

『是非題』作答之腦電波辨識與『選擇題』作答之腦電波分析

張菀珍¹ 蔡俊明² 葉榮木³

¹國立中正大學成人及繼續教育學系
62102 嘉義縣民雄鄉大學路 168 號

²臺北市立教育大學資訊科學系
10048 台北市愛國西路 1 號

³國立台灣師範大學機電科技學系
10610 台北市和平東路一段 162 號

摘要

大腦認知活動的分析，目前在教育心理學和認知神經科學等領域被廣泛的進行研究，本研究目的除了將腦電波訊號做資料分類的分析可應用在大腦人機介面（brain computer interface, BCI）之外，同時，探討不同類型的問題對大腦認知活動的影響。

在腦電波訊號分析的部分，本研究以所設計的兩種類型選擇題作為問題刺激，來探討受測者在思考不同類型問題時腦電波頻段上的差異，實驗結果發現，選擇題答題之腦電波分析，存在明顯且一致性的差異。即受測者的 Theta 頻段在思考「數學問題」時的能量，均高於思考「圖形幾何問題」的能量，但在 Alpha 頻段的結果則恰好相反。

在想像辨識的部份，本實驗除了成功辨識想像「是」與「非」的腦電波外，並發現在時域部份所擷取的腦電波具有相當好的鑑別性，藉由線性鑑別分析法（linear discriminant analysis, LDA）找出最佳的轉換向量，能讓資料更具鑑別性，再由計算特徵矩陣間的歐氏距離就可以有效的分類腦電波。研究結果顯示，本實驗使用了 C3、C4 及 F3 三個電極，可以使腦電波辨識的準確率大幅提升至 99%。

本研究建議，未來可將此系統和大腦人機介面系統後端（機器人、輪椅等）做連結，以服務更多行動不方便的人士。

關鍵詞：認知科學，大腦人機介面，腦電波，線性鑑別分析

EEG for Recognizing Answers to Yes-or-No Questions and Analyzing Responses to Multiple-Choice Items

WAN-JEN CHANG¹, CHUN-MING TSAI² and ZONG-MU YEH³

¹Adult and Continuing Education, National Chung Cheng University
No. 168, University Rd., Minhsiung, Chiayi, Taiwan 62102, R.O.C.

²Department of Computer Science, Taipei Municipal University of Education
No.1, Ai-Guo West Rd., Taipei, Taiwan 10048, R.O.C.

³Department of Mechatronic Technology, National Taiwan Normal University

No. 162, He-ping East Rd., Sec. 1, Taipei, Taiwan 10610, R.O.C.

ABSTRACT

In the fields of educational psychology and cognitive neuroscience, analysis of cerebral cognitive activities is currently receiving wide attention. The purposes of the present research include (1) applying analytical and classification methods to electroencephalography (EEG) signals for a Brain Computer Interface (BCI) and (2) studying the effects of different kinds of questions on mental cognition. The analysis in this study focuses on the EEG bands most frequently used in recent years.

An intelligence test consisting of multiple-choice questions was among the instruments devised to study the differences in the energy of EEG frequency bands among subjects being tested by different kinds of questions. The results indicate that, in contrast with the energy of the Alpha band, the energy of the Theta band in the testee answering math questions is much higher than that of the Theta band in the testee responding to geometry questions.

In the identification portion, an experiment was designed to determine the characteristic method of acquisition, to identify the EEG of the testee while imaging for answering yes-or-no questions, and to discover the least and most suitable channel for minimizing the quantity of operations. Feature-detection and classification algorithms are the two keys to EEG categorization. In the past, most research focused on the improvement of classifiers; however, selecting a simpler and more important feature is an alternative method for obtaining higher accuracy. The feature extraction can be achieved by Linear Discriminant Analysis (LDA) and the Nearest Neighbor Rule (NNR) to classify the processed data. The experimental results reveal that the average accuracy rate can be increased to 99% by the C3, C4 and F3 channels. In the future, this system can be integrated with posting devices in computer brain systems (e.g., robots and wheelchairs) for disabled persons..

Key Words: cognitive neuroscience, brain computer interface, electroencephalography, linear discriminant analysis

一、緒論

大腦被視為是人體中運作最複雜，也是最神秘的一個器官。一般認為，人類在演化的過程中，大腦的容量會不斷地變大，使人類富有創造的能力與豐富的情感，能靈活的利用雙手與雙腳，使得我們能使用各種器具來完成更多的動作。但在大腦做上述的創造思考，情感表達或肢體動作時，都是由大腦下達命令，來控制身體各部位的活動，此命令的傳遞，是以電訊號的形式，從大腦皮質的神經元，經過神經系統，傳達到肌肉細胞而達成的，而這種電訊我們則稱之為腦電波。

最近幾年教育心理學界也開始利用腦電波來觀察思考認知時，大腦的活動情形，以進一步探究大腦運作的機制，發掘人類大腦的奧秘。隨著腦電波研究團隊的增加，技術也越來越成熟，大腦認知科學相關的研究也開始藉由腦電波的方式去分析及探討，找出人們在記憶或是思考各類不同問題

時，大腦所產生的區域或是頻段上的變化。

但是，腦電波最常被應用在生物醫學的設備也就是大腦人機介面的發展。大腦人機介面是一個只有十幾年歷史的新興領域，雖然近幾年研究大腦人機介面的團隊愈來愈多，國際上相關研究論文的篇數已經呈現指數性的成長 [6]，也有不少重要的研究成果出現，但是，大多數的研究仍然停留在實驗室測試的階段。若要達到能夠讓使用者，在生活中有好的性能，還必須解決「準確率」、「易於使用」、「強健性」、「視需求開啓」、「安全性」等問題 [6]。

本研究研究大腦人機介面的主要動機，是希望能夠研究發展出性能良好的大腦人機介面，以期有朝一日讓身體有重度傷殘的病人（例如：漸凍症、嚴重腦中風、腦幹受損、肢殘...）及無法動作的病患，藉由腦電波，來完成想做的動作。這樣的系統，首重的就是系統的高準確率，次之則是系統的速度，因此，本研究首先要探討腦電波對問題進行想像辨識的認知活動時，其波頻的變化情形，其次是，如何提升腦電

波辨識的準確率，以解決人機介面實際應用上所需要解決的最基本也最重要的議題。

(一) 文獻探討

大腦人機介面主要的工作是從大腦量測及分析腦電波，並進行特徵擷取與分類。以下分別從腦電波應用於認知學習的相關研究，及腦電波應用於大腦人機介面的研究進行文獻探討，並分析腦電波特徵擷取與分類之相關文獻。

1. 腦電波應用於認知學習

生理心理學 (psychophysics) 是試圖以腦內的生理事件來解釋心理現象的心理學分支，然而心理現象是腦整體活動的產物，是腦對現實刺激和過去種種經驗的反映。因此，生理心理學著重從整體觀點來看待作為心理現象基礎的神經活動。生理心理學研究腦的各部分結構的功能，重在瞭解及分析這些部分如何參與腦的整體工作。

認知型態 (cognitive style) 是指一個人的問題解決、思考、知覺和記憶的型態或習慣模式 [2, 4]。而目前生理心理學用以測量認知腦部活動的方式，主要是經由腦電波以測量認知活動在大腦區域的電位變化型態 [12]。在 Rocha 等人 [14] 的研究中指出，前額區至頭頂偏下方一點的區域大腦在處理認知活動時，其能量活動的頻率會比其他區域呈現較高頻的狀態，因此，被視為大腦進行認知活動的主要的區域 [14]，其實在處理認知活動的過程中除了主要區域的腦神經元功能外，其他腦區神經元彼此間的相互支援關係也是非常重要的，以對數學計算的認知活動為例，在面對一題數學問題時，需要感覺運動區來做視覺上問題的審閱，去確認面臨的計算狀況以及定義問題內各符號，同時，也需要運動神經元作眼球的轉動審閱，以及標註記號之類的動作，再藉由累計的神經元做運算的動作，所以並非特定區位的神經元才有活動的情形，大腦的神經元認知的處理過程是全面且相輔而成的 [14]。

關於認知活動時腦部各區域頻段的差異，在認知心理學與教育心理學的領域中也有相關的研究，根據 Rocha 等人 [14] 對於作數學運算的認知實驗指出，在大腦做思考時，Theta 波 (4-8 Hz) 除了在前額葉有明顯的活動情形外，若運算題目較為複雜時，其他相關連腦部區域 Theta 波活躍的情形也會相對增加，Keil 等人 [10] 在進行絕對性與相對性思考的認知活動研究中發現，人們在作大腦認知活動時常會採用較為輕鬆的相對性思考，演變為一種認知吝嗇 (cognitive misers) 的現象，也就是習慣把事情簡單化—常

以大腦內有限的資訊去處理無限的資源；在分別做絕對性與相對性思考的認知活動實驗研究中也發現，在做較為繁雜的絕對性思考時，Alpha 頻段 (8-12 Hz) 的能量比作為輕鬆的相對性思考時的能量來得更低 [10]。

除了上述以個人思考方式去分析大腦認知的情形外，給予問題刺激，以智力測驗來觀察大腦做思考活動時的情形，目前也逐漸受到重視。Doppelmayr 等人 [5] 以芮文氏非文字智力測驗作為實驗的題目刺激，記錄並分析受測者在做題目時腦波的狀態及變化，利用事件相關同步/去同步電位 (event-related synchronization / event-related desynchronization, ERS/ERD) 來當特徵，再將受試者資料分為高分群與低分群以討論是否有所差異或特徵存在，研究結果顯示，當受測者在做思考時在前額葉和枕葉的部位有較高的 ERD 出現，簡單來說，也就是會出現較高的能量。研究中也提出高分數群，在做較難的題目時會有較高的 ERD 出現，在做較簡單的題目時則出現較小的 ERD。但是研究中並未對 Theta 頻段在做不同難度題目時的腦波變化情形做討論與分析。

在本研究中，延續 Keil 等人 [10] 及 Doppelmayr 等人 [5] 的研究，利用智力測驗中數學和幾何圖形題目 (兩類難易不同的選擇題)，來對大腦做思考及認知活動時，進行腦波類型及頻段之能量差異的實驗，以進一步對大腦思考兩類不同難度題目時的 Theta 頻段 (4-8 Hz) 與 Alpha 頻段 (8-12 Hz) 做出詳細的分析與討論。

2. 腦電波應用於大腦人機介面

大腦人機介面的辨識率高低，主要決定於「特徵擷取」與「分類」兩個關鍵的步驟。如果能夠找出不同想像動作所產生的腦電波之間差異最大的特徵，則不需複雜的分類演算法，就可以得到高辨識率；然而，如果特徵差異不大，就需要運用效能良好的分類演算法來解決問題。

Guger 等人 [7] 對於大腦想像右手動和腳動，兩種動作的辨識率做過相關研究及探討，該篇研究以 99 名沒有服用藥物、神經系統正常的受測者參與實驗，而且這些受測者都沒有接觸過大腦人機介面系統，實驗的時間為期兩個月，實驗的項目是使用視覺刺激想像右手動和腳動，此研究的數據分析採用 RLS (recursive least squares) 及 BP (band power) 的演算法來做比較，研究結果發現，其大腦想像辨識率可達 60-80% 之間。

Kamoussi 等人 [9]，使用獨立成份分析法 (independent

component analysis, ICA) 來辨識想像左手動及右手動的腦電波訊號, 四名受測者參與實驗, 實驗的內容為想像左手動及右手動, 所擷取的腦電波訊號經分析後, 其辨識率可達到 80% 左右 [9]。

日本的 Phothisonothai 與 Nakagawa [13] 團隊利用三層的類神經網路分類器, 分類新的想像任務, 和以往採用左右手動之類的動作想像不同的是, 實驗改以辨識回答問題「是」與「非」的想像為主, 研究總共使用 15 個電極, 利用事件相關同步/去同步電位 (ERS/ERD) 來當特徵, 並利用斜率與歐式距離 (SCED) 來做為特徵擷取的方法, 再藉由人工類神經網路來做分類的動作, 結果顯示, 在二維的辨識率可達到 80% [13]。此與 Guger 等人 [7] 和 Kamousi 等人 [9] 所做的辨識率比較, 可以發現利用做決策的想像「是」與「非」腦電波訊號進行分析, 其辨識率並不輸給傳統的動作想像腦電波訊號之分析。

本研究將採用 Phothisonothai 團隊的實驗方式, 也使用是非題的方式來做想像答案決策思考的辨識, 希望能有更好的特徵出現, 一方面用不同的特徵擷取方法, 來提高辨識率, 另一方面則在辨識率提高的同時, 減少通道的數量, 以降低運算量和提升運算速度, 並能減少使用者在配戴腦電波帽時的不舒適感, 以利於日後發展即時系統。

(二) 研究目的

依據以上文獻探討, 本研究的研究目的有二:

1. 探討在不同類型選擇題的問題刺激下, 大腦各區域與特定頻段能量的變化以及差異: 本研究運用由數學與圖形幾何問題所設計的兩種類型選擇題進行實驗, 紀錄在這些問題的刺激下, 腦波各部位頻段的變化與差異, 希望能找出在認知活動發生時, 其腦電波的特徵為何? 以及在不同問題的刺激與思考下, 在大腦位置與頻段的差異以及變化。並能將研究結果應用在學術研究、醫療的硬體設施或是融入日常生活用品上。
2. 辨識經由主動意志進行「是」與「非」二選一的決策, 並找出資料的特徵, 運用有效的運算法以提升辨識率: 本研究嘗試不同以往動作的想像, 改以做決策式的想像, 希望能成功辨識想像「是」與「非」的腦電波, 再經由實驗數據分析, 進行時域、頻域、以及空間域上的特徵擷取, 藉著明顯特徵的差異來提升腦電波的辨識率。找出採用哪些電極的組合可以達到電極數量少卻有良好的辨識率, 並使用簡單的演算法, 以減少運算量並

提升系統的速度, 希望日後能夠讓重度傷殘的患者, 依照自己的主動意志來做一個二選一的決策, 簡易而準確地操控外在環境的裝置。

二、腦電波資料蒐集

本研究參與實驗的受測者原先有 11 人, 6 名男性、5 名女性, 其中因 3 名受測者無法在第一階段實驗規定時間結束前完成答題動作, 並開始第二階段題目的作答, 導致所蒐集的腦波資料不完整, 所以無法做思考兩種類型題目時的腦波比較, 以致於本實驗最終資料的分析對象只有 8 人, 男性 6 人、女性 2 人, 年齡為 23 至 27 歲之間, 學歷皆已大學畢業目前為在學的碩士班學生, 無腦部及精神方面相關疾病史。

本研究總共設計了兩種類型的實驗, 以進行腦電波資料的蒐集, 現分別說明如下: 第一種是對於大腦認知活動情形的探討: 採用選擇題進行實驗, 題目內容取自於民國 93 年 (第 23 次) 及民國 94 年 (第 24 次) 的全國預官甄試智力測驗中的「數學問題」以及「圖形幾何問題」兩種不同的題型。擷取當大腦思考不同類型的選擇題目時的腦電波, 並分析其不同負荷度的腦電波有無明顯差異及特徵存在, 以討論大腦在做認知思考時的活動情形。第二種則是想像辨識的實驗: 實驗的進行是利用本研究所設計的是非題問題當作刺激, 擷取受測者想像「是」與「非」兩者答案時的腦電波資料用以做辨識, 取代以往對左、右手動作的想像。並藉由辨識「是」與「非」兩類不同的想像, 達到控制大腦人機介面系統的目的。

(一) 大腦認知活動研究—選擇題問題實驗

本研究的大腦認知活動研究, 以智力測驗所設計的兩種「數學題型」與「圖形幾何題型」選擇題來做測試, 並擷取受測者在思考問題時的腦電波, 分析在思考不同負荷度的問題時, 腦電波是否有明顯的特徵及差異出現。

1. 實驗方法

本研究讓接受實驗的對象, 戴上腦波帽以便量測思考時的腦電波, 實驗量測所用的腦波帽上有許多電極, 由這些電極可以量測到頭皮所傳遞的腦電波訊號, 因為大腦頭皮各部位所產生的腦電波訊息, 分別有其代表的意義, 所以, 在腦電波帽中, 電極配置的位置必須依照國際 10/20 的方式來排列, 才可以得到正確的腦電波訊號。

本實驗中, 將「數學題型」及「圖形幾何題型」以交叉

方式排列，依序呈現如下：數學題目（第 24 次）→圖形幾何題目（第 24 次）→數學題目（第 25 次）→圖形幾何題目（第 25 次），數學題目共有 36 題，圖形幾何題目共有 20 題，以下分別舉出兩種題型的例題做說明。

數學題型：首先，在電腦螢幕呈現一數列，受測者必須根據數列上其他數字的排列及規則，自行推算出所空缺的數字為何，並選擇正確的選項來回答問題，這類題型，如圖 1 所示。在圖 1 的例題中，該列數字是公差為 2 的連續數列，因此，所空缺的數字應該是 7，所以，正確答案應該選擇 (D)。

圖形幾何題目：圖形幾何的類型有兩種：一種是呈現物品的兩面視圖，由受測者根據此物品的兩面視圖來推論此物品的正確形狀，並做出選擇，這類型的題目，如圖 2 所示。由圖 2 例題中的俯視圖和右側視圖來做判斷，其正確答案是 (A)。

第二種是圖型組合的題型，給予其中兩部分以方格組成的圖形，藉由旋轉排列找出第三個方格組成的圖形，使得三塊圖形可以合併為一個 4x4 方格的正方形（可以旋轉，但不得翻轉），這類題目，如圖 3 所示。從圖 3 的例題中可以發現，由於 (A) 的加入，使得三塊圖形可以組合成為一個 4x4 的正方形圖，故正確答案是 (A)。

5, __, 9, 11, 13 (A) 4 (B) 5 (C) 6 (D) 7

圖 1. 數學題型之解說

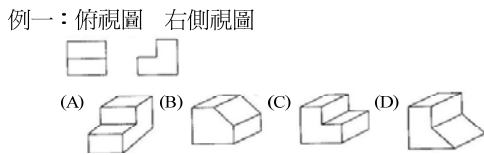


圖 2. 圖形幾何題型之解說

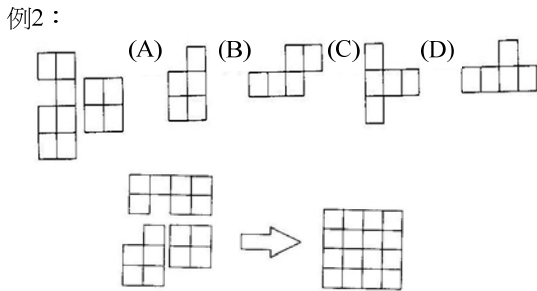


圖 3. 圖形幾何題型二解說

2. 實驗流程

此實驗的流程為，先向受測者解說題目類型並解釋實驗內容及流程，實驗開始前，先請受測者閉眼休息約一分鐘的時間，讓腦電波呈現較平穩的狀態，之後給予指令開始作答，告知受測者在每做完一題題目後，要按下空白鍵以便繼續下一題的題目，對於回答每個題目思考的時間不做限制，作答時間採用全國預官智力測驗所規定的時間，整個實驗共給予 24 分 34 秒的時間作答，當規定的時間結束，立即同時停止腦電波的紀錄。實驗流程圖如圖 4 所示。

(二) 想像辨識研究—是非題問題實驗

本研究設計是非題的實驗，是利用是非題問題的刺激，使受測者根據問題做兩類想像「是」與「非」的回答，擷取受測者回答想像「是」與「非」時的腦電波，研究「是」與「非」的腦電波是否能做有效的辨識，更希望藉著辨識「是」與「非」兩類做決策性的簡單想像，找出不同以往對動作及方向的想像方式，來達到更好的辨識效果，以此來達到驅動硬體設備的目的。

實驗的內容是根據給予的問題，想像回答是與非，每次實驗共有 12 題問題，如圖 5 所示，每位受測者總共做 6 次，根據螢幕所顯示的問題，以想像的方式來回答「是」與「非」。

1. 實驗方法

此部分實驗的方法與上述選擇題問題實驗大致相同，讓受測者戴上腦波帽以供量測在思考時的腦電波，惟本部分研究為了降低運算量，採取電極減量的動作，首先將腦波帽上的電極電位逐一和相鄰電極電位平均值相比較， j 電極電位差異值 V_j^S 如式子 (1) 所示， V_j 是 j 電極電位， S_j 是 j 電極相鄰電極索引集合，

$$V_j^S = V_j - \frac{1}{n} \sum_{k \in S_j} V_k \tag{1}$$

經由排除差異性較不明顯的電極，只選出 T3、C3、Cz、C4、T4、F3、P4 七個電極，做為擷取腦電波訊號來源的電極點，這些電極點如圖 6 所示，A1 及 A2 為參考電極點，G



圖 4. 實驗流程圖



圖 5. 實驗問題集

為接地電極點，其他為本研究所用之電極點名稱。

2. 實驗流程

此研究實驗流程設計包括：實驗前訓練和正式實驗流程兩階段，分別說明如下：

- (1) 實驗前訓練：在正式實驗之前，先讓受測者做一個流程（12 次）的訓練，主要目的是讓受測者習慣實驗的內容，在正式的實驗中，才能獲得比較正確的實驗結果。
- (2) 正式實驗流程：每位參與本研究的受測者，在訓練完畢後，休息約一分鐘便開始正式的實驗，正式實驗流

程如下：

- 以螢幕指示給予受測者問題刺激，並指示受測者想像該問題的答案。
- 每位受測者做六個流程，藉由螢幕出現的問題刺激來使受測者想像答案，每個問題刺激間隔 12 秒，其流程如圖 7 所示。當螢幕出現提示實驗開始的信號時（此時為 0 秒），代表實驗開始，此時螢幕會出現空白的畫面，讓受測者稍做準備，過了 3 秒後，會先給予提示音（持續 1 秒），表示螢幕將顯示出，讓受測者想像答案的問題，受測者想像「是」與「非」，問題將持續出現在螢幕上 5 秒鐘，受測者在這 5 秒的時間內，做思考問題的動作，到了第 9 秒時，再給予受測者一次提示音（持續 1 秒），請受測者預備作答（想像「是」與「非」），想像答案時間為 2 秒鐘，想像答案時我們告知受測者要連續且強烈的想像所作答的答案（想像「是」與「非」），如此每個問題約花 12 秒的時間進行實驗。
- 每一次的實驗流程，受測者需要回答 12 個問題，每 3 次流程結束之後，讓受測者做短暫的休息，每位參與實驗的受測者總共需要做 6 次。

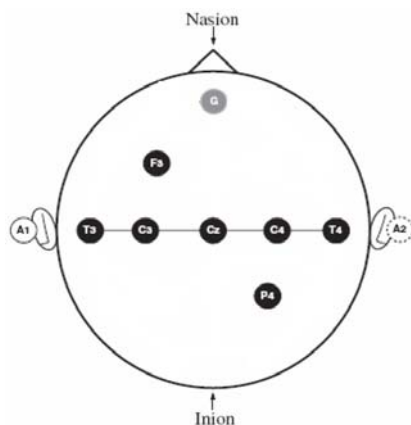


圖 6. 本研究所採用之電極點

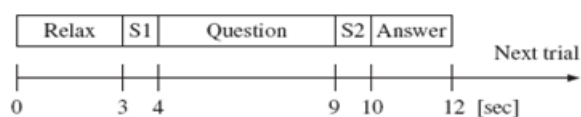


圖 7. 問題指令時序圖

三、腦電波資料分析方法

本研究實驗所蒐集的腦電波資料分析方法，分別從大腦認知活動資料分析方法和想像辨識資料分析方法，以下分別說明之。

(一) 大腦認知活動資料分析方法

為瞭解先前文獻探討中與認知活動有密切關係的 Theta (4-8 Hz) 與 Alpha (8-12 Hz) 兩個頻段能量的分布情形。首先，我們將受測者在對選擇題問題做思考這段時間的腦波擷取出來，取樣頻率為 1000 Hz，並對這些擷取出的資料點做快速傅立葉轉換，同時，轉成各頻段的空間能量分布圖。

接著，我們將選擇題問題中的題型做分類的動作，分析「數學題型」與「圖形幾何題型」所給予大腦負荷程度的多寡，將其題目分成負荷較高的題型與負荷較低的題型，並在上述的兩個頻段上，去做不同題型對大腦認知活動的差異分析。同時，對受測者在每個題目六次作答的時間加以平均，以計算出每位受測者在做不同問題時，所花費的時間，然而，我們發現受測者在做數學問題時所花費的時間均高於思考圖形幾何問題的時間，其結果如表 1 所示，由表 1 所示，數學問題所給予大腦的負荷度相較於圖形幾何問題是比較高的。

(二) 想像辨識資料分析方法

我們利用是非題來做想像「是」與「非」兩類實驗，辨

表 1. 不同題型題目，受測者所花費的時間

受測者	數學問題	圖形問題
E1	66.32 s	23.17 s
E2	34.62 s	20.14 s
E3	79.28 s	24.51 s
E4	28.52 s	14.98 s
E5	41.29 s	32.33 s
E6	33.52 s	23.96 s
E7	27.26 s	21.36 s
E8	44.89 s	29.40 s

識所量測到的腦電波資料，首先，把做決策思考的這兩秒分成 128 個點，接著，將訊號輸出成矩陣的模式，再撰寫程式來做分析，整體的辨識流程如圖 8 所示。本研究想像辨識資料的分析方法包括：擷取特徵分析法、線性鑑別分析法以及最近鄰居法則分類法，以下分別說明。

1. 擷取特徵分析法

本研究將腦電波資料，分別從時域、頻域、空間三方面進行分析，藉以找出有明顯差異的特徵，來當做分析與辨識之用。

首先，利用腦波量測儀器擷取受測者的一維腦波訊號，圖 9 為某一位想像「是」的時域腦波波形，圖 10 為想像「非」的時域腦波波形，在這兩個圖中，發現在 1500 ms 到 1750 ms 之間，想像「是」的腦波波形，表現較為平穩，而在相同時間區間時，在想像「非」的腦波波形，是比較為活躍。另外，觀察其他受測者的腦波波形，在時域上，都有同樣上述的現象，所以，選擇這類腦波波形在時域上的特徵，用來辨識想像作答「是」與「非」的腦電波。上述特徵現象，也符合在認知思考的研究文獻中，所發現的時域特徵 [1, 3, 11]，是一致的。

接著，利用 NeuroScan 公司的套裝軟體 NeuroScan 4.3，使用 Spectrum mapping 指令將時域腦電波轉換成頻率對空間分佈的頻譜圖，圖 11 為圖 9 轉換後的頻率對空間分佈的頻譜圖，圖 12 為圖 10 轉換後的頻率對空間分佈的頻譜圖，在這些頻譜圖上，紅色愈深表示能量愈大，藍色愈深表示能量愈小。觀察這些頻譜圖，想像「是」之 Delta 波頻譜圖能

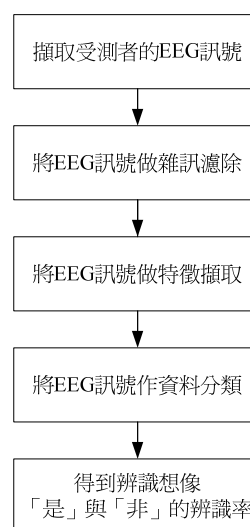


圖 8. 辨識流程圖

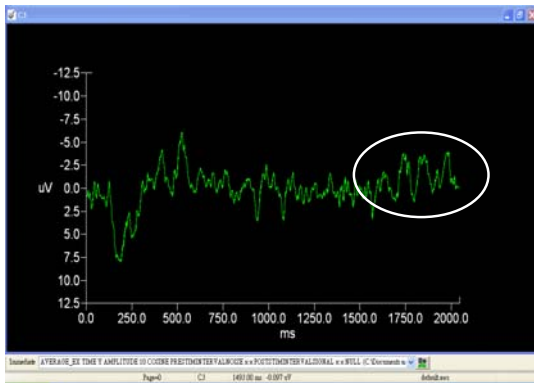


圖 9. 想像答案「是」之時域腦波

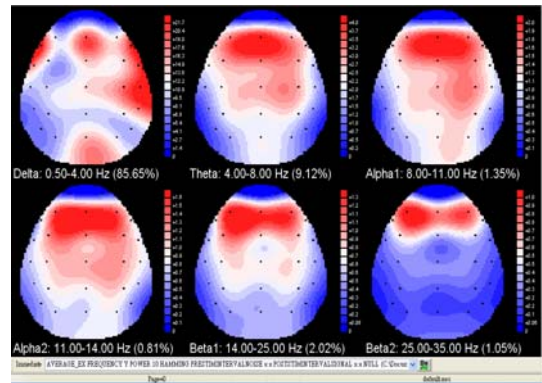


圖 12. 想像答案「非」之頻譜圖

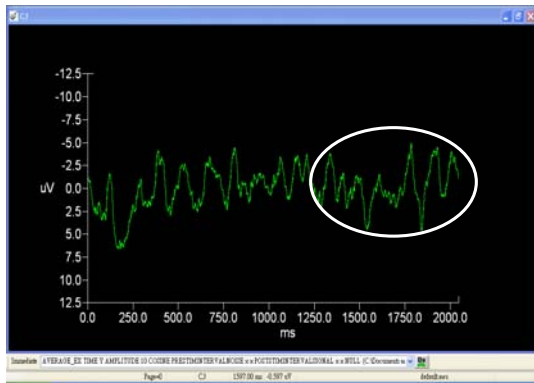


圖 10. 想像答案「非」之時域腦波

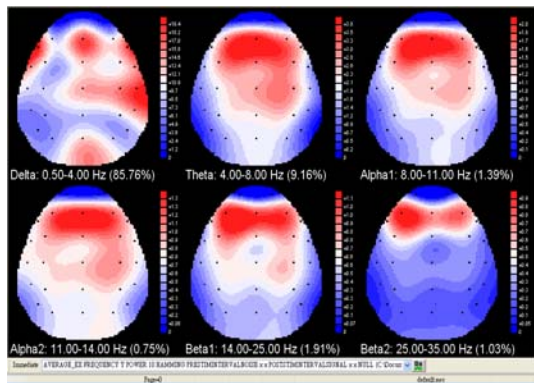


圖 11. 想像答案「是」之頻譜圖

量與想像「非」之 Delta 波頻譜圖能量相似，其他 Theta、Alpha1、Alpha2、Beta1、Beta2 波，其在想像「是」與「非」之頻譜圖能量也都相似，所以，可以得知，在空間特徵中，不會因為思考問題的類別或想像的答案（「是」與「非」）不同而有所差異。另外，觀察其他受測者的頻率對空間分佈的頻譜圖，得知每位受測者在思考問題時，其頻譜圖能量分

佈，會因不同受測者而導致能量分佈的區域不同。

經由上述觀察與分析，因為在頻率或是空間中，對於「是」與「非」兩種不同答案的想像，並沒有明顯差異，可以拿來當作特徵，進而用來辨識。而在時域腦電波中，想像「是」與「非」的腦電波差異明顯，所以，利用時域腦電波來當做特徵，用於辨識想像「是」與「非」的腦電波。

2. 線性鑑別分析法 (linear discriminant analysis, LDA)

本研究將每秒所擷取的 128 點的資料，當作是 128 個特徵，接著使用線性鑑別分析法，把資料經由轉換後變得具有鑑別性，線性鑑別分析法的目的，是要找到一個轉換向量，經由此轉換向量的運算後，就像是讓一群已經分類完成的資料點，投影到低維度的空間。因此，希望能將同一類的資料可以盡量集中，不同類的資料能夠盡量散開。所以，找到這個最佳的轉換向量，就是線性鑑別分析法的核心。

線性鑑別分析法的流程如下：假設有一個大小為 $m \times n$ 的資料集 X ，其中有 m 筆資料，每筆資料維度是 n ，此資料集表示法如式 (2) 所示，

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (2)$$

z 表示資料集 X 的 n 個行向量之平均值，其表示法如 (3) 式所示，

$$z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X(i) \quad (3)$$

假設資料集 X 分成 k 類，每類中有 n_j 筆資料， $j=1, 2, \dots, k$ ，

z_j 表示第 j 類資料行向量的平均值， z_j 的表示法如 (4) 式所示，

$$z_j = \frac{1}{n_j} \sum_{i=1}^{n_j} X_j(i) \quad (4)$$

其中 $X_j(i)$ 為在第 j 類資料中行向量的值。類別內散佈矩陣 (S_w) 和類別間散佈矩陣 (S_b)，分別式子 (5) 及 (6) 所示，

$$S_b = \sum_{j=1}^k n_j (z_j - z)(z_j - z)^T \quad (5)$$

$$S_w = XX^T - \sum_{j=1}^k n_j (z_j - z)(z_j - z)^T \quad (6)$$

LDA 是要找一最佳投影： $D = [d_1, d_2, d_3, \dots, d_{k-1}]$ ，滿足以下式子：

$$J(D) = \arg \max_D \left| \frac{D^T S_b D}{D^T S_w D} \right| \quad (7)$$

上式就是所謂 Fisher 標準函數 (fisher criterion function)。當 J 值最大化的情況下，可得到最佳的轉換向量 D ，也就是說，要能夠使類別間散佈矩陣最大，並且能夠使類別內散佈矩陣最小，其在物理意義方面，表示同一類別內的資料能夠盡可能集中，不同類別之間的資料，要能夠盡可能的散開。

為了要求最大的 J 值，可使用計算 J 的梯度 (gradient) 方法，經推導運算之後可以得知， D 可以由 $S_w^{-1} S_b$ 的特徵向量來建構，詳細的推導和程式請參考 Jang [8]。所以，在時域上面所擷取的資料點，再使用線性鑑別分析法之後，可以讓資料點變得更有鑑別性。

3. 最近鄰居法則分類法 (nearest neighbor rule, NNR)

利用最近鄰居法來判斷資料所屬的類別 (想像「是」或想像「非」)，當有一大群未分類完成的資料時，只要找出和訓練資料中最靠近的點，就可以判定這筆資料是屬於這個點所歸屬的類別。假若有一群已分類的訓練資料 $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_i, y_i), \dots, (x_k, y_k)\}$ ，其中 x 表示特徵向量， y 表示類別資訊，一筆未知類別的測試資料表示為 x_r ，依據最近鄰居法則可得其類別為 y_r ，其決定方式如式 (8) 所示：

$$r = \arg \min_i |x_i - x_r|^2, \quad (8)$$

也就是說最理想之 r 值會出現在測試資料 x_r 與訓練資料 x_i 的差異最小的情況下，詳細的說明和程式請參考 Jang [8]。

4. 一次一個辨識率 (leave one out, LOO)

最後，用一次一個辨識率的方法，計算分類的辨識結果。一次一個辨識率是一種用來測試分類器效能的方法，其中每個測試的資料都沒有參與分類器的訓練，是一種相當準確且公正的估測方式，其方法是將一群資料中取一筆資料出來做為測試資料，而其它的資料就用來訓練分類器，如此可得出一個辨識率的結果，按此方式，一次把一筆資料做為測試資料，而其它部份當做訓練資料，最後再把所有的辨識率結果加起來平均，就可得到由一次一個辨識率法所得的辨識結果，詳細的說明和程式請參考 Jang [8]。

四、實驗結果與討論

大腦認知活動的實驗中，我們是分析開始思考問題期間的腦波，也就是說在以智力測驗「數學題型」與「圖形幾何題型」為主的選擇題實驗中，我們是紀錄整段思考的時間，先去除眼動雜訊之後，再設定 1000 Hz 為取樣頻率的方式來做分段，並將分段好的資料矩陣做分析及討論。

想像辨識的實驗中，我們則是擷取在是非題實驗中，想像答案「是」與「非」那兩秒鐘的資料，也就是想像答案的提示音響起後的 2000 ms 訊號擷取出來，將資料轉換成時域的特徵，並結合線性鑑別分析法與最近鄰居法，將資料做處理和分類的動作。

所使用之腦電波量測硬體包括 NeuroScan 公司生產的電極帽 (30 個電極) 和「NuAmps」40 通道腦電波放大器，軟體包括使用 NeuroScan 公司的套裝軟體 NeuroScan 4.3 和 Matlab 7.0。NeuroScan 4.3 可以在電腦銀幕上顯示量測到的腦電波，並將資料以 .cnt 檔存在硬碟中，以及進行去眼動雜訊、濾波、頻譜轉換等訊號處理動作。特徵擷取與分類演算法，是以 Matlab 7.0 版的程式語言來實現。

(一) 實驗的設定與步驟

1. 量測腦波時，設定的 sampling rate 為 1000 Hz，一次想像『是』與『非』測試為時 12 秒，然後重覆測試。
2. NeuroScan 4.3 有 ocular artifacts reduction 的功能，可以指定去除眼動訊號。
3. 以某受測者「育才」為例，量測時間為 988 秒，總共

有 82 次想像『是』與『非』的測試。

4. 接下來的訊號處理，本研究僅擷取受刺激後，兩秒鐘內所記錄的腦電波資料做後續處理，也就是一次想像『是』與『非』測試中，4 到 6 秒之間的腦電波資料，其他 10 秒的資料，可以透過 NeuroScan 4.3 中 Reject Area 的功能消除掉。
5. 由於 sampling rate 為 1000 Hz，所以，兩秒內總共取 2000 個點，透過 down sampling 的動作降為 128 個點，以此 128 點當作特徵，接著，利用線性鑑別分析法和最近鄰居法則來分類與辨識。
6. 線性鑑別分析法的輸入矩陣為一個列數 82、行數 128 的矩陣，也就是 82 次想像動作，一次取 128 個特徵點，矩陣內數值為電壓值。
7. NeuroScan 4.3 可以單獨取一個電極點的腦電波紀錄，所以，一個矩陣代表一個電極作 82 次想像『是』與『非』的腦電波資料。
8. 根據 Jang [8] 所提供的最近鄰居法則，可以做一次得到一次的辨識率，於是針對 7 個電極點作各自的辨識率，或是結合辨識率前 3 高的電極點，將其矩陣內元素先作平均，再作線性鑑別分析法和最近鄰居法則。結果發現結合 C3、C4、F3 電極所得到的辨識率為 99.91%。

(二) 大腦認知實驗結果

我們將擷取到的腦波訊號，經過快速傅立葉轉換並平均後，轉成各頻段的空間分佈的頻譜圖，圖中的紅色成分越多代表能量越高，藍色成分越多則代表能量越低，再根據各頻段來分析空間中能量的差異。在本研究中，針對最近在認知研究文獻中 [5]，被較重視的 Theta (4-8 Hz) 和 Alpha (8-12 Hz) 這兩個頻段，分別做分析和討論。

在 Theta 頻段中，我們可以發現每位受測者在思考問題時，腦部活躍的部位不盡相同，受測者一、受測者二、受測者三與受測者六思考題目時，能量多集中在前額處，而受測者四、受測者五、受測者七及受測者八思考問題時，能量活躍的部分則比較廣泛，由前額葉延伸至頂葉，受測者五腦波能量活動範圍甚至已經延伸到枕葉附近，然而，8 位受測者都不會因為思考的問題不同，在腦波活躍部位空間的分佈上有所改變。但是，我們可以發現 8 位受測者，在思考花費時間較長的「數學題型」問題時，其腦波能量會比在思考時間花費較短的「圖形幾何題型」題目來的大，而且 8 位受測者的 Theta 波，在思考「數學題型」問題時，腦波活躍的範圍，

也比思考「圖形幾何題型」题目的範圍更大，8 位受測者的 Theta 頻段結果如圖 13 所示。在進一步的分析及探討中，我們將資料做快速傅立葉轉換後，求出每位受測者對於想像不同題型問題時，在 Theta 頻段的平均能量，更清楚的作確認和比較，其中兩種題型在 Theta 頻段的能量比較，如圖 13 所示。

為進一步分析和探討，我們將資料做快速傅利葉轉換，求出每位受測者回答不同題型時，在 Theta 頻段的能量平均後，更能清楚的做確認與比較，如圖 14 所示。從圖 14 可以發現在 Theta 頻段，每位受測者在思考數學題型時，其平均能量均大於思考圖形幾何問題時的平均能量。

在 Alpha 頻段中，可以發現在思考問題時，每位受測者腦部能量活躍的部分是有差異存在的，受測者一、受測者四、受測者五、受測者六與受測者八在做問題思考時，腦部活躍的範圍屬於較靠近前額葉的部分，而受測者二和受測者七思考問題時的能量則是聚集在頂葉與枕葉之間，另外，受測者三思考問題時的能量則是較大範圍的分佈。此外，我們也發現 8 位受測者產生了一致性的現象，此現象卻與上述的 Theta 頻段正好相反，8 位受測者在思考花費時間較長的「數學問題」時，腦波能量會比在思考時間花費較少的「圖形幾何題目」時反而來的低，而且在思考花費時間較長的「數學問題」時，Alpha 頻段在大腦活躍的範圍，也比花費時間較少的「圖形幾何題目」的範圍變得更小。Alpha 頻段為心情平靜使腦部呈現放鬆狀態時才會活躍的頻段，許多學者也認為在 Alpha 頻段活躍時，進行學習會有較佳的效果，而實驗中數學問題所花費的時間較長，給予腦部的負荷也較大，Alpha 波也因而較為收斂。與之前所提到，對 Alpha 頻段作研究的文獻中所指出，較輕鬆的相對性思考在 Alpha 頻段的能量會比負荷較高的絕對性思考來的大且活躍的結果互相呼應 [10]。本研究 8 位受測者之 Alpha 頻段結果如圖 15 所示。

同樣的，將資料經過快速傅立葉轉換再做 Alpha 頻段上能量差異的比較，求出每位受測者在做兩種題型問題時，其 Alpha 頻段的能量平均做確認及比較，其結果如圖 16 所示。

在圖 16 我們可以明顯的發現，當 8 位受測者在思考負荷較低的「圖形幾何題目」時，其在 Alpha 頻段上腦電波能量的平均值，都是大於思考花費時間較長、負荷較高的「數學問題」。

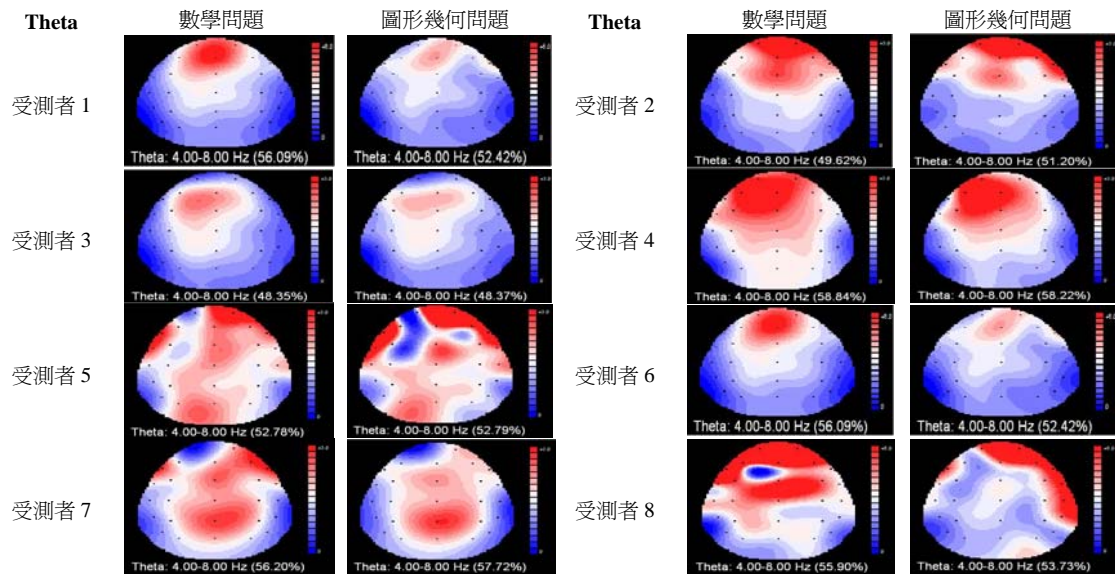


圖 13. 受測者在選擇題實驗中數學問題與圖形幾何問題 Theta 頻段能量圖

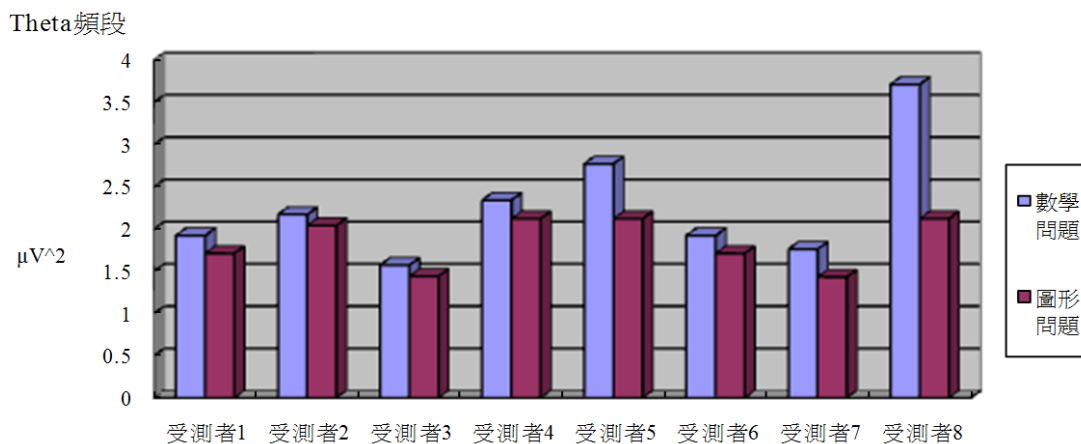


圖 14. 受測者思考數學問題與圖形幾何問題 Theta 頻段能量比較情形

(三) 想像辨識實驗結果

將 8 位受測者的腦電波訊號，經由去除眼動雜訊和濾波、時域特徵擷取與線性鑑別分析法的分析後，使用最近鄰居法來做分類，接著，使用一次一個辨識率的方法，計算出每位受測者的辨識率和全部受測者的平均辨識率，實驗中先以七個電極當特徵，所以每一次的想像都會有七個特徵，將每個特徵點做辨識，其結果如表 2 所示。從表 2 可以發現，結合上述這些方法可以成功的辨識「是」與「非」兩類決策的想像腦電波訊號，並獲得 99.6% 的高辨識率結果。

因特徵運算量隨電極數增加而增加，本研究將電極數減少以降低運算量，首先，將七個電極獨立分析其辨識率，並

依辨識率由高至低來做組合，表 3 為七個電極各自的辨識率及排名，目的在找出較少的電極數量又能有高的辨識率。

從表 3 的七個電極中，我們先選擇辨識率前二名的電極來做組合以觀察其辨識率，若辨識力不足，則再選擇加入辨識率第三高的電極，依此類推。在表 4 的組合中，我們可以發現由 C4+F3+C3 三個電極的組合，不但可以減少電極的數量，其辨識率 99.9% 還高於原來七個電極組合所產生的 99.6% 辨識率。

將本研究與 Phothisonothai 與 Nakagawa [13] 團隊做比較，可以發現，本研究除了將 Phothisonothai 團隊所用的 15 個電極的數量減少至三個電極外，更大幅提高了辨識率（由

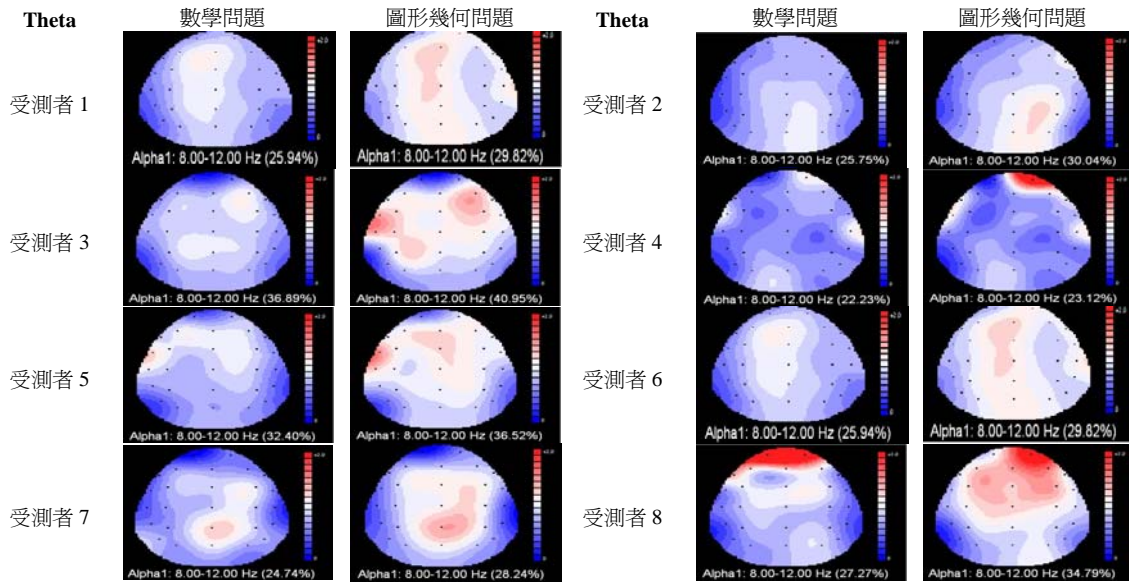


圖 15. 受測者在選擇題實驗中數學問題與圖形幾何問題 Alpha 頻段能量圖

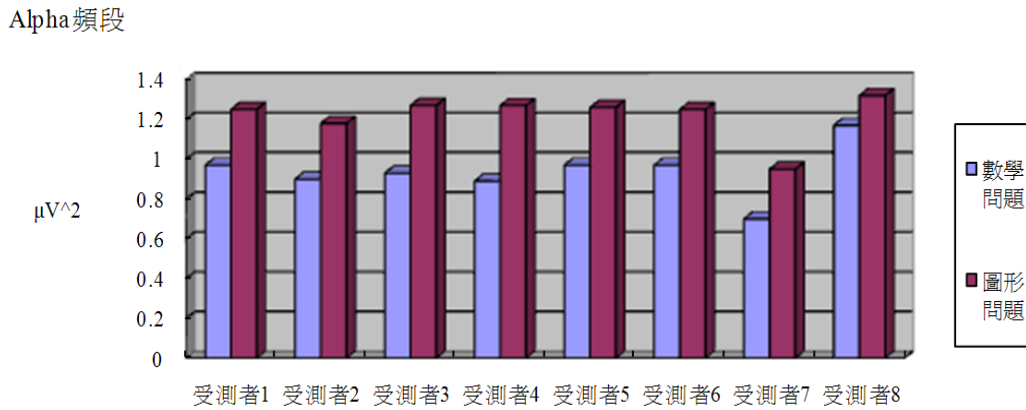


圖 16. 受測者思考數學問題與圖形幾何問題 Alpha 頻段能量比較情形

表 2. 所有受測者的辨識結果

受測者	正確數/ 辨識次數	辨識率	平均 辨識率
受測者 1	434/434	100.00%	99.63%
受測者 2	343/343	100.00%	
受測者 3	412/413	99.76%	
受測者 4	399/399	100.00%	
受測者 5	441/441	100.00%	
受測者 6	370/378	97.88%	
受測者 7	423/423	100.00%	
受測者 8	349/351	99.43%	

表 3. 七個電極各自的辨識率及排名

電極位置	辨識率	排名
C4	84.63 %	1
F3	84.18 %	2
C3	83.12 %	3
CZ	82.47 %	4
P4	81.69 %	5
T3	81.33 %	6
T4	76.13 %	7

表 4. 電極組合與辨識率

C4+F3	C4+F3+C3	ALL
90.66%	99.91%	99.63%

80.15% 提高至 99.91%)，與先前其他同樣做辨識的 Kamousi 等人[9]、Guger 等人 [7] 比較，除了電極數量減少降低了運算量外，在辨識率上面，也有非常大的改進，本研究與其他研究團隊，實驗結果的比較，如表 5 所示。

五、結論與建議

歸納以上研究結果，本研究獲致以下結論與建議。

(一) 結論

依據研究目的與實驗結果分析，本研究之結論如下：

1. 選擇題答題之腦電波分析，存在明顯且一致性的差異

藉由「數學問題」與「圖形幾何問題」兩種不同類型的選擇題實驗，進行大腦認知的腦電波頻段分析，發現存在明顯且一致性的差異。發現思考時間花費較多的問題，其在 Theta 頻段能量的強度和腦波活躍範圍的廣度，均大於花費思考時間較少的題目，因而推測 Theta 頻段的能量及活躍的範圍與大腦做認知思考時所受的負荷成正比。而在 Alpha 頻段則出現了相反的結果，花費較長思考時間的題目反而出現較小的 Alpha 頻段能量及較小的腦波活躍範圍，亦即 Alpha 頻段的能量及活躍的範圍與大腦做認知思考時所受的負荷成反比。此一研究結果，與先前許多對 Alpha 頻段研究的文獻，所提出的大腦在較輕鬆且平靜的情況下，會有較高的 Alpha 波能量與較廣大的活躍範圍 [10] 這樣的理論不謀而合。

2. 是非題答題之腦電波辨識，運用三個電極組合即可有效提高辨識率

針對腦電波訊號的不穩定性及缺乏鑑別性的現象，本研究擷取時域方面的特徵及運用線性鑑別分析法建立一套有效率的系統，經由實驗設計，得到量測數據，利用線性鑑別

分析法可以讓腦電波資料變得具有鑑別性，最後，經由最近鄰居法則做分類，可以得到 99% 以上的平均辨識率。由想像辨識的實驗結果得知，運用發現時域上的特徵及線性鑑別分析法來處理想像「是」與「非」的腦電波訊號，可以有效辨識「是」與「非」兩種想像動作，而且 8 位受測者僅在 C4、F3 及 C3 三個電極的組合下，其平均辨識率即可達到 99.91%。

(二) 建議

對於大腦人機介面的系統來說，99% 的辨識率是極佳的表現，如此的表現對於後端的控制，便能夠發揮優良的穩定性及操控性。未來研究可朝向將此系統和大腦人機介面系統後端（機器人、輪椅等）做連結，進而造福許多行動不方便的人士。

誌謝

本論文在研究過程中，獲得李超然先生的協助實驗，方得以完成，特此致謝。

參考文獻

1. 方偉力、張苑珍、葉榮木、蔡俊明（民 96），以主成分分析法和線性鑑別分析法辨識想像左右手動，國立勤益科技大學勤益學報特刊，25，21-28。
2. 蔡志浩（民 97），認知心理學：大腦的逆向工程，2008 年 06 月 02 日，取自 http://taiwan.chtsai.org/2008/05/18/renzhi_xinlixue/。
3. 韓世輝、朱滢（民 93），認知神經科學，高等教育出版社，廣東。
4. Allport, G. W. (1937) *Personality: A Psychological Interpretation*, Holt, New York, NY.
5. Doppelmayr, M., W. Klimesch, P. Sauseng, K. Hödlmoser, W. Stadler and S. Hanslmayr (2005) Intelligence related differences in EEG-bandpower. *Neuroscience Letters*, 381(3), 309-313.
6. Guest Editors (2006) Guest editorial the third international meeting on brain-computer interface technology: Making a difference. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 14(2), 126-127.
7. Guger, C., G. Edlinger, W. Harkam, I. Niedermayer and G. Pfurtscheller (2003) How many people are able to operate an EEG-based brain-computer interface (BCI)?

表 5. 本研究與其他團隊研究結果之比較

作者	分析方法	想像目標	辨識率
Guger [7]	RIS, BP	右手動、腳	60-80%
Kamousi [9]	ICA	左手、右手	80%
Phothisonothai [13]	SCED	是與否	80.15%
本研究	LDA+NNR	是與否	99.91%

-
- IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 11(2), 145-147.
8. Jang, J. S. R. (1996) Data clustering and pattern recognition. Retrieved Feb. 20, 2008, available at <http://www.cs.nthu.edu.tw/~jang>.
 9. Kamousi, B., Z. M. Liu and B. He (2005) Classification of motor imagery tasks for brain-computer interface applications by means of two equivalent dipoles analysis. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 13(2), 166-171.
 10. Keil, A., T. Mussweiler and K. Epstudec (2006) Alpha-band activity reflects reduction of mental effort in a comparison task: A source space analysis. *Brain Research*, 1121, 117-127.
 11. McFarland, D. J. and J. R. Wolpaw (2005) Sensorimotor rhythm-based brain computer interface (BCI): Feature selection by regression improves performance. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 13(3), 372-379.
 12. O'Connor, K. P. and J. C. Shaw (1978) Field dependence, laterality, and the EEG. *Biological Psychology*, 6, 93-109.
 13. Phothisonothai, M. and M. Nakagawa (2006) EEG-based classification of new imagery tasks using three-layer feedforward neural network classifier for brain-computer interface. *Journal of the Physical Society of Japan*, 75(10), 1-6.
 14. Rocha, F. T., A. F. Rocha, E. Massad and R. Menezes (2005) Brain mappings of the arithmetic processing in children and adults. *Cognitive Brain Research*, 22, 359-372.

收件：97.12.17 修正：98.02.13 接受：98.03.11