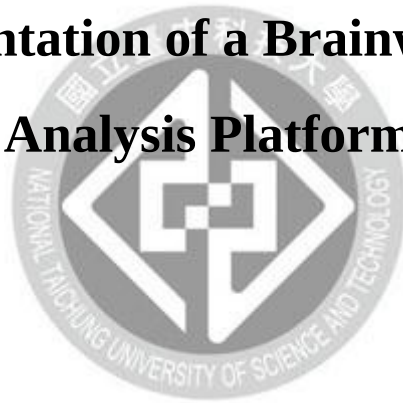


國立臺中科技大學多媒體設計系碩士班
碩士論文

線上腦波資料分析平台實作之研究
**Implementation of a Brainwave Data
Analysis Platform**



指導教授：朱中華 Chung-Hua Chu

研究生：楊軒旻 Shiuan-Min Yang

中華民國 105 年 1 月

線上腦波資料分析平台實作之研究

Implementation of a Brainwave Data Analysis Platform

指導教授：朱中華 Chung-Hua Chu

研究生：楊軒旻 Shiuan-Min Yang

國立臺中科技大學

多媒體設計系碩士班

碩士論文

A Thesis

Submitted to

Department of Multimedia Design

National Taichung University of Science and Technology

in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

January 2016

Taichung, Taiwan, Republic of China

中華民國 105 年 1 月

國立臺中科技大學研究所

論文口試委員會審定書

本校 多媒體設計 所 楊軒旻 君

所提論文 線上腦波資料分析平台實作之研究

Implementation of a Brainwave Data Analysis Platform

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：張昱源

徐豐明

指導教授：朱中華

研究所所長：朱中華

中華民國 105 年 1 月 18 日

線上腦波資料分析平台實作之研究

學生：楊軒旻

指導教授：朱中華

國立臺中科技大學多媒體設計系碩士班

摘要

近年，腦波的應用為新興之研究，而腦波的相關應用也開始被社會大眾接受與重視，不少業者相中腦波對於遊戲式學習的意義製作了許多具有教育意義的腦波遊戲。若將線上資料庫應用在腦波遊戲進行數據分析，能更有效儲存腦波資料用以分析、研究。同時也能將腦波資訊以資訊視覺化地方式展現給使用者觀察分析，因此，本研究將開發一個能夠記錄腦波變化並上傳資料庫的軟體與線上腦波資訊分析平台。本研究將透過 Unity3D 結合 PHP 和資料庫伺服器開發記錄腦波變化的腦波分析軟體，並開發腦波線上平台將儲存的腦波資料透過視覺化來具體呈現腦波變化分析，讓使用者能簡單清楚地了解腦波的變化，也讓腦波領域研究者獲得更豐富的腦波資料庫。

關鍵字：腦波平台、線上腦波資料庫、資訊視覺化

Implementation of a Brainwave Data Analysis Platform

Student: Shiuan-Min Yang

Advisors: Chung-Hua Chu

Department of Multimedia Design

National Taichung University of Science and Technology

ABSTRACT

In recent years, brainwave has become an advanced application. There are a lot of brainwave video games for education and entertainment. In this thesis, we design an online brainwave platform for EEG analysis. This platform can also show the complicate brainwave data by using a simple chart such that every user can easily observe his/her brainwave. We adopt Unity3D, PHP, and MySQL-database to implement this platform. This platform provides not only a simple presentation of the brainwave for amateurs but also adequate datasets for brainwave researches.

Keywords:

Brainwave Platform, Online Brainwave Database , EEG Information Visualization

誌謝

這篇論文能夠完成，我必須感謝我的指導教授朱中華老師，給我的許多寶貴意見和資源讓學生我得以順利完成這篇論文，也讓學生在這段學習過程中受益良多，僅以此致上學生最深之感謝。沒有老師的協助就沒有這篇論文的誕生，研究所的路上中華老師協助與指導的恩情讓學生沒齒難忘，真的十分感謝老師的諄諄教誨，謝謝老師。

在研究所的路上十分的漫長，我也即將抵達終點，在過程中遇見了很多不同領域的師長，每位師長對我來說都是別具意義的存在，如同爺爺一般慈愛的游耿能老師、授課方式十分獨到讓學生我收益良多的游曉貞老師、嚴父一般給予提拔的王兆華老師、帶領我一窺程式設計有趣的地方的黃國峰老師、親切和善有問題時總是很樂意幫助的徐豐明老師、對學生時而嚴厲時而溫柔的蔡子瑋老師，每位老師都是學生的研究所生涯中不可或缺的一片拼圖，各位老師授予的一切教誨都會伴隨著學生繼續踏上未來的旅程。

研究所這三年半的旅途，對我來說真的很漫長。從一開始的懵懂無知，不知道該如何踏入這片研究領域，到稍稍學會一點皮毛，直到後來的身體亮起紅燈讓我體會到人生的無常以及自我的不足。說實在的我很感謝陪我一路走來的所有人，看著 4416A 裡面人來來去去，讓我有種彷彿只有我的時間被停止住般痛苦的錯覺，當我深深困在自怨自艾的深處時，是我的碩士同學們讓我知道只要一步一步...我也能夠前進。有 4416A 的學弟妹們的陪伴讓因為許多原因導致延畢的我覺得並不孤單，過去能夠有碩班的同學們一同陪我走來，現在能有 4416A 的學弟妹們一起陪我前進，老實說...我肯定是有雙倍的幸運才能有這麼多人的陪伴與照顧呢。真的很謝謝與我一起在研究所學業的旅途中踏過每一腳印的每一位夥伴，真的謝謝你們。

此刻，真的十分感謝我的父母從小到大給予我的照顧，這漫長的時刻裡頭無怨無悔的付出，真的很謝謝你們，不管是我延畢還是生病開刀住院，一路以來都一直陪在我身邊給予我力量，真的很謝謝我的父母，能有這麼棒的爸媽我真的深感榮幸，也希望未來我能夠讓你們感到驕傲。

最後，感謝我的好朋友黃元信弘在論文製作上給予我軟體技術的支援，也感謝國立臺中科技大學多媒體設計系感性實驗室與蔡子瑋老師在硬體上面的支援協助，並再次感謝朱中華老師所給予的所有教誨。如果沒有我所遇見的每個人給予的大力協助，我是肯定無法獨力完成這篇論文的，真的感謝萬分我生命中的每個貴人，需要謝謝的人真的太多了，我想那就謝天吧，謝謝。

楊軒旻 謹致

國立臺中科技大學多媒體設計系
中華民國一〇五年二月二日星期二

目次

摘要	I
ABSTRACT	II
誌謝	III
目次	IV
表目次	VI
圖目次	VII
第一章 緒論	1
1.1 研究背景	1
1.2 研究動機	2
1.3 研究目的	2
1.4 研究流程	3
1.5 研究範圍與限制	4
第二章 文獻探討	5
2.1 腦波文獻	5
2.1.1 腦波(Brainwave)	5
2.1.2 腦波儀-腦立方(MindWave)	6
2.1.3 Attention 值與 Meditation 值	6
2.2 腦波應用	7
2.2.1 BrainMarket	7
2.2.2 腦波互動行動裝置遊戲 - Brain Maze	9
2.2.3 運動員腦波應用研究	10
2.2.4 以腦波特徵為基礎之專注力診斷與訓練系統	11
2.2.5 其他種類的腦波應用	12
2.2.6 腦波應用小結	14
第三章 研究方法	15
3.1 研究架構	15
3.2 研究系統設計	16
3.2.1 線上腦波資料分析平台系統功能設計	16

3.2.2 系統架構.....	17
3.2.3 系統實作.....	20
3.2.4 資料庫設計.....	24
3.2.5 線上腦波資訊平台系統介面與操作.....	25
3.3 實驗設計.....	30
3.3.1 系統負載測試.....	30
3.3.2 系統易用性測驗實驗.....	31
第四章 實驗結果.....	34
4.1 SUS 系統易用性量表得分與結果.....	34
4.2 受測者腦波值變化結果.....	37
第五章 結論.....	42
參考文獻.....	43



表目次

表 1 腦波頻率與種類.....	5
表 2 SUS 各題目得分百分比統計表格.....	34
表 3 腦波平台 SUS 易用性總體數據.....	36
表 4 專注任務與放鬆任務的結果平均值(取至小數第二位).....	37



圖目次

圖 1 腦波貓耳-貓的秘密 necomimi.....	1
圖 2 研究流程圖.....	3
圖 3 腦波儀-腦立方(MindWave)	6
圖 4 BrainMarket 遊戲畫面-介面與 Attention 值.....	7
圖 5 BrainMarket - 完成遊戲任務	8
圖 6 Brain Maze 的關卡設計與按鈕設計	9
圖 7 不同類型弓箭手腦波圖變化	10
圖 8 以腦波特徵為基礎之專注力診斷與訓練系統流程圖.....	11
圖 9 Know Yourself:應用的腦波依據跟打印機與自畫像成品	12
圖 10 視覺回饋使用者自我調適系統與硬體	13
圖 11 研究架構圖.....	15
圖 12 系統架構圖.....	17
圖 13 腦波分析軟體系統架構圖.....	18
圖 14 線上腦波資訊平台系統架構圖.....	19
圖 15 腦波分析軟體輸入示意圖.....	20
圖 16 腦波平台輸入示意圖.....	21
圖 17 兩份各自持有三組資料的完整資料範例圖	23
圖 18 資料庫 ER 圖.....	24
圖 19 線上腦波資訊平台網站.....	25
圖 20 腦波分析資訊功能頁介面圖	26
圖 21 腦波資訊圖資料顯示.....	27
圖 22 腦波資訊變化圖選取範圍差異	28
圖 23 使用者資訊輸入功能區流程截圖	29
圖 24 SUS Score	36
圖 25 專注任務中 Attention 專注力變化圖	39
圖 26 放鬆任務中 Meditation 放鬆值變化圖.....	40

第一章 緒論

1.1 研究背景

二十一世紀的現代，網路幾乎呈現為無所不在的狀態，現今的科技日新月異，人類開始窺探自我的奧秘。逐漸成熟的腦波技術，使腦波應用科技的成本降低，因此腦波科技產品漸漸地普及化。隨著 2011 年 Neurowear 和美國神念科技（NeuroSky）共同研發了這款 **necomimi** 產品(圖 1)，在世界引起了一個盛大的風潮，該發明榮登了同年 2011 年度美國時代週刊 20 大最佳發明獎，腦波科技正式離開神秘的實驗室踏入了平民的生活之中。



圖 1 腦波貓耳-貓的秘密 necomimi
(資料來源：<http://www.necomimi.com.tw/>)

腦波儀器的平民化使得人們更容易取得，而腦波檢測適合使用來分析人類行為舉止與大腦的腦波相對變化，加上教學遊戲在注重學習教育的台灣環境中一直是龐大的市場，因此開始有了將腦波科技應用到教學遊戲中，進而產生了所謂的腦波教學遊戲。加上 eSense™專利演算法[1]的開發使得難以解讀的腦波不再只有專家學者才能辨別，經由腦波儀匯入資訊透過 eSense™演算法能夠獲得具備著明確意義的專注值(Attention)與冥想值(Meditation)[1]，使得腦波資料更能被一般人所使用，相信未來還會有更多腦波演算法被推出。

1.2 研究動機

一般常見腦波應用系統，大多是用來遊戲與練習使用，並不具備線上記錄功能；如果能將腦波應用科技與線上資料庫結合，透過雲端對儲存腦波記錄的線上資料庫進行存取，能夠將腦波應用方面研究數據完整的保存與利用。

但是蒐集了腦波資訊的資料庫並不能被沒有資料庫基礎知識的一般人使用，因此，本研究開發了結合線上腦波資料庫的線上腦波資訊平台，將腦波資訊變化繪製成圖片透過此平台展示，搭配 eSense™演算法的幫助使得普通人只需透過腦波平台就能夠了解自己的腦波狀態，即使是無程式背景的腦波研究學者亦能透過該平台調閱腦波資料庫內中所保存的各式腦波資訊。

1.3 研究目的

本研究主要目的為透過研究連線功能與線上資料庫及 Unity 的結合進行線上腦波資料庫與腦波資訊平台開發。藉此產出一個擁有連線功能且能記錄腦波資訊變化的腦波應用軟體與腦波資訊平台讓一般人皆能夠透過此系統了解自身腦波變化，並且提供無程式背景的腦波研究員一個能夠輕易儲存與調閱的研究媒介。



1.4 研究流程

本研究主要以腦波資料庫與建立腦波資訊平台作為核心目的，透過探討研究的背景與動機確立研究目的與系統實作方向，透過相關文獻探討了解其中的知識與技術，接著進入系統設計與系統開發等實作，於開發結束後進行系統測試與除錯修改，並進行成果分析後提供實作過程以及結論作為論文成果。



圖 2 研究流程圖

1.5 研究範圍與限制

本研究在於研究建置連結腦波資料庫的腦波應用軟體技術與提取腦波資料庫數據將資訊視覺化之腦波平台，以建造的系統進行腦波資料庫與腦波資訊可視化的腦波資訊平台對於一般使用者之易用性研究。

本研究以 Unity3D 建置腦波資料分析軟體，以及與其配對的連線資料庫開發和創建一個線上腦波資料平台故實作範圍為 Unity3D 腦波分析記錄軟體、MySQL 腦波資料庫、PHP 資料庫溝程式開發以及線上腦波資訊平台建造。

由於需透過腦波儀配合腦波分析軟體上傳腦波資訊於線上資料平台，故本研究必須在具備 MindWave 腦波儀且安裝腦波儀藍芽驅動並擁有上網功能的電腦研究環境下進行。



第二章 文獻探討

2.1 腦波文獻

本章節將透過文獻了解腦波的來源與本研究所使用腦波相關技術。

2.1.1 腦波(Brainwave)

朱迺欣[2]提到「很正確地記載人類腦部電氣活動的學者為德國 Jena 大學精神科教授柏爾格 (Berger, H, 1924) 博士。」

研究精神醫學的柏爾格博士，於 1924 年開始進行人類腦部電氣活動之研究。他將兩支白金針電極從頭部外傷者頭蓋骨破損位置插入到大腦皮質內，記錄了規律性的腦部電氣活動。其後，柏爾格博士透過記錄資料確認放置於頭皮上的電極亦可測得相同的電氣活動，使記錄腦部電氣活動方式變得簡單[2]。

柏爾格博士將正常人處於安靜閉目下於後頭部、頭頂所發生的 10c/sec、振幅約為 50 μ V 上下之規則性波動稱為「 α 波」，而安靜睜開雙眼注視某物時，發生的 18-20c/sec、20-30 μ V 波動稱為「 β 波」，並且將腦部電氣活動總稱為「腦波」、「腦電圖」(Electroencephalogram)，在 Arch. f. Psychiat 雜誌上以「關於人類腦波」(Über das Elektrenkephalogramm des Menschen) 之題目發表[2]。

爾後，社會科技的發達，人們可透過儀器測得的腦波頻率更加精準。國際腦波學會 (International Organization of Societies for Electrophysiological Technology) 針對不同震動的周波數區分為 α 、 β 、 δ 與 θ [3]，如表 1 所示。

表 1 腦波頻率與種類

(資料來源：國立臺灣大學物理系基礎物理實驗室，人體標準腦波圖 EEG[3])

腦波	頻率(次/每秒)	狀態
α 波	8 ~ 14 Hz	α 波為優勢腦波時，人的意識清醒但身體放鬆時，提供意識與潛意識的橋樑。
β 波	>14 Hz	β 波為優勢腦波時，清醒時大部分的腦波狀態，隨著該腦波增加會導致身體呈現緊張狀態。
δ 波	0.4 ~ 4 Hz	δ 波為優勢腦波時，人處於深度睡眠，無意識狀態，此狀態下不會做夢。
θ 波	4 ~ 8 Hz	θ 波為優勢腦波時，人的意識中斷，身體處於深沉放鬆，是一種高層次精神狀態，也是我們常聽見的「入定態」。

2.1.2 腦波儀-腦立方(MindWave)

本研究所使用的腦波儀為腦立方，腦立方為美國 NeuroSky 公司所開發的產品，英文名為 MindWave，腦立方是屬於非侵入性介面裝置。腦立方既不需固定頭部也不需再頭部貼上許多電極貼片。腦立方的使用方法十分簡單，配戴的方式類似頭戴式耳機，腦立方的驅動與軟體可安裝於 Mac OSX 及 Window。資料傳輸的方式利用藍芽，搭配指定的 USB 藍芽傳輸裝置與電腦溝通；使用方法為將腦立方配戴在頭上，前額感測器調整至與額頭直接接觸，前額感測器與皮膚間不可被髮絲擋住，接著將腦立方的耳夾夾至左耳耳垂上。當腦立方啟動後會透過接收前額感測器與耳夾感測器的訊號偵測腦波變化情況。



圖 3 腦波儀-腦立方(MindWave)

2.1.3 Attention 值與 Meditation 值

腦波原值被學者分為 α 、 β 、 δ 與 θ 等不同種類，雖然研究學者透過許多實驗與刺激去嘗試窺探在甚麼時候的哪種原值會進行如何的變化而有初步的見解，但腦波複雜的原值在現今對於一般人的可閱讀性依舊非常低落。

許多專家學者嘗試透過分析腦波將複雜的原值整理歸納，而目前較常被用於應用的便是美國神念科技 (NeuroSky) 所開發的 eSense™ 演算法。其演算法能擷取由腦立方所接受到的腦波原值進行分析計算，進而獲得 Attention 值與 Meditation 值。Attention 值與 Meditation 值分別代表著使用者兩個腦波的狀態。Attention 代表注意、專注，而 Attention 值代表著使用者目前的精神集中程度狀態，當使用者越專注的狀態下相對的 Attention 值也會越高；Meditation 於中文解釋為冥想、禪，而 Meditation 值代表著使用者目前心理的平靜程度，當使用者處於平靜狀態下其 Meditation 值越高[1]。

2.2 腦波應用

隨著腦機介面的技術進步使得腦波儀普及化，而腦波儀與腦機介面相關的應用開發研究也越來越多。本章節將透過文獻了解 Attention 值與 Meditation 值以及各種腦波的應用研究。

2.2.1 BrainMarket

蔡旻諤[4]於 2013 年 1 月開發了 BrainMarket，BrainMarket 是一款以 Unity3D 結合腦波儀開發的英文單字教學遊戲，此軟體[4]的開發目的為透過情境式學習的方式學習英文單字。在進行此軟體的同時配合 NeuroSky 所開發的腦波儀-腦立方監測使用者的腦波變化，並透過 eSense™演算法分析使用者的腦波值獲得使用者的 Attention 值腦波。

遊戲進行過程，腦波儀會不斷偵測使用者 Attention 值狀態。此遊戲將 Attention 值設計成遊戲通關的要素，如果使用者要達成目標遊戲通關，必須透過集中精神地觀看、背誦、閱讀遊戲內容單字卡增強並且維持住自身的 Attention 值達成遊戲目標進而通關遊戲。



圖 4 BrainMarket 遊戲畫面-介面與 Attention 值
(資料來源：蔡旻諤，應用腦波於遊戲式學習之設計與評估[4])

透過如此的遊戲方式讓使用者以集中注意力的狀態下背誦英文單字，提升使用者的學習成效。而在該研究[4]實驗的實驗組因為 **Attention** 值的條件限制讓使用者必須專注在遊戲上頭，但依靠固定閱讀時間當作準則的對照組出現了專注度下降、分心...等問題。最後的實驗分析結果證實了透過 **Attention** 值作為遊戲要素要求使用者專注背誦英文單字比一般閱讀單字更加有效。



圖 5 BrainMarket - 完成遊戲任務

(資料來源：蔡旻諺，應用腦波於遊戲式學習之設計與評估)

於 BrainMarket 中，將 **Attention** 值作為遊戲視學習使用者是否專注遊戲依據，進而探討透過將 **Attention** 值作為遊戲要素的遊戲式學習是否比起一般遊戲式學習方式更加有效果，而在其他研究中，也有許多針對 **Attention** 值或者 **Meditation** 值的腦波應用研究。

2.2.2 腦波互動行動裝置遊戲 - Brain Maze

不僅是應用在學習方面，Paul Coulton 三人於 2011 年發表了一份研究[5]，該研究設計了一個結合腦波儀與行動裝置的腦波互動遊戲 - Brain Maze[5]，並且透過此互動遊戲研究將腦波應用至遊戲中的可能性。Brain Maze 同時採用了 Attention 值與 Meditation 值作為遊戲要素，遊戲過程中玩家需要透過行動裝置的物理傳感器引導玩家的方向，玩家必須在一個多樣化的迷宮地圖中避開陷阱並且抵達終點。玩家可以在遊戲中透過控制自身 Attention 值或 Meditation 值穿過捷徑避開較遠或者複雜的路程並順利通往終點。而此研究中展示了玩家們願意並且積極地控制自身腦波獲得更佳的遊戲體驗。

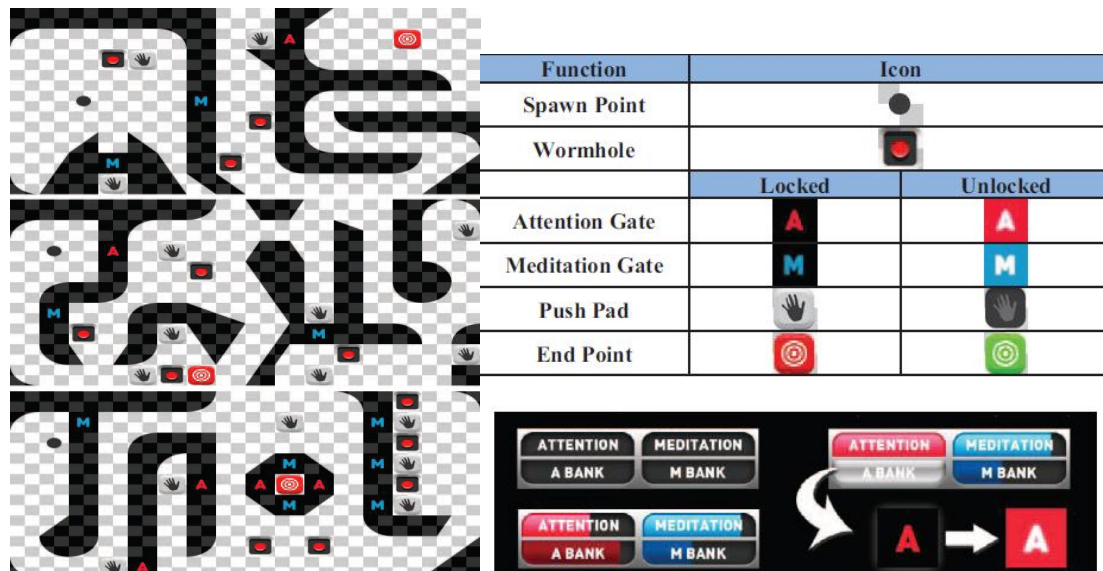


圖 6 Brain Maze 的關卡設計與按鈕設計

(資料來源：Paul Coulton, Carlos Garcia Wylie, Will Bamford.
Brain Interaction for Mobile Games[5])

2.2.3 運動員腦波應用研究

腦波除了應用於遊戲及學習之外，透過觀察腦波變化了解運動員的心理狀態對於運動員訓練也有所幫助的。KooHyoung Lee[6]在 2009 年發表了關於 Attention 值與 Meditation 值變化應用於運動員訓練中，該研究與射箭協會合作透過觀察記錄三種不同程度的弓箭手進行訓練時的腦波值變化，了解到不同水平的弓箭手於訓練時產生不同的腦波變化。

剛入門的新手於進行射箭訓練時無法輕易專注於眼前的事物進而命中目標，普通水準的弓箭手已經能夠專注於眼前的目標進而射中目標，但是因為有意識地迫使自己處於專注的狀態而導致代表放鬆的 Meditation 值低落，在職業選手水平的弓箭手能夠輕易地專注於目標卻依然處於十分平靜放鬆的心理狀態。

此研究[6]的結果表示透過腦波值的變化分辨弓箭手的心理水平是十分有用的，進行腦波測驗時也可以透過觀察了解弓箭手的心理狀態，依照其心理狀態提供有利的回饋與不同程度的訓練方式。

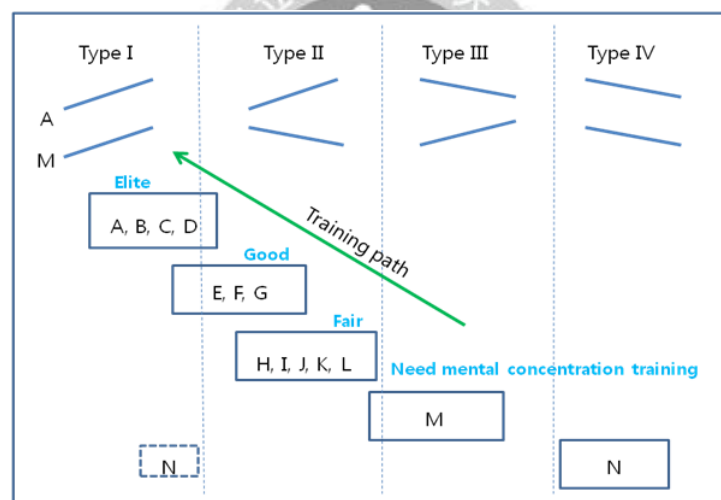


圖 7 不同類型弓箭手腦波圖變化

(資料來源：KooHyoung Lee.

Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using
Brain Wave Signal Analysis Algorithms[6])

2.2.4 以腦波特徵為基礎之專注力診斷與訓練系統

了解自身的腦波對於一般來說是有意義的，孫光天[7]等學者研究人們在不同種類的音樂環境下會產生的不同腦波變化，進而發現到聆聽柔美的音樂能幫助人們進入平靜放鬆的狀態，於此同時，受測者的 α 波也會隨之增強。其他研究中也發現坊間的音樂療法所用的輕音樂擁有能夠讓人覺醒與冥想的效果，使得受測者的 β 波明顯增強。詹小丘學者[8]發現透過音樂療法能夠使 α 波增強進而改善注意力不集中的狀態。上述研究顯示了解自身的腦波變化，能夠幫助自己更加專注或者是更加放鬆自身的環境與辦法。

以腦波特徵為基礎之專注力診斷與訓練系統[9]的研究中，該研究員以腦波的特徵作為資料分析的基礎，藉由過去研究[10]中指出人對於音樂的喜好會影響 α 波強度此要素，開發了專注力診斷與訓練系統，此系統[9]透過 eSense™ 演算法檢測受測者的 Attention 值與 Meditation 值進行資料分析，根據受測者不同的腦波狀態篩選音樂，最後完成一份個人的專屬歌曲播放清單，圖 8 為該研究的系統流程圖，該研究的實驗結果中表示受測者的滿意度與專注力都有明顯的成效。

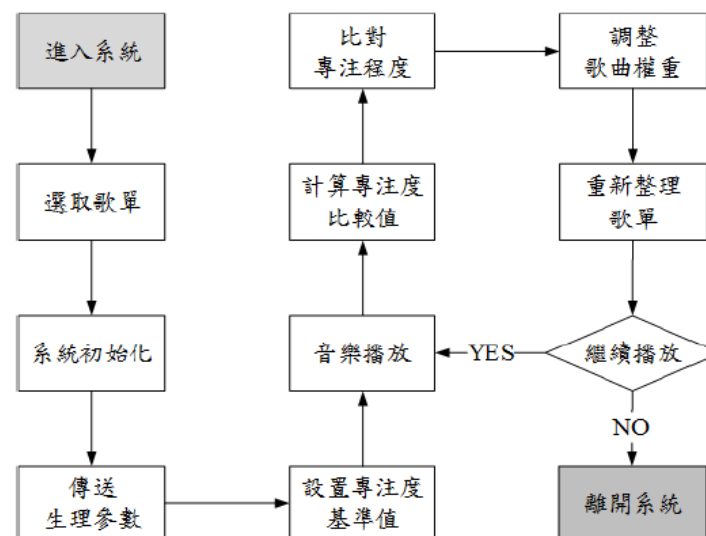


圖 8 以腦波特徵為基礎之專注力診斷與訓練系統流程圖

(圖片來源：姜琇森、蕭國倫、吳哲維，
以腦波特徵為基礎之專注力診斷與訓練系統[9])

2.2.5 其他種類的腦波應用

腦波值十分的複雜，不同的波形所對應人的生理狀況都不同，除了透過 eSense™演算法所檢測出來的 Attention 值與 Meditation 值進行腦波應用研究以外，仍有不少腦波應用透過腦波原值或者其他演算法進行應用開發。本小節將挑選數個雖然不是應用 eSense™演算法且有趣的腦波應用進行探討。

Know Yourself [11]是一個運用腦波原值的腦波應用，它以透過 THETA、ALPHA、BETA、GAMMA 四種腦波原值在對應的情緒出現時會升高為依據，搭配人臉辨識與邊緣偵測技術繪製專屬於個人的腦波自畫像，搭配外接列印機能夠將當時的情緒自畫像列印出來。該研究期望透過此應用反饋給現今韓國忙碌奔波於生活中的人群一個自我管理的辦法。

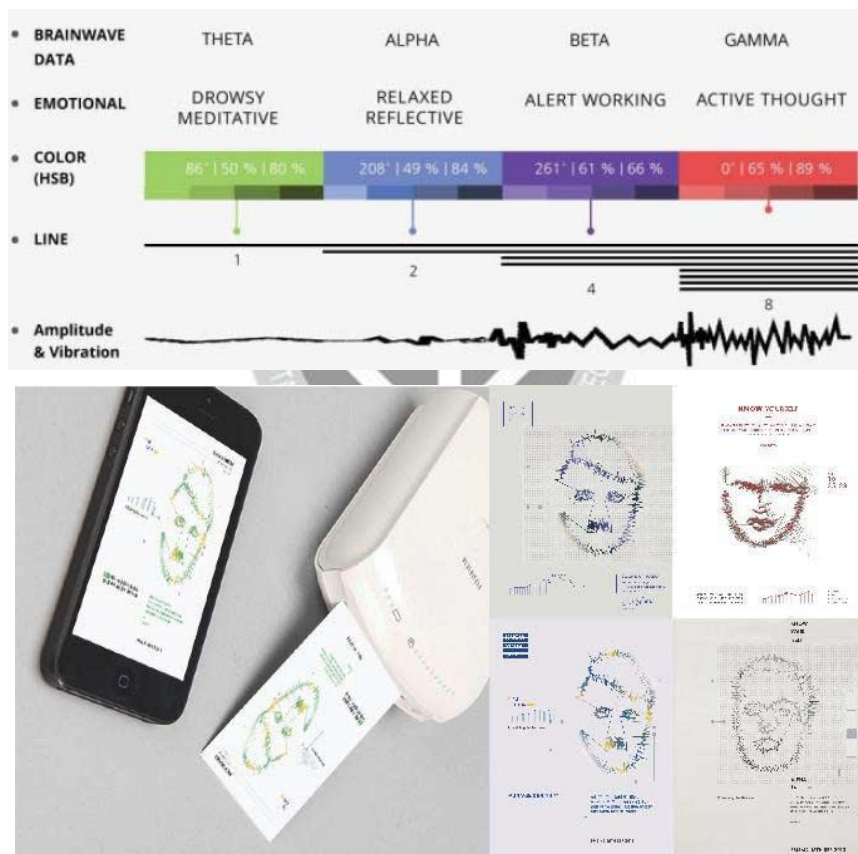


圖 9 Know Yourself:應用的腦波依據跟打印機與自畫像成品

(來源：Hyo-jin Kim, Su-yeon Kim.

Know Yourself: Self-portrait with Emotion Expressed in the EEG Data[11])

也有研究[12]將腦波應用於軟體工程師的職業上，該研究透過監控軟體工程師的腦波值並以腦波變化分析軟體工程師的情緒狀態，同時利用了生理監控腕帶結合了腦波儀進行生理資訊情緒分析。創建了一個擁有 73%正負情緒辨識度、67.70%正負向工作進度辨識度的系統[12]，並期望透過將此系統應用至軟體程式開發人員上，當其感到愉悅且順利時給予鼓勵，當其感到挫折且不順利時給予幫助或休息等建議，並以此系統提高工作者的工作效率。

在以視覺回饋指引使用者調適心情的一個腦波應用研究[13]中，曾透過腦波儀將腦波進行情緒分析並且以此為依據，該研究其後透過實作發光手環連結該應用程式進而監控，當發現受測者過於興奮或者無聊時便會透過發光手環給與其視覺上的回饋，並希望藉此引導使用者能夠擁有更好的自我管理。

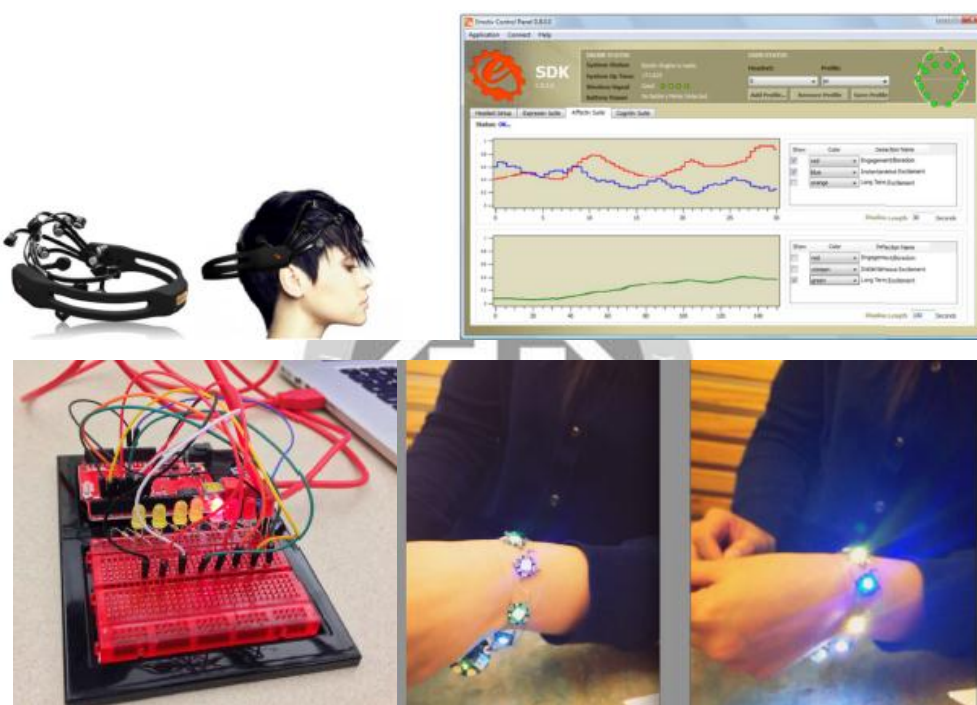


圖 10 視覺回饋使用者自我調適系統與硬體

(資料來源：Yu Hao, James Budd, Melody Moore Jackson, Mukul Sati, Sandeep Soni.

A Visual Feedback Design based on a Brain-Computer Interface to Assist Users
Regulate their Emotional State[13])

2.2.6 腦波應用小結

腦波資料本身具備著許多的資訊，當應用專注值於教學遊戲中能夠得到學習成效的提升，若能增加資料庫功能更能讓使用者能夠調閱自己的腦波狀態記錄了解自己的腦波表現與調整狀態；即使是運動員受訓時也能透過腦波應用系統了解自身在受訓時的生理狀態，進而調整或者改變訓練要素讓自身處於更加完善的規劃下。也有幾篇文獻是以腦波的特色進行應用開發，進而產出一個能夠讓使用者了解自身情況給予使用者自我調適的設計。也可以從這些文獻中看見了解自身的腦波狀態確實是有益於調整自身，不同的腦波情況對應不同的環境要素，進而提供自己一個更加適合自己的環境與狀態。

為此，本研究將透過 **Unity** 開發與腦波分析軟體並建置腦波資料庫與線上腦波資訊平台，希望藉由此系統提供一般使用者更加完善的腦波體驗環境，以及一個易於了解自己並調整自我的工具。



第三章 研究方法

3.1 研究架構

以腦波資料庫與腦波平台作為研究工具，先經由文獻探討研究文獻以了解腦波科技的應用、製作資料庫規則與腦波平台開發的技術，使用 Unity3D 與 MySQL 及 PHP 實作腦波資料庫、腦波分析軟體和線上腦波平台(以下圖片中簡稱腦波平台與分析軟體)。

系統實作分成腦波平台與腦波資料庫及腦波分析軟體，腦波分析軟體與腦波資料庫分別是由 MySQL 資料庫與 Unity3D 進行開發，以 PHP 作為中介橋樑。在腦波分析軟體完成後著手開發線上腦波平台，腦波平台將以網站方式開發並以 PHP 作為與 MySQL 溝通橋梁。系統測試與修改完成後，進行實驗，並分析實驗資料，最後撰寫實驗結果與結論，完整架構如下圖 11。

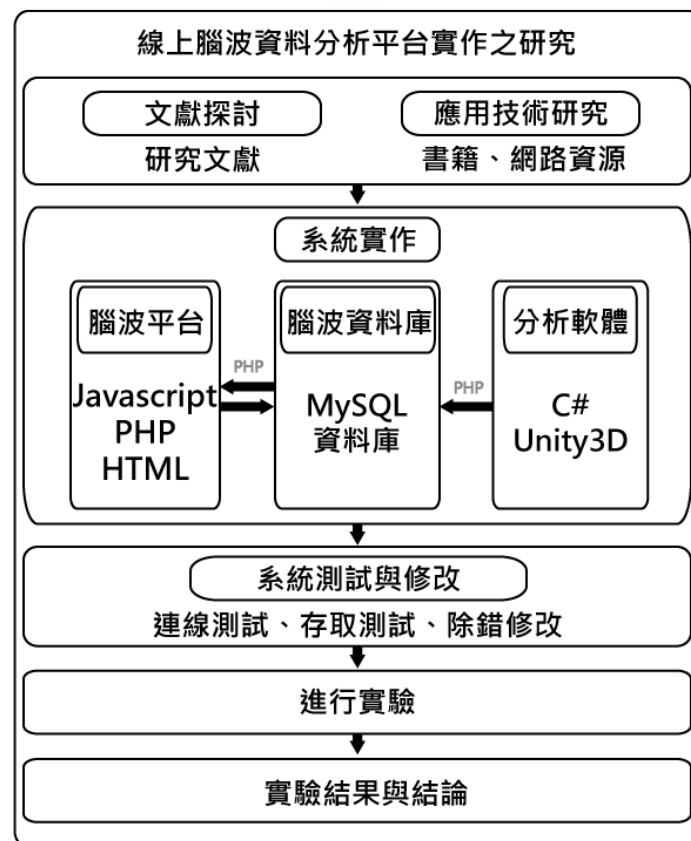


圖 11 研究架構圖

3.2 研究系統設計

本章節將介紹本研究所開發的線上腦波資料分析系統的設計內容，將分成 5 個部分在本章節敘述，5 個部分的内容分別為線上腦波資料分析系統功能設計、系統架構、程式設計、資料庫設計、線上腦波資料分析平台系統介面與操作。

3.2.1 線上腦波資料分析平台系統功能設計

本研究為了開發一個無腦波科技相關資訊背景的一般使用者皆能輕易使用的線上腦波資料分析平台系統，將此系統主要區分為兩部分進行開發，分別是腦波分析軟體與線上腦波資訊平台。

腦波分析軟體的功能為讓使用者能夠輸入自身的使用者資料與從腦波儀截錄分析的腦波資料並將資料上傳至線上腦波資料庫中進行資料的保存，使腦波資料除了保存完整之外也讓腦波資料容易進行分析與利用。

線上腦波資訊平台的功能為能夠讓使用者透過輸入自身的使用者資料尋找自己所儲存的腦波儀數據，加上配合 javascript API – Highstock 資訊視覺化的繪圖功能，線上腦波資訊平台會將使用者所選擇的腦波測驗資料進行資訊視覺化處理繪製出完整的腦波資訊變化圖，就算是長時間的大量腦波資料所繪製成的腦波資訊變化圖也能搭配著 Highstock 的內建資料縮放功能進行細部資料閱讀觀看，同時 Highstock 也搭載了圖片存檔功能能夠把現在使用者所觀看的資料給複製截圖並儲存於使用者電腦之中，也希望藉此系統讓一般使用者都能夠閱讀與使用個人的腦波資料。

3.2.2 系統架構

腦波遊戲數據資料庫與腦波平台之實作架構圖如下圖 12，系統主要由分析軟體、腦波資料庫與腦波平台三者為核心，由使用者配戴腦波儀進行分析軟體，再由分析軟體將資料上傳至於伺服器上的 PHP，由該 PHP 程式進行資料處理再儲存至 MySQL 腦波資料庫中，當使用者欲查詢資料時透過腦波平台向伺服器的 PHP 程式索取資料，由 PHP 進行 MySQL 腦波資料庫查詢後將資料回傳給腦波平台，由腦波平台將資料呈現給使用者，詳細的內容架構將於下段分為腦波分析軟體與腦波平台兩系統架構進行敘述。

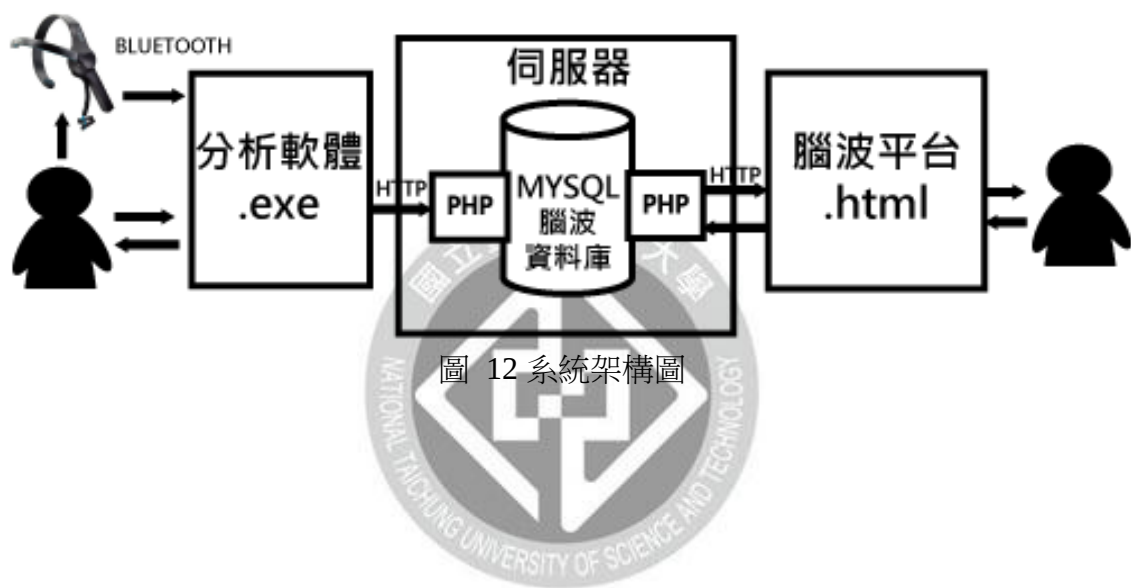


圖 12 系統架構圖

線上腦波資料分析平台系統主要分成 2 系統架構，分別是腦波分析軟與線上腦波資訊平台，腦波分析軟體的系統架構圖如圖 13 所示。腦波分析軟體是由使用者配戴腦波儀，從腦波儀透過藍芽裝置傳送使用者的腦波訊息至 Unity3D 所開發的腦波分析軟體，腦波分析軟體內有兩主要程式，ThinkGear API 為神念科技所開發的腦波儀模組，由 ThinkGear API 作為與腦波儀溝通接收腦波資訊的橋樑，使用者需輸入使用者資料至腦波分析軟體內中負責存放將要上傳給伺服器的 WWWForm 表單中，WWWForm 表單接受了使用者所輸入的使用者資料與來自腦波儀的腦波資料後上傳至伺服器端的資料處理 PHP 程式，伺服器端的資料處理 PHP 將 WWWForm 表單中的資料歸納分類後把取得的資料儲存到伺服器 MySQL 腦波資料庫當中各自對應的儲存格，即完成腦波資訊平台所需的資料儲存。

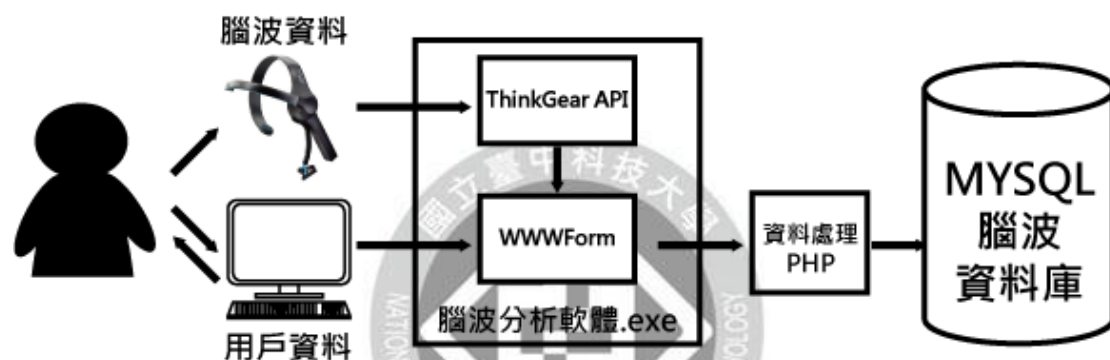


圖 13 腦波分析軟體系統架構圖

線上腦波資訊平台系統以網頁方式開發呈現，以 HTML 為本體配合 PHP 與 Javascript 進行開發，該系統架構圖如下圖 14。首先使用者輸入使用者資料至網頁的 input text，以 Ajax 的方式由資料處理用的 javascript 擷取使用者資料將該筆資料上傳至伺服器端的資料處理 PHP 中，由該 PHP 程式進行 MySQL 腦波資料庫查詢，將取得的使用者測驗資料回傳給平台的資料處理 javascript，資料處理 javascript 取得使用者的測驗資料把資料植入平台的 options 表格中，完成了第一階段的資料交換。當使用者選取欲查詢的該筆測驗資料名稱後按下確認，按下確認後呼叫 Highstock API 的 javascript，該 Highstock API 的 javascript 向伺服器的資料處理 PHP 傳遞使用者與測驗資料，由該 PHP 進行 MySQL 腦波資料庫查詢。資料處理 PHP 取得使用者的腦波數據後將腦波數據回傳給 Highstock API 的 javascript，透過 Highstock API 的繪圖函式將腦波資料繪製成腦波資訊圖之後顯示於平台網頁上，即完成了第二階段的資料交換。

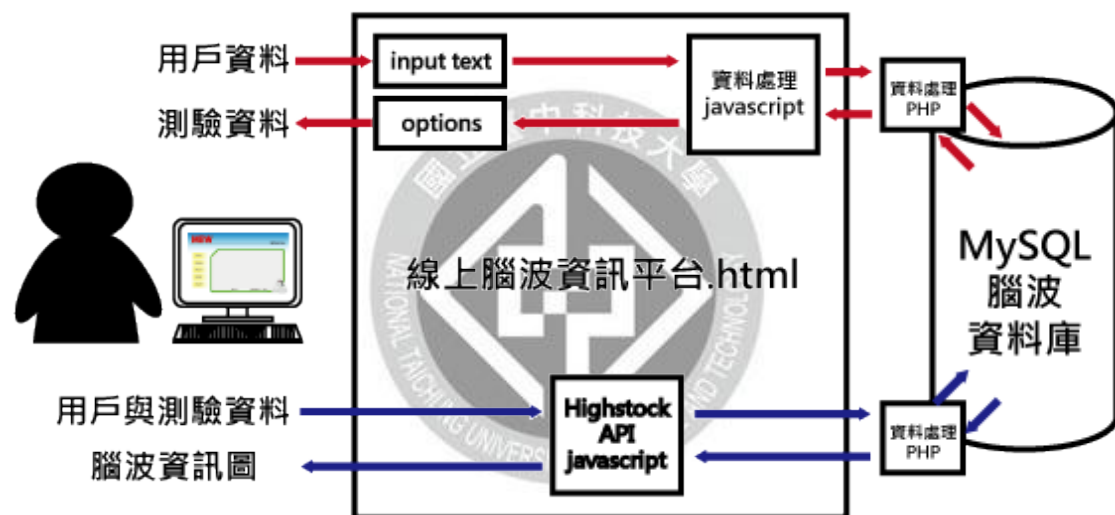


圖 14 線上腦波資訊平台系統架構圖

3.2.3 系統實作

腦波分析軟體

腦波分析軟體主要功能為連線腦波儀、擷取腦波儀傳遞資料、填入使用者資料、上傳資料。連線腦波儀需透過藍芽裝置與美國神念科技的 API – ThinkGear，設定腦波儀的對應 Port 進行連接，並以 ThinkGear 內建的函式 GetDataValue 將指定的腦波參數(Attention、Meditation)呼叫，接著透過 Unity3D 函式所建立的 WWWForm 表單把使用者輸入的使用者名稱與測驗名稱和腦波資料用 form.AddField 函式新增資料到表單中。以 WWW(strurl,form)函式再將儲存資料的 WWWForm 表單上傳至伺服器端用來溝通 MySQL 腦波資料庫的 PHP 程式，透過 PHP 程式將使用者名稱與腦波名稱...等資料數據分別放入相對應的儲存格中。

執行腦波分析軟體後，會出現如圖 15 的腦波分析軟體介面。左上方空格為輸入對應腦波儀的 Port 所使用，右上 connect 按鈕是輸入完 Port 後執行連接腦波儀程式的按鈕，其下方是用來輸入要儲存的使用者與測驗名稱，右下方按鈕分別是開始記錄並上傳資料的按鈕以及停止動作的按鈕。

腦波分析軟體的操作流程為：配戴腦波儀>>輸入對應 Port>>按下 connect 按鈕>>等待出現連結成功提示按下確認>>輸入使用者名稱>>輸入測驗名稱>>按下開始記錄按鈕>>按下結束記錄按鈕>>完成操作。

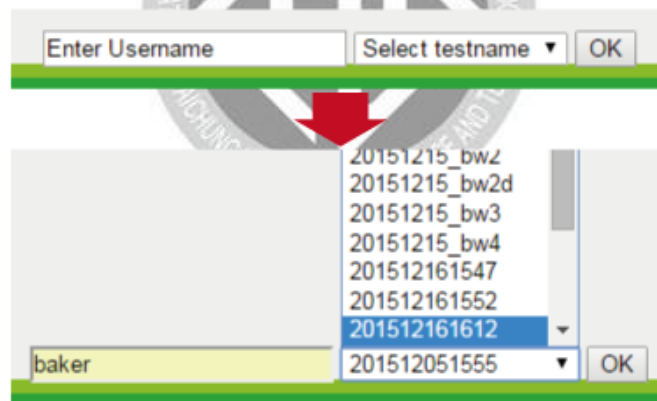


圖 15 腦波分析軟體輸入示意圖

線上腦波平台

腦波平台端以網頁方式開發呈現，基本架構為 HTML，由資料處理用 Javascript 以 `document.getElementById("").value` 擷取使用者於平台的 input text 所輸入的使用者名稱並將使用者名稱以 GET 方式放置於網址中進行資料傳送，資料傳遞給伺服器端用來與 MySQL 腦波資料庫溝通的資料處理用 PHP 程式，經由該 PHP 程式與 MySQL 腦波資料庫索取對應的使用者名稱所持有的腦波測驗名稱資料並將重複的資料刪除後回傳給資料處理用 Javascript，資料處理用 Javascript 將測驗名稱的資料以 `document.getElementById("").options.add()` 方式新增至 HTML 平台的 options 表格當中。當使用者點選 options 表格並且選取了欲查詢的測驗資料名稱之後按下確認，平台的 HTML 便會呼叫繪圖 Javascript API-Highstock，Highstock 以 `$.getJSON` 函式從伺服器端的資料處理 PHP 中取得與 MySQL 腦波資料庫中所對應的使用者名稱所持有的該筆測驗名稱的腦波資料後進行繪製，並將腦波資訊圖顯示在線上腦波資訊平台的網頁上。

圖 16 為腦波平台輸入示意圖，左側的空格為輸入使用者名稱用途，右側的按鈕點選後會出現使用者目前擁有的腦波資料，資料名稱是在腦波分析軟體進行腦波記錄時所輸入的測驗名稱。完成使用者與測驗資料輸入後按下"OK"，腦波平台將取得從 MySQL 獲得的資料透過 Highstock 進行繪製，最後顯示於網頁上。



Input Field	Value
Enter Username	baker
Select testname	20151215_bw2 20151215_bw2d 20151215_bw3 20151215_bw4 201512161547 201512161552 201512161612 201512051555

圖 16 腦波平台輸入示意圖

Javascript API – Highstock

本研究透過使用 javascript 所寫成的繪圖 API – Highstock 進行資料視覺化處理的功能開發，Highstock 是一個由 javascript 所開發的繪圖函式庫，Highstock 擁有將數據與時間比對繪製成有時間軸的圖形呈現，在繪製圖片的種類上從折線圖到直方圖、圓餅圖...等，算是一個功能性強的繪圖函式庫。

本研究在進行系統開發時，將腦波資訊平台的網站內容 Div 框架設置了 ID 名稱讓 Highstock 能夠依照物件的 ID 辨識目標物件。Highstock 在進行資訊圖表繪製時主要需要兩種資料內容分別是時間戳與數值，在時間戳的部分 Highstock 採用了總毫秒數的時間戳當參考對象並且藉此換算成該數值資料的產生時間點的年份、月份、日期與詳細時間至毫秒，為此在腦波分析軟體的部分在截錄上傳腦波資料與使用者資料的同時也在上傳著當下時間換算成的總毫秒數。

Highstock 內的繪圖的資料存取可分作兩種方式分別是動態資料與靜態資料，靜態資料的輸入方式是於 Highstock 程式碼的 series:後頭輸入使用者所需要的數值繪製圖片，Highstock 接收動態資料的方式採用\$.getJSON 函式從目標網址調閱資料進行處理。不論透過何種方式 Highstock 所調閱的資料所呈現的資料格式都必須如下列所示：

([[時間,數值], [時間,數值], [時間,數值], ..., [時間,數值]]);

Highstock 所讀取的資料擺放方式與呈現格式如上所示，其中格式部分包含了最外側的小括弧、中括弧與內側的資料排序。在時間部分的資料不僅是總毫秒數規則外，整份資料的時間順序必須合乎時間流動的規則，如果誤植了違反時間流動規則的資料有可能產生資訊圖表繪製上的邏輯錯誤，時間的邏輯錯誤可能會導致產生錯誤圖片甚至 Highstock 的函式庫無法正常運作。

下列為擁有三組資料並且正常運作的範例樣式：

([[1444743117000,70],[1444743119000,77],[1444743121000,70]]);

上述僅示範三組資料的範例，若需添加更多組數只需要按照相同邏輯添加即可，每組資料的時間部分為總毫秒，在每組資料數值的部分至少可以到小數點第二位且不限數值的大小。

若 Highstock 的目標網址提供了兩份完整的資料，可以透過將兩份資料置入一個矩陣當中，並將該矩陣設置為提供給 Highstock 讀取的資料，即可產生多重圖表，如下圖 17。

下列為兩份都持有三組資料的完整資料所繪製出的折線圖與其資料。

([[1444743117000,70],[1444743119000,77],[1444743121000,70]]);
([[1444743117000,43],[1444743119000,37],[1444743121000,30]]);

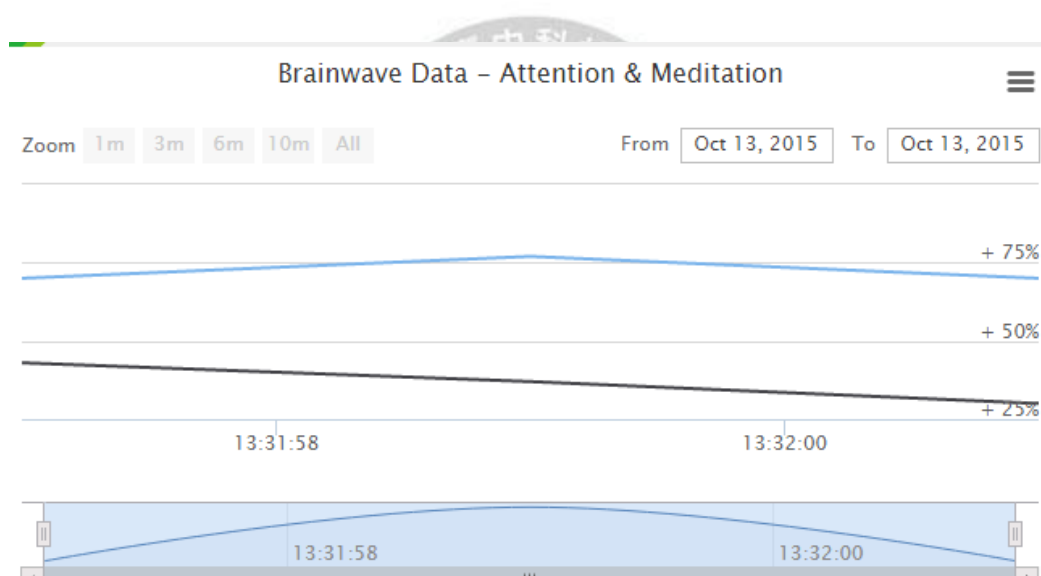


圖 17 兩份各自持有三組資料的完整資料範例圖

3.2.4 資料庫設計

本系統資料庫實作，主要存放內容為使用者名稱與測驗資料及腦波資料，使用者名稱與測驗資料存放目的在於供使用者調閱查詢個人腦波資料時比對的資訊，此資料庫需要供腦波分析軟體上傳使用者資料和腦波資料以及讓腦波平台進行資料查詢提取的功能。

腦波資料庫需記錄使用者進行腦波測驗時的腦波數據，腦波數據屬於一種需要持續性記錄才會具有研究意義的數據，但是記錄的大量腦波數據若全數不加以處理便置入表單又會使得數據混亂，所以使用者每次測驗時腦波的變化過程都須記錄加以區分保存，使儲存的腦波資料能分析判讀。因此腦波資料庫不只需要進行使用者與腦波資料的記錄，還需要記錄下來於哪時候或哪次對甚麼做的連續性腦波記錄(例如：馬克於 1 月 20 日對蘋果的完整專注度腦波過程)，為此設計了一個測驗名稱的欄位儲存資料以利使用者辨識，完整資料庫 ER 圖如圖 18。

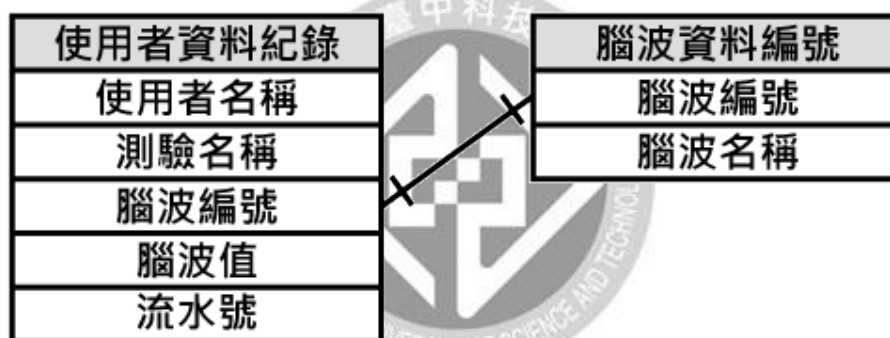


圖 18 資料庫 ER 圖

本系統將資料分為使用者資料記錄與腦波資料編號兩個資料表，中間以腦波編號進行關聯性連結。使用者資料記錄資料表中的使用者名稱與測驗名稱都是用來儲存使用者開始記錄腦波前，於腦波分析軟體填寫的使用者資料，串聯兩個資料表的腦波編號用於簡化腦波分析軟體所需要傳輸的資訊量並且用於區分該儲存的腦波值是 Attention 值或者 Meditation 值，而腦波儀所發送的腦波值統一儲存在一個儲存格中並且依靠腦波資料編號資料表中的腦波編號區分腦波值的種類，流水號是辨識整筆測驗的腦波值的排列順序，而腦波名稱用以與腦波編號配對區分腦波的種類所使用。由於 javascript 的繪圖 API – Highstock 需要透過總秒數的時間戳與數值資料進行配對繪圖，因此本研究將腦波資料庫中使用者資料記錄資料表的流水號與 Highstock 所需的總秒數時間戳結合。

3.2.5 線上腦波資訊平台系統介面與操作

當使用者結束腦波分析軟體之後，透過網頁瀏覽器連結至線上腦波資訊平台並且已經讀取了資料時，網頁會出現如下頁圖 19 的線上腦波資訊平台網站。從圖中可以看見完整的線上腦波資訊平台，該平台主要有四功能區：

1. 線上腦波資訊平台 LOGO 與回首頁按鈕：

MBW 系統名稱為 MyBrainWave 的縮寫，點選可回到腦波分析頁面。

2. 其它頁面連結：

- i. About 描述 MBW 的由來與簡述本研究的摘要。
- ii. Author 呈現 MBW 的作者資料名單。
- iii. Report 為 MBW 的本研究論文頁。
- iv. Detect 為放置腦波分析軟體下載的頁面。
- v. Result 是腦波分析頁面，也是點選 MBW 後會跳回的首頁。

3. 使用者資訊輸入功能區：

填入要進行分析的腦波測驗使用者名稱與測驗資料用途，於下段詳述。

4. 此區是腦波資訊變化圖繪製處，顯示腦波值變化圖。

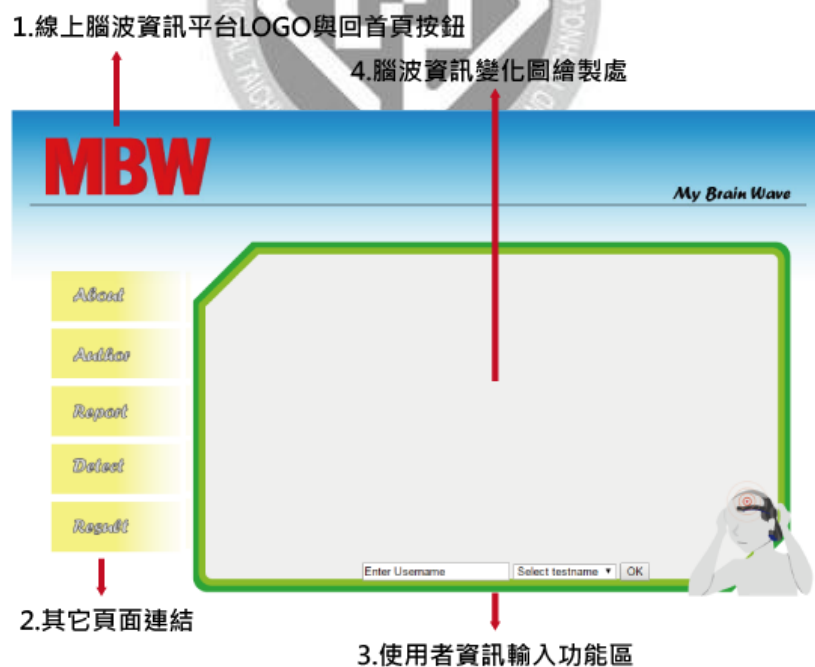


圖 19 線上腦波資訊平台網站

由於線上腦波資訊平台的腦波分析頁面為主要運作部份，將在此段進行詳細的腦波分析功能頁的介面與操作介紹，腦波分析資訊功能頁如圖 20 所示：

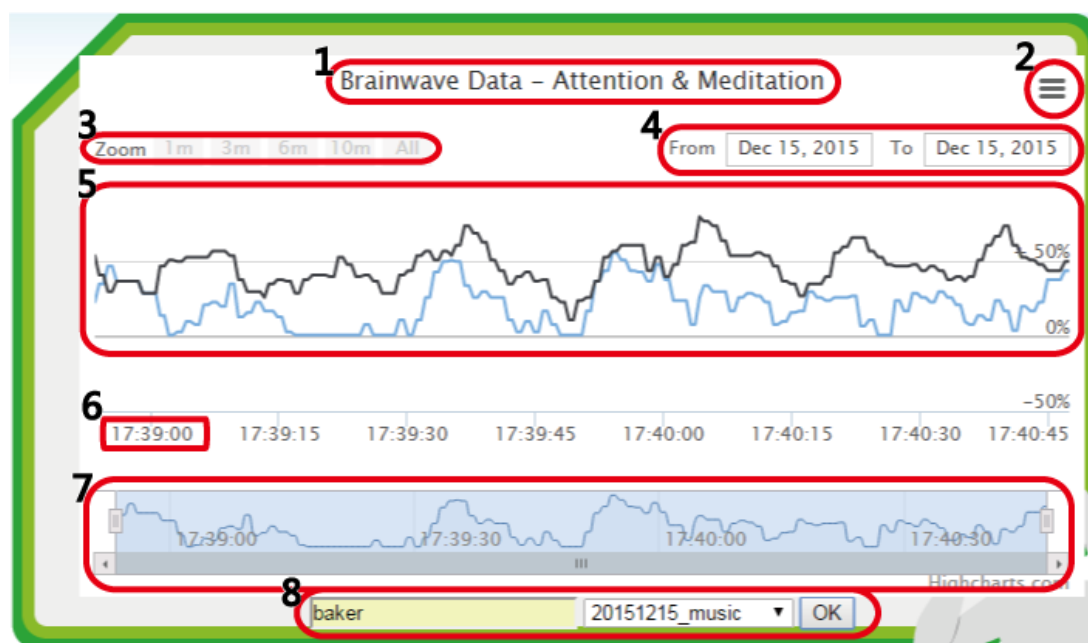


圖 20 腦波分析資訊功能頁介面圖

以下為腦波分析功能頁 8 功能區域的簡述，並於後續做詳述：

1. 腦波資料標題：線上腦波資訊平台的腦波資料標題。
2. 下載功能按鈕：可儲存下載目前的腦波資訊變化圖圖檔。
3. 資料範圍選取按鈕：選取觀看資料範圍的按鈕。
4. 資料時間功能區：顯示該筆資料時間。
5. 腦波資訊變化圖：擷取的腦波資料進行資訊視覺化後的腦波變化折線圖。
6. 時間軸詳細資料：顯示時間軸上對應的刻度，最小可至毫秒。
7. 選取範圍功能圖：顯示目前選取範圍及供使用者選取範圍所使用。
8. 使用者資訊輸入功能區：擁有三個功能格分別為使用者名稱文字空格、測驗名稱 option 方格、確認的執行按鈕。

腦波資料標題為本系統所設計用以讓受測者清楚平台功能與腦波種類。下載功能按鈕是用來讓使用者下載儲存目前腦波資訊變化圖圖檔之功能鈕。

資料範圍選取按鈕是簡易選取觀看時間範圍的按鈕，分別有五種時間長度之選擇，(1 分鐘、3 分鐘、6 分鐘、10 分鐘、全部範圍)，可用於快速選取觀察時間範圍用途。

資料時間功能區用來顯示目前腦波資訊變化圖的時間範圍，單位以日做計算，可在長時間資料蒐集比對所使用，使用者也可以直接鍵入日期做定位搜尋。

腦波資訊變化圖為 Highstock 存取腦波資料庫所繪製的腦波變化折線圖，滑鼠移置線上可看見該時間點的腦波數據完整資料與數值，如圖 21。

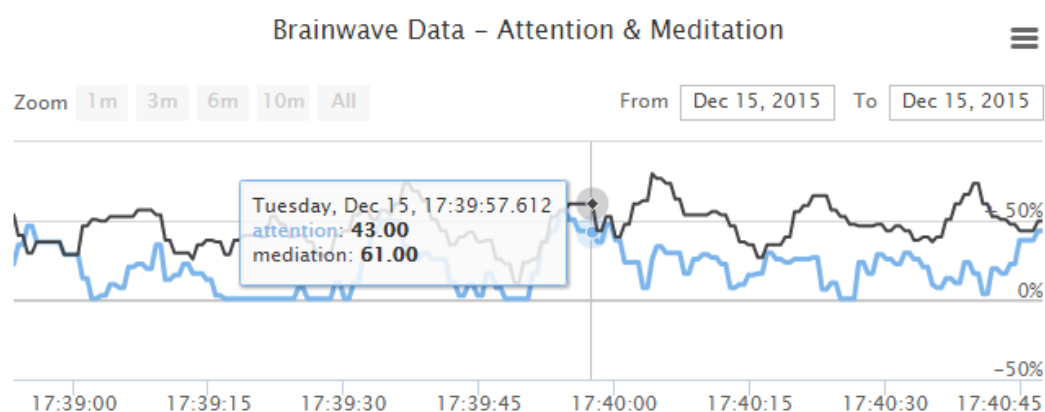


圖 21 腦波資訊圖資料顯示

兩條線分別為本次研究所應用的 eSense™演算法計算的腦波數據，藍線表現代表專注力的 **Attention** 值的變化，黑線是表現放鬆的 **Meditation** 值。

時間軸詳細資料是對應腦波資料的時間軸向細資料，可供使用者了解目前觀看的腦波值變化出現的時間點，圖 21 的時間軸詳細資料代表此筆腦波資料是記錄於 17 點 39 分 00 秒至 17 點 40 分 45 秒的時間段，當使用者縮小觀看範圍時最細的詳細時間軸可至 0.5 秒。

選取範圍功能圖是目前觀看資料選取範圍的表示圖，使用者可以透過拖拉左右兩側的按鈕進行觀看資料段調整，可以從圖 22 的使用者資訊輸入功能區的資料看出都是同一筆腦波資料，但在選取全部範圍時與不同部分範圍時就會出現差異，上方為全部範圍的完整資料，下方左右兩側分別是前半段的資料與中後段小範圍的資料，就能了解到顯示資訊的差異，因此本系統可以透過這個範圍縮放的功能觀察長時間記錄的龐大腦波測驗資料中細部的資訊，藉此避免因為數據過龐大而無法看見細部數據的可能性。

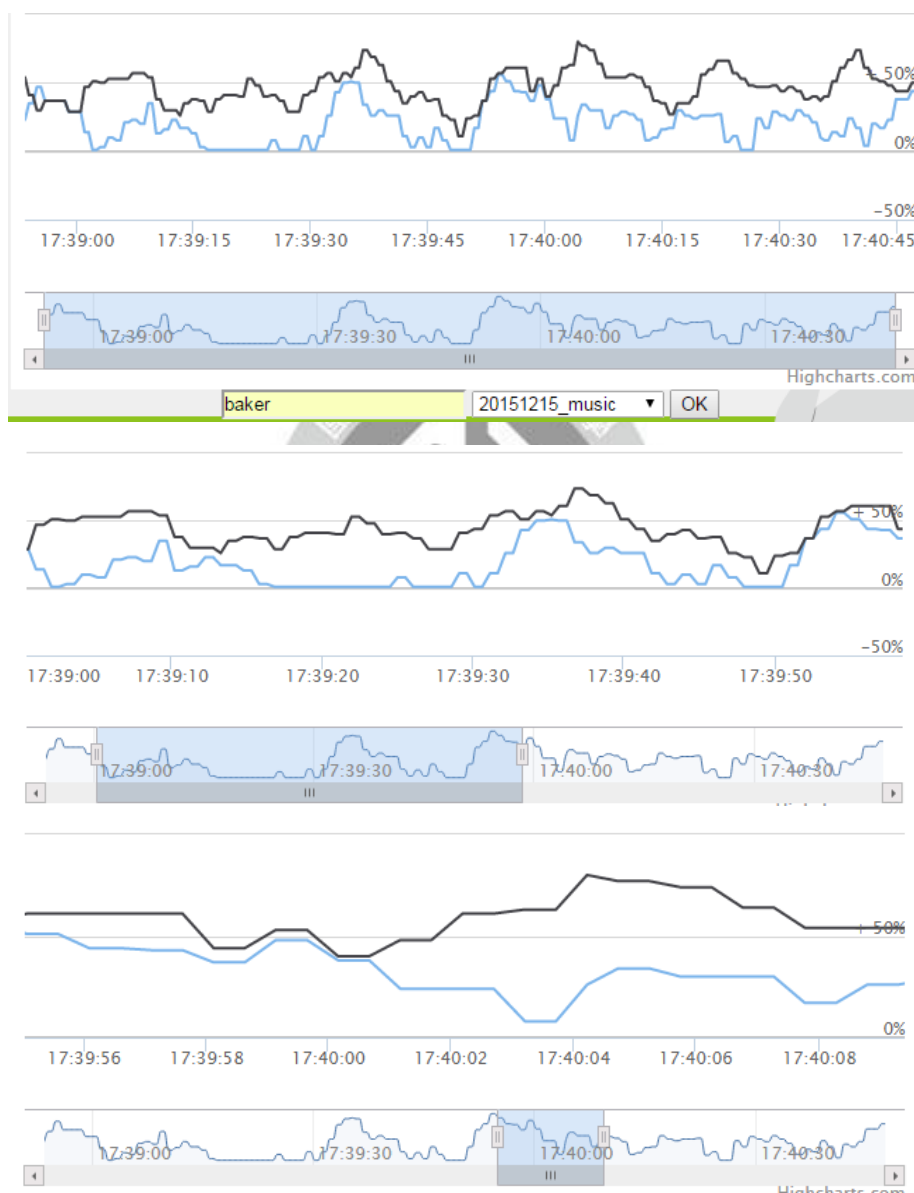


圖 22 腦波資訊變化圖選取範圍差異

使用者資訊輸入功能區內有兩個功能格與一個執行按鈕，是為了輸入搜尋資料與顯示功能所設計的區塊，左側為輸入使用者名稱的文字空格，使用者名稱輸入後點選右邊測驗名稱的 option 方格出現該使用者目前持有的所有測驗名稱資料，當選定測驗名稱資料後點選最右側確認的執行按鈕執行腦波繪圖程式，將索取到的腦波資料全數繪製於腦波資訊變化圖繪製處，流程如圖 23。

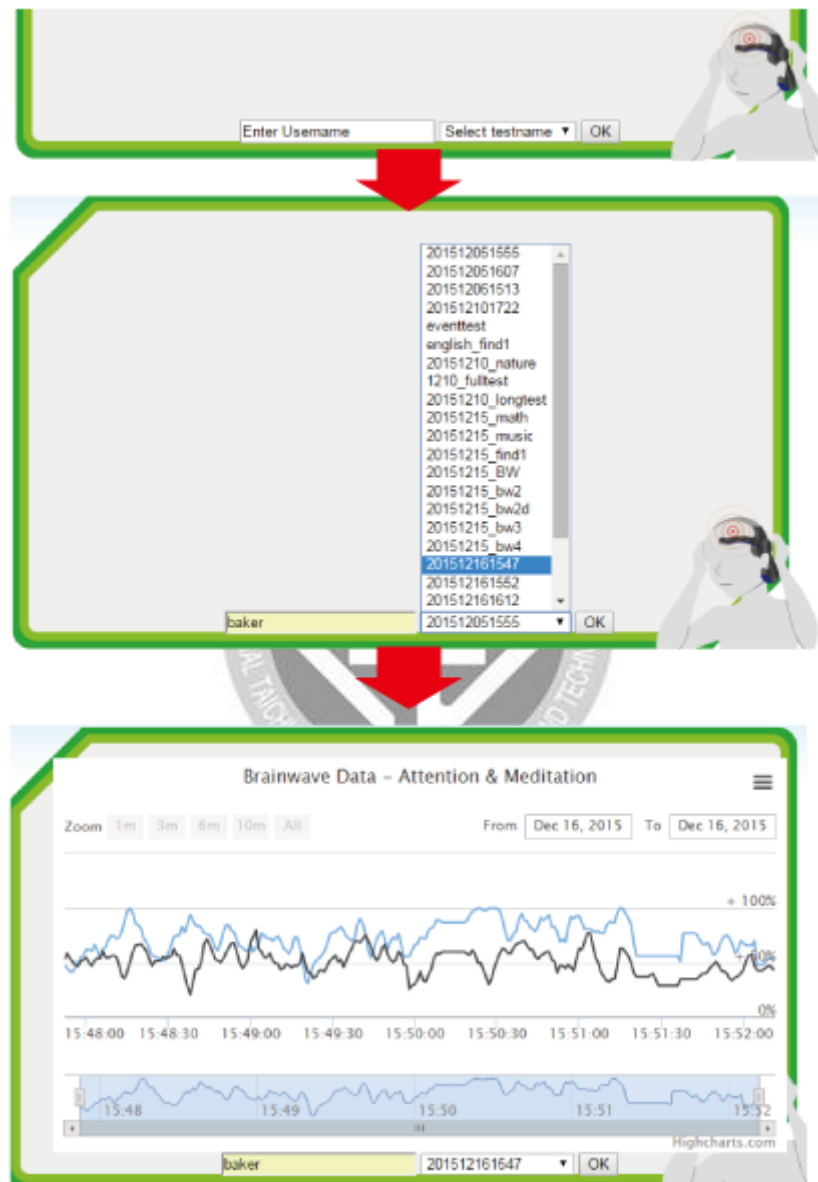


圖 23 使用者資訊輸入功能區流程截圖

3.3 實驗設計

本研究為探討腦波資料庫與平台於一般使用者之實用性，本研究以 Unity3D 開發傳輸與記錄用的腦波分析軟體與線上腦波資訊平台。本研究將進行系統負載實驗以及系統易用性測驗實驗，實驗方法將於下列敘述。

3.3.1 系統負載測試

本研究透過一名受測者配戴腦波儀，進行不間斷的連續腦波資訊記錄確認本系統是否能於長時間執行下仍然正常運作，過程中受測者配戴腦波儀並與藍芽接收裝置保持在可通訊的範圍內以進行系統長時間運作。由於藍芽連線距離有限讓受測者必須在測驗時都待在藍芽範圍內，考慮到一般人的活動時間大多 1 至 2 個小時，故本實驗以實機測試 2 兩個小時為上限。最後的系統測試結果為順利無異常，至少能夠不間斷連續執行系統 2 個小時。



3.3.2 系統易用性測驗實驗

本研究主要鎖定的系統使用目標族群為能充分使用電子數位科技的一般對象，因此選擇了出生於網路世代長大的 20~30 歲年齡段的受測者，本研究尋找了 21 位歲未接觸過腦波技術的受測者（總共 10 名男性、11 名女性），為實驗對象。為了讓受測者使用本系統時有個任務目標，本研究規劃了兩個任務：

專注任務：

針對 **Attention** 值規劃的任務，當受測者專心注視著於一事物時，**Attention** 值會上升。任務進行時，研究員會要求受測者在 1 分鐘內從一張充滿數字 9 的紙張上找到唯一藏於其中的數字 8，當時間剩下 30 秒與 10 秒時會進行提醒，當時間到即任務結束。此任務目的為記錄受測者進行尋找、注視時的 **Attention** 值變化，而提醒時間是為了讓受測者因為壓力而更加專心於任務上，**Attention** 值預期會呈現高專注狀態並且因為時間壓力更加提高。

放鬆任務：

針對 **Meditation** 規劃的任務，因為當受測者閉上雙眼放鬆，會使 **Meditation** 值上升。於任務進行時研究員會要求受測者閉上雙眼放鬆 1 分鐘。此任務目的為記錄受測者在閉眼放鬆時的 **Meditation** 值的變化，**Meditation** 值預期變化為上升且持續維持的高放鬆值腦波狀態變化。

首先，與受測者進行約 3 分鐘的實驗前訪談告知實驗目的與用途，接著研究員與受測者一起操作腦波分析軟體，並且要求使用者進行專注任務，任務結束後與受測者在腦波平台端將該筆任務的腦波資訊調閱出來，並對其腦波資訊的 **Attention** 值與 **Meditation** 值進行 1 分鐘的簡述。接著讓受測者休息 1 分鐘以平復情緒，並且要求受測者自行操作本系統並進行放鬆任務，並於任務進行完畢後自行調閱該筆任務的腦波資訊，並與該筆腦波資訊的 **Attention** 值與 **Meditation** 值進行 1 分鐘的簡述。隨後，請受測者填寫 SUS 系統易用性量表與進行 3 分鐘的簡易訪談，全部實驗過程都在安靜、無人打擾的會議室中進行。

本研究將分析受測者完成任務後對於本系統填寫的 SUS 系統易用性量表進行分析，藉此了解本系統對於 20~30 歲能夠充分利用電子數位產品的使用者易用性如何，主要為分析使用性問題統計資料與 SUS 系統易用性得分等級。

另外本研究將針對分析受測者於專注任務與放鬆任務中的腦波變化狀態進行分析，並藉此了解本研究對於目標任務的規劃是否正確，其中將針對受測者的腦波變化個別平均值及總平均值以及全體受測者進行目標任務時的所對應的腦波值的平均腦波變化圖進行判讀，藉此了解受測者在進行實驗中的腦波變化與本研究的目標任務規劃成效。



SUS 系統易用性量表

SUS 系統易用性量表[14]是在 1986 年由 Digital Equipment Co Ltd.公司所開發設計的，該 SUS 系統易用性量表是現今常被用於產品易用性調查的量表，此 SUS 系統易用性量表開發的目的為讓設計師快速了解產品本身的整體易用性。題目總共有 10 題，以下為本研究依照英文原題調整字眼後的 SUS 易用性量表題目。

Q1：我想我會願意經常使用這個腦波平台進行測量。

Q2：我認為這個腦波平台過於複雜。

Q3：我認為這個腦波平台容易使用。

Q4：我想我會需要技術人員的幫忙，才能使用這個腦波平台。

Q5：我認為這個腦波平台的各種功能整合的很好。

Q6：我認為這個腦波平台有太多的不一致。

Q7：我可以預見大多數的人都能很快學會使用這款腦波平台。

Q8：我覺得這個腦波平台使用起來非常困難。

Q9：我能夠很有自信使用此款腦波平台。

Q10：我需要先學習很多知識，才能開始使用此款腦波平台。

第四章 實驗結果

系統易用性測驗的實驗結果將分成 SUS 系統易用性量表得分結果、受測者腦波值變化結果，兩個部分進行分析討論。

4.1 SUS 系統易用性量表得分與結果

SUS 易用性量表是在產品開發時常被採用的主觀性量表，其目的為讓設計者快速了解產品本身的整體易用性。問題總共 10 題，Q1 到 Q10 採取正負向問題交錯，單數題為正向問題，雙數問題為負向題目，下表 2 為本研究的 SUS 系統易用性量表各題得分的百分比統計資料。

表 2 SUS 各題目得分百分比統計表格

	各題目得分百分比 (四捨五入至小數點第二位)					平均數	標準差
	1 分	2 分	3 分	4 分	5 分		
Q1	0%	4.76%	9.52%	52.38%	33.33%	4.14	0.7928
Q2	19.05%	57.14%	23.81%	0%	0%	2.05	0.6690
Q3	0%	4.76%	4.76%	47.62%	42.86%	4.29	0.7838
Q4	19.05%	23.81%	38.10%	19.05%	0%	2.57	1.0282
Q5	0%	4.76%	38.10%	38.10%	19.05%	3.71	0.8452
Q6	23.81%	47.62%	23.81%	4.76%	0%	2.10	0.8310
Q7	0%	0%	14.29%	61.90%	23.81%	4.10	0.6249
Q8	38.10%	57.14%	4.76%	0%	0%	1.67	0.5773
Q9	0%	0%	4.76%	38.10%	57.14%	4.52	0.6016
Q10	38.10%	33.33%	14.29%	9.52%	4.76%	2.10	1.1792

由於題目採取正負向問題交錯，所以我們可以看到表 2 的統計資料內，各題目的得分情形就如同問題題向一般是正負交錯的。本研究以各題題向做區分，以該題的最高與次高得分百分比進行加總，分析出的統計資料中可看見除了 Q4 與 Q5 以外的題目幾乎都取得了受測者給予的正向評價，也說明了本系統在大部分的使用性上給予受測者都是正向的感受。

但是在 Q4 與 Q5 中呈現將近半數人無意見或覺得不好用的不理想的狀態，這表示了本系統目前覺得需要人員協助幫忙使用才能使用性統的人以及覺得本研究的系統整合不夠完全的人有接近半數。在 Q4 需要人員協助才能使用本系統的原因有可能有 3 種：1.由於系統所給予的功能提示過少讓受測者不知道該如何使用功能。2.由於本研究系統需要搭配一般使用者通常不會持有的腦波儀配戴使用。3.受測者本身對於沒接觸過的腦波科技的陌生導致不知道如何使用系統。而 Q5 系統整合的部分有可能是因為本研究進行系統實作時分作腦波分析軟體與線上腦波資訊平台兩個架構進行設計，進而導致腦波分析軟體與線上腦波資訊平台的操作過程、使用方法、畫面呈現...等原因，由於這些使用性或視覺上的原因使得受測者覺得本系統整合的部分做得不夠完善。

在 SUS 系統易用性量表的評價中，在 Q4 與 Q5 成果表示出本研究的線上腦波資料分析平台系統對於使用者在使用時可能會產生的問題。在 Q4 需要他人從旁協助的部分，本研究認為有可能是使用者對於腦波科技的過於陌生導致不知道如何使用以及給予的系統功能提示過少，因此要將 Q4 問題改善的辦法中最直接的辨識提供更多的使用資訊給予使用者了解，但是過多的資訊可能導致使用者負面的體驗，因此在重要使用功能的資訊比例需要額外的考量規劃。在 Q5 的系統整合不夠完整這個使用性問題中，本研究認為是使用性與視覺上的原因所導致，如果需要改善的最佳辦法便是將腦波分析軟體與線上腦波資訊平台系統的系統功能用字和按鈕功能進行同化，以利使用者在操作完腦波分析軟體後到線上腦波資訊平台也能很輕易的進行操作，另外在視覺上進行同步的規劃設計讓使用者在操作時也能接收到較為一致的視覺資訊，進而改善使用體驗。

獲得的 SUS 系統易用性量表資料除了進行資訊統計外，將用於 SUS 易用性量表得分分析。SUS 系統易用性量表的計分方向也依照 SUS 系統易用性量表的題目題向方向而不同，在相反題向上的分數計算便是相反的。SUS 易用性得分的計算公式為每題正向題目分數各扣一加上分別都以五減去各負向題目分數的分數加總後乘以 2.5，即為該系統的 SUS 系統易用性量表得分，SUS 系統易用性量表得分滿分為 100。表 3 為線上腦波資料分析平台 SUS 系統易用性得分統計資料：

表 3 腦波平台 SUS 易用性總體數據

樣本數	平均數	中位數	最小值	最大值	標準差
21	75.71	77.5	52.5	97.5	12.38

本研究總共對 21 位受測者(10 男、11 女)進行實驗，並針對本系統填寫 SUS 系統易用性量表，獲得成果如表 3，進行實驗的受測者對於此系統的 SUS 易用性平均分數為 75.71 分，中位數為 77.5 分，最大值 97.5 分，最小值 52.5 分。SUS 得分的等級參考過去研究[15]所提出的 SUS 量尺，SUS 量尺指出本系統得分 75.71 分坐落在使用性等級 C 級，算是使用性”好”的等級，指出本研究開發的線上腦波資料分析平台系統是屬於好用的系統，若能夠改善於 SUS 量表中得分不理想的 Q4 與 Q5 使用性問題就能夠獲得更好的結果。

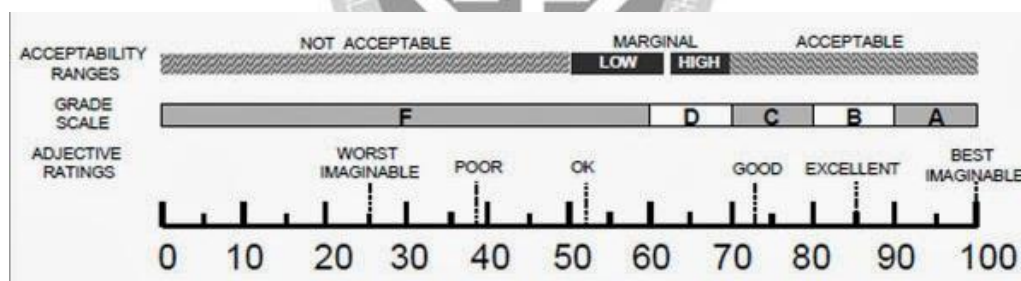


圖 24 SUS Score

(資料來源：A. Bangor, P.T. Kortum, J.T. Miller.

Determining What Individual SUS Scores Mean: Adding an Adjective Rating Scale[15])

4.2 受測者腦波值變化結果

為了判斷本研究所設計的專注任務與放鬆任務所造成的 Attention 專注度與 Meditation 放鬆值腦波資訊變化，本研究採集受測者於任務中的腦波值變化量並計算受測者於目標任務的腦波值變化量的整體平均值。分析專注任務時，採用受測者進行專注任務時的專注度腦波值進行分析，放鬆任務的部分採用受測者進行任務中的放鬆度腦波值進行分析。藉此數據判定受測者於進行該目標任務過程中的腦波變化平均值狀態與了解受測者進行目標任務時是否有達到規劃目標任務誘發腦波值變化的目的。

表 4 專注任務與放鬆任務的結果平均值(取至小數第二位)

受測者編號	專注任務平均專注值	放鬆任務平均放鬆值
No.01	55.52	60.25
No.02	50.07	77.78
No.03	50.12	71.70
No.04	51.92	36.69
No.05	34.16	64.50
No.06	59.12	73.94
No.07	73.33	37.72
No.08	52.99	76.82
No.09	63.00	56.67
No.10	50.42	66.25
No.11	64.35	88.06
No.12	44.19	77.08
No.13	42.38	48.22
No.14	46.71	57.00
No.15	62.67	63.64
No.16	66.79	83.69
No.17	57.72	73.61
No.18	48.47	55.89
No.19	50.51	65.91
No.20	65.52	77.54
No.21	25.06	65.11
整體平均	53.09	65.62

本研究針對受測者進行時腦波測驗的腦波值平均分析，藉此數據判定該位受測者在執行此任務時是否有達到本研究的期望，並計算此次任務的腦波數值平均為何來判定受測者本次測驗時的腦波變化傾向。可以從表 4 中看見關於本研究在 SUS 系統易用性測試實驗中所提供給受測者進行的目標任務結果，在專注任務中出現的腦波變化結果中專注度超過 60 以上屬於高專注度的受測者只有 6 名不及受測總人數的一半，呈現專注度 40~60 的中等專注程度的受測者有 13 位，專注到不到 40 呈現低專注的受測者有 2 位。專注任務的整體專注度平均值為 53.09，屬於 40~60 的中等專注程度。本研究預期受測者進行找尋數字時會因為專注與凝視呈現高專注度，但是整體專注度平均值介於 40~60 之間屬於中等專注，這有可能是專注任務上的規劃不夠周全導致。專注度不到 40 的受測者僅有 2 位大約整體受測者的 10%，指出本研究的專注任務規劃的方向正確，因此大部分的受測者都需花費精神專注進行任務，但是任務進行中處於高專注度的受測者只有 6 名約整體的 28.5%，指出專注任務的題目設計上有所疏失導致受測者無法更專注，可能的原因有題目過於簡單不需要高度專注就能夠找到答案、受測者的解題方式不同於本研究預計的專注凝視尋找目標、沒有提供足夠的誘因讓受測者覺得需要非常高度專注來進行任務...等可能性。而訪談中也有受測者表示在進行專注任務時採取了其他的手段進行解題(例如：掃視、橫置測驗紙張用不同視角尋找)，這也是可能導致受測者專注度不足的原因。

而 SUS 系統易用性測驗實驗中的目標任務放鬆任務中，結果出現了放鬆值高於 60 的受測者有 15 名占整體的 75%，低於 40 放鬆值的受測者有 2 名，其它介於中間的受測者有 4 名。受測者們的整體平均放鬆值為 65.62，屬於放鬆值較高的狀態，結果指出放鬆任務的整體平均值十分符合預計的高放鬆值狀態。再次證明文獻中的閉眼放鬆有助於提高受測者的 Meditation 放鬆值變化，而無法放鬆的受測者有可能是因為配戴腦波儀的不適應感或者其自身的內在因素或者進行實驗時的緊張...等原因所導致，但就結果看本研究的放鬆任務規劃十分的成功。

由於每位受測者進行專注任務的解題時間長短會依照受測者解題順利與對題目難度感受而不同，因此本研究將每份受測者的腦波變化圖資料都分割成 20 等分進行平均，進而獲得同樣時間軸長度的腦波變化平均圖。並藉此腦波變化平均圖判斷受測者進行目標任務時的腦波變化情形，以下將分為專注任務的腦波值變化與放鬆任務的腦波值變化進行資料分析。

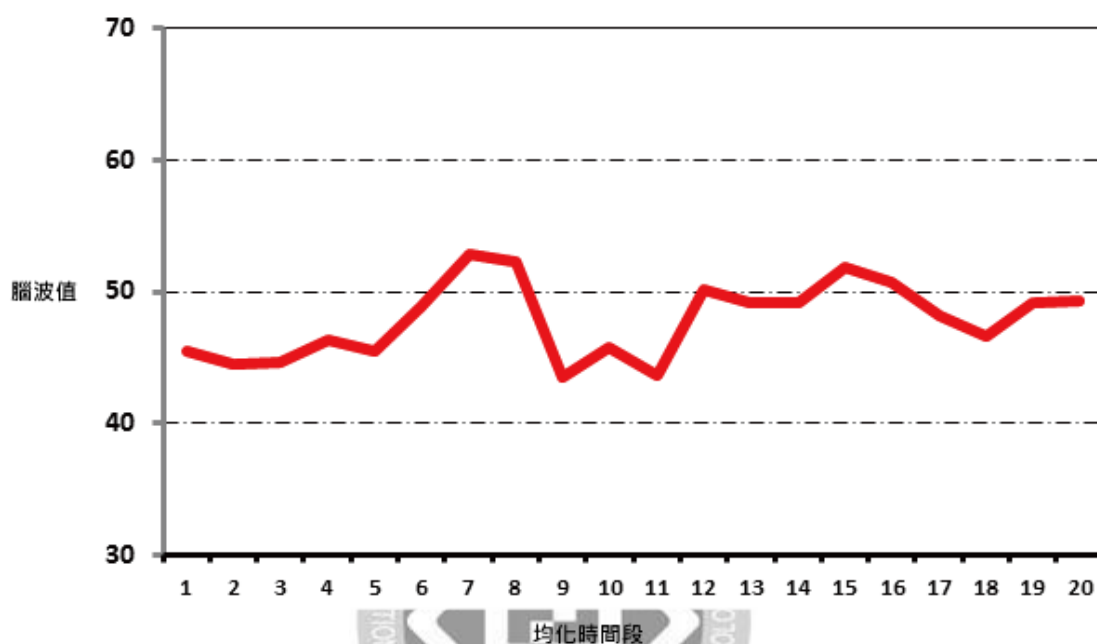


圖 25 專注任務中 Attention 專注力變化圖

首先在專注任務部分的腦波值變化可見圖 25，由於專注任務是為誘發受測者 Attention 專注值而設計的，故在此不討論受測者的 Meditation 放鬆值變化。專注度的範圍為 0 到 100，X 軸為均化 20 等分後的任務時間段、Y 軸為專注值。受測者們在任務過程平均專注度大約在 40 到 60 間震盪，從圖 25 中可見平均專注力在任務開始後有緩慢上升的傾向，如此變化有可能是大部分的受測者於任務開始時嘗試專注於進行任務題目。大約在均化時間段 8 的位置專注度平均值尚未到達 60 的高專注狀態時平均專注度之前就跌了下來，可能因於大部分的受測者受到以下 3 點影響：1. 提升專注力的誘因不足；2. 受測者專注於解題所導致的神疲乏，讓專注力降低；3. 受測者無法快速完成題目而造成的分心的情況。於均化時間段 9 與 10 之間平均專注度降低的同時，大部分受測者察覺自身的專注漸弱，進而重新嘗試專注於解題任務上，所導致的小振幅與均化時間段 11、12 間的平均專注力拉升。在維持專注一段時間後，於專注任務的均化時間段 15 刻度時，平均專注值開始有稍稍減弱的趨勢。照圖 25 的趨勢，可能是大部分受測者於均化時間段 15 時完成了專注任務規劃的題目，因此導致受測者們的精神鬆懈使專注力下降。並於均化時間段 19 有稍微的專注度拉抬，此專注力提高的變化

可能是受測者完成專注任務後進行的停止腦波分析軟體紀錄腦波的操作導致。以整體來說圖 25 的走勢十分的平均，所有的平均專注度都坐落在 40 到 60 之間指出每位受測者的專注力變化之間並沒有特殊的相同走勢，也因此導致任務進行中呈現高專注力狀態的受測者與呈現低專注力狀態的受測者腦波資料彼此平均中和掉，最後任務的均化時間段的後半部也沒有明顯出現本研究預期的因為時間緊迫導致更加專注的變化。透過時間壓力逼迫受測者提升專注力之無效的可能原因有幾點：1.題目對於沒能在時限內完成的受測者來說太難，因此使受測者們受到挫折而放棄專注解題；2.對於大部分的受測者來說，並無即使花費精神也非得完成任務的理由；3.受測者因為進行實驗、配戴腦波儀等理由，導致無法專注於目前的任務。

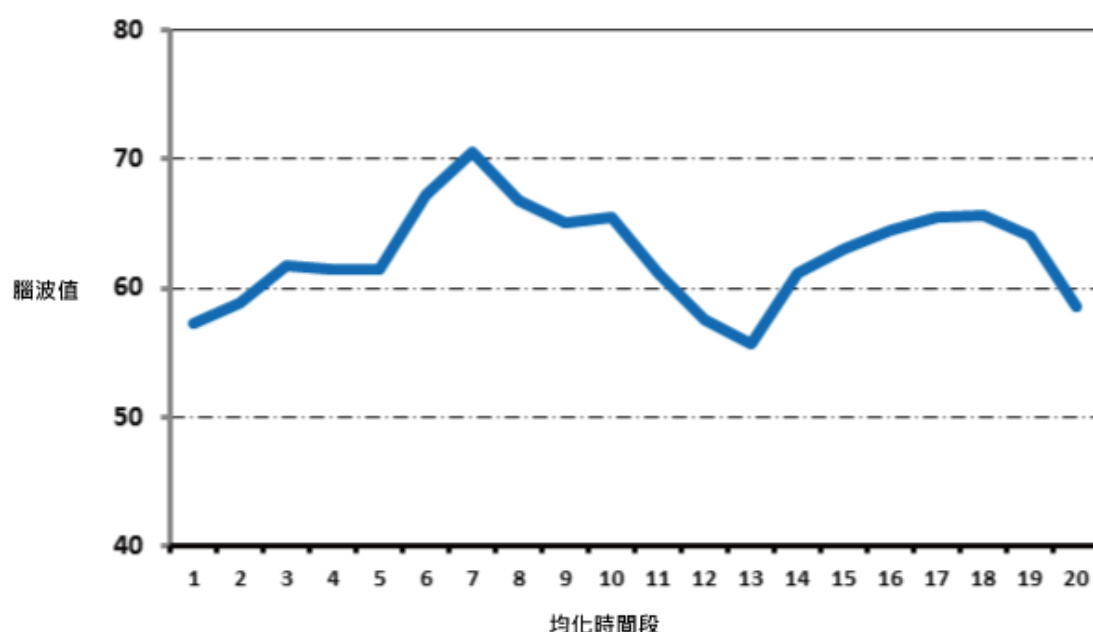


圖 26 放鬆任務中 Meditation 放鬆值變化圖

圖 26 為受測者進行放鬆任務時的 Meditation 放鬆值平均變化圖，由於放鬆任務是為誘發受測者的放鬆值而擬定，故不在此處討論受測者的專注力變化。放鬆值的範圍為 0 到 100，X 軸為均化 20 等分後的任務時間段、Y 軸為放鬆值。在圖上可看見受測者進行放鬆任務時的放鬆值大約在 55 到 70 間振幅，若受測者進行在放鬆任務時的放鬆值有超過 50 以上，表示受測者是屬於比較放鬆的狀態。從任務均化時間段的開頭至大約均化時間段 7 的位置時，受測者聽從研究員指令閉上眼睛放鬆即緩慢的提高了受測者的放鬆值。而在任務進行到均化時間段大約一半的時刻，放鬆值跌了下來有可能是因為大部分的受測者受到內在情緒的原因而降低，例如：受測者因為閉眼放鬆感受不到時間流動而思考測驗時間是否到達了等可能導致分心的原因。並在均化時間段 12 之後，受測者發現自身放鬆狀態減弱時開始繼續執行閉眼放鬆指令，因此受測者們的平均放鬆值再次升高。在均

化時間段 19 時，平均放鬆值迅速的跌下來，平均放鬆值下跌的原因可能是由於放鬆任務時間結束，全部的受測者都需要睜開雙眼進行腦波分析軟體的關閉操作，因此導致放鬆值快速下跌。就圖 26 的平均腦波值變化圖來說，放鬆值在 55 到 70 間擺動符合了本研究的預期，由於放鬆任務屬於持續性的動作因此預估會出現持續且高於 50 放鬆值較為放鬆的腦波變化，放鬆值平均變化圖結果說明了本研究在放鬆任務上的規劃較為精準，因此大部分的受測者們不但被誘發出較高的放鬆值也維持住放鬆的狀態。在腦波文獻中提及的當人閉上雙眼放鬆會誘發放鬆值升高的論點與本研究實驗結果不謀而合，但是本研究規劃的放鬆任務誘發的放鬆值平均值大約在 55 到 70 間震盪，此數值距離最高放鬆值 100 仍然有段距離，指出了大多數的受測者在本研究的實驗環境下尚無法達到極度放鬆的狀態，如果想要獲得更高的放鬆平均值可能需要嘗試使用文獻中提及的適合的音樂或者更舒適的環境...等能夠讓人放鬆的要素進行更加細部的環境規劃，進而誘發更高的放鬆值腦波變化。



第五章 結論

雖然本研究在專注任務設計上不夠精準，導致受測者出現高專注值腦波變化者較少，但在放鬆任務上是幾乎呈現與文獻符合的高放鬆值腦波變化。受測者們使用本系統過後，大部分人表示本系統線上腦波資訊平台所繪製的腦波資訊變化圖像與其測驗過程的感受相符合。但是大腦本身就擁有太多複雜且龐大變因，即使本研究對受測者要求進行相同任務也有可能產生不同腦波值變化，例如當受測者採取不同解題方式進行專注任務時，所出現的專注度腦波變化也都不相同，若想要產生研究所預期腦波變化勢必需要給予受測者更多的任務條件與限制。而本研究在進行放鬆任務時的受測者腦波變化表現十分符合預期高度放鬆值狀態腦波變化，僅有少數受測者會被自身的內在因素或配戴腦波儀造成的不適感影響。

最後，本研究以 Unity 開發了一個平均 SUS 易用性得分為 75.71 分，在 SUS 量尺上的易用性等級為等級 C 代表“好”的腦波分析軟體與線上腦波平台系統。使用者能夠透過本系統的腦波分析軟體將自身各樣測驗的 Attention 值與 Meditation 值腦波訊號上傳至腦波資料庫中，並能夠透過本研究開發的線上腦波資訊平台將自身儲存的各筆腦波測驗資料調閱分析查看。而本研究所製作的線上腦波資料分析平台系統能夠提供使用者進行許多方面的腦波測驗記錄，不管是用於運動訓練、專注學習或者是平靜放鬆等自我管理能夠讓本系統有所發揮，如果未來搭載了更多其他的腦波值辨識功能肯定能夠擁有更多應用方式。

相信在未來，當腦波儀硬體設計改良使其更加輕便舒適，而更多腦波演算法被開發出來，腦波演算法進步使得腦波更容易讓一般人進行判讀，也能使得腦波平台等腦機介面應用受到社會大眾更多重視進而更加地蓬勃發展。

參考文獻

- [1] NeuroSky, Inc., “NeuroSky’s eSense™ Meters and Detection of Mental State”, Retrieved December 2015 from <http://www.brainathletesports.com/pdf/WP-lee-neurosky-esense.pdf>
- [2] 朱迺欣，前塵往事腦醫學，遠流出版社，31-39 頁，2000 年。
- [3] 國立臺灣大學物理系基礎物理實驗室，人體標準腦波圖 EEG，參閱日期 2013 年 7 月，<http://web.phys.ntu.edu.tw/asc/FunPhysExp/ModernPhys/exp/EEG.pdf>。
- [4] 蔡旻諺，應用腦波於遊戲式學習之設計與評估，國立臺中科技大學，2013。
- [5] Paul Coulton, Carlos Garcia Wylie, Will Bamford. “Brain Interaction for Mobile Games,” in MindTrek’11, 2011.
- [6] KooHyoung Lee, NeuroSky Inc. Evaluation of Attention and Relaxation Levels of Archers in Shooting Process using Brain Wave Signal Analysis Algorithms, Retrieved December 2015 from http://www.kslinternationalarchery.com/Sport%20Psychology/FinalVersion_Evaluation_of_Attention_and_Relaxation.pdf
- [7] 孫光天、許家彰、李耀全、孫嘉臨，不同音樂對大腦腦波影響變化之研究，國立臺南大學，2007 年。
- [8] 詹小秋，音樂治療對重度智能障礙學童行為成效之研究，中臺科技大學，2011 年。
- [9] 姜琇森、蕭國倫、吳哲維，以腦波特徵為基礎之專注力診斷與訓練系統，國立臺中科技大學。
- [10] 林威志、邱安煒、徐建業、邱泓文，聆聽音樂時腦波及心率變異性之變化，醫療資訊雜誌，第十四卷·第二期：27-36 頁，2005 年。
- [11] Hyo-jin Kim, Su-yeon Kim. Know Yourself: Self-portrait with Emotion Expressed in the EEG Data. in CHI EA '15, 2015, pp. 371-374.
- [12] Sebastian C. Müller, Thomas Fritz. Stuck and frustrated or in flow and happy: sensing developers' emotions and progress. in ICSE '15, 2015, pp. 688-699.
- [13] Yu Hao, James Budd, Melody Moore Jackson, Mukul Sati, Sandeep Soni. A Visual Feedback Design based on a Brain-Computer Interface to Assist Users Regulate their Emotional State. in CHI 2014, 2014, pp.2491-2496.
- [14] Brooke, J. “SUS: a „quick and dirty“ usability scale.” in P.W.Jordan, B. Thomas, B.A. Weerdmeester, and I.L. McClelland (Eds.) Usability Evaluation in Industry, 1996, pp. 189-194.
- [15] Aaron Bangor, Philip Kortum, James Miller. “Determining what individual SUS scores mean: Adding an adjective rating scale.” Journal of Usability Studies, Vol.

4, Issue 3, pp. 114-123, May. 2009.

