

運用腦波事件相關電位協助肢體障礙者上網學習之研究

A study of learning through the Internet by brain waves for the physically disabled persons

孫光天	田宇絮	戴吟瑄	曲偉皓	黃姿瑋
國立臺南大學數位學習科技學系	國立臺南大學數位學習科技學系	國立臺南大學數位學習科技學系	國立臺南大學數位學習科技學系	國立臺南大學數位學習科技學系
ktsun@mail.nutn.edu.tw	babipei@gmail.com	sandrakeita05@hotmail.com	steven800514@hotmail.com	candy111913@gmail.com

摘要

對於一位無法移動四肢與說話之重度肢體障礙者，欲上網瀏覽與學習幾乎是不可能，本研究將設計一個腦波控制滑鼠上網系統，讓這些障礙者能透過腦波方便、快速的操作電腦，達到瀏覽網頁上網學習的目的。

本研究以腦波技術之事件相關電位 (Event-Related Potentials, 簡稱 ERPs) 分析受測者腦波，判斷使用者在畫面上欲移動的方向，以腦波控制游標。主要成果含 (1) 建置使用者以腦波上網介面；(2) 將腦波游標控制器嵌入使用者介面；(3) 進行臨床實驗；(4) 實驗結果分析、進行系統正確率與效率之評估；(5) 評估未來發展與應用之可行性。這將會提供重度肢體障礙者一個嶄新技術，使之可與外界進行接觸，達到溝通與學習之目的，進一步改變其人生看法與價值。

關鍵詞：腦波、事件相關電位、游標控制、腦波控制上網。

Abstract

It is impossible to browse or learn through the Internet for severely disabled people. This paper proposed a Brain-Computer Interface (BCI) to aid severely disabled individuals such as people disabled by Amyotrophic Lateral Sclerosis (ALS) for browsing or learning on Internet.

Based on the specific components of Event-related Potentials (ERPs) of brain waves, the cursor control can be achieved by analyzing these components of ERPs. Cursor can be friendly controlled to move or click on the Webpage. The major contributions includes: (1) design a BCI for disabled people, (2) embed the cursor controller into Webpage, (3) conduct the clinical experiments, and (4) analyze the experimental results, accuracy, and effectiveness, and (5) evaluate the practicability and give suggestions for future works. The novel technique is helpful to disabled people to contact with the outside world and change the emotion to be more positive.

Keywords: BCI, ERPs, cursor control, Webpage.

1. 前言

腦波技術近幾年來，不論是在測謊或醫療方面都已經有相當成就的發展，例如：能幫助罹患肌萎縮性脊髓側索硬化症（amyotrophic lateral sclerosis；ALS，俗稱漸凍人）的患者與外界溝通，此類病患有著和一般人一樣正常的思考能力，只是沒辦法依循大腦的命令來控制、移動身體或四肢，因此，若讓他們能藉由腦波自由地表達出心中的想法，將達到與外界自主溝通的目的。

儘管今日科技已開發多種輔助工具來幫助肢體障礙者與他人溝通，但大多輔助工具在操作上仍有許多限制，幾乎都要使用明確的肢體動作來觸發，才能完成操作，像是眼控滑鼠[12]可藉由眼睛的移動及「吹、吸」等動作模擬滑鼠的輸入，這對於像 ALS 重度肢體障礙者則不適用；其餘類似追瞳系統[6]，雖然也不需使用四肢控制，但對於類似漸凍人等重度障礙者較不適用，因市面上仍有許多追瞳系統是需要使用者戴上頭盔，會造成使用上的負擔及不便，有些系統在操作流程上也比較複雜，甚至價格較高，這些都容易降低肢體障礙者使用意願，且對於重度體障礙者而言，他們其實較無法非常精確地控制眼球，造成追瞳系統使用上之不便及限制。因此，我們想開發出讓 ALS 患者或重度肢體障礙者能藉由腦波來控制電腦螢幕上的滑鼠游標，達到上網學習、與外界溝通或瀏覽網頁之目的。

故本研究將設計一個能經由使用者腦波，來進行游標控制及點選介面上的按鈕，達到上網學習或溝通之目的。本項研究之成果，將對漸凍人或重度肢體障礙者學習有重大幫助。

2. 文獻探討

2.1 腦電波的量測與記錄

腦電位儀（EEG）是一種非侵入式（non-invasive）的測量方式，透過電極點將頭皮上微弱的腦波訊號，經由放大器將腦波訊號放大，並記錄下來進行分析。

2.2 事件相關電位（Event — related potentials）概述

最早在 1965 年，Sutton 首先提出事件相關電位（event-related potentials, 簡稱 ERPs）研究[20]，提供了一個更為客觀且簡便可行的方法。近十幾年來已成為相當熱門及普遍使用於觀測腦部活動的技術，也被廣泛的應用在各種認知神經科學領域上[14][16][17]。

事件相關電位的實驗設計，需要透過特定的外加刺激物（例如：文字、圖片...等等）在電腦螢幕上閃爍，對受測者作反覆多次的刺激，在收集每次刺激後，短時距內的腦波反應，依刺激物類別進行累加而達到平均信號、抑制雜訊的效果，經累加後的波能夠確切地反應出刺激物在該短時距內，大腦處理資訊時的活化特徵，再透過平均化（averaging）過程，可排除在時間區段內非刺激物所誘發出的訊號，這個處理過程所呈現的就是事件相關大腦電位（ERPs）—而其電位中的成分命名係依據誘發波的向性，P 代表正向波（positive wave）、N 是負向波（negative wave），搭配上潛時（自刺激物出現後到出現該波的時間差距，單位：毫秒）而命名，如 N200（刺激後 200ms 左右出現的負向波）、P300（刺激後 300ms 左右出現的正向波）。

2.3 腦機介面 (Brain-Computer Interface, 簡稱 BCI)

腦機介面系統 (Brain-Computer Interface system, 簡稱 BCIs) 透過判讀大腦對於外界刺激產生的特定特徵，提供無法自主表達的人與外界溝通的管道。此系統透過大腦訊號分類並轉換為指令，使得受測者能從多個項目選擇一個目標，來達到溝通的目的[13]。

如同其他用來溝通或控制的人機介面，腦機介面系統也有輸入及輸出，但不同的是，輸入為使用者的大腦生理訊號；輸出則是經過處理轉換後，用來控制裝置的指令。不過，輸出輸入間，訊號尚需經過訊號擷取及處理等步驟。腦機介面的基本架構分成四個部分(如圖 1)：

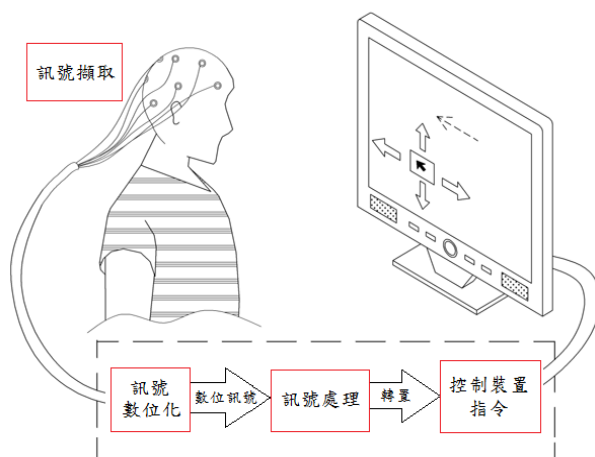


圖 1、腦機介面基本運作流程

- 訊號擷取：經由電極點取得受測者的腦波訊號。
- 訊號數位化：將擷取的腦電波訊號經過放大，並從類比訊號轉換成數位訊號，方能做為後續處理使用。
- 訊號處理：進行訊號特徵上的萃取並將之轉譯成能控制裝置的指令。

- 控制裝置指令：轉置後的指令，可以直接顯示在螢幕上；以本實驗為例，受測者只要注視著刺激物訊號，即可控制電腦螢幕上的游標移動或點選按鈕。

2.4 腦波控制

國內已有不少以腦波控制電腦之相關研究，例如：國立中正大學余松年教授有設計一套 BCI 系統，讓使用者來控制游標移動[9][10]；國立交通大學的林進燈教授，近期則是設計出一套無線可攜式的瞌睡偵測系統[1]；國立中央大學的洪蘭教授主要是探討腦波於情緒認知方面研究[7]，而李柏磊教授則是將腦波運用在遙控車的控制上，基本技術是使用隱藏馬可夫模型於穩態視覺誘發之腦波人機介面判斷，據以控制遙控車[2]；另外，國立成功大學梁勝富教授以腦波訊號為基礎做開發應用[4]；國立臺中教育大學王曉璿教授則是將腦波運用於遊戲相關[5]。本實驗室亦已於 2011 年提出腦波中文輸入系統[11]，已有初步成果與實用價值[18][19]。

3. 研究方法及步驟

3.1 實驗設計

本研究專為重度肢體障礙者建置一個可供上網瀏覽網頁的專屬系統，使用者介面包含游標控制器、功能選單與網頁快捷鍵，另外還有線上學習區與廣播電台可供使用。

每個功能都會對應到一個文字方框，每個方框中會有條狀物（刺激物）由右向左輪流閃爍移動，使用者只需注視欲執行功能之按鈕，此時刺激物將輪流於各方框中出現，使用者需在刺激物出現時辨識該條狀物之顏色，經數次

刺激後，系統便可確定使用者在專注的按鈕（功能），並執行。

功能；而在線上學習區中又有線上閱讀、職業訓練、心靈旅程等三個子分頁。其中文字方框為閃爍刺激物（條狀物）的區塊。

3.2 系統建置與介面設計

本腦波控制系統是使用 Borland C++ Builder 來開發，其系統架構如下圖 2：

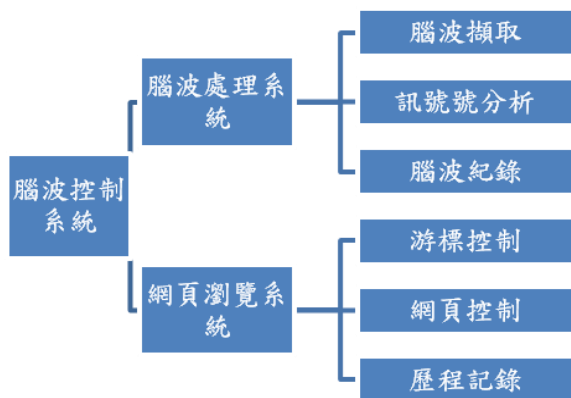


圖 2、系統架構

除了後端的系統建置外，在前端使用介面的部分，其結構如下：

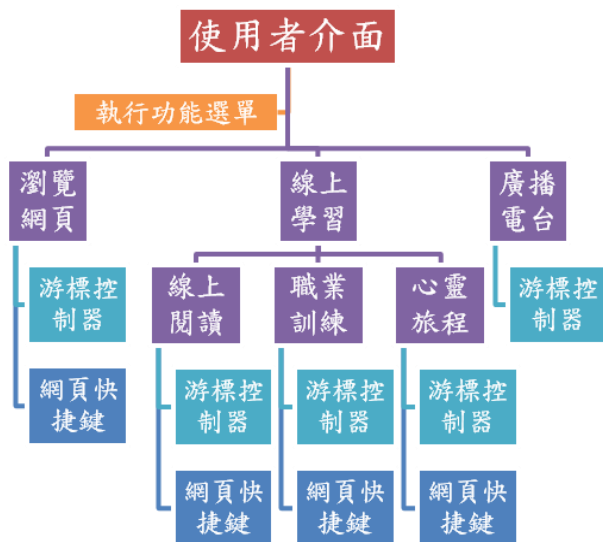


圖 3、系統功能結構

即一進入本系統，會出現使用者介面的初始畫面（如圖 4），畫面左方為功能選單（如圖 5），分別有瀏覽網頁、線上學習、廣播電台等



圖 4、初始畫面



圖 5、功能選單

在功能選單中的瀏覽網頁，主要包含三個部分，分別為游標控制器、網頁快捷鍵與主畫面：

- (1) **游標控制器**：當進入功能選單的其中一個選項後，即會出現游標控制器於畫面中。主要是用來控制游標移動，外觀呈現上、下、左、右四個方向鍵及中間的透明方框（如圖 6）。中間方框透明化的目的是為了使真正的滑鼠游標出現在其中，讓使用者可對游標直接做控制。

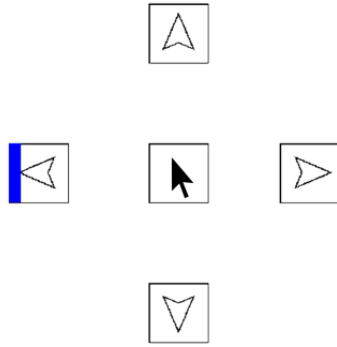


圖 6、游標控制器執行示意圖

- (2) **網頁快捷鍵**:位於螢幕上方,包含上一頁、下一頁、回首頁、PgUp、PgDn 即回到功能選單等基本按鍵。(如圖 7)

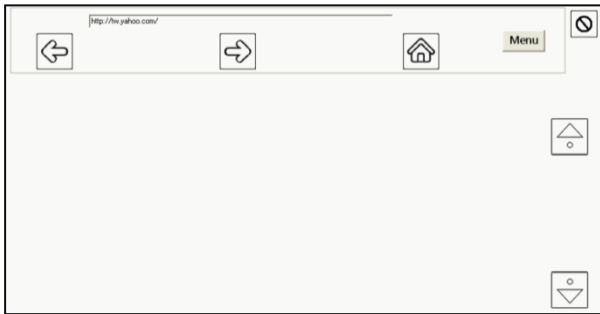


圖 7、網頁快捷鍵

- (3) **主畫面**:用來呈現網頁,且為了讓使用者在使用上能更舒適,我們將網頁的畫面大小調整到最大,並將原本的功能選單隱藏,改由腦波控制功能介面取代。(如圖 8)



圖 8、執行瀏覽網頁(<http://tw.yahoo.com/>)

此外,線上學習與廣播電台則分別包含**游標控制器**與**主畫面**兩個部分,其呈現方式如下:

- (1) 線上學習中共有三個選項。分別是線上閱讀、職業訓練、心靈旅程,而在每個選項中又會有三~五個網站可供選擇,使用者可以依據需求點選分類並點選網站圖片,即可進入該網頁。

以線上閱讀為例,當點進線上閱讀後,即會出現三個相關網站可供選擇(圖 9),若再點選其中一個網站,則會出現如圖 10 的畫面:



圖 9、線上學習點選畫面



圖 10、點選線上閱讀後畫面

- (2) 為了讓使用者能夠適時放鬆,我們設置了廣播電台,提供了八個熱門電台供選擇(如圖 11),並且在下方會有回饋文字,讓使用者清楚知道自己選到的是哪一個電台。

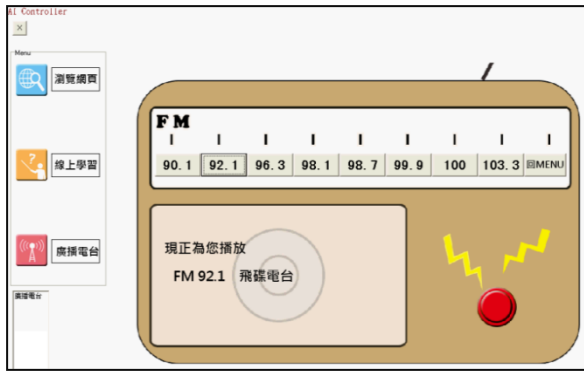


圖 11、廣播電台

綜合以上各個部分，本系統操作流程如下（如圖 12 所示）：

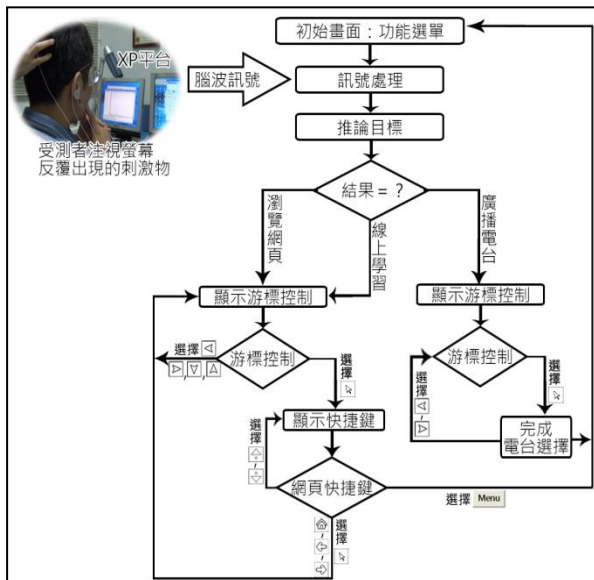


圖 12、系統操作流程

3.3 臨床實驗

本研究實驗抽樣 14 名 20 歲以上，性別不限，並對電腦操作與上網有基礎認識及無視力異常（矯正後），且無色覺辨認障礙，亦無其他身心障礙，例如學習障礙、癲癇或腦性麻痺等，為實驗受測者。

本實驗量測腦波為非侵入性方式（與量身高、體重、血壓相同，無任何風險）所蒐集的資料，故臨床實驗不具任何危險。

進行實驗前，會先告知受測者實驗方式與

本實驗是以非侵入式的方式來測量腦波，無任何風險，可以放心受測。接著，我們會為受測者黏貼 6 個電極點於頭部，包括額頭、眼旁、兩耳垂及後腦勺。黏貼完畢後，我們會先請受測者眨眼測試腦波是否穩定。確認完後，再請受測者專注於螢幕中的游標控制器（在此以游標控制器之移動方向為例），在決定移動方向後，於心裡默數該方格中閃過幾次刺激物，同時系統會記錄受測者之完整腦波，再經由訊號處理與擷取後，即可由系統自動判定受測者所選擇的功能。而其他功能之操作方式同游標控制器，受測者可自行決定游標或鍵盤的操作，即可達成上網搜尋與學習之功能。

以下為我們的實驗流程圖（圖 13）：



圖 13、實驗流程圖

3.3 數據分析

根據臨床實驗結果，我們將可收集到受測者使用系統後之相關數據，例如：系統正確率、反應時間、使用滿意度等，將可作為發展下一代新版本系統之參考，使系統具有方便、迅速且友善的使用環境，讓重度肢體障礙者仍可享

有上網學習的機會，達到人人均可上網學習之目的。

4. 實驗結果

本研究取受測者的 ERPs 成分 N2P3 在電極點 O1 的電位值進行獨立樣本 t 檢定，刺激方式為每方格刺激 5 次，每次刺激延遲時間約為 100ms，每功能方格輪流刺激，檢測目標物與非目標物 N2P3 是否具顯著差異。

N2P3 為 P300 與 N200 之波峰相減後的差值。而 N200 是取刺激後 160ms 至 210ms 之間最大的負波峰，P300 的範圍則取 270ms 至 310ms 中最大正波峰。

表 1 列出功能選單、滑鼠控制、網頁快捷鍵三個階段測試後之檢定結果，並分別檢定 N2P3 之目標物與非目標物。

由表 1 可看出 N2P3 皆有達到 $p < 0.001$ 的顯著水準，在功能選單中顯著水準達 $p < 10^{-3}$ ，在滑鼠控制部分達 $p < 10^{-11}$ ，而在網頁快捷鍵中則達 $p < 10^{-13}$ ，因此由下列數值可得知，本研究對於目標物與非目標物的判別具有明顯的分辨性，說明本研究是可行的。

表 2 顯示本系統在各功能介面操作之正確率，平均超過 90%：

表 2、本系統正確率

階段	正確率
功能選單	99%
游標控制器	89%
網頁快捷鍵	83%

在輸入速度 Bit-rate 部分，由以下公式[21]計算出本系統最高能達 26bit/min (如表 3 所示)：

$$\text{Bit-rate} = M \left\{ \log_2 N + P \log_2 P + (1 - P) \log_2 \left[\frac{(1-P)}{N-1} \right] \right\}$$

表 3、本系統 Bit-rate

	M	N	P(%)	Bit-rate (bit/min)
功能選單	17.4	3	99	26
游標控制	11.7	6	89	21
網頁快捷鍵	11.7	6	83	18

[註] M：平均一分鐘內能辨別的項目個數

N：可能的選擇數量

P：正確率

表 1、O1 之 N2P3 進行獨立樣本 t 檢定

			平均數	變異數	t 統計	Sig.																
功能選單	N2P3	目標	7.206789	16.43136	4.413871	2.17E-04 ($< 10^{-3}$)																
		非目標	-0.86099	13.63713			滑鼠控制	N2P3	目標	5.67111	14.74807	7.636377	6.82E-12 ($< 10^{-11}$)	非目標	1.194355	2.77951	網頁快捷鍵	N2P3	目標	7.718241	30.5032	8.339981
滑鼠控制	N2P3	目標	5.67111	14.74807	7.636377	6.82E-12 ($< 10^{-11}$)																
		非目標	1.194355	2.77951			網頁快捷鍵	N2P3	目標	7.718241	30.5032	8.339981	9.66E-14 ($< 10^{-13}$)	非目標	1.23449	4.55186						
網頁快捷鍵	N2P3	目標	7.718241	30.5032	8.339981	9.66E-14 ($< 10^{-13}$)																
		非目標	1.23449	4.55186																		

5. 結果與討論

本研究之主要成果如下：

- (1) 完成建置腦波控制游標上網之使用者介面，包括游標控制器、功能選單、主畫面與快捷鍵。
- (2) 觀察 N2P3 的 ERPs 成分是否達顯著效果，可做為有效的控制輸出訊號。
- (3) 確定 O1 的電極點位置可有效做為腦波游標控制的連接點。
- (4) 找出最佳的刺激方式，使正確率與速度達到最佳平衡。
- (5) 完成臨床實驗，確定可行性。
- (6) 評估與分析實驗結果，並提出修改建議，使系統更完善。
- (7) 讓重度肢體障礙者也能操控滑鼠游標上網，並達到上網獲取知識之目的。

隨著科技的進步，雖然越來越多技術能夠滿足大多數人們的需求，然而對於許多身心障礙人士，甚至重度肢體障礙者而言，相關的輔助工具明顯不足，且許多設備並無法達到重度肢體障礙者真正的需求。

本研究主要透過腦波來操控滑鼠，使肢體障礙人士不需依靠明確的肢體動作就能如同一般人一樣上網，給予肢體障礙人士一個便利生活的機具，只需藉由大腦就能與外界溝通、傳遞訊息。

我們除了是利用市面上少見的腦波來控制滑鼠游標上網之外，有別於其他相關研究[12]最大的不同點在於：本系統的滑鼠游標會跟隨著游標控制器做同步的移動，不像有些國外學者的研究是將游標與控制器分離，也就是游標控制器與游標並非同時移動，容易造成眼睛注視的不便，而本研究解決了這個問題。

並且本系統使用最直覺的操作方式（只要注視著內心所欲選擇的項目就能達到目的）與直接的反應回饋（使用者所做的任何動作都會直接於螢幕上顯示），不需要經過長時間的訓練，僅須聽取兩分鐘左右的說明，即可馬上學會操作本系統。

此外，本系統正確率可望再提升到 95% 以上，以及系統執行速度也可再提高，將執行時間縮短，相信這對於肢體障礙者將更方便使用。

未來更希望能藉此減少人力資源，利用本系統作為類似看護的角色，更讓重度肢體障礙者能夠依自主意識去上網獲得所需的知識。也可能進一步研究智慧型看護、智慧家庭等等，以提供更肢體障礙者更加便利、人性化的生活，想必對於醫療部分也有更上一層樓的幫助，也能夠提升病人的生活品質。

致謝

本研究感謝中華民國國家科學委員會，計畫編號：101-2815-C-024-008-S 之經費補助。

參考文獻

- [1] 劉育航，**基於多重生理訊號參數之即時無線瞌睡偵測系統**，國立交通大學生醫工程研究所碩士論文，2012。
- [2] 盧彥儒，**使用隱馬可夫模型於穩態視覺誘發之腦波人機介面判斷與其腦波控制遙控車應用**，國立中央大學電機工程研究所碩士論文，2009。
- [3] 李昂穎，**探討模擬駕駛平台上事件相關之腦波動態變化**，國立交通大學生醫工程研究所碩士論文，2009。
- [4] 胡譽瀚，**以腦波訊號為基礎之午睡時間控制系統開發並應用於人類表現提升**，梁勝富教授，國立成功大學資訊工程研究所碩士論文，2009。
- [5] 紀明良，**多人腦波遊戲系統架構設計探究**，國立臺中教育大學數位內容科技學系碩士論文，2010。
- [6] 莊英杰，**追瞳系統之研發於身障者之人機介面應用**，國立中央大學資訊工程研究所碩士論文，2004。
- [7] 周毓瑩，**運用系列情緒史楚普作業探討性侵害犯及正常控制組在情緒及認知上之交互運作：事件相關腦電位研究**。國立陽明大學認知與神經科學研究所碩士論文，2007。
- [8] 陳麒宇，**運動想像分類演算法應用於腦機介面之探討**，國立交通大學生醫工程研究所碩士論文，2011。
- [9] 陳功儒，**一個為個別使用者設計的游標控制腦機介面**，國立中正大學電機工程研究所碩士論文，2009。
- [10] 蘇峻漢，**一個使用腦機介面控制電腦游標的研究**，國立中正大學電機工程研究所碩士論文，2011。
- [11] 孫光天，**腦波中文輸入系統之設計**，行政院國家科學委員會（國科會），（100-2511-S-024-002-MY2），2010。
- [12] 葉豐輝，**我國身心障礙人士上網輔具資源現況與展望**，淡江大學盲生資源中心，2003。
- [13] Hong, B., Guo, F., Liu, T., Gao, X., & Gao, S., *N200-speller using motion-onset visual response*, *Clinical Neurophysiology*, 120, 1658–1666, 2009.
- [14] Kutas, M. & Hillyard, S. A., *Reading Senseless Sentences : Brain Potentials Reflect Semantic Incongruity*, *Science*, 207 (4427) , 203-205,1980.
- [15] Sirvent, J. L., Azorín, J. M., Iáñez, E., Úbeda, A., & Fernández, E., *P300-Based Brain-Computer Interface for Internet Browsing*, Springer Berlin Heidelberg ,71, pp 615-622, 2010.
- [16] Sun, K. T., Chan, H. T., Ku, M. T., Lee, G. S., Huang, T. W., *A Study of Using Data mining Techniques to Explore Relationship of Long-Latency Auditory Evoked Potentials P300 and IQ*, accepted by *Przeegląd Elektrotechniczny*, 2013.
- [17] Sun, K. T., Ku, M. T., Chan, H. T., Chang, F. Y., Huang, T. W., *An Application of Fourier Transformation and Back-propagation Neural Network for Brain-Computer Interface Cursor Control*, accepted by *Przeegląd Elektrotechniczny*, 2013.
- [18] Sun, K. T., Huang, T. W., & Chen, M. C., *Design of Chinese spelling system based on ERPs*, 11th IEEE International Conference on Bioinformatics & Bioengineering (BIBE2011) . pp. 310-313, Taichung, Taiwan, Oct. 24-26, 2011.
- [19] Sun, K. T., Huang, T. W., Chen, M. C., & Li, Y. C., *Design of Chinese spelling system, Annual International Conference on Advanced Topics in Artificial Intelligence*

- (*ATAI 2011*) , pp.26-31, Fort Canning, Singapore, Nov. 24-26, 2011.
- [20] Sutton, S., Braren, M., & Zubin, J., *Evoked-potential correlates of stimulus uncertainty*. Science, 150, 1187-1188, 1965.
- [21] Wolpaw, J. R., Birbaumer N., Heetderks, W.j., McFarland, D. J., Hunter Peckham, P., Schalk, G., Donchin, E., Quatrano, L. A., Robinson, C. J., & Vaughan, T. M., *Brain-Computer Interface Technology : A Review of the First International Meeting*, IEEE Trans Rehab Eng, 8 (2) , 164-173, 2000.