

國立交通大學  
工業工程與管理學系

博 士 論 文

探討執行雙重作業下駕駛分心/心智負荷  
及警示音回饋的影響

Investigating driver's distraction and mental workload  
under dual-task processing, and the effectiveness of  
auditory warning feedback in a realistic driving  
environment



研 究 生：邱添丁

指 導 教 授：許尚華 教授

林進燈 教授

中華民國 九十九年 二月

探討執行雙重作業下駕駛分心/心智負荷及警示音回饋的影響

Investigating driver's distraction and mental workload under dual-task processing, and the effectiveness of auditory warning feedback in a realistic driving environment

學生：邱添丁

Student：Tien-Ting Chiu

指導教授：許尚華 教授  
林進燈 教授

Advisor：Prof. Shang-Hwa Hsu  
Prof. Chin-Teng Lin

國立交通大學

工業工程與管理學系

博士論文



Submitted to Department of Industrial Engineering and Management

College of Management

National Chiao Tung University

In partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Doctor of Philosophy

Industrial Engineering and Management

February 2010

Hsinchu, Taiwan

中華民國九十九年二月

# 探討執行雙重作業下駕駛分心/心智負荷及警示音回饋的影響

研究生：邱添丁

指導教授：許尚華 教授

林進燈 教授

國立交通大學 工業工程與管理學系 博士班

## 摘要

駕駛者分心與不注意力是發生交通事故的重要因素，當駕駛者分心與不適當的注意力轉移，容易導致車禍發生。有鑑於此，本研究是在虛擬實境的駕駛環境中，設計兩項實驗，以探討駕駛者執行雙重作業之分心與工作負荷對反應時間的影響以及警示回饋對反應時間的影響。分別為，研究主題一為駕駛者執行雙重作業（開車作業、認知作業），在不同時距設計(stimulus onset asynchrony, SOA)下的分心與工作負荷，及開車與認知作業之間關係。研究主題二為探討警示音回饋的影響。

研究主題一要求受試者於不同時距下，執行雙重作業，探討駕駛者產生分心/工作負荷現象，此研究假設開車作業與認知作業，會受到不同時距類型的影響。本研究以開車作業之反應時間、回答數學計算之反應時間及答對率為測量分析變數。共計有 25 位本校學生參與實驗，分析實驗結果指出，(1) 執行雙重作業狀況下，開車作業績效，不受次要作業干擾影響，分心效應沒有產生；(2) 次要作業(認知作業)於雙重作業狀況下，心智工作負荷比較高。此外本研究也發現，受試

者於 0ms SOA 條件下之駕駛策略，乃以主要戶業開車安全為優先，次要作業數學計算將造成心智負荷過重現象。

研究主題二嘗試以單調開車場景，在駕駛者疲勞、注意力不集中或瞌睡的狀況下，探討何種頻率及警告類型警示效果比較好。除此之外，本研究也透過問卷來完整表達從受試者主觀感受。在結果分析方面，本研究透過 Two-way ANOVA 分析，以警告聲及頻率類型為自變項，反應時間為依變項。共計有 13 位本校學生參與實驗，分析實驗結果指出，(1) 警告聲音具有警示效果；(2) 連續型警示音及 1,750 Hz 與 3,000 Hz 頻率警示效果較好。此外從問卷結果也發現，超過 92% 的受試者同意脈衝警告聲音有提醒效果，而且，有 92% 的受試者同意警告聲音比較有效。

本研究也根據研究主題一與二之研究結果，考量駕駛者能力限制及開車環境，結合人因介面及腦機介面的設計元素，發展雙重作業及偵測分心警告預警系統，提供降低心智工作負荷之建議及避免因駕駛者分心、疲勞或不注意力不集中，所造成的意外傷害。

**關鍵詞：**駕駛者分心、雙重作業、主要作業、次要作業、不同時距、心智負荷

# Investigating driver's distraction and mental workload under dual-task processing, and the effectiveness of auditory warning feedback in a realistic driving environment

Student: Tien-Ting Chiu

Advisor: Professor, Shang-Hwa Hsu  
Professor, Chin-Teng Lin

Driver distraction and inattention are important issues of driving safety. It easily leads to traffic accidents when drivers shift their attention away from the driving task. Based on this circumstance, we conducted two studies in a virtual reality driving environment to explore the effects on reaction time of driver distraction and workload, and auditory warnings. In first study, the aim was to discover how answering math equations affected driving workload and found out the relationship between responding to car deviation and answering math equations. The second study was aim to investigate what kind of warning sounds and frequency could effectively give a caution and prevent traffic accidents caused by inattentiveness during driving.

In first study, we hypothesized that the stimulus onset asynchrony (SOA) affects dual-task (driving & cognitive task) performance. We measured and evaluated the dependent variables in two aspects, driving-related task and workload-related task. The response time (RT) for responding car deviation was a dependent variable of driving-related task. Other dependent variables of workload-related measures were RT of giving correct answers and the number of incorrect answers of arithmetic task. The total of 25 volunteer participants was in this study. This experiment demonstrated that the performance of driving task did not be

affected by interruption of arithmetic task, the distraction effect did not occur. We also found that the mental workload for secondary task (cognitive task) was much higher than that for the primary task (driving task).

Additionally, the study found that participants' driving strategy in the dual-task conditions took the driving manipulation as a priority. The more attentional resources consumed by the primary task, the fewer there are for the secondary task. Therefore, the secondary task caused participants' cognitive load to be maximized. Reaction time on the secondary task is thus seen as an indicator of demanded attentional capacity amount of the primary task.

In second study, we attempted to identify what kind of auditory warning signals and characteristics could maintain driving performance. The study was carried out under seven conditions: with no warnings, with continuous warning tones (500 Hz, 1,750 Hz, 3,000 Hz), and with tone burst (500 Hz, 1,750 Hz, 3,000 Hz). The conditions were examined in random order and we ran different experimental sessions for the different conditions. Besides, we designed a questionnaire to measure individual experiences subjectively. To assess influence of stimulus characteristics on improvement in driving performance, this study conducted a test based on two-way ANOVA (type of sounds  $\times$  carrier frequency, CF). The total number of volunteers was 13 participated in this study. The experiment result indicated that the mean response time (RT) of the warning sessions was also significantly less than for the without-warning sessions. Comparing the effectiveness of varying carrier frequency on RT, continuous tone, two sound frequencies, 1,750 and 3,000 Hz, were more

effective in accelerating driver's reaction time than the frequency of 500 Hz. In addition, more than 92% of the participants agreed with the statement that tone burst type warning sound gave efficacious warning. Also 92% of all respondents agreed that the warning sound frequency of 1,750 Hz (69%) and 3,000 Hz (23%) had better effectiveness.

Based on the result of these two studies, the cognitive tasks could not significantly affect the performance of any assessed driving tasks. And the spectral characters in terms of the carrier frequency (CF) significantly influenced the warning effectiveness. Hence, the mental workload, driver's distraction, and traffic safety are intrinsically intertwined. To reduce injury caused by driver's distraction, fatigue, inattention, and mental load, we need to develop a real-time detection warning system of dual-task and driver's drowsiness. It would combine design elements of human interface technology and brain-computer interface, and take into consideration the driver and their capabilities in the driving environment.

**Keywords:** Driver distraction, dual-task, primary task, secondary task,  
Stimulus onset asynchrony, workload

## 誌 謝

本論文的完成首先要感謝學生的指導老師許尚華教授及林進燈教授，感謝兩位老師一路對學生勉勵與鼓勵，指引學生的研究方向及開擴學生思維與視野，感謝多年來對於學生之研究指點與建議，讓學生獲益良多。本論文得以順利完成，學生除了感謝指導教授之外，還要感謝師長計有：巫木誠教授對學生研究領域的引荐，及論文邏輯與寫作指導。柳永青教授於論文口試時的指導並提供寶貴建議，使本論文得以斧正缺漏，內容更臻完整。黃雪玲教授是學生於碩士班時，指引我進入人因科學領域的啟蒙老師，並於論文審閱給予學生諸多指正。此外，還有腦中心柯立偉博士從學生論文架構、研究方向及簡報資料……林林總總的指導與建議；電機系楊谷洋教授於論文寫作修訂與建議；生科系曲在雯教授於腦科學知識及研究態度的指導及成功大學梁勝富教授於腦中心的不吝指導。

學生也要特別感謝常常一起討論，分享研究結果的腦科學中心之實驗革命伙伴陳玉潔、陳世安、王俞凱、黃騰毅、林君玲、林弘章、黃冠智、趙志峰以及腦中心全體成員如陳青甫、莊尚文、邱德正、王怡然……等，於研究期間的幫忙及陪伴。我也要感謝人因工程實驗室之同門師兄弟李俊佳、溫明輝、劉倩秀、林嘉祥、及張人偉等，對學生於求知及研究階段所遭遇各種問題討論與切磋，及學習分享與鼓勵。同時也要美國聖地牙哥大學(UCSD)鍾子平教授及段正仁教授，於返國期間，對於研究方向的指導。還有，交大同事們的工作協助。

學生將此研究成果謹送給我的父親邱水煙先生與母親黃月英女士，感謝他們對家庭辛勤付出；以及二十多年來，一直在背後默默支持相挺的牽手蕭麗妃小姐，使學生無後顧之憂的攻讀博士學位。另外，學生也要謝謝三位寶貝禕涵、歆瑀及子洋，因為您們乖巧與懂事，讓我得以放心於求學問領域。

本文謹獻給我親愛的家人、關心我的師長及研究伙伴，願與你們共同分享來自後龍「賣杏仁冰小孩」的榮耀與喜悅。

邱添丁 謹識(1,27,2010)

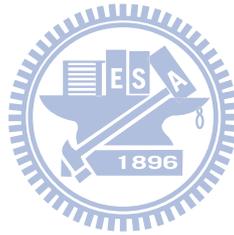
# 目錄

摘要 .....	iii
表目錄 .....	iv
圖目錄 .....	v
第一章 緒論 .....	1
1.1 研究動機.....	1
1.2 研究目的.....	2
1.3 研究假設.....	5
1.4 論文架構.....	5
第二章 文獻回顧 .....	8
2.1 駕駛者分心定義與研究 .....	8
2.1.1 駕駛者分心定義.....	8
2.1.2 駕駛者分心研究.....	9
2.2 雙重作業下駕駛者分心/心智負荷.....	11
2.2.1 雙重作業理論.....	12
2.2.2 工作負荷.....	16
2.2.3 數學運算與工作負荷.....	18
2.2.4 開車與數學計算作業.....	20
2.3 提醒駕駛者注意力之警示音回饋.....	22
2.3.1 各種警告類型.....	22
2.3.2 警示音特性.....	25
2.4 心智負荷及警示音回饋之生理訊號.....	27
2.4.1 大腦結構.....	27
2.4.2 腦電圖.....	28
2.4.3 腦波分類及生理意義.....	29
2.4.4 生理訊號量測.....	30
2.4.5 雙重作業與生理訊號.....	31
2.4.6 警示音回饋與生理訊號.....	32
第三章 雙重作業下駕駛者分心/心智負荷研究 .....	33
3.1 研究方法.....	35
3.1.1 受測者.....	35
3.1.2 實驗設備.....	35
3.1.3 實驗設計.....	37

3.1.3.1 自變數.....	37
3.1.3.2 依變數.....	37
3.1.4 實驗程序.....	38
3.1.4.1 行為反應之實驗程序.....	38
3.1.4.2 腦波測定程序.....	41
3.1.5 數據分析與統計檢定.....	47
3.2 實驗結果.....	49
3.2.1 單一作業.....	49
3.2.2 雙重作業反應時間及正確率.....	49
3.3 雙重作業下之腦動態變化.....	53
3.4 結果討論.....	55
3.4.1 單一作業狀態.....	55
3.4.2 雙重作業之分心/心智負荷.....	56
3.4.2.1 -400ms SOA狀態.....	57
3.4.2.2 0ms SOA狀態.....	59
3.4.2.3 400ms SOA狀態.....	60
第四章 探討警示音回饋的影響.....	63
4.1 研究方法.....	63
4.1.1 受測者.....	63
4.1.2 實驗設備.....	64
4.1.3 實驗設計.....	64
4.1.3.1 自變數.....	64
4.1.3.2 依變數.....	64
4.1.4 實驗程序.....	65
4.1.4.1 行為反應之實驗程序.....	65
4.1.4.2 腦波測定程序.....	68
4.1.5 數據分析與統計檢定.....	68
4.2 實驗結果.....	69
4.2.1 警告聲之基準線.....	69
4.2.2 有效的警告聲音.....	69
4.2.3 沒有警告聲與警告聲.....	71
4.2.4 警告聲與頻率.....	72
4.2.5 問卷反應結果.....	74
4.3 警示音回饋之腦動態變化.....	75
4.4 結果討論.....	78



第五章 結論與建議 .....	80
5.1 結論 .....	80
5.2 實務應用 .....	81
5.2.1 維持注意力之互動式多媒體車內資訊系統 .....	81
5.2.2 瞌睡偵測及警示 .....	83
5.3 研究限制與未來研究 .....	84
5.3.1 研究限制 .....	85
5.3.2 未來研究方向 .....	86
參考文獻 .....	88



## 表目錄

表 2.1 人類四大腦葉功能 .....	28
表 3.1 Task 1 及Task 2 反應平均時間值及標準差彙整表.....	50
表 3.2 Task 1 在不同時距(SOA)狀態下對反應時間的影響 .....	51
表 3.3 Task 2 在不同時距(SOA)狀態下對反應時間的影響 .....	51
表 4.1 實驗開始前二分鐘期間，超過警告閾值之試驗數及百分比 .....	70
表 4.2 所有試驗數、車輛超過警告線閾值、超過 1.5 秒的百分比及平均反應時間 .....	70
表 4.3 車輛偏移超過警告線閾值之試驗數、平均反應時間及標準差 .....	71
表 4.4 變異數分析摘要表 .....	73
表 4.5 警告聲音問卷統計結果 .....	75



## 圖目錄

圖 1.1 研究主要構念 .....	6
圖 1.2 研究架構 .....	7
圖 2.1 中央瓶頸模型及資源分享模型示意圖 .....	14
圖 2.2 大腦側視圖 .....	27
圖 3.1 研究一之假說模式 .....	33
圖 3.2 虛擬實境駕駛場景 .....	37
圖 3.3 俯視雙重作業及單一作業示意圖 .....	40
圖 3.4 實驗程序示意圖 .....	40
圖 3.5 腦波電極帽示意圖 .....	42
圖 3.6 3D數位定位操作示意圖.....	42
圖 3.7 EEG 訊號處理.....	43
圖 3.8 腦波資料切段示意圖 .....	44
圖 3.9 獨立要素分析示意圖 .....	45
圖 3.10 要素群集示意圖 .....	46
圖 3.11 事件相關頻譜擾動(ERSP)程序圖 .....	47
圖 3.12 常態化平均反應分數值示意圖 .....	49
圖 3.13 Task 1 and Task 2 平均反應時間圖 .....	52
圖 3.14 Task 1 及 Task 2 常態化平均反應分數圖 .....	53
圖 3.15 雙重作業下數學計算之腦動態變化圖 .....	55
圖 3.14 Daul-tasl (SOAs)及single-task示意圖 .....	62
圖 4.1 俯視車輛偏移及警告線示意圖 .....	66
圖 4.2 實驗程序示意圖 .....	67
圖 4.3 沒有警告聲與 6 種類型警告聲之平均反應時間 .....	72
圖 4.4 三種頻率(500, 1,750 及 3,000Hz)之主要效果直方圖 .....	74
圖 4.5 枕葉腦區基準能量(baseline)之功率頻譜圖 .....	77
圖 4.6 枕葉腦區之相位能量頻譜擾動變化圖 .....	77
圖 5.1 瞌睡偵測及警示圖 .....	84

# 第一章 緒論

## 1.1 研究動機

開車是一項複雜心理、生理及運動協調的反應作業，駕駛者也常因心理、生理及運動因素所引起警覺性暫時喪失、注意力不集中或決策判斷能力降低等現象，而導致開車績效及安全性降低。依相關研究指出駕駛者分心的特性是駕駛者注意力遠離主要的駕駛作業 (primary task) 而轉移至與駕駛非相關事務上，例如搜尋導航系統資訊、講手機或與乘客談話等次要作業 (secondary task) 所引起的工作負荷及注意力需求增加，導致發生潛在意外事故的機會提高 (Young, Regan, & Hammer, 2003)。根據美國國家高速公路交通安全局 (National Highway Traffic Safety Administration, NHTSA) 的報告，從警察登錄之交通事故中，有 25% 與駕駛者分心有關係 (Wang, Knippling, & Goodman, 1996; Ranney, Mazzae, Garrott, & Goodman, 2000; Stutts, Reinfurt, Staplin, & Rodgman, 2003)，而在所有車輛意外事件中由分心因素所肇事比率高達 25% 至 50%。上述的證據證實，駕駛者分心是潛在造成許多車輛意外事故的主要原因之一。儘管研究結果指出，駕駛者分心會導致反應時間及錯誤增加，然而，一般駕駛者仍有邊開車邊講手機，或邊做其他與駕駛無關的作業之實際經驗，這些動作對於行車安全有嚴重危險性，可是這種駕駛者行為在日常生活中不斷上

演，所以，在駕駛者分心狀況下，系統提供何種有效警示提醒，是本研究最初的研究目標。

有鑑於此，本研究收集有關開車狀況下，駕駛者執行雙重作業而造成分心或不注意的背後原因，規劃實驗設計，試圖在動態駕駛環境中，受試者除了開車外，並結合數學計算題目之次要作業在不同時距 (stimulus onset asynchronies, SOAs) 出現，藉以了解數學計算對駕駛者分心影響程度。此外，本研究從研究學者們所探討警示方式中，綜合整理研究及實驗之具體成果，另設計一項實驗，讓駕駛者維持車道線 (lane-keeping driving) 行駛，並結合警告聲音訊號之設計，當駕駛者發生疲勞、注意力不集中或瞌睡情事時，可透過自動警示系統提供即時的警示訊號提醒駕駛者，以降低意外事故發生的機率。因此，藉由人機互動系統及腦介面之設計，用來提升駕駛者行車安全之最終目標，此為本研究主要動機。

## 1.2 研究目的

本研究的主要目的有二，在開車模擬實景，分別為 (1) 執行雙重作業(開車及數學計算作業)下，在不同時距下，探討駕駛者分心/心智負荷與 (2) 系統偵測到駕駛者疲勞、注意力不集中或瞌睡情事時，進而給予警示回饋等研究主題，並提出維持注意力研究之相關建議，以下分別就兩個研究主題提出說明。

## 主題一：探討雙重作業下分心/心智負荷研究

在真實生活開車行駛中，駕駛者常在不同時距，處理各式各樣的次要作業狀況，例如：(1) 駕駛者邊開車邊講行動電話，車輛突然間偏移或前車煞車燈亮時；(2) 交通尖峰時段，行駛在不熟悉十字路口，同一時間點，還要讀取衛星導航顯示路況資訊；(3) 閃避前方路障，回到安全車道途中，選擇廣播頻道。上述這些次要作業發生於相同時距及不同時距，對於駕駛者而言，都會造成不同程度的分心影響，然而，依柳永青(2003)研究指出，駕駛虛擬實境比實際道路(on-load) 研究提供更安全的駕駛環境，受試者控制道路模擬情境，並藉各種訊號感知裝置以收集各類所需之駕駛行為，與生、心理等績效資料。所以，本研究將於駕駛虛擬實境進行相關研究。實驗室研究中，為了能夠適當地控制外生變數及效度等問題，本研究將使用不同時距用來隱喻說明真實世界實際開車狀況，藉此用來探討不同時距，對駕駛者分心/心智負荷影響。

儘管已有眾多研究學者探討雙重作業造成駕駛者分心/心智負荷的重要因素，然而次要作業於不同時距出現，對於駕駛者分心/心智負荷是否存在不同程度的影響，尚未經過充分探究。爰此，為了要補足尚未探索的領域，本研究主題一的研究目的是藉由虛擬實驗場景，了解駕駛者邊開車，邊回答數學計算作業，對駕駛者的分心/心智負

荷開車績效影響，透過雙重作業不同時距來操弄分心影響程度，自變項為不同時距（-400ms、0ms、400ms），應變項為反應時間及數學答對率（Lysaght, Hill, Dick, Plamondon, Linton, Wierwille, et al., 1989; Wu & Liu, 2007）。本研究透過重複計量變異數分析（repeated measure ANOVA）、Friedman's nonparametric ANOVA、卡方檢定等統計方法分析，以了解在雙重作業狀況下，不同時距影響駕駛者分心/心智負荷程度，並針對實驗結果，提出維持注意力互動式多媒體系統設計之建議，以降低意外事故及提升行車安全的目標。

## 主題二：警示音回饋設計

在了解駕駛者分心/心智負荷背後的產生原因之後，接下來研究主題二，將思考如何整合研究學者有關警示類型的研究，當駕駛者疲勞、注意力不集中或瞌睡，車輛超過警告線閾值，還沒有立即反應時，系統應立即給予警示。所以，本研究試圖提出有效的警示類型與方式，進而給予警示，以降低駕駛意外事故發生。在此研究主題中，獨立變項為二種聲音類型（連續警示音及脈衝警示音，continuous warning tones & tone burst）、三種頻率（500 Hz, 1,750 Hz, 3,000 Hz）及控制組沒有警告聲音等7種，其實驗的應變項為反應時間及問卷分數。本研究透過Two-way ANOVA統計方法，分析警示音及頻率特徵，並針對實驗結果，提出降低疲勞、注意力不集中或瞌睡的有效警示聲

音之型式，以供警示音之設計參考。

### 1.3 研究假設

研究主題一、探討雙重作業與分心/心智負荷之研究假設為：「在不同時距下，執行雙重作業，人類會使用不同注意力資源」。本研究想回答下列二個問題：(1) 執行雙重作業下，受試者會使用不同注意力資源？(2) 二項作業同時發生，會造成反應時間最慢嗎？

研究主題二、探討警示音回饋之研究假設為「當長途行駛於單調、無聊、景色變化少的道路環境，導致駕駛者行為反應變慢，此時系統偵測到有上述情事時，警示系統適時給予警示音提醒，讓駕駛者立即恢復至清醒精神狀態」。本研究主要是想回答下列二個問題：(1) 警示音具有提醒效果？(2) 那一類型警示音可以提昇開車績效？

### 1.4 論文架構

本研究主要概念如圖 1.1 所示，當駕駛者在開車狀況下，執行雙重作業，可能會產生二種效果，一為正面效果，讓駕駛者注意力提升，則注意力不集中或瞌睡情事不會發生；另一為負面效果，讓駕駛者注意力下降，則發生交通意外事故增加，上述為研究主題一之概念。另當注意力下降時，則車內輔助系統應立即給予警示音，以降低交通意外事故發生，此為研究主題二之概念。再將此研究主要概念轉換為本

論文架構，本研究論文分為五個章節(如圖 1.2 所示)。第一章描述本研究背景、動機、目的與假設；第二章進行與本研究相關的文獻回顧，其涉獵文獻包括了駕駛者分心/心智負荷、雙重作業，及警示音特性等文獻彙集。第三章為研究主題一：探討雙重作業下之分心/心智負荷研究；第四章為研究主題二：探討警示音回饋的影響；第五章結論與建議(包含結論、實務應用、研究限制未來研究)。

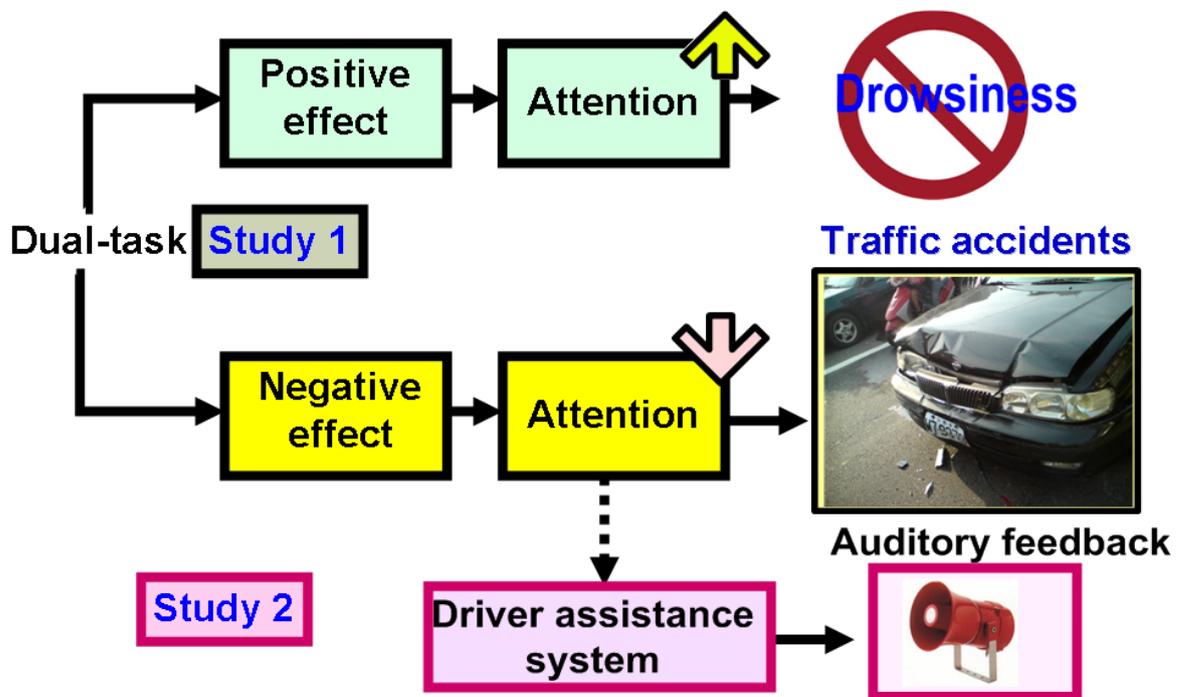


圖 1.1 研究主要構念

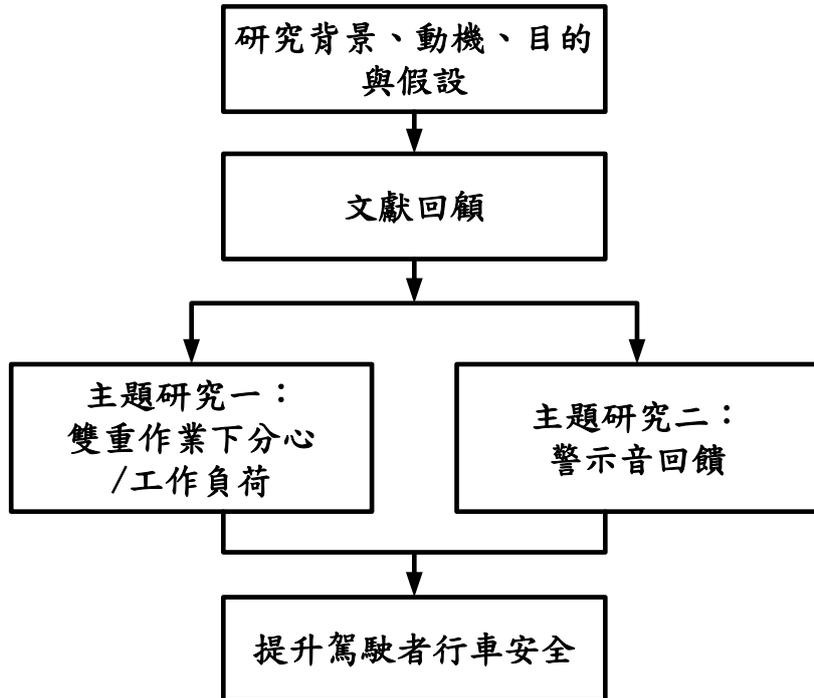


圖 1.2 研究架構

## 第二章 文獻回顧

本章節之目的是透過文獻之整理與回顧，了解先前的研究學者，與本研究主題相關的論述與研究結果，在充份了解現有的研究背景下，確認本研究之定位與貢獻，並且深入了解兩個研究主題相關影響之相關研究與論述。本研究的文獻探討將分為四章節：1. 駕駛者分心定義與研究；2. 雙重作業下分心/工作負荷；3. 提醒駕駛者注意力之警示音回饋；4. 心智負荷及警示音回饋之生理訊息。

### 2.1 駕駛者分心定義與研究

#### 2.1.1 駕駛者分心定義



依據美國汽車安全基金協會 (The American Automobile Association Foundation for Traffic Safety, AAA) 對於駕駛者分心定義：駕駛者因一些事件、活動、目標，迫使駕駛者要順從傾向，而遠離或延遲與駕駛有關安全作業，而去捕捉與駕駛沒有相關的注意力 (Young, Regan, & Hammer, 2003)。Sheridan (2004) 從美國國家公路交通安全管理局 (NHTSA) 碰撞數據中，重新定義分心是視而不見 (looked but did not see) 現象。駕駛者分心為：處理其他事務促使駕駛者分散注意力，因而擾亂駕駛者控制 (Sheridan, 2004)。易言之，駕駛者分心定義是「駕駛者注意力不集中、駕駛者的視線、心思或注

意力四處漫遊」。依 NHTSA 將分心來源歸類科技基礎分心 (technology-based distraction) 及非科技基分心 (non-technology-based distraction) 兩大類，並將駕駛者分心分區為四類：視覺 (visual)、聽覺 (auditory)、心理 (biomechanical or physical) 及認知 (cognitive) 分心。

(1) 視覺分心 (visual distraction)：如駕駛者視線遠離道路狀況，或視而不見道路環境之各項交通號誌。

(2) 聽覺分心 (auditory distraction)：如駕駛者使用行動電話進行談話，而忽略了道路環境。

(3) 生理分心 (biomechanical or physical distraction)：如駕駛者單手離開方向盤，去操作車內資訊設備。

(4) 認知分心 (cognitive distraction)：如駕駛者已使用行動電話，同時又要操控導航系統。

綜合上述，本研究駕駛者分心定義為：「駕駛者同時面臨駕駛主要作業與其他作業狀況時，稱之為駕駛者分心」(吳宗修, 2003)。

### 2.1.2 駕駛者分心研究

駕駛者分心的研究方法中常使用雙重 (dual-task) 作業、週邊偵測作業 (peripheral detection task)、眼睛瞥見 (Eye Glance studies)、及 15 秒規則 (the 15-second Rule) 等研究，搭配實際路線 (on-line) 或

模擬器 (simulator) 實驗場景進行分心研究。

(1) 雙重 (dual-task) 作業：受試者執行主要作業過程中，因為作業要求或受試者使用不同策略，將所剩的注意力或認知資源去執行次要作業，此種方式廣泛被使用於工作負荷 (workload) 量測 (Gawron, 2000)。

(2) 週邊偵測作業 (Peripheral Detection Task, PDT)：用來測量心智負荷及視覺分心。使用這方法，受試者被要求執行週邊目標偵測及反應，實驗結果指出，執行主要作業變得更分心、反應時間變長及更多錯誤及目標未能被偵測 (Martens & Van Winsum., 1999; Olsson & Burns, 2000; Harms & Patten, 2003; Georg, Astrid, Josef, & Christhard, 2005)。



(3) 眼睛瞥見 (Eye Glance studies)：用來測量駕駛者執行次作業過程中，視覺行為之頻率及瞥視目標。通常完成作業是透過一連串簡易瞥視(1-2 秒)，從瞥視期間可以測出眼睛遠離路線總時間 (Haigeney & Westerman, 2001; Curry, Greenberg & Blanco, 2002)。

(4) 15 秒規則 (the 15-second Rule)：美國自動車工程學會 (The Society of Automotive Engineers, SAE) 藉由使用車內導航系統評估最大允許分心程度 (Farber, Foley, & Scott, 2000)。

近年來，駕駛者不注意與分心釀成車禍的議題被廣泛討論 (Stutts,

Wilkins, Osberg, & Vaughn, 2003; Anderson & Horne, 2006) ，例如 Anderson and Horne (2006) 研究指出，在長途單調駕駛環境中，駕駛者感官、知覺及決策能力降低，阻礙駕駛者資訊處理過程，因而集中注意力降低，容易造成分心，及增加汽車碰撞的風險。有關駕駛者使用行動電話狀況下之認知負荷、注意力資源配置等研究，經研究結果證實，使用行動電話造成反應時間增加、開車績效降低、車輛碰撞意外風險增加等現象 (Redelmeier & Tibshirani, 1997; Strayer & Johnston, 2001; Lansdown, Brook – Carter, Kersloot, 2002, 2004; Consiglio, Driscoll, Witte, & Berg, 2003; Patten, Kircher, Östlund, & Nilsson, 2004; Beede & Kass, 2006) ，而對於困難及複雜的談話內容，可能產生駕駛者更多分心的負面效果。



## 2.2 雙重作業下駕駛者分心/心智負荷

有關駕駛者分心之學術研究領域回顧中，已經引起一波濃厚研究價值及重要影響力，綜理歸納證實，當駕駛者在雙重作業狀況下，將會發生超工作負荷的影響，簡言之，雙重作業與分心之間存在微妙因果關係。所以，為了要建構出本研究學術基礎與嚴謹思考邏輯，以下章節將分別針對雙重作業理論、雙重作業不同時距、及數學計算與工作負荷等研究主題進行文獻回顧。

### 2.2.1 雙重作業理論

雙重作業分心效應 (dual-task distraction effects) 受到兩項作業刺激出現的時距 (SOA) 影響，人類在同一時間點內，同時處理二種以上事務，常受到注意力資源的限制。從研究實驗結果指出，當在兩刺激的間隔越小時，次要作業的反應時間 (RT2) 會變長 (Levy & Pashler, 2001; Jiang, 2004)。研究學者Magill(2004)認為人類在二個刺激情況下，無法立即對二個刺激進行反應，刺激二必須等到刺激一結束後才能反應，因此產生反應延遲結果，此種反應時間變長的情況稱為心理延滯期效應 (psychological refractory period, PRP)，說明了分心與PRP效應具有密切的關係。例如依據Ruthruff, Johnston, Van Selst, Whitsell, and Remington(2003)研究發現在雙重研究中，以音調 (Tone) 及文字 (character) 為刺激物，在不同時距 (-1000, 0, 1000ms) 隨機出現，結果無論刺激出現是相容性 (compatible) 或不相容性 (incompatible)，研究結果發現，在0msec SOA(兩個刺激同時出現)時，錯誤率增加及反應時間變長現象。

綜理回顧有關SOA雙重作業分心效應及PRP效應文獻探討中，大致還可以藉由中央瓶頸模型、容量分享模型、多重資源理論及Rasmussen's SRK 模型等四個模型，解釋其中奧妙之處。

### (1) 中央瓶頸模型 (Central-Bottleneck model, CB)

中央瓶頸模型認為執行雙重作業時，受試者從接受刺激開始到反應，將歷經了感官知覺、反應選擇及反應三階段。而研究學者認為人類不同之認知歷程都會形成瓶頸的可能性。Welford(1952) 提出瓶頸產生位置是在反應選擇階段，若作業中包含兩個不同向度之刺激（如視覺與聽覺）或兩個不同向度反應（如手動與口說），就會在作業歷程中產生瓶頸。依Welford(1952,1980) 實驗結果，排除瓶頸位於知覺階段與反應產生階段。依據學者Pashler(1994) 研究結果，提出瓶頸模型假設，認為「不同間距 (SOA) 的刺激與作業二應該不會影響到作業一之反應時間，而且中央資源在處理反應選擇階段時，僅能處理一項作業，所以，執行雙重作業，所採取策略是先到先處理原則，而導致其他作業延遲」（如圖2.1(a)所示）。換言之，依據中央瓶頸模型，人類解決問題及心智活動是依串聯概念，而不能並聯平行處理，且受到中央容量的限制 (McCann & Johnston, 1992; Pashler & Johnston, 1998)。研究學者Ruthruff et al. (2003) 亦有相同的論點，從研究結果指出，大部份受試者專注於作業一，而會產生中央瓶頸現象，這結果也許是策略選擇而不是結構性的限制。

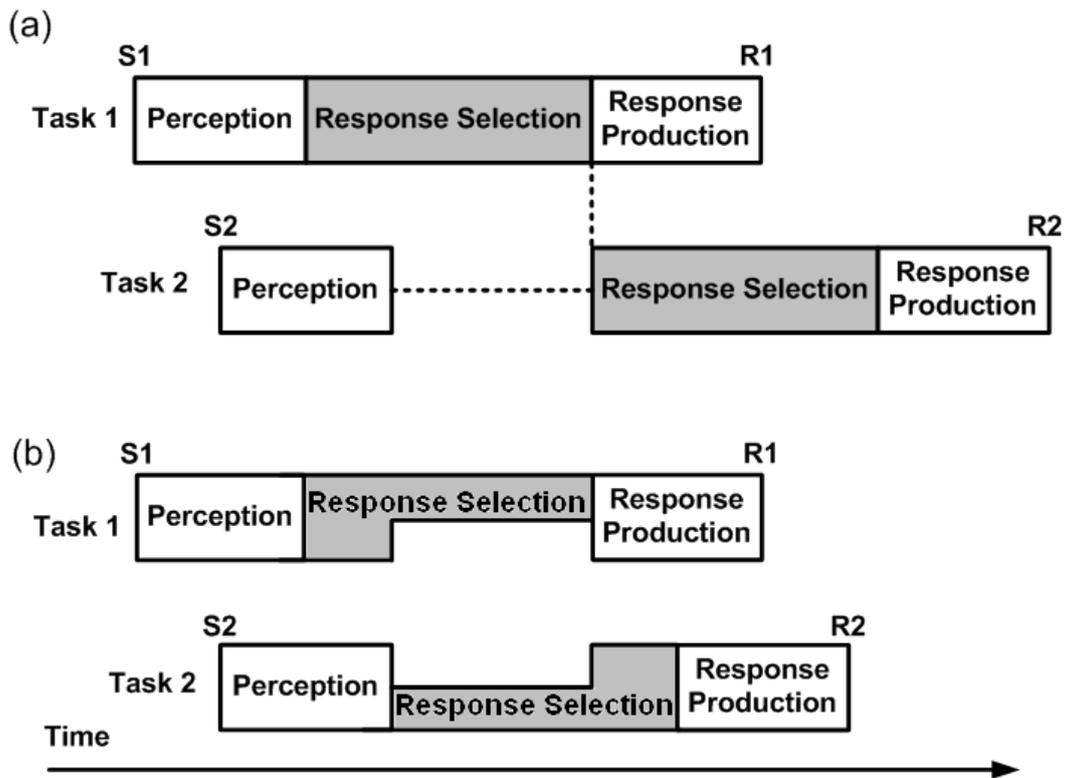


圖 2.1 中央瓶頸模型及資源分享模型示意圖。(a) 中央瓶頸模型 (Central-Bottleneck model, CB) 示意圖；(b) 資源分享模型 (graded capacity-sharing model) 示意圖。S 代表刺激 (stimulus)；R 代表反應 (response)。

## (2) 資源分享模型 (graded capacity-sharing model)

資源分享模型認為在執行反應階段，可以使用並聯平行方式處理 (如圖 2.1(b) 所示)。由於受到資源有限的限制，在認知處理階段，雙重作業 (dual-task) 狀況反應時間大於單一作業 (single task) 反應時間 (Pashler, 1994)。換言之，反應時間與所使用資源具有負相關，即使用越多資源反應時間越快 (Kahneman, 1973；McLeod, 1977；Wickens, 1980)。此模式認為造成反應時間延遲的原因，是受到資源容量分配比例不均的影響 (Navon & Miller, 2002; Tombu & Jolicoeur, 2003)。研

究學者Tombu and Jolicoeur(2003)及Jiang(2004) 認為雙重 (或多重) 作業認知處理是屬於資源分享模式，人類可以同時對多種的刺激作反應，其反應時間的差異原因是在於資源分享不同所致，而認知資源亦受到不同時距 (SOA) 刺激的影響。

### (3) 多重資源理論 (multiple resources)

依據研究學者Wickens and Holland (2000) 研究指出，分時 (timing) 作業效率可能受二個作業，使用不同的資源需求及使用不同的物理及認知結構影響，而工作負荷 (workload) 是受到作業需求競爭相同資源所影響。為了說明這現象，研究學者Parkes and Coleman (1990) 就雙重作業中輸入視覺及聽覺形式進行研究，實驗結果指出，使用分離注意力視/聽覺混合輸入 (cross-modal) 方式比二視/二聽覺管道輸入 (intra-modal) 績效好，及降低一般干擾及混亂 (confusion) 問題。Violanti and Marshall (1996) 研究指出，在駕駛者模擬器中發現道路導覽說明作業，聽覺比視覺表現績效好，而駕駛者使用手機導致意外事故的增加。簡言之，二個作業使用相同的資源，則分心的干擾程度將受到使用資訊相似性影響 (Wickens & Hollands,2000)。研究學者Lansdown et al. (2004) 研究結果發現，在執行車內多樣化的次要作業(如衛星導航，行動電話)對於開車績效及心智負荷有不利的影響 (例如分心及不注意)，尤其車輛在高速行駛下，又要操控次要作業，

注意力是格外重要。因此，執行雙重作業對於開車績效有重大的影響。

#### (4) 技能、規則及知識模型 (skill, rule, and knowledge, SRK model)

許多研究學者指出駕駛者行為存在不同認知水準 (Rasmussen, 1987; Ranney, 1994; Wickens Gordon & Lui, 1997; Wester, 2008)。

Wester, Böcker, Volkerts, Verster, and Kenemans (2008)引述Rasmussen SRK model，探討人類認知控制，區分為技能、規則、及知識等三種模型 (SRK model)，對照於開車行為中，技能基礎行為 (Skill-based behavior) 如開車自動化或潛意識反應、維持車道線行駛控制、追蹤或導引 (tracking or guiding)；規則基礎行為 (rule-based behavior) 為套用陳規的活動，當駕駛者熟悉開車作業，但是缺乏廣泛汽車原理的經驗，例如車輛操控。知識基礎行為 (knowledge-based behavior) 為情境是新穎 (novel)，人類無法依據過去經驗進行決策，而分析過程中使用概念性資訊 (conceptual information)，例如為道路規劃、問題解決與決策 (problem solving or decision-making) 及活動規劃。

#### 2.2.2 工作負荷

依據Gartner and Murphy (1979)研究指出，工作負荷被定義為作業的要求、努力(effort)、活動(activity)或成果(accomplishment)。一般而言，衡量在各種壓力下，而影響人類操控績效表現，稱為工作負荷 (Weiner, 1982)。工作負荷是一個重要的整合性概念，它決定了人

類操控複雜系統的能力，且被定義為人類執行訊息處理資源總量，其關係著駕駛者績效、生產力、心智資源及注意力的配置 (DeWaard, 1996; Wickens & Hollands, 2000)。工作負荷經常被認為是反映人類付出有限容量訊息處理資源，以維持在規範內執行任務，因此，工作負荷是人類能力及任務的要求的函數(Gopher & Donchin, 1986)。大多數工作負荷量測的設計盡可能是將剩餘能力(residual capacity)用於超負荷區域。若不是，則將剩餘能力使用於次要作業，而不是主要作業 (Tsang & Vidulich, 2006; Gawron, 2008; Wickens, 2008)。簡言之，工作負荷視為某一作業對個體的資訊處理需求之可測數值，並與個體可用的資源量與作業情況所要求的資源量之間的差異有關。有關工作負荷(或心智負荷)說明如下：



(1)工作負荷測量可透過績效或主觀的評估，而工作負荷量測已經被用來衡量主要或次要作業績效。主要工作績效衡量，其基本假設為當工作負荷增加，愈是複雜的工作，而所需的額外的處理作業績效會降低，因此反應工作負荷愈高，至於工作績效常以反應時間及錯誤率次數來表示之。次要作業績效衡量，其理論基礎為受限於人類訊息處理能力，若主要工作已使用所有資源，則次要工作績效變差 (黃雪玲, 2007)。依據Hart and Wickens (1990) 說明心智工作負荷是用來描述人類於人機互動系統完成作業要求的成

本。這成本反應在人類注意力與認知影響，而所造成無法如期完成活動，導致情緒緊張、疲勞、或工作績效下降等現象。

(2)以量化的方式將心智負荷簡單定義為：執行一作業所需時間 (Time require) 除以執行該作業可使用時間 (Time available)，當比值大於 1 時，為高負荷(Sanders & McCormick, 1993; Meijman & O'Hanlon, 1984; 林彥輝, 2002)。

(3)依據 Casali and Wiereille (1984)摘錄先前研究學者關於各種工作負荷在知覺 (perceptual)、調解 (mediation)、溝通 (communication) 及動作 (motor) 等作業上的敏感度時，在這四種量測中發現反應時間(response time, RT) 是最重要的衡量指標。因此，本研究一、二將以 RT 為相依變數。



### 2.2.3 數學運算與工作負荷

數學運算與工作記憶 (working memory, WM) 有關，即使是一位數簡單的運算，而 WM 包含臨時儲存及處理過程及心智活動，其處理過程及結構是由複雜認知建構而成 (Baddeley, 1986, 1990; DeStefano & LeFevre, 2004; Campbell, 2005)。而研究學者 Baddeley 提出多重工作記憶要素 (multicomponent model of working memory) 與執行數學計算作業有關，該工作記憶包含了中央執行 (central executive)，語音迴路 (phonological loop)，及視覺貯存部門

(visual-spatial sketchpad) 等三部分 (Baddeley, 1986, 1990, 2000; DeStefano & LeFevre, 2004)。而中央執行資源承擔活動的規劃及順序，控管每一處理資訊過程、資訊儲存及練習，是注意力資源的另一型式；而語音迴路部門功能是維持以說話基礎的資訊；視覺貯存部門功能是維持視覺及空間資訊 (DeStefano & LeFevre, 2004)。簡言之，數學計算與工作負荷存著正向關係。而工作負荷與下列駕駛作業型態有密切關係：例如駕駛者邊開車邊講手機的工作記憶作業 (Alm & Nilsson, 1995; Briem & Hedman, 1995)、駕駛者注意力作業 (DeWaard, 1996; Wickens and Hollands, 2000)、數學心算作業 (mental arithmetic tasks) 及推理作業 (reasoning tasks) (McKnight & McKnight, 1993)。

綜整文獻回顧將有下列四種效應，會影響到數學計算績效及工作負荷。

#### (1) 問題大小 (problem-size) 又稱困難度效應 (difficulty effect)

運算式結構及運算域與數學運算反應時間及正確率有關 (LeFevre & Bisanz, 1996)，而多位數 (multiple digits) 的運算將與工作記憶系統產生交互作用，而編碼複雜度亦隨計算位數增加而增加 (DeStefano & LeFevre, 2004)。例如多位數計算 (multidigit problems) 計算過程中，因為計算位數增加，其中還包含了進位或借位 (carrying or borrowing) 等複雜計算過程，所以，多位數計算比個位數計算問題

(Single-digit problems) 須使用更多工作記憶量、計算反應時間變長及錯誤增加等現象 (Ashcraft, 1992; Fevre, & Bisanz, 1996; Furst & Hitch, 2000; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000, 2002; Ashcraft & Kirk, 2001; DeStefa & LeFevre, 2004)。

#### (2) 分散效應 (split effect)

當計算結果值愈接近正確答案，比計算結果值遠離正確答案值，在判斷上更困難，例如  $1+2=4$  與  $1+2=11$  比較 (Zbrodoff & Logan, 1990)。

#### (3) 聯想混亂 (associative confusion) 或干擾效應 (interference effect)

因為運算符號所產生聯想效應，導致將錯誤答案誤判為正確，造成錯誤率增加及反應時間變長，例如  $7+5=35$  與  $7\times 5=12$  (LeFevre & Kulak, 1994; Lemaire, Barrett, Fayol, & Abdi, 1994; Imbo, Vandierendonck, & Vergauwe, 1999)。

#### (4) 奇偶數效應 (odd-even effect)

當正確答案是奇數 (偶數)，受試者會花費較長時間去拒絕錯誤答案是奇數 (偶數) (Krueger, 1986)。

### 2.2.4 開車與數學計算作業

一般而言，次要數學計算作業是透過視覺或聽覺，要求受試者回答有關數學加、減、乘及除 (addition, subtraction, multiplication,

and division) 的計算問題，而變數分析數據資料，是以正確反應次數、平均正確反應時間及錯誤反應次數 (Gawron, 2000)，其研究優勢是可以判斷工作負荷高低情形，依研究學者 Green and Flux (1977) 於飛行模擬器要求受試者進行加法實驗，實驗結果指出，次要作業反應時間增加，主要作業 (primary task) 的工作負荷增加。此外，研究學者 Kramer, Wickens, and Donchin (1983) 於實驗室要求受試者進行主要作業(追蹤目標物)及次要作業(計數閃爍次數)的實驗，研究結果指出，當受試者執行次要作業是計數閃爍次數時，而在主要作業的追蹤錯誤 (tracking error) 明顯增加。

研究學者 Harbluk, Noy, Trbovich, and Eizenman (2007) 於城市道路實際開車實驗，計有 21 位受試者執行數學加法計算認知作業，獨立變項為認知作業、視覺行為及車輛控制，而認知作業分為三個狀況分別為簡單作業 (例如  $6 + 9$ )、困難作業 (例如  $47 + 38$ ) 及沒有數學計算作業；而視覺注視行為分為中央及週邊區域 (central or peripheral areas)；車輛控制為煞車行為 (braking behavior)。使用行動電話回答問題，並由錄音回答的答案。實驗結果證實，執行困難作業中將會產生更多的煞車行為、減少方向鏡瞥視、視線集中於中央區域、高分心效應及較高的工作負荷感受等現象。然而，在實地道路情境中進行實驗，外部干擾及變異大，研究待克服之處，例如實驗設計忽略了數學

計算作業的反應時間、正確率、及沒有利用不同時距 (SOA) 進行變項操控等。

綜觀，近年來，眾多研究學者探討雙重作業造成駕駛者分心的重要因素研究中，如次要作業於不同時距出現，對於駕駛者分心/工作負荷是否存在不同程度的影響，尚未經充分探究，爰此，為了要補足尚未探索的領域，本研究主題一之實驗設計，將於虛擬實境場景中，探討次要數學計算作業，在不同時距對於駕駛者分心影響程度，試圖找出彼此因果關係。

### 2.3 提醒駕駛者注意力之警示音回饋

本研究了解駕駛者分心/心智負荷的背後可能原因之後，接下來的研究主題二文獻回顧，將思考如何整合研究學者，有關警示類型的研究文獻回顧，擷取其有效警示音回饋之研究結果，並試圖從提出有效的警示類型與方式，配合虛擬實境場景及動態駕駛平台之實驗設計，以探討提醒駕駛者注意力的警示音回饋研究。

#### 2.3.1 各種警告類型

一般警告顯示方式大致可分為視覺、聽覺及觸覺等三種：

##### (1) 視覺警示

在複雜的目標物間作業，為了提升工作績效，除了從視覺信號大

小、亮度、顏色及閃爍等特徵突顯性 (saliency) 改變外，其資訊內容擺放位置應該在最顯著的區域，應避免在顯示器的邊角 (edge effort) (Wickens, et al., 1997)。依據美國汽車工程師學會 (Society of Automotive Engineers, SAE) 標準 J2395 及 J2400 規定，為了避免車內顯示器呈現資訊量，超過駕駛者可接受訊息的負荷量，所以視覺顯示應該以安全相關性 (safety relevance)、駕駛操控相關性 (operational relevance) 與時間緊急性 (timing frame) 三個層次來建立資訊的優先順序指標。若視覺資訊內容具有警示資訊時，則不能單獨以視覺方式呈現，以免駕駛者忽略重要警示資訊而發生危險。

## (2) 聽覺警示



許多研究學者認為在警示功能上，聽覺優於視覺及觸覺的特點。研究學者Sanders and McCormick (1987) 研究指出，聽覺訊息優於視覺，而且是最有效的，因為警告聲音有下列特點：訊息單純、簡短、時效性及即時性，適用於視覺負荷過重時使用。研究學者Edworthy and Stanton's (1995) 研究指出，聽覺警告訊號能改善工作績效及降低意外，而且優點大於視覺。研究學者Wickens, Lee, Liu and Grodon-Becker (2004) 研究指出，在各種警告顯示中，建議使用最顯著的聽覺警示，因為聽覺具備全方位 (omnibearing) 特徵，在四面八方都可以聽到，並提出下列警告聲音的設計原則，分別為：警報必須在吵雜環境能被

聽到、警報不應超過聽力 85~90dBHL 聲壓水準、警報不要突然間驚嚇(startling)、及聽到警報後，讓人類瞭解其指示 (Wickens, et al., 2004)。

### (3) 觸覺警示

適用於視覺及聽覺系統已負荷過重情況下才使用，並用於間斷性刺激傳送 (Standers & McCormick, 1998)，例如在駕駛者座椅背及方向盤震動警示。

近年來，警告聲音也常被應用實際生活中，例如車尾避免碰撞系統 (Rear-end collision avoidance systems, RECASs)、車輛避免碰撞系統 (In-Vehicle Collision Avoidance Warning System, IVCAWS)，使用警告聲提醒駕駛者，避免碰撞事件發生。而隨著車輛運輸整合系統 (intelligent transportation systems, ITS) 發展，車內視覺資訊顯示勢必大量增加，容易造成駕駛者注意力資源的競爭及視覺模式超負荷情事，所以，利用聽覺警示是最具有潛在優勢 (Belz, Robinson, & Casali, 1999)。研究學者 Lin, Chen, Huang, Chiu, Ko, Liang, et al. (2008) 利用腦電波人腦介面系統 (Electroencephalogram based Brain computer Interface system, EEG-based BCI system) 及生物回饋技術，當偵測到駕駛者有瞌睡及分心情況時，警告系統自動發出 1,750Hz 警示音提醒駕駛者，以提升駕駛者開車績效及安全性。

綜合上述，在疲勞、注意力不集中或瞌睡狀況下，以警示音回饋警告駕駛者，可以改善開車績效及降低意外事件。

### 2.3.2 警示音特性

許多研究報告指出，警示音能夠改善工作績效並引起受試者的注意力 (Parasuraman, Hancock, & Olofinboba, 1997; Lee et al., 2002)。相似的研究，在模擬駕駛場景探討警示音效果，經研究證實，警示音可以維持駕駛者注意力 (Belz, Robinson, & Casali, 1999; Lee, McGehee, Brown, & Reyes, 2002)，另外研究學者Belz et al. (1999) 及 Graham (1999) 研究指出，聽覺警示對於防止與前車碰撞，煞車之反應時間有明顯績效。



一般而言，在真實駕駛環境，聽覺語意警告信號能夠有效捕收到駕駛者的注意力，尤其能夠明確判斷緊急況的各種類型，例如警告信號類型能夠說出簡短的語音，如注意前後方來車 (caution in front or back) 提醒駕駛者。而研究學者Graham (1999) 於駕駛模擬場景中，探討抽象警告聲音對於駕駛者的績效，實驗設計二個獨立變數，分別為聽覺圖示 (auditory icons)，如汽車警笛及輪胎煞車聲，及語意警示，如前方 (ahead) 警告聲，相依變數為煞車反應時間。研究結果證實，聽覺警示比語意警示反應時間有顯著的差異，警告圖示反應時間比較快。因為聽覺圖示比語意警告更容易學習，而語言需要高度記憶

與學習(Ian Noy, 1998)。經由駕駛者主觀反應，於實驗過程中對於聽覺圖示警示音感到身體不適的反應。若能調整或改變聽覺圖示聲音屬性，則能更符合使用者為中心的設計。

研究學者Gupta, Bisantz, and Singh (2002)，探討駕駛者對警報信號反應效果，利用警示系統模擬感知路面和天氣情況，並利用警告聲警示路面會導致車輛滑行及危險事故，在虛擬駕駛環境中，設計三個變項，分別為警報敏感性（高或低）、聽覺警示信號 (binary on/off and graded) 及控制組（沒有警告音）。研究結果指出，駕駛者於警報信號低敏感性及graded狀況下比其他狀況較少滑行，而graded警告信號具有較好績效。



綜合上述，警示音類型將會影響警示效能。而獨特警示類型如改變警告信號頻率、強度、期間、重複比率等參數，將可以更有效率維持駕駛者清醒程度及降低意外。然而，很少研究能夠系統化及廣泛的評估警告聲音的特性，所以，本研究主題二的主要目的是探討當行駛於單調、無聊、景色變化少的道路環境，導致影響駕駛者疲勞、注意力不集中、瞌睡或行為反應時間變慢，當系統偵測有上述情事者，系統立即給予警示音回饋以提醒駕駛者注意力。

## 2.4 心智負荷及警示音回饋之生理訊號

### 2.4.1 大腦結構

大腦是由許多神經元(Neuron)、及伴隨的神經細胞(如樹狀突(dendrites)、細胞體(cell body)、軸突(axon)、軸突末端(axon terminals)等)排列而成，這些神經細胞能接受各方感覺訊息，並指揮神經元及執行其他更高階的腦功能。而細胞體提供能源，構成大腦灰質，樹突接收來自其他神經元的訊號，再由軸突將訊號傳給另一神經元，大腦透過網絡聯繫，造就人類表現的行為。而大腦皮質(neocortex)主要負責高層次的心智處理。大腦皮質區分額葉(frontal lobe)、頂葉(parietal lobe)、顳葉(temporal lobe)、枕葉(occipital lobe)等四個腦葉區域，腦區不同的功能(如圖2.2、表2.1及所示)，有助於釐清人類行為從刺激、反應與執行等複雜的認知歷程大腦活化區域分布，以提供人類心智活動相對應的腦區定位(Perez Velazquez & Wennberg, 2009)。

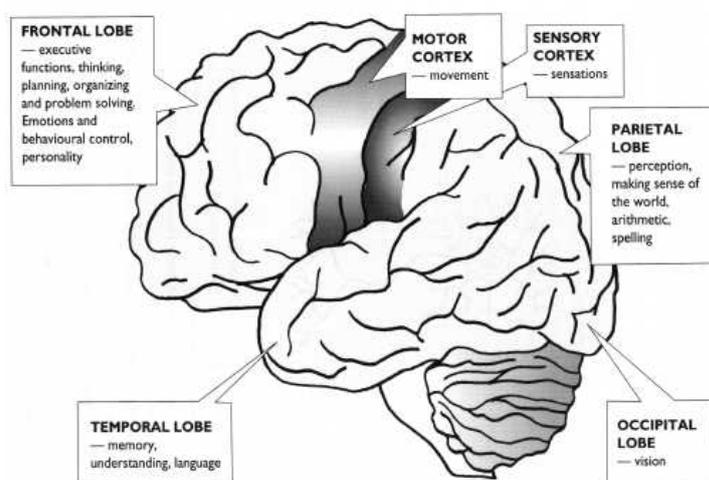
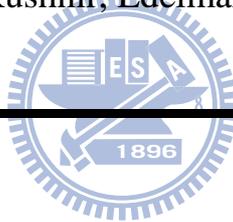


圖 2.2 大腦側視圖

表 2.1 人類四大腦葉功能

腦葉區域	功 能
額葉	人類重要認知活動區，例如思考判斷與推理、負責執行功能(executive function)、注意力、記憶、情緒及某些語言有關(Chayer & Freedman, 2001)。
頂葉	與空間知覺與轉換(Spatial transformations)及感官功能有關(Sowell, Thompson, Holmes, Jernigan, & Toga, 1999; Pouget, & Sejnowski, 1997)。
顳葉	與聽覺刺激辨識、語言處理過程及記憶有關。(Sowell, Thompson, Holmes, Jernigan, & Toga, 1999; Sternberg, 2003; Squire, Stark, & Clark, 2004; Hallahan et al., 2005)
枕葉	與視覺相關功能有關 (Grill-Spector, Kushnir, Edelman, Itzchak, & Malach, 1998; Carter, 2002)。



## 2.4.2 腦電圖

大腦皮質神經細胞之電位，可以經由黏貼於受試者頭皮的電極紀錄獲得，這些微弱的電位經過放大器處理，此波形即為腦電圖。1929年，德國耶拿(Jena)精神科醫師Hans Berger發表第一篇關於人類的腦波記錄的研究論文，並命名為腦電圖(Electroencephalogram, EEG)，研究發現當受試者進行心算作業時，會記錄到一種腦電波-- $\alpha$ 波，有節律減少的現象。人體中樞神經系統的神經元活動電位(Action Potential)主要是藉由與鈉、鉀、鈣等離子相關離子通道的開閉來傳遞電訊號，這些離子通道的開閉使得神經元本身在傳遞電訊號的短暫過程中形

成一處微小電場。神經元藉由改變其細胞膜對帶電離子穿透性的方式傳遞訊號，而這個過程會沿著細胞膜產生電流。當一大群規則排列的神經元同時活動時，伴隨電流所產生的電場變化可以在頭皮上加以量測，所得電訊號便是腦電波。簡言之，腦電波是由腦細胞所產生的生物能源，或者是腦細胞活動的節奏。經過幾年的研究結果顯示 (Falkenstein, 1991; Makeig et al., 1993-2002; Klopp et al., 2000)，研究者可以透過腦波EEG 訊號的量測分析可以得知使用者的精神狀態，綜理上述等原因，本研究將對於雙重作業下駕駛人之心智負荷的腦電波反應進行分析研究。

### 2.4.3 腦波分類及生理意義



根據EEG可依頻率及振幅分為Delta波頻帶( $\delta$ ，4Hz以下)、Theta波頻帶( $\theta$ ，4~8Hz)、Alpha波頻帶( $\alpha$ ，8~13Hz)、Beta波頻帶( $\beta$ ，大於13Hz)等4種頻帶特性(Fisch, 1991; 曾坤章, 2010)，其說明如下：

#### (1) Delta波頻帶( $\delta$ ，4Hz以下)

$\delta$ 波是深睡作夢、深度冥想時出現，亦可以從深層的意識障礙或腫瘤疾病看出。它是屬於「無意識層面」的頻帶、第六感直覺的來源及意識的雷達網。

#### (2) Theta波頻帶( $\theta$ ，4~8Hz)

當人進入睡眠階段會出現低振幅的 $\theta$ 波。它是屬於「潛意識層面」

的頻帶、與記憶、知覺和情緒有關及與態度及期望有關。

### (3) Alpha波頻帶( $\alpha$ ，8~13Hz)

$\alpha$ 波是在安靜閉眼時，就會出顯著出現，而開眼時就減少或消失。通常分佈位置在腦部後方，它是「意識與潛意識層面」之間的介面、與想像力有關及與身體放鬆有關。

### (4) Beta波頻帶( $\beta$ ，大於13Hz)

$\beta$ 波在正常成人閉眼時，於大腦前半部都會出現；當睜開眼睛時，於大腦後半部會出現。這種腦波是入眠時或服用與中樞神經藥有關。它是屬於「意識層面」的頻帶、與智力有關、與思考、計算、推理有關及清醒及解決問題有關。



## 2.4.4 生理訊號量測

一般研究駕駛者警覺性常使用之生理訊號，大致包括了心電圖 (electrocardiograph, ECG)、EOG或EEG。而心搏率(Heart Rate)和心率變異(Heart Rate Variability, HRV)是來自心電圖訊號，容易受個體的心理和生理條件影響，因此，ECG對於偵測駕駛者警覺性並不是很好的衡量指標。實驗室相關研究使用EOG訊號為衡量駕駛者警覺性指標，例如駕駛者警覺性隨著眨眼次數下降而降低(Van-Orden, Jung, & Makeig, 2000)。然而，EOG訊號分析所使用時間視窗(time window)大約240秒，這段時間太長了，以至於不能真正應用於駕駛者警覺性

之警示回饋系統。因此， EEG訊號可以不受平均時間視窗之限制。所以， EEG 訊息是目前偵測駕駛者警覺性最好的方法(Chen, 2009)。Schier(2000)於虛擬實境執行駕駛作業(方向盤、腳踩踏板排檔等作業控制)，以EEG技術量測腦殼(P3, P4, F3, F4)等4位置之腦波變化情形，研究結果顯示從動態駕駛作業與靜態駕駛作業， $\alpha$ (Alpha)波有顯著的變化，並提及於開車複雜作業中，使用EEG量測方法是很好的選擇。

#### 2.4.5 雙重作業與生理訊號

對於神經生理方面的研究調查，一些文獻集中在於大腦分散注意力(divided attention)活動，係指分散注意力同時執行兩個或兩個以上資訊來源，例如視覺，聽覺，形狀和顏色刺激。依Madden, Turkington, Provenzale, Hawk, Hoffman, and Coleman (1997)研究執行分散注意力於顯示器之視覺顯示大腦活動，實驗結果顯示於枕顳葉腦區(occipitoparietal)及前額葉腦區(prefrontal regions)之腦中各區域的血流量(Regional cerebral blood flow, rCBF)有活化現象。Koechlin, Basso, Pietrini, Panzer, and Grafman (1999)使用功能性磁共振造影(functional magnetic resonance imaging; fMRI)技術運用於執行雙重作業(視覺刺激)下大腦動態研究，研究結果發現於在後側前額葉皮質(dorsolateral prefrontal cortex)及頂葉側面皮質(lateral parietal cortex)有活化現象。

相類似研究，Deiber, Missonnier, Bertrand, Gold, Fazio-Costa, Ibañez, et al. (2007) 使用EEG技術探討數學計算與心智負荷關係，研究結果發現當心智負荷增加時，在額葉腦區之 $\theta$ 頻帶(theta band)能量增加。依Lin (2008)研究指出，使用EEG技術運用於執行雙重作業下之駕駛績效與數學計算心智負荷之相關，是值得研究議題。

#### 2.4.6 警示音回饋與生理訊號

相關研究指出，人類的注意力變化會引起大腦從枕葉腦區的神經活動。當人的注意力不集中時會造成工作績效下降，並於枕葉腦區可觀察到 $\alpha$ 波(8-12 Hz)及 $\theta$ 波(4-7 Hz)的能量都有增加趨勢 (Schier, 2000; Lin, Wu, Jung, Liang, and Huang, 2005; Lin, Pal, Chuang, Jung, Ko, and Liang, 2008; Horne & Baulk, 2004; Reyner & Horn, 2000; Lal & Craig, 2002)。此外，Marlcand (1990)研究亦指出當人處於疲勞及注意不集中狀態，於可觀察到生理訊號 $\alpha$ 波與 $\theta$ 波增加，及 $\beta$ (Beta)波減少現象。除此之外，於駕駛作業模擬下亦可觀察到人類的大腦動態變化有相同的結果(Chen, 2009)。在受試者從清醒狀態到中度程度昏睡狀態的過程中，枕葉腦區的能量會以線性趨勢增加，而 $\alpha$ 波能量(alpha power)增加到一定的程度後維持高度水準及輕微減少。此外，當受試者從當人類清醒狀態到重度程度昏睡狀態，於枕葉腦區的 $\theta$ 波能量(theta power)呈現單調遞增現象(Jeng, 2007)。

### 第三章 雙重作業下駕駛者分心/心智負荷研究

本章節針對研究主題一：雙重作業下駕駛者分心/心智負荷研究進行探討。本研究於實驗情境因素「車輛偏移 (car deviation)」與「數學計算 (answering math equations)」，操弄不同時距(SOA)的變化，使駕駛者的決策反應情境產生不同的困難度。當駕駛者面對不同困難程度的決策反應環境時，其「方向盤控制 (wheel steering control)」與「心智負荷 (mental workload)」將受到改變，最後影響駕駛者分心/心智負荷程度。承如上述，本研究之研究模型如下圖所示：

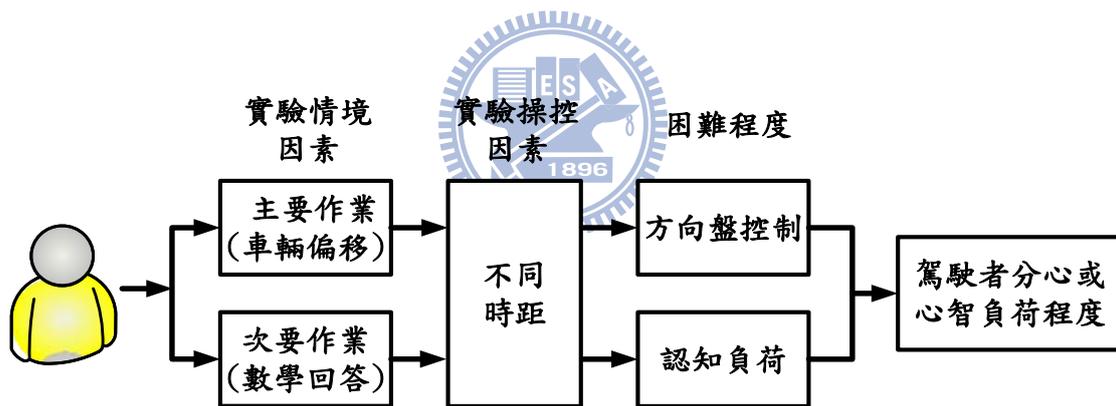


圖 3.1 研究一之假說模式

在「車輛偏移」方面，雖然相關的研究已說明會影響到駕駛者決策行為與績效，但是並未探討偏移對於在不同時距中對於駕駛者分心的影響。造成車輛偏移現象，也許是駕駛者疲勞、不注意力不集中、或瞌睡、車輛機械結構或道路不平等因素所致，其作業的優先權重順序與一般作業不同，在雙重作業研究中，此項作業設為主要作業

(primary task)是以行車安全導向為主(Huang, Jung, & Makeig, 2007; Lin., et al., 2008)。

在「數學作業」方面，過去研究也發現，數學計算工作負荷隨著問題大小 (problem-size) (LeFevre & Bisanz, 1996)、分散效應 (split effect) (Zbrodoff & Logan, 1990)、聯想混亂效應 (associative confusion) (Le Fevre & Kulak, 1994; Lemaire, Barrett, Fayol, & Abdi, 1994; Imbo, et al.,1999) 及奇偶數效應 (odd-even effect) (Krueger, 1986) 等因素影響，為了避免實驗自變數操控變異而產生混淆，所以，本研究僅使用數學加法為計算元，而不使用減法、乘法及除法，數學計算作業屬工作負荷有關，在雙重作業研究中，此項作業設為次要作業 (secondary task)。



前述的車輛偏移與數學計算等二項作業，隨著不同時距的操控，將會影響駕駛者在決策反應過程中之困難程度，進而使駕駛者產生不同程度的分心/工作負荷。過去的研究指出，決策環境的改變，會對決策者造成不同程度之認知負荷。當作業愈複雜時，決策者在進行時須要耗費較大的認知負荷 (Campbell, 1988)。對於數學計算而言，在有限時間資源內進行決策反應，會影響駕駛者的認知能力，進而造成決策判斷的複雜性提高。

### 3.1 研究方法

#### 3.1.1 受測者

25 位大學部與研究所受測者參與實驗，受試者平均年齡 26.2 歲（標準差 2.9）。為了有效控制實驗變異及降低外在因素對實驗的影響，所以，參與受試者都是本校的學生，所有受試者都是領有駕駛執照且有一年以上的開車經驗，而且要求參與受試者視力正常或經矯正過後正常者，不能有生理及心理的疾病。除此之外，為了控制實驗數據之品質，本研究要求受測者於實驗前一天睡眠要充足、不得服用藥物、酒及咖啡等刺激性物品，以避免影響實驗結果。受試者接受測試以前，須先填寫基本資料，實驗完成後付實驗費用 NT 500 元。

#### 3.1.2 實驗設備

虛擬實境駕駛場景 (virtual reality based driving environment) 的建構是運用 Sense8 公司所發展之函示庫 WTK (World ToolKit Release 7) 建立而成，駕駛車輛之姿態透過網路傳給控制六軸平台之控制電腦，控制電腦運用逆向運動學將六軸姿態轉換成平台六軸腳長，再控制油壓伺服器使平台呈現虛擬車輛之姿態 (Lin et al., 2005)。

在 3D 立體環場顯示的建構上，本實驗室運用 7 台電腦連線加上 7 台投影機投射而成一個 3D 立體環繞虛擬空間，中間主要的視覺範

圍為利用上下二台 G5 投影機加上偏光鏡頭及 3D 投影屏幕所構成之 3D 立體場景。其它五台投影機分別投向左前、右前、左、右、後的方向，在後方向投影的部分由於場地限制，使用一面鏡子反射投影畫面以加長投影距離，投出的畫面才能符合實際應用大小。每一台投影設備分別由一台電腦控制，電腦之間由網路串連，每個部分投射出的場景，分別是實際量測平台中心到投影屏幕的距離、方位及可視角度，在開發場景中呈現出此參數會投影出的場景，再同步投影建構出此 3D 立體環繞虛擬空間，如圖 3.2 所示。

虛擬實境駕駛場景投影在寬 304.1 公分及高 228.1 公分的螢幕。螢幕至駕駛座之間距離為 350 公分，而虛擬實境駕駛場景設計劃分為 250 單位，分為 4 車道，每一車道寬為 60 單位，車輛寬度為 32 單位。駕駛者需要維持車輛駕駛在第三車道（由左邊數來）的中心點上，車輛時速維持在 100km/hr。駕駛時，每隔 5 至 10 秒將隨機對車子施一向左或向右的偏移，以避免受測者產生預期心理作用。

(a)



(b)



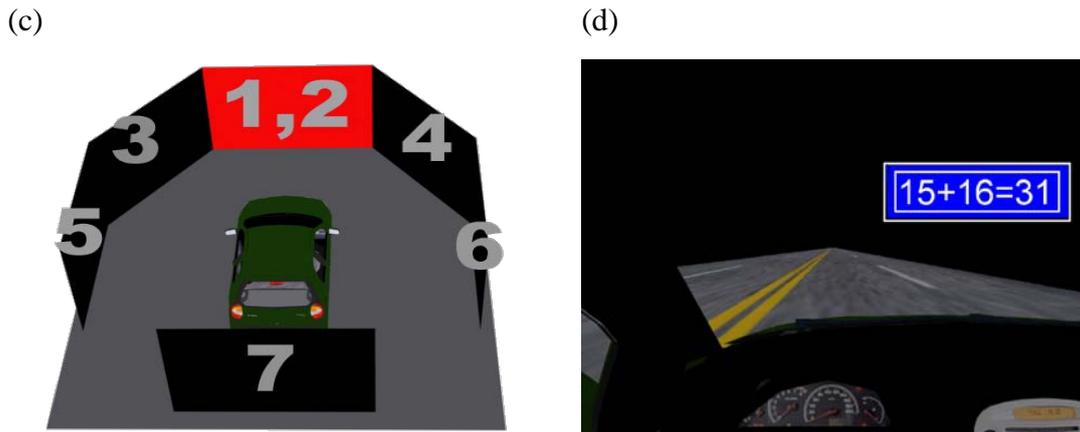


圖 3.2 虛擬實境駕駛場景。(a) 3D 立體動態駕駛平台環境；(b) 六軸動態平台。(c) 俯視虛擬實景；(d) 數學兩位數加法呈現方式。

### 3.1.3 實驗設計

#### 3.1.3.1 自變數

不同時距 (SOA)：-400ms (數學計算式先出現，車輛偏移後出現)、0ms (數學計算式與車輛作移同時出現)、及 400ms (車輛偏移先出現，數學計算式後出現)。

#### 3.1.3.2 依變數

雙重作業與人類資訊處理單元關係，分別為主要作業或稱作業一 (Task 1, car deviation)，主要操控為車輛發生偏移時，受試者必須握方向盤反應使車輛回到第 3 車道，此作業包含了動作技能 (psychomotor skills)。次要作業或稱作業二 (Task 2, answering math equations)，此數學計算包含了複雜心智活動，需要人類工作記憶及中央資訊處理過程。

依變數與開車績效及分心/工作負荷程度有關的變數，分別為

- (1) 與駕駛有關作業：車輛偏移開始至受試者握方向反應止這段期間的反應時間(Huang, Jung, & Makeig, 2007)。
- (2) 工作負荷有關作業：正確回答數學計算之反應時間及回答數學計算錯誤的次數(Lysaght, Hill, Dick, Plamondon, Linton, Wierwille, et al., 1989; Wu & Liu, 2007; 吳宗修, 2003)。

### 3.1.4 實驗程序

本章節將分為行為反應之實驗程序及腦波測定程序等兩節說明。

#### 3.1.4.1 行為反應之實驗程序



本研究要求受試者，務必將車輛維持在第三車道內，當車輛發生有偏移現象時，駕駛者需要利用方向盤轉回第三車道行駛；同時要求受試者執行二項作業(車輛偏移及數學計算)時，儘可能正確且迅速完成它，而此二項作業都是相同重要的。數學計算式答案是正確，受試者判斷數學計算答案是正確時，則按方向盤上右鍵按鈕；數學計算式答案是不正確，受試者判斷數學計算也是不正確時，則按方向盤上左鍵按鈕，以上這二種狀態則算正確反應，其數據列入計算。當數學計算式答案是正確，受試者判斷數學計算答案是不正確，則按方向盤左鍵按鈕；當數學計算式答案是不正確，受試者判斷數學計算答案是正

確，則按方向盤右鍵按鈕，此二種狀態反應，則算是錯誤的反應，其數據不列入計算分析。

整個實驗設計為 4 時段 (session)，而每一時段計約有 22 區塊 (block)，每一區塊包含了 5 個狀態 (conditions)，分別為 3 個雙重作業、1 個車輛偏移單一作業及 1 個數學計算單一作業所組合 (如圖 3.3 所示)。圖 3.3 黑粗線為車輛行駛方向；黑圓圈為偏移開始 (deviation onset)；空心四方形為反應開始 (response onset)；空心圓為反應結束 (deviation offset)；反應時間 (Response time, RT) 定義為偏移開始到握方向盤反應開始的時間期間；M 代表數學式出現，D 代表車輛偏移。這 5 個狀態的刺激都以隨機方式出現，所以，每一時段計有 110 個刺激 ( $1 \text{ session} \times 22 \text{ block} \times 5 \text{ conditions}$ )。而刺激每隔 5 至 10 秒系統自動出現(如圖 3.4)。

受試者實驗前先進行練習 10 分鐘，完成每一時段需要花費 15 分鐘，每完成一時段該受試者休息之 5 分鐘，所以，完成整個實驗將花費約在 85 至 100 分鐘之間。

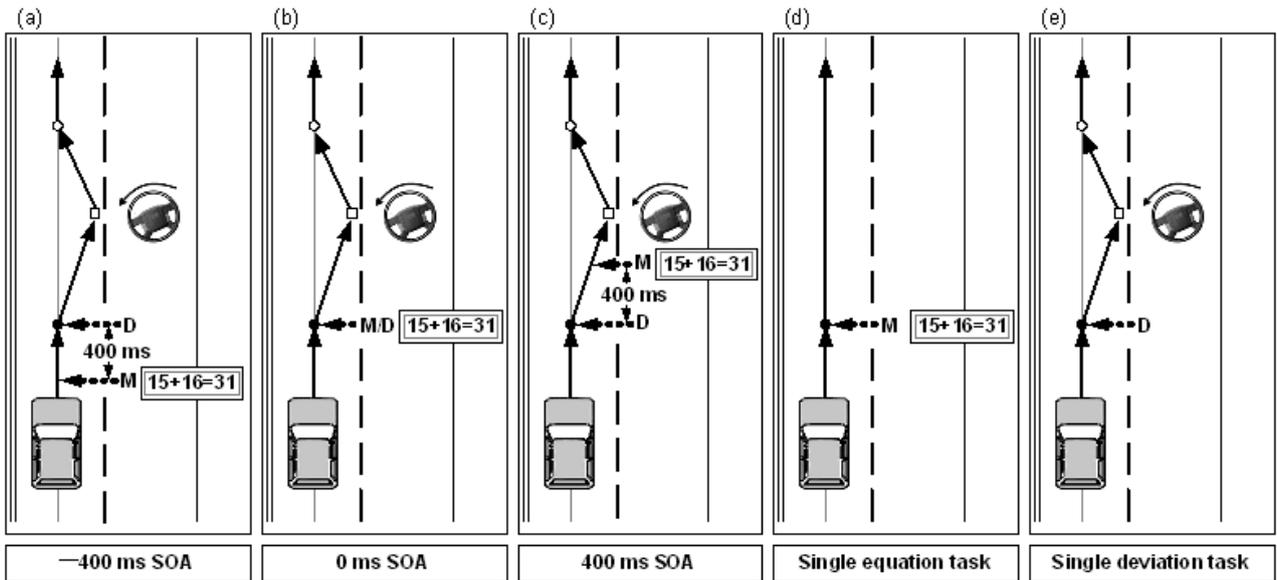


圖3.3 俯視雙重作業及單一作業示意圖。(a) -400ms SOA(數學式先出現，車輛偏移後出現)；(b) 0ms SOA(數學式與車輛偏移同時出現)；(c) 400ms SOA(車輛偏移先出現，數學式後出現)；(d) 單一作業只有數學式；(e) 單一作業只有車輛偏移。

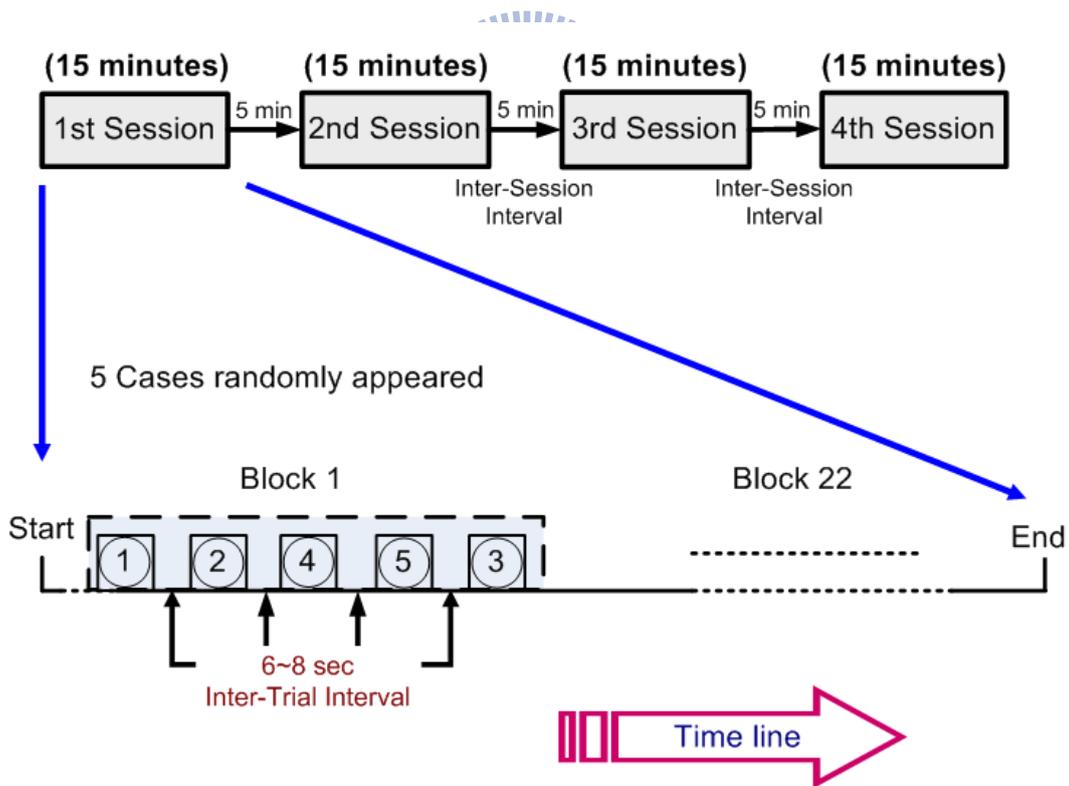


圖 3.4 實驗程序示意圖

### 3.1.4.2 腦波測定程序

#### 1. 腦波測定前準備作業

##### (1) 受測者頭皮處理

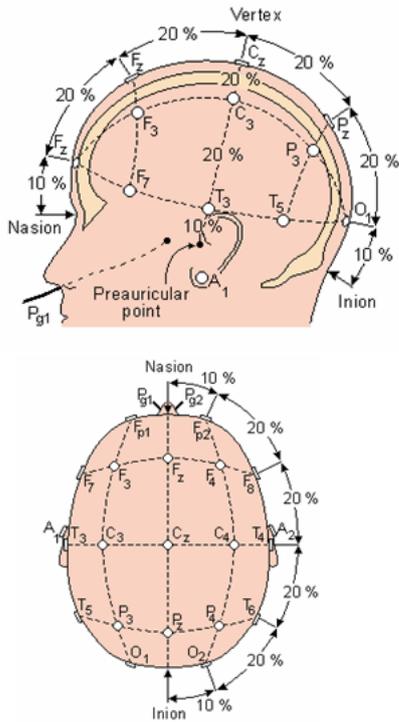
因為人類頭皮分泌油脂，會增加與電極間之電阻，EEG訊號會受到干擾。為了要擷取到優質的腦波記錄，首先須要求受試者在實驗前將頭髮洗乾淨。要黏貼電極的位置，使用棉棒沾磨砂膏揉擦去除油脂及角質。本研究之大腦電極位置則採用「國際10-20標準系統(international 10-20 system)」安置(如圖3.5 (a)所示)，以膠帶貼蓋電極並黏貼於頭皮上或臉部(眼四周)(如圖3.5 (b)所示)。系統中之腦波位置各英文字母各代表不同的大腦分區位置：例如F代表額葉腦區、C代表中央腦區 (central)、T代表顳葉腦區 (temporal)、P 代表頂葉腦區 (parietal)及O 代表枕葉腦區 (occipital)。以注射筒一一灌注導電膠於電極帽上各電極，測量各電極之阻抗(impedance)，使阻抗低於10KΩ。

##### (2) 3D數位定位系統 (3D digitizer system)

3D 數位定位系統(3D digitizer system)進行電極通道(channel)定位，每一位受試者電極帽之通道必須都要定位。當測量了通道的 3D 位置，接下來將傳送器放置在電極蓋帽裡面的 Oz、T3 和 T4 通道之下。在這些設定以後，我們使用探測筆點出每一通道及記錄了 3D 通道定位(如圖 3.6)。完成定位之後，電極帽不可以任意移動。3D 數位

定位背後的目的，是提供分析 EEG 腦波訊號來源位置的依據。

(a)



(b)



圖 3.5 腦波電極帽示意圖。(a) 國際 10-20 標準系統；(b) 完成穿戴腦波電極帽。

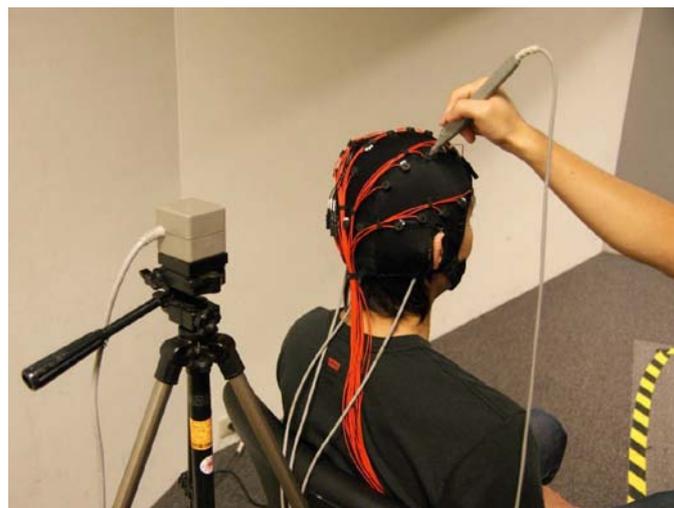


圖 3.6 3D 數位定位操作示意圖

## 2. EEG訊號處理 (Lin, et al., 2007, 2008)

完成腦波測定前準備作業之後，接下來，則需進行一連串EEG訊號處理過程，其每一步驟流程(如圖3.7所示)。

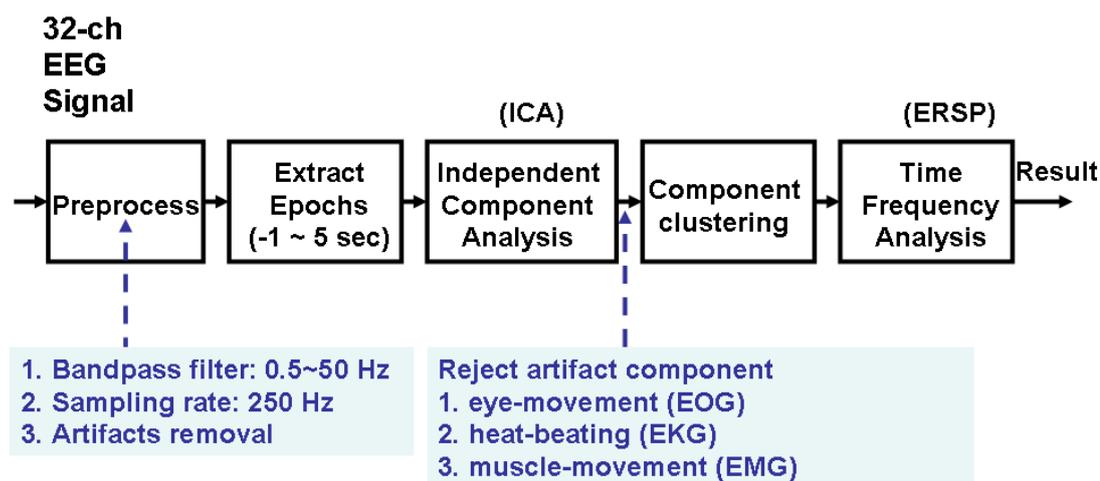


圖 3.7 EEG 訊號處理

### (1) 前處理 (preprocess)

#### A. 濾波帶通 (filter Band)

本濾波帶通範圍是0.5到50Hz，並使用notch filter 選擇性的過濾60Hz 的訊號(非生物訊號)。

#### B. 類比轉換數位信號取樣率(sampling rate)

根據Nyquist 標準取樣率，必須至少是訊號中最高頻率的兩倍大，本研究是以250 Hz為取樣頻率。

#### C. 雜訊去除 (artifacts removal)

去除眼動、心跳、肌肉活動、線路頻率60Hz及其他等雜訊。

## (2) 腦波資料切段 (epoch)

為了擷取不同的 case 腦波資料，所以，本研究以-1~5 秒鐘切為切段之依據以供腦波未來分析使用；從 EEG 訊號擷取相關事件電位 (event-related potentials, ERPs)示意圖，如圖 3.8 所示。

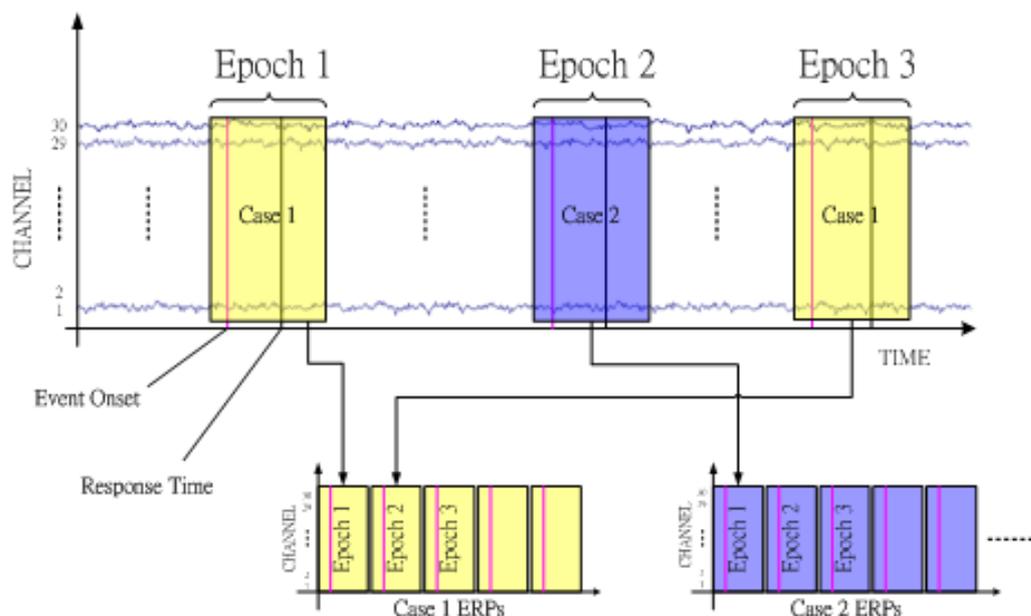


圖 3.8 腦波資料切段示意圖

## (3) 獨立要素分析 (Independent Component Analysis, ICA)

因為 EEG 訊號可能夾帶不同訊號來源的混合，所以，EEG 訊號須經 ICA 演算法，隨機排除 EEG 雜訊的干擾，以分離成數個獨立的訊號源 (如圖 3.9(a) 所示)，擷取出重要的腦波特徵，提高分析的效率 (Makeig, Bell, Jung, & Sejnowski, 1996; Jung, et al. 1998-2001; Lin, et al., 2008-2009)，並以內建傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform; FFT) 功能，將腦波紀錄轉換為腦波振幅頻譜 (EEG spectrum)。接下來，進行眼動 (eye-movement, EOG)、心跳 (heart-beating, EKG) 及肌肉移動

(muscle-movement, EMG) 移除，最後，會產生 30 component 頭殼圖(如圖3.9(b)所示)。

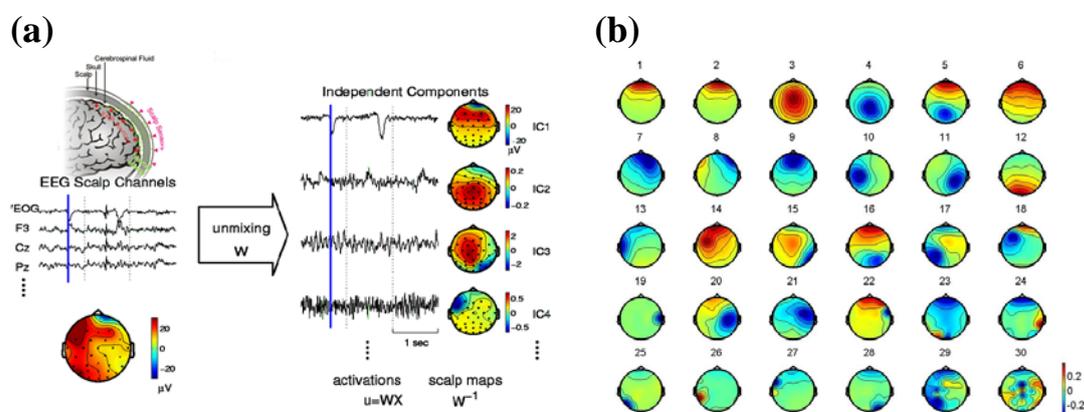


圖3.9 獨立要素分析示意圖。(a) 分離成數個獨立的訊號源；(b) 30 component 頭殼圖。

#### (4) 要素群集(Component clustering)

合併所有試者經 ICA 所分解之穩定要素(component)，這些要素是來自於群集所有受試者頭殼圖(scalp maps)與活動能量頻譜(activation power spectra)。個體要素群集特徵是藉由群集頭殼圖及活動頻譜(activity spectrum)而獲得；分析操作，將所有受試者所產生的 component 混合在一起，並使用內建群集方法(Kmean)，產出要素群集(component clusters)圖，以上這種方法稱為要素群集(如圖 3.10 所示)。

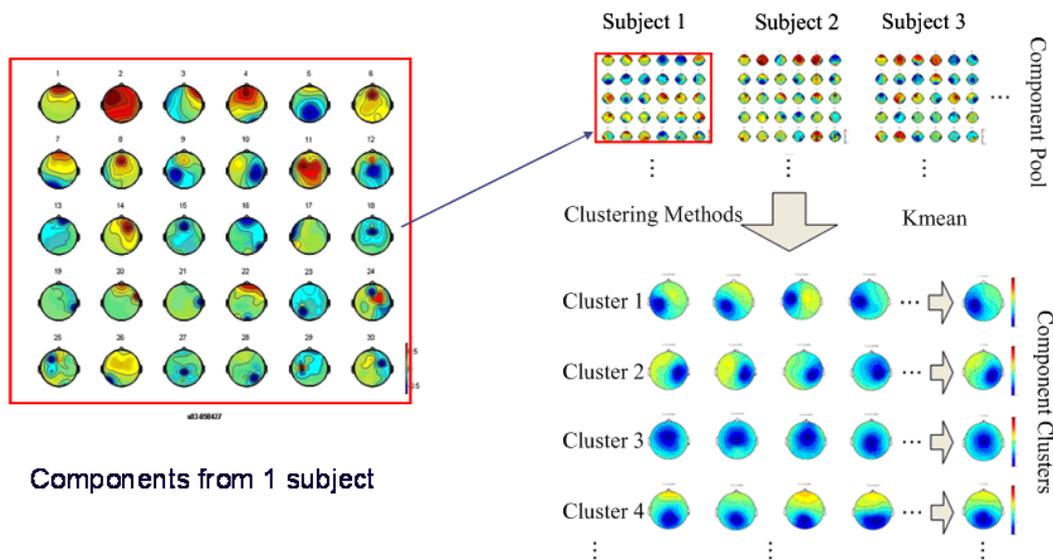


圖 3.10 要素群集示意圖

(5) 事件相關頻譜擾動(Event Related Spectral Perturbation, ERSP)

ERSP，由時間(橫座標)及頻率(縱座標)所構成之能量變化情形。ERSP用 來計算活動或事件發生前後動態頻譜變化情形，並經由此來觀察大腦在不同時間點上的頻譜差異，觀看人類認知歷程過程。相對地，相關事件電位(event-related potentials, ERPs) 僅能在時間軸(橫座標)上，分析 活動電位的改變。頻譜在每個切段是經過 3-視窗 (3-windows)移動平均，以減少隨機誤差，而頻譜是考慮到每個事件試驗數之基準線 (baseline)。所以，從刺激發生 (stimulus onsets) dB 功率或頻譜功率，減去基準線之 dB功率或頻譜功率，藉以觀察分析主要事件ERSP圖像之頻譜變化情形。接下來透過 自助分析(bootstrap analysis) (顯著性水準 0.01 或 0.03 或 0.05 等 3 種，以供分析選用，本研究使用 $\alpha = 0.05$ )。僅有達統計檢定差異水準( $p < 0.05$ )時，頻譜才

會在ERSP圖像顯示。而沒有達到檢定差異水準( $p>0.05$ )時，則時間與頻率座標內各點之dB功率或頻譜功率，則以零取代。經過以上操作，任何擾動(perturbations)的頻域變得比較顯著及好辨識，俾利分析討論使用(如圖 3.11 所示)。

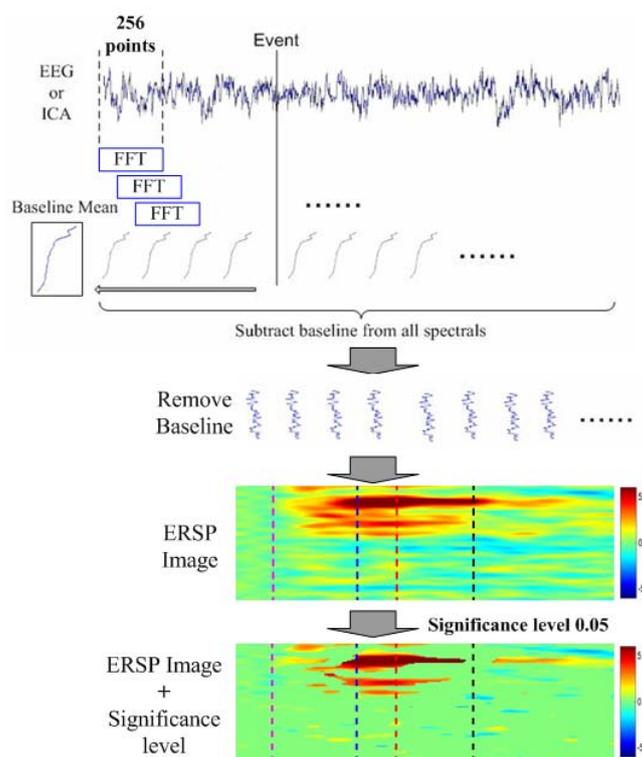


圖 3.11 事件相關頻譜擾動(ERSP)程序圖

### 3.1.5 數據分析與統計檢定

本研究從每時段 (session) 蒐集數據中，先進行去除每位受試者反應時間異常值的動作，去除異常準則為平均值加減 3 倍標準差 ( $\text{mean} \pm 3 \text{ standard deviation}$ )，去除異常值約為所有試驗數(trials)的 1.62%。然後從 5 狀態 (conditions) 隨機取數據，使 5 狀態試驗數相同，然後合併所有受試者數據，再使用單因子重複量數變異數檢定

(repeated measures ANOVA)，進行開車績效及數學計算二項作業的反應時間分析。

為了消除受試者個別差異性，則進行數據常態化 (normalized) 轉換，使用公式為

$$NV_{t,i} = \frac{RT_{t,i}}{RT_{single}}, \quad \text{where } i = 1, 2, 3, 4, 5$$
$$NV_i = \frac{NV_{t,i}}{\text{number of trials}}$$

其中 $RT_{ti}$ 是某位受試者在雙重作業 3 個狀態反應時間值， $RT_{single}$ 是某位受試者在單一作業 (single-task) 狀態的反應平均時間值，而NV是常態化平均反應分數值 (normalized mean response score)，單一作業的常態化後平均反應分數值等於 1 ( $NV = 1$ )，然後合併 25 位受試者的常態化值(如圖 3.12 所示)，再利用無母數Friedman ANOVA檢定 (Sweeney, et al.,2001)，並使用Dunnett T3 test進行事後檢定來了解每一狀態之分心程度。

利用卡方檢定 (chi-square test) 統計方法檢定每一狀態中數學計算正確率；另本研究所使用的統計檢定方法中，顯著水準(significant level)都是  $p < 0.01$ 。

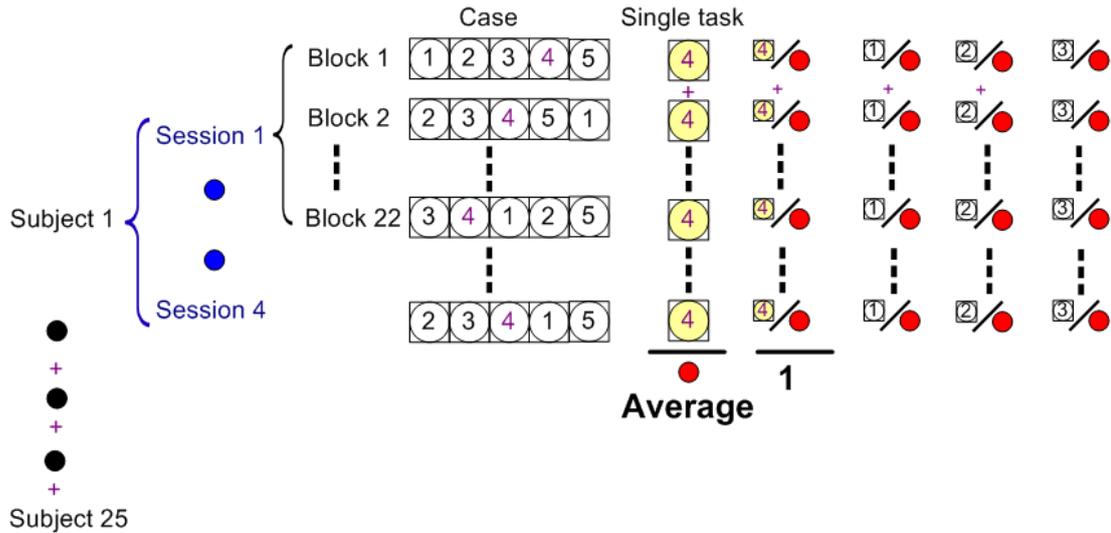


圖 3.12 常態化平均反應分數值示意圖

## 3.2 實驗結果

### 3.2.1 單一作業

在主要作業(Task1)之單一作業狀態 (single-task condition) 平均反應時間值 656.2ms 最長。次要作業 (Task2) 之單一作業狀態平均反應時間值 1700.9ms 最短。詳見表 3.1 所示。

### 3.2.2 雙重作業反應時間及正確率

在作業一 (Task 1) 狀況，首先以重複量數變異數分析 (repeated measures ANOVA) 比較 4 種狀態的平均反應時間值的差異，經分析結果發現，4 種狀態的平均反應時間值有顯著性差異 ( $F_{3,2186} = 75.64$ ,  $p < 0.01$ ) (如表 3.2 所示)。本研究進一步以多重比較檢驗(Pairwise Comparisons test)進行事後檢定，藉以了解各個狀態對於分心/心智負

荷程度。結果發現，當-400ms SOA 狀態平均反應時間值(627.9ms)，比其他三個狀態任何平均反應時間值的還要低（如圖 3.13(a)所示）。

表 3.1 Task 1 及 Task 2 反應平均時間值及標準差彙整表

Types	Mean	SD	AR (%)
<b>Responding car deviation</b>			
<b>Dual-task condition</b>			
-400 ms SOA (math first then deviation onset)	627.9	108.0	—
0 ms SOA (math and deviation occurred simultaneously)	650.5	115.3	—
400 ms SOA(deviation onset first then math)	648.0	114.1	—
<b>Single-task condition</b>			
Only car deviation	656.2	130.5	—
<b>Answering math equations</b>			
<b>Dual-task condition</b>			
-400 ms SOA (math first then deviation onset)	1972.2	673.9	94.6
0 ms SOA (math and deviation occurred simultaneously)	1943.5	633.4	94.1
400 ms SOA(deviation onset first then math)	1852.4	592.0	93.9
<b>Single-task condition</b>			
Only math equations	1700.9	468.5	94.6

Note. Mean = 平均值 (milliseconds), SD = 標準差 AR (accuracy rate) = 正確率

在作業二 (Task 2) 狀況，首先以重複量數變異數分析 (repeated measures ANOVA)，比較 4 個狀態的平均反應時間值的差異，經分析結果發現，4 個狀態的平均反應時間值有顯著性差異 ( $F_{3,2186} = 257.63$ ,  $p < 0.01$ ) (如表 3.3 所示)。本研究進一步以多重比較檢驗進行事後檢

定，藉以了解各個狀態對於分心/心智負荷程度。實驗結果發現，當單一作業(single-task)狀態平均反應時間值(1700.9ms)，比其他 3 種狀態任何平均反應時間值的還要低(如圖 3.13(b)所示)。

另外，所有數學計算回答正確率高達 94%，經卡方統計檢定結果，4 種狀態的正確率都沒有顯著差異 ( $\chi^2(3) = 1.837, p > 0.01$ )。

**表 3.2 Task 1 在不同時距(SOA)狀態下對反應時間的影響**

source	SS	df	MS	F	P
不同時距(SOA)	998661	3	360865	75.64	0.00 *
Task 1 試驗數	28862904	6050	4771		
殘差	91435598	2186	41828		
Total	121297162	8238			

\* Significant at the 0.01 level.

**表 3.3 Task 2 在不同時距(SOA)狀態下對反應時間的影響**

Source	SS	df	MS	F	p
不同時距(SOA)	97777899	3	33571618	257.63	0.00 *
Task 2 試驗數	829653990	6367	130310		
殘差	2286118285	2186	1045800		
Total	3213550174	8556			

\* Significant at the 0.01 level.

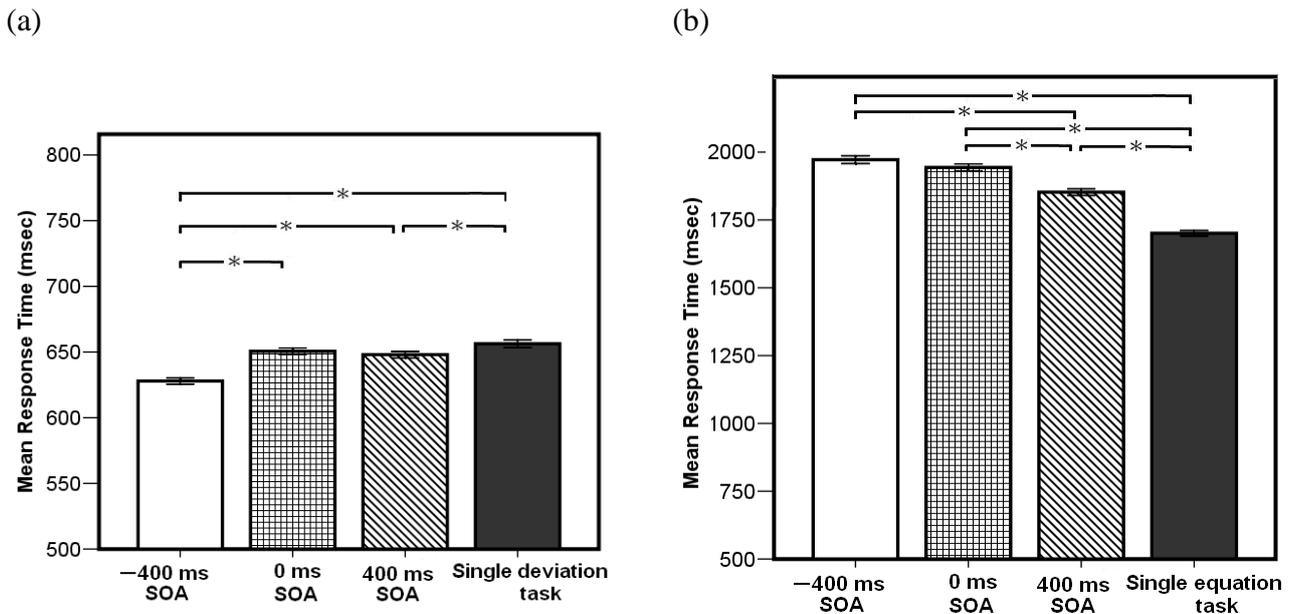


圖 3.13 Task 1 and Task 2 平均反應時間圖

### 3.2.3 常態化平均反應分數值

在作業一 (Task 1) 狀況，首先以 Friedman ANOVA test 檢定 4 種狀態的常態化平均反應分數的差異，經分析結果發現，4 種狀態的常態化平均反應分數值有顯著性差異 ( $p < 0.01$ )，本研究進一步以 Dunnett T3 test 進行事後檢定，藉以了解各個狀態對於分心/心智負荷程度，結果顯示，於 -400ms SOA 狀態常態化平均反應分數值比其他 3 種狀態還要低(如圖 3.14(a)所示)。簡言之，在本實驗設計下，Task 1 經統計結果顯示，雙重作業之工作負荷比單一作業狀況低，而且在執行雙重作業下，並沒有發生分心現象。

在作業二 (Task 2) 狀況，首先以 菲德曼變異數分析測試(Friedman ANOVA test)檢定 4 種狀態的常態化平均反應分數值的差異，經分析

結果發現，4 種狀態的常態化平均反應分數值有顯著性差異( $p < 0.01$ )，本研究進一步以 Dunnett T3 test 進行事後檢定，藉以了解各個狀態對於分心/心智負荷程度，結果顯示，於單一作業(single-task)狀態常態化平均反應分數值比其他 3 種狀態任何常態化平均反應分數值的還要低(如圖 3.14(b)所示)。簡言之，在本實驗設計下，Task 2 經統計檢定結果顯示，在雙重作業狀況下，回答數學計算作業之工作負荷比較高。

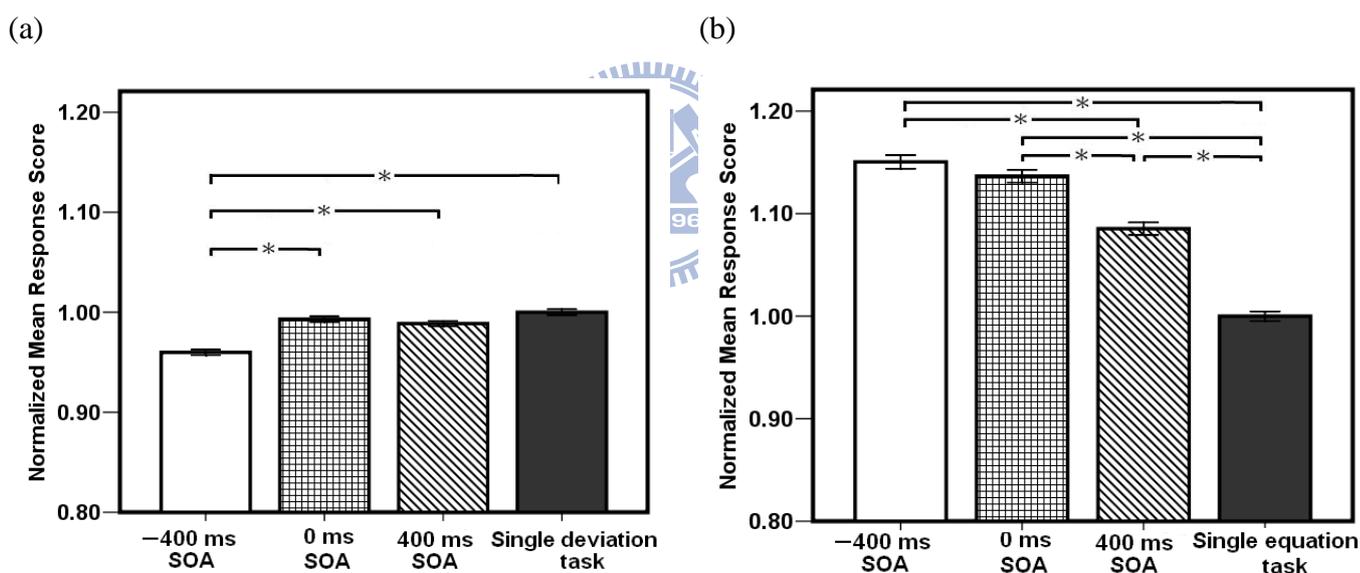


圖 3.14 Task 1 及 Task 2 常態化平均反應分數圖

### 3.3 雙重作業下之腦動態變化

本研究之開車作業，在 Motor 腦區之 ERSP 能量變化沒有一致性現象(Chen,2008)，且從常態化平均反應分數結果得知，開車作業並不會因為次要作業數學計算而受干擾，而造成分心效應，所以，本節之

腦動態變化結果將不對 Task 1 做說明，本節僅就 Task 2 數學計算說明之。

從圖 3.15 所示，在雙重作業下之數學反應 EEG 訊號， $\theta$  頻帶 (5~7.8 Hz) 及  $\beta$  頻帶 (12.2~17 Hz) 於額葉腦區能量成長趨勢與行為回答數學計算之反應時間成長趨勢一致，如單一作業常態化平均反應分數最低 (NV = 1)，而在 case 1 (-400ms SOA 狀態) 常態化平均反應分數最高 (NV = 1.15)。本研究在雙重作業狀況下，回答數學計算作業之心智負荷增加，與額葉腦區之  $\theta$  波頻帶能量增加，具有一致性的成長趨勢 (Sarnthein, Petsche, Rappelsberger, Shaw, & Stein, 1998; Onton, Delorme & Makeig, 2005) (如圖 3.15(b) 上圖)。而與延遲時間 (Latency) 呈現下降趨勢之反向關係 (如圖 3.15(b) 下圖)。在額葉腦區之  $\theta$  波頻帶能量，case 1 比單一作業高。本研究之延遲時間 (Latency) 定義：數學計算式出現到腦區  $\theta$  頻帶能量開始活化點之間的時間。圖 15 (a) 為額葉腦區之 ERSP，橫座標為時間軸，縱座標為頻率軸，當能量增加，則在圖中呈現較深紅色，反之亦然。圖 15 (b) 上圖為額葉腦區之  $\theta$  頻帶能量變化圖，橫座標為 4 種狀態，縱座標為能量 (dB) 值。圖 15 (b) 下圖為額葉腦區之  $\theta$  頻帶之延遲時間 (Latency) 變化圖，縱座標為時間。

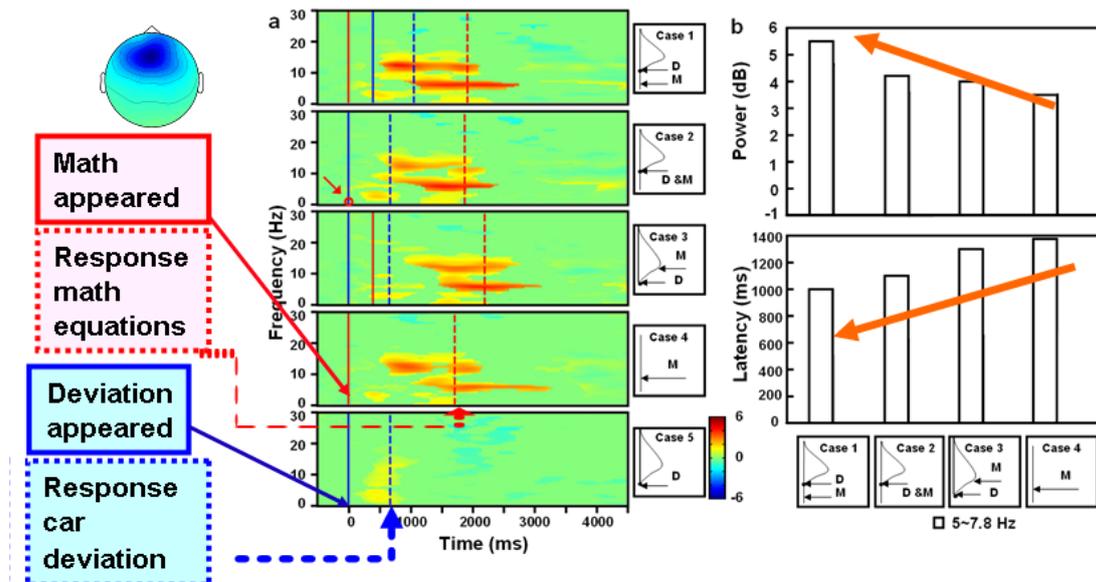


圖 3.15 雙重作業下數學計算之腦動態變化圖。(a) 額葉腦區之 ERSP；(b) 上圖為額葉腦區之  $\theta$  頻帶能量變化圖；下圖為額葉腦區之  $\theta$  頻帶之延遲時間 (Latency) 變化圖。(N = 15)

### 3.4 結果討論

經本研究實驗結果證實，數學計算作業並沒有造成駕駛者產生分心現象，讓開車作業績效降低現象發生，為了說明這有趣的研究結果，本章節將分別以單一作業狀態及雙重作業 -400ms、0ms、+400ms 等 3 種 SOA 狀態說明。

#### 3.4.1 單一作業狀態

從本研究實驗結果證實，Task 2 不會干擾 Task 1 的開車績效。因為在開車作業(Task 1)方面，控制組單一作業 (single-task) 的常態化平均反應分數值  $NV = 1$  (RT 1 = 656.2ms) 比其他 3 種雙重作業任可狀態還要高，這種現象說明了數學計算作業並沒有影響駕駛績效

(Baldwin & Schieber, 1995; Har et al., 2007)。可能原因是 (1) 數學計算式具有提醒預期心理線索 (cue) 的功能，當數學計算式出現，受試者預期車輛即將發生偏移現象，準備操控方向盤反應。而單一作業僅是單純車輛偏移，沒有數學計算式之設計。(2) 雙重作業下，讓受試者注意力更集中，而在單一作業下，受試者也許以較放鬆沒有壓力下，以正常的速度進行反應。

數學計算作業 (Task 2) 會產生較高的心智負荷。因為在 Task 2 之控制組單一作業 (single-task) 的平均反應分數值  $NV = 1$  ( $RT2 = 1700.9ms$ ) 比其他 3 種雙重作業任何狀態還要低。其背後可能的原因是數學計算與中央執行階段有密切關係，而中央執行階段具有規劃、順及注意力配置的功能(Baddeldy, 1996, 2000; DeStefano & LeFevre, 2004)，所以執行數學計算作業，要求中央執行單元的注意力資源支援，則心智負荷受數學計算式大小及複雜程度的影響。另從 EEG 訊號實驗結果證實，當心智負荷增加，在額葉腦區之  $\theta$  頻帶能量增加 (Sarnthein et al., 1998; Onton et al., 2005)。換言之，在雙重作業下，Task 2 具有較高的負荷效應。

### 3.4.2 雙重作業之分心/心智負荷

本研究實驗設計下之雙重作業，Task 1 與 Task 2 會使用不同注意力資源？依本研究實驗發現，受試者執行 Task 1 與 Task 2 時，是會

使用不同注意力資源。從行為實驗結果說明：依據 Wester et al. (2008) 提及 Task 1 屬於技能基礎行為，駕駛者會以大量自動化來反應突如其來的各種狀況(Horrey & Wickens, 2006)。而 Task 2 屬於知識基礎行為的認知作業，與工作記憶有關，例如判斷選擇答案過程，是從知覺、中央執行階段到反應等階段(Rasmussen, 1987; Ashcraft, 1992; Campbell, 1995; Fürst & Hitch, 2000; Sertz & Schumann-Henasteler, 2000, 2002; DeStefano & LeFevre, 2004; Wester, et al., 2008)。從 EEG 實驗結果發現，Task 1 於 Motor 腦區有活化現象，Task 2 於 Frontal 腦區有活化現象(Lin, 2008)。

而在雙重作業干擾效應，亦可以透過中央瓶頸模型、容量分享策略、多重資源分配、Rasmussen's SRK及重疊效應 (overlap effects) (Navon & Miller, 2002; Ruthruff *et al.*, 2003; Tombu & Jolicoeur, 2003) 等理論，說明雙重作業於不同時距出現，各種現象解釋。

#### 3.4.2.1 -400ms SOA 狀態 (Task 2 比 Task 1 早 400ms 出現)

在-400ms SOA 狀態下，受試者先接受到視覺刺激(數學計算式)後，就開始展開計算，可是處理到某階段時，車輛 却發生偏移，此時此刻正考驗者受試者之駕駛策略，究竟開車優先？回答數學計算優先？或平行處理之權衡問題，本研究實驗結果發現，受試者似乎會以潛意識之自動化 (automatic) 快速反應 Task 1。例如，在-400ms SOA

狀態，Task 1 反應時間並沒有增加 ( $NV < 1$ )，Task 2 受中央瓶頸效應影響( $NV > 1$ )，此一現象也與過去研究學者 Pashler (1994) 與 Navon and Miller (2002) 所提出結果相呼應。另外，解決數學問題屬於知識基礎水準，所以，在中央執行部門過程中，需要更多的心智負荷及注意力資源 (Logie *et al.*, 1994; Lemaire *et al.*, 1996; Rammelaere *et al.*, 1999, 2001; Fürst & Hitch, 2000; Seitz & Schumann-Hengsteler, 2000, 2002; Deschuyteneer & Vandierendonck, 2005)，導致 Task 2 的在 -400ms SOA 狀態的反應時間最長 (NV 最高)。

然而經過本研究證實，在 -400ms SOA 狀態，Task 2 確實有較差的績效，如反應時間較長、高工作負荷現象，可是 Task 2 却沒有影響到 Task 1，而造成受試者分心。本研究推理，有下列理由說明此現象：

(1) Tasks 1 及 Task 2 處理過程中可能受到容量限制，受試者能夠經過

協調的機制，發展出最佳的策略，安排其優先順序或同時處理機制，所以，Tasks 1 及 Task 2 共同分享其資源 (Wickens *et al.*, 1997; Navon & Miller, 2002)。從本研究中，我們發現受試者把開車設定為優先處理重要的作業 (Wickens *et al.*, 1997; Lansdown, 2002)。

(2) 受試者使用沒有干擾的管道 (non-interfering channels)，依據注意

力多重資源模型，注意力資源是可以有效分時。因此，工作記憶之心智作業並沒有干擾到視覺—空間—手動握方向盤反應情形

(Wickens, 2002; Horrey et al., 2005; Wester, 2008)。

(3) Tasks 1 對於受試者而言，也許操控動作是太簡單，以至於以潛意識自動化反應。

(4) 受試者存著預期 (anticipated) 心理，把數學計算視為線索 (cue)，當數學計算式出現後，在短時間內，接下來路況即將出現偏移，準備要反應 Task 1。

在-400ms SOA 狀態下，在實際生活應用，類似於邊開車邊講行動電話，突然之間，車輛發生偏移，駕駛者將立即暫時中斷講行動電話，把偏移反應視為第一優先要務，當完成車輛控制反應後，再去執行講行動電話，因此，導致 RT2 變長及工作負荷增加現象。

#### 3.4.2.2 0ms SOA 狀態 (Task 1 與 Task 2 同時出現)

在 0ms SOA 狀態下，執行雙重作業似乎格外困難，因為受試者將面臨各種型式的權衡(trade-off)問題，例如優先反應車輛偏移問題、或優先解決數學計算問題、或採取其他開車行為策略因應。依據本研究觀察，在 0ms SOA 狀態下，受試者採取開車行為策略為資源分享 (capacity sharing) 及多重資源(multiple resources) 使用方式 (Pashler, 1994; Wickens, 2003)。此一現象也與過去研究學者 Strayer and Johnston (2001)與 Wester (2008) 所提出結果相呼應。另外，在 SOA 之刺激－反應相容效應 (compatibility effect) 考量下，對於 Task 1 而

言，受試者視覺刺激（車輛偏移），立即手動控制方向盤反應，使用不同資源向度。依 Lin (2008)研究證實，Task 1, 2 在腦區活化區域不同，如 Task 1 在 motor 腦區域有活化現象，Task 2 在 Front 腦區域有活化現象。Task 1 構成視覺—手動相容效應，Task 2 屬於認知作業，Task 1 與 Task 2 困難度比較，Task 2 顯然高於 Task 1，所以，RT 2 比 RT 1 高。

在 0ms SOA 狀態中，為何 Task 1 & Task 2 同時出現時，導致 RT2 增加及高工作負荷推論說明：(1) 駕駛策略操控行為，導致 RT 2 增加 (Van Selst & Jolicoeur, 1997; Jiang, 2004)，因為 Task 1, 2 同時出現，受試者經過協調機制，先反應 Task 1 ( $NV < 1$ )，再處理 Task 2 ( $NV > 1$ )。(2) 當 Task 2 困難度增加時，RT 2 增加，而認知資源配置至 Task 2 增加 (Tombu & Jolicoeur, 2003)。

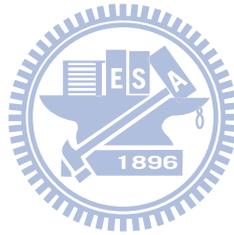
### 3.4.2.3 400ms SOA 狀態 (Task 1 比 Task 2 早 400ms 出現)

在 400ms SOA 狀態下，Task 2 的反應時間比單一作業 (single-task) 狀態高。在執行 Task 1 過程中，對於 Task 2 有輕微工作負荷影響，因為從圖 3.14 中，可以清楚看出 Task 1 與 Task 2 二項作業時間重疊 (temporal overlap) 為  $RT1 - SOA (< RT1)$ ，比 -400ms 及 0ms SOA 狀態 RT1 低，換句話說，受試者先執行 Task 1 後，然後再執行 Task 2，所以，工作負荷程度比其他前 2 種狀態是比較低的(如圖 3.14(c) 所

示)。另外，從研究結果，我們可以推論說，受試者採用開車行為策略，是強調Task 1的重要性優先於Task 2，所以，先快速反應Task 1 (Ruthruff et al., 2003)。

就本章節之本研究實驗結果討論，計有下列二項小結論：

- (1) 若困難作業 (Task 2) 先出現，則數學回答的反應時間較長，相對的，若容易作業 (Task 1) 先出現，則車輛偏移反應時間較短。
- (2) 二項作業時間重疊區域對於工作負荷程度存在著密切正向關係，即重疊區域增加，則工作負荷增加。



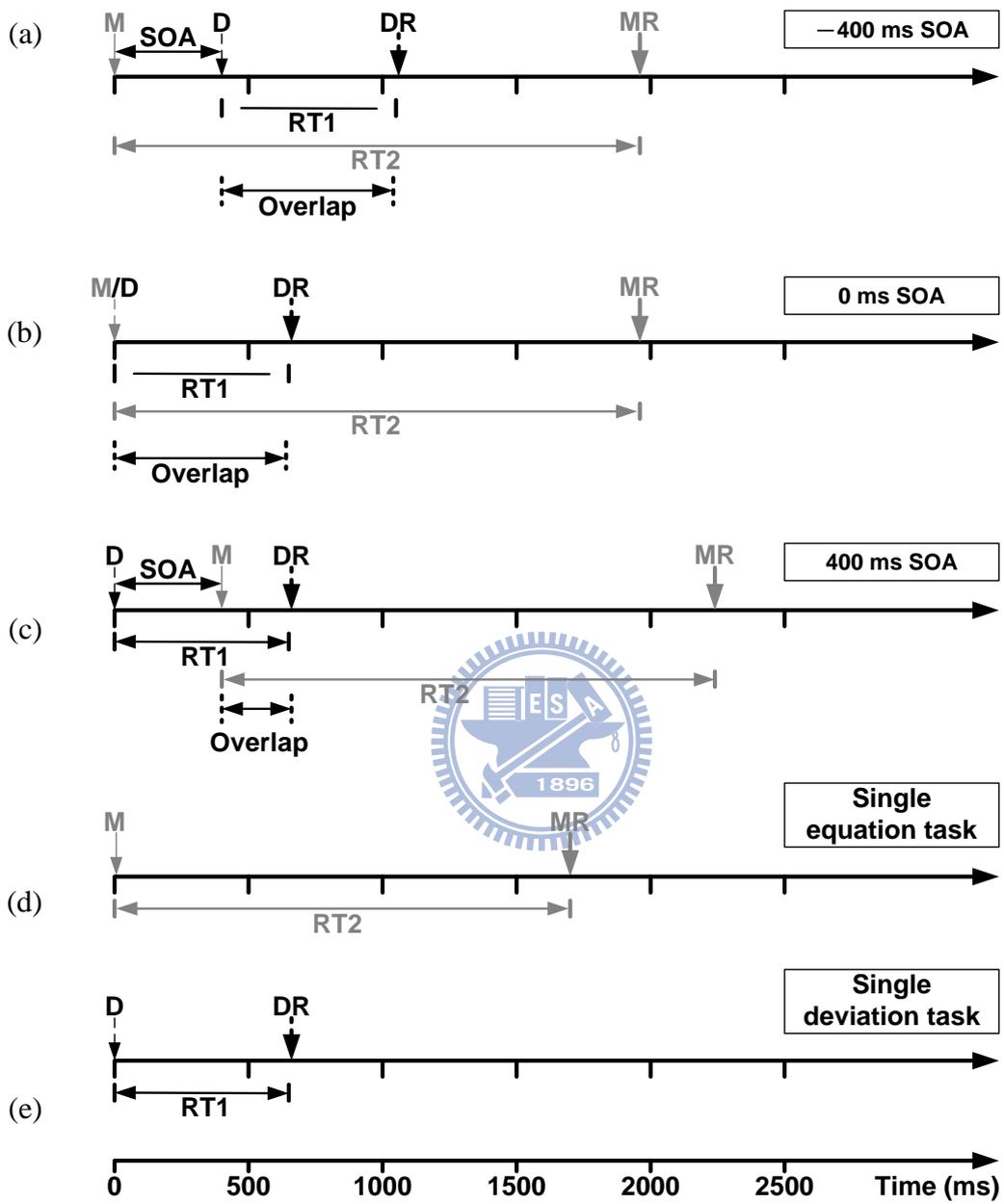


圖 3.14 Daul-task (SOAs)及 single-task 示意圖

## 第四章 探討警示音回饋的影響

了解駕駛者在開車行駛狀況下，面對突如其來的作業如車輛偏移或數學計算問題等反應問題，受試者會隨著不同時距 (SOA)，產生不同程度的工作負荷現象，從研究結果證實，研究主題一對於 Task 2 除了造成高工作負荷之外，並不會造成受試者產生分心效應。接下來的研究主題二，本研究將思考實驗再設計，將實驗時段 (session) 變長且將開車場景設計為在單調無聊的環境，並整合研究學者有關警示音類型的研究，試圖提出有效的警示類型與方式，以降低駕駛者可能因疲勞、注意力不集中或瞌睡所引發的意外事故。一般研究指出，警示音可以有效防止車輛發生碰撞危險之警覺提醒效果。所以，在本研究主題中，實驗設計之獨立變項為二種警示音類型 (continuous warning tones & tone burst)、三種頻率 (500 Hz, 1,750 Hz, 3,000 Hz) 及控制組 (沒有警告聲音) 等7種狀態，用來區辨何種警示類型具有高效能的警示效果，卻又能夠降低意外車禍發生之可能性的設計建議。

### 4.1 研究方法

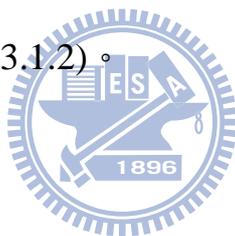
#### 4.1.1 受測者

本研究將安排13位受試者參與實驗，受試者平均年齡26.5歲 (標準差5.3) 為了要控制外在變異，所以，所有參與實驗的受試者必須

為：正常聽覺與視覺、領有駕駛執照一年以上、慣用右手、及沒有腦部、神經與心血管相關之疾病。為了控制實驗品質，要求受測者於實驗前一天睡眠要充足、不得服用藥物、酒及咖啡等刺激性物品，以避免影響實驗品質。受試者測試以前須先填寫基本資料，以瞭解受試者個體心理及生理狀況，每一位受試者必須接受7項不同類型的實驗，每完成一次實驗之後就付實驗費用，總計每位實驗費用NT700元。

#### 4.1.2 實驗設備

主題二之虛擬實境駕駛場景，僅將主題一 Task 2 之數學計算式取消外，其他都相同(請參閱 3.1.2)。



#### 4.1.3 實驗設計

##### 4.1.3.1 自變數

(1) 聲音類型：分別為連續警告聲音 (continuous warning tones) 與脈衝警告聲音 (tone burst) 2 種。

(2) 頻率： 500 Hz、1,750 Hz 及 3,000 Hz 等 3 種頻率。

##### 4.1.3.2 依變數

反應時間 (Response time)：為車輛偏移開始至握方向盤開始反應點之間區域，稱為反應時間 (Huang, et al., 2007)(如圖 4.2)。

#### 4.1.4 實驗程序

本章節將分為行為反應之實驗程序及腦波測定程序等兩節說明。

##### 4.1.4.1 行為反應之實驗程序

受試者先填寫基本資料後，並向受測者說明實驗程序，讓每位受試者實驗前練習10分鐘，以熟悉方向盤操作性能及實驗控制情形。本次研究要求受試者必須將車輛行駛在第3車道，當駕駛者開車如果偏離車道中心線左右7單位距離時(即超過警告線閾值)，系統自動會給予警示音以提醒，受試者應操控方向盤讓車輛回到原(第3)車道，同時程式會記錄車輛偏移量，如圖4.1所示。圖中黑粗線為車輛行駛方向；黑圓圈為偏移開始 (deviation onset)；空心四方形為受試者操控方向盤反應開始 (response onset)；空心圓為受試者操控方向盤反應結束 (deviation offset)；反應時間 (Response time, RT) 定義為偏移開始到反應開始的時間期間 (Huang, et al., 2007)。

警告線閾值(warning threshold)定義：本研究在相同的實驗場景中，沒有任何警告聲音狀況下，進行預測作業，因為平均反應時間大約是657 msec，因此，本研究定義為警告線閾值設定為700 msec。

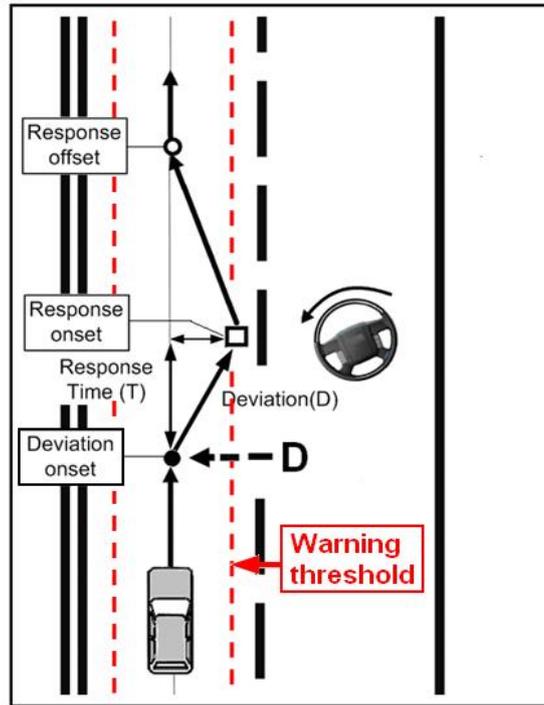


圖 4.1 俯視車輛偏移及警告線示意圖

本研究主題中，將有二種聲音類型分別為連續警告聲音 (continuous warning tones) 與脈衝警告聲音 (tone burst) 配合使用三種頻率 500 Hz、1,750 Hz 及 3,000 Hz 及控制組沒有警告聲音等 7 種類別，其實驗的應變項為反應時間及問卷分數。每一脈衝警告聲音間隔為 100 msec 發聲音一次，並隨著偏移距離的增加會重複發出 4 - 8 次的聲音。另當車輛偏移超過警告線閾值 (warning threshold) 時，連續警示音將會發出警告聲音。

聲音信號的傳送是藉由音效卡 (ADI 1985 sound max-6channel codec, Analog Devices, USA)，透過喇叭 (SANYO sys-202, SANYO, Japan) 傳送聲音。本研究為了模擬高速公路行駛真實性，特別到高速

公路錄製車輛行駛背景聲69 dB HL，當系統偵測到車輛超過警告線閾值，且駕駛者沒有立即反應，讓車輛回到第3車道，系統會隨機給予84dB HL之警示音提醒駕駛者 (Green, Levison, Paelke, & Serafin, 1994)，該警告聲音強度並符合Wickens, et al., (2004) 建議警告聲音標準低於85dB HL之要求。

受試者被要求一定要完成七個時段 (sessions)，每一個時段 0.5 小時，整個實驗包含一個時段沒有任何警告聲音 1 種及六個時段有 6 種警告聲音，所以總共約需要 4 小時(如圖 4.2 所示)。警告聲音類型是隨機方式產生，而每一時段的總試驗數(trials)平均約為 600 試驗數。實驗結束後要求受測者填寫主觀問卷，並且給予實驗費用，而問卷所有問項皆由李克特 5 點尺度量表構成，1 分是非常不同意，5 分是非常同意。

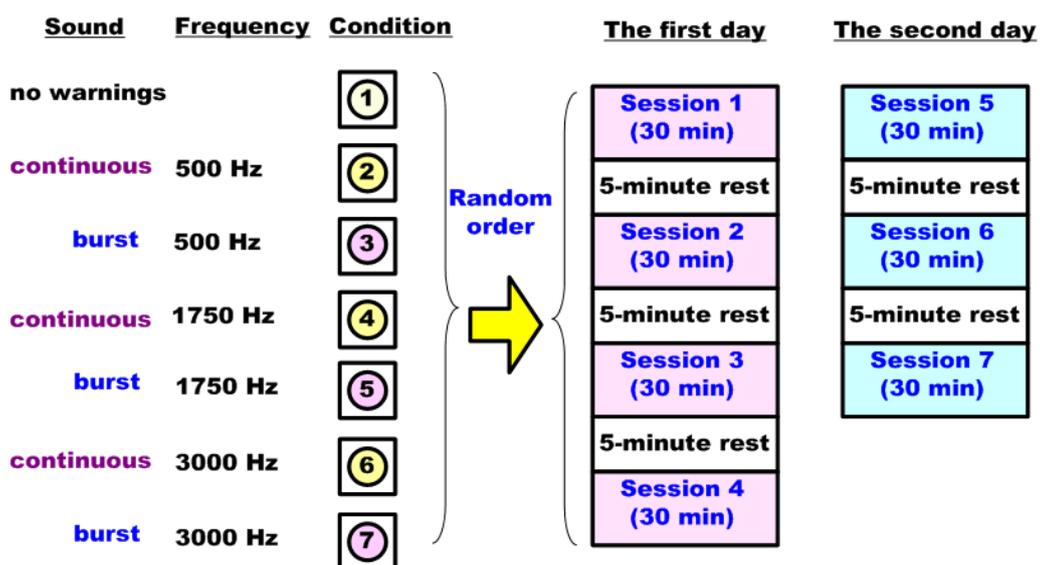


圖 4.2 實驗程序示意圖

#### 4.1.4.2 腦波測定程序

本研究主題二之腦波測定程序與主題一相似 (請參閱 3.1.3.2)。

#### 4.1.5 數據分析與統計檢定

收集到每位受試者的反應時間數據之後，先進行去除反應時間異常值的動作，其準則為平均值加減 3 倍標準差 ( $\text{mean} \pm 3 \text{ standard deviation}$ )，去除反應時間異常值約為總試驗總數的 1.8%；接著進行下列的數據分析與檢定，使用的統計軟體為 SPSS (13 版)，而統計顯著水準使用  $p\text{-value} < 0.01$  或  $p\text{-value} < 0.05$ 。

- (1) Baseline：從 7 種類別 (6 種不同警告聲組、沒有警告聲組)，使用卡方檢定 ( $\text{chi-squared test}$ ) 檢驗受試者精神及清醒狀況是否都是同樣的時間點。
- (2) 評估警示音是否有效果：使用的統計方法為卡方檢定，比較車輛超過警告線閾值及反應時間超過 1.5 seconds 之機率值。
- (3) 沒有警告聲與警告聲比較：車輛超過警告閾值後，7 種類別 (6 種不同警告聲組、1 種沒有警告聲組) 的平均反應時間值，使用 one-way ANOVA 及 Dunnett's T3 事後檢定方法，檢驗比較那一種警告聲類別比較具有效果。
- (4) 使用 two-way ANOVA 分析二變數 (sound pattern and carrier

frequency)及 Dunnett's T3 事後檢定方法，檢驗在單調開車情況下，那一種警示音之頻率組合最具有提醒效果的，

#### (5)問卷之信度分析

由於本研究自行發展主觀問卷內容，以了解受試者對於警示音的感受，因此需要經過信度的檢驗來了解各變數的問項在本研究中的一致性。所有問項皆由李克特 (Likert Scale) 5 點尺度量表構成，1 分代表非常不同意問項的描述，5 分則是非常同意。並透過信度指標 Cronbach's  $\alpha$  值，藉以了解變數中，問項一致性的高低。當 Cronbach's  $\alpha$  值大於 0.6 時，即在可接受的範圍之內，若 Cronbach's alpha 值皆高於 0.7，說明問項具有一致性。



## 4.2 實驗結果

### 4.2.1 警告聲之基準線 (*Baseline of various auditory warning signals*)

本研究為確認受試者精神及清醒狀況都是一樣，將每一實驗開始 (session) 前二分鐘期間，超過警告閾值試驗數 (trials)，詳如表 4.1 所示，經卡方檢定結果顯示， $\chi^2(6) = 13.20, p > 0.01$ ，沒有顯著差異。因此，本研究之 7 種類型的基準線為 2 分鐘。

### 4.2.2 有效的警告聲音 (*Effectiveness of various auditory warning signals*)

表 4.2 表示所有的試驗數 (trials)、車輛超過警告線閾值、超過 1.5 秒的百分比及平均反應時間。在沒有警告聲音狀況，超過基準線 (2

分鐘)之後，車輛發生偏移情形，超過警告線閾值的機率值約 45%。在警告聲音類型下，車輛超過警告線閾值的機率值的下降至 33%以下。此外，在平均反應時間超過 1.5 秒的 7 種狀況比較，由卡方檢定結果顯示，有顯著性差異性 ( $\chi^2(6) = 443.87, p < 0.01$ )。在沒有警告聲音狀況的平均反應時間(2030ms)比其他六種警告聲音狀況的平均反應時間 (平均反應時間範圍，1625~1752ms) 還要長。7 種不同的警告聲音狀況 (6 種不同警告聲組、1 種沒有警告聲組) 之平均反應時間及標準差列於表 4.3。

表 4.1 實驗開始前二分鐘期間，超過警告閾值之試驗數及百分比

			Number of trials	%Cross over the warning threshold
	Non-warning		266	25.56
Warning	500 Hz	Tone bursts	310	19.03
		Continuous tone	306	16.34
	1750 Hz	Tone bursts	313	20.13
		Continuous tone	315	20.63
	3000 Hz	Tone bursts	307	14.66
		Continuous tone	274	19.71

表 4.2 所有試驗數、車輛超過警告線閾值、超過 1.5 秒的百分比及平均反應時間

Condition		Total Trials	%Cross Warning Threshold	%RT > 1.5 sec	Mean RT > 1.5 sec	
Non-warning		3236	44.75	4.9	2030.00	
Warning	500 Hz	Tone bursts	3938	33.04	1.5	1718.50
		Continuous tone	3816	28.83	0.9	1751.88
	1750 Hz	Tone bursts	4020	27.16	0.4	1624.88
		Continuous tone	4060	26.26	0.3	1694.21
	3000 Hz	Tone bursts	3854	27.47	0.6	1722.91
		Continuous tone	3455	32.65	0.5	1630.59

表 4.3 車輛偏移超過警告線閾值之試驗數、平均反應時間及標準差

		Number of Trials	Mean RT (msec)	
			Mean	(SD)
Non-warning		1448	1020.73	440.07
500 Hz	Tone bursts	1301	941.74	257.72
	Continuous tone	1102	916.18	216.64
Warning 1750 Hz	Tone bursts	1091	895.95	188.80
	Continuous tone	1065	884.35	187.13
3000 Hz	Tone bursts	1059	899.16	217.16
	Continuous tone	1127	894.37	190.15

#### 4.2.3 沒有警告聲與警告聲 (*Non-warning and warning*)

本研究為了要證實警示聲，對於駕駛者在疲勞、注意力不集中或分心狀況下，是否具有提醒的效果。經由 One-way ANOVA 統計分析結果， $F_{6,8186} = 41.33, p < 0.01$ ，反應時間有顯著性差異，從事後檢定 (Dunnett's T3) 結果發現，沒有警告聲比有警告聲之平均反應時間比較長(詳如圖 4.3 所示)。在 500Hz 狀況下，連續警告聲音與脈衝警告聲音之平均反應時間，反應時間沒有顯著性差異，但是，對於 1,750Hz 及 3,000Hz 狀況的二種警示類型，平均反應時間却有顯著性差異。連續警告聲音類型 1,750Hz 及 3,000Hz，與脈衝警告聲音 1,750Hz 及 3,000Hz 狀況等 4 種狀況，平均反應時間都沒有顯著性差異。然而，從事後檢定結果無法歸納一致性趨勢，爰，本研究再進一步探討使用那一種警告聲之頻率組合，對於駕駛者而言，最具有提醒效果及績效改善，再使用 two-way ANOVA 的統計分析。

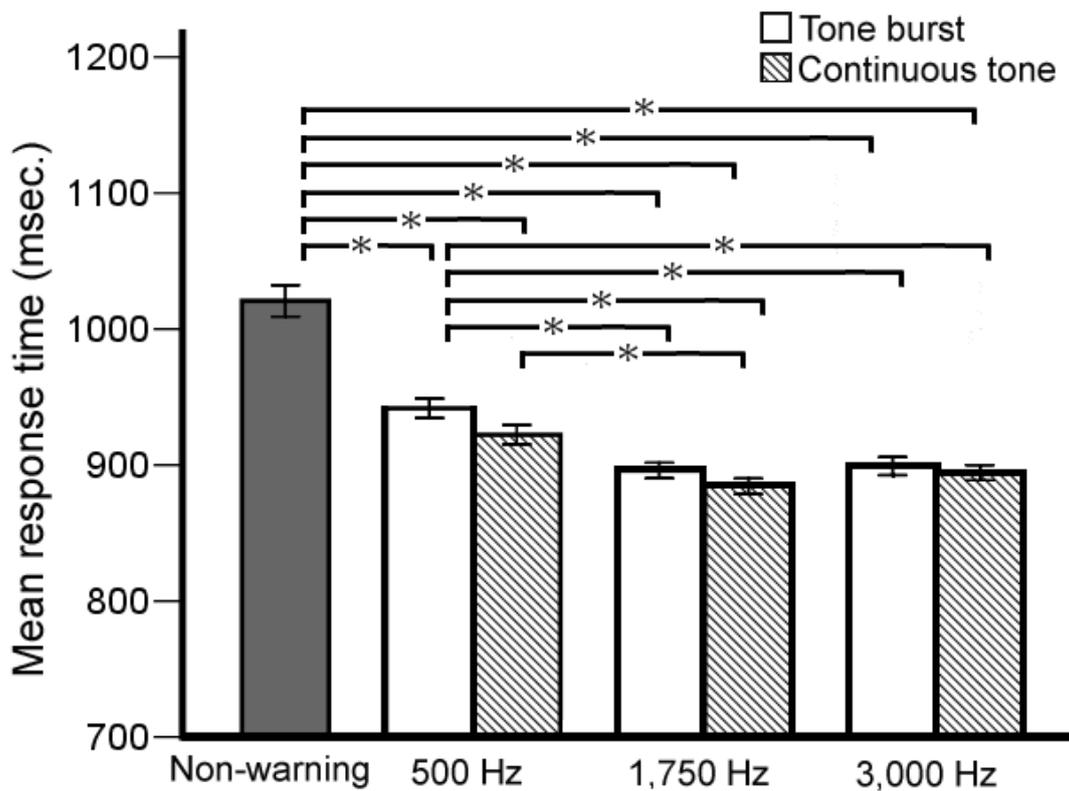


圖 4.3 沒有警告聲與 6 種類型警告聲之平均反應時間

註：Error bar =  $\pm 1$  SE

#### 4.2.4 警告聲與頻率 (Sounds and carrier frequency)

本節主要在分析警示音類型與頻率類型在虛擬實境開車之反應時間的差異情形，藉以了解那種類型組合之反應時間最短。表4.4是開車反應偏移績效的二因子變異數分析摘要表。實驗結果顯示，在頻率類型對反應時間部分，達統計學上之顯著性差異 ( $F_{2,6739} = 25.35, p < 0.05$ )；在警告聲類型對反應時間部分，達統計學上之顯著性差異 ( $F_{1,6739} = 5.33, p < 0.05$ )；接著以二因子變異數分析來探討警告聲類型與頻率類型之間是否有交互作用存。在表4.4中，受試者在警告聲類

型與頻率類型之間交互作用，其 $F_{2,6739} = 0.66, p > 0.05$ ，表示警告聲類型與頻率類型之間無交互作用存在，因此觀察其主要效果的差異。

在主要效果中警示音類型部分，其 $F_{1,6739} = 5.33, p < 0.05$ ，達統計學上之顯著性差異，表示二種警示音存有差異存在。經由平均值比較，結果顯示，在本研究實驗設計二種警示音下，在連續型警示音(mean RT = 900.5ms)平均反應時間比脈衝型警示音(mean RT = 914.2ms)，具比較好警示效果，平均反應時間較短。在主要效果中頻率類型部分，其 $F_{2,6739} = 25.35, p < 0.05$ ，達統計學上之顯著性差異，表示三種頻率中有差異存在。經由事後分析Dunnett's T3 檢定方法，結果顯示，在本研究實驗設計三種頻率下，在1,750 Hz及3,000 Hz狀況之平均反應時間比500Hz具有較好的開車績效，平均反應時間較短，以1,750 Hz及3,000 Hz比較具有提醒效果 (如圖4.4)。

表 4.4 變異數分析摘要表

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig. of F
Type of Sounds	249345	1	249345	5.33	0.02*
Carrier Frequency	2370856	2	1185428	25.35	0.00*
Type of Sounds × Carrier Frequency	61623	2	30812	0.66	0.52
Error	315127513	6739	46762		
Total	5872700146	6745			

註：顯著水準( $\alpha$ )設為0.05，df：樣本自由度；F：變異數分析；Sig of F：顯著性檢驗。

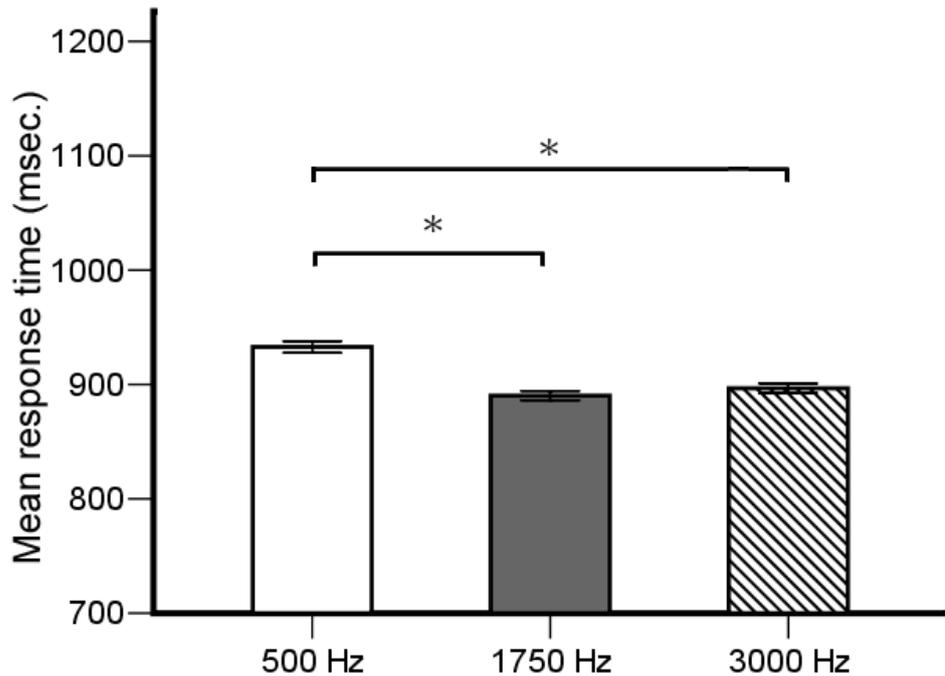


圖 4.4 三種頻率(500, 1,750 及 3,000Hz)之主要效果直方圖

註：Error bar =  $\pm 1$  SE

#### 4.2.5 問卷反應結果

表4.5 是五項問題項目及二題百分比的問卷平均分數及變異數結果。大多數受試者認同警告訊號可以改善駕駛績效。在五項問題中有三項平均分數大於3，其中二項平均分數低於平均值，Cronbach's  $\alpha$ 值是0.63。超過92%的受試者同意脈衝警告聲音有幫助，而且，有92%的受試者同意警告聲音頻率1,750Hz (佔69%)、3,000Hz (佔23%)對駕駛有幫助。

表 4.5 警告聲音問卷統計結果

項目	M	SD	%
1. 您覺得警告聲音，對駕駛具有提醒作用？	4.23	0.60	
2. 您覺得警告聲音，會造成您駕駛的困擾？	2.69	0.85	
3. 您覺得實驗中警告聲音出現太頻繁？	4.08	0.76	
4. 您覺得低頻(500 Hz)警告聲音，聽得清楚？	2.54	1.20	
5. 您覺得高頻(3,000 Hz)警告聲音，很刺耳？	3.85	1.14	
6. 那一種警示聲音類型，對駕駛者具有提醒作用			
(1) 連續警告聲音			8
(2) 脈衝警告聲音			92
7. 那一種頻率類型，對駕駛具有提醒作用			
(1) 500Hz			8
(2) 1,750Hz			69
(3) 3,000Hz			23

Note: M = means, SD = Standard Deviations, % = percentage

### 4.3 警示音回饋之腦動態變化

當受試者疲勞、注意力不集中或瞌睡時，系統給予 1,750Hz 單頻聲音警示，此狀態設為 Current trial；若受試者沒有清醒，在下一個試驗再給予 1,750Hz 單頻聲音警示，此狀態設為 Next trial。在 Current trial 與 Next trial 二種狀態下，比較有聲音回饋的試驗和沒聲音回饋的試

驗，發現在枕葉腦區之能量(dB)在 $\theta$ 頻帶 (4-7 Hz)及 $\alpha$ 頻帶(8-12 Hz)，有顯著性差異( $p < 0.01$ )。在之後的試驗(2'nd next)中，雖有差異但未達顯著性差異水準(如圖 4.5 所示)，表示聲音回饋在Next trial中是具有警覺性效果的，且給予警示音的試驗之 能量(dB)值 比沒有警示音的試驗低。圖 4.5 之Current trail為系統給予警示音的試驗的能量分佈；Next trial為Current trial發生後的下一個試驗的能量分佈；2'nd next為Next trial之後的試驗能量分佈。黑色曲線為受測者在清醒狀況的腦波能量分佈；在疲勞、注意力不集中或瞌睡狀態下，紅色曲線為給予警示音的腦波能量分佈，藍色曲線為給予警示音下的腦波能量分佈。曲線下方之綠色水平線，表示給予警示音試驗與沒有給予警示音的試驗，能量頻譜(紅色曲線和藍色曲線)達統計學檢定顯著性差異；藍色水平線，表示能量頻譜(藍色曲線與黑色曲線比較)達統計檢定顯著性差異；紅色水平線，表示能量頻譜(紅色曲線和黑色曲線比較)達統計學檢定顯著性差異，顯著水準( $\alpha$ )均設為 0.01。

從圖 4.6 得知，當受試者疲勞、注意力不集中或瞌睡時，系統給予 1,750Hz 警示音，從枕葉腦區 $\alpha$ 頻帶，可以看出有給予警示音的能量和沒有給予警示音的能量，經統計檢定結果顯示，警示音回饋約可維持 10 秒鐘警覺提醒效果。而從 $\theta$ 頻帶，可以看出有給予警示音的能量和沒有給予警示音的能量，經統計檢定結果顯示，警示音回饋約可

維持 35 秒警覺提醒效果(Chen, 2009)。圖 4.6 之黑色曲線表示清醒狀況；藍色曲線表示沒有給予警示音狀況，紅色曲線表示有給予警示音狀況。綠色水平線，表示紅色警示音相位能量頻譜(phases spectral power)與藍色曲線比較，達顯著性差異，顯著水準( $\alpha$ )均設為 0.01。

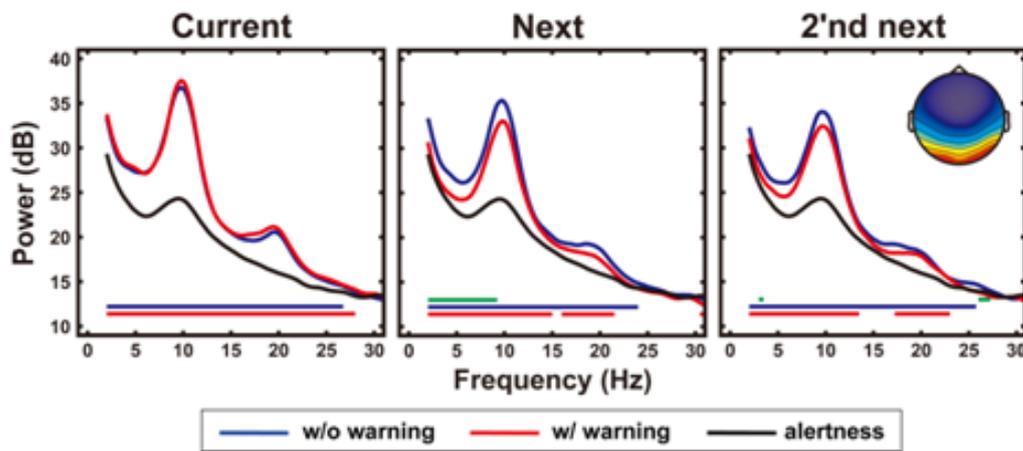


圖 4.5 枕葉腦區基準能量(baseline)之功率頻譜圖(N = 11)

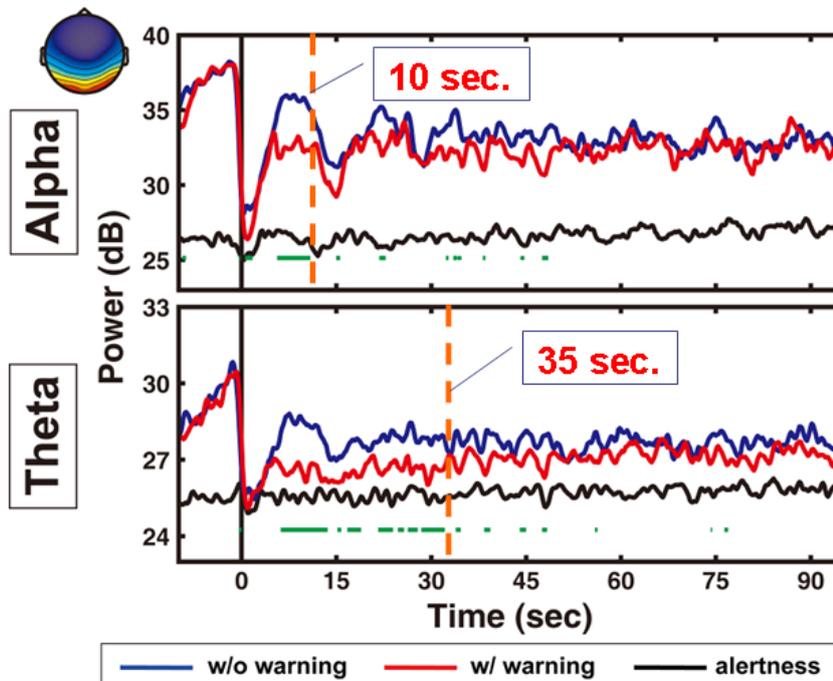


圖 4.6 枕葉腦區之相位能量頻譜擾動變化圖(N = 11)。上圖為  $\alpha$  頻帶能量頻譜擾動變化圖；下圖為  $\theta$  頻帶能量頻譜擾動變化圖。

#### 4.4 結果討論

本研究主要目的是評估警告聲音對駕駛者的注意力的影響。經實驗結果指出，當車輛發生偏移時，各類型警示音能夠有效的影響駕駛者，以提升駕駛安全。其背後理由分別為：(1) 超過警告閾值的機率值為例，連續警告聲音1,750Hz類型(26.26%)比沒有警告聲音(44.75%)減少約18.5%。(2) 車輛超過1.5秒之反應時間之機率值，警告聲音(0.3~1.5%)比沒有警告聲音(4.9%)低。(3) 超過警告閾值狀況下，各警示音類型之平均反應時間(884~942 ms)都比沒有警告聲音 (1021 ms)還要低。本研究實驗結果證實，警告聲音對於駕駛者有立即性反應，與以前研究學者 (Verwey & Zaidel 1999; Meyer, 2001) 有一致的現象。(4) 從問卷結果可以獲得佐證，如92%的受試者同意警告聲音頻率1,750Hz (佔69%)、3,000Hz (佔23%)對駕駛有幫助。

依據Graham (1999) 提議警告聲音也許可以透過警告聲音特質，如時序 (temporal)、旋律 (melodic) 及頻譜 (spectral) 等特性能夠改善。本研究實驗結果證實，駕駛者反應時間主要影響是經由頻譜特性改變警告聲音，而人耳頻域介於2,000到4,000Hz之間，具有較較好的敏感性，於在警告聲音改變不同頻率效益上，如在本研究實驗設計三種頻率下，1,750Hz及3,000Hz二種頻率的反應時間比500Hz還要短。這結果亦可從問卷結果獲得佐證。這結果也許受試者對於1,750Hz及

3,000Hz有比較強的知覺反應，所以，注意力特別高。在本研究實驗設計二種警示音下，連續型警示音比脈衝型警示音具有較好警示效果，平均反應時間較短。這結果也許反應出受試者對於連續類型警示音的主觀感受不舒服，所以，受試者立即反應，好讓警示音消除。這結果亦可從問卷結果獲得佐證。



## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

本研究主題一是在虛擬駕駛實境中，評估駕駛者邊開車、邊數學計算狀況下之開車績效，實驗結果證實二項作業，於同時發生（0ms SOA condition）狀況下，反應時間並不是最長，這種現象也許可以說明，駕駛者存有協調機制之駕駛行為策略。在-400ms SOA condition（數學計算運算式比車輛偏移早 400ms 出現），數學計算會增加工作負荷及反應時間增長，可是 不會影響開車績效。在 400ms SOA condition（車輛偏移比數學計算式早 400ms 出現），僅有輕微工作負荷效應發生在數學計算作業上。本研究亦可從額葉腦區之動態變化證實，在雙重作業狀況下，數學計算作業之心智負荷增加，於額葉腦區之 $\theta$ 波頻帶能量增加，具有一致性的成長趨勢(Sarnthein et al, 1998; Onton et al, 2005)，而與延遲時間(Latency)呈反向關係(Lin, 2008)。

綜觀不同的三種不同 SOA 狀況，而在數學計算作業上所造成分心干擾效應都沒有發生，因為受試者專注於開車作業及使用不同注意資源因應。另從腦區之動態變化證實，開車作業與 Motor 腦區有關，而數學計算作業與額葉腦區有關(Lin, 2008)。

本研究主題二實驗結果證實，受試者在單調駕駛環境狀況下，警示音確實可以提高行車安全。本研究亦可從枕葉腦區之動態變化證

實，給予警示音回饋下，於  $\alpha$  頻帶(8-12 Hz) 及  $\theta$  頻帶(4-7 Hz)，分別約可維持 10 秒及 35 秒的警覺提醒效果(Chen, 2009)。除此之外，讓我們感到興趣的是，在本研究雙重作業設計下，駕駛者 却具有提高駕駛的警覺性效果。本研究研究之具體結果，可提供現實世界駕駛環境之人機介面設計之參考，例如(1)互動式多媒體系統，以維持駕駛者注意力；(2)偵測瞌睡及警示系統發展之基礎，藉以持續保持駕駛者之活動。

## 5.2 實務應用

本研究透過 3D 立體環繞開車模擬環境下，進行二項實驗設計，研究主題一是製造分心實驗，探討在雙重作業下，執行開車及認知干擾作業，對駕駛者之工作負荷影響；研究主題二是探討警示音回饋的影響。本章節將依本研究主題一及二之研究發現，提出實務應用之參考，其說明臚列於後。

### 5.2.1 維持注意力之互動式多媒體車內資訊系統

在單調長途行駛中，若駕駛者感到疲勞或精神不濟，一般而言，為了維持注意力，通常使用方法如小睡片刻、吃口香糖、喝咖啡、開車窗及、乘客交談(Nguyen, Jauregui, & Dinges, 1998; Strayer, Drews, & Crouch, 2003; Stutts et al., 2003)或直接播放音樂(開大音量)

(Nguyen et al., 1998; Oron-Gilad & Shinar, 2000)。可是依據相關研究證實，若使用單向多媒體，如聽收音機、音樂或 iPod，並無法有效降低駕駛者瞌睡(Strohl et al., 2004; Stutts et al., 2003)。因此，近年來，研究學者為維持注意力，使用互動多媒體技術之相關研究(Nguyen et al., 1998; Strayer, Drews, & Crouch, 2003; Stutts et al., 2003)，引入車內(In-vehicle)資訊介面設計。然而，依據本研究主題一實驗設計之研究結果指出，在雙重作業下，受試者開車沒有分心現象，而在執行次要作業有較高的工作負荷。所以，未來研究，也許可考量在互動多媒體人機互動介面設計能容入簡易數學計算，以提升駕駛者精神狀態及行車安全。類似研究結果，如研究學者 Oron-Gilan, Ronen, & Shinar (2008)，模擬在長途開車環境中，車內系統提供了維持駕駛者清醒作業(如選擇方向作業、短期工作記憶遊戲作業及長期工作記憶常識作業)，結果實驗證實，這些清醒作業對於駕駛者之清醒具有正向效果。又如研究學者 Takayama and Nass (2008)，模擬受試者在單調及多變交通狀況之開車環境中，車內資訊系統提供互動式及被動式二種語言多媒體學習系統，用來評估多媒體學習系統對瞌睡的影響，結果實驗證實，輕微互動式多媒體語言系統能夠改善駕駛者瞌睡及改善開車績效。

## 5.2.2 瞌睡偵測及警示 (Drowsiness Dection and Warning)

依據 Lin, et al. (2009) 研究指出，有關瞌睡偵測衡量績效，其衡量績效指標有下列幾種：反應時間 (Response time, RT) (Philip, Taillard, Quera-Salva, Bioulac, & Akerstedt, 1999; Horne & Reyner, 2001)，駕駛軌跡 (driving trajectories) (Campagne, Pebayle, & Muzet, 2004; Rimini-Doering, Altmueller, Ladstaetter, & Rossmeier, 2005) 及駕駛者操控方向盤型態(patterns of drivers' moving handle wheel) (Fukuda, Akutsu, & Aoki, 1995; Ayoob, Grace, & Steinfeld, 2005)。面對眾多複雜分析方法中，生理訊號監控系統(Biomedical signal monitoring system) 僅能記錄相關數據，却無法自動分析，為了克服這問題，Lin, et al. (2008) 成功發展出腦電介面 (Brain-computer Interface, BCI) 系統，此 BCI 系統包括了一個生物信號採集/放大單元 (Signal Acquisition/Amplifying Unit)、無線傳輸模組 (Wireless Transmitter)、即時信號處理單元 (Real-time Signal Processing Unit ) 及主機系統 (Host System) 的顯示裝置 (圖 5.1)。當系統即時從腦波 (Electroencephalogram, EEG) 訊息偵測到駕駛者狀況，當分析被歸列為瞌睡狀況時，系統即時給予 1,750Hz 脈衝警告聲音給予警告。依 Chen (2009) 實驗結果證實，警告聲音之警覺效果約可維持 10 秒，此系統可以達到認知階段之監控、自動分析及預警回饋功能。

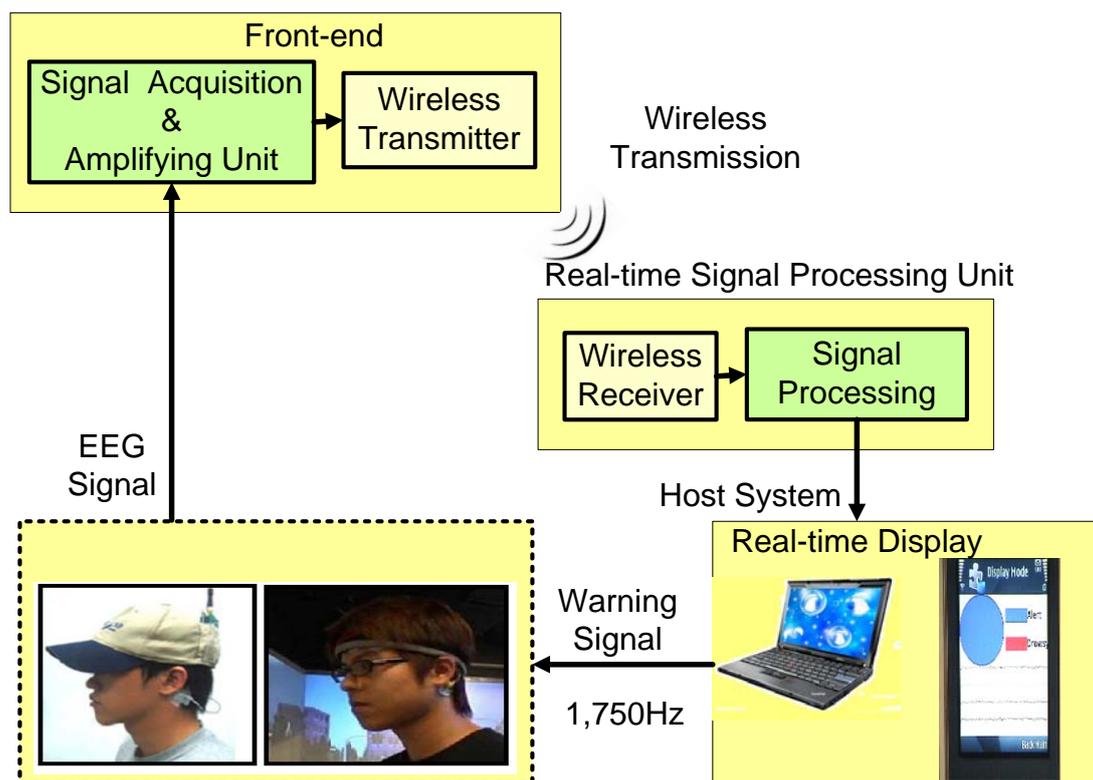


圖 5.1 瞌睡偵測及警示圖

### 5.3 研究限制與未來研究

在研究設計過程中，考量內部效度與外部效度，除了大膽假設，謹慎小心求證要求外，仍有許多形式或類型是本研究沒有考慮到的，以致於，本研究中具有某些程度的侷限性。本研究留下目前無法回答研究的問題，須再進一步補強研究限制，與可能的改進方法或構想，或在本研究基礎上再發展的相關議題，提出建議，以提供未來研究之參考。

### 5.3.1 研究限制

- (1) 受試者：在受試者年齡層方面，參與本研究者皆為本校學生，在實驗操控變數，較容易控制。然而，對於年長者而言，存有下列問題，如並不太容易徵求到自願參與年長者受試者，實驗操控變數較難控制，導致不能忠實反應出不同年齡層。所以，本研究結果限於年輕者，比較不具代表所有駕駛者。
- (2) 實驗設計：實驗場景為控制實驗之可能干擾因素，所以，場景設計是以夜晚開車環境為主，沒有路燈、交通號誌及建築物等道路類型。
- (3) 認知分心作業：僅有單一某特定困難程度之二位數加法，沒有簡單程度之加法，無法進行簡單困難程度之廣泛性比較與討論。
- (4) 開車作業：儘管反應時間是交通意外事故的重要變數，一般研究相信較低的反應時間值對於駕駛安全有較多好處(例如降低車禍發生機率)(Evans,1991; Chang, Lin, Hsu, Fung, & Hwang, 2009)。本研究除了握方向盤反應時間，回到第3車道外，並沒有加入其他變數，例如不同車速、前方車輛或障礙物、煞車等實驗變數操弄。
- (5) 不同時距變數操弄：本研究改變不同時距(-400, 0, & 400ms)，觀察分析受試者反應情形，雖然可以解析在某一時距下，受試者的駕駛行為，若能再增加一組較長時距(例如 $\pm 1200$ ms)，則可以了解駕

駛者在特殊事件中之實證結果。(註：本研究在預測實驗，使用時距 $\pm 800\text{ms}$ ，其實驗結果與 $\pm 400\text{ms}$ 相似。)

- (6) 警告類型：一般而言，許多交通突發狀況的發生是非預期的，因此警示訊息內容提供明確危險提醒是非常重要的。所以，考量本研究警示代表性因素，除了連續警告聲音(continuous warning tones)與脈衝警告聲音 (tone burst)二種聽覺外，應該再加其他類型聲音，並同時考量音量大小dB值變化。

### 5.3.2 未來研究方向

本研究主題一是操弄認知分心作業(數學計算)，製造分心實驗，因為上述研究限制，所以，經實驗結果證實並沒有造成駕駛者分心情形，却僅在回答數學計算時，產生高工作負荷情形，建議未來研究應該考量不同年齡層受試者(如年輕族群與年長族群)、認知分心作業不同程度水準(如數學計算困難及簡單)、視覺分心(交通環境視覺辨識)、不同時距(如 $\pm 1200\text{ms}$ 、 $\pm 400$ , &  $0\text{ms}$ )及開車作業(如不同車速、前方車輛或障礙物、煞車等)等衡量變數，進行實驗設計，以探討在這些因素或變數條件，對於駕駛者分心效應研究。

研究主題二是操弄警告訊息類型(不同警告聲音及頻率)，當系統(或腦電介面)偵測駕駛者有瞌睡現象，給予即時警告，以降低交通意外事故發生。因此，可以理解駕駛者分心對於系統提供警告有重大的

依賴性問題。萬一系統(或腦電介面)發生故障時，也許發生該警告而未警告，或不該警告卻警告誤判之系統可靠度問題，建議後續研究針對駕駛者使用依賴性問題、系統可靠度問題及聽覺音量dB大小等問題，進行深入探討。



## 參考文獻

1. Anderson, C., & Horne, J. A. (2006) Sleepiness enhances distraction during a monotonous task. *Sleep*, 29, 573-576.
2. Arthur, R. M., Pfeiffer, R. R., & Suga, N. (1971) Properties of 'two-tone inhibition' in primary auditory neurones. *Journal of Physiology*, 212, 593-609.
3. Ashcraft, M. H. (1992) Cognitive arithmetic: a review of data and theory. *Cognition*, 44, 75-106.
4. Baddeley, A. D. (1996) Exploring the central executive. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*. 49A, 5-28.
5. Baddeley, A. D. (2000) The episodic buffer: A new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4, 417-423.
6. Békésy G. V. (1960) *Experiments in hearing*. New York: McGraw-Hill.
7. Belz, S. M., Robinson, G. S., & Casali, J. G. (1999) A new class of auditory warning signals for complex systems: auditory icons. *Human Factors*, 41, 608-618.
8. Campbell, J. I. D. (1995) Mechanisms of simple addition and multiplication: a modified network-interference theory and simulation. *Mathematical Cognition*, 1, 121-164.
9. Carter, R. ( 2002 ) : 大腦的秘密檔案。(洪蘭譯)，臺北：遠流。(原著出版年：1998)。
10. Chang, S. H., Lin, C. Y., Hsu, C. C., Fung, C. P., Hwang, J. R. (2009) The effect of a collision warning system on the driving performance of young drivers at intersections. *Transportation Research Part F*, 12, 371-380.
11. Chayer, C., & Freedman, M. (2001) Frontal lobe functions. *Current Neurology and Neuroscience Reports*, 1, 547-552.

12. Chen, J. A. (2009) *Effects of Auditory Feedback on Increasing Drivers' Alertness*. Master thesis, National Chiao Tung University, Institute of Biomedical Engineering College of Computer Science.
13. Consiglio, W., Driscoll, P., Witte, M., & Berg, W. P. (2003) Effect of cellular telephone conversations and other potential interference on reaction time in a braking response. *Acc. Anal. Prev.*, 35, 495–500.
14. Deiber, M. P., Missonnier, P., Bertrand, O., Gold, G., Fazio-Costa, L., Ibañez, V., & Giannakopoulos, P. (2007) Distinction between perceptual and attentional processing in working memory tasks: A study of phase-locked and induced oscillatory brain dynamics. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 158-172.
15. Delgutte, B. (1990) Two-tone rate suppression in auditory-nerve fibers: dependence on suppressor frequency and level. *Hearing Research*, 49, 225-246.
16. departments/nrd-13/ driver-distraction/pdf/6.pdf
17. Deschuyteneer, M., & Vandierendonck, A. (2005) The role of response selection and input monitoring in solving simple arithmetical products. *Memory & Cognition*, 33 , 1472-1483.
18. DeStefano, D., & LeFevre, J. A. (2004) The role of working memory in mental arithmetic. *The European Journal of Cognitive Psychology*. 16, (3), 353-386.
19. Dingus, T. A., Hulse, M. C., & Barfield, W. (1998) Human-system interface issues in the design and use of advanced traveler information systems. In W. Barfield & T.A Dingus (Eds.), *Human factors in intelligent transportation systems*. Mahwah, NJ: Erlbaum. Pp. 359-395.
20. dynamics and electrophysiological correlates. *Canadian J. Experimental Psychology*, 54, 266-73.
21. Evans, L. (1991) *Traffic safety and the driver*. New York: Van Nostrand Reinhold.

22. Farber, E., Foley, J., & Scott, S. (2000) Visual attention design limits for ITS in-vehicle systems: The Society of Automotive Engineers standard for limiting visual distraction while driving. *Transportation Research Board Annual General Meeting*, Washington DC.
23. Fevre, J. A., & Bisanz, J. (1996) Multiple Routes to Solution of Single-Digit Multiplication Problems. *Journal of Experimental Psychology: General*, 125, 284-306
24. Fisch, B. J. (1991) *Spehlmann's EEG Primer*. 2nd rev ed. Amsterdam, the Netherlands: Elsevier.
25. Fürst, A. J., & Hitch, G. J. (2000) Separate roles for executive and phonological components of working memory in mental arithmetic. *Memory and Cognition*, 28, 774-782.
26. Gartner, W. B., & Murphy, M. R. (1979) Concepts of workload. In Hartman, B. O. and McKenzie, R.E. (Eds.) *Survey of methods to assess workload*. AGARD-AG-246.
27. Gawron, V. J. (2000) *Human performance Measures handbook*. Lawrence Erlbaum Associates, Inc. Mahwah, New Jersey.
28. Gopher, D., & Donchin, E. (1986) Workload: An examination of the concept. In K. R. Boff, L. Kaufman, & J. P. Thomas (Eds.), *Handbook of perception and human performance: Vol. II. Cognitive processes and performance* (pp. 41/1–41/49). New York: Wiley Interscience.
29. Graham, R. (1999) Use of auditory icons as emergency warning: evaluation within a vehicle collision avoidance application. *Ergonomics*, 42, 1233-1248.
30. Green, P. (2004) Driver distraction, telematics design, and workload managers: safety issues and solutions. *Proceedings of the 2004 International Congress on Transportation Electronics*, Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers,

- 387, 165-180.
31. Green, P., Levison, W., Paelke, G., & Serafin, C. (1994) *Suggested human factors design guidelines for diver information system*. Retrieved October 27, 2005, from <http://www.umich.edu/~driving/guidelines/>
  32. Grill-Spector, K., Kushnir, T., Edelman, S., Itzhak, Y., & Malach, R. (1998) Cue invariant activation in object-related areas of the human occipital lobe. *Neuron*, 21, 191–202.
  33. Gupta, N. Bisantz, A. M., & Singh, T. (2002) The effects of adverse condition warning system characteristics on driver performance: an investigation of alarm signal type and threshold level. *Behavior and Information Technology*, 12, 235-348.
  34. Hallahan, D. P., Lloyd, J. W., Kauffman, J. M., Weiss, M. P., & Martinez, E. A. (2005) *Learning disabilities: Foundations, characteristics, and effective teaching* (3rd ed.). Boston: Allyn & Bacon.
  35. Harbluk, J. L., Noy, Y. I., Trbovich, P. L., & Eizenman, M. (2007) An on-road assessment of cognitive distraction: Impacts on drivers' visual behavior and braking performance. *Acc. Anal. Prev.*, 39, 372–379.
  36. Harms, L., & Patten, C. (2003) Peripheral detection as a measure of driver distraction. A study of memory-based versus system-based navigation in a built-up area. *Transportation Research Part F*, 6, 23–36.
  37. Horberry, T., Anderson, J., Regan, M. A., Triggs, T. J., & Brown, J. (2006) Driver distraction: the effects of concurrent in-vehicle tasks, road environment complexity and age on driving performance. *Accid. Anal. Prev.*, 38, 185–191.
  38. Horne, J. A. & Balk, S. D. (2004) Awareness of sleepiness when driving. *Psychophysiology*, 41, 161-165.
  39. Horrey, W. J., Wickens, C. D., & Consalus, K. P. (2005) The distracted driver:

modeling the impact of information bandwidth, in-vehicle task priority, and spatial-separation on driver performance and attention allocation. *University of Illinois Human Factors Division Technical Report AHFD-05-11/GM-05-2*.

40. Huang, R. S., Jung, T. P., & Makeig, S. (2007) Multi-scale EEG brain dynamics during sustained attention tasks. *Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)*, 1173-1176, Honolulu, Hawaii.
41. Imbo, I., Vandierendonck, A., & Vergauwe, E. (1999) The contribution of working memory resources in the verification of simple mental arithmetic sums. *Psychological Research*, 62, 72-77
42. Jeng, J. L. (2007) *Electroencephalographic spectral changes from alertness to drowsiness in a driving simulator*, in Department of Biological Science and Technology: National Chiao Tung University, 2007.
43. Jiang, Y. (2004) Resolving dual-task interference: an fMRI study. *NeuroImage*, 22, 748-754.
44. Jung, T. P., Humphries, T. W., Lee, S., Makeig, M. J., McKeown, V. I., & Sejnowski, T. J. (1998) Extended ICA removes artifacts from electroencephalographic recordings. *dvances in Neural Information Processing Systems*, 10, 894-9008.
45. Jung, T. P., Makeig, S., Humphries, C., Lee, T. W., McKeown, M. L., Iragui, V. & Sejnowski, T. J. (2000) Removing electroencephalographic artifacts by blind source separation. *Psychophysiology*, 37, 163-178.
46. Jung, T. P., Makeig, S., Westerfield, W., Townsend, J., Courchesne, E., & Sejnowski, T. J. (2001) Analysis and visulization of single-trial event-related potentials. *Human Brain Mapping*, 14, 166-185.
47. Kemp, D. T. (1979) Evidence of mechanical nonlinearity and frequency selective

- wave amplification in the cochlea. *Arch Otorhinolaryngol*, 224, 37-45.
48. Klingberg, T., & Roland, P. E. (1997) Interference between two concurrent tasks is associated with activation of overlapping fields in the cortex. *Cognitive Brain Res*, 6, 1-8.
  49. Klopp, J., Marinkovic, K., Chauvel, P., Nenov, V., & Halgren, E. (2000) Early widespread cortical distribution of coherent fusiform face activity. *Hum. Brain Map.*, 11, 286–293.
  50. Koechlin, E., Basso, G., Pietrini, P., Panzer, S. & Grafman, J. (1999) The role of the anterior prefrontal cortex in human cognition. *Nature*, 399, 148 -151.
  51. Kramer, A. F., Wickens, C. D., & Donchin, E. (1983) An analysis of the processing requirements of complex perceptual-motor task. *Human Factor*, 197, 792-795.
  52. Lal, S. K. L. & Craig, A. (2002) Driver fatigue: electroencephalography and psychological assessment. *Psychophysiology*, 39, 313-321.
  53. Lansdown, T, C. (2002) Individual differences during driver secondary task performance: verbal protocol and visual allocation findings. *Acc. Anal. Prev.*, 34, 655–662.
  54. Lansdown, T. C., Brook-Carter, N. B., & Kersloot, T. (2002) Primary task disruption from multiple in-vehicle systems. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 7, 151-168.
  55. Lansdown, T. C., Brook-Carter, N., & Kersloot, T. (2004) Distraction from multiple in-vehicle secondary tasks: vehicle performance and mental workload implications. *Ergonomics*, 47, 91-104.
  56. Lee, J. D., McGehee, D. V., Brown, T. L., & Reyes, M. L. (2002) Collision warning timing, driver distraction, and driver response to imminent rear-end collisions in a high fidelity driving simulator. *Human Factors*, 44, 314-334.

57. Lemaire, P., Abdi, H., & Fayol, M. (1996) The role of working memory resources in simple cognitive arithmetic. *European Journal of Cognitive Psychology*, 8, 73-103.
58. Levy, J., & Pashler, H. (2001) Is dual-task slowing instruction dependent? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 862-869.
59. Lin, C. T., Ko, L. W., Chung, I. F., Huang, T. Y. Chen, Y. C., Jung, T. P., & Liang, S. F. (2006) Adaptive EEG-based alertness estimation system by using ICA-based fuzzy neural networks. *IEEE Transactions on circuits and systems –I : Regular papers*, 53, 2726-2738.
60. Lin, C. T., Pal, N. R., Chuang, C. Y., Jung, T. P., Ko, L. W. & Liang, S. F. (2008) *An EEG-based subject- and session-independent drowsiness detection.* Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN) and the World Congress on Computational Intelligence (WCCI), 3448–3454, Hong Kong, June 2008.
61. Lin, C. T., Wu, R. C., Jung, T. P., Liang, S. F., & Huang, T. Y. (2005) Estimating alertness level based on EEG spectrum analysis. *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, 19, 3165-3174.
62. Lin, C. T., Wu, R. C., Liang, S. F., Chao, W. H. Chen, Y. J., & Jung, T. P. (2005) EEG-based drowsiness estimation for safety driving using independent component analysis. *IEEE Transactions on circuits and systems –I : Regular papers*, 52, 2726-2738.
63. Lin, C. T., Chen, Y. C., Huang, T. Y., Chiu, T. T., Ko, L. W., Liang, S. F., Hsieh, H. Y., Hsu, S. H., & Duann, J. R. (2008) Development of Wireless Brain Computer Interface With Embedded Multitask Scheduling and its Application on Real-Time Driver's Drowsiness Detection and Warning. *IEEE Transactions on*

- biomedical engineering*, 55, 1582-1591.
64. Lin, H. Z. (2008) *EEG dynamics in response to distraction in virtual reality driving simulation*, in Department of Electrical and Control Engineering: National Chiao Tung University.
  65. Logie, R. H., Gilhooly, K. J., & Wynn, V. (1994) Counting on working memory in arithmetic problem solving. *Memory & Cognition*, 22, 395-410.
  66. Madden, D. J., Turkington, T. G., Provenzale, J. M., Hawk, J. M., Hoffman, T. C., & Coleman, R. E. (1997) Selective and divided visual attention: Age-related changes in regional cerebral blood flow measured by H215O PET. *Human Brain Mapping*, 5,389-409.
  67. Makeig S. (1993) Auditory event-related dynamics of the EEG spectrum and effects of exposure to tones. *Electroencephalog. clin. Neurophysiolog*, 86:283-93.
  68. Makeig, S. & Jung, T. P. (1996) Tonic, phasic and transient EEG correlates of auditory awareness in drowsiness. *Cognitive Brain Research*, 4, 15-25.
  69. Makeig, S., & Inlow, M. (1993) Lapses in alertness: Coherence of fluctuations in performance and EEG spectrum. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 86, 23-35.
  70. Makeig, S., Bell, A. J., Jung, T. P., & Sejnowski, T. J. (1996) *Independent component analysis of electroencephalographic data*, In: *Advances in Neural Information Processing Systems* 8:145-51.
  71. Makeig, S., Enghoff, S., Jung, T. P., & Sejnowski T. J. (2000) An efficient basis for
  72. brain-actuated control. *IEEE Trans Rehab Eng*, 8, 208-11.
  73. Makeig, S., Jung, T. P., & Sejnowski, T. J. (2000) Awareness during drowsiness: dynamics and electrophysiological correlates. *Canadian Journal of*

- Experimental Psychology*, 54, 266-273.
74. Makeig, S., Jung, T. P., Bell, A. J., Ghahremani, D. & Sejnowski T. J. (1997) Blind separation of event-related brain responses into independent components. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 94, 10979-84.
75. Makeig, S., Westerfield, M., Jung, T. P., Covington, J., Townsend, J., Sejnowski, T. J., & Courchesne, E. (1999) Independent components of the late positive event-related potential in a visual spatial attention task. *Journal of Neuroscience*, 19, 2665-2680.
76. Makeig, S., Westerfield, M., Jung, T. P., Enghoff, S., Townsend, J., Courchesne, E., & Sejnowski, T. J. (2002) Electroencephalographic Sources of Visual Evoked Responses. *Science*, 295, 690-94.
77. Martens, M. H., Van Winsum, W. (1999) Measuring distraction: the Peripheral Detection Task. TNO Human Factors, Soesterberg, Retrieved February 8, 2005, from <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/pdf>
78. Matsuoka, T., Yokoyama, K., Mizuno, Y., & Takata, K. (2000) Estimation of drowsiness while driving using experimentally-derived time series of heart rate variability. *Bulletin of Daido Institute of Technology*, 36, 97-100.
79. Meijman, T. F. & O'Hanlon, J. F. (1984) Workload. An introduction to psychological theories and measurement methods. In P.J.D. Drenth, H. Thierry, P.J. Willems & C.J. de Wolff (Eds.), *Handbook of Work and Organizational Psychology*. (pp. 257-288). New York: Wiley.
80. Meyer, J. (2001) Effects of warning validity and proximity on responses to warnings. *Human Factors*, 43, 563-572.
81. Miller, J. (1991) Channel interaction and the redundant-targets effect in bimodal divided attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, (1), 160-169.

82. Navon, D., & Miller, J. (2002) Queuing or sharing? A critical evaluation of the single-bottleneck notion. *Cognitive psychology*, 44, 193-251.
83. Nguyen, L. T., Jauregui, B., & Dinges, D. F. (1998) *Changing Behaviors to Prevent Drowsy Driving and Promote Traffic Safety: Review of Proven, Promising, and Unproven Techniques*. AAA Foundation for Traffic Safety, Washington DC.
84. Olsson, S., & Burns, P. C. (2000) Measuring driver visual distraction with a peripheral detection task. Retrieved Feb 8, 2005, from <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/>
85. Onton, J., Delorme, A., & Makeig, S. (2005) Frontal Midline theta dynamics during working memory. *Neuroimage*, 27, 341-356.
86. Oron-Gilad, T., Ronen, A., Shinar, D. (2008) Alertness maintaining tasks (AMTs) while driving. *Acc. Anal. Prev.*, 40, 851-860.
87. Oron-Gilad, T., Shinar, D. (2000) Driver fatigue among military truck drivers. *Transport. Res. F*, 3, 195-209.
88. Parasuraman, R., Hancock, P. A., & Olofinboba, O. (1997) Alarm effectiveness in driver-centred collision-warning systems. *Ergonomics*, 39, 390-399.
89. Pashler, H. (1994) Dual-task interference in simple tasks: data and theory. *Psychological Bulletin*, 116, (2), 220-244.
90. Pashler, H., & Johnston, J. C. (1998) *Attentional limitations in dual-task performance*. In H. Pashler (Ed.), *Attention* (pp.155-189). East Essex, United Kingdom: Psychology Press.
91. Patten, C. J. D., Kircher, A., Östlund, J., & Nilsson, L. (2004) Using mobile telephones: cognitive workload and attention resource allocation. *Acc. Anal. Prev.*, 36, 341-350.
92. Perez Velazquez, J.L., Wennberg, R. (2009) *Coordinated Activity in the Brain:*

- Measurements and Relevance to Brain Function and Behaviour*. Springer, New York.
93. Pouget, A., & Sejnowski, T. J. (1997) Spatial transformations in the parietal cortex using basis functions. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 9, 222-237.
94. Rammelaere, S. D., Stuyven, E., & Vandierendonck, A. (1999) The contribution of working memory resources in the verification of simple mental arithmetic sums. *Psychological Research*, 62, 72-77.
95. Ranney, T. A. (1994) Models of driving behavior: a review of their evolution. *Accid. Anal. Prev.*, 26, (6), 733-750.
96. Ranney, T. A., Mazzae, E., Garrott, R., & Goodman, M. J. (2000) *NHTSA driver distraction research: past, present, and future*. Retrieved April 5, 2005, from <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/departments/nrd-13/driver-distraction/pdf/233.pdf>
97. Rasmussen, J. (1987) *The definition of human error and a taxonomy for technical system design*. In: Rasmussen, J., Duncan, K., Leplat, J. (Eds.), *New Technology and Human Error*. Wiley, Chichester, U.K.
98. Reyner, L. A. & Horne, J. A. (2000) Early morning driver sleepiness: Effectiveness of 200 mg caffeine. *Psychophysiol*, 37, 251-256.
99. Rumar, K. (1990) The basic driver error: late detection. *Ergonomics*, 33, 1281-1290.
100. Ruthruff, E., Johnston, J. C., Van Selst, M. V., Whitsell, S., & Remington, R. (2003) Vanishing dual-task interference after practice: has the bottleneck been eliminated or is it merely latent? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 280-289.
101. Sanders, M. S., & McCormick, E. J. (1993) *Human factors in engineering and design*. (7th ed.) New York: McGraw-Hill.
102. Sarnthein, J., Petsche, H., Rappelsberger, P., Shaw, G. L., & Stein, V. (1998) A

- Synchronization between prefrontal and posterior association cortex during human working memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 95, 7092-7096.
103. Schier, M. A. (2000) Changes in EEG alpha power during simulated driving: a demonstration. *International Journal of Psychophysiology*, 37, 155-162.
104. Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2000) Mental multiplication and working memory. *European Journal of Cognitive Psychology*, 12, 552-570.
105. Seitz, K., & Schumann-Hengsteler, R. (2002) Phonological loop and central executive processes in mental addition and multiplication. *Psychologische Beiträge*, 44, 275-302.
106. SENSE8 Corp. (1997) *WorldToolKit Reference Manual*, (7th ed.) Mill Valley, CA:Author.
107. Sheridan, T. B. (2004) Driver distraction from a control theory perspective. *Human Factors*, 46, 587-599.
108. Sivak, M. (1996) Motor-vehicle safety in Europe and the USA: a public-health perspective. *Journal of Safety Research*, 27, 225-231.
109. Slocum, G. K., Williges, B. H., & Roscoe, S. N. (2000) Meaningful shape coding for aircraft switch knobs. *Aviation Research Monographs*, 1, 27-40.
110. Smith, P., Shah, M., & Lobo, N. D. V. (2003) Determining driver visual attention with one camera. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 4, 205-218.
111. Sowell, E. R., Thompson, P. M., Holmes, C. J., Jernigan, T. L., & Toga, A. W. (1999) In vivo evidence for post-adolescent brain maturation in frontal and striatal regions. *nature neuroscience*, 2, 859-861.
112. Squire, L. R., Stark, C. E. L., & Clark, R. E. (2004) The medial lobe. *Annu. Rev. Neurosci.*, 27, 279-306.

113. Sternberg, R. J. (2003) *Cognitive psychology*. Belmont, CA: Wadsworth.
114. Strayer, D. L., & Johnston, W. A. (2001) Driven to distraction: Dual-task studies of simulated driving and conversing on a cellular telephone. *Psychological Science*, 12, 462-466.
115. Strayer, D. L., Drews, F. A., & Crouch, D. J. (2003) *Fatal distraction? A comparison of the cell-phone driver and the drunk driver*. In D. V. McGehee, J. D. Lee, & M. Rizzo (Eds.), *Driving assessment 2003: International Symposium on Human Factors in Driver Assessment, Training, and Vehicle Design* (pp. 25–30). Iowa City: University of Iowa, Public Policy Center.
116. Stutts, J. C., Reinfurt, D. W., Staplin, L., & Rodgman, E. A. (2003a) *The role of driver distraction in traffic crashes*. AAA Foundation for Traffic Safety. Retrieved October 27, 2007, from <http://www.aaafoundation.org/pdf/distract.pdf>
117. distraction.pdf
118. Stutts, J. C., Wilkins, J. W., Osberg, J. S., & Vaughn, B. V. (2003b) Driver risk factors for sleep-related crashes. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 321-331.
119. Stutts, J., Feaganes, J., Rodgman, E., Hamlett, C., Meadows, T., & Reinfurt, D. (2003) *Distractions in everyday driving*. Washington, DC: AAAFoundation for Traffic Safety.
120. Takayama, L., & Nass, C. (2008) Assessing the effectiveness of interactive media in improving drowsy driver safety. *Human factors*, 50, 5, 772-781.
121. Tombu, M., & Jolicoeur, P. (2003) A central capacity sharing model of dual-task performance. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, (1), 3-18.
122. Treat, J. R., Tumbas, N. S., McDonald, S. T., Shinar, D., Hume, R. D., Mayer, R. E., Stansifer, R. L., & Castellan, N. J. (1977) *Tri-level study of the causes of traffic accidents*. Final report on U.S. Department of Transportation Contract.

Indiana Univer., Institute for Research in Public Safety. Washington, DC: Government Printing Office.

123. UW Computing & Communications. Retrieved April 15, 2009, from <http://faculty.washington.edu/chudler/1020.html>
124. Van Orden, K. F., Jung, T. P., & Makeig, S. (2000) Combined eye activity measures accurately estimate changes in sustained visual task performance. *Biological psychology*, 52, 221-240.
125. Van Selst, M., & Jolicoeur, P. (1997) Decision and response in dual-task interference. *Cognitive psychology*, 33, 266-307.
126. Verwey, W. B., & Zaidel, D. M. (1999) Preventing drowsiness accidents by an alertness maintenance device. *Accident Analysis and Prevention*, 35, 199-211.
127. Waard, D. D. (1996) *The measurement of drivers' mental workload*. PhD thesis, University of Groningen. Haren, The Netherlands: University of Groningen, Traffic Research Centre.
128. Wang, J. S., Knipling, R. R., & Goodman, M. J. (1996) The role of driver inattention in crashes: New statistics from the 1995 Crashworthiness Data System. *40th Annual Proceedings of the Association for the Advancement of Automotive Medicine*, Vancouver, British, Columbia, 377-392.
129. Wester, A. E., Böcker, K. B. E., Volkerts, E. R., Verster, J. C., & Kenemans, J. L. (2008) Event-related potentials and secondary task performance during simulated driving. *Accid. Anal. Prev.*, 40, 1-7.
130. Wickens, C. D., & Hollands, J. (2000) *Engineering psychology and human performance*. (3<sup>rd</sup> ed.) Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
131. Wickens, C. D., & Seppelt, B. D. (2002) *Interference with driving or in-vehicle task information: the effects of auditory versus visual delivery* (AHFD-02-18/GM-02-3). Savoy, IL: University of Illinois, Aviation Human

Factors Division.

132. Wickens, C. D., Gordon, S. E., & Liu, Y. (1997) *An introduction to human factors engineering*. New York: Addison Wesley Longman.
133. Wickens, C. D., Lee, J., Liu, Y., & Gordon-Becker, S. (2004) *An introduction to human factors engineering*. (2nd ed.) New York: Pearson Education.
134. Wickens, C.D. (2008) multiple Resources and Mental Workload. *Human Factors*, 50, 449- 455.
135. Williges, R. C., & Wierelle, W. W. (1979) Behavioral measures of aircrew mental workload. *Human Factors*. 21, 549-574.
136. Wood, J., Chaparro, A., Hickson, L., Thyer, N., Carter, P., Hancock, J., Hoe, A., Le, I., Sahetapy, L., Ybarzabal, F. (2006) The effect of auditory and visual distracters on the useful field of view: implications for the driving task. *Investigative Ophthalmology and Visual Science*, 47, (10), 4646-4650.
137. Wu, C., & Liu, Y. (2007) Queuing Network Modeling of Driver Workload and Performance. *IEEE transactions on intelligent transportation systems*, 8 (3), 528-537.
138. Young, K. L., Regan, M. A., & Hammer, M. (2003) *Driver distraction: a review of the literature*. Monash University Accident Research Centre, Report No.206, ISBN 0732617154.
139. Young, M. S., Mahfoud, J. M., Walker, G. H., Jenkins, D. P., & Stanton, N. A . (2008) Crash dieting: the effects of eating and drinking on driving performance. *Acc. Anal. Prev.*, 40, 142-148.
140. 何晉亨(2004) 不同動態交通下駕駛行模式之建立與分析，國立雲林科技大學，工業工程與管理學系，碩士論文。
141. 吳宗修(2003) 聽覺干擾對變換車道駕駛行為之影響。 行政院國家科學委員會專題研究計畫(NSC92-2211-E-009-059)，台灣，台北市。

142. 李永輝(2001) 道路駕駛以及使用車內資訊系統的行為研究(II)。行政院國家科學委員會專題研究計畫(NSC90-2218-E-011-024)，台灣，台北市。
143. 林彥輝 (2004) 作業環境中勞工心智負荷測量之方法，上網日期：2009年10月27日。網址：[http://www.iosh.gov.tw/Book/Message\\_Publish.aspx?P=39&U=406](http://www.iosh.gov.tw/Book/Message_Publish.aspx?P=39&U=406)。
144. 柳永青(2003) 駕駛行為模擬實驗室之建置與應用，中華民國人因工程學會。
145. 曾坤章(2010)。腦波的分類 上網日期：2010年1月19日。網址：<http://postnewage.tripod.com/brainevaluation.html>
146. 黃雪玲(2007) 人因負荷預警技術之研發(二)。行政院原子能委員會專題研究計畫(962001INER005)，台灣，台北市。

