

大學工程生物教育整合型研究計畫--
生物電子與腦科學實驗課程及實驗教材建立之研究

計畫類別： 個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 93-2522-S-009-002, NSC 94-2522-S-009-001

執行期間：2004年08月01日至2006年07月31日

計畫主持人：黃遠東

共同主持人：楊裕雄、袁俊傑、楊谷洋

協同研究人員：林志生

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)： 精簡報告 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

- 赴國外出差或研習心得報告一份
- 赴大陸地區出差或研習心得報告一份
- 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份
- 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

涉及專利或其他智慧財產權， 一年 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學 電子工程學系

中、英文摘要及關鍵詞(keywords)

關鍵詞：工程生物、生物電子、生物感測器、腦科學、科學教育

近年來交通大學建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩跨『電機資訊與生物科技』領域學程，目的即在探討如何藉新學程的規劃與相關教學的設計與推動，以培養大學生理、工、醫、農學院學生，具備『電機資訊與生物科技跨領域』之高科技基本科學知識及實驗能力，及早培育具備此跨領域科技能力的基礎科技研究人才，加速此新興高科技產業的發展。建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩學程已具備了相當的成果，惟在實驗課程及實驗教材建立方面尚不足，本計畫的目的即在延續建立與推動該兩學程的經驗與初步建立的架構基礎上，結合電機資訊工程、生命科學、及教育專長學者，形成跨領域研究團隊，更深一層進行『生物電子與腦科學實驗課程及實驗教材』之建立與推動，同時在此計畫中加強腦科學相關課程，補原『生物電子』與『生物資訊』學程之不足，加速電機資訊工程領域學生學習在『工程生物』上的完整教育，以有效加速此新興高科技產業的發展。

目錄

報告內容-----	1
一、前言-----	1
二、研究目的-----	1
1. 計畫背景-----	1
2. 主持人、共同主持人參與執行計畫之考量-----	3
3. 計畫的理念-----	4
三、研究方法-----	5
1. 生物電子實驗課程及實驗教材之建立-----	5
2. 腦科學與腦機介面實驗課程及實驗教材之建立-----	9
3. 學校提供的支援-----	16
4. 人力-----	16
四、結果與討論-----	16
1. 執行進度與結果-----	16
2. 學程實施辦法-----	19
3. 『生物電子概論暨實驗』課程-----	23
4. 『腦科學與腦機介面實驗』課程-----	25

[報告內容]

一、前言

近年來建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩跨『電機資訊與生物科技』領域學程，目的即在探討如何藉新學程的規劃與相關教學的設計與推動，以培養大學生理、工、醫、農學院學生，具備『電機資訊與生物科技跨領域』之高科技基本科學知識及實驗能力，及早培育具備此跨領域科技能力的基礎科技研究人才，加速此新興高科技產業的發展。建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩學程已具備了相當的成果，惟在實驗課程及實驗教材建立方面尚不足，本計畫的目的即在延續建立與推動該兩學程的經驗與初步建立的架構基礎上，結合電機資訊工程、生命科學、及教育專長學者，形成跨領域研究團隊，更深一層進行『生物電子與腦科學實驗課程及實驗教材』之建立與推動，加速電機資訊工程領域學生學習在『工程生物』上的完整教育，以有效加速此新興高科技產業的發展。

二、研究目的

在生醫領域中，腦科學與腦機界面的研究日益受到重視，腦科學用以了解人腦的組織與架構，並知悉人類的智慧奧秘，而由其研究中，也提供發展人工智慧與智慧型機器許多有用的資訊與靈感，腦機介面則提供了不經由正常的神經與肌肉系統之通訊與控制的管道，讓神經或肢體受創的人有另一種與外界溝通的選擇，而它也是一種人類操控機器的新模式。此方面的研究無疑是跨領域的，在生物方面，需對腦的組織、化學、與生理等進行探討，在電機資訊方面，需對實踐腦功能與腦機介面等軟硬體進行研發，對腦波與生理訊號進行分析與解讀，以及發展各種擬人的學習程式與系統。此研究的成功與否高度仰賴電機資訊與生物科技領域的專長及其之間密切的互動。而此新興跨領域學門之人才及教育，國內甚為缺乏，故必須積極加速腦科學與腦機介面跨領域科技教育之推動。

1. 計畫背景

A. 電機資訊跨與生物科技跨領域科技教育之重要性：

生物科技產業為二十一世紀最重要之科技產業，先進國家與我國皆大力推動生物科技之發展，而生物科技之發展許多重要部份皆與電機資訊技術息息相關，跨領域技術之要求便成為其發展成敗之關鍵。此新興跨領域之學門大約可區分為生物電子與生物資訊，生物電子涵蓋生醫感測、生物晶片、生醫裝置、生醫影像等；生物資訊方面則自DNA雙螺旋結構於1953年發現後，隨著生物技術的成熟、人類詳細基因密碼的解讀，相關生物資料的產生與累積愈形快速，因此生物資訊的取得、整理、分析、詮釋與應用，便形重要。生物電子結合生物資訊，在生物科技的發展中，如新葯的開發、臨床診療的進行、生物特性及生命的了解以及新儀器裝置的開發等主題上，皆扮演著重要的角色。因此，本校近年來配合國科會科教處規畫方向，執行『培養大學生在生物科技與電機資訊跨領域科技能力之科技教育研究』計畫，積極建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩跨『電機資訊與生物科技』領域學程，以加速生物科技與電機資訊

跨領域科技教育之推動，建立此新興跨領域學門之人才及教育，本研究團隊及即主要執行成員。建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩學程已具備了相當的成果，惟在實驗課程及實驗教材建立方面尚不足，而該科教處即將結束。

此外，在生醫領域中，腦科學與腦機介面的研究日益受到重視，腦科學用以了解人腦的組織與架構，並知悉以及人類的智慧奧秘，而由其研究中，也提供發展人工智慧與智慧型機器許多有用的資訊與靈感，腦機介面則提供了不經由正常的神經與肌肉系統之通訊與控制的管道，讓神經或肢體受創的人有另一種與外界溝通的選擇，而它也是一種人類操控機器的新模式。此方面的研究無疑是跨領域的，在生物方面，需對腦的組織、化學、與生理等進行探討，在電機資訊方面，需對實踐腦功能與腦機介面等軟硬體進行研發，對腦波與生理訊號進行分析與解讀，以及發展各種擬人的學習程式與系統。此研究的成功與否高度仰賴電機資訊與生物科技領域的專長及其之間密切的互動。而此新興跨領域學門之人才及教育，國內甚為缺乏，故必須積極加速腦科學與腦機介面跨領域科技教育之推動。

本計畫的目的即在延續建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩學程的經驗與初步建立的架構基礎上，結合電機資訊工程、生命科學、及教育專長學者，形成跨領域研究團隊，更深一層進行『生物電子與腦科學實驗課程及實驗教材』之建立與推動，加速電機資訊工程領域學生學習在『工程生物』上的完整教育，以有效加速此新興高科技產業的發展。

B. 本校執行『培養大學生在生物科技與電機資訊跨領域科技能力之科技教育研究』之優越條件：

- (1)環境佳：本校之電機資訊學院具有優越的教育、研究環境與成果，生物科技學院為目前本校主要發展的方向，已成立生物科技系(含研究所)、生化工程研究所、生物資訊研究所、生物資訊研究中心，近日將成立生物電子研究所、生物晶片研究中心，生物科技相關領域之教育、研究環境與能量加速發展中，此兩學院與教育研究所近年亦密切進行教育與研究之各項合作，非常適合進行此科技教育計畫，可有效執行研究。
- (2)相關研究經驗足：本校執行跨電機資訊與生物科技領域且跨系、跨校整合研究計畫已一段時日，目前參與與執行此跨兩大領域研究與教育也極具規模。從民國87年1月開始，本校就開始參與執行兩年期之生物晶片整合型研究計畫(『生物晶片暨關聯光電檢測系統之研究與開發』，研究團隊：交通大學電子工程系黃遠東教授、電子物理徐琅教授、中央研究院生物醫學研究所白果能博士、陽明大學微生物免疫研究所林奇宏教授、遺傳研究所蔡世峰教授、東華大學電機工程系邱爾德教授-目前為陽明大學生醫工程學院院長、東海大學物理學系丁君毅教授)，持續至今，加上學校之大力推動，生物電子、生物資訊、腦科學已形成數個整合研究群，執行與推動中之跨生物科技與電機資訊領域整合研究計畫，包括國科會計畫、卓越計畫、科專計畫、產學合作計畫、陽明與交大合作計畫(兩校研發處提供經費)、台灣聯合大學(中央、教交通、清華、陽明)系統研究中心計畫，

計多個研究群、多個群計畫，參與教授超過20位，累積多年跨生物科技與電機資訊領域之整合研究經驗。

- (3)具推動相關課程經驗：本校從民國89年初即開始逐步規畫生物科技與電機資訊跨領域課程，並於88學年度暑期由13位教授聯合開授2學分『微電子與生物科技』跨領域課程，更於89學年度上學期組成『生物科技與電機資訊跨領域』學程規畫團隊，於院課程委員會指派本計畫主持人黃遠東教授擔任召集人，於期能更積極推動『生物科技與電機資訊跨領域』學程。於90年底開始執行執行『培養大學生在生物科技與電機資訊跨領域科技能力之科技教育研究』計畫，積極建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩跨『電機資訊與生物科技』領域學程。因此，本計畫研究團隊已具有多次合作執行相關計畫經驗與效果，可藉此計畫更積極、緊密、有效、加速創造更豐碩之教育成果。

總結，本電機資訊學院結合生物科技學院、教育研究所具有全國最佳執行『生物電子與腦科學實驗課程及實驗教材建立之研究』之環境，研究團隊為全國組成該計畫最完整、最具有研究與教育整合經驗之團隊，故最適合執行此重要計畫。

C. 本計畫形成之原因：

如項二之2各節所述，本校認知電機資訊與生物科技跨領域科技及教育極為重要，乃一方面加強環境基礎架構，一方面以各種方式推動相關之跨領域整合研究。從推動研究計畫中，又體認此跨領域教育之不足，影響研究進度及成果極鉅，便逐步加強推動相關課程教育，然而因資源有限，故教育成果成比例展現，對知識及人才培育，仍有相當發展空間。今國科會體認此跨領域科技教育之迫切，提供資源以執行相關計畫計畫，本校電機資訊結合生物科技學院、教育研究所乃延續執行『培養大學生在生物科技與電機資訊跨領域科技能力之科技教育研究』計畫，建立與推動『生物電子』與『生物資訊』兩學程的經驗與初步建立的架構基礎上，結合電機資訊工程、生命科學、及教育專長學者，形成跨領域研究團隊，更深一層進行『生物電子與腦科學實驗課程及實驗教材』之建立與推動，加速電機資訊工程領域學生學習在『工程生物』上的完整教育，以有效加速此新興高科技產業的發展。國科會能提供相當程度之資源，加以本校的充份配合、支援與良好的執行團隊，其豐碩成果足可預期，對與電機資訊結合生物科技跨領域科技教育的貢獻將不可限量。

2. 主持人、共同主持人參與執行計畫之考量

主持人、共同主持人與協同研究人員之主要個人資料如下所列：

	人員	行政經歷	研究專長
主持人	黃遠東 (電子系)	電子研究所所長 奈米中心主任	微電子製程、光電元件、 生化感測
共同主持人	楊裕雄 (生科系)	生物科技系主任 生物科技學院代理院長	生物化學、蛋白質工程

共同主持人	袁俊傑 (生科系)		細胞學、生物晶片
共同主持人	楊谷洋 (電控系)	電機與控制工程系主任 腦科學研究中心副主任	機器人學、生物控制、智慧型 控制、虛擬實境
協同研究人員	林志生 (生科系)		基因晶片、比較醫學、生物技 術

A. 計畫主持人黃遠東教授：

- (1)曾獲國科會傑出研究獎，研究成果優異；
- (2)擔任系所及研究中心主管超過10年至今，執行過大型整合研究及教育計畫，具良好領導協調能力；
- (3)從民國87年1月開始至今，執行生物科技與電機資訊跨領域大型整合計畫多年，瞭解此跨領域之知識及實驗需求，並曾受邀於兩年前國家衛生研究院為推動生醫晶片國家型計畫邀請跨領域相關人員而召開的研討會中報告計畫執行狀況與學生培育的經驗；
- (4)擔任過系所主管及院課程委員，具多年整體課程規畫及執行經驗；
- (5)如上1.計畫背景之B-(3)所述，曾推動相關課程，目前擔任本校『生物科技與電機資訊跨領域』學程規畫團隊召集人，擔任執行前述『培養大學生在生物科技與電機資訊跨領域科技能力之科技教育研究』計畫總主持人(該計畫明年將結束)

B. 共同主持人：

- (1)相關研究成果優異；
- (2)皆曾任或現任系所及中心主管--具協調、整合經驗，負責系所課程的規畫與執行；
- (3)皆執行過生物科技與電機資訊跨領域大型整合研究計畫。

C. 團隊組合：

曾多年或正共同執行生物科技與電機資訊跨領域大型整合計畫、跨校系際合作計畫。

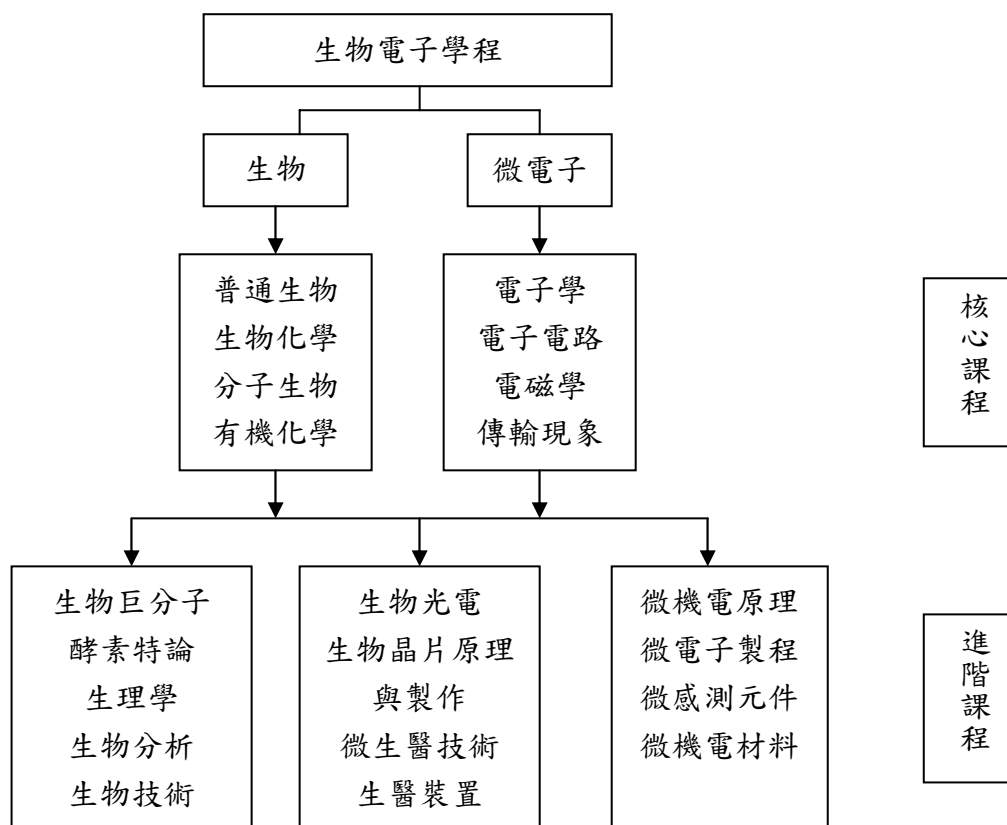
3. 計畫的理念

本計畫的執行理念，在研究即在延續建立與推動該兩學程的經驗與初步建立的架構基礎上，結合電機資訊工程、生命科學、及教育專長學者，形成跨領域研究團隊，更深一層進行『生物電子與腦科學實驗課程及實驗教材』之建立與推動，加速電機資訊工程領域學生學習在『工程生物』上的完整教育，以有效加速此新興高科技產業的發展。

三、 研究方法

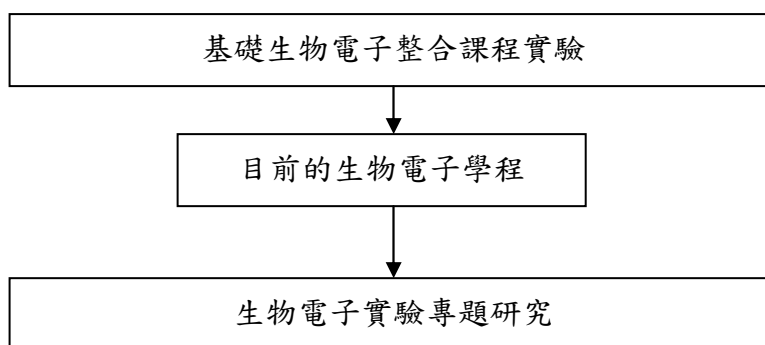
本整合計畫除總計畫外，另含兩個子計畫來進行更細部的分工，即(1)生物電子實驗課程及實驗教材建立之研究、與(2)腦科學與腦機介面實驗課程及實驗教材建立之研究各子計畫除個別進行更細部的分工外，總計畫主持人與共同主持人隨時協調、整合與掌握各子計畫的進度與整體配合的狀況。

1. 生物電子實驗課程及實驗教材之建立



圖一、生物電子學程課程

目前生物電子學程的理論課程已正在進行中，如圖一所示，修完生物、電子相關基礎課程與生物、電子相關進階課程者，可以得到生物電子學程的學程修畢證明書。為使學生一開始就能親身體會跨領域研究的特質，我們可以再加入一個基本的生物電子實驗課程做為整個生物電子學程之開頭，以生物電子專題研究做為生物電子學程結尾(目前為生物晶片實做課程)。整體規劃將如圖二所示。



圖二：擬增加的生物電子學程實驗選修課程關係圖

此生物電子實驗教材，將先摒棄繁雜的電子電機知識，純粹以市面可輕易購得的半導體元件，配合基礎的生物化學知識來練習做不同的生物感測器 (biosensor)。讓學生們從組裝半導體元件與練習生化實驗設計與操作開始，逐步克服對跨領域學科的恐懼並培養興趣，以其有更多人參與生物電子學程，並能在將來對國家的學術發展有所貢獻。

如此安排做的原因在於希望能藉由「基礎生物電子整合課程實驗」來誘發有興趣跨入生物電子領域的同學們的興趣，先了解生物電子結合後的最基礎議題，再分頭鑽研各領域的學問，而後期望能激發出更多生物與電子結合的好的概念。

本計畫執行的概念是生物電子實驗教材的研發，作為大專院校實驗課的教材，課程綱要如表一：

表一 生物電子實驗教材綱要

週別	課程內容綱要(上課週數)
1	Check in (1 週)
2~4	半導體元件介紹與組裝 電子儀器介紹及使用(3 週)
5~8	酵素簡介 生化實驗操作(3 週)
9	期中考週
10~12	生物感測器 I 的原理與操作(3 週)
13~15	生物感測器 II 的原理與操作(3 週)
16~	學生的主題報告

本實驗教材中要教導同學的主題有四大部份，首先是一些市面上常見常聽到的電子元件的介紹與組裝，其次是生化實驗的基本操作與原理，先上這兩個主題的基礎課程，是為了我們皆下來的生物感測器 I、II 的介紹做準備。

「生物感測器(biosensor)」定義為偵測生物體內或體外的化學物質或與這

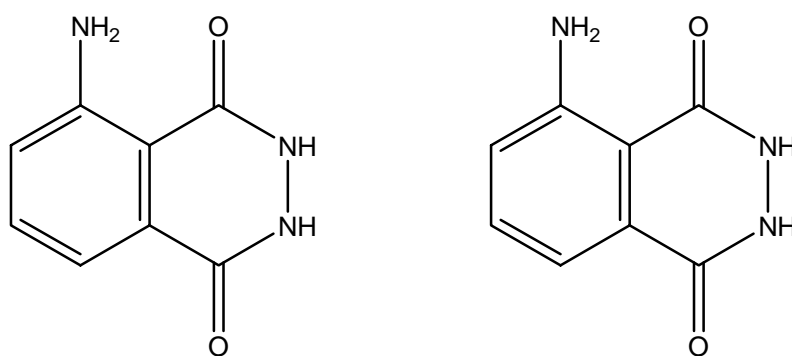
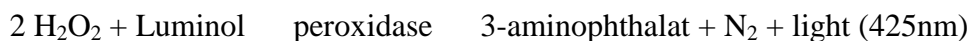
些化學物質交互作用後產生回應的一種裝置。生物感測器主要包含兩部分：一是分子辨識單元，辨識來自於生物體分子、組織的訊息，接收訊號後傳至生物感測器的另一部份：訊息轉換單元(transducer)，訊息轉換單元屬於硬體儀器元件的一種，可將生物多樣的訊息轉變成電能，以方便我們分析記錄。

而一個良好的生物感測器需要具有高專一性、高敏感度、瞬時回應等條件，故我們實驗教材中便依照此條件設計出兩套靈敏但結構卻不會太複雜，實驗材料取得也容易的兩套生物感測器。這兩套生物感測器的原理在於幾乎所有的生化反應都需要由酵素來催化，經由酵素催化反應的反應物與產物，可有質量、電能、光能、溫度等不同之處，而隨著時代進步科學的發展，我們需要能夠擁有大量篩選、準確偵測、快速回應、並且容易操作的特質的感應器來相對應，而半導體材料就是製造這些感測器中最好的選擇。綜觀不同酵素反應可以對應的半導體元件將如表二：

表二. 半導體元件做為酵素晶片的感測器

半導體元件	訊號轉換的物理特性	生物上的應用 (以酵素為例子)
感光元件 (光電二極體陣列、光轉換元件、偶電荷元件)	光 → 電流、電壓	任何可以產生冷光、螢光、可見光吸收的酵素。 (這是生化反應最常用的方法)
電化學感測器 (電流感測器)	電子的轉移 → 電流	產生電子轉移的氧化還原酵素 (去氫酵素, 氧化酵素)
石英震盪微天秤	質量的變化 → 電壓電流震盪頻率的改變	專一性的分子鍵結反應 (去氧核糖核酸或核甘酸結合蛋白)
表面電漿共振元件	質量變化 → 吸收暗帶之偏移	專一性的蛋白質與蛋白質交互作用
表面彈性波感測元件	質量變化 → 波形之變化	專一性的分子與蛋白質的交互作用
離子選擇場效電晶體 & 酵素場效電晶體 (電場感測元件)	電場的變化 → 電流的變化	產生電荷變化的酵素反應 (Hydrolase, imidase, amidase, esterase)
溫度感測計	溫度的改變 → 電阻質的變化	許多生化反應是放熱獲吸熱的 (Catalase, urease, oxalic acid oxidase, uric acid oxidase)

所選擇的「生物感測器I」就是利用CMOS這種半導體元件搭配HRP-Luminol-H₂O₂冷光反應，反應式如下：

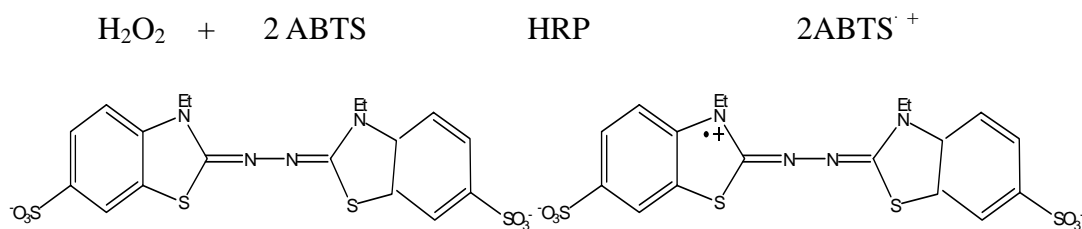


此化學反應的原理在於，luminol 受 H_2O_2 傳來的電子所激發(Horseradish peroxidase, HRP 的角色就是催化使反應快速進行)而釋出肉眼可見的藍色冷光。而 CMOS chip 是一種互補式金氧半導體光感測晶片(Complementary metal oxide semiconductor photodiode chip, 簡稱 CMOS chip)因內建感測電路與處理電路，所以可以感測到生化反應發出的冷光。在我們的實驗教材設計中，我們將記錄 CMOS chip 偵測到的不同 H_2O_2 濃度的冷光的電流值，之後以 sigmaplot 軟體繪出 H_2O_2 濃度改變的檢量線。

整個實驗教材流程將為我們將帶領學生先利用螢光光譜儀(Fluorescence spectrophotometer, F4500)的 wave scan 功能測出反應的波長、time scan 功能測出最適溫度及酸鹼值後，接著測出 Fluorescence spectrophotometer 的 H_2O_2 濃度改變的檢量線。而後保留同樣的實驗環境，但改以 CMOS 晶片來做為感測冷光反應的元件，利用萬用電表中讀出的電流訊號，繪出 H_2O_2 濃度改變的檢量線。

而這感測器 I 已經本實驗室測試過，兩者的檢量線相當，故除了證實用輕便的半導體元件組成的感測器來代替實驗室又貴且中的大型儀器的目標是可行，學生們亦可由中學到 CMOS 晶片的原理、生物冷光反應的設計及操作。

「生物感應器 II」則是利用 photodiode(感光二極體)這種市面上隨處可得的電子材料，結合 HRP-ABTS- H_2O_2 可見光反應。反應如下：



因在適當的催化環境下 ABTS 可自 H_2O_2 中得到電子轉變成 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ ，而 $\text{ABTS}^{\cdot+}$ 的最佳吸收波長和 ABTS 不同是在 405~420nm 間，我們肉眼所看到的產物顏色

會是藍綠色。這個反應不若上一個反應可以自行發出冷光，必須施加外在的光源照射反應樣本。我們選用發光波長也是介於 405~420nm 之間的藍光 LED(light emit diode) 以避免有太多的穿透光。和生物感應器 I 同樣地，我們記錄 photodiode 偵測到的不同 H₂O₂ 濃度的冷光的電流值，再以 sigmaplot 軟體繪出 H₂O₂ 濃度改變的檢量線。

感測器 II 的實驗教材流程為：我們將帶領學生先利用 UV-visible 光譜儀的 wave scan 功能測出反應的波長、time scan 功能測出最適溫度及酸鹼值後，接著測出的 H₂O₂ 濃度改變的檢量線。而後保留同樣的實驗環境，但改感測器 II 以來做為感測透光反應的元件，利用萬用電表中讀出的電流訊號，繪出 H₂O₂ 濃度改變的檢量線。而我們可以比較同一酵素反應，儀器的測量值和我們自製的生物感測器的測量值，而來比較兩者間的異同，及感測器可行性。

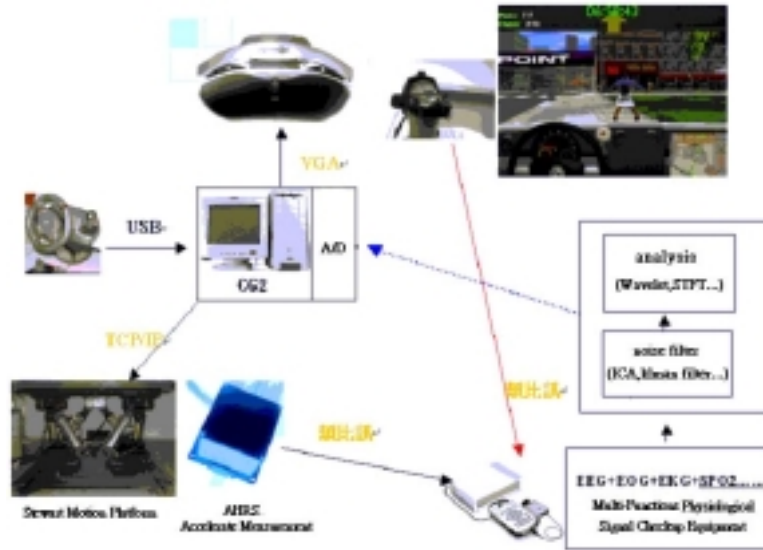
經由此生物電子教材的實驗課後，我們希望修課的同學能更懂得利用身邊的元件來偵測生物反應，並了解生物反應的廣泛及原理。因此替生物電子領域招來更多人才。

2. 腦科學與腦機介面實驗課程及實驗教材之建立

A. 動態腦波訊號量測實驗

在腦科學與腦機介面實驗課程及實驗教材中，首先我們需要進行生理訊號的量測實驗，使學員瞭解腦波量測系統之原理，感測器之安裝，以及腦波訊號即時量測等相關知識，讓學生能實際與獨立操作相關系統。此外，由於目前的人類腦生理訊號研究絕大多僅止於視覺與聽覺的刺激反應機制分析，對於動態刺激反應(kinesthetic stimuli)的研究相當少，因此本研究將進一步以虛擬實境動感平台提供動態刺激以瞭解人類的動態刺激反應。為了進行動態腦波訊號量測實驗，我們將結合動態生理訊號量測系統與動態模擬駕駛系統以收集不同受測者處於不同車輛駕駛環境的生理反應訊號，此系統包含了 VR 車輛駕駛模擬平台以提供不同的虛擬駕駛環境，以及多功能生理量測設備來同步記錄分析駕駛者在不同環境刺激下心理狀態變化，注意力轉移及反應過程的研究與模擬，整個模擬系統方塊圖規劃如圖三所示，其中主要包含六軸史都渥動作平台、VR 端電腦、車輛駕駛輸入介面與生理訊號量測儀器。使用者可以藉由開車動作(如控制方向盤、踩油門和煞車等)將控制資訊透過電腦網路傳送到場景端控制電腦，計算出車輛該有的姿態反應與場景變化，再將此資訊傳送到一個六軸動作平台並使整個動作平台在接受操控命令後，能夠精準且快速的控制一個六軸動作平台做出相對應的動作，使坐在上面的使用者能感受到真實車輛運動

狀態，以量測出人類的動態刺激反應。



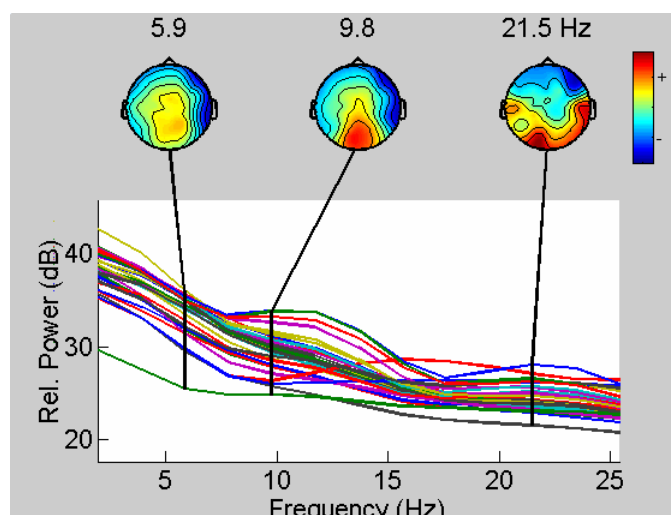
圖三、動態腦波訊號量測系統。

B. 腦波訊號分析與處理

當學員熟悉腦波訊號的量測與訊號特性後，第二階段課程即指導學員瞭解常用之腦訊號分析與技術，並評估各項分析處理技術之優缺點。在最近的三十年中，腦波主要的分析方式包含：

- i. 對腦波進行時域平均運算以獲得 Evoked Response 跟 Event-Related Potential (ERP)；
- ii. 對腦波訊號進行頻譜分析，認識人類不同狀態的頻譜反應如 α -rhythm， β -rhythm， μ -rhythm 等；
- iii. 以 Independent Component Analysis (ICA) 進行眼動干擾訊號之消除；
- iv. 以 ICA 進行 Event-Related Potential (ERP) 之特徵訊號擷取；
- v. 以 time-frequency analysis 進行腦波訊號與感知狀態之關連性分析；
- vi. 以模糊類神經網路進行感知狀態之分類。

本階段的實驗將使學員熟悉各種腦波分析技術，並瞭解如何連結整和，儲備下階段進行腦部動態特性分析、動態反應與腦機介面開發等高階實驗。



圖四、平均 ERP 事件相關腦電位的頻譜響應圖。

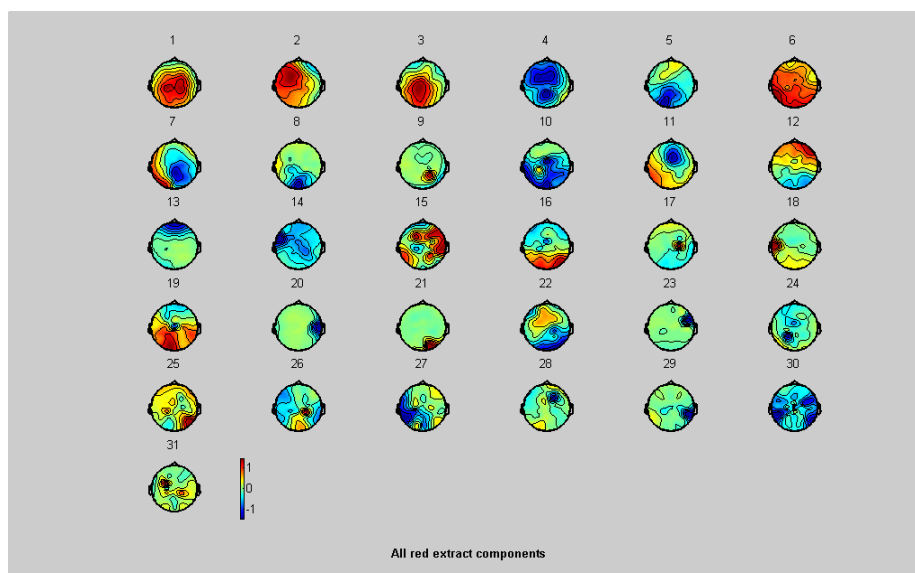
C. 短暫性腦動態特性實驗(transient brain dynamics in single trials)

本實驗將利用動態虛擬實境(VR)模擬技術，偵測受測者對於不同的場景及事件的相對應腦波訊號變化，並利用單一試驗(single trial)的方式，進行短暫性腦動態特性研究，瞭解受測者對於不同的場景及事件，是否(1)正確反應，(2)不正確反應，(3)沒有反應以及(4)辨識不正確反應的原因。目前本研究團隊將針對駕駛員在汽車駕駛過程中及不同心理壓力狀況下，對紅綠燈的生理反應分析，利用動態虛擬實境(VR)模擬技術產生隨機排列時間的紅、綠、黃三種顏色燈號，量測汽車駕駛員看到不同的紅綠黃三色號誌燈時的相對應腦波變化，在時域以單一試驗的方式得到腦波與事件刺激之間的相對關係，並利用 Independent Component Analysis (ICA)演算法過濾眼動、肌肉動作所引起的腦波雜訊，找出真正與事件相關的腦波特徵，利用 ICA 分析所得到的單一試驗腦波 EEG 訊號比傳統使用時域疊加方式 (time-domain overlap-added) 所得到的平均 EEG 腦波訊號具有更高的訊噪比，並且比較不受人工 (artificial) 雜訊的干擾，而利用 ICA 分析單一試驗的方法可以近似即時 (near real-time) 處理 EEG 訊號，有助於未來 on-line 的應用。

實驗步驟：

- i. 利用紅綠燈信號產生器產生隨機排列時間的紅、綠、黃三種顏色燈號，每次燈號出現持續時間為 300ms，其中紅色燈約佔 30%，綠色燈約佔 60%，紅色燈約佔 10%。受測者每次實驗時間約為 400sec (約包含 150~200 次事件)，中間休息 10~15 分鐘，再繼續下次實驗。
- ii. 每一次刺激為一次實驗事件(event)，例如：看到燈亮為一事件、手指按按鈕為另一事件。實驗設計為受測者看到紅色燈按右側按鈕、綠色燈不按按鈕、紅色燈則按左側按鈕，用以模擬駕駛者在實際看到紅燈時採煞

- 車、綠燈不動作及黃燈加速通過路口的行為。
- iii. 實驗記錄的腦波訊號包含 36 channels，取樣頻率為 1 KHz。
 - iv. 利用 ICA 演算法過濾眼動、肌肉動作所引起的腦波雜訊，找出真正與事件相關的腦波特徵(如圖五所示)。
 - v. 利用模糊類神經網路進行單一試驗腦動態特性分析。



圖五、31 個 ICA component 在頭皮上分佈的相對位置圖。

D. 腦波訊號與動態刺激(kinesthetic stimuli)關聯性之實驗

本實驗將延續實驗 C. 的研究成果：實驗設計流程、腦波訊號分析方法、ICA 演算法以及模糊類神經網路…等成果，繼續利用虛擬實境六軸平台產生不同的動態駕駛場景，量測並分析駕駛者在不同的精神狀態下(清醒、失神、疲倦等)的生理訊號，進行腦波訊號與動態刺激(kinesthetic stimuli)關聯性之研究。我們將初步的由簡入繁以虛擬實境六軸平台產生快速道路場景，並且同步測量駕駛者在快速道路上可能遭遇的突發狀況，以及實際量測駕駛者因為長途駕駛所引起的精神狀態(清醒、失神、疲倦等)的生理訊號，構想中初步的實驗規劃如下：

實驗步驟：

- i. 實驗的基本快速道路場景(如圖六所示)：為一左右各為兩線道的四線道快速道路，左邊有行道樹，右邊則為寬闊的平原。
- ii. 駕駛者需要維持車子開在第三車道(由左邊數來)的中心點上，車子時速則維持在 100km/hr。
- iii. 初步的實驗規劃中，平台並不需要動作，亦即沒有彎曲、顛簸以及上下振動的現象。
- iv. 車子必須要能夠隨機的左右漂移，以迫使駕駛者集中注意力在維持車子在中心車道上。

- v. 系統的效能(performance)估計以車子是否偏移車道的中心線的距離為準則，一般而言，當駕駛者的精神狀態越清醒時、則車子可以很容易的維持在車道的中心線上，反之，當駕駛者精神狀態有出現失神、疲勞以及昏睡時、車子則不容易維持在車道到中心線。

本實驗與實驗 C. 最大的差異為，生理訊號是長時間的量測，每一次測試時間大約一個小時，因此量測實驗需耗費相當長的時間來進行，使受測者可以在實驗中呈現出不同精神感知狀態，此外，由於量測的資料量相當龐大，因此需要發展即時分析處理技術。接著我們將進行動態刺激(kinesthetic stimuli)實驗，在動態刺激實驗規劃中，配合六軸平台控制器的改良及研發，我們將逐步增加虛擬實境六軸平台的動作，以更符合實際的道路狀況及動態刺激的設計，包含路面跳動，上下坡，轉彎，超速與突發事件的緊急煞車等，並且整合六軸平台加速規訊號與生理訊號(如圖三示)，以得到更完整的平台動態訊息與駕駛者的精神狀態生理訊號，探討動態刺激與腦波訊號之間的關聯性。



圖六、以虛擬實境產生的基本快速道路場景。

E. 神經感知人機互動介面之建構

在前面的研究實驗計畫中，我們已經開發完成了一個神經認知的人機互動介面雛形，此系統包含對於人類在不同刺激下，短暫性腦動態特性分析及腦波與動態刺激(kinesthetic stimuli)關聯性建構。本實驗之目的即在上述相關實驗之基礎上探索與評估給使用者各種回饋方式的效能，亦即如何正確與有效的回饋資訊給使用者。我們將針對所偵測到的使用者的精神認知狀態，動態的改變回饋資訊的時間以及警告的數量，以避免使用者產生失神或者暫時失去注意力而發生意外，另外，我們也將評估使用者對所系統所回饋的資訊的接受程度，以達到用最佳的方式，回饋最有效的資訊給使用者。例如在高速公路上駕駛車輛高速行駛時，駕駛者如果因為長時駕駛、或者因為熬夜、失眠、感冒等情況產生身體疲勞而有暫時失神、打瞌睡的情況時，因為在高速公路的車速快，駕駛者常常會因此而來不及針對意外情況做出反應而發生危險，我們可考慮針對此情況，偵測到駕駛

者的疲勞生理反應時，提供如閃光刺激、以音效提醒駕駛者休息、自動加強車上的空調冷氣，或者適時減緩車速以爭取駕駛者反應時間等等作法，評估每一種方式的效能，動態的改變回饋資訊的時間以及警告的數量，達到用最佳的方式，正確回饋最有效的資訊給使用者。

配合規畫課程有：

課程名稱	開課學期	必修/選修	預估修課人數
基礎生理學	<input checked="" type="checkbox"/> 上學期 <input type="checkbox"/> 下學期	<input type="checkbox"/> 必修 <input checked="" type="checkbox"/> 選修	40-50
開課系別年級	學分數	授課老師	跨學門領域名稱
	2 學分	林志生	電子

課程授課內容及大綱：

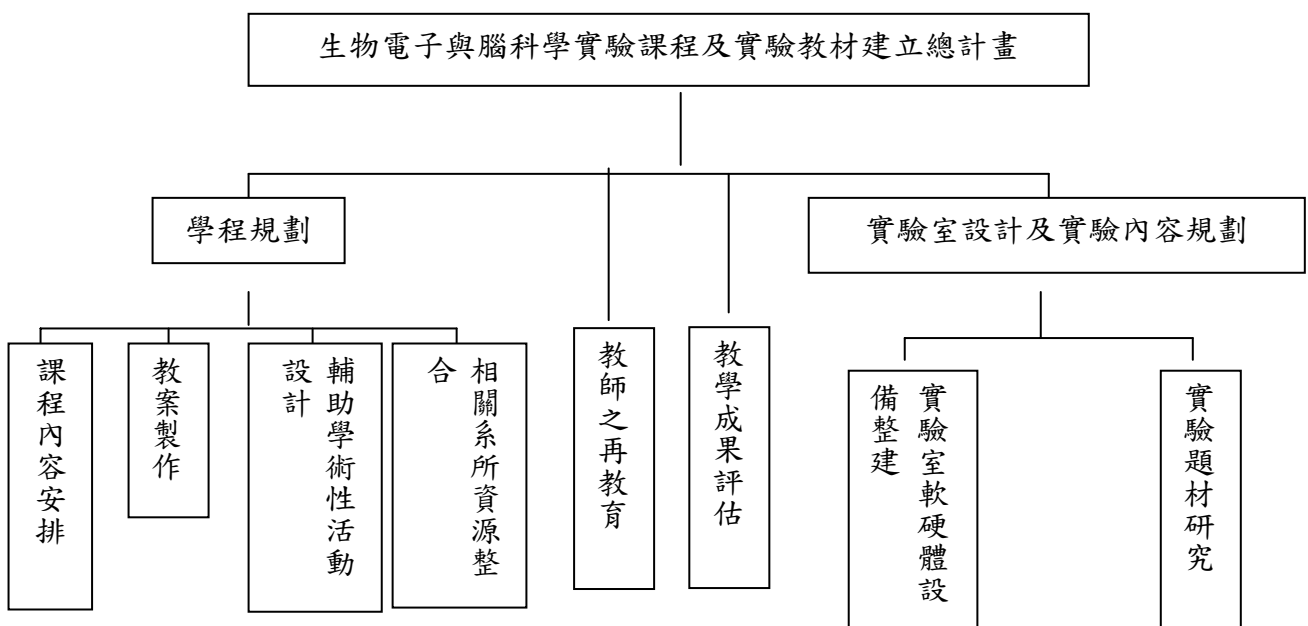
<p>課程安排如下：</p> <p>第一週：簡介身體功能與化學組成</p> <p>第二週：簡介細胞結構與作用</p> <p>第三週：中樞神經系統</p> <p>第四週：自主神經系統與感覺</p> <p>第五週：內分泌腺體與作用</p> <p>第六週：肌肉結構與收縮</p> <p>第七週：呼吸系統</p> <p>第八週：期中考</p> <p>第九週：心臟與循環</p> <p>第十週：血流與血壓</p> <p>第十一週：免疫系統</p> <p>第十二週：排泄系統</p> <p>第十三週：消化系統</p> <p>第十四週：代謝的調控</p> <p>第十五週：生殖系統與功能</p> <p>第十六週：期末考</p>
--

課程名稱	開課學期	必修/選修	預估修課人數
基礎生理學實習	<input type="checkbox"/> 上學期 <input checked="" type="checkbox"/> 下學期	<input type="checkbox"/> 必修 <input checked="" type="checkbox"/> 選修	20-30
開課系別年級	學分數	授課老師	跨學門領域名稱
	1 學分	林志生	電子

課程授課內容及大綱：

<p>課程安排如下：</p> <p>實驗一：實驗課程簡介與實驗分組</p> <p>實驗二：動物大體解剖</p> <p>實驗三：腦波量測</p> <p>實驗四：神經電位波量測</p> <p>實驗五：腦波與神經電位量測值之電腦分析</p> <p>期中考</p> <p>實驗六：肌肉收縮量測</p> <p>實驗七：血壓與心電圖量測</p> <p>實驗八：血液生化分析</p> <p>期末考</p>

本計畫執行策略與進行方式，如圖七所示。



圖七、計畫執行策略與進行方式

計畫進行方式要點有：

- a. 執行團隊就多年執行大型跨領域整合計畫及曾推動相關課程之經驗進行計畫之規畫與執行。
- b. 定期舉辦研討會(workshop)。
- c. 參考國外相關單位的教育課程內容，執行團隊成員並視需要組團參加國外研討會及參觀國外相關單位；必要時邀請國外專家、學者進行諮議並安排演講。
- d. 實驗課程規畫基本實驗課程及專題實驗課程。
- e. 專題實驗須作成果展示。

3. 學校提供的支援

- a. 本校已執行兩年，由研發處組成委員會審議，特別提供經費，補助對生物科技與電機資訊跨領域之研究及教育改進計畫之執行。
- b. 為加強推動生物科技與電機資訊跨領域之研究及教育改進，除了成立相關系所，已成立生物資訊研究中心、奈米生物感測研究中心等，提供額外之人事、空間(辦公室與實驗室)與經費，有助於本計畫之推動與執行。
- c. 奈米中心除光復校區可提供生物電子相關元件之製作實驗外，博愛校區潔淨室重新整修完成，並成立微光機電重點實驗室(相鄰數個房間)，其中之相當空間專屬生物電子研究及教育實驗使用，並已加聘一位專任約僱技術員，服務此實驗室。
- d. 由奈米中心博愛校區微光機電重點實驗室之專屬生物電子空間、奈米生物感測研究中心、生物資訊研究中心，將可充份提供生物電子與生物資訊之基本實驗及專題實驗進行。
- e. 除以上所述支援外，本計畫學校提供超過 40%之各項配合經費，以示重視此計畫之推動與執行。

4. 人力

總計畫及各子計畫除主持人、共同主持人、協同研究人員與，參與教授外，奈米中心博愛校區、奈米生物感測研究中心、生物資訊研究中心、腦科學研究中心行政及技術人員也支援此計畫之執行。

四、 結果與討論

1. 執行進度與結果

- (1). 配合已設立生物電子、生物資訊兩學程，增加『生物電子實驗』、『基礎生理學實習』等實驗課程科目，並加強相關實驗課程實驗內容與實驗室實驗設施。
- (2). 新開授跨系所、跨領域課程，如理學院非生科系選修之『近代生物學導論』、電機資訊學院之『近代生物學』(一)、(二)、跨學院之『生物晶片技術』、『生物晶片實作』等…。
- (3). 於奈米中心(原半導體中心)建立共用之『生物晶片』與『生物感測器』製作環境。
- (4). 運用本計畫及相關計畫經費，新設『生物光電量測實驗室』，並逐步加強實驗設施，提供『生物電子實驗』課程教學與相關研究使用；加強『腦科學與腦

機介面實驗室』實驗環境，提供『基礎生理學實習』課程教學與相關研究使用。

- (5). 研續兩科教處計畫，已在全校培養了跨領域學習興趣與風氣，修習跨領域課程學生遍佈各學院、各科系。

近兩年各學期部份課程跨領域選修課學生人數統計如下。

■ 93 學年度第 1 學期

有機化學(二)：應化 7、生科 43、管科 1 - 計 51 人；

近代生物學(一)(電資學院)：電工 13、電控 3、電信 11、資工 22、光電 12、電資 5、材料 1、運管 1 - 計 69 人；

光學概論(一)：電信 5、電物 54、應數 1、生科 3 - 計 63 人；

生物化學(一)：電工 7、資科 2、電資 1、土木 1、應化 29、生科 34、管科 1、產安專 1、清華 3 - 計 79 人；

微生物學：生科 38、管科 1、運管 1 - 計 41 人；

生物有機化學：應化 1、生科 9 - 計 10 人；

分析化學：土木 1、應化 53、生科 3 - 計 57 人；

基因晶片之應用：電工 2、生科 10 - 計 12 人；

細胞生物學：電工 2、資科 3、機械 1、應數 1、應化 1、生科 41、管科 1、清華 3 - 計 53 人；

生物晶片技術：電工 9、電控 1、機械、應化 5、應科專 1、生科 22 - 計 39 人；

生物資訊應用：電控 3、生科 14、生化 1、生資 7、外文 1 - 計 26 人；

基因晶片實驗技術：電工 1、生科 5、生化 5 - 計 11 人；

■ 93 學年度第 2 學期

近代生物學導論(電資學院)：電工 27、電控 5、電信 2、電資 2、材料 2、管科 1、產安專 2 - 計 41 人；

有機化學(一)：電控 1、資科 1、應數 1、應化 1、生科 45 - 計 49 人；

光學概論(二)：電物 21、生科 2 - 計 23 人；

生物化學(二)：資科 2、應化 2、生科 38、管科 1、清華 1 - 計 44 人。

細胞生物學(二)：電工 1、應數 1、生科 28、運管 1 - 計 31 人；

分析化學：應化 1、生科 14 - 計 15 人；

分子生物學：機械 1、應數 1、生科 39、管科 1、產安專 1 - 計 43 人；

生物晶片實作：生科 4 - 計 4 人。

■ 94 學年度第 1 學期部份課程修課學生之統計如下所述。

有機化學(二)：資科 1、應化 43、生科 38、東華 1 - 計 41 人；

近代生物學實驗：物理 1、生科 13、教育 1 - 計 15 人；

生物化學(一)：電工 1、電控 2、材料 3、應化 12、生科 39、教育 2、東吳 1、清華 3 - 計 63 人；

普通生物學(一)：電工 1、資工 2、資科 1、材料 12、應化 2、生科 34、光電 1、

管科 3、工管 2 - 計 46 人；
英語生醫會報：生科 4、生化 3、生資 2 - 計 9 人；
生化工學導論：資工 1、生科 12、生化 17 - 計 30 人；
基因晶片之應用：生科 4、生化 2、中華 1 - 計 7 人；
細胞生物學(一)：應化 2、生科 40、管科 1 - 計 43 人；
生物晶片技術：電工 1、電子 7、電控 8、電信 25、應數 1、應化 2、生科 24、生
化 1、生資 1、產安專 7、中華 1、清華 1 - 計 79 人；
生物電子概論暨實驗：電工 1、土木 1、生科 8、生資 1、清華 1 - 計 12 人；

■ 94 學年度第 2 學期部份課程修課學生之統計如下所述。

分析化學(一)：應化 58、生科 6 - 計 64 人；
有機化學(二)：電控 2、應化 59、生科 4 - 計 65 人；
近代生物學(二)：電工 4、電控 1、電信 11、資工 58、材料 8、電物 1、應數 1、
管科 1、電資學士 2 - 計 87 人；
生物化學(二)：電控 1、土木 1、應化 7、生科 45、教育 2、清華 5 - 計 61 人；
分子生物學：電控 1、資工 1、應化 1、生科 34 - 計 37 人；
病毒學：生科 43、生化 2、生資 1、管科 1 - 計 47 人；
半導體元件物理：電工 10、材料 4、生科 1、微電子產專 18 - 計 33 人；
細胞生物學(二)：資工 1、應化 1、生科 29、管科 1 - 計 32 人；
生物晶片實作：電工 3、生科 1 - 計 4 人；
生物有機實驗技術：生科 4、中興 1 - 計 5 人；
細菌致病機制：生科 11、清華 3 - 計 14 人；
生醫訊號分析概論：生科 10、清華 2 - 計 12 人；

2. 學程實施辦法

國立交通大學 生物資訊 學程實施辦法

- 一、為提供學生跨學域並具整合性之選課環境，特訂定本生物資訊學程，其主要在於整合生科、資科工等不同學域內之課程，培養具有此類專長基本訓練之學生。
- 二、凡本校學生，均得申請修讀本學程，修滿本學程規定之科目及學分者，由本校發給學程修畢證明。
- 三、本學程由理學院及電機資訊學院共同規劃，生物科技系所、資訊科學系所、資訊工程系所及統計所所提供課程。
- 四、本學程之學分規定：1). 需修滿下列必(選)修課程達 24 學分(含)以上。2). 必修核心課程為九學分，並且所修學分至少有 9 學分不屬於學生主修科目。3). 生物核心課程及資訊核心課程各至少修 3 學分。4). 選修課程為 15 學分，其中所修學分至少有 6 學分不屬於學生原主修科目。

國立交通大學學程課程規劃表

一、學程名稱：生物資訊

二、課程名稱及開課系所：

必修核心課程

	科目名稱	學分數	學期	開課系所	建議先修課程
生物 核心 課程	普通生物學(一)	3	上(二選一)	生科等系所	普通生物學(一)
	基因體簡介	3			
	生物化學(一)	3	下	生科等系所	
	分子生物學	3	上	生科等系所	
資訊 核心 課程	程式設計	3	上	資科等系所	計算機概論
	資料結構	3	上	資科等系所	
	統計學	3	上 or 下	統計等系所	
	計算生物學	3	下	生科等系所	
	生物資訊	3	上(三選一)	資科等系所	

選修課程

課程名稱	學分數	學期	開課系所	建議先修課程
普通生物學(二)	3	下	生科等系所	
生物化學(二)	3	上	生科等系所	
生物分子模擬概論	3	下	生科等系所	
遺傳學	3	下	生科等系所	
生物資訊應用	3	上	生科等系所	
演算法	3	上 or 下	資科等系所	資料結構
網路程式規劃	3	下	資科等系所	
資料庫管理系統	3	上	資科等系所	

三、召集人姓名：黃鎮剛(生科系)、孫春在(資科系)

四、聯絡人姓名：胡毓志(資科系)、楊進木(生科系)、荊宇泰(資工)、洪志真(統計所)

國立交通大學 生物電子 學程實施辦法

- 一、為提供學生跨學域並具整合性之選課環境，特訂定本生物電子學程，其目標主要在於整合生科、電機、電子等不同學域內之課程，培養具備此跨學域專長基本訓練之學生。
- 二、凡本校學生，均得申請修讀本學程，修滿本學程規定之科目及學分者，由本校發給學程修畢證明。
- 三、本學程由理學院生物科技系所及電機資訊學院電子工程系所共同規劃，相關系所開授課程。
- 四、本學程之學分規定：(1)修滿下列必(選)修課程達 25 學分(含)以上；(2)必修核心課程為 12 學分，生物、電子兩領域各選修 6 學分；(3)必修進階課程為 13 學分，包含『生物晶片原理』2 學分、『生物晶片實作』2 學分、以及跨生物、電子兩領域選修計 9 學分。

國立交通大學學程課程規劃表

一、學程名稱：生物電子

二、課程名稱及開課系所：

必修核心課程 12 學分

	科目名稱	學分數	規定	開課系所	備註
生物 核心 課程	近代生物學導論、有機化學(包括有機化學(一)、(二)或(三))	6	四選一 計 6 學分	生科系所 及理學院	非生科專業 學生建議優 先選讀此三 組學科之課 程。
	基因體及蛋白質體簡介、有機化學(包括有機化學(一)、(二)或(三))	6			
	近代生物學(一)、(二)	6		電工系所	
	普通生物學(一)、(二)	6		生科系所	
電子 核心 課程	電子學(一)、(二)	6	四選一 計 6 學分	各系所	
	應用電子學、高等電子學	6		各系所	
	電磁學(一)、(二)	6		各系所	
	光學概論(一)、(二)	6		各系所	

必修進階課程 13 學分

	科目名稱	學分數	規定	開課系所	備註
生物 進階 課程	生物化學(一)	3	跨兩領域 選修至少 9 學分	生科等系所 及應化系	
	生物化學(二)	3			
	微生物學	3			
	細胞生物學	3			
	生化工程導論	3			
	酵素及蛋白質工程學	3			
	生物合成與工程學	3			
	生物有機化學	3			
	生理學	3			
	分析化學	3			
	分子生物學	3			
	病毒學	3			
	基因晶片之應用	3			

電子 進階 課程	半導體工程、或半導體製程	3	跨兩領域 選修至少 9 學分	電子、材料等 系所	
	半導體元件物理、或固態電子元件	3		電子、材料等 系所	
	光電概論、光電子學、或光電半導體 物理及元件	3		電機資訊學 院及理、工學 院各系所	
	感測與介面、或微感測器原理與應用	3		電控系所	
	微機電系統概論	3		機械系所	
	生物感測器概論	3		各系所	
共同 進階 課程	生物晶片技術	2	共同必修 計 4 學分	各系所合開	
	生物晶片實作	2		各系所合開	

三、召集人姓名：楊裕雄、袁俊傑(生科系)、黃遠東 (電工系)。

四、聯絡人姓名：賴美伶 (生科系)。

生物晶片技術(Biochip Technology)

學期：Fall, 2005.

課號：IBT5930 (.)

學分數：2.

上課時間及地點：星期五(Fri) EF--13:30~15:20 (C202).

課程負責教授：

楊裕雄 C217, TEL: 5712121 Ext. 31983, E-mail: ysyang@cc.nctu.edu.tw.

黃遠東 ED509, TEL: 5712121 Ext. 54138 (NFC214a, Ext. 55601);

E-mail: huangyt@cc.nctu.edu.tw, Web-site:

<http://iol.ee.nctu.edu.tw/huangyt/>

參考資料：

1. Class Notes.
2. Jing Cheng and Larry J. Kricka, *Biochip Technology*, Harwood Academic Publishers, 2001.
3. 『生技時代』2002年3月號『生物晶片』專輯。
4. 『電子月刊』2002年5月號『生物晶片』專輯。

課程簡介：一晶片上製作結合生物或有機物質之元件或裝置稱為『生物晶片(biochip)』，具有微小化且能低價格大量而快速生產之特性。此生物或有機物質可能萃取自生物樣本或於實驗室中人工合成。生物晶片分(1)『感測(sensing)晶片』類，有DNA 微陣列晶片(或稱基因晶片, gene chip)、蛋白質晶片、表面電漿共振(SPR) 生物分子交互作用分析晶片、電子鼻(或稱人工鼻)晶片、電子舌頭、視網膜晶片等；(2)『處理(processing)晶片』類，有聚合酶鏈反應(PCR)晶片、微流體晶片；(3)『處理與感測整合晶片』類，有微整合分析晶片(Micrototal Analytical Systems, μ TAS)、及生化實驗平台晶片(lab-on-a-chip)等。本課程即介紹相關知識及技術。

課程內容：

1. 簡介生物電子與生物晶片 (9/16, 電子工程系 黃遠東教授)
2. 微電子技術於生物晶片之應用 (9/23, 電子工程系 黃遠東教授)
3. 從基因體學到蛋白體學-酵素與蛋白質 (9/30, 生物科技系 楊裕雄教授)
4. 雷射鑷夾及其在奈米生物科技上的應用(10/7, 電子物理系 徐琅教授)
5. Principle and Applications of Gene Chips (10/14, 生物科技系 林志生教授)
6. 蛋白質微陣列與生物分子固定化 (10/21, 生物科技系 吳東昆教授)
7. 基因工程技術與應用 (10/28, 生物科技系 袁俊傑教授)
8. 基因與基因體(11/4, 生物科技系 袁俊傑教授)
9. 生醫訊號分析(11/11, 生物科技系 梁勝富教授)
10. 生物訊息檢測相關技術 (11/18, 電子工程系 黃遠東教授)
11. 「生物訊號感測技術與應用」生物訊號感測及微生醫系統簡介 (11/25, 生物科技系 袁俊傑教授)
12. 光波導表面電漿子共振(SPR)生化感測晶片 (12/2, 電子工程系 黃遠東教授)
13. Biomolecular Recognition and Regulation through Semiconductor Electronics and IC Design (12/9, 生物科技系 楊裕雄教授)
14. 生物資訊之理論與應用(I) (12/16, 生物科技系 黃憲達教授)
15. 生物資訊在生物科技之應用 (12/23, 生物科技系 楊進木教授)
16. 微機電系統技術與生物科技及微流體元件簡介 (12/30, 機械工程系 徐文祥教授)
17. 微晶片電泳的原理與應用 (1/6, 應用化學系 謝有容教授)
18. 期末考 (1/13)

上課規定：

上課前簽到並拿專題演講記錄紙，聽講時將內容要點記錄在記錄紙上，下課時交回記錄紙。成績根據出席情況、演講記錄內容、期末考、期末報告評分。

3. 『生物電子概論暨實驗』課程

開課單位	生物科技系	授課教師	楊裕雄/莊旻傑	授課學期	94 學年度上
課程名稱	生物電子概論暨實驗			助教	
英文名稱	Introduction and Experiments on BioElectronics			人數上限	12
學分數	3	上課時數	3	上課時間	

課程背景簡介：

生命科學的研究，已進入蓬勃發展的階段，近年來，生命科學與工程領域結合並相輔相成的推動下，發展出『生物電子』的新主題，這股潮流將為生命科學界突破過去的一些困難，同時，跨領域合作的新思維，也為生命科學開闢了更寬廣的視野，無庸置疑地將帶給人類社會更多便利與福祉。

至目前為止，全世界並沒有明確的定義用來描述『生物電子』這個新領域，但和下述主題相關的領域，我們可稱之為生物電子—

1. 應用於電子領域的生物或生物無機複合材料
2. 具生物相容性的電子元件(如植入式元件)
3. 應用生物材料所發展之感測元件
4. 應用於生物體內或體外之各式感測器
5. 模擬人體器官之人造元件(如電子鼻、電子耳、電子眼等)
6. 利用電子技術調控或改變生物特性的相關科技及應用
7. 利用生化製程所合成出的電子領域需求品
8. 利用電子製程所合成出的生物化學品

台灣半導體產業具有舉世聞名的成就，其中交通大學在電子與半導體研究領域累積雄厚基礎，多年來具有領先群倫的優異表現，以此基礎和生物科技結合用以培育下一階段生物電子設計與開發人才，將是我們未來可發展方向之一，藉由不同領域的整合，持續提供有興趣的學生於生物電子領域創新研究。

交通大學推動『生物電子』主題領域多年，目前已具備優異的成果，近年來，我們依據研究此主題所獲得之寶貴經驗，著手規劃生物電子跨領域學程及提升生物感測跨領域教學與研究計畫，以期能培育下一代優秀生物電子研究人材，進而提高跨領域研究的層次。其中，跨領域的生物感測技術開發是生物科技系所教學與研究的重點方向之一，在資源充足及跨領域教學與研究品質不斷提升的支持下，在可預期的將來，跨領域生物感測技術將成為交通大學權威研究之一。

課程目標：

透過起始課程的介紹，使學生對於生物電子領域範疇、基本觀念、及製程技術有初步的了解，並透過之後的三項實驗：奈米碳管場效電晶體(Carbon nanotube field effect transistors, CNT FET)、生物電化學應用生物電子(Electrochemically relevant bioelectronics)、生物化學冷光感測系統(Biochemically luminescence detecting system)，使學生對於生物電子領域相關研究有進一步的體會，所學知識及技術將成為日後進行相關研究的主要基石。

課程綱要及時程：

Week	Content of Instruction
------	------------------------

- 1st Check in
- 2-3 **Introduction of BioElectronics**
1. Scope of BioElectronics
 2. Application of BioElectronics
 3. Biological and biomedical sensors
 4. Artificial devices such as eyes, ears, and noses
 5. Interface between electronics and biomolecules
 6. Materials for BioElectronics
 7. Fabrication relevant to BioElectronics
- 4-5 **Experimental study on carbon nanotube field effect transistors (CNT FET) based devices**
1. Lecture on basics of CNT FET (1 hr)
 2. Introduction of CNT FET related instruments (0.5 hr)
 3. Examination of electronic characteristics of CNT FET (2 hrs)*1
 4. Conjugation of biomolecules and CNT FET devices (2.5 hrs)*2
- 6-9 **Experimental study on electrochemically relevant bioelectronics**
1. Lecture on fundamental of bioelectrochemistry (2 hrs)
 2. Introduction of bioelectrochemically related instruments (1 hrs)
 3. Practical training of a bio-determination system (4 hrs)*3
 4. Approach of an electrochemically transduced biosensor (5 hrs)*4
- 10-13 **Experimental study on biochemically luminescence detecting system**
1. Lecture on basics of biochemically luminescence detecting system (2 hrs)
 2. Introduction of related instruments (1 hrs)
 3. Design and operation of enzymatic reaction for detection processes (5 hrs)*5
 4. Investigation of sensing behavior by using a commercial photodiode device (4 hrs)*6
- 14-16 Final presentation

*1 學生將利用元件檢測儀器如 HP4156 進行 CNT FET 元件的量測

*2 學生將學習並操作生物分子於奈米區域的固定化技術，探討已固定元件之特性，並使用已固定生物分子之元件進行液態感測

*3 將學習使用電化學分析儀進行典型物質如 Ferrocene dicarboxylic acid 等的電分析實驗，進而進行特殊蛋白質的電化學特性探討

*4 以所學之電化學技術，學生可自行選擇(或由任課老師指定)一生化待測物，並進行此待測物生物感測器之開發實驗

*5 學生自行決定(或由任課老師指定)一待測物，並根據所學之酵素反應設計原理，設計並進行此酵素反應以應用於此冷光感測系統

*6 以上述學生所設計之酵素反應，使用商用 photodiode 為光吸收元件，配合設計電路讀取訊號值做為感測訊號

課程要求及評分標準：課程參與：10%，實驗參與：60%，期末報告：30%

4. 『腦科學與腦機介面實驗』課程

在『腦科學與腦機介面實驗』課程及實驗教材中，基於利用肌電圖作為義肢或機械手臂的控制命令，是相當直接及自然的方法，本年度我們針對肌電圖與因應的手部動作以及速度辨識進行分析，建構出一套及時的基於肌電波機械手臂控制系統，操作者可以手肘的伸或曲，快或慢來操作機械手臂，此系統利用 2-channel 的表面電極從肱二頭肌與肱三頭肌得到肌肉訊號，接著在時域及頻域上評估肌肉動態及強度，透過分類器辨識及速度曲線映射辨識出前臂之動作與大約的速度，再轉成機械手臂之控制命令，機械手臂則根據接收之指令做出相對應的動作，為了達到即時控制之目的，我們也發展一套訊號整合分析及機械手臂控制之人機介面，研究方法及成果如下：

肌電訊號是人在做動作時肌肉收縮所產生的，代表的是肌肉活動的狀況，而肌電訊號經過濾波特徵擷取之後，可觀察出動作狀態。肌肉的施力大小、力矩大小、手肘角速度以及疲勞程度等等，不過人體屬於複雜模糊系統，產生的肌電訊號也是如此，原因如下：

- (1) 同一個人做同樣的動作由於完成度以及角度之不同仍然很難量測到相同的 EMG 訊號。
- (2) 每一條肌肉的訊號不只與一個運動相關，仍然會受到其他運動所影響，例如肩關節的運動會影響到肱二頭肌與肱三頭肌的訊號，前臂屈曲時不只影響肱二頭肌，肱三頭肌也會受影響。
- (3) 生理狀況（如疲勞）或皮膚表面狀況（如溫度）都會影響 EMG 訊號的表現。
- (4) 由於每個人之肌肉強度不同，肌肉活動與方式也有差異。

以上造成 EMG 訊號高度非線性造成分析上的困難，EMG 訊號的模糊性使我們很難精確推論出肌肉活動狀態，但在經過適當的處理、量化、分類之後，依然可以對 EMG 訊號做出正確的分析結果，在肌電訊號中，常被量化作為動作分析、施力大小、疲勞程度之分析因子主要有(1)訊號強度分析以及(2)訊號頻譜分析。

(1)訊號強度分析

一般以肌電活動性(electrical activity, EA)以及肌肉活動性(muscular activity)的方式來評估強度，而強度分析的指標有均方根值(root mean square, RMS)，積分肌電值(IEMG)，平均振幅(MA)，皆反映出活動中之肌肉的情況，在不疲勞狀況之下，同一條肌肉肌電訊號越強表示其施力越大，在靜態等長收縮施力(isometric contraction)中更加明顯，IEMG 為肌電訊號經過濾波之後在單位時間內積分之總合，其用途為肌電訊號隨著時間進行所產生的強度變化，RMS 和 IEMG 一樣也可在時域上反映 EMG 信號振幅的變化，且 RMS 又取決於肌肉負荷、個人肌肉強度及肌肉間化學變化中的相互影響，它較難反映肌電信號的細節變化，平均振幅(MA)反映肌肉電信號的強度，與參與的 motor unit 數目及放電頻率同步化程度有關。

(2)訊號頻譜分析

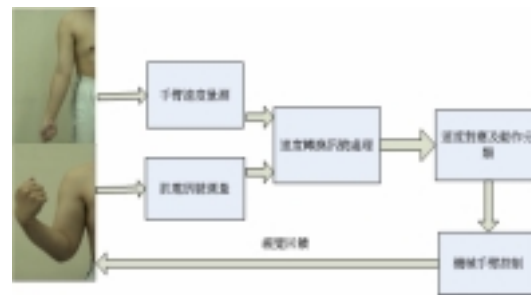
頻譜分析的指標有中位頻率(median frequency, MDF)和平均功率頻率(mean

power frequency, MPF)，MDF 是將肌電訊號經過傅利葉轉換之後之頻譜分佈做正規化積分運算（積分最後的值為 1），而 0.5 所對應到之頻率即為 MDF。MPF 則為肌電訊號經過傅利轉換後平均值所對應到的頻率，頻譜分佈的變化與施力大小、速度大小以及疲勞度有關，在未疲勞之前，施力的變化會使頻譜分佈在較高之頻率，疲勞之後會使會使頻譜分佈在較低之頻帶，原因為當肌肉疲勞時，肌纖維間的 impulse 傳導速度減慢，運動單元放電頻率下降因而導致 MDF 和 MPF 的下降。

在頻域中進行分析雖有一定優勢，但是在進行傅利葉轉換中自身存在一個嚴重的缺點，它需要肌電訊號在全時域中資訊來綜合分析，訊號在任何時間的變化都會影響頻譜的分佈及變化，無法應用在即時分析及控制上，因此本方法在做即時遠端控制上還採用時域中擷取之特徵值。

EMG 機械手臂控制系統

文獻曾提及許多使用 EMG 訊號來操控復健裝置及多功能義肢的研究，一般而言其系統架構可分為四個部分：訊號量測、訊號處理、分類器設計以及裝置控制，本論文為加入了肌肉強度分析、速度辨識及控制之架構，可根據使用者的意圖強度來對系統做強度及速度之控制，架構如圖一所示。



圖一 基於肌電圖之機器臂控制系統示意圖

訊號量測與處理

我們探討的對象屬於上肢受損或截肢，因此我們將針對移動前臂的肌肉來討論。前臂動作均由數條肌肉共同完成，但是在實際的 EMG 訊號量測必須考慮到肌肉面積的大小以及位置等因素，因為這些因素都可能會影響 EMG 訊號的量測，甚至可能會造成訊號量測時不必要的困擾，因此我們選擇對肱二頭肌（Biceps brachii）、肱三頭肌（Triceps）進行量測，另外因為在同一條肌肉上，不同的電極位置，所收集到的 EMG 訊號仍存在著相當的差異性，為了收集到正確且有意義的 EMG 訊號，我們必須將電極安置在肌腹的位置。訊號處理主要包含濾波器設計以及特徵擷取兩個部分，因為擷取出的 EMG 訊號摻雜了許多雜訊[1]，如 ECG 的 crosstalk、電源線輻射干擾（60Hz）、運動造成的雜訊。ECG 即所謂的心電圖，只要選擇離心臟較遠或是身體右半邊的肌肉來量測，即可降低 ECG crosstalk 的影響。導線輻射干擾的頻率約為 60Hz，在 EMG 訊號的主要頻率之內，因此不建議使用帶拒濾波器來解決這方面的問題。運動造成的雜訊主要有兩個來源，一個是手臂運動時造成的電極的滑動，另一個則是電極的導線晃動，這兩種雜訊的頻率分布範圍約在 0~20Hz，可設計一高通濾波來解決，針對 EMG 訊號的頻帶分布

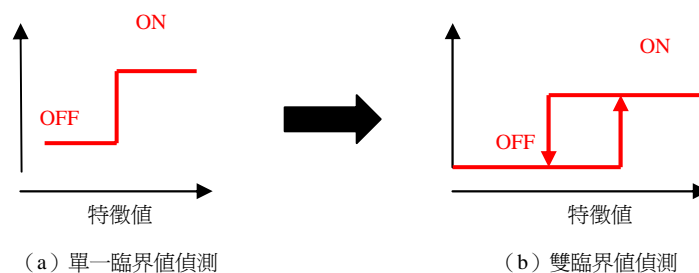
(0-500Hz) 與移動時所造成的干擾 (0-20Hz)，我們設計六階的 Butterworth 帶通濾波器，通過頻率與截止頻率分別為 20Hz 與 400Hz，接著擷取其特徵，在判別手臂動作我們採用特徵值 IEMG(MAV):

$$MAV = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |X_k|$$

分類器設計

大部分商業上的義肢控制多是僅僅是針對單一軸的控制，例如手掌打開、握緊，手肘屈曲、伸直，因而我們的系統僅針對手肘的曲伸兩個動作進行分類，因此在分類器設計部分，以起始點偵測的方式來完成前臂曲伸的判斷，再根據生理學上的知識以及對 EMG 訊號的觀察，設計出簡單的判斷法則，以此決定機器臂的控制命令，此做法可簡化系統的複雜度並提高工作效率。特徵值提供了不同的肌肉活動資訊，可做為評估肌肉收縮狀況的依據，起始點偵測法則為選取一適當的臨界值作為判斷的指標，當特徵值高於臨界值則狀態為 ON，而低於臨界值之後，則判定狀態為 OFF，示意圖如圖二(a)。然而此單一臨界值的判定尚有不穩定的問題產生，因此我們將起始點偵測修正成雙臨界值的判定，當特徵值大於高臨界則認定狀態為 ON，一直到特徵值小於低臨界之後才判定狀態為 OFF，示意圖如圖二(b)，此方法利用兩個臨界值來形成緩衝區，以改善不穩定的現象。

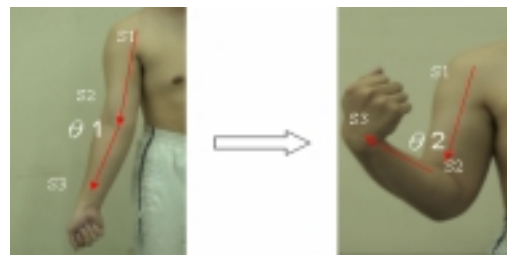
分類器即是依據起始點偵測法則來設計，利用肱三頭肌的偵測結果來決定前臂屈曲與否，同樣可利用肱二頭肌的偵測結果來決定前臂伸展與否，但肌肉 crosstalk 的影響，會造成兩個肌肉上的通道都產生動作的錯誤情形(屈曲與伸展同時發生)，因此在起始點偵測的臨界值選取，則必須特別的要求以避免誤判的發生，另外也必須針對錯誤的情形發出警訊，並進一步的修正，最後我們依據兩個通道上的起始點偵測結果，將分類器的輸出分為四種狀態: STOP、UP、DOWN、ERROR，根據這四種狀態來控制機器臂產生相對應的運動。影響此分類器的性能主要有三個因素: (1) 特徵值的選取，(2) 取樣點的數量，和 (3) 臨界值的選取。為了能夠得到更好的偵測性能，必須選擇一個波形較為平滑的特徵值，平滑的波形可藉由提高取樣點的數目來達成，然而取樣點數提高，則同時增加時間延遲，臨界值的選取對於系統的響應速度以及穩定性有非常大的影響，因此對於高低臨界必須仔細考量，然而因為不同個體間的模糊性影響，並沒有一固定的範圍，因此必須藉由分析不同個體的特徵值變化來加以手動調整。



圖二 單一臨界值偵測與雙臨界值偵測示意圖：
(a)單一臨界和(b)雙臨界值偵測。

手臂速度量測

為了正確的測量出手臂在曲跟伸時的角速度，我們放置三各分位置 sensor 在手腕、手軸彎曲處以及肱二頭肌與肩膀交集處，在每次取樣時同時紀錄三點在空間的絕對座標，接者利用兩次取樣間的向量夾角變化以及所設定的取樣頻率求出手臂運動之角速度以及角加速度。



(a)手臂運動前 (b)手臂運動後

圖三 手臂運動與角度關係圖

在測量座標時必需注意下列幾點：

- (1)三個 sensor 擺放順序必須固定，以免產生出反向的向量，造成錯誤角度變化(角度可能為正確角度之補角或正負相反)。
- (2)在手臂運動的同時，避免讓 Sensor 滑動而產生偏移的向量，但是在過程中身體的轉動及晃動則不會影響結果，只要參考點固定不動(不滑動)，向量为兩點座標相減而得，為相對量因此不受影響。
- (3)座標之偵測是利用電磁波之反射而推得，因此擁有散發電磁波之物品(如手機等)要盡量遠離電磁球以免干擾。
- (4) Sensor 之導線應避免與電極貼片之導線碰撞，雖然碰撞後座標並不因此改變，但卻會造成 EMG 訊號異常之波動。

速度映射

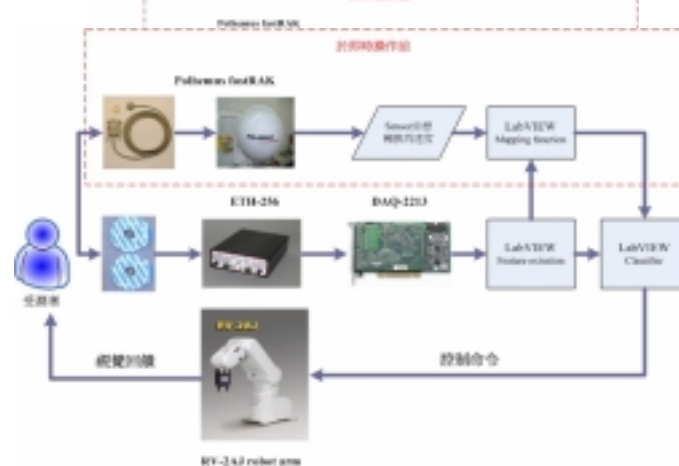
一般以 EMG 訊號來處理手臂力矩、速度及評估疲勞狀態上，常以頻譜分析以及在時域上對訊號做特徵值擷取來分析，在頻譜上雖可輕易藉由觀察頻譜分布與頻譜的振幅來分析肌肉的動態以及疲勞與否，若要觀察頻譜分佈則要經過傅利葉轉換，過程中必須對全時域做積分，也就是說若以頻譜的方式是無法對機械手臂做即時控制的，因此本系統採用在時域對 EMG 訊號做速度分析、動作分類。

IEMG 可以反映出肌肉當時的動態，在判定肌肉的動作上有一定的準確率，不過有一件事無法忽略，IEMG 是對訊號的絕對值作積分，作用時間越長累積的 IEMG 就越大，難以觀察出在單一時刻肌肉的強度與速度，以振幅處理來分析手臂速度看似為一條可行之道，但是在實驗過程中，在相似的手臂揮動速度中，由於肌肉的疲勞度、電極擺設的偏差以及個人肌肉強度不同所得到振幅差異性極大，在映射上會造成極大的誤差，因此我們加入以肌肉當時最大負荷(MVC, maximum voluntary contraction)作為分母，其他手臂揮動所產生的振幅當分子，以相對

而不以絕對的方法來做速度映射，所謂最大負荷是指肌肉在自由意志之下所能產生最大的力量，因此我們得到的輸入項為由 0 到 1 之值，這樣得到的映射函數即使應用在不同人身上，差異可大幅減低。

軟硬體實現

完整的系統架構如圖四所示，為了讓訊號得以從外部雜訊中分離出來，首先前臂運動所產生的 EMG 訊號必須經由電極收集並透過放大器放大，基於安全與舒適的考量，我們所使用的電極為表面電極及 iworx 公司的 ETH-256 生理訊號放大器，量測出來的 EMG 為類比訊號，為了傳送到電腦端作進一步的分析處理，我們使用 ADLink 公司的 DAQ-2213 資料擷取卡，將訊號取樣轉換為數位訊號，而電腦端則使用 LabVIEW 來擷取訊號並即時顯示與儲存，藉由程式編譯來完成濾波器設計、特徵擷取、手臂速度轉換及映射與分類器的設計工作，機器臂程式則根據分類器的辨識結果來操控機器臂的動作及速度。另外為了方便使用者操作此系統，且能夠即時的了解肌肉的活動狀況，並且監督機器臂的運動情形，我們使用 LabVIEW 建構一套人機介面，操作者能夠根據運動的意圖來操控機器臂產生相對應的運動，並且在操作過程中，監控系統中每個環節的狀況。



圖四 完整系統架構圖

實驗與討論

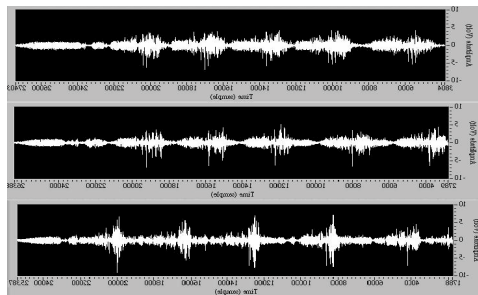
基於所建構出的基於 EMG 之機器臂控制系統，在此我們進行實驗，對肌電訊號、手臂速度、施力之間的關係加以探討，從時域與頻域兩方面對速度的對映來分析，並且針對個人肌肉強度、肌肉疲勞的程度對手臂角速度的影響進行討論並提出解決之道，最後利用求得的映射函數對機械手臂執行手臂速度相關的操控，實驗場景如圖五所示，首先將電極安置在操作者的肱二頭肌 (CH1) 與肱三頭肌 (CH2)，EMG 訊號經由擷取及前置處理之後，即時顯示在我們建構的人機介面上，讓使用者可以藉由觀察訊號的變化，經由所設計的分類器及速度映射將控制命令經由區網傳送到遠端機器臂，機器臂隨之產生相對應的運動，使用者則利用視覺回饋決定機械手臂的下一步動作。



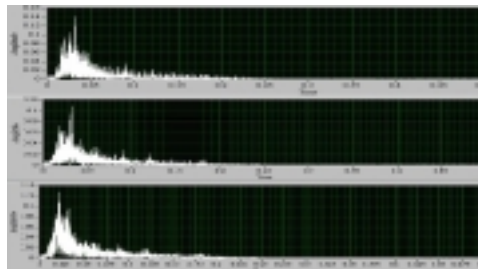
圖五 實驗場景

肌電訊號相對手臂速度之分析

肌電訊號的強弱與手臂施力大小、揮動快慢有相當的關連，為了了解在不同速度之下肌電訊號的變化，在此我們將分別在時域及頻域對不同速度之下所產生的肌電訊號進行分析。圖六顯示出手臂速度由慢到快肌電訊號振幅有所提高，這也是速度映射的依據，圖七顯示手臂速度由慢到快在頻域上的分佈，在頻域上較難看出其關係但仍可發現速度越快頻譜分佈越集中。



圖六 速度由慢到快所對映的振幅，動作為曲

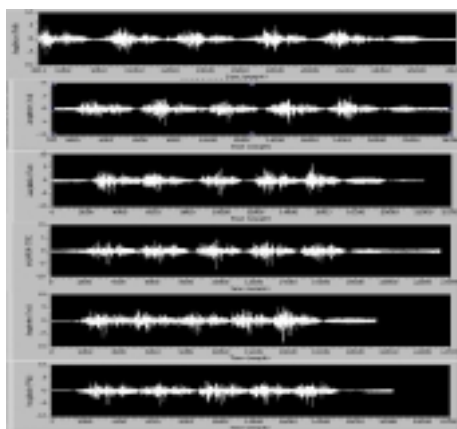


圖七 速度由慢到快所對映的頻譜:動作為

肌肉疲勞度辨識

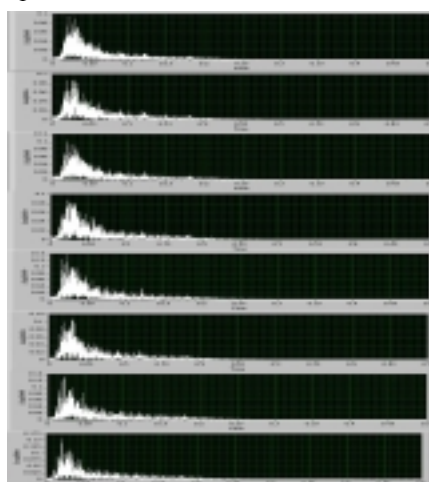
在此我們將討論在不同疲勞度之下肌電訊號的變化，是否會對手臂速度辨識的結果產生影響，由前所言，肌電訊號是由肌肉在活動時，運動單元(肌纖維群)間傳遞訊號之差異，造成肌肉的兩端產生電位差而得，而肌肉疲勞之所以會對訊號產生影響就是因為手臂肌肉經過久、過長或超出正常負荷之動作後，肌纖維間傳遞速度減慢，運動單元的放電頻率下降，造成訊號的變化。我們對手臂經過不同疲勞(每次測量間各舉啞鈴 3 分鐘)及相似的運動速度對二頭肌進行測量，我們發現，在時域上較難直接分析疲勞所產生的影響，在每次動作間振幅大小變化並不明顯，不過在肌肉較為疲勞(多次實驗之後)之後，每次動作間肌電訊號的

間隔越來越不分明，如圖八所示，圖八中最底下之肌電波（肌肉極度疲勞）與最上方之肌電波（肌肉未疲勞）進行比較，可以清楚看出訊號在動作交替時振幅相近了許多，我們推測這是由於肌肉疲累導致肌肉僵硬，肌纖維間傳遞速度減慢，造成電位差較不分明所產生。



圖八 在不同勞度之下時域肌電訊號比較圖

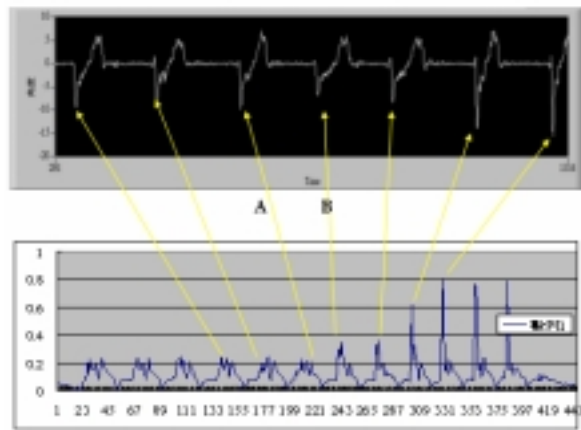
在頻域上，疲勞造成肌纖維間傳遞速度減慢，運動單元的放電頻率下降，造成頻譜分佈會漸漸往低頻處集中，肌肉越疲勞頻譜的分佈就越靠左，依疲勞程度而有所不同，如圖九所示，每次舉三分鐘啞鈴後作測量，頻譜分布依作實驗次數漸漸往左移，驗證以上所述。



圖九 在不同疲勞程度之下電訊號頻譜分佈

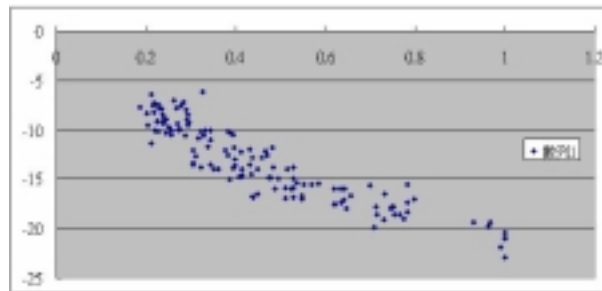
映射函數

利用以電磁球抓取手臂在空間中位置轉換而成之手臂運動曲線以及所轉換出之自變數 MVC%作為輸入找出兩者之間的映射，兩者關係可由圖四、五(動作為曲，因此角速度為負)所示，一般而言自變數越快，手臂移動角速度也越大，但是肌電訊號的模糊性以及非線性仍造成圖十中 A、B 兩點的例子，這也是我們映射出來的速度只能近似卻不能精確之因。

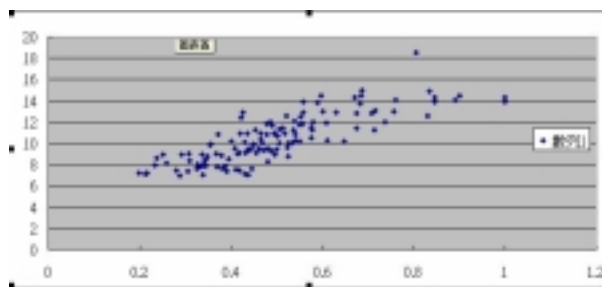


圖十 MVC%與手臂速度相關圖(手臂動作為曲)

在了解 MVC%與手臂速度之相關性之後，接下來要以最小平方方法來求得最佳近似曲線，我們將分別對肱二頭肌(動作曲)以及肱三頭肌(動作伸)做映射，找出各自的映射函數，在觀察圖十一以及十二的帶狀分佈之後，我們採用二階最小平方近似法來找出近似曲線。



圖十一 MVC%與動作曲之手臂速度關係圖



圖十二 MVC%與動作伸之手臂速度關係圖

求得肱二頭肌與速度之關係式為：

$$Y = 14.472 X^2 - 32.0141 X - 2.318$$

標準差為 0.866 徑度，與以電磁球所換算出的手臂動作為”曲”之實際速度誤差約在 10%左右。

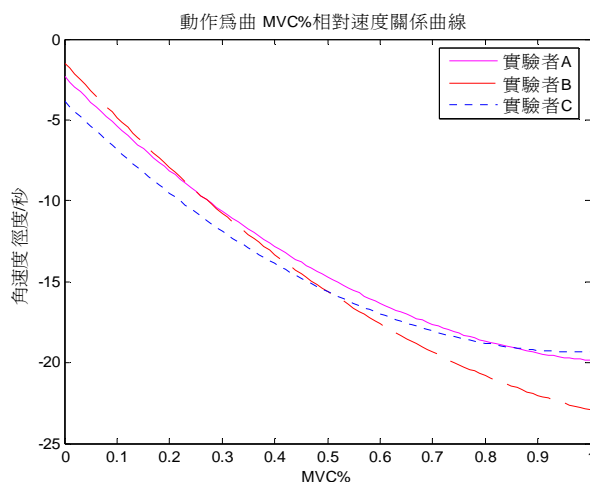
求得肱三頭肌與速度之關係式為：

$$Y = -20.2214 X^2 + 35.091 X - 0.7373$$

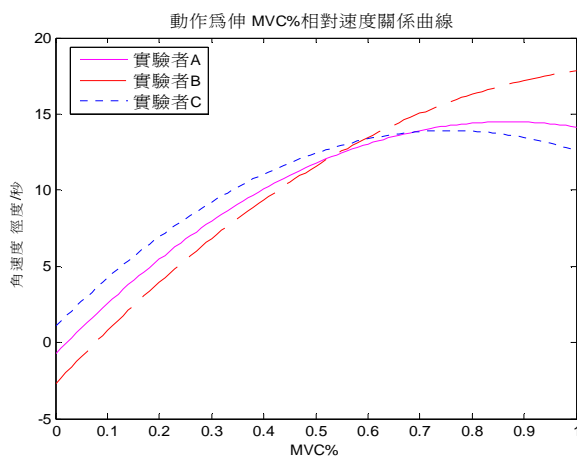
標準差為 1.53 經度，與以 fastRAK 系統所換算出的手臂動作為”伸”之實際速度誤差約在 15%左右，由於一般人肱三頭肌較不如肱二頭肌結實，較易受雜訊干擾造成標準差較大，對映出來之手臂速度誤差也大，皆下來我們對三個體型差異較大者分別量測其各自的映射函數，基本資料表 1 所示，而求出映射函數曲線圖分別如圖十三及十四所示。

表 1 受測者基本資料

	身高 (cm)	體重 (kg)	身材描述	肌肉強度 狀態
A	171	70	標準	手臂粗且有肌肉
B	175	60	略瘦	手臂細且肌肉明顯
C	175	90	略胖	手臂粗肌肉不明顯

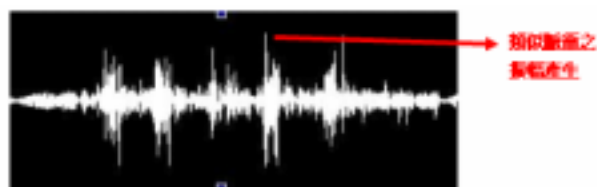


圖十三 不同受測者之 MVC%相對於速度比較圖(一)



圖十四 不同受測者之 MVC%相對於速度比較圖

在多次實驗之後，我們也發現，在手臂揮動速度越快的時候其標準差也越大，造成速度辨識較大的差異，不論肌肉強健與否，皆有此現象的發生，判斷為速度越快所需之爆發力也就越快，容易造成單一時間肌電訊號脈衝極大之現象，如圖十五所示。



圖十五 手臂速度快造成訊號脈衝示意圖

參考文獻

1. G. Allison and T. Fujiwara, "The relationship between EMG median frequency and low frequency band amplitude changes at different levels of muscle capacity", *Clinical Biomechanics* vol.17, pp. 464 - 469, 2002.
2. W. Barnes, "The relationship of motor unit activation to isokinetic muscular contraction at different contractile velocities", *Physical Therapy*, vol. 60, pp. 1142~1159, 1980.
3. M. C. Carrozza and G. Cappiello, "On the development of a novel adaptive prosthetic hand with compliant joints experimental platform and EMG control", *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol. 5, pp. 198-206, 1997.
4. J. U. Chu and I. Moon, "Control of multifunction myoelectric hand using a real-time EMG pattern recognition", *European Journal of Applied Physiology*, vol. 60, pp. 418-426, 2000.
5. P. A. Dalton and M. J. Stokes, "Frequency of acoustic myography during isometric contraction of fresh and fatigued muscle and during dynamic", *Muscle and Nerve*, vol. 16, pp. 255~261, 1999.
6. C. J. De Luca, "Surface electromyography: detection and recording," DelSys, Inc., 2002.
7. C. J. De Luca, "The use of surface electromyography in biomechanics", *Journal of Applied Biomechanics*, vol. 13, no. 2, pp. 135-163, 1997.
8. W. El Falou and J. Duchene, "A segmentation approach to long duration surface EMG recordings", *Journal of Electromyography and Kinesiology*, vol.15, pp. 111 - 119, 2005.
9. K. Kiguchi, T. Tanaka, and T. Fukuda, "Neural-fuzzy control of a robotic exoskeleton with EMG signals", *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 12, no. 4, pp. 481-490, 2004.

10. 林正常, 劉宇, 漸增與瞬發動作神經肌肉活動的分析, 國立體育學院教練研究所博士論文, 2005.
11. 林齊宣, 解剖學原理與實用, 合記圖書出版社, 1997.
12. 林瑞豐, 長時間作業現場監測之可攜式資料器設計, 朝陽科技大學工業工程與管理學系碩士論文, 2001.