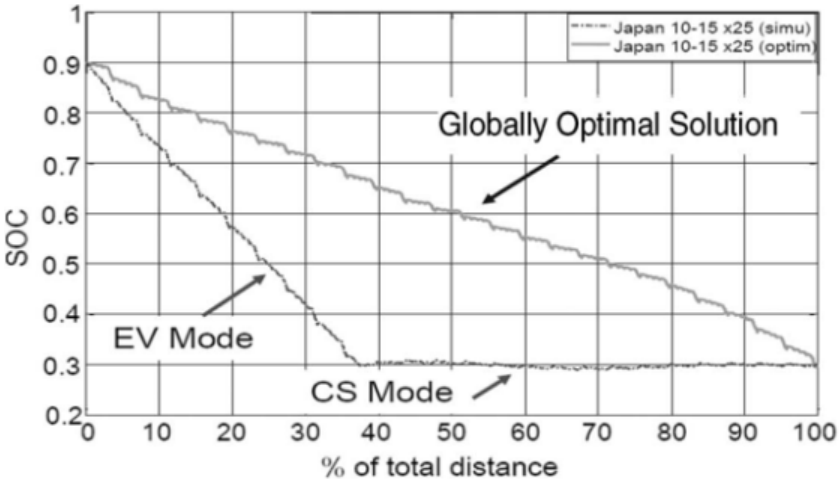


圖二十五、SHEV 之 PFCS 架構圖[5]

第二類為瞬時最佳化 (Instantaneous Optimization-based)，主要是利用最佳化方法找出使瞬時成本函數最小之動力分配比例，Paganelli 等人[6, 7]針對 PHEV 利用等效油耗最小策略(Equivalent Consumption Minimization Strategy, ECMS)進行能量管理，針對包含實際燃油與電能所等效燃油之瞬時成本函數進行最佳化，以得到最佳動力分配比例，並利用一非線性懲罰函數(Penalty Function)來維持電池 SOC。Musardo 等人[8]針對 PHEV 提出一適應性等效油耗最小策略(Adaptive Equivalent Consumption Minimization Strategy, A-ECMS)，依照目前的駕駛型態配合 GPS 預估未來 100 秒的行車型態，進行等效油耗因子之最佳化與更新。Gao 等人 [5]針對 SHEV 提出等效油耗最小策略，模擬結果顯示無論在高速或者都市行駛都有最佳的油耗表現，且可降低電池的平均充放電功率，可有效延長電池壽命。Geng 等人 [9] 提出應用 Pontryagin's 最小化定理的等效油耗最小策略於 Plug-in SHEV，設計能量管理控制策略找出發電機模組與電瓶之間的最佳動力分配 ，並利用電瓶 SOC 回授架構增加系統未知控制參數的強健性。Kum 等人 [10]針對 Plug-in PHEV 提出一新變數名詞能量距離比(Energy-to-Distance Ratio, EDR)用以導入電瓶殘電量與行駛距離的關係，並利用此變數作為設計能量管理控制策略的重要參數。Liu 與 Peng [11, 12]針對 Toyota Prius THS 之 Series-Parallel HEV 架構進行分析，分別使用隨機動態規劃方法(Stochastic Dynamic Programming, SDP)與 ECMS 做比較，並以動態規劃法(Dynamic Progarmming, DP)求得的最佳油耗作為比較基準。結果顯示 SDP 與 ECMS 皆可達到較佳的燃油經濟性並適合實際應用在實車上。Chen 等人[13] 提出應用等效油耗最小策略於油電混合機車動力分配控制，利用電瓶 SOC 回授控制架構，並根據電瓶 SOC 的變化量來適應性調整等效油耗因子，再針對瞬時燃油消耗建立成本成本函數，並利用最佳化搜尋求得最佳的動力分配比例。

第三類為動態規劃法，主要是針對一個既定的行車型態，利用最佳化方法求得全域最佳解，但是需要預先知道車輛行車型態以及較多的計算時間，故一般來說無法即時實現此策略於一般日常駕

駛；但由於其結果為全域最佳解，固可用來比較前幾種控制策略的設計結果。Gong 等人 [14]提到 Plug-in HEV 若能盡量將電池所儲存的電網能量(Grid Energy)耗盡，並最大化電荷消耗模式(Charge-Depleting, CD)的操作，也就是在車輛行駛到終點時，剛好將電瓶殘電量使用至預定門檻下限值，如圖二十六中的 Globally Optimal Solution 所示，將會有最佳的油耗表現。



圖二十六、電池 SOC 相對於行駛距離關係圖[14]

(二)、 參考文獻

[1] K. T. Chau and C. C. Chan, "Emerging Energy-Efficient Technologies for Hybrid Electric Vehicles," *Proceedings of the IEEE,* vol. 95, pp. 821-835, 2007.

[2] M. Dorri and A. H. Shamekhi, "Design and optimization of a new control strategy in a parallel hybrid electric vehicle in order to improve fuel economy," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering,* vol. 225, pp. 747-759, 2011.

[3] M. Ehsani, Y. Gao, and A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles: Fundamentals, Theory, and Design*: CRC Press, 2009.

[4] M. Montazeri-Gh, A. Poursamad, and B. Ghalichi, "Application of genetic algorithm for optimization of control strategy in parallel hybrid electric vehicles," *Journal of the Franklin Institute,* vol. 343, pp. 420-435, 2006.

[5] J. P. Gao, G. M. G. Zhu, E. G. Strangas, and F. C. Sun, "Equivalent fuel consumption optimal control of a series hybrid electric vehicle," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering,* vol. 223, pp. 1003-1018, 2009.

[6] G. Paganelli, S. Delprat, T. M. Guerra, J. Rimaux, and J. J. Santin, "Equivalent consumption minimization strategy for parallel hybrid powertrains," in *Vehicular Technology Conference, 2002. VTC Spring 2002. IEEE 55th*, 2002, pp. 2076-2081 vol.4.

[7] G. Paganelli, M. Tateno, A. Brahma, G. Rizzoni, and Y. Guezennec, "Control development for a hybrid-electric sport-utility vehicle: strategy, implementation and field test results," in *American Control Conference, 2001. Proceedings of the 2001*, 2001, pp. 5064-5069 vol.6.

[8] C. Musardo, G. Rizzoni, and B. Staccia, "A-ECMS: An Adaptive Algorithm for Hybrid Electric

Vehicle Energy Management," in *Decision and Control, 2005 and 2005 European Control Conference. CDC-ECC '05. 44th IEEE Conference on*, 2005, pp. 1816-1823.

[9] B. Geng, J. K. Mills, and S. Dong, "Energy Management Control of Microturbine-Powered Plug-In Hybrid Electric Vehicles Using the Telemetry Equivalent Consumption Minimization Strategy," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on,* vol. 60, pp. 4238-4248, 2011.

[10] D. Kum, H. Peng, and N. K. Bucknor, "Optimal Energy and Catalyst Temperature Management of Plug-in Hybrid Electric Vehicles for Minimum Fuel Consumption and Tail-Pipe Emissions," *Control Systems Technology, IEEE Transactions on,* vol. PP, pp. 1-1, 2011.

[11] J. Liu and H. Peng, "Modeling and Control of a Power-Split Hybrid Vehicle," *Control Systems Technology, IEEE Transactions on,* vol. 16, pp. 1242-1251, 2008.

[12] J. Liu and H. Peng, "Control optimization for a power-split hybrid vehicle," in *American Control Conference, 2006*, 2006, p. 6 pp.

[13] B. C. Chen, Y. Y. Wu, Y. L. Wu, and C. C. Lin, "Adaptive Power Split Control for a Hybrid Electric Scooter," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on,* vol. 60, pp. 1430-1437, 2011.

[14] Q. Gong, Y. Li, and Z. R. Peng, "Trip Based Power Management of Plug-in Hybrid Electric Vehicle with Two-Scale Dynamic Programming," in *Vehicle Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE*, 2007, pp. 12-19.

[15] C. E. Nino-Baron, A. R. Tariq, G. Zhu, and E. G. Strangas, "Trajectory Optimization for the Engine-Generator Operation of a Series Hybrid Electric Vehicle," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on,* vol. 60, pp. 2438-2447, 2011.

[16] K. Muta, M. Yamazaki, and J. Tokieda, "Development of New-Generation Hybrid System THS II - Drastic Improvement of Power Performance and Fuel Economy," 2004.

二、 規劃內容

(一)、 研究方向及具體建議

HEV 能量管理控制策略在國際各大車廠為重要的研究議題，其主要目的為提高燃油經濟性與降低排放汙染，最終目的皆為開發下一世代新能源車輛，以達到零汙染載具的理想。針對不同動力架構 HEV，能量管理控制策略的研究方向與具體建議如下：

(1) 串聯式 HEV 能源分配控制

此架構下能量管理控制策略目的為找出發電機模組與電池之間最佳的動力分配比例，但仍需控制發電機模組去追隨控制器所下達的動力需求命令[15]，找出最佳的引擎運轉點軌跡以降低油耗與排放汙染；雖然引擎轉速不會直接受到車速影響，故須考量引擎運轉的噪音振動(Noise Vibration Harshness, NVH)對於乘客舒適性的影響；HEV 通常利用電池作為緩衝器，電池往往占了極高的全車成本，故須考量如何降低電池的平均充放電功率，以增加電池的使用週期；除此之外引擎的觸媒轉換器有一定的工作溫度範圍，若長時間未啟動引擎，將導致

觸媒轉換器溫度下降，反而不利於廢氣處理能力。文獻中對於同時考量引擎啟動 NVH、電池充放電功率以及觸媒轉換器溫度等拘束條件，進行最佳化搜尋找到最佳動力分配比例的研究甚少，有待進一步深入探討研究。

(2) 並聯式 HEV 能源分配控制

此架構下能量管理控制策略目的為找出引擎與電能之間最佳的動力分配比例。車輛靜止時，引擎怠速運轉將造成嚴重的排放汙染，可在車輛靜止時熄火，再利用馬達驅動車輛起步，但須注意控制引擎起停(Start-stop)時馬達與引擎動力銜接順暢。此外，引擎運轉時各行程之動力輸出並不平順，可利用控制馬達發電機產生扭力減震(Torque Damping)效果降低引擎運轉時的震動(Vibration)。如何針對不同的行車型態，設計適應性動力分配控制策略，也有待進一步深入探討研究。

(3) 串並聯式 HEV 能源分配控制

此架構下可分為兩部分控制，第一部分為系統最佳化，監督控制器(Supervisory Controller)根據駕駛者的動力需求、車輛車速、電池SOC等資訊，以類似PHEV的方法，進行能量管理控制找出引擎與電能之間最佳的動力分配比例。第二部分為引擎最佳化[16]，根據最佳化的動力分配比例，應如何對馬達發電機1以及馬達發電機2下達動力命令，使引擎達到良好的燃油經濟性與降低廢氣排放污染。

(4) 可充電式 HEV 能源分配控制

針對以上不同的動力架構加入電力網路的能量來源，其能量管理控制策略目的為根據能量距離比[10](Energy-to-Distance Ratio, EDR)控制電池SOC於車輛行駛終點將電池SOC用至預定門檻下限值，以找出最佳的動力分配比例。

(二)、 每年經費建議

(1) 每件平均 100 萬元（含實驗材料費、論文發表費、儀器設備費、及差旅費等）。

(2) 預估每年 1000 萬元

子題二：智慧型運輸系統

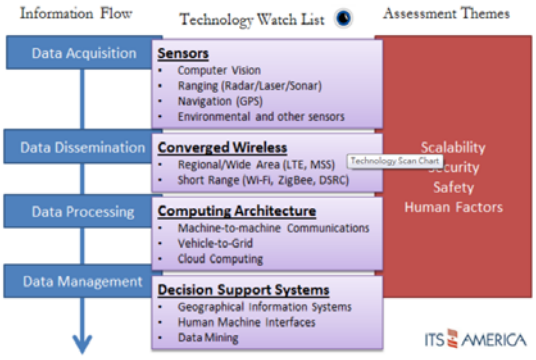
副召集人：蘇昭銘教授

規畫委員：彭昭暐教授、陳彥霖教授、黃聖傑教授、張建彥教授

依據美國智慧型運輸系統協會(ITS America)的定義：智慧型運輸系統(Intelligent Transport Systems, ITS)係將資訊及通訊技術運用在道路運輸中之基礎設施、車輛、使用者，並應用在交通管理(Traffic Management)、移動管理(Mobility Management)及與其他運具整合等層面。歐洲智慧型運輸系統發展組織(ERTICO)指出未來都市交通所需面臨之挑戰主要包括：安全(Safety-related Challenges)、環境(Environment-related Challenges)、效率(Efficiency-related Challenges)及移動性(Mobility-related Challenges) 等四方面，其中 ITS 將扮演著面對此些挑戰的重要關鍵角色，將有助於提供用路人一個更為安全、潔淨(Clean)與智慧化(Smart)的運輸環境。

世界衛生組織(World Health Organization, WHO)預估每年全世界約有 120 萬人死於道路交通意外，5,000 萬人因為交通意外事件而受傷，且每年以極高之比例增加中，故在歐美等先進國家中均冀望透過 ITS 提升用路人安全，其中對於弱勢用路人(Vulnerable Road Users, VRUs)安全之保障更為各國推動永續運輸環境之主要課題。美國 ITS 協會(2012)指出 ITS 之資訊流可區分為如圖二十七之四個階段：

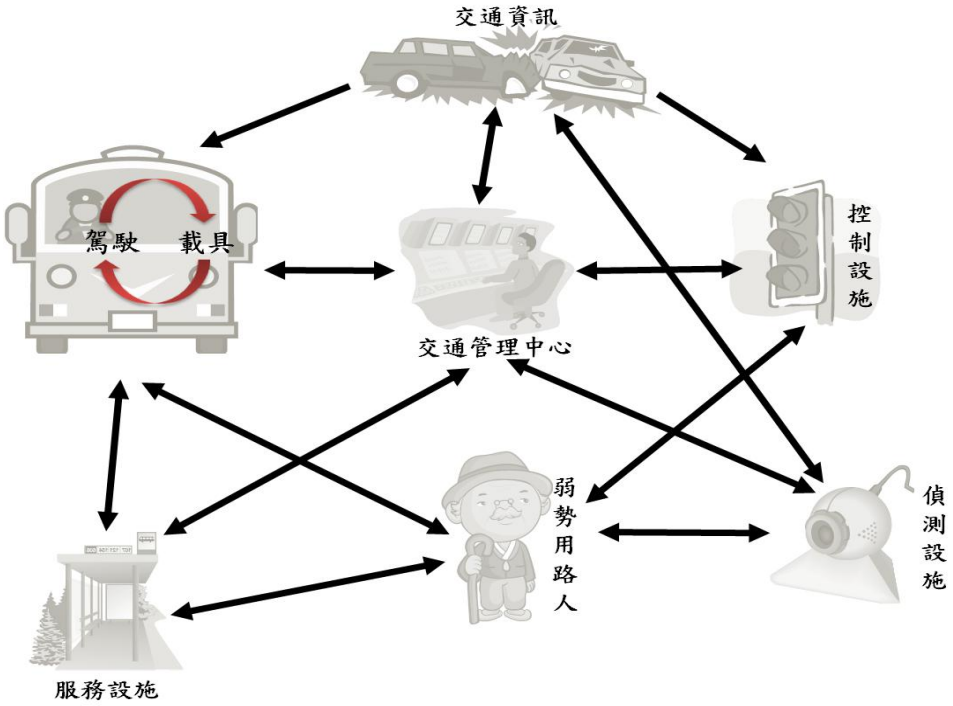
1. 資料蒐集(Data Acquisition)：此階段主要採用之技術包括電腦視覺(Computer Vision)、雷達或雷測等測距(Ranging)技術、GPS 導航(Navigation)技術及環境或其他偵測設備(Sensor)。
2. 資料傳輸(Data Dissemination)：此階段採用之技術主要圍涵蓋廣域及短距之整合無線通訊技術，其中在廣域之通訊技術如新一代行動無線寬頻技術 LTE(Long Term Evolution)；短劇通訊則包括 Wi-Fi 及 Zigbee 等技術。
3. 資料處理(Data Processing)：此階段採用技術主要包括機械設備間通訊(Machine-to-machine Communication)、車輛系統間通訊(Vehicle-to-Grid)及雲端計算(Cloud Computing)等電腦計算技術架構。
4. 資料管理(Data Management)：此階段採用技術主要包括地理資訊系統(Geographic Information System)、人機介面設計(Human Machine Interface)及資訊採礦(Data Mining)等決策支援系統技術。



資料來源：美國 ITS 協會

圖二十七、ITS 資料流及對應技術

藉由前述歐美 ITS 發展趨勢之回顧，如何整合人、車、路及系統等四構面資料，協助用路人，特別是弱勢用路族群提升安全性，降低目前每年 2,000 多人的交通意外死亡人數，將是未來值得探究之課題。從交通安全角度而言，ITS 與運輸系統所涵蓋構面之關聯性可示意如圖二十八所示，其中車輛載具係由駕駛與載具兩者合而為一，駕駛人或是車輛之異常均可能導致教通意外事故；而土石流、水災或是車禍等外在交通異常行為益可能導致用路人閃避不及，發生車禍；而就高齡者或身心障礙人士等弱勢用路族群而言，不論是故馬路或是搭公車過程中皆會因身體機能的差異，造成不便，同時也可能因此讓自己暴露在危險環境中，故若是能即早偵測到各項交通資訊，或將控制設施等資訊傳遞至車輛或行人之行動裝置中，讓用路人能提早採取各項判斷或應變措施。



圖二十八、ITS 與運輸系統構面關聯示意圖

由於目前台灣地區交通意外事件以人為疏失比例居多，就控制領域角度而言，有下列四項課題待為克服：

1. 如何讓車輛能提早偵測到車輛前方異常資訊，如車輛前方有孩童闖出、道路落石阻擋，提供駕駛人必要之警示或控制，使駕駛人或車輛能及早避險，將可有效降低因駕駛人疏失所導致之交通意外事故。
2. 如何能透過路側設施偵測到異常資訊，如車輛逆向誤闖出口匝道、或是路口闖紅燈車輛，而盡早將資訊傳遞至即將進入該區域之車輛或行人裝置中，並提供必要之警示或導引，以減少因為駕駛人疏失所產生之交通意外事故。
3. 如何能及早發現駕駛人生理因為疾病或疲勞產生異常現象，並提供駕駛人必要之警示或控制。特別是近年來發生多起大客車職業駕駛因為疲勞或生理疾病導致發生嚴重車禍，如何透過偵測與控制技術降低營業用車輛之交通意外事故，亦有其研究之必要性。
4. 如何透過外部交通資訊的蒐集與傳遞，能提供高齡者或身心障礙者等弱勢用路族群使用道路系統過程中必要的資訊，如通過十字路口時之決策、快速通行的違規車輛或是即將進站的公車編號，以便讓用路族群能夠放心、安全的使用道路。

為有效解決前述課題，載智慧型運輸系統子題中，確立下列四項次子題，以供有興趣之學者專家參考研究。

1. **整合駕駛人交通即時資訊之智慧型載具設計**

近年來高科技交通資訊輔助汽車電子技術逐漸受到各國的重視，原先以提高車輛本身之安全性、穩定性，為求減少事故發生的可能以及將事故發生後的傷害能夠降到最低，由於以往僅能以被動的方式給予駕駛人防護，因此近年來漸漸地轉變為以主動式的防護措施，並且因網路通訊發展日漸蓬勃，透過網路傳輸立即傳遞，以達到提醒並預防危險的發生。

因網路通訊技術發展下，駕駛人可以透過智慧型手機(Smartphone)或是智慧車載終端機(Telematics terminal)來接收當下路口的即時資訊，即時查看每個路口的資訊，以了解預計將通過的路口是否有交通事故或是交通擁塞的情況，一旦有此情況的發生，則快速給予新的行車路徑規劃，達到節省時間以及使交通流量到舒緩。近年來在智慧型車輛之交通即時資訊接收技術中，主要注重 V2I (Vehicle-to-Internet)和 V2V (Vehicle-to-Vehicle)的通訊。在 V2I 主要是透過無線網路將路口號誌、路口攝影機和雷射測距儀傳送至智慧型載具上之智慧型手機和智慧車載終端機上，並在接收到危險訊息時可以讓智慧型載具做出最適當的安全模式控制，透過接收路口號誌資訊，提醒駕駛人號誌資訊，以免因駕駛人的疏忽而誤闖紅綠燈釀成重大災

害。未來不僅可透過外部感測器達到即時提醒用路人的功能外，更希望將將智慧型載具以全自動駕駛的方式應用於高速公路或是市區道路上，透過各種感測器來偵測行進路線、行人偵測以及車輛等障礙物偵測，在各國皆有發展此種類計畫的團隊，並且 Google 已經於美國內華達州完成首部可正式掛牌上路的無人自走車，因此智慧型載具將是未來需發展之重點項目。本次子計畫計規劃下列三個研究方向：

(1) 載具之外部偵測技術。

(2) 載具之交通即時資訊接收技術。

(3) 因應外部即時資訊之載具控制。

2. **整合道路偵測技術之車輛駕駛資訊與警示系統設計**

早期 ITS 技術發展對於行人的重視程度一直不如對汽車者。有鑑於此，我國在 2002 年在國家級 ITS 系統的發展重點架構裡，針對智慧路口之需求，增加了「弱勢用路人保護服務」重點項目，以提高對於行經路口的用路人族群的保障。對於新一代智慧型路口系統之研發，必須要能結合對於弱勢道路使用者的警示與保護議題，在國際上之先進國家近年來在智慧型運輸系統發展中，逐步重視弱勢用路人用路保護以及支援課題，企圖應用先進的運輸科技整合，降低弱勢用路人用路障礙並且給予適當之支援輔助，提升整體用路安全，維護他們平等之用路權益。然國內目前所應用之智慧型路口與用路人保護技術，及仍屬於由用路行人被動方式啟動路口保護機制，因此在使用方便性與對於用路人之保護上，仍有很大之改良與研究發展空間，也因此亟需發展智慧型與自動化之路口用路人保護與警示技術與系統，提供民眾一個安全、便捷、與高效率的交通運輸與用路環境。對於智慧型路口系統之需求，如何有效調和與整合「人、車、路」三者不同特性，以快速且即時的掌握道路與路口之使用者與交通動態，以有效判斷是否有潛在危機、分析需要受保護道路使用者、警示可能肇事之車輛駕駛、保護弱勢用路者等智慧自動化路口系統所需之重要機制。本次子計畫計規劃下列六個研究方向：

(1) 智慧型路口車輛偵測及監視控制技術。

(2) 弱勢用路人偵測與輔助技術。

(3) 智慧路口交通資訊傳遞與控制系統。

(4) 個人化智慧型路口導引資訊系統。

(5) 視障行人輔助技術

(6) 嵌入式駕駛資訊警示技術與行人行動保護資訊系統。

3. **整合駕駛人之生理監控之智慧型載具設計**

(1) 駕駛人之生理監控技術開發。

(2) 駕駛人生理資訊變化之警示與監控系統。

(3) 因應車輛內部駕駛人生理資訊變化之載具控制。

4. **考量弱勢用路族群特質之交通導引與警示系統設計**

「弱勢使用者保護服務(Vulnerable Individual Protection Services, VIPS)」為世界各國發展ITS趨勢，亦為我國ITS發展的重點要項。由於高齡者、視覺障礙者或肢體障礙者等弱勢用路族群不論在通過路口的步行速率或使搭乘公車的資訊辨別或需求上均明顯不同於一般用路人，故如何能透過車輛或路口之偵測或定位設備，蒐集各項交通資訊，以提供弱勢用路族群在通過路口或搭乘公車時之資訊，降低用路者使用過程中之困擾與危險，甚至進一步提供必要之導引資訊，即為我國發展VIPS之重要研究課題。本次子計畫計規劃下列四個研究方向：

(1) 行人與交通控制系統間之資訊傳遞。

(2) 不同類型行人之路口導引與警示系統開發。

(3) 乘客與大眾運輸車輛間之資訊傳遞。

(4) 不同類型乘客之搭乘導引系統開發。

子題二：智慧型運輸系統

副召集人：蘇昭銘教授

次子題一：整合駕駛人交通即時資訊之智慧型載具設計

規畫委員：彭昭暐教授

一、　前言

(一)、 研究動機與國內外研究現況：

近年來行動網路通訊發展日漸蓬勃，如智慧型手機(Smartphones)、嵌入式系統(Embedded systems)、全球定位系統(GPS)和網路通訊裝置等電子設備系統的發展都已經相當成熟，所以將這些電子設備結合網路通訊應用於智慧型載具(Intelligent Vehicles) 的研究也越來越多，特別在現今全球人口都市化趨勢下，智慧型載具的發展也注重於網路資訊傳輸的部分，其中包含路口資訊和行車安全的資訊傳輸，並透過智慧型手機和智慧車載終端機(Telematics Terminal)來接收訊息，以讓駕駛人可以即時接收各路段之影像、路況等資訊，以得到最好的行車路徑規畫，且讓智慧型載具能夠接此資訊並經由工業電腦運算後來控制智慧型載具，以達到載具之安全控制和自動駕駛的目標[1]。

而近年來在人口老年化的社會下，對於老年人和身障人士的照護也非常重視。因此，智慧型輔具也是目前研究的重點之一，讓老年人和身障人士在醫院、公園甚至路口都可以使用智慧型輔具，且接收即時資訊和使用定位系統來監控，讓使用者能更安全且便利的使用智慧型輔具[2]。更可以應用於路口及公園等和外環境,透過智慧型載具來輔助使用者安全通過路口且可以與輔具互動讓使用者可以更便利的使用載具。另外也可以在公園等公共環境使用智慧型導覽載具系統等功能讓老年人及身障人士有更多的活動空間。希望透過智慧型輔具、網路資訊傳輸和載具控制技術，能夠建構一個智慧型無障礙空間，讓老年人與身障人士得到更好的照護。

大眾運輸系統將成為未來交通運輸的重要發展。因此智慧型公車運輸系統也成為大都會區的運輸工具中重要的發展之一。並且在現今資訊快速發展下能夠結合智慧型手機與雲端網路系統發展出一套智慧型系統，讓乘客更方便的取得公車的位置資訊，且能更精準的了解公車到站時間，讓乘客可以更省時間且便利的搭乘智慧型公車。

在國內，近年來台灣經濟部與交通部進行跨部會合作，並透過車載資通訊產業推動辦公室(Telematics Promotion Office, 簡稱 TPO)與台灣車載資通訊產業聯盟（Taiwan Telematics Industry Alliance，TTIA）也開始推動智慧型公車系統，且推動國內智慧型公車車載系統產業標準，且朝著智慧型公車行車安全、自動公車到站系統和無線上網服務的智慧型公車。並可以結合智慧型手機，讓乘客透過網路來查詢下一班公車位置及到站時間。且在公車上提供 Wi-Fi 無線網路，讓乘客可以透過智慧型手機來了解目前乘坐的公車即時位置資訊,也可以提供下車提醒服務以避免錯過下車地點。

目前也有許多先進的感測器可以架設於至智慧型載具上，例如攝影機、雷射測距儀、語音感測

器和全球定位系統(GPS)等儀器來偵測智慧型載具之外部環境的狀況，並經由智慧型載具上之工業電腦運算後透過 CAN-bus(Controller Area Network)和電子設備來控制智慧型載具，讓使用者可以在更安全且便利的環境下使用智慧型載具系統。

不管是在戶外或是室內的環境中，藉由多種先進感測器可以得知智慧型載具附近之情況，分別對周遭的情況給予不同的行為模式，對於智慧型載具本體的安全，最重要的就是安全的防護，必須實現避障以及防碰撞的演算法來達到安全的效果。透過遠端監控路口，給予智慧型載具周遭路口之路況資訊，即時給予資訊提醒號誌或是避開壅塞路口。

在國內除了經濟部之外，包括裕隆集團、台達電、必翔實業等大廠都陸續投入電動車的市場。而中華智慧型運輸系統協會、財團法人車輛研究測試中心(ARTC)和許多學術研究上也在智慧型車輛的研究上有所成就。且在碰撞警示系統(Collision-warning Systems)、車道線偏移警示系統(Lane-departure Warning)、路口碰撞警示系統(Intersection Collision Warning)、行人偵測警示系統(Pedestrian Detection and Warning)都和國外研究有相同的成果。並朝著智慧型行車資訊系統、駕駛狀態偵測、主動式安全系統和全自動化導航系統的方向發展。

在未來我們也希望將智慧型載具可以在高速公路上甚至在市區道路上，以全自動駕駛的方式行駛，且透過各種電子儀器設備來偵測到路線、行人偵測案車輛等障礙物的偵測，再透過電子設備來輔助智慧型載具之安全。而國外近年來也開始發展無人駕駛汽車（Self-driving Car），不但有高速旋轉的雷射測距儀可以取得周遭環境之所以距離資訊，更有攝影機來判斷交通號誌和偵測車道線等功能來完成此無人駕駛的智慧型載具。並在近期正式發出車牌且可以在公路上行駛。

總而言之，結合先進感測與控制技術，發展智慧型載具提供人們在交通運輸上更便利與更安全的舒適環境，已是先進國家發展的重要指標因素，不論產、官、學、研各單位更應整合相關研究能量致力發展前瞻技術，增進國家競爭力與提高社會福祉。

(二)、 參考文獻

[1] G. K. Mitropoulos, I. S. Karanasiou, A. Hinsberger, F. Aguado-Agelet, H. Wieker, H. Hilt, S. Mammar, and G. Noecker, “Wireless local danger warning: cooperative foresighted driving using intervehicle communication”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol.11, pp. 539-553, Sept. 2010.

[2] H. K. Chan, “Agent-based factory level wireless local positioning system with zigbee technology”, *IEEE Systems Journal*, vol. 4, pp.179-185, June 2010.

[3] H. Lee, S. Chang, D. Yook, and Y. Kim “A voice trigger system using keyword and speaker recognition for mobile devices”, *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 55, pp. 2377-2384,

Nov. 2009.

[4] B. Ni, Z. Song, and S. Yan, “Web image and video mining towards universal and robust age estimator”, *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 13, pp.1217-1229, Dec. 2011.

[5] C. Spelta, V. Manzoni, A. Corti, A. Goggi, and S. M. Savaresi, “Smartphone-based vehicle-to-driver/environment interaction system for motorcycles”, *IEEE Embedded Systems Letters*, vol. 2, pp.39-42, June 2010.

[6] S. Gidel, P. Checchin, C. Blanc, T. Chateau, and L. Trassoudaine, “Pedestrian detection and tracking in an urban environment using a multilayer laser scanner”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol.13, pp. 154-165, Sept. 2010.

[7] K. Jo., K. Chu, and M. Sunwoo, “Interacting multiple model filter-based sensor fusion of GPS with in-vehicle sensors for real-time vehicle positioning”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, pp.329-343, March 2012.

[8] V. S. Jr., Z. Machacek, R. Hercik, R. Slaby, and V. Srovnal, “Intelligent car control and recognition embedded system”, *International Multiconference on Computer Science and Information Technology (IMCSIT)*, pp.831-836, Oct. 2010.

[9] T. Sukuvaara, and P. Nurmi, “Wireless traffic service platform for combined vehicle-to-vehicle and vehicle-to-infrastructure communications”, *IEEE Wireless Communications*, vol. 16, pp.54-61, Dec. 2009.

[10] T. Nguyen, B. Michaelis, A. Al-Hamadi, M. Tornow, M. and Meinecke, “Stereo-camera-based urban environment perception using occupancy grid and object tracking”, *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 13, pp. 154-165, 2012.

[11] J. S. Ju, Y. Shin and E.Y. Kim, “Intelligent wheelchair using head tilt and mouth shape”, *Journals & Magazines*, vol. 45, pp. 875-875, Aug. 2009.

二、 規劃內容

(一)、 研究方向與具體建議：

1. **載具之外部偵測技術：**

隨著科技的發展，人們從以前的步行到現今有了電動輪椅、機車、小客車、大客車等代步工具，這雖然提供了一個更舒適的環境和縮短了來回目的地的時間，但伴隨的是交通肇事率日趨提升。在此人們開始研究如何利用一些外部偵測技術，在面對障礙物突然的出現、駕駛者偏離道路線等突發狀況時，能即時或提前的提醒駕駛者，使交通肇事率得以下降，做到安全駕駛之目的。

電動輪椅方面，可以藉由雷射測距儀經由雷射的反射來偵測障礙物的位置和大小，單雙眼攝影機所取得的影像資訊經過演算法處理辨識出障礙物的顏色、大小和位置等訊息，在較短程的距離方面可以使用較便宜的超音波感測器來替代雷射測距儀完成短距離的偵測，用以完成避障、巡航等功能。在輪椅上裝上聲音感測器、壓力感測器、扭矩計、慣性量測儀(IMU)、攝影機等感測器來監測

使用者的行為和狀況。藉由聲音感測辨識可以讓使用者只靠說出關鍵字即可啟動輪椅和使輪椅產生使用者所需要之行為[3]。國內工研院(ITRI)資通所(ICL)也在語音人機互動技術與應用的發展技術也有相當成熟的研究成果，可以透過語音辨識後的結果來加以控制智慧型載具，更可以讓使用者與智慧型載具互動成為使用者的智慧看護。在輪椅上加裝壓力感測器、扭矩計可以經由收集使用者施加於輪椅力量的大小和方向得知使用者的意向，再進而運算後下控制命令給馬達產生輔助使用者行有的力量，減輕了復健者或老年人在行走方面的困難度，達到更貼近人性移動的輔助。加裝在慣性量測儀可以得知輪椅是否有翻覆或者使用者是否有在爬坡或下坡等狀況，可以即時的發出訊息給遠端的監控端，以隨時了解使用者的狀況。攝影機加裝在輪椅上可以監控使用者的臉部和肢體動作，做到分辨出使用者的性別、年齡[4]，以不同的行為模式去配合不同的使用者，也可依使用者的肢體行為判斷出輪椅的何種行為模式對使用者來說是最省力、舒適的模式，讓使用者的使用更加為方便舒適。

機車方面，由攝影機可以將左右方和後方的影像資訊顯示在安全帽前的護目鏡，減少騎士在騎車的時候的視覺死角，讓騎士在駕駛機車時更方便。經由加上雷射測距儀後更準確的來判斷騎士在過彎的時候左右後方是否有機車、汽車或行人等物體的接近，經由藍芽傳輸顯示在安全帽前頭的護目鏡上，在遇到突發狀況的時候也可以藉由安全帽顯示環境狀況用警示音或警示燈來即時的提醒機車騎士。在事故發生時也可經由全球定位系統(GPS)和攝影機把機車位置和影像等訊息藉由安全帽將傳至遠方的監控端[5]，達到即時救援的效果，讓交通肇事率和事故傷害得到降低。

汽車方面，使用攝影機和雷射測距儀來偵測行人、汽車、障礙物[6]。車輛在行駛的時候，藉由障礙物的偵測，可以預防小孩或者是其他物體跑入駕駛路徑造成危險。經由偵測前方和後方車輛的行車距離，時刻的提醒駕駛者是否有保持安全距離，有效的減低追撞車禍的發生。在藉由攝影機影像實現道路線偵測方面，只要發現了車輛本身有不正常的偏離行駛軌道情形，能以警示燈或警示音來提醒駕駛者，駕駛者在收到警示後能適時的歸正方向盤，降低事故的發生。在車輛倒車入庫或路邊停車時，車輛後方的資訊對於駕駛者來說是相對重要的，藉由雷達和攝影機所收取的影像物體位置資訊，以輔助駕駛者完成停車動作且可以用所收取的障礙物位置資訊來達到自動停車的功能。對於大客車、大貨車來說，藉由雷射測距儀和攝影機建立起的一個盲點偵測系統，在轉彎的時候駕駛者可以在螢幕上接收到左右側的路況資訊，如果有機車、汽車或行人闖入轉彎的死角中，也可以藉由警示燈或者警示音來警告駕駛者，達到安全過彎的目的。在街景建圖方面，可以在車輛裝上用雷射測距儀、攝影機，在車輛行駛的過程中收集點雲資訊和影像的顏色資訊來重建立體街景。

最近美國內華達州政府已經正式發放牌照給 Google 研發多時的自動駕駛車，這輛自動駕駛車

首度能合法的在路上行走。這台自動駕駛車主要不是靠攝影機的影像來做障礙物偵測，而是靠車頂一個可以高速旋轉的雷射測距儀，藉由雷射反射來判斷周圍障礙物的大小和位置來準確的達成閃避障礙物的功能。而在車內另有安裝攝影機將其所收集的影像資訊能用來辨別交通號誌和道路線等訊息，達成完備的智慧型無人駕駛載具系統。

所以透過這些先進之外部偵測儀器來取得智慧型載具之外部環境即時資訊，結合無線網路和智慧型手機等電子設備，已建構更智慧的交通資訊即時傳輸系統，讓駕駛者能夠取得最即時的交通狀況，例如在道路上有擁塞或是交通事故的發生，可以透過無線網路系統來通知後方車輛來避開此路段，也可以立刻通報相關單位來做後續的處理和救護。且更透過這些外部環境資訊，來做適當的控制智慧型載具，使智慧型載具在最安全的狀態下行駛。

2. **載具之交通即時資訊接收技術：**

在現今網路通訊技術發展非常快速下，駕駛人可以透過智慧型手機(Smartphone)或是智慧車載終端機(Telematics terminal)來接收當下路口的即時資訊，或是查看每個路口的即時資訊以了解是否有交通事故或是交通擁塞的狀況，以達到更有效率且省時的行車路徑規畫。更可以即時獲得路口代理人系統所發送給的安全狀況以智慧型手機或智慧車載終端機來警示駕駛人。且可以針對不同的類型之智慧型載具來設計不同的接收訊息和載具的控制。

目前交通即時訊息主要都透過路口攝影機、雷射測距儀和 GPS 等先進的儀器來取得道路上的所有資訊[7]。或是在智慧型載具上裝設攝影機、慣性量測單元和雷射測距儀來獲得智慧型載具之駕駛行為，並且透過智慧車載終端機整合運算後，以提供駕駛人即時車輛外部環境和車輛安全之即時訊息，並可以透過 CAN-bus 和其它電子設備產品來讓智慧型載具獲得適當的控制[8]。

在現今老年化的社會中，對於老年人和身障人士之智慧型載具有許多的發展來服務老年人和身障人士之行動。在室內型智慧型載具可以透過室內定位系統來取得使用者的即時位置，並可以透過智慧型手機來做遠端監控，以達到對老年人和身障人士的照護。並可以發展智慧型輔具來協助使用者，並透過壓力感測器、扭矩計和光學編碼器量測使用者之意向和所處環境，來加以控制智慧型輔具讓使用者得到更有效的輔助力。且能更進一步的使智慧型載具能循跡控制和智慧型功能，且可以和使用者互動，讓使用者可以更容易操作智慧型載具。

而可以更進一步的將智慧型載具應用於路口、醫院和公園等等的室外環境，讓老年人和身障人士有更多的活動空間。在路口可以透過雷射測距儀和攝影機來監控路口之狀況，且透過無線網路將此即時資訊傳送至路口智慧型載具上，再經由智慧型載具上算後做出適當且安全的控制，以讓老年

人和身障人士可以安全的通過此路口。且可以在醫院和公園戶外環境架設智慧型載具且結合自動駕駛系統來建構一套導覽行智慧型載具，以提供老年人和身障人士可以走出戶外的機會。

近年來在智慧型車輛之交通即時資訊接收技術，主要注重於 V2I (Vehicle-to-Internet) 和 V2V (Vehicle-to- Vehicle)的通訊[9]。在 V2I 主要是透過無線網路將路口號誌、路口攝影機和雷射測距儀傳送至智慧型載具上之智慧型手機和智慧車載終端機上,讓駕駛者可以即時且即早了解到路口的所以資訊，並在接收到危險訊息時可以讓智慧型載具做出最適當的安全模式控制。

透過智慧車載終端機的無線網路傳輸模組來建構一套 V2V 的網路系統。並可以將所有道路資訊透過雲端計算後，再將所有路況透過 V2V 網路傳送至智慧型載具上，以提供駕駛者各路段的車流狀況讓駕駛者避開擁塞路段，以節省行車時間且減少擁塞的狀況。更可以將交通違規、號誌故障和交通事故等道路資訊傳送至救護和警政施工單位，以達到最有效率的救護和修復工作。

3. **因應外部即時資訊之載具控制：**

智慧型載具之外部偵測系統可分為很多部分，例如雷射(laser)、光達(LIDAR)、全球定位系統(GPS)、機器視覺(單眼視覺、雙眼立體視覺)、即時射頻辨識技術(RFID)等，由這些接收外部之道路環境，以便在運算後取得最即時且安全的控制。

在智慧型載具之控制中，利用機器視覺進行外部資訊的偵測，產生軌跡線進行對智慧型載具之循跡控制，並且透過機器視覺障礙物和行人等的辨識技術，且對於環境中的地標或特徵點作辨識，而達到定位之效果。利用雷射測距儀，可得知智慧型載具周遭之距離資訊，由於雷射測距儀可以得到高精確度、高解析度之性能表現，同時能在不同的天候情況下使用，應用雷射測距儀所得之的距離資訊可以對載具設定一安全區域，將可針對範圍內與智慧型載具距離過近之物體進行閃避的控制。同時利用機器視覺辨識障礙物、行人或車輛等物件，與雷射測距儀進行整合得到障礙物、行人或車輛之距離資訊，將可進行閃避障礙物以及跟隨行人的控制[10]。

機器視覺除了辨識智慧型載具周遭之環境外，亦可針對乘載之使用者進行辨識，依據使用者所視注之方向、嘴型的變化來判斷使用者的意圖，分別做出前進、停止、左轉或右轉等功能，並偵測駕駛者是否有疲勞的狀態來加以控制煞車等安全模式之控制[11]。

一般智慧型載具在戶外的定位，能藉由 GPS 達成，透過 GPS 得之智慧型載具之經緯度資訊，並給定目標地之經緯度，則可以藉由之間的差異來給定智慧型載具之航向角，並透過已知的地圖資訊進行路徑規劃，能給予智慧型載具長距離的的運輸功能。

在路口環境中，對於路口號誌、交通狀況的掌握，除了能利用機器視覺辨識技術外，亦可透過路口間之無線網路通訊，給予智慧型載具了解路口是否為可通行狀況，或是於交通流量較大、或是

事故等狀況時，給予更新的路徑規劃，以讓智慧型載具可以達到即時避開此路段之功能，且在危險狀況下做出即時之控制。

在室內的環境中，常見的有 RFID，但 RFID 侷限於小範圍定位、且為被動式，且必須在行動裝置上附加讀取器並靠近目標物讀取，才能達到定位效果。而 ZigBee 技術強調低成本、低複雜度、低功率、高擴充性，因此常用於室內的定位，可以藉由此定位系統來做智慧型輔具在室內或是特定範圍內之循跡控制。

機器視覺亦可用於智慧型輔具之室內環境中的循跡輔助控制，在室內環境中，比戶外環境之光害影響來的較小，對於偵測智慧型輔具周圍之障礙物、行人將會有更佳的辨識效果，並可以利用立體視覺來計算障礙物之距離，讓智慧型載具可以依此資訊來控制動力輸出和煞車系統。且在室外也可以先經由影像前處理後在做後續處理，來辨識交通號誌等狀況，使我們的智慧型載具有更安全且更有人工智慧的功能。

自動駕駛已是各大車廠最重要的研發目標，目前已有許多成果發表並實際上路，此項研究不僅提供道路導航、路徑規劃、自動避障、巡航與自主駕駛。大大降低駕駛人的負擔與增加安全駕駛。但是相關法規制訂與系統的可靠性仍是需要進一步考量與設計。科技不斷的進步，相信不久的將來，人們擁有自己的霹靂車，不再只是夢想。

(二)、 每年經費建議

1. 發展整合駕駛人交通即時資訊之智慧型載具設計，每件平均100萬元。

2. 預估每年1000萬元

子題二：智慧型運輸系統

副召集人：蘇昭銘教授

次子題二：整合智慧路口技術與車輛駕駛資訊警示系統設計

規畫委員：陳彥霖教授

一、 前言

近年來隨著高科技交通資訊與通訊系統與汽車用電子化駕駛輔助系統的高度發展，智慧型運輸系統（Intelligent Transportation Systems）逐漸受到國內外政府與企業的廣泛的重視與發展，其主要發展精神在於針對不同的『人、車、路』特性，結合資訊、控制、通訊、電子、與管理技術，以強化及改善交通運輸系統之效率，同時提高運輸系統的安全性，以減少人員生命與財產的損失。然而，早期 ITS 技術發展對於行人的重視程度一直不如對汽車者。有鑑於此，我國在 2002 年在國家級 ITS 系統的發展重點架構裡，針對智慧路口之需求，增加了「弱勢用路人保護服務」重點項目，以提高對於行經路口的用路人族群的保障。

對於用路人警示與保護技術之發展，其中弱勢道路使用者保護服務 (Vulnerable Individual Protection Service，VIPS)相關實施研究發展係為提供所謂弱勢用路人一個安全的運輸環境，以落實「人本運輸」之理念。然而，國內目前的 ITS 發展，目前並無針對弱勢用路人「保護」方面加以探討與研究，目前台灣路權是優先配置給載運最多人運具，如小客車、公車等，對於弱勢的用路人之路權則顯少探討。基於目前弱勢用路人的交通事故問題相當嚴重，因此，正視弱勢用路人的保護，刻不容緩。弱勢用路人(Vulnerable Individuals)係指在道路上移動時，因為速度較慢或是缺乏保護措施，需要主動為自身安全而閃避其他運具的用路人。在國家級 ITS 系統架構中，弱勢用路人則包括機車騎士、腳踏車、行人、高齡者、身心障礙人士等。而上述之弱勢用路人族群中，行人相對於其他用路人弱勢，且行人中的高齡者、孕婦、孩童、與身心障礙者相對其他用路行人又更加弱勢。高齡者因生理機能退化、孕婦及孩童則因為其身體狀況較為不便利、而身心障礙者則是因為生理機能之限制，以致於對於道路交通的即時變化較難以即時掌握，因而增加其用路之困難性與潛在危險性。

(一)、 研究動機與國內外研究現況：

對於新一代智慧型路口系統之研發，必須要能結合對於弱勢道路使用者的警示與保護議題，在國際上之先進國家近年來在智慧型運輸系統發展中，逐步重視弱勢用路人用路保護以及支援課題，企圖應用先進的運輸科技整合，降低弱勢用路人用路障礙並且給予適當之支援輔助，提升整體用路安全，維護他們平等之用路權益。

對於智慧型路口與弱勢用路人保護之研發，目前國內投入者以鼎漢國際工程顧問公司與交通部運輸研究所所執行之「先進弱勢用路人支援輔助系統之示範與建置」計畫[1]為代表。而由於早期常見的按鈕式行人保護機制對於許多用路行人來說較為不便，也因此其使用之效果較為不彰。因此

該計畫對於行人安全防護技術部分的建置與發展，主要是採取在行人穿越道設置感應鋪面及嵌入式行人穿越道燈、倒數計時號誌、有聲號誌、及按鈕式行人保護機制等方式，在行人穿越時以閃光號誌啟動警示，並以被動方式調整交通號誌機制以保護行人。

而目前國外先進諸國，近年亦早已重視路口用路人安全保障的趨勢，積極推動各項智慧路口與用路人保護之技術/系統的建置與發展。國外目前針對路口之用路人安全保護措施多是針對十字路口環境設計，可以分為幾個方向：以聲光提醒附近車輛、調整行人綠燈時相、藉由車輛主動防撞系統警示與特殊需求之導引裝置。其中鄰近的日本為改善該國嚴重的社會高齡化問題，在其智慧型運輸系統發展中定義了「行人等之支援系統」，應用資通訊科技降低行人等弱勢用路族群之用路障礙，並積極提昇全體用路人安全，以維護社會福利實施。

對於提供弱勢用路人、與車輛必須之路口交通動態資訊，以提供路口自動化控制系統或交通管理中心加以判斷處理、並即時警示車輛駕駛與保護用路行人之需求，因此道路與路口行經之車輛與行人之動態之即時偵測與分析技術亦是相當重要的。在國內外對於道路與路口車輛動態分析所使用之技術，主要有埋設磁性感應器、微波感測器、紅外線感測器、雷達感測器、影像式偵測器等技術[2]-[4]。然而，上述技術仍有精確度受限於不同天候、難以完整判斷車種與車速、難以處理國內道路環境常見之機車與大小客車混雜情況、及鋪設成本過高問題。也因此，針對國內道路環境需求，發展能夠有效偵測與判讀行經道路路口車輛之動態資訊，並加以提供用路人必要之警示資訊之技術，對於智慧型路口之用路人保護機制與系統之發展是非常必要的。

而對於步行用路人偵測與保護技術部分，目前先進諸國所開發之智慧路口技術與系統，其中較具代表性的有美國所發展的 PedSmart 計畫 [5]、英國的先進弱勢用路人保護計畫 APVRU 計畫[6]、以及日本的日本國土交通省步行者 ITS 系統計畫[7]，這些計畫對於行人偵測所採用的技術，主要包含行人攜帶之感應裝置、微波感測器、紅外線感測器、雷達感測器、影像式偵測器等技術。美國所發展的 PedSmart 計畫[5]對於穿越路口的行人偵測所採用技術，主要包含微波感測器、紅外線感測器，這些裝置主要裝設於洛杉磯、波特蘭與奧勒崗州等地，其原理均為對路口行人穿越道上設定一個或數個偵測區域，當有行人通過時則透過訊號的改變特性而判定行人偵測之結果，並以此為交通號誌之控制機制。而英國的先進弱勢用路人保護計畫 APVRU 計畫[6]則是透過裝設於車輛上之複合式雷達感測器與紅外線感應器來實現行人偵測與保護，其中雷達感測器用於偵測車輛前方物體的活動範圍及其大致方位，而紅外線感應器則依據所偵測得知影像依物體的大小、形狀、位置與分佈等資訊以判斷是否為弱勢用路人，以作為啟動安全防護系統之機制。日本的日本國土交通省步行者 ITS 系統計畫[7]則是透過高齡者與行動不便之用路人攜帶之無線感測裝置，當他們行經路口時，

經由裝設於路口之監控設施，隨即以警示訊號通知用路人，並啟動適當保護機制。而由於對於行人動態偵測與分析，新一代以電腦視覺為基礎之行人動態偵測辨識技術，也基於電腦處理器運算能量之增加，而逐漸成為可以獲得更充足之行人狀態資訊之極佳解決方案[8][9]。因此，發展一系列低成本而有效之新一代智慧路口行人偵測與保護系統，其需要具備可即時對行經路口的各種不同類型之行人，能夠即時的加以偵測、標定、追蹤，並加以區分出各種行人行走之模式，其中將包含成人、老年人、孕婦、幼童或是行動不便人士（如使用拐杖及輪椅等輔助代步工具之人士）等不同特性之行人的行動特徵，以即時的判斷與啟動智慧路口自動化保護機制，以更有效保障用路人之生命財產安全。

然而，國內目前所應用之智慧型路口與用路人保護技術，及仍屬於由用路行人被動方式啟動路口保護機制，因此在使用方便性與對於用路人之保護上，仍有很大之改良與研究發展空間，也因此亟需發展智慧型與自動化之路口用路人保護與警示技術與系統，提供民眾一個安全、便捷、與高效率的交通運輸與用路環境。對於智慧型路口系統之需求，如何有效調和與整合「人、車、路」三者不同特性，以快速且即時的掌握道路與路口之使用者與交通動態，以有效判斷是否有潛在危機、分析需要受保護道路使用者、警示可能肇事之車輛駕駛、保護弱勢用路者等智慧自動化路口系統所需之重要機制。

(二)、 參考文獻

[1] 鼎漢國際工程顧問股份有限公司,「先進弱勢用路人支援輔助系統之示範與建置」，交通部運研所, 2005.

[2] D.R. Middleton, and R.T. Parker, “Summary Report on Evaluation of Vehicle Detection Systems”, PSR. 0-2119-S, Texas Transportation Institute, College Station, TX, 2005.

[3] V. Kastrinaki, M. Zervakis, K. Kalaitzakis, “A survey of video processing techniques for traffic applications”, *Image and Vision Computing*, vol. 21, no. 4, pp. 359-381, 2003.

[4] Z. Sun, G. Bebis, and R. Miller, “On-road vehicle detection: A review”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 28, pp. 694-711, 2006.

[5] PedSmart System, http://www.walkinginfo.org/pedsmart/home.htm

[6] UK Department for Transport,「Vehicle Standards and Engineering Research ＆Compendium of Research Projects 2002/2003」, 2003.

[7] 日本國土交通省步行者 ITS 介紹網站, http://www.its.go.jp/ITS/j-html/Pedestrian/koubo-2/about_its.html

[8] T.B. Moeslund, A. Hilton, V. Krüger, “A survey of advances in vision-based human motion capture and analysis”, *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 104, no. 90–126, 2006.

[9] P. Viola, M. J. Jones, and D. Snow, “Detecting Pedestrians Using Patterns of Motion and Appearance”, *International Journal of Computer Vision,* Vol. 63, on. 2, pp. 153-161, 2005.

二、 規劃內容

(一)、 研究方向及具體建議

1. 智慧型路口車輛偵測及監視控制技術

對於先進智慧型運輸系統技術發展，偵測與分析所有行經道路路口之車輛，並偵測獲得行經路口的車流交通量資訊，可提供自動化路口交通狀況事件分析與監控、及提供行人路口安全資訊與保護。目前對於車輛偵測器所使用之技術，主要有微波感測器、紅外線感測器、雷達感測器、影像式偵測器等技術。然而，國內目前除了高速公路之偵測器佈設較為完整外，省縣道與都市道路則因偵測器價格昂貴及不易辨識機車的限制，而導致佈設數量不足。長久以來，國內使用的車輛偵測器多採用國外產品，不僅單價偏高，且維護不易，同時國外產品對於國內複雜的交通環境（如機車）在偵測上，更為有所限制，且易受天候與白天、黑夜道路環境特性影像。再者，有鑑於近年酒駕肇事頻繁發生，因此對於行人安全保障而言，有效且準確分析辨認即將行經路口的車流量、車輛種類、車輛動態，並即時加以監控可能肇事之狀態、與對於駕駛人與行人進行警示與保護，是非常重要的研究課題。

有鑑於此，研發具備符合國內本土交通環境特性、且大量普遍佈設之合理成本、具備自動偵測環境參數能力（包含對於各種天候、日間、夜間、都市、鄉間...等等不同路口環境皆能有效偵測與監控）、並能偵測多重方向多車道、車速與是否有違規駕駛、可辨別包含機車在內的多種不同特性車輛種類等重要功能之智慧型路口車輛偵測監視控制系統及其相關關鍵技術，對於智慧型路口安全防護技術、保障國人生命財產安全等需求，是非常關鍵的。此外，對於提前預警與保障行經路口行人之議題，有效偵測與預測可能從各種方向各條車道通過路口的各種車輛之全程軌跡動態，以辨識分析可能潛在之路口意外危險性，並應用各種無線通訊技術，以提供行人與駕駛人警示、紀錄可能事件、並傳輸至交通監控與執法系統中心，將可對於各種可能之路口肇事意外、違規駕駛行為等事件有效提供事前預防與用路人保障、與事後執法取締與舉證等功能等相關研究發展方向，對於智慧型路口關鍵技術之發展，亦為相當重要之議題。

2. 弱勢用路人偵測與輔助技術

為能提供行人能夠安全穿越馬路，以及使接近路口的車輛駕駛人能掌握前方道路之狀況，亦需有效偵測與分析辨識對於穿越路口的行人動態之技術模組。對於智慧路口之行人防護技術需求而言，偵測與辨別穿越路口之行人動態，並分析其中是否有需要進一步的協助與防護之身心障礙與年長行動不便之弱勢用路人， 以進一步保護他們能夠安全穿越馬路，並透過無線通訊技術，以傳送必要路口行人動態資訊至車載資通訊平台，以使接近路口之車輛駕駛人能夠掌握前方道路是否有行

人穿越馬路，以避免造成任何可能之交通事故。現今國內外所開發與應用於路口行人偵測與用路人輔助之技術，主要包含行人攜帶之感應裝置、微波感測器、紅外線感測器、雷達感測器、影像式偵測器等技術。然而，現有常見之路口行人感測器，仍感測範圍與距離仍有受限，且難以較精確判定行人的距離、位置、行進方向等進一步的前方交通狀況感知，因此常需要大量的裝設感測器形成感應器陣列，並設置專門判讀所感應獲得之訊號之運算裝置，如此則大幅提高其成本代價。

因此，研發新一代可適用於國內道路環境之路口行人偵測、定位、輔助與保護系統，其需具備能夠適應於各種天候狀況、早晚時間、環境光線狀況，且能提供足夠廣泛之偵測監控範圍，並有效偵測、分析與監控行經路口的行人的動態、距離、位置、與行進方向、是否發生狀況需要協助等狀況資訊，尤其應經由行人之行走動態特徵（如正常人、老年人、孕婦、幼童、或行動不便人士），以偵測與定位目前正在通過路口之行人，其中是否有需要協助與保護之年長與行動不便之行人（如使用拐杖、行走不便、身心障礙、及輪椅等輔助代步工具等人士）。為能達成上述研究目標，研發即時快速人工智慧運算系統的分析與運算系統，以在第一時間偵測判斷出路口的交通動態與行人狀況，以即時提供遠端或雲端交通監控中心、與具備行動式車載資通平台的駕駛員迅速的作出正確的判斷，以即時的判斷與啟動自動化保護機制、並避免任何可能之肇事狀況發生，亦是相當重要之研究主題。

3. 智慧路口交通資訊傳遞與控制系統

先進智慧型交通管理與決策控制系統，可結合交通車流量、及路口行人動態等交通參數，對於道路資源進行最佳化之交通管理與決策控制，並基於各種道路與路口由多處偵測裝置所獲得人車交通參數，以評估道路資源使用狀況之特定關係。如針對地區路段某些路口人車阻塞造成附近各道路路口交通狀況變化等線線之關連性，可以藉由開發各種人工智慧自動化技術（如時間序列回歸分析技術、機器學習、專家系統、貝式網路決策機制、類神經網路、智慧型代理人技術、環境智慧感知等技術），及建立統計模型與最佳化決策控制等新一代關鍵技術，以制定最佳之道路使用規劃。而對於交通管理與道路使用規劃之最佳化，即可發展交通號誌邏輯之智慧型最佳化控制技術，並發展無線通訊應用技術即時提供交通資訊予行人與駕駛人之手持平台與行動終端系統，以提供用路人獲得即時道路路口交通狀況，提供其採取最佳之行動路線，獲得最少之延遲，以有效提升度路之交通運輸效率。

再者，這一系列智慧型交通管理與決策技術亦可應用於匝道控制管理，基於各處道路與路口所偵測獲得之人車交通參數，提供交通管控中心以自動最佳化技術控管匝道交通號誌，以使地區快速道路與鄰近之區域道路之交通流量狀況，能獲得最管理控制使用路人能達到最少之延遲與干擾。而

對於步行用路人而言，路口交通控管系統可再進一步與大眾運輸動態資訊系統加以結合，並經由行人所持有之手持行動終端裝置，即時獲得各道路路口交通狀況，並提供旅行者到達目的地的最佳且即時之大眾運輸系統搭乘與轉乘行程規劃，以使其能以最少延遲與最佳效率到達目的地。

4. 個人化智慧型路口導引資訊系統

在行車時，當駕駛者沒有將視線放在行車的前方上，是容易發生行車意外之主要原因之一。以往駕駛者往往為了注意儀表板中的行車資訊、照後鏡、行車導航等裝置時，而離開行車前方視線，待從儀表板中的行車資訊、照後鏡或行車導航等裝置回到行車前方視線時，可能會有潛在的行車意外發生。為了減少駕駛者離開視線去注意行車相關資訊，藉由 HUD 抬頭顯示器(Head Up Display)，將行車資訊透過投影器或是其他方式，將行車資訊投影至車輛前方之擋風玻璃，讓使用者在行車時，除了可以注意前方路況，同時也能得知駕駛所需的行車資訊，更進一步結合電子地圖、網路資訊、GPS 定位技術以及影像擷取與分析技術，整合出一套具備 AR 特性之行車駕駛輔助系統，透過投影電子地圖或是虛擬路標至駕駛者前方擋風玻璃，結合影像擷取與分析技術，該技術，擷取並分析行車號誌，得知目前行車車道是否進行限速等，讓駕駛者可以不必將視線轉移至其他裝置上，只需要注意前方視線即可得到駕駛所需要的各項資訊。而在行車與行人導覽方面，結合電子地圖、網路資訊與 GPS 定位技術，發展智慧型路口導覽系統，協助行人或外地旅行者以及駕駛者，快速了解當地路況，並提供路口導航，協助使用者快速到達目的地以及有效協助駕駛人避開壅塞的路段，快速到達目的地，對於道路的有使用效率也會有很大的幫助。此資訊系統可作為旅行者、行人、駕駛者行前規劃與建議、行程中動態路徑指引、提供個人化的友善人機介面。同時如何將路況資訊及地理資訊系統的資料，提供給用路人動態路徑規劃使用。

5. 視障行人輔助技術

視障行人在穿越馬路時，能仰賴的大多是其手上的導盲手杖等輔具，以碰觸方式來判斷出現於前方環境中所出現的障礙物的形狀與特徵，並做出對應之行動，或是利用超音波的方式，如同蝙蝠一樣，透過超音波，當遇到物體後，超音波反射回來，並將反射的音波以特殊的方式轉換為可以聽到的頻率。然而，透過手杖的觸覺以及超音波轉換方式，進行感知複雜的周圍環境有其侷限，在交通路口的環境中所出現的多樣可能障礙物，例如人、寵物、車輛、安全島等動態與靜態之障礙物，視障行人必須要於手杖所能接觸到的距離內方能得知障礙物的存在，以及必須透過不斷的去接觸物體才能較為完整的獲知周遭環境中障礙物之所在。而透過超音波方式進行轉換，由於是採用較於被動的方式去感知周遭環境，一旦周遭環境較為複雜，存在障礙物較多可能障礙物與可能威脅時，對於超音波反射的轉換與分析，勢必無法獲得預期警示效能。再者現今有各種感

測裝置，例如：紅外線感測裝置，可以藉由紅外線方式，主動探查周遭環境，藉此協助視障者整個環境，協助其進行判斷。因此，發展一系列技術與系統，以結合各種感測器，如超音波、紅外線、雷射測距感測器、與影像感測器等，並藉由發展人工智慧與多重感測器資訊融合等技術（Sensor Fusion、Ambience Intelligent ），以即時判斷視障使用者前方所有可能物體（如人、寵物、車輛、安全島等動態與靜態之障礙物），並分辨這些障礙物與視障者的相對動態關係，以即時分析可能威脅視障者安全之障礙物，並藉由即時語音等方式，以協助視障者即時感知視障者周遭環境狀況，提供即時且準確的資訊給予視障者，協助視障者判斷自身周遭的環境，並透過無線通訊技術，提供即將行經路口的車輛駕駛人必要之警示訊息。如此，協助視障行人迅速建立前方交通狀況判斷，並做出妥善的行動加以規避可能的危險性，以能夠安全的穿越馬路或行走在街道之中，對於視障朋友生活上的便利性與安全保障，是非常具有其重要性的。

6. 嵌入式駕駛資訊警示技術與行人行動保護資訊系統

近年來嵌入式系統（Embedded System）的興起，藉由各種低功率與手持嵌入式微處理器（如 ARM、MIPS）、數位訊號處理器（DSP）、以及可程式化系統晶片（FPGA）運算能力的提昇與進步，透過結合網際網路、影像視訊、無線通訊、GPS 衛星定位訊號、G-Sensor 等各種感測裝置，藉由這些技術與感測裝置，使得嵌入式系統變得越來越多樣、便利與智慧化。再者，結合即時人工智慧運算系統，可提供從行車路徑規劃到自動偵測障礙與潛在危險等智慧輔助機制，以提昇駕駛人的警覺與安全性，亦或透過衛星定位資訊找出目前所在位置，自動規劃出前往目的地的最佳路徑，或是透過網路取得道路各種資訊，讓行車更加便利，透過 HUD 抬頭顯示器 (Head Up Display) 等方式，讓行車資訊在擋風玻璃之中一目了然，減少因分心所帶來的潛在危機，這些都是藉由整合各種演算法以及感測器的資訊，並加上人工智慧的協助，讓系統所感測蒐集的道路路口交通動態資訊，可以轉化成為方便了解的資訊。此外，藉由 AR（Augmented Reality）技術的導入，結合 HUD 以及導航技術，可讓駕駛者更容易的知道導航指示。對於路口監控方面，藉由攝影機、感測器等裝置，蒐集路口交通資訊，結合網際網路、無線通訊，可讓路口交通資訊透過網路進行傳遞傳送至遠端中心進行分析，亦或結合微處理器（如 ARM、MIPS）、數位訊號處理器（DSP）、以及可程式化系統晶片（FPGA）運算能力，成為一套獨立運作的嵌入式系統，以運用該系統，分析各種路口交通狀況，根據分析的交通狀況，自動協調與控制各個路口的交通訊號。更可結合智慧型系統，自動偵測是否有行人需要協助，或事件以及意外發生，可立即通知遠端監控中心尋求協助，讓交通環境更加安全、發達與便利。

再者，對於步行用路人而言，由於現今的主流智慧型手持行動裝置的普及與發達，多數手持

裝置更整合了無線通訊、GPS 定位資訊、G-Sensor 重力感測器、電子羅盤、Camera 攝影機等感測裝置（如 iPhone、Android Phone、Windows Phone 等主流平台），且這類智慧型手持裝置並皆具備作業系統，可藉由開發 APP 方式來來提供手持行動系統更多樣化的應用，根據每個 APP 的特性，變成各種不同功能的手持行動裝置，使得現在的手持行動裝置，不再只是協助人們接聽電話等功用。因此，對於步行用路人輔助與保護之應用而言，可以將所發展之智慧型用路人保護與輔助技術加以結合於智慧型手機平台上，提供使用者藉由智慧型手持行動裝置以結合 GPS 衛星定位資訊與無線通訊技術，取得各種交通資訊、與即時警示資訊，也可透過導航，取得城市導航資訊，亦或透過交通資訊中心取得交通工具資料，讓使用者到了各個地點都能快速的掌握交通資訊。再者，對於視障用路人輔助系統之發展，智慧型手持裝置系統可結合攝影機 Camera 模組、以及視覺辨識等技術，提供視障用路人一個輔助辨識環境的工具。如此，可以讓所有用路人身上的手持行動裝置，提供各種智慧與便利之交通安全防護與輔助功能，創造更多行動加值應用。

(二)、 每年經費建議

1. 發展智慧路口技術與車輛駕駛資訊警示之整合技術與系統之研究，每件平均100萬元（含實驗材料費、論文發表費、儀器設備費、及差旅費等）。
2. 預估每年1000萬元

子題二：智慧型運輸系統

副召集人：蘇昭銘教授

次子題三：整合駕駛人之生理監控之智慧型載具設計

規畫委員：黃聖傑教授

一、 前言：

(一)、 研究動機與國內外研究現況：

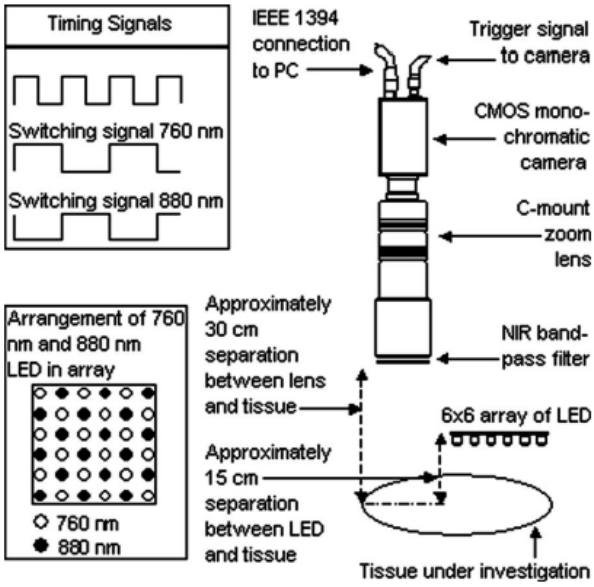
近年來因為駕駛人疲勞、酒駕或是心臟疾病等疾病造成交通意外事故，特別是職業駕駛在長期開

車情況下，更容易發生此種徵狀，若是大客車駕駛人，其對全車數十人乘客之生命財產影響將更大，故未來如何能透過雲端監控技術，盡早發現不應再繼續駕車之駕駛人，並透過車載單元之警示裝置或控制設備，保障行車安全，即為一重要研究課題。

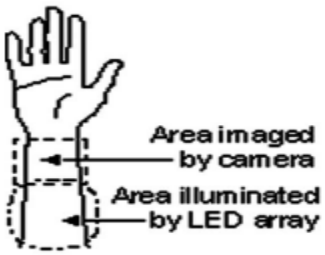
現今市場上之生理檢測儀器已逐漸朝向小型化與輕量化之攜帶型產品設計，但該些產品目前由於車輛駕駛過程中之配戴限制及車輛震動所衍生之精確度等，致使目前國內尚缺乏一套車輛之生理監控設備，即早發現駕駛人之生理異常狀態。

從生理上，短期內影響動脈壓波動的主要因素有五個：心搏量、心率、外周阻力(peripheral resistance)、大動脈血管壁硬化程度、迴路血量和血管容量。心搏量若增大的話，則心縮期射入主動脈的血量增多，心縮期中主動脈和大動脈內增加的血量變多，管壁所受的張力也更大，故收縮期動脈血壓的升高更加明顯，由於動脈血壓升高，血流速度外周阻力和心率的變化不大，則大動脈內增多的血量可仍可在心舒期流至外周，到舒張期末，大動脈記憶體留的血量和每搏輸出量增加之前相比，增加並不多。因此，當每搏輸出量增加而外周阻力和心率變化不大時，動脈血壓的升高主要表現為收縮壓的升高，舒張壓可能升高不多，故脈壓增大。反之，當每搏輸出量減少時，則主要使收縮壓降低，脈壓減少。可見，在一般情況下，收縮壓的高低主要反映心臟每搏輸出量的多少。至於心率加快，而每搏輸出量和外周阻力都不變，由於心舒期縮短，在心舒期內流至外周的血液就減少，故心舒期末主動脈記憶體留的血量增多，舒張期血壓就升高，由於動脈血壓升高可使血液速度加快，因此在心縮期內可有較多的血液流至外周，收縮壓的升高不如舒張壓的升高顯著，脈壓比心率增加前減小。相反，心率減慢時，舒張壓降低的幅度比收縮壓降低的幅度大，故脈壓增大。外周阻力增大時，心舒末期，動脈記憶體留血量增多，舒張壓增高，收縮壓高不如舒張壓明顯，故脈壓差減小。大動脈壁有緩衝血壓的作用，如大動脈彈性降低，則收縮壓升高，舒張壓降低，脈壓差增大。若同時伴有小血管硬化，則出現收縮壓、舒張壓均升高。我們考慮上述影響動脈壓波動因素，設計血壓影響模型，再利用錄影人臉求得臉色膚質好壞，測出呼吸/心跳/血壓，是否處於過度疲勞與身心壓力。

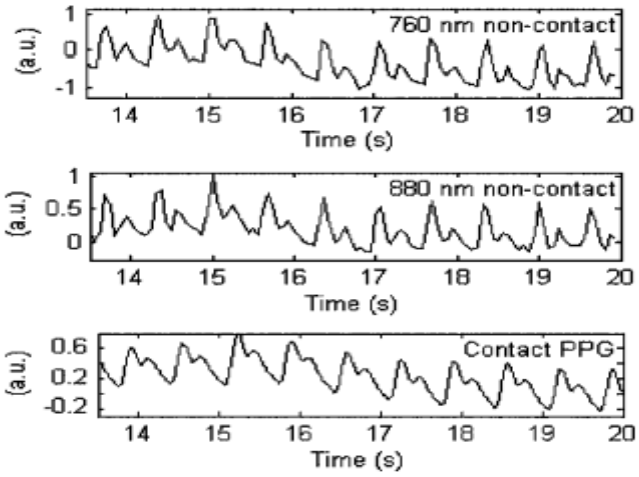
目前學者研究多集中於使用 NIR(Near-infrared light)發射器和 NIR sensor 去取得 PPG 的訊號，在 2007 年已有人發表擷取 PPG signal from camera，且證明 PPG 的穩定性(如圖二十九 (a) (b) (c).)。



圖二十九、 (a) noncontact dual wavelength PPG system.



圖二十九、(b) The region which was caught by camera



圖二十九、(c) Comparison of noncontact PPG signal and conventional PPG signal

(二)、 參考文獻

[1] Jens Kraitl, Hartmut Ewald, "Optical Non-invasive Methods for Characterization of the Human Health Status," 1st International Conference on Sensing Technology, pp.466-470, 2011.

[2] Palmerston North, New Zealand, 康定醫療儀器-脈搏血氧定量計, Nov. 2005.

[3] Kamat V, “Pulse Oximetry,” Indian Journal of Anethesia, 46(4), pp. 261-8, 2002.

[4] Gregory B. Altshuler, PhD; Ilya Yaroslavsky, “Absorption Characteristics of Tissues as a basis for the Optimal Wavelength Choice in Photodermatology,” Palomar Medical Technologies, Burlington, 2004.

[5] R. Dresher, "Wearable forehead Pulse Oximetry : Minimization of Motion and Pressure Artifacts," in Department of Biomedical Engineering, vol. Master of Science: Worcester Polytechnic Institute, 2006.

[6] Millasseau, S. C., Kelly, R. P., Ritter J. M. and Chowienczyk, P. J., “Determination of age-related increases in large artery stiffness by digital pulse contour analysis,” Clin. Sci. 102, pp. 371-377, 2002.

[7] Arzeno, N.M., Chi-Sang Poon, Zhi-De Deng, "Quantitative Analysis of QRS Detection Algorithms Based on the First Derivative of the ECG," Engineering in Medicine and Biology Society 28th Annual International Conference of the IEEE, pp. 1788-1791, Aug.2006.

[8] Jiapu Pan, Willis J. Tompkins, "A Real-Time QRS Detection Algorithm," IEEE Trans on Biomed Eng, vol. BME-32, no. 3, pp. 230-236, 1985.

[9] Welch, P., "The use of fast Fourier transform for the estimation of power spectra: A method based on time averaging over short, modified periodograms," IEEE Transactions on Audio and Electroacoustics, vol.15, no.2, pp. 70-73, Jun 1967.

[10] Fabien Gouyon, Simon Dixon, “A Review of Automatic Rhythm Description Systems,” Computer Music Journal, vol. 29, iss. 1, pp. 34-54, February 2005.

[11] Smith FE, Langley P, Trahms L, Steinhoff U, Bourke JP, Murray A, "Effects of filtering on automatic repolarisation measurements using magnetocardiography," Computers in Cardiology, 29, pp. 337-340, 2002.

[12] Luk, W.; Jones, G., “Systolic Arrays for Recursive Digital Filtering,” Electronics Letters, vol. 23, no. 22, pp.1174-1175, October 22 1987.

[13] J. Sauerbrey, D. Schmitt-Landsiedel, and R. Thewes, “A 0.5-V 1-µW Successive Approximation ADC,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 38, no. 7, pp. 1261-1265, July 2003.

[14] M. Scott, B. Boser, and K. Pister, “An Ultra Low-Energy ADC for Smart Dust,” IEEE J. Solid-State Circuits, Vol. 38, no. 7, pp. 1123- 1129, July 2003.

[15] N. Verma and A. Chandrakasan, “A 25µW 100kS/s 12b ADC for Wireless Micro-Sensor Applications,” ISSCC Dig. Tech. Papers, pp. 222-223, Feb. 2006.

[16] Chun-Cheng Liu, Soon-Jyh Chang, Guan-Ying Huang, and Ying-Zu Lin, “A 10-bit 50-MS-s SAR ADC with a Monotonic Capacitor Switching Procedure,” IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, pp. 110-114, 2010

[17] Andrew M. Abo and Paul R. Gray, “A 1.5-V, 10-bit, 14.3-MSs CMOS pipeline,” IEEE J Solid-State Circuits, vol. 30, no.1, pp. 100-103, 1999

[18] G.M. Yin, F.Op’t Eynde, and W. Sansen “A High Speed CMOS Comparator with 8-b Resolution”, IEEE JSSC, vol. 27, no. 2, pp.208- 211, Feb. 1992.

[19] B. P. Ginsburg and A. P. Chandrakasan, “An energy-efficient charge recycling approach for a SAR converter with capacitive DAC,” IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, vol. 1, pp. 184-187, 2005.

[20] Guo-Ming Lee, “Design of An Ultra-low Power Successive Approximation Analog-to-Digital

Converter for Wireless Sensor Networks," Institute of Electrical and Control Engineering, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, R.O.C, July 2006.

[21] Shou-Ting Kao, "A 0.8V Low Power Analog Front-End IC for Bimedical Signal Recording," Institute of Electrical and Control Engineering, National Chiao-Tung University, Hsinchu, Taiwan, R.O.C, October 2008.

[22] Ramirez-Angulo, J., Sawant, M.S., Carvajal, R.G., Lopez-Martin, A.J., "New compact and power efficient dynamically biased cascode mirrors and telescopic op-amps," IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, pp. 21-24 May 2006.

[23] Wang Jin and Qiu Yulin, "Analysis and design of fully differential gain-boosted telescopic cascode opamp," 7th International Conference on Solid-State and Integrated Circuits Technology, pp. 18-21, Oct. 2004.

[24] Gulati, K. and Hae-Seung Lee, " A high-swing CMOS telescopic operational amplifier ," IEEE J Solid-State Circuits, vol. 33, no. 12, Dec. 1998.

[25] Reid R. Harrison, Cameron Charles, "A Low-Power Low-Noise CMOS Amplifier for Neural Recording Applications," IEEE J Solid-State Circuits, vol. 38, no. 6, Jun. 2003.

[26] Joseph N. Y. Aziz, Roman Genov, Berj L. Bardakjian, Miron Derchansky, and Peter L. Carlen, "Brain–Silicon Interface for High-Resolution in vitro Neural Recording," IEEE Transactions on biomedical circuits and systems, vol. 1, no. 1, Mar. 2007.

[27] A. Tajalli, Y. Leblebici and E.J. Brauer, "Implementing ultra-high-value floating tunable CMOS resistors, " Electronics letters, vol. 44 No. 5, Feb. 2008.

[28] Heinz-Gerd Graf, Christine Harendt, Thorsten Engelhardt, Cor Scherjon, Karsten Warkentin, Harald Richter, and Joachim N. Burghartz,"High Dynamic Range CMOS Imager Technologies for Biomedical Applications," IEEE J Solid-State Circuits, vol. 44, no. 1, Jan. 2009.

[29] Sunetra K. Mendis, Sabrina E. Kemeny, Russell C. Gee, Bedabrata Pain, Craig O. Staller, Quiesup Kim and Eric R. Fossum, "CMOS Active Pixel Image Sensors for Highly Integrated Imaging Systems," IEEE J Solid-State Circuits, vol. 32, no. 2, Feb. 1997.

[30] David Stoppa, Monica Vatteroni, Daniele Covi, Andrea Baschirotto, Alvise Sartori and Andrea Simoni, "A 120-dB Dynamic Range CMOS Image Sensor With Programmable Power Responsivity," IEEE J Solid-State Circuits, vol. 42, no. 7, July 2007.

[31] Lester J. Kozlowski, Giuseppe Rossi, Laurent Blanquart, Roberto Marchesini, Ying Huang, Gregory Chow, John Richardson, and David Standley, "Pixel Noise Suppression via SoC Management of Tapered Reset in a 1920x1080 CMOS Image Sensor," IEEE J Solid-State Circuits, vol. 40, no. 12, Dec. 2005.

[32] Spyros Kavadias, Bart Dierickx, Danny Scheffer, Andre Alaerts, Dirk Uwaerts and Jan Bogaerts, "A Logarithmic Response CMOS Image Sensor with On-Chip Calibration, "IEEE J Solid-State Circuits, vol. 35, no. 8, Aug. 2000.

[33] R. Jacob Baker, "CMOS circuit Design, Layout, and Simulation Third Edition".

[34] 行政院衛生署 國民健康局 2007 年台灣地區高血壓、高血糖、高血脂之追蹤調查研究專輯

[35] M. Z. Poh, D. J. McDuff, and R. W. Picard, "Non-contact, automated cardiac pulse measurements using video imaging and blind source separation,"*Opt. Expr.*, vol. 18, pp. 10762–10774, May 2010.

[36] Geddes, L.A; Babbs, C.F; Bourland, J.D; Tacker, W.A. "Pulse Transit Time as an indicator of Arterial

BloodPressure," Psychophysiology, vol 18, no.1 PP71-74,1981.

[37] Geddes et al, "Pulse Arrival Time as a Method of Obtaining Systolic and Diastolic Blood PressureIndirectly," Medical & Biological Engineering & Computing, pp. 671-672, Sep., 1981.

[38] 王地河、陳柏州、許陳鑑，非侵入式連續橈動脈血壓波形量測使用粒子群聚最佳化法，聖約翰科技大學電子工程學系、淡江大學電機工程學系，中華民國九十七年十二月二十日

[39] 維基百科：http://zh.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:%E9%A6%96%E9%A1%B5

[40] Jens Kraitl, Hartmut Ewald, "Optical non-invasive methods for characterization of the human health status," 1st International Conference on Sensing Technology, p.466-470, Palmerston North, New Zealand, Nov. 2005.

[41] Humphreys K, Ward T and Markham C., "Noncontact simultaneous dual wavelength photoplethysmography: A further step toward noncontact pulse oximetry," Review of scientific instruments, vol. 78, pp. 1-6 , Aug. 2007.

[42] R. Dresher, "Wearable forehead Pulse Oximetry: Minimization of Motion and Pressure Artifacts," in Department of Biomedical Engineering, Master of Science: Worcester Polytechnic Institute, 2006.

[43] Millasseau, S. C., Kelly, R. P., Ritter J. M. and Chowienczyk, P. J., "Determination of age-related increases in large artery stiffness by digital pulse contour analysis," Clin. Sci., vol. 102, pp. 371-377, 2002.

[44] CardinalHealth - http://www.micromedical.co.uk

二、 規劃內容：

(一)、 研究方向及具體建議

依據前述現況之分析與探討，本次子題針對未來研究方向之具體建議包括下列兩項：

1. 駕駛人之生理監控技術開發。

車輛行駛過程中，駕駛人生理監控技術之開發必須能透過非接觸式設備偵測駕駛人身心變化，並能透過從取得之有限資料判斷出駕駛人之生理異常現象，其所涵蓋之技術領與包括：

(1) 偵測設備(sensor)設計：主要技術是透過非接觸式 sensor 擷取生理訊號資料，並分析其基礎生理現象，藉此判斷駕駛者是否處於穩定狀態。

(2) 分析演算法開發：需取得相關指標有呼吸、心跳、血壓、疲倦程度及壓力程度等相關數據，並可藉此相關指標進一步推得駕駛行為與行車安全等提升穩定度，降低不確定性之系統特性。

2. 駕駛人生理資訊變化之警示與監控系統。

透過影像等非接觸 sensor 可分析駕駛專注目標與精神集中狀態，甚至主動感測外界重要標示與變化，自動提出對應聲響或提示，提早提醒駕駛與乘客注意突發狀況。

(二)、 每年經費建議：

1. 整合駕駛人之生理監控之智慧型載具設計，每件平均100萬元。

2. 預估每年1000萬元。

子題二：智慧型運輸系統

副召集人：蘇昭銘教授

次子題四：考量弱勢用路族群特質之交通導引與警示系統設計

規畫委員：蘇昭銘教授、張建彥教授

一、 前言：

(一)、 研究動機與國內外研究現況：

由於資訊、通訊及控制等技術之快速發展，因此應用這些技術於各種運輸軟、硬體建設，來使整體交通運輸之營運管理自動化，並提升運輸服務品質的智慧型運輸系統(Intelligent Transportation Systems, ITS)，乃成為近年來交通運輸技術發展與政策推動的主流。目前先進國家 ITS 發展的方向，除了強調運輸系統須符合成本效益之效率性要求外，亦開始注重運輸系統使用之公平性原則，意即運輸系統之智慧化，除了要能夠提升多數用路人之服務品質外，對於少數弱勢用路人之運輸需求，亦應加以兼顧，以達到社會公平性之目標，故弱勢用路人之運輸服務便成為 ITS 的重要服務領域之一。我國交通部所推動之「台灣地區智慧型運輸系統綱要計畫 (2004 年版)」[4]中，「弱勢使用者保護服務(Vulnerable Individual Protection Services, VIPS)」即為現階段 ITS 九大服務領域之一，顯示弱勢使用者(用路人)之運輸服務亦為我國 ITS 發展的重點要項。在歐洲智慧型運輸系統發展組織(ERTICO)指出未來都市交通所需面臨之挑戰主要包括：安全(Safety-related challenges)、環境(Environment-related Challenges)、效率(Efficiency-related Challenges)及移動性 (Mobility-related Challenges) 等四方面，其中對於弱勢用路人(Vulnerable Road Users, VRUs)安全之保障更為安全方

面所需面對之主要課題。

就弱勢用路人之範疇而言，弱勢用路人係指在道路上移動時，因速度較慢或因防護設施較不充分，需爲自身安全主動避讓其他運具的用路人。依據「台灣地區智慧型運輸系統綱要計畫─2003-2010 (研究報告書)」[12]之界定，弱勢使用者保護服務乃是為「落實人本精神，以提昇兒童、老年人、身心障礙者與一般民眾等行人及自行車與機車騎士等弱勢族群之交通安全」，所提供之智慧型運輸服務，其中主要服務項目則涵蓋「行人/自行車騎士安全」與「機車騎士安全」兩大類。因此，由相關的服務功能與服務項目界定可知，目前弱勢使用者服務之對象範疇相當廣泛，涵蓋兒童、高齡者、身心障礙者、一般民眾等之步行用路人，以及自行車與機車騎士，但其功能要求則以安全防護為主。

有鑑於弱勢用路人中，高齡者與身心障礙者之身心功能特性遠較一般民眾或騎士為弱，對於一般運輸設施之使用能力較差，倘若運輸服務考量不足，其產生之危險頻率與程度亦較高，故應作為弱勢使用者服務的優先考量對象。我國「老人福利法」[1]第 2 條規定，老人係指年滿六十五歲以上之人，另外交通部運輸研究所「智慧型運輸系統技術於高齡化社會之應用研究」[5]亦界定六十五歲以上為高齡者，故六十五歲以上的人可稱之為高齡者；至於身心障礙者，依據我國「身心障礙者權益保障法」(2011)第 5 條規定：「本法所稱身心障礙者，指下列各款身體系統構造或功能，有損傷或不全導致顯著偏離或喪失，影響其活動與參與社會生活，經醫事、社會工作、特殊教育與職業輔導評量等相關專業人員組成之專業團隊鑑定及評估，領有身心障礙證明者：一、神經系統構造及精神、心智功能。二、眼、耳及相關構造與感官功能及疼痛。三、涉及聲音與言語構造及其功能。四、循環、造血、免疫與呼吸系統構造及其功能。五、消化、新陳代謝與內分泌系統相關構造及其功能。六、泌尿與生殖系統相關構造及其功能。七、神經、肌肉、骨骼之移動相關構造及其功能。八、皮膚與相關構造及其功能」。

由於高齡者或身心障礙等弱勢族群自行駕駛車輛能力較為缺乏，故通常以步行及搭乘大眾運輸系統為主要外出方式，而道路交叉路口容易產生人車衝突，也是一般行人交通安全威脅較大的地方，故續茲就穿越交叉路口及搭乘大眾運輸工具兩課題分別說明如下：

1. 穿越交叉路口：

交通主管機關會在交叉路口會依需要狀況設置行人專用號誌，以提供行人穿越時相，「道路交通標誌標線號誌設置規則」第 231 條[6]有關行人專用號誌綠燈時相設計之規定，在綠色「行走行人」燈號結束前，應有閃光運轉，其閃光時間應適足以使已進入道路之行人能以正常速率走完全程或到達可供行人避護之交通島。其中閃光綠燈時間計算公式所採用之行走速率，一般使用每秒 1.0

公尺，學童眾多地點使用每秒 0.8 公尺，盲人音響號誌處使用每秒 0.5 公尺，顯示行人步行速率亦是行人號誌時制設計的重要參數。Perry[18]提出之肢體障礙者平均步行速率，亦大多低於每秒 1.0 公尺。行人專用號誌時相設計缺乏高齡者與肢體障礙者步行速率之結果，往往導致高齡者與肢體障礙者難以穿越路口，造成險象環生。另外，我國目前多數行人號誌化路口之綠色「行走行人」燈號穩定顯示時間長，閃光顯示時間短，亦每每造成行人在燈號穩定顯示一段時間後才到達路口並進行穿越，卻無法以正常步行速率在綠燈閃光結束後完全穿越路口，而必須快步甚至快跑才能穿越，同樣增加行人路口穿越之風險。此一情況，對於無法快步或快跑的高齡者或肢體障礙者而言，更是巨大的路口潛在風險。顏杏砡[15]之研究發現，不同視力值之視障者者在步行時會受到光的影響，光線暗度與明度會間接影響到步行速率與方向。吳世峰[9]對視覺障礙者步行步態研究中發現，視障者步行時對四周環境的不確定時，害怕碰撞到人或東西，甚至擔心跌倒知心裡因素因而降低步行速率。而在黃雪芳[14]視覺障礙者步行距離、步行速率、與偏離方向之研究中發現，視障者本身可藉由各種科技輔具以引導視障者改善步行距離、步行速率、音色等空間觀念以提昇無障礙環境。兵界力[7]在視障者於路口通行議題方面在無障礙交通行人號誌研究中發現，無障礙行人號誌在國內尚未全面推展，目前政府僅針對盲人有聲號誌及無線遙控號誌略作規範，對於其他型式的無障礙行人號誌尚無評估標準及測試，亦未有相關規範。而在李正隆等人[10]對視覺障礙者穿越交通路口行動狀況調查中亦發現，視覺障礙者面對穿越路口的交通環境時，其障礙項目包括無法辨別號誌燈號、綠燈的時間太短、無法保持行進方向、缺乏語音號誌導引、汽機車會闖紅燈等因素，其中以無法辨別號誌燈號為最主要障礙因素。

由於在號誌設計過程中，未考慮到高齡者與肢體障礙者之步行速率，將使得該弱勢用路人在通過路口時產生比一般行人更多的潛在危險，故如何提供弱勢用路族群在通過路口時必要之交通導引或警示資訊，如告知剩餘綠燈時間、有無轉向或違規穿越車輛等資訊，甚至可利用偵測或資訊傳遞技術，當該路口有弱勢用路人通過時，調整號誌系統時制計畫，以提升用路人安全。

2. 搭乘大眾運輸系統：

目前在大眾運輸場站或車輛中，透過電梯及低地板設計以降低肢體障礙者之使用困難度，但對於高齡者或視覺障礙者等視力不佳族群在搭乘公車等大眾運輸系統時仍存在諸多使用障礙，依據美國運輸部之研究[7]，弱勢大眾運輸使用者之需求項目包括：

(1) 簡單易懂之旅行資訊（access to easily understood traveler information）。

(2) 低廉容易使用之票證（low fares that are simple to understand and pay）。

(3) 安全之乘車環境（safety and security）。

(4) 無障礙的乘車空間（access to transportation with sufficient service coverage）。

(5) 方便且快速之班次規劃（convenient schedules and reasonable journey times）。

魏國峰[16]在高中盲生搭乘公車成效研究中發現，視障學生搭公車為定向訓練中較為困難之項目，並且視障學生受公車之搭乘方式、場站設施之位置等項目而影響其搭乘公車之成效，因此視障者若於無良好導引的乘車環境,要順利搭成公車則必須要有相當程度的經驗累積與訓練才能順利搭乘。朱啟華[8]指出無障礙設施的設置與改善，也可減低視覺障礙學生搭乘大眾交通工具的問題，但由於大眾運輸場站交通環境複雜，視覺障礙者不免與一般人一樣都有搭錯車或上、下錯車之情形發生，並且對於視障者定位及導引技術研究中，針對台北市視障者外出大眾運具選擇調查，其依序為公車/客運、步行、捷運，可見視障者對於都會區公車路網之便利性有其一定程度之喜好，因此改善視障者候車環境資訊之傳達,勢必成為後續推導視障者搭乘大眾運輸工具以及視障者資訊導引項目之主要無障礙課題之一。 朱啟華[8]發現，影響視覺障礙者公車搭乘意願包括道路、交通工具及車站三者均需達到無障礙程度，視障者才能順利搭乘大眾運具，並且同時發現國內無障礙交通導引設施設置不良，如導盲磚之不良設置、扶手位置裝設不良等項目，使原本的無障礙設施卻成為視障者使用上之障礙，導致不能有效的使視障者在乘車過程中作有效的接受引導。且亦發現視障者不知欲搭乘之公車到站否、不知是否到該下車地點、不清楚公車停站位置、同時有兩輛車到站、不知該搭乘哪一輛等，以至於無法提昇視障者搭乘大眾運具之使用率。李永駿等人[11]究中，在無障礙運具配備方面，建議視障者無障礙運具需配備站名播報設備、導盲引導設備、博愛座、扶手、下車鈴等相關設施能有效改善視覺障礙者公車搭乘障礙。

目前國內外之避障設施大都利用影像偵測或超音波偵測方式來判別前方之障礙物,但經由探討後發現避障輔具雖能夠有效的避開障礙物，但避障輔具普遍仍然需要依賴手杖輔助，就功能性而言也避障輔具僅將手杖之探測距離擴大，使視障礙者能提早預防碰撞，但是由於體積過大、攜帶不便等因素導致視覺障礙者不願意使用或使用意願較低之現象，可見後續仍有其改善之必要，目前美國及日本等先進國家均積極投入人性化運輸服務之研究，將原本 VIPS 中的安全防護層次提升到主動式之資訊導引，以保障弱勢用路人行的權利，降低使用各種運具的使用障礙。在先進大眾運輸系統之計畫方面，雖然語音站名播報器等設備原先之開發構想均是因為服務弱勢族群而開發，但畢竟僅為點的服務方式，故在國內外之調查中，均發現使用者仍舊存在諸多之搭乘障礙。未來如何讓弱勢用路族群在使用大眾運輸系統過程中,從出發前的旅次規劃、進出場站的導引、乘車知輔助與導引、車上資訊的提供等面的服務，即為現階段發展先進大眾運輸系統之一前瞻性課題。

(二)、 參考文獻

[1] 內政部，「老人福利法」，民國 98 年 7 月修正。

[2] 內政部，「身心障礙者權益保障法」，民國 100 年 6 月修正。

[3] 內政部，「統計通報」，民國 96 年 6 月。

[4] 交通部，「台灣地區智慧型運輸系統綱要計畫(2004 年版)」，民國 93 年 10 月。

[5] 沈添財，王國材，李永駿，張琪華，陳一昌，黃運貴，張益城，「智慧型運輸系統技術於高齡化社會之應用研究」，交通部運輸研究所報告，民國 92 年 4 月。

[6] 交通部，「道路交通標誌標線號誌設置規則」，民國 100 年 5 月。

[7] 兵界力，無障礙行人號誌使用者需求及控制績效評估之研究，中央警察大學，民國 88 年。

[8] 朱啟華，視覺障礙學生搭乘大眾交通工具相關問題研究，國立花連師範大學特殊教育學系，民國 93 年。

[9] 吳世峰，視障學生與正常學生下坡行走步態之研究，國立台灣師範大學體育學系，民國 92 年。

[10] 李正隆等人，視覺障礙者穿越交通路口行動狀況及其需求調查，第 15 屆中華民國人因工程研討會，民國 97 年。

[11] 李永駿等人，先進弱勢用路人支援輔助系統之示範與建置(2/2)，交通部運研所，民國 95 年。

[12] 陳一昌等，「台灣地區智慧型運輸系統綱要計畫－2003-2010(研究報告書)」，交通部運輸研究所報告，民國 93 年 5 月。

[13] 張建彥、吳宗修、王森豐、郭明仁，「交叉路口高齡者與孩童步行速率之調查與分析」，都市交通半年刊 (Urban Traffic Biannually)，ISSN: 1562-1189，第二十五卷，第一期，第 1~17 頁，民國 99 年 6 月。

[14] 黃雪芳，不同視力值視障生步行距離、步行速率、與偏離方向之影響，國立台灣師範大學體育學系，民國 92 年。

[15] 顏杏砡，視障學生之空間認知與環境行為之初探－以台中啟明學校為例，東海大學建築碩士學位論文，民國 81 年。

[16] 魏國峰，定向行動訓練對高中盲生搭公車成效之行動研究，國立花蓮師範大學特殊教育教學碩士班，民國 91 年。

[17] Angela s. Iannuzziello, ”Communicating with Persons with Disabilities in a Multimodal Transit Environment,” Transit cooperative research program, 2001.

[18] Perry, J., Gait Analysis, McGraw-Hill, New York, NY, 1992.

[19] United Nations Statistics Division, “Demographic Yearbook 1987: Household and Family Statistics,” 1989.

二、規劃內容：

(一)、 研究方向及具體建議

依據前述現況之分析與探討，本次子題針對未來研究方向之具體建議包括下列四項：

3. **行人與交通控制系統間之資訊傳遞：**

由於在提供交叉路口行人各項資訊時必須精確地確認行人所與通過之路口位置，方能準確傳送適時、適地資訊給行人，並非 GPS 或無線基地台定位精度所能滿足，故如何能以低成本方式進行行人之精確定位即為待克服之首要課題，過去國內外曾採用之技術包括：紅外線及 ZigBee 等技術，目前亦有美國、法國及日本等國家積極投入研究。

由於弱勢用路族群之步行速率明顯與一般用路人不同，當該類型行人進入路口時，除目前採用綠燈倒數計時、鳥鳴聲等方式提供一般性資訊外，是否能依據行人之類型，透過智慧型手機等行人端手持裝置將訊息傳遞至路口控制器，再將控制器中之時制計畫回傳給用路人，以做為提供必要之警示與導引之基礎。另當行人穿越路口時，若能透過路口偵測設備偵測到將與行人發生衝突之轉彎車輛或是違規車輛時，亦能將該資訊傳送給用路人，以提醒用路人可能發生之潛在危險。

此外，當高齡者或是肢障者、視障者等弱勢用路族群之行人欲通過路口時，亦可將該資訊傳送至路口控制器，在兼顧安全與路口運作效率前提下，規劃延長綠燈之運作機制與演算邏輯，以增加該族群行人通過路口之可行性。

4. **不同類型行人之路口導引與警示系統開發：**

由於弱勢用路族群通過路口機率較一般用路人為小，其所可能發生之潛在危險亦相對提高，未來在進行行人與交通控制系統之資訊傳遞技術同時，亦可進行行人手持裝置系統之開發，該手持裝置可為智慧型手機或是專用裝置，其所需具備功能應至少包括：

(1) 使用者特性設定：如設定使用者為肢體障礙或視覺障礙，系統即可依據該特性自行規劃所需提供之必要功能。

(2) 警示功能：當路口偵測器偵測到異常狀況或經由路口時制計畫的分析，確認該行人無法順利通過路口或可能發生潛在危險時，該裝置須能提供必要之警示給行人。

(3) 導引功能：利用路口控制器與偵測設備所蒐集之交通資訊，提供弱勢用路人必要之導引資訊，如通過路口之剩餘秒數、通過路口機率或行進方向等。

5. **乘客與大眾運輸車輛間之資訊傳遞：**

由於弱勢用路族群在搭乘公車等大眾運輸工具時，可逢會有無法判斷進站車輛是否為搭乘車輛、車輛停靠後車門確切位置等困擾，將導致搭乘大眾運輸工具時之不便，目前大眾運輸車輛即時定位大都利用 GPS 技術或 Tag 技術，但該資訊如何能傳遞給特定弱勢用路族群，或是弱勢用路族群在產生使用行為時，亦能將該資訊傳遞給可搭載之車輛的車上單元中，已通知駕駛員採取必要之應變作為，均為值得進一步深入探討之課題。

此外，囿於 GPS 定位精度，當搭乘者之視力不佳時，必須能將車輛車門位置，明確的告知搭乘者，目前美國已有採取紅外線方式進行定位與資訊傳遞之實驗型計畫，故未來如何能如何以可靠、經濟且具效率之定位與資訊傳遞技術，傳送至在場站候車之用路人，以減少使用障礙，亦為一重要研究主題。

6. **不同類型乘客之搭乘導引系統開發：**

由於不同類型弱勢用路族群在搭乘公車時所面臨之障礙不同，如肢體障礙者須克服階梯或輪椅停放問題、視覺障礙者須克服進站車輛辨別問題，故有必要提供弱勢用路人一套具個人特性之搭乘導引系統，該系統可為智慧型手機或是專用手持裝置，其所需具備功能應至少包括：

(1) 使用者特性設定：如設定使用者為肢體障礙或視覺障礙，系統即可依據該特性自行規劃所需提供之必要功能。

(2) 導引功能：依據使用者特性，進行各項導引邏輯的設計與資訊通知機制，以便能適時、適地的提供各項必要資訊，以降低搭乘大眾運輸工具之困擾。

(二)、 每年經費建議：

1. 考量弱勢用路族群特質之交通導引與警示系統設計，每件平均100萬元。

2. 預估每年1000萬元。