

VR 道路場景應用於行人穿越道路決策行為之評估測試

歐陽昆¹、莊佳燕¹、*黃國禮²

¹ 南臺科技大學創新產品設計研究所、² 南臺科技大學流行音樂系

*z3z@stust.edu.tw

摘要

在許多國家當中，行人的交通事故發生一直都居高不下。當行人穿越道路時，需要複雜的認知系統來解讀道路交通訊息，判斷是否正確的穿越道路。目前虛擬實境（virtual reality, VR）的發展應用已經相當普遍，對這項技術也報有極大的關注，在許多廣泛的領域都能夠發現它的應用，已然成為具有相當潛力的新產業。因此，本研究將探討沉浸式虛擬實境，在穿越道路實驗給予的臨場感以及實驗當下與過後之感受差異。研究邀請 30 位受試者進行測試 VR 穿越道路決策系統，探討穿越道路時所作出的決策能力，接受安全與危險交通劇本交替之測驗，並分析受試者穿越道路之決策，本研究結果將可給予未來模擬實驗環境設計時的參考。

關鍵詞：行人、穿越道路、虛擬實境、沉浸式體驗

The Application of Virtual Reality in a Traffic Road Setting to Evaluate Decision Making Behavior during Pedestrian Road-crossing

Yang-Kun Ou¹、Jia-Yan Jhuang¹、* Kuo-Li Huang²

¹ Department of Creative Product Design, Southern Taiwan University of Science and Technology

² Department of Popular Music Industry, Southern Taiwan University of Science and Technology

Abstract

Traffic accidents involving pedestrians have remained high in many countries. Complex cognitive processes are required by the pedestrians to interpret information from the road and the flow of traffic in order to plan for and execute a safe and timely crossing. On the other hand, the applications of virtual reality have been extensive in recent years as enormous attention has been paid to this technology and its use has been proven in fields far and wide, making it a new industry with boundless potential. Therefore, this study investigated the sense of realism in a pedestrian road-crossing experiment via immersive virtual reality, as well as any differences in the subjects' experience during and after the experiment. To this end, this study recruited thirty subjects to undergo a virtual reality road-crossing experiment in which both low- and high-risk traffic scenario scripts were alternated and the decision making processes were analyzed. Results of this study can provide invaluable information to guide future virtual reality set designs to simulate traffic roads.

Keywords: Pedestrian, Road-crossing, Virtual Reality, Immersive Experience

壹、前言

在許多國家，行人產生碰撞的交通意外比例大約是 12 %到 20 % [1-2]。根據研究指出人車衝突的情況有 70 %是由行人所引起[3-4]。由於行人缺乏保護設備以及移動速度較慢，一旦發生了交通事故，往往造成極大傷害；而 Zegeer 與 Deen 在研究當中指出美國在 1974 年之行人交通事故占總交通事故雖然不到 1%，但其死亡人數卻占總事故之死亡人數 18 %，並發現在都會區之行人交通事故會因人口數之多寡而增加[5]。

行人走路是個人在環境移動或與社會互動中，增加城市活力和個人健康的方式，然而走於複雜度高的道路，可能會考慮是否感覺容易、安全、舒適或方便。在穿越道路時須先了解交通環境、車輛方向，並確定車輛到達之前有足夠時間且保持持續性的察覺能力至穿越道路為止，需要複雜的認知功能來解讀道路的交通訊息進而做出穿越道路的決策，而穿越複雜的道路時需使用動態認知能力，包含協調（coordination）、行動抑制（initiation of action）、自我意願（self-awareness）、認知額外干擾（external distracters）、報告控制（response control）與決定執行重要部分的認知抑制能力 [6]。因此要安全穿越道路，不可或缺的條件為：（1）確定車輛之間的差距時間（時間間距）；（2）多少時間可以穿越（例如：行走速度和加速能力），原則上，可用時間大於穿越時間方能安全穿越道路。但隨年齡增長，人體結構和功能會逐漸老化，老化會造成知覺敏銳度降低、認知能力改變、動作精準度與敏捷度的退化，簡單來說就是感知、認知、運動三項機能，會影響決策與行動。過去研究顯示，認知能力不影響行走於單一道路時情形[7]，但複雜的穿越道路任務需使用到注意力、動態抑制、協調與控制能力，因此行人事故案件以在複雜的道路環境時發生最多。

虛擬實境是近幾年來最具有發展力的一項科技。Sutherland 創造第一個虛擬現實及擴增實境頭戴式顯示器系統。沉浸式虛擬實境是 HMD 透過電腦來連接的 VR 技術，將耳機和螢幕整合而成一個頭戴式裝置，提供環繞音效並可以記錄使用者頭部的動作以及使用位置[8]，當使用者配戴頭戴型顯示器時，在視覺與聽覺的感受上更有空間的環繞感與臨場感，讓人身歷其境，若是再配戴感測手套或是感應鞋，更能將使用者所做出的動作給予回饋。

近年來 VR 的技術進步，畫面的更新率提高，亦提升了使用者身歷其境的臨場感，應用的範圍也逐漸擴大[9]，如飛行員利用飛行模擬器來訓練，以及最為常見的便是應於遊戲娛樂，呈現出更逼真的感受動作冒險遊戲，但如此方便的科技用以做為行為科學研究的實驗設備方面卻鮮少有文獻以及資料出現。因此本研究將虛擬實境所營造出來的臨場感，應用於交通場景的介面開發上，使用沉浸式虛擬實境（Immersion VR）針對行人穿越道路時所作出的決策能力，接受安全與危險交通劇本交替之測驗做探討，實驗過程中除了能讓受試者更接近真實的穿越道路感受，也能提供受試者有更多的安全性。

綜合上述，本研究目的為：（1）在無交通號誌情況下，透過 VR 了解行人穿越道路的決策行為，探究行人是否因不同車速與車輛間距下，而影響其對道路訊息之決策能力；（2）了解在虛擬實境下，視覺可視區域（UFOV）是否與穿越道路決策之行為有所差異；（3）了解使用沉浸式虛擬實境實驗當下與完成後，受試者的生理與心理感受。

貳、文獻探討

一、行人決策行為

行人穿越道路時須先了解交通環境、車輛方向，並確定車輛到達之前有足夠時間且保持持續性的察覺能力至穿越道路為止。在過去對高齡行人穿越道路相關研究中顯示，由於感知接收能力、認知能力、行動能力的退化，會影響對車子接近的時間判斷、車速快慢的反應，導致做出錯誤的穿越道路決策而發生意

外[10-14]，因此可以知道高齡者在穿越道路時發生意外原因與此三項能力的衰退有所關聯。

二、認知功能

認知是人獲得和應用知識時，依賴一系列心理活動，如注意、記憶、學習、理解、知覺、思維、決策、解決問題、產生語言、推理等這些心理活動的總稱，認知能力即為執行這些活動的能力，會因年紀增加而降低此能力[15-16]。王碧華等人將認知能力分為五大指標，包括了判斷力、定向力、記憶力、專注力、計算力，評估我們獲取知識以後如何使用和處理知識的能力是否衰退[17]。判斷力指的是對事情的判斷是否合理，定向力指的是是否有正確辨別出人、事、時、地、物的能力，記憶力是指記憶事物的能力是否正常，專注力則是是否可以將注意力放在所需集中的事物上。

三、情境警覺

情境警覺能夠協助人員察覺環境中有意義的線索，並且運用本身的經驗或知識理解線索的意義，進而對近程的未來做預測，但會隨著年齡增加對察覺周遭重要資訊的能力有所衰退，其主要原因為認知能力退化所影響[18]，人員若無法正確執行情境知覺來察覺環境中重要線索，進行理解及決策，並做出適當的反應行為，將極可能造成嚴重的影響後果[19]。

情境知覺可以從資訊處理架構的角度來看[18]，分為三個階段，每一階段都要透過前一階段的完成才能進入下一階段：

- (一) **第一階段 (Level 1 SA)**：察覺環境中關鍵的元素。
- (二) **第二階段 (Level 2 SA)**：理解這些環境元素代表的意義，包括質與量。
- (三) **第三階段 (Level 3 SA)**：針對感知環境中的元素進行未來狀態變動的預測。

四、有效視域

一般視域分為兩種：一為 FFoV (functional field of view)，另一種為有效性視域 (useful field of view, UFOV)。FFoV 為當執行視覺偵測工作時，從刺激訊號短暫出現且受測者所能反應注視到的區域[20]；UFOV 為能從全部視覺區域裡，不需移動眼睛或頭部即能獲得有意義的資訊，並且有效視域的量測似乎比僅討論視力等級指標來得重要，被證明是一種高度敏感對視覺處理速度和視覺注意能力評估測試[21-23]。Owsley 等人使用有效性視域 (UFOV) 來測量，指出高齡駕駛者之認知處理及資訊處理能力明顯衰退，與車禍發生的原因有很大的關聯[24]。他們也發現高齡駕駛者有效視域的衰減不僅會多 3-4 倍發生車禍的機率，若在十字路口更是高出 15 倍之多。另外，當 UFOV 下降 40% 及以上的受測者比 UFOV 下降低於 40% 的受測者發生事故的可能性要高 2.2 倍[24]。Myers 等人研究了 UFOV 和實車駕駛 (on-road driving) 測驗成績之間的關係，結果亦顯示 UFOV 降低出現了更多的駕駛失誤，例如沒有對停車標誌做出應有的反應，錯過重要的道路標誌等[25]。由上述得知，UFOV 與駕駛績效有著顯著的關係與預測性，並且是能區分出風險駕駛員的有力工具。

五、虛擬實境

虛擬實境的概念源於 1960 年代 Ivan E. Sutherland 教授所提出的“Ultimate Display”，主要介紹以電腦顯示 3D 空間突現的概念，是一個具有沉浸、想像、互動的介面，涵蓋所有感官的互動方式，有別以往單純的影像呈現[26-27]。利用電腦相關軟硬體技術（如：電腦繪圖、影像工具）可以模擬真實世界的環境、聲音、影像，使用者甚至可以和虛擬場景中的人物及物體互動，藉由視覺、聽覺及觸覺受到的刺激產生動作回應，讓人如同身置於其中，成為使用者與資訊互動的一種新的介面[28-29]。種類可分為：

- (一) **融入式虛擬實境 (Immersion VR)**：此種虛擬實境要有特定的設備（如頭盔顯示器、3D 滑鼠、追蹤器、資料手套），當使用者進入虛擬環境後會產生一個環繞使用者的環境，使用者將完全融入系統中，完全與外界隔離。
- (二) **桌上型虛擬實境 (Desktop VR)**：此種虛擬實境只需使用一般的多媒體電腦與虛擬實境軟體，

並搭配鍵盤、滑鼠等設備即可操作。

(三) **模擬器式虛擬實境 (Simulator VR)**：此種虛擬實境能夠真實的模擬實際環境，並完整的模擬特定的操作界面，讓使用者在特定的操作環境中模擬真實操控設備的感受，是最早發展的虛擬實境系統。

(四) **投影式虛擬實境 (Projection VR)**：此種虛擬實境主要是使用投影機將虛擬影像投射至 3D 螢幕或牆上，讓整個場景在使用者周圍投射出來。使用者可以透過配戴 3D 立體眼鏡來體驗虛擬情境，效果如同 3D 電影[30]。

參、實驗方法與過程

本研究邀請 30 位受試者使用沉浸式虛擬實境，進行穿越道路決策實驗。探討受試者在進行沉浸式 VR 實驗當下與結束後的感受，並分析穿越道路決策後實驗數據。

一、研究對象

研究對象為 30 位行走正常且視聽覺正常的青少年，且無認知或身心障礙。在實驗前受試者會接受走路速度測量評估，每位受試者須測試 10 公尺走路速度四次，快步走路與正常速度各兩次，來了解受試者走路速度。

二、研究前測驗

所有受試者於研究前接受有效視域，來了解視覺執行能力。

有效視域測驗（如圖 1 所示）難易度分為三個水準：訊息處理速度、分割注意力以及選擇注意力。

(1) 訊息處理速度：螢幕中圖案快速顯示後消失，受試者須辨別螢幕中央的圖案為何。(2) 分割注意力：除了辨別螢幕中央的圖案外，受試者需察覺放射狀的另外一個目標物。(3) 選擇注意力：受試者除了辨識中央的圖案和察覺放射狀的另一個目標物外增加了而外干擾困難度最高，受試者須指出外圍的目標物在哪個方向。

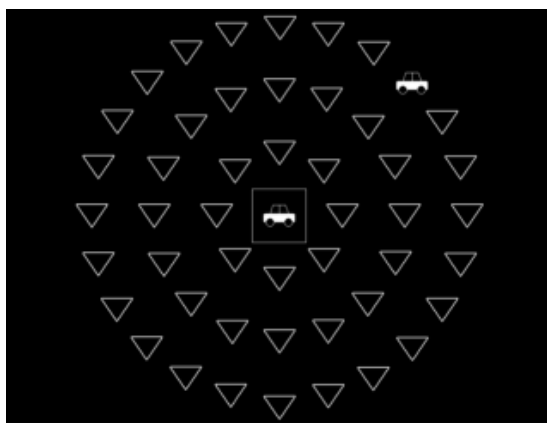


圖 1 有效視域測試畫面

三、實驗場景設置與設備

進行實驗的前期準備工作，使用程式發展工具 (Unity) 開發需要的相關軟體程式，將實驗模擬劇本寫入，以及使用場景編輯工具設計實驗需要的場景，例如使用 3ds Max 軟體建造場景，Iray 或 V-Ray 渲染做出 360°或 720°全景效果圖（如圖 2 所示），並與程式結合應用於頭戴型顯示器設備。



圖 2 沉浸式虛擬實境實驗畫面

四、實驗劇本安排

本實驗為一道路穿越模擬實驗，並參考 Stoker 等人的潛在風險分類，將實驗場景為郊區直線道路型態設計，交通場景劇本設定為路寬為 6.5 公尺的雙向直線道路，無設置任何交通號誌之路口[31]。以台灣駕駛為主靠右行駛，從左而來車輛為對向來車，交通情況包含兩輛車以同樣速度往受試者方向前進（如圖 3 所示）。

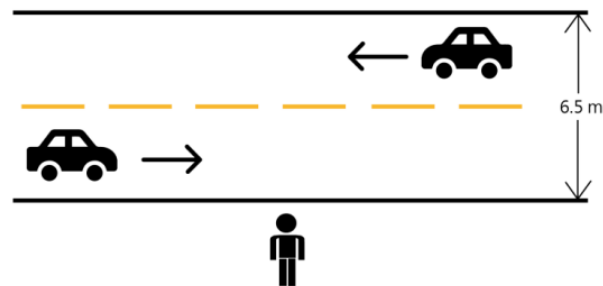


圖 3 穿越道路實驗示意圖

五、實驗設計

實驗為 3（車速：40 km/h, 50 km/h, 60 km/h，組內因子） $\times$ 5（穿越時間：3s, 4s, 5s, 6s, 7s，組內因子）之二因子實驗。實驗組合共有 15 次試驗，每位受測者須執行兩次完整實驗組合，共 30 次。收集的資料包含：（1）走路速度：正常與快步走路速度。（2）剩餘時間（最後穿越道路安全底限的剩餘時間）：剩餘時間=時間間距-受測者認為安全穿越道路底限的時間。（3）安全邊界（safety margin, SM）：安全邊界=剩餘時間-受測者正常行走 6.5 公尺的走路時間。若安全邊界小於或等於零表示受測者在穿越道路過程中，會與來車產生碰撞（unsafe decision）。

Oxley 等人將穿越道路行為分為兩種：非交互式與交互式。非交互式指行人穿越道路時不會滯留在路上，以連續的動作穿越道路；交互式則指穿越道路的途中會停滯在路中央觀察路況[10]。本實驗中採用交互式，讓受試者在決定往前穿越道路時可再決定是否停留路中央，來閃避對向道來車（如圖 4 所示）。



圖 4 成功閃避對向來車實驗畫面

六、實驗流程

本研究於實驗前，先說明實驗進行的目的與工作，受測者同意了解並同意參與此實驗，必須簽署同意書。正式實驗前測量視力與進行色盲判定工作，確認每位受測者無色盲且視力矯正後達 0.5 以上，確認視力狀況後每位受測者進行 UFOV 測驗。測驗完成後給予受測者 3 分鐘的休息才可進行沉浸式虛擬實境穿越道路實驗。

進行穿越道路實驗前，實驗者口頭說明實驗工作內容與程序，接著進入訓練 4~10 次，直到受測者完全了解實驗。每位受測者於實驗前應先進行行走速度量測，受測者必須以快步走路和正常走路速度行走 10 公尺的距離，實驗者會以碼表紀錄快速與正常走路時間。正式實驗開始時，實驗開始時讓受試者戴上頭戴型顯示器設備，輸入其走路速度後開始實驗（如圖 5 所示）。前兩題為練習，當包含對向來車在內的前 8 台車經過後，在第 9、10 台車經過前較長的時間為受試者決定是否要穿越道路的時間，當決定不過時就按下手把控制器之紅色按鈕，決定要過時按下手把控制器的綠色按鈕，視角即可往前，再往前至路中央前可再決定是否停至路中央來閃避對向車，如決定可按下手把控制器之黃色按鈕。實驗過程共 15 個場景隨機出現，實驗結束後請受試者填寫模擬器暈眩量表與實驗感受之問卷，實驗完成時間共需花費約 30 分鐘，為感謝受測者的參與，給予受測者適當的報酬。



圖 5 受試者測驗情形

肆、結果分析

一、行人穿越道路之實驗數據分析

經受試者進行行人穿越道路實驗後，將實驗數據之行人穿越道路績效分為決策時間與決策正確率來進行探討與分析，行人穿越道路績效分別分析如下：

(一) 決策時間

經由變異數分析可發現到，不同穿越道路間距與不同車速對於受試者之決策時間有顯著差異 $[F(4,116) = 2.735, p=0.032]$ ，如表1所示。在不同車速下，當來車車速越快，受試者決策時間越短。在不同穿越道路時間間距下，時間間距越短其決策時間越長（3秒>4秒、5秒、6秒、7秒）。

表1 不同穿越間距與不同車速決策時間

	40 km/hr	50 km/hr	60 km/hr
3 秒	1.34	0.88	0.92
4 秒	0.78	0.75	0.80
5 秒	0.65	0.94	0.72
6 秒	0.84	0.78	0.92
7 秒	0.83	0.75	0.65

(二) 決策正確率

經由變異數分析可發現到，不同穿越道路間距對於受試者之決策時間有顯著差異 $[F(4,116) = 89.24, p<0.001]$ ，如表二所示。事後檢定結果得知，在不同穿越道路間距上，時間間距越短有較低的決策正確率（3秒（39.4%）、4秒（47.0%）<5秒（71.2%）<6秒（89.4%）、7秒（93.9%））。

表2 不同穿越間距與不同車速決策正確率

	40 km/hr	50 km/hr	60 km/hr
3 秒	6.7%	3.3%	10%
4 秒	16.7%	23.3%	16.7%
5 秒	80%	63.3%	63.3%
6 秒	90%	86.7%	86.7%
7 秒	93.3%	93.3%	96.7%

(三) 有效視域與決策正確率相關性分析

經由 Pearson 相關係數分析結果得知，穿越道路成功率在選擇注意力與車速 50km/hr, 60km/hr 有顯著正相關，如表三所示。研究結果顯示當選擇注意力越高時，行人在 50km/hr 與 60km/hr 的穿越成功率亦相對較高。

表3 有效視域與決策正確率相關性

	處理速度	分割注意力	選擇注意力	40 km/hr	50 km/hr	60 km/hr
處理速度	1					
分割注意力	-.138	1				
選擇注意力	.655**	.025	1			
40km/hr	.068	-.067	.193	1		
50km/hr	.261	-.218	.372*	.521**	1	
60km/hr	.255	-.187	.390*	.553**	.968**	1

**：相關性在 0.01 層上顯著（雙尾）。

二、沉浸式虛擬實境之實驗後感受統計分析

根據參考模擬器暈眩量表 (simulator sickness questionnaire, SSQ) 所製作的簡易模擬器暈眩量表[32]，讓受試者在實驗結束後填寫，並整理統計出圖表 (如圖 6 所示)，從統計當中可得知 30 位受試者當中大多為沒有不適，輕度狀況以一般不適 (整體感受) 與眼睛疲勞較高，故在使用沉浸式虛擬實境實驗時，時間勿過冗長，應在受試者實驗 15 分鐘後給予 5 分鐘之適當休息時間，方才可繼續進行實驗，以免影響實驗準確度。

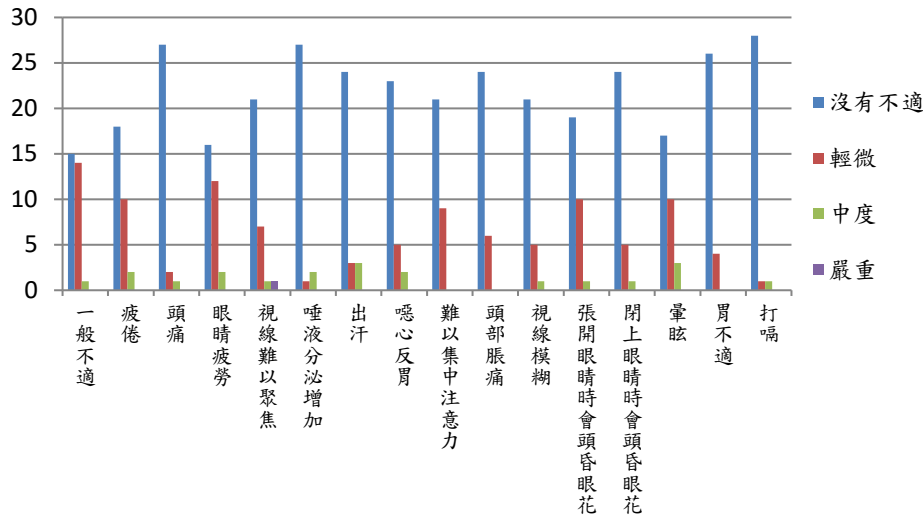


圖 6 模擬器暈眩量問卷之統計圖表

在沉浸式虛擬實境實驗感受程度之問卷中 (如圖 7 所示)，可得知此沉浸式虛擬實境實驗方式受試者並不排斥，有高接受度與感受到高臨場感，於實驗過程中也有高專注力，對判斷力影響非常低。

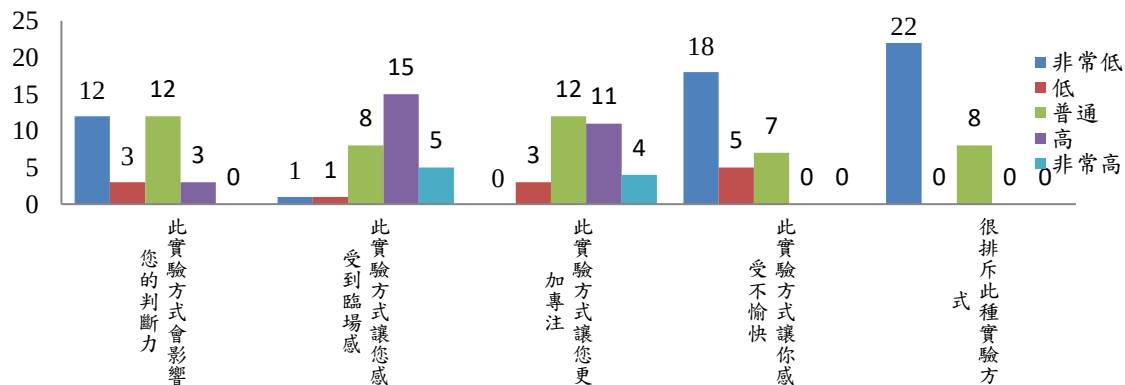


圖 7 沉浸式虛擬實境實驗感受程度之問卷統計表圖

伍、討論與結論

在行人穿越道路實驗當中，經過數據之分析與探討，可觀察到受試者在車速較快的情況中，而增加了受試者緊張與急迫感，急於判斷是否穿越道路，而使決策時間較短、決定是否穿越道路判斷時間較快；而有趣的是，在間距越長，運行中的車在較遠方時，受試者之決策時間也較短、決定是否穿越道路判斷時間較快，可得知受試者因車距離較遠，而更有把握以及判斷能夠成功穿越道路；而在間距較長，車運行於較遠方之劇本中，判斷成功率較高於間距短之判斷成功率，可知較遠方運行中的車讓穿越道路行人更有足夠時間進行穿越道路。

沉浸式虛擬實驗能夠讓受試者配戴頭戴型顯示器進行實驗測試，使受試者在視覺與聽覺上更有臨場

感，讓人身歷其境，並在實驗當中能夠更加專注，減少外務干擾與不真實感，對於實驗的準確度也大為提升，然而在用於實驗研究當中，沉浸式虛擬實境在做為實驗設備方面較鮮少有文獻以及資料出現。

而綜合上述之結果與討論，可整理出結論如下：

- (一) 運行中的車速，會影響行人判斷是否穿越道路決策時間，但車速較快，行人因急於做出決定，而使判斷時間短；反之，車速如較慢，行人會因不比車速快而急迫，造成猶豫不決以及增加了思考判斷的時間，而使判斷時間長。
- (二) 運行中的車間距，也會影響行人判斷是否穿越道路決策時間，當車間距較長，尚在遠方時，行人會因有十足把握穿越道路而使判斷時間較短；反之，車間距較短，較接近於行人時，會因猶豫是否需要穿越道路，而使判斷時間長。
- (三) 在需要較大場景的實驗當中，適合使用沉浸式虛擬實境來進行實驗，讓夠讓受試者在實驗當中不受外界干擾，能有身歷其境之感受，並能夠更專注於實驗當中，提升實驗之準確度與可信度。

在研究限制上，本研究以年輕族群作為研究對象，由於該次研究主要探討沉浸式虛擬實境系統作為實驗場景的建構是否可行，因此在本次並無探討不同族群的差異，建議未來可再加入高齡族群作為研究比較，高齡族群在穿越道路決策上可能面臨視覺退化、認知退化與行動能力退化等問題。在本次研究中以快走與正常走路取其平均速度，用以作為穿越道路的速率，雖然有許多學者使用該方式來評量受試者走路速度，但亦有部分研究學者會讓受試者在虛擬場景中，以真實方式行走用於穿越虛擬場景道路，該方式更能增實反應出受試者穿越行為反應，未來建議能以實際方式行走來測驗其穿越道路成功率。

致謝

本研究感謝科技部「大專學生研究計畫」(MOST 106-2813-C-218-009-E)支持，以及匿名審查者的評論與建議。

參考文獻

- [1] A. Hakkert, V. Gitelman, and E. Ben-Shabat. (2002). An evaluation of crosswalk warning systems: effects on pedestrian and vehicle behaviour. *Transp. Res. Part F Traffic Psychol. Behav.*, 5(4), 275–292.
- [2] National Highway Traffic Safety Administration [NHTSA]. (2001). *Traffic safety facts 2000: Pedestrians* (Report No. DOT HS 809311). Washington, DC: US Department of Transportation.
- [3] J. H. Guerrier, & S. C. Jolibois, Jr. (1998, Oct.). *The safety of elderly pedestrians at five urban intersections in MIAMI*. Human Factors and Ergonomics Society 42nd Annual Meeting, Chicago, IL.
- [4] I. Roberts, R. Marshall, & T. Lee-Joe. (1995). The urban traffic environment and the risk of child pedestrian injury: a case-crossover approach. *Epidemiol.*, 6(2), 169–171.
- [5] C. V. Zegeer, & R. C. Deen. (1976). *Pedestrian accidents in Kentucky* (Kentucky Transportation Center Research Report–453). Retrieved from: <https://pdfs.semanticscholar.org/15df/e72ed16f25c088bdc89df2c2f190bc85f0c1.pdf>
- [6] G. Perrochon, E. Kemoun, B. Watelain, & A. B. Dugué. (2015). The stroop walking task: An innovative dual-task for the early detection of executive function impairment. *Neurophysiol. Clin./Clin. Neurophysiol.*,

- 45, 181–190.
- [7] G. Yogev-Seligmann, J. M. Hausdorff, & N. Giladi. (2008). The role of executive function and attention in gait. *Mov. Disord.*, 23(3), 29–42.
- [8] I. E. Sutherland. (1968). A head-mounted three dimensional display. *Proceedings of AFIPS*, 68, 757–764.
- [9] 金祖詠（譯）（1995）。**模擬真實**（原作者：B. Sherman, & P. Judkins）。台北市：時報文化。（原著出版年：1992）
- [10] J. Oxley, B. Fildes, E. Ihsen, J. Charlton, & R. Day. (1997). Differences in traffic judgements between young and old adult pedestrians. *Accid. Anal. Prev.*, 29(6), 839–47.
- [11] G. Dunbar, C. A. Holland, & E. A. Maylor. (2004). *Older pedestrians: A critical review of the literature* (Road safety research report No. 37). London, UK: Department for Transport.
- [12] C. A. Holland, & R. Hill. (2010). Gender differences in factors predicting unsafe crossing decisions in adult pedestrians across the lifespan: A simulation study. *Accid. Anal. Prev.*, 42(4), 1097–1106.
- [13] A. Dommès, & V. Cavallo. (2011). The role of perceptual, cognitive, and motor abilities in street-crossing decisions of young and older pedestrians. *Ophthalmic Physiol. Opt.*, 31(3), 292–301.
- [14] A. Dommès, V. Cavallo, & J. Oxley. (2013). Functional declines as predictors of risky street-crossing decisions in older pedestrians. *Accid. Anal. Prev.*, 59, 135–143.
- [15] 彭冉齡與張必隱（2000）。**認知心理學**。台北：東華。
- [16] 張春興（2007）。**教育心理學：三化取向的理論與實踐**。台北：東華。
- [17] 王碧華、林青蓉、陳玉婷與賴佑銘（2006）。**精神護理學**。台北：藝軒。
- [18] M. R. Endsley, & D. J. Garland. (Eds.). (2000). *Situation awareness analysis and measurement*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- [19] N. A. Stanton, P. R. G. Chambers, & J. Piggott. (2001). Situational awareness and safety. *Saf. Sci.*, 39, 189–204.
- [20] N. H. Mackworth. (1965). Visual noise causes vision tunnel. *Psychon. Sci.*, 3(2), 67–68.
- [21] K. K. Ball, B. L. Beard, D. L. Roenker, R. L. Miller, & D. S. Griggs. (1988). Age and visual search: Expanding the useful field of view. *J. Opt. Soc. Am.*, 5(12), 2210–2219.
- [22] K. Ball, & C. Owsley, C. (1991). Identifying correlates of accident involvement for the older driver. *Hum. Factors*, 33, 583–595.
- [23] C. Owsley, K. Ball, M. E. Sloane, D. L. Roenker, & J. R. Bruni. (1991). Visual/cognitive correlates of vehicle accidents in older drivers. *Psychol. Aging*, 6(3), 403–415.
- [24] C. Owsley, G. McGwin., & K. Ball. (1998). Vision impairment, eye disease, and injurious motor vehicle crashes in the elderly. *Ophthalm. Epidemiol.*, 5, 101–13.
- [25] Myers, R.S., Ball, K.K., Kalina, T.D., Roth, D.L. & Goode, K.T. (2000) The relationship of Useful Field of View and other screening instruments to on-road driving performance. *Percept. Mot. Ski.*, 91(1), 279–290.
- [26] Ivan E. Sutherland (1968). A head-mounted three-dimensional display. *Proceedings of AFIPS*, 68, 757–764.
- [27] Krueger, M. W. (1991). *Artificial reality II*, Reding, Mass.: Addison-Wesley.
- [28] Satava. R. M., & Jones. S. B. (1996). *Virtual reality and telernedecine: Exploring advanced concepts*.

Telemed J., 195–200.

- [29] M. V. Sanchez-Vives, & M. Slater. (2005). From presence to consciousness through virtual reality. *Nat. Rev. Neurosci.*, 6(4), 332–339.
- [30] 賴崇閔、黃秀美、廖述盛與黃雯雯（2009）。3D 虛擬實境應用於醫學教育接受度之研究。《教育心理學報》，40（3），341–362。
- [31] P. Stoker, A. Garfinkel-Castro, M. Khayesi, W. Otero, M. N. Mwangi, M. Peden, & R. Ewing. (2015). Pedestrian safety and the built environment: A review of the risk factors. *J. Plan. Lit.*, 30, 377–392.
- [32] R. S. Kennedy, N. E. Lane, K. S. Berbaum, & M. G. Lilienthal. (1993). Simulator sickness questionnaire (SSQ): A new method for quantifying simulator sickness. *Int. J. Aviat. Psychol.*, 3, 203–220.