

## 腦波儀研究在各領域之應用

陳昆顯 何淑君

高師大資訊教育所

flyonluck0102@gmail.com

sch@nkn.edu.tw

### 摘要

近年來腦波儀(EEG)應用在各學術領域及現實生活中的相關研究越見顯學，因此本研究之目的乃希望能將腦波研究進行分門別類的整理，並提供欲投入腦波儀研究者之參考及研究方向。本研究先按照「腦波發生位置」、「BCI 相關」，以及「常見腦波」來進行文獻收集，並依據 SJR 的排名，盡量保留評價最高等級(Q1)的文獻，再進行資料分析。研究發現文獻中依據腦波分析方式，可分類出三大類：「直接觀察型」、「線性分析型」以及「非線性分析型」；另外，若根據「應用領域」則可分類出四大領域：「醫學」、「商學」、「心理學」以及「腦機介面」。研究顯示腦波在腦部四大葉產生的狀況都有所不同，且較少應用在商業以及藝術方面。加上研究方向也比較傾向於研究腦波的成因，而少有利用腦波改善實際生活的研究，且腦波結合科技的應用雖是潮流但研究數量也仍有偏少。因此，在結論建議方面，未來腦波研究可以試著朝向商業以及藝術領域發展。此外，也可利用刺激誘發腦波的技术來引起各種基本能力需求的腦電波，以改善生活，如睡眠、專注。當然，結合科技應用的 BCI，一直是重要且值得延續的課題。

**關鍵詞：**腦電圖、腦波儀、事件相關電位、腦機介面、文獻回顧法。

### 1. 前言

自從漢斯柏格(Berger, Hans)於1929年發表了腦波圖，腦波研究開始它的輝煌時期。在這麼多種研究中，卻沒有專門的文獻研究針對現在已有的腦波研究進行統整並加以分門別類，在開發出不同於以往的創新研究方面也無相關發展。綜合以上所述，可見腦波研究是現今研究的重大議題，而針對其研究發展出一套完整的分類架構，並開發出不同以往新的研究方向，確有其必要性。

本研究的目的主要有二：

一、針對 EEG 的文獻提供一個分類架構並進行分析及意義說明，以了解各學術領域目前運用腦波圖的成效。

二、提供未來欲投入腦波相關研究者之參考，以及研究方向。

### 2. 文獻探討

#### 2.1 腦波圖(Electroencephalogram, EEG)

腦波儀的種類多樣，根據連結方式可分為 32 頻道腦波儀、64 頻道腦波儀、128 頻道腦波儀以及不需要連接線的無線腦波儀等。然而無論種類為何，其最終目的都是為了要進行腦波測量以及分析。腦波研究開端於 19 世紀末，當時德國生理學家漢斯柏格(Berger, Hans)觀察到電鰻身上發出電波，讓他猜測人類身上也會有相同的現象；1929 年，柏格首次在人類的頭蓋骨上記錄相同的電波活動，這是人類史上第一次發表腦波記錄，命名為「腦波圖」(electroencephalogram:EEG)，他不僅發現了腦波圖，也描述了各種腦波。他還描述了形態各異的腦波圖，如癲癇、創傷和各種病理腫瘤。腦波圖是記錄大腦頭皮上的電流活動，方法為在頭皮上放置電極，記錄或在特殊情況皮質的神經生理測量，所導致的痕跡稱之，而某兩點電位差隨時間的變化圖，通常以微伏(百萬分之一伏特)為單位。

#### 2.2 事件相關電位(Event-Related Potential, ERP)

被所欲探討的刺激(或稱為事件)所引發的正負電壓可以稱為「峰」、「波」或是「成分」，而這些峰值出現的時機只跟某特定事件相關，則此電位就被稱為事件相關電位(Event-Related Potential:ERP)。也有人將其翻譯成為刺激誘發電位，一般的腦波圖記錄不到，需將腦波圖經由平均(average)萃取才能得到[1]。其命名方式多樣，如根據其峰值與相應事件的時間(又稱為事件「潛伏期」)關係取名，如 P100、N100、P300、N400、P600 等。也可根據其峰值的序列性，簡言之即刺激誘發的顯著成分順序，如第一個出現就稱為 P1、N1，第三個出現就稱為 P3、N3 等。除此之外，也有特地為了凸顯其本身的特殊性或是具體研究對象關係的命名法，例如根據其物理屬性，會在 P300 後出現的所有正成分都被稱為晚期正成分(Late Positive Component:LPC)，或是在選擇性注意事件中觀察到的，被非注意刺激所誘發的腦電負成分則稱為失匹配負波(MisMatch Negativity:MMN)。又如 N2pc 是根據其特色而命名，其中 N2 表示第二負偏轉，通常為 200ms，”pc”是指後部對側(posterior-contralateral)等等。而由眼睛注視所誘

發的電位，稱為視覺誘發電位；由聽覺所引發的電位，稱為聽覺誘發電位；又由姿勢體態所誘發的電位，稱為體態誘發電位。

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

腦機介面 BCI，也有人稱直接神經介面，或人機介面 MMI(mind-machine interface)，是一種大腦與機器直接通信的途徑。首次期刊提出是在 1973 年[2]。一開始主要在恢復聽覺、視覺以及觸覺的應用[3]，陸續在其他領域嶄露頭角。腦機介面有許多種，有直接將電極植入視覺皮層以改善視力的侵入式 BCI，或將設備植入顱骨內，而不在灰質外腦的部分侵入式，以及不需侵入人體的非侵入式。其中腦波圖是非侵入式中最普遍拿來應用在 BCI，因其具有良好的時間解析度、易用性、便攜性和相對低廉的價格等優點。其方法主要是利用生物訊號放大器透過腦波感應器取得使用者的腦波圖案，並經由小波分析特徵化轉譯成特別的指令，與實體環境溝通。

### 3. 資料分析

本研究主要採用非介入性文獻回顧研究中的次級資料分析法來進行研究。而本研究文獻收集主要按四步驟依序進行。第一步：在 SDOL 資料庫中，以腦波圖的英文縮寫「EEG」為關鍵字搜尋所得文獻為母群體。第二步：再從這些母群體中，以英文關鍵字：腦波發生位置—「Frontal Lobe」、「Occipital Lobe」、「Temporal Lobe」、「Parietal Lobe」、常見腦波—「 $\alpha$ 」、「 $\beta$ 」、「 $\theta$ 」、「 $\delta$ 」或腦機介面—「BCI」等篩選出文獻。第三步：從第二步中所得的資料，再依據「可判斷發表起源」或「應用不同領域」去篩選出相關文獻。第四步：最後再依據 SJR，把排名最低，評價較差的期刊論文排除，因受限於篇幅，本文僅從評價最高的 Q1 級別中的期刊先選出 31 篇相關文獻，另為了增加文獻的多樣化，也在 Q2、Q3 中分別挑選了 8 篇以及 3 篇研究方向差異較大的文獻進行統整比較。也因此文獻收集的第四步驟是相當必要且重要的，因為藉由 SJR 的評比，可知本研究大多數的文獻均屬於 Q1 級別，由這些評價高且令人信服的文獻中所獲得的結論，會是較具代表性的。今依據關鍵字「腦波發生位置」、「腦機介面」、「常見腦波」將所收集的文獻資料區分為三大類，結果分析描述如下：

#### 3.1 腦部四大葉，額葉 (Frontal Lobe)、頂葉 (Parietal Lobe)、枕葉(Occipital Lobe)以及顳葉(Temporal Lobe)腦波相關研究：

腦部四大葉各司其職，其中額葉主要跟推理、計畫、某些語言與運動（運動皮質）、情緒以及問

題解決有關。可以利用左右額葉不對稱的特性來當做一種診斷工具，以探討當顧客看到廣告時，會對產品出現什麼真實反應[4]。有研究分析顯示，高愉快會造成左額葉腦波電位顯著提高[5]。另右額葉明顯跟焦慮有關，如看到可怕的面孔影像，右額葉活躍的程度變大[6]，知足常樂的心情與第二形式的同理心也與左額葉有關[7]。枕葉與視覺有關，著名的 Alpha( $\alpha$ )波也是由此起源[8]，當遇到熟悉面孔時，枕葉部分會引起較多的正 600f[9]。顳葉與知覺、聽覺刺激辨識、以及記憶(hippocampus)有關。研究顯示老年人在額葉，顳、頂葉及皮層下大腦地區會比年輕人減少更多的神經反應[10]。此外，熟悉的面孔（不論說謊與否）比陌生的面孔在中間和右側頂葉和顳葉區域會引起較少顯著的 N400f[9]。最後是頂葉，其與觸覺，壓力，溫度以及疼痛有關。研究顯示，在決策中會顯示的 P300(P3b)，主要就是由頂葉起源。也有研究顯示，將神經科學應用在廣告行銷去測量腦電波時，在額葉、顳葉跟枕葉的部位，會有明顯增大，研究結果顯示影響購買餅乾的因素中，餅乾的口味是比餅乾的形狀來得重要[11]。

表 1. 腦部四大葉研究彙整

主題	功能	腦波相關研究貢獻	篇數
額葉	推理、計畫、某些語言與運動(運動皮質)、情緒以及問題解決有關。	1.根據左右額葉不對稱可用來探討顧客看廣告時，對產品的真實反應。 2.判斷愉快與不愉快。	[4]~[7]， [11] 共 5 篇。
枕葉	與視覺有關。	1.Alpha( $\alpha$ )起源。 2.遇到熟悉面孔時，枕葉部分會引起較多的正 600f。	[8][9]， 共 2 篇。
顳葉	與知覺、聽覺刺激辨識、以及記憶有關。	老年人比年輕人有較少神經反應。	[10]， 共 1 篇。
頂葉	與觸覺，壓力，溫度以及疼痛有關。	1.熟悉面孔引起較少 N400f。 2.p300 起源。	[9]， 共 1 篇。

#### 3.2 BCI 相關研究：

傳統上有關 BCI 的研究多應用在醫療上，多半在輔助一些肢體殘障的患者。如有研究顯示 BCI 輔助在「通訊和控制」，「電機替代」，「娛樂」，「運動恢復」四方面，可真正幫助並影響到肢體殘障人士[12]。BCI 也被應用在基於穩態視覺誘發電位 (Steady State Visual Evoked Potential: SSVEP) 的腦驅動機器人或輪椅 [13]。BCI 可利用腦波操作神經義肢，如使用 P300 以及 N2PC 來操作機器手臂 [14]，也可幫助耳聾殘疾人士，或配合侵入式 BCI，

以幫助人來視物。不過近年來有越來越多的人開始將 BCI 應用在非醫療的領域上，試著將 BCI 在真實世界中做更有效的應用，如從虛擬鍵盤選擇字母 [15]。藉由 P300 進行控制的拼寫設備也有廣泛的研究和開發 [16][20][17][18][19]，建立一個藉由 P300 操作的網頁瀏覽器 [14][21][22] 或互相結合設計出基於 P300 去操作的網頁，同時也框架出一個使用 P300 去執行的拼寫系統 [23]。應用在虛擬環境中，可進行導航 [24]、操作虛擬 3D 直升機 [25] 或利用聽覺誘發電位擔任在虛擬實境中存在的評估指標 [26]，利用自發以及誘發腦電波玩遊戲 [27]。

為了增進 BCI 的效能，混合 BCI (hybrid BCIs: hBCIs) 的系統架構也被提出。如使用事件相關非同步 (Event-Related Desynchronization: ERD) 和 SSVEPs 操作系統 [28]。又如運動想像 (motor imagery: MI)，這是一個在精神層面中給予一個模擬的動作，讓人以主體感覺去操作，藉此與 SSVEPs 結合，去探討一些離線研究 [29]。也因為 BCI 結合腦波有這麼多的發展應用，開始有部分研究探討在使用 BCI 時，腦波圖的變化。又或者有研究發現，因為使用 BCI 需要訓練，如果操作者情緒波動過大，將導致 BCI 無法讀取真正意圖的腦波型態，因而造成操作困難或甚至會有某些危險發生。因此採用共享控制在機器人跟輪椅的技術也隨之而生 [30][15][31]。而利用玩遊戲來改善腦功能的嚴肅遊戲，也是研究的重心所在 [32]。而既然腦波圖可以識別人類的心理狀態，如疲勞、注意力、認知過程等，因此，有部分 BCI 基於 P300 腦波去設計在人疲憊時，由機器自行掌握控制權，將人送到床上休息等功能。

表 2. BCI 研究彙整

BCI		
主題	研究貢獻	文獻篇數
醫學	1. 神經假肢。 2. 神經遙控機器人跟輪椅。	[12]~[14]， 共 3 篇。
網際網路	1. 腦波網頁瀏覽器的製作。 2. 虛擬鍵盤與腦波拼寫系統。 3. 虛擬實境中的導航、操作與評估指標。 4. 玩遊戲。	[15]~[27]， 共 13 篇
混合系統	1. RED 結合 SSVEPs。 2. MI 結合 SSVEPs。	[28][29]， 共 2 篇。
共享控制	為了避免情緒波動影響腦波操作，於是機器負責主導操作。	[15][30][31]， 共 3 篇。
嚴肅遊戲	結合 BCI 可改善腦功能的遊戲。	[32]， 共 1 篇。

### 3.3 常用腦波： $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\theta$ 、 $\delta$ 相關研究

#### 3.3.1 Alpha( $\alpha$ )

Alpha ( $\alpha$ ) 波首先是由 Karbowski K. Hans Berger 於 1931 年首先提出，神經震盪的頻率範圍為 8-14 赫茲，主要是由枕葉起源 [8]。根據腦波儀與臨床生理學會國際聯盟 (International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology) 的定義：Alpha ( $\alpha$ ) 波主要和放鬆的心理狀態連結。因此此波以往都幾乎是有關於睡眠的研究 [33]。有研究顯示，腦波圖可以藉由上  $\alpha$  波進行有意義的問題解決，是研究洞察力的判斷標準 [34]。有相關研究顯示，心情愉快會跟此波呈現正相關，即越愉快則此波越活躍 [5]。在虛擬實境中，觀賞單牆掛式大螢幕的 3D 虛擬實境，會伴隨著頂葉  $\alpha$  波段的增加，即觀察 3D 影像比觀察 2D 影像會有較多的  $\alpha$  波段產生 [35]。此外，現今也有許多研究藉此波與放鬆心理的連結來進行生物反饋訓練活動，如最常用的日冥想，可幫助人克服恐懼，或使過動兒安靜下來，也可利用此波來進行謊言探測器。也有研究專門將 Alpha ( $\alpha$ ) 的功能進行整理彙整，以便使人們更輕易去了解其應用 [36]。

#### 3.3.2 Beta( $\beta$ )

根據腦波儀與臨床生理學會國際聯盟，此波頻率為 12Hz 以上，但一般很少高於 50Hz。清醒及警覺時尤其明顯，也是邏輯思考、計算、推理時需要的波，屬於「意識層面」的波。在頂葉部及額葉會較明顯，電位約 20  $\mu$ V。研究顯示， $\beta$  波的振幅可用來當做警覺性的間接測量指標，當振幅越高，代表警覺性越高 [37]。而藉由此波測量數值，代入公式也可作為疲勞檢測的指標 [38]。

#### 3.3.3 Theta( $\theta$ )

根據腦波儀與臨床生理學會國際聯盟，此波頻率介於 4-8Hz，主要在兒童的頂葉及顳葉會出現，在深睡作夢、深度冥想時特別明顯，屬於「潛意識層面」的波，許多的腦疾病患者，可以找到  $\theta$  波。一開始此波的發現是歸功於研究海馬 (hippocampus) 的重要課題 [39]，大多研究來自老鼠、貓跟兔子等「海馬 theta 波」，此 theta 波最流行的理論在於與短期記憶鏈結的機制。但因海馬太深層，無法在人體進行植入性研究，此時另一種「人類皮層 theta 波」也隨之被發現探討。研究發現，人類皮層 theta 波其實跟海馬無太大相關。有研究顯示，資優兒童比正常同齡人有顯著較大的  $\delta$  和  $\theta$  活動 [40]。此波也被用來判別聲音、顏色以及形狀的依據 [41]。在廣告行銷方面，發現如果去觀察愉快或不愉快的廣告會分別在左或右半球，增加  $\theta$  和  $\alpha$  活性的不對稱 [5]。 $\theta$  和  $\gamma$  之間的協同效應被認為

是跟認知有關，尤其在聽覺言語幻覺[42]。也有實驗在虛擬實境中研究發現，女性有較高的 $\theta$ 基線，而女性導航性能和 $\theta$ 波的增加成正相關，相對於男性導航性能下降時， $\theta$ 波卻是增加的。這些結果可能表明女性擁有高於男性的一個強大的感覺整合能力，於是推測皮質 $\theta$ 活動中出現了性別差異[26]。

### 3.3.4 Delta( $\delta$ )

根據腦波儀與臨床生理學會國際聯盟定義，此波頻率介於0.5~4Hz的腦波頻段，在一歲大嬰兒睡眠時，以及有嚴重器官性疾病的患者身上尤其明顯，主要出現在兒童的枕葉部，及成人的額葉部。資優兒童比正常同齡人有顯著較大的 $\delta$ 增量[40]。

今將各常用波相關研究彙整如表3。

表3.  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\theta$ 、 $\delta$ 研究彙整

波	特徵	研究貢獻	篇數
$\alpha$	1. 8-14 Hz。 2. 枕葉起源。 3. 「意識」與「潛意識」層面。 4. 想像力來源	1. 放鬆時明顯。 2. 日冥想，克服恐懼，安撫過動兒，進行測謊。 3. 可用來分辨3D與2D。	[5]、 [8]、 [34]~ [36]， 共5 篇。
$\beta$	1. $50 > \beta > 12$ (Hz)。 2. 意識層面。 3. 清醒、警覺時高。 4. 在頂葉與額葉會較明顯。	1. 當振幅高時，警戒性高，可當做警戒性的測量標準。 2. 代入公式，可當做疲勞指標評估。	[37]、 [38]， 共2 篇。
$\theta$	1. 4~8Hz。 2. 頂葉與顳葉出現。 3. 潛意識層面。 4. 創造力與靈感來源。 5. 分為海馬 $\theta$ 跟皮質 $\theta$ 。	1. 智力高者顯著。 2. 與短期記憶有關 3. 可判斷顏色、聲音及形狀。 4. 有性別差異。 5. 愉快廣告可增加。 6. 與認知過程有關。	[5]、 [39]~ [42]， 共5 篇。
$\delta$	1. $4 > \delta > 0.5$ Hz。 2. 無意識層面。	1. 在一歲大嬰兒睡眠時，以及有嚴重器官疾病者明顯。資優兒童較多。 2. 資優兒童較多。	[40]， 共1 篇。

## 4. 研究發現

研究分析顯示，雖然腦波文獻範圍分布既細且廣，但仍可將其依據「腦波圖分析方式」分為三類：  
(1) 直接觀察型：一般腦部示波圖，如 Alpha( $\alpha$ )、

Beta( $\beta$ )、Theta( $\theta$ )及 Delta( $\delta$ )等直接從示波器上直接描繪而成的腦波圖。

- (2) 線性分析型：如頻譜圖以及時頻圖，在固定的某頻率內，可找出規律性的 ERP，如 N400、P300、P600 等即為此類。
- (3) 非線性分析型：包含利用非線性分析函式來分析腦波圖，或是觀察無固定波段跟特別突出的峰值，但卻可在觀察腦波波型找出規律變化的分析方式。

且又可根據腦波實際「應用領域」相關，將其區分4類：

- (1) 醫學：本研究收集醫學相關文獻 14.28%(6 篇)。包括醫學診斷、醫學治療，以及醫學輔具。其中醫學治療又包括物理治療跟化學治療，而醫學輔具將結合腦波，所以將其歸類在腦機介面。
- (2) 心理學：本研究收集心理學相關文獻 26.19%(11 篇)。主要研究喜怒哀樂等情緒，以及利用腦波改善教育方法的教育心理學，或是測謊的犯罪心理學，甚至進行人際溝通等社會互動的社會心理學方面，均屬此類。
- (3) 商學：本研究收集商學相關文獻 4.76%(2 篇)。其主要應用在神經行銷學，可了解顧客看到廣告對產品的真實反應。或是了解顧客對產品真實感興趣的部份，如品牌、價位以及成分等因素。部分可應用於決策方面，藉此用來預測顧客決定。
- (4) 腦機介面：本研究收集腦機介面相關文獻 54.77%(23 篇)。主要可分為醫學輔助、網際網路、混合系統以及共享控制四類。

## 5. 結論

腦波的研究多采多姿，所包含的範圍也既細且廣，而本研究希冀能為未來有意研究腦波者，提供參考以及研究方向。故將本研究所得結論歸納及未來發展建議如下：

- (1) 在研究領域方面：由本研究所收集的文獻發現，近代腦波的應用研究相當多樣，但大部分的應用主要都在醫學以及心理學方面。在藝術方面以及商業應用方面，卻無太多相關的文獻，因此若未來能多往這兩方面發展，相信會有更大的貢獻。
- (2) 在腦波儀硬體設備方面：腦波儀的類型發展快速，目前已有 32 頻道腦波儀、64 頻道腦波儀、128 頻道腦波儀以及不需要連接線的無線腦波儀。但仍容易受到周遭電磁波的影響，而腦波的讀取正確與否，將影響到後續分析及歸納的重要性，所以如何改善機器讀取腦波訊號的能力，相信在腦科學相關的工業設計上，扮演著重要角色。
- (3) 在腦波分析軟體方面：實驗設計的系統架構，腦波分析的方式，建立能更精確分析結果的程

式，也是一研究課題。而結合著名的 data mining (資料探勘)，以及專家系統 (Expert system)，相信在收集分析腦波資訊，應有更大的成就。

- (4) 在生活應用方面：腦波雖結合科技，但容易受到周遭環境影響，因此如何讓腦波遙控科技可以凌駕於 wisee 以及體感科技之上，相信也會是科學家未來努力的目標以及方向。
- (5) 在腦機介面方面：腦波的應用在腦機介面，可以進行如間腦視物，以及腦波遙控機器，解決通訊問題，技術方面已開始見臻成熟，但昂貴的儀器以及部分機體過大，目前幾乎都以 P300 來進行遙控，因此如何改善機體價格、體積以及找尋更容易刺激操作的腦波，是未來持續努力的重點所在。
- (6) 在腦波段歸類分析方面：現今文獻大多以振幅、頻率、波型來進行腦波圖分析。在震盪方面的研究較少。且大多文獻都還是以目前著名的  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\delta$ 、 $\theta$  波為研究題材，而這些幾乎都是 20 世紀前即發現且大量應用的波段，即便現今有文獻開始開發其在不同領域上的應用，但基本上都是換湯不換藥，差別性不大，其嶄新的意義性也不多。因此把目標放在找尋大腦其他特定的波段與各領域結合研究，是未來重要的課題。處理一些並未落入特定波段，但可用其他的非線性分析所測得的某些波段範圍，也都可以當做未來研究的課題。因此找尋新興波段以利研究發展其在不同領域上的應用，相信也是指引未來腦波研究的導航目標之一。

## 6. 參考文獻

- [1] T.W. Picton, S. Bentin, P. Berg, E. Donchin, S.A. Hillyard, R. Johnson, JR., G.A. Miller, W. Ritter, D.S. Ruchkin, M.D. Rugg, and M.J. Taylor, "Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria," *Psychophysiology*, vol. 37, pp.127-152, 2000.
- [2] J.J.Vidal, "Toward direct brain-computer communication," *Annual review of biophysics and bioengineering*, vol. 2, pp.157-80, 1973.
- [3] Simon P. Levine, Jane E. Huggins, Spencer L. BeMent, Ramesh K. Kushwaha, Lori A. Schuh, Mitchell M. Rohde, Erasmo A. Passaro, Donald A. Ross, Kost V. Elisevich, and Brien J. Smith, "A direct brain interface based on event-related potentials," *IEEE transactions on rehabilitation engineering: a publication of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, vol. 8, no. 2, pp.180-5, 2000.
- [4] R. Ohme, D. Reykowska, D. Wiener, and A. Choromanska, "Application of frontal EEG asymmetry to advertising research," *Journal of Economic Psychology*, vol.31, no. 5, pp.785-793, 2010.
- [5] G. Vecchiato, J. Toppi, L. Astolfi, F. D. V.Fallani, F. Cincotti, D. Mattia, F. Bez, and F. Babiloni, "Spectral EEG frontal asymmetries correlate with the experienced pleasantness of TV commercial advertisements," *Med Biol Eng Comput*, vol. 49, no. 5, pp.579-583, 2011.
- [6] J. Avram, F. R. Baltes, M. Miclea, and A. C. Miu, "Frontal EEG activation asymmetry reflects cognitive biases in anxiety: evidence from an emotional face Stroop task," *Appl Psychophysiol Biofeedback*, vol. 35, no. 4, pp.285-292, 2010.
- [7] Sharee N. Light, James A. Coan, Carolyn Zahn-Waxler, Corrina Frye, H. Hill Goldsmith, and Richard J. Davidson, "Empathy Is Associated With Dynamic Change in Prefrontal Brain Electrical Activity During Positive Emotion in Children," *Child Development*, vol. 80, no. 4, pp.1210 - 1231, 2009.
- [8] S. Palva and J.M. Palva, "New vistas for  $\alpha$ -frequency band oscillations," *Trends Neurosci*, 2007.
- [9] D. Sun, C. C. H. Chan, T.M.C.Lee, "Identification and Classification of Facial Familiarity in Directed Lying: An ERP Study," *PLoS One*, vol. 7, no. 2, e31250, 2012.
- [10] G. Juckel, S. Karch, W. Kawohl, V. Kirsch, L. Jager, G. Leicht, J. Lutz, A. Stammel, O. Pogarell, M. Ertl, M. Reiser, U. Hegerl, H.J. Möller, C. Mulert, "Age effects on the P300 potential and the corresponding fMRI BOLD-signal," *NeuroImage*, vol. 60, pp.2027-2034, 2012.
- [11] R.N. Khushaba, C. Wise, S. Kodagoda, J. Louviere, B. E. Kahn, C. Townsend, "Consumer neuroscience: Assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking," *Expert Systems with Applications*, vol. 40, pp.3803-3812, 2013.
- [12] J. d. R. Millan, R. Rupp, G. R. Muller-Putz, R. Murray-Smith, C. Giugliemma, M. Tangermann, C. Vidaurre, F. Cincotti, A. Kubler, R. Leeb, C. Neuper, K.R. Muller, and D. Mattia, "Combining brain-computer interfaces and assistive technologies: state-of-the-art and challenges," *Frontiers in Neuroscience, Neuroprosthetic*, vol. 4, pp.161, 2010.
- [13] P. F. Diez, S.M. Torres Muller, V. A. Mut, E. Laciari, E. Avila, T. F. Bastos-Filho, and M. Sarcinelli-Filho, "Commanding a robotic wheelchair with a high-frequency steady-state visual evoked potential based brain-computer interface," *Medical Engineering & Physics*, vol. 35, pp.1155-1164, 2013.
- [14] J.L. Sirvent Blasco, E. Ianez, A. Ubeda, and J.M. Azorin, "Visual evoked potential-based brain-machine interface applications to assist disabled people," *Expert Systems with Applications*, vol. 39, pp.7908-7918, 2012.
- [15] J. Williamson, R. Murray-Smith, B. Blankertz, M. Krauledat, and K.-R. Muller, "Designing for uncertain, asymmetric control: interaction design for brain-computer interfaces," *Int. J. Hum. Comput. Stud.*, vol. 67, pp.827-841, 2009.
- [16] S. Silvoni, C. Volpato, M. Cavinato, M. Marchetti, K. Priftis, A. Merico, P. Tonin, K. Koutsikos, F. Beverina, and F. Piccione, "P300-based brain-computer interface communication: evaluation and follow-up in amyotrophic lateral sclerosis," *Front. Neurosci*, vol. 60, no. 3, 2012.
- [17] H. Cecotti, "Spelling with non-invasive Brain-Computer Interfaces - Current and future trends," *Journal of Physiology - Paris*, 105:106-114, 2011.
- [18] I. Kathner, C. A. Ruf, E. Pasqualotto, C. Braun, N. Birbaumer, and S. Halder, "A portable auditory P300 brain-computer interface with directional cues," *Clinical Neurophysiology*, vol 124, pp327-338, 2013.
- [19] William Speier, Itzhak Fried, Nader Pouratian, "Improved P300 speller performance using electrocorticography," *Clinical Neurophysiology*, vol 124, pp1321-1328, 2013.
- [20] Bernardo Dal Seno, Matteo Matteucci, and Luca Mainardi, "Online Detection of P300 and Error Potentials in a BCI Speller," *Computational Intelligence and Neuroscience*. Vol. 2010, Article ID 307254, 5 pages, 2010.
- [21] E.M. Mugler, C. A. Ruf, S. Halder, M. Bensch, and A. Kubler, "Design and Implementation of a P300-Based Brain-Computer Interface for Controlling an Internet Browser," *IEEE TRANSACTIONS ON NEURAL SYSTEMS AND REHABILITATION ENGINEERING*, vol. 18, pp.599-609, 2010.
- [22] Mugler, E., Bensch, M., Halder, S., Rosenstiel, W., Bogdan, M., Birbaumer, N., and Kübler, A. "Control of an internet browser using the P300 event-related potential." *Int. J. Bioelectromagn*, vol. 10, pp.56-63, 2008.
- [23] L. Mayaud, S. Filipe, L. Petegnief, O. Rochecouste, and M. Congedo, "Robust Brain-computer Interface for virtual Keyboard (RoBIK): Project results," *IRBM*, vol. 34, pp.131-138, 2013.

- [24] R. Ron-Angevin and A. Diaz-Estrella, "Brain-computer interface: Changes in performance using virtual reality techniques," *Neuroscience Letters*, vol. 449, pp.123-127, 2009.
- [25] A. J. Doud, J. P. Lucas, M. T. Pisansky, and B. He, "Continuous Three-Dimensional Control of a Virtual Helicopter Using a Motor Imagery Based Brain-Computer Interface," *PLoS ONE*, 6:10, 2010.
- [26] S. E. Kober and C. Neuper, "Sex differences in human EEG theta oscillations during spatial navigation in virtual reality," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 79, pp.347-355, 2011.
- [27] A. Finke, A. Lenhardt, and H. Ritter, "The MindGame: a P300-based brain-computer interface game," *Neural Netw.*, vol. 22, pp.1329-1333, 2009.
- [28] Brendan Z. Allison, Clemens Brunner, Christof Altstatter, Isabella C. Wagner, Sebastian Grissmann, and Christa Neuper, "A hybrid ERD/SSVEP BCI for continuous simultaneous two dimensional cursor control," *Journal of Neuroscience Methods*, vol. 209, pp.299-307, 2012.
- [29] C. Brunner, B. Z. Allison, D. J. Krusienski, V. Kaiser, G. R. Muller-Putz, C. Neuper, and G. Pfurtscheller, "Improved signal processing approaches in an offline simulation of a hybrid brain-computer interface," *J. Neurosci. Methods*, vol. 188, pp.165-173, 2010.
- [30] F. Galan, M. Nuttin, E. Lew, P. W. Ferrez, G. Vanacker, J. Philips, and J. d. R. Millan, "A brain-actuated wheelchair: asynchronous and non-invasive brain-computer interfaces for continuous control of robots," *Clin. Neurophysiol.*, vol. 119, pp.2159-2169, 2008.
- [31] S. J. Luck and S.A. Hillyar, "Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search," *Psychophysiology*, vol. 31, pp.291-308, 1994.
- [32] Yunsick Sung, Kyungeun Cho, and Kyhyun Um, "A Development Architecture for Serious Games Using BCI (Brain Computer Interface) Sensors," *Sensors*, vol. 12, no. 11, pp.15671-15688, 2012.
- [33] L. A. Finelli, H. Baumann, A. A. Borbealy and P. Achermann, "Dual Electroencephalogram markers of human sleep homeostasis: Correlation between Theta activity in waking and slow-wave activity in sleep," *Neuroscience*, vol. 101, no. 3, pp. 523-529, 2000.
- [34] Simone Sandkuhler and Joydeep Bhattacharya, "Deconstructing Insight: EEG Correlates of Insightful Problem Solving," *PLoS ONE*, Issue 1, 2008.
- [35] S. E. Kober, J. Kurzmann, and C. Neuper, "Cortical correlate of spatial presence in 2D and 3D interactive virtual reality: An EEG study," *International Journal of Psychophysiology*, vol. 83, pp.365-374, 2012.
- [36] Olga Bazanova, "Comments for Current Interpretation EEG Alpha Activity: A Review and Analysis," *Journal of Behavioral and Brain Science*, vol. 2, pp.239-248, 2012.
- [37] Laurent Poupard, Richard Sartene, Jean-Christophe Wallet, "Scaling behavior in  $\beta$ -wave amplitude modulation and its relationship to alertness," *Biological Cybernetics*, vol. 85, pp. 19-26, 2001.
- [38] Budi Thomas, Sara Lala, Peter Fischerb, Evangelos Bekiarisc, "Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue," *Expert Systems with Applications*, vol. 36, pp.2352-2359, March 2009.
- [39] JD Green and A. Arduini, "Hippocampal activity in arousal," *J Neurophysiol*, vol. 17, no. 6, pp.533-57, 1954.
- [40] T. Liu, J. Shi, D. Zhao, and J. Yang, "The event related low frequency activity of highly and average intelligent children," *High Ability Studies*, vol 19, no 2, pp131-139, 2008.
- [41] M.C.M. Bastiaansen, R. Oostenveld, O. Jensen, and P. Hagoort, "I see what you mean: theta power increases are involved in the retrieval of lexical semantic information," *Brain Lang.*, vol. 106, no. 1, pp.15-28, 2008.
- [42] Elias Koutsoukos, Elias Angelopoulos, Antonis Maillis, George N. Papadimitriou, Costas Stefanis, "Indication of increased phase coupling between theta and gamma EEG rhythms associated with the experience of auditory verbal hallucinations," *Neuroscience Letters*, vol. 534, pp.242-245, 2013.