

虛擬環境中俯瞰地圖尺寸與透明度的 介面使用性研究

陳建雄* 陳夢兮**

* 國立台灣科技大學設計系

cchen@mail.ntust.edu.tw

** 通訊作者 cmx12677@gmail.com

摘要

隨著虛擬環境的廣泛應用，導航輔助工具的視覺設計更顯重要，然而目前俯瞰地圖的使用性研究仍顯缺乏。本研究旨在探討俯瞰地圖尺寸與透明度視覺變量，對虛擬環境中尋路績效與主觀感受的影響。實驗採用便利抽樣法邀請 72 位受測者進行 2 (1/2 螢幕、1/16 螢幕) x 2 (20%透明度、80%透明度) 受試者間實驗。結果發現：(1) 在難度較低的任務下，80%透明度的俯瞰地圖尋路績效優於 20%透明度。(2) 在難度較高的任務下，尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖尋路績效優於 1/2 螢幕。(3) 主觀偏好與績效表現的工作負荷程度評價中，尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖優於 1/2 螢幕。(4) 使用 80%透明度的俯瞰地圖心智需求的工作負荷程度低於 20%透明度。(5) 1/2 螢幕尺寸、20%透明度的俯瞰地圖在所有評估中均表現最差。

關鍵詞：虛擬環境、俯瞰地圖、尺寸、透明度、介面設計

論文引用：陳建雄、陳夢兮 (2022)。虛擬環境中俯瞰地圖尺寸與透明度的介面使用性研究。《設計學報》，27 (2)，25-40。

一、前言

1-1 背景

隨著科技的發展與進步，虛擬環境 (virtual environment, VE) 已被廣泛應用於遊戲、教育、旅遊、地產、醫療、建築、設計、軍事等諸多行業中，為使用者提供新途徑進行娛樂與學習。人們於虛擬環境中比在真實環境中更難以獲取空間知識 (Richardson, Montello, & Hegarty, 1999)，可能產生困惑、焦慮或挫折感 (Gagnon, Thomas, Munion, Creem-Regehr, Cashdan, & Stefanucci, 2018)。介面的使用性是開發虛擬環境應用的重要因素，包括使用者完成任務的效率、有效性、安全性、滿意度、愉悅感、舒適度等等 (Bowman, Gabbard, & Hix, 2002; Preece, 1993)。虛擬環境的使用性會受到導航任務、使用者、可視化設計與交互隱喻等因素的影響 (Bowman & Hodges, 1999; LaViola, Kruijff, McMahan, Bowman, & Poupyrev, 2017)。近年來，諸多學者致力於虛擬環境中的箭頭、楔形、地標、節點、地圖等視覺輔助設計研究 (Chen,

C. H. & Chen, S. C., 2015; Löwen, Krukar, & Schwering, 2019; Ruotolo, Claessen, & van der Ham, 2019) , 力圖營造令人沈浸、容易操作、互動豐富的最佳虛擬環境。俯瞰地圖 (overview map) 展現了空間的概覽和重要的地標, 有助於形成關於環境的空間知識 (Darken & Sibert, 1996) 。然而, 目前關於虛擬環境中俯瞰地圖的使用性研究仍較為匱乏, 其設計模式值得探索。

1-2 目的

本研究期望探究俯瞰地圖視覺設計要素對於使用者與虛擬環境互動體驗之影響, 以提升虛擬環境介面的使用性。因此依據虛擬環境中俯瞰地圖的相關研究, 本研究試圖評估和比較使用不同尺寸與透明度的俯瞰地圖時使用者的任務表現與主觀感受。

本研究主要目的包括: (1) 探討俯瞰地圖尺寸與透明度對虛擬環境中使用者客觀績效的影響, 以能提出符合使用者心智模式的俯瞰地圖視覺設計建議。(2) 探討俯瞰地圖尺寸與透明度對使用者主觀感受的影響, 作為虛擬環境介面設計之參考。

二、文獻探討

虛擬環境普遍採用虛擬實境 (virtual reality, VR) 的方法, 利用電腦整合複雜的圖像, 模擬、合成立體的虛擬世界 (Rebelo, Noriega, Duarte, & Soares, 2012) 。虛擬環境易於修改與傳播, 使用者通常可以實時操控在虛擬環境中的視角。導航 (navigation) 是虛擬環境中最普遍的行為, 包括漫遊 (travel) (導航的動力要素) 與尋路 (wayfinding) (導航的認知要素) 兩個方面, 尋路作為認知過程為漫遊任務收集資訊 (LaViola et al., 2017) 。圖 1 反映了人們於虛擬環境中導航之心智模式。使用者在周圍的視覺、聽覺等多種刺激物中進行選擇, 集中注意力並克服分散注意力的線索。注意力是處理視覺刺激和搜索行為中的關鍵部分 (Treisman & Gelade, 1980) , 在未知的環境中成功尋路需要高度集中注意力 (Schmid, Richter, & Peters, 2010) 。多種感覺模式為導航提供關於環境的空間資訊, 與來自記憶的資訊一同被人類認知系統處理 (Montello, 2005) 。人類首先理解關鍵地標的含義, 然後獲取路線知識, 再以俯瞰知識進行整合 (Siegel & White, 1975) 。使用者做出導航決策與制定行為計畫主要取決於空間知識的獲取 (Darken & Peterson, 2001) 。

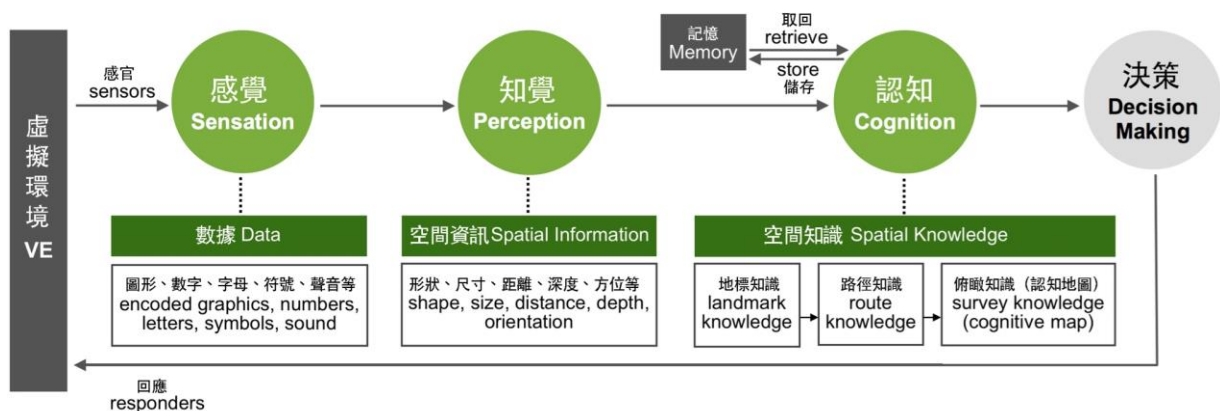


圖 1. 虛擬環境中導航之心智模式 (本研究整理)

虛擬環境中的導航輔助工具為使用者提供距離、方位等空間資訊, 但同時會使虛擬空間變得雜亂並產生遮擋 (occlusion) 問題。遮擋 (也被稱為輪廓中斷或插入) 是指距離觀察者較近的物體會部分地擋住

較遠物體的現象 (LaViola et al., 2017)。遮擋改變了使用者從虛擬環境介面獲得的視覺空間線索，進而影響描述空間關係的認知操作。因此，應採用適當的視覺設計方法節省顯示空間，改善導航輔助工具可能對虛擬環境互動體驗產生的負面影響。

2-1 俯瞰地圖

地圖，作為導航中最常用的工具之一，長久以來被用於在未知的環境中尋找目的地 (Wang, Chen, Zheng, & Liao, 2019)。虛擬環境中的俯瞰地圖顯示使用者目前位置，提示週遭環境景象，概括地描述空間資訊，可用於監測、探索和尋路任務 (Hornbæk & Hertzum, 2011)。俯瞰地圖能夠提高尋路效率，給予使用者掌控感，但同時俯瞰地圖增加了記憶的壓力，且占用部分螢幕空間 (Hornbæk, Bederson, & Plaisant, 2002)。

虛擬環境中的地圖設計可以參考現實環境中地圖的視覺設計原則：(1)文字或符號等資訊易讀；(2)可同時使一個或數個元素變化，產生視覺對比；(3)處理好圖像與背景的關係，視覺上突顯主題；(4)圖像的階層組織關係具有層次 (Robinson, Morrison, Muehrcke, Kimerling, & Guptill, 1995)。鮮明的視覺特徵將使用者的注意力集中到包含重要數據的區域，並通過編碼的數值確定數據元素的感知強度 (Healey, 2012)。視覺變量包括明度、色相、紋理、方向、形狀、模糊度、分辨率、尺寸和透明度 (Bertin, 1983; MacEachren, 1992)。調整地圖中各元素視覺變量的感知強度，使其合理地表現數據的特徵與關係，突出重要資訊。Devlin 和 Bernstein (1997) 發現地圖描繪的細節程度、色彩為黑白或彩色，績效與滿意度均未產生明顯差異；地點名稱標於地標上比標於圖例中績效好，滿意度無明顯差異。採用透視視角進行設計的地圖使用績效與滿意度優於俯視視角，地圖中具象的地標優於平面、立體與幾何地標 (游萬來、陳俊文、李佩衿, 2006)。地圖應突出局部特徵和全局特徵來支持使用者在虛擬環境中獲得空間知識 (Löwen et al., 2019)。先前研究關注虛擬環境中俯瞰地圖的色彩、角度、細節水平等設計要素，但忽略了尺寸和透明度的設計。目前許多互動地圖可以移動滑動條等方式調節地圖尺寸或顯示的透明度。俯瞰地圖的尺寸和透明度能引導使用者的注意力，改變人們視線中的空間線索。因此本研究結合這兩種視覺變量，期望設計出使用性最佳的俯瞰地圖介面。

2-2 尺寸

Garlandini 和 Fabrikant (2009) 認為尺寸是比色彩和方向能更有效地引導地圖使用者注意力的視覺變量。移動設備有限的螢幕空間限制了俯瞰地圖的尺寸，影響使用者可以看到的資訊量以及使用俯瞰地圖的容易程度。小型移動裝置中俯瞰地圖與細節地圖的尺寸比在電腦螢幕中小，使用者需要較少和較短的視線移動，有助於將兩個地圖中提供的資訊相關聯，減少整合資訊所需付出的努力。先前研究發現在大規模虛擬環境中尋路時，進行切換視角等操作需要更多的交互動作與更大的介面空間 (Chen, Pan, Zhang, & Shen, 2013)。

俯瞰地圖與螢幕的尺寸比例影響顯示的資訊內容、認知地圖的形成以及導航績效 (Burigat & Chittaro, 2013; Hornbæk et al., 2002)。俯瞰地圖的尺寸通常設計為小於細節地圖 (Burigat & Chittaro, 2013)。但是，尺寸過小的俯瞰地圖無法在分辨率較低的移動設備中採用，而且俯瞰地圖中很小的移動會導致細節地圖中發生較大的跳躍。Jakobsen 和 Hornbæk (2013) 認為螢幕尺寸與俯瞰地圖的比例越高，使用者的表現越差。研究者建議俯瞰地圖的尺寸至少為細節地圖的 1/16 以使導航容易，在小型裝置中俯瞰地圖應更大以支持尋路功能 (Hornbæk et al., 2002)。LaViola 等人 (2004) 提出縮小俯瞰地圖會降低地圖內容的可讀性，但是放大俯瞰地圖會減少細節地圖的螢幕空間，而細節地圖是用戶最感興趣與優先考慮的部

分。為了避免較大的俯瞰地圖遮擋虛擬環境的重要區域而將其移動到旁邊時，可能導致使用者切換視線焦點的難度更高。在有限的螢幕空間中分配俯瞰地圖與細節地圖是不確定的，並沒有相關尺寸的標準值。本研究採用了 1/16 螢幕的較小尺寸與 1/2 螢幕的較大尺寸進行比較評估，以確定更有針對性的俯瞰地圖設計決策，平衡虛擬環境介面中焦點切換與遮擋問題。

2-3 透明度

MacEachren (1992) 首先提出使用透明度作為視覺變量在地圖上表現空間數據。Mitsudo (2003) 認為結合圖形線索（如形狀、尺寸）和亮度的變化能提高感知透明度的效率和準確性。Guiberson (2007) 認為下方不透明的視覺線索的存在決定了對上層圖像透明度的感知；採用少數幾種透明度的層級則能被有效、準確地判斷。通常使用透明度是為了提升地圖整體的視覺效果，使區域內的圖像以一個明顯的順序被感知。Kraak 和 Brown (2001) 認為透明度可以吸引用戶的注意力，產生深度與距離感，製造陰影效果。Nurminen 和 Oulasvirta (2008) 也指出採取透明度的設計可以幫助減少認知負荷（工作記憶、處理任務的認知時間或複雜的認知運算），減少複雜的操作程序，以及減少使用的時間。在有限的螢幕尺寸限制下，透明度的設計可以在導航場景中增加空間的顯示，減少因遮擋環境產生的困惑，受到使用者的歡迎 (McGookin, Herteleer, & Brewster, 2011)。

當俯瞰地圖具有透明度時，背景中的環境資訊更容易被察覺。但不同圖層上的色彩或圖案會疊加，圖底關係變得模糊，可能導致難以確定目標物的位置。當俯瞰地圖不透明時，地圖中的資訊與下方的背景對比鮮明。Moraglia、Maloney、Fekete 和 Al-Basi (1989) 認為搜尋目標與背景顏色間有鮮明對比時，搜尋速度更快。有時使用透明度呈現資訊的層次是解決製圖問題唯一的可行辦法，然而如何使用透明度通常由個人偏好或方便程度決定，而非根據實驗的結果 (Guiberson, 2007)。目前並沒有關於虛擬環境中俯瞰地圖透明度設計的指導性意見。本研究採用 20% 低透明度與 80% 高透明度作為研究對象，考察其是否為虛擬環境中俯瞰地圖使用性的影響因素。

三、研究方法

3-1 實驗設備與方法

研究調查在虛擬環境中使用俯瞰地圖時，不同的俯瞰地圖設計對使用者尋路績效與主觀感受的影響。實驗採用 2x2 受試者間實驗，實驗操控變項分別為俯瞰地圖尺寸（1/2 螢幕，1/16 螢幕）、俯瞰地圖透明度（低透明度 20%，高透明度 80%）。實驗假設如下：

1. 使用不同尺寸的俯瞰地圖在虛擬環境中尋路績效有顯著差異。
2. 使用不同尺寸的俯瞰地圖在虛擬環境中主觀評量有顯著差異。
3. 使用不同透明度的俯瞰地圖在虛擬環境中尋路績效有顯著差異。
4. 使用不同透明度的俯瞰地圖在虛擬環境中主觀評量有顯著差異。

本研究受測者募集方式採用便利抽樣法，72 位受測者中，有 54 位女性，18 位男性。受測者的年齡主要分佈為 18-30 歲，有 67 人（為 93%）。均為在校大學生，其中 4 人為研究生，對任務及問卷的內容具有一定理解能力。51 位受測者（為 71%）曾在遊戲、虛擬博物館、虛擬景區等虛擬環境中使用俯瞰地圖。依照自變項將受測者分為 4 組。

本研究採用虛擬實境的方法模擬某一博物館的虛擬環境。首先以 3DsMax 軟體建置一個雙層虛擬展廳的模型，如圖 2 所示。然後以 Photoshop 軟體為每層展廳設計平面的俯瞰地圖，如圖 3 右下角所示。最後將虛擬展廳模型、俯瞰地圖與展品照片匯入 3D 遊戲引擎 Unity，設計實驗操作模式。本研究以 iPad Air 2 平板電腦作為實驗平台，具有 9.7 吋(25 厘米)的多點觸控 Retina 顯示屏，解析度為 2048×1536，310 萬像素，每英寸像素 264ppi，搭載 iOS 9.3 作業系統。



圖 2. 實驗之場景模型

本實驗共設計 4 種俯瞰地圖進行比較研究，透明度為 80%、尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖 (M1)，透明度為 20%、尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖 (M2)，透明度為 80%、尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖 (M3)，透明度為 20%、尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖 (M4)，如圖 3 所示。



圖 3. 透明度為 20%、尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖設計實驗場景截圖

3-2 實驗流程

虛擬環境主要包含感知資訊（形狀、色彩、紋理、聲音、燈光、方向等）和抽象資訊（描述、類別、統計數字、視頻等）（LaViola et al., 2017）。尺寸較大或透明度較低的俯瞰地圖產生的遮擋問題使觀察地圖下方的資訊更加困難，進而影響使用者透過各種資訊感知虛擬環境。尺寸較小或透明度較高的俯瞰地圖使閱讀地圖上的內容更加困難，進而影響使用俯瞰地圖尋找展區的過程。本實驗根據任務的複雜程度設定 3 個難度逐漸增加的任務（如表 1），要求受試者盡可能快速、準確地完成。任務一為找到書法展區中的扇面作品。該任務僅需要使用俯瞰地圖找到 1 個展區，然後查看目標物的形狀，對感知資訊進行判斷，難度較低。任務二為找到國畫展區中最長的一幅作品。使用者需要使用俯瞰地圖抵達 6 個符合要求的展區，然後感知尺寸的大小，對感知資訊進行判斷、記憶與比較，該任務難度有所提高。任務三為找到入口西側的書籍展區，並查看藍色畫冊的書名。受測者需要首先透過地圖找到 2 個展區並且判斷展區的方位，然後查看目標物的色彩（感知資訊）和文字描述（抽象資訊），該任務結合了兩種資訊類型，較前兩個任務更為複雜。受測者可以直接觸碰俯瞰地圖上的圖標從而改變虛擬環境中的位置，在螢幕上移動手指從而改變視角。

表 1. 實驗任務設計

項次	任務內容	任務特徵	資訊類型	難度
任務一	找到書法展區中的扇面作品。	使用者需感知形狀。	感知資訊	低
任務二	找到國畫展區中最長的一幅作品。	使用者感知並比較尺寸的大小。	感知資訊	中
任務三	找到入口西側的書籍展區，並查看藍色畫冊的書名。	使用者需感知方位，然後查看色彩和文字描述。	感知資訊 抽象資訊	高

實驗測試使用俯瞰地圖完成任務的客觀績效。當使用者對所處環境產生迷惑時，可能出現行進速度減緩、停止並觀望、後退、轉錯彎的次數增加等現象。採用任務完成所需的整體時間作為客觀績效的測量尺度是目前最普遍的做法。

記錄任務完成時間後，訪談使用者的感受與建議，並填寫 7 級的李克特量表（Likert scale）評估使用此俯瞰地圖進行操作的主觀偏好。主觀偏好不僅可以表現使用者的整體偏好，而且可以衡量空間線索的質量（LaViola et al., 2017）。

最後，受測者被要求填寫常用於測量操作介面時工作負荷程度的量表（NASA task load index, NASA TLX）（Hart & Staveland, 1988）。NASA TLX 工作負荷程度量表包括心智需求（mental demand）、體能需求（physical demand）、時間需求（temporal demand）、績效表現（performance）、努力程度（effort）和挫折程度（frustration level）。其計算方式為受測者將每個面向做兩兩比較取得權重，之後將權重乘上每個面向之數值（範圍為 0 至 100，每 5 為一單位），六個面向總和再除以總權重 15。

四、結果與討論

4-1 任務完成時間分析

欲透過任務完成時間之比較與分析，了解虛擬環境中何種俯瞰地圖能讓使用者有最好的尋路績效。本實驗任務完成時間之敘述統計與雙因子變異數分析結果如表 2、表 3 所示。

表 2. 任務完成時間之敘述統計

變項		任務一		任務二		任務三		人數
		平均數	標準差	平均數	標準差	平均數	標準差	
俯瞰地圖尺寸	1/2螢幕	30.882	30.596	42.723	27.835	27.054	18.681	36
	1/16螢幕	25.571	30.015	34.516	18.562	18.623	11.145	36
俯瞰地圖透明度	透明度為80%	19.460	17.354	33.065	21.548	21.475	15.050	36
	透明度為20%	36.993	37.313	44.174	25.024	24.202	16.716	36

單位：秒

表 3. 任務完成時間之雙因子變異數 ANOVA 檢定

來源		型III平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
任務一	俯瞰地圖尺寸	507.742	1	507.742	.598	.442
	俯瞰地圖透明度	5533.169	1	5533.169	6.511	.013*
	尺寸 × 透明度	978.294	1	978.294	1.151	.287
任務二	俯瞰地圖尺寸	1212.371	1	1212.371	2.236	.139
	俯瞰地圖透明度	2221.222	1	2221.222	4.097	.047*
	尺寸 × 透明度	88.290	1	88.290	.163	.688
任務三	俯瞰地圖尺寸	1279.674	1	1279.674	5.350	.024*
	俯瞰地圖透明度	133.879	1	133.879	.560	.457
	尺寸 × 透明度	162.060	1	162.060	.678	.413

$\alpha=0.05$, * $p<.05$, 有顯著差異存在

受測者任務一完成時間在俯瞰地圖透明度與尺寸變數間未產生顯著的交互作用 ($F_{(1,68)}=1.151$, $p=0.287>0.05$)。任務一完成時間在俯瞰地圖尺寸變數主效應中未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=0.598$, $p=0.442>0.05$)，在透明度變數主效應中產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=6.511$, $p=0.013<0.05$)。透明度為 20% 的俯瞰地圖 ($M=36.993$, $Sd=37.313$) 任務一完成時間顯著長於透明度為 80% 的俯瞰地圖 ($M=19.460$, $Sd=17.354$)。

受測者任務二完成時間在俯瞰地圖透明度與尺寸變數間未產生顯著的交互作用 ($F_{(1,68)}=0.163$, $p=0.688>0.05$)。任務二完成時間在俯瞰地圖尺寸變數主效應中未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=2.236$, $p=0.139>0.05$)，在透明度變數主效應中產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=4.097$, $p=0.047<0.05$)。透明度為 20% 的俯瞰地圖 ($M=44.174$, $Sd=25.024$) 任務二完成時間顯著長於透明度為 80% 的俯瞰地圖 ($M=33.065$, $Sd=21.548$)。

受測者任務三完成時間在俯瞰地圖透明度與尺寸變數間也未產生顯著的交互作用 ($F_{(1,68)}=0.678$, $p=0.413>0.05$)。任務三完成時間在俯瞰地圖透明度變數主效應中未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=0.560$, $p=0.457>0.05$)，在尺寸變數主效應中產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=5.350$, $p=0.024<0.05$)。尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖 ($M=27.054$, $Sd=18.681$) 任務三完成時間顯著長於尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖 ($M=18.623$, $Sd=11.145$)。

此外，尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖在三個任務中的完成時間均為最長。

4-2 主觀偏好分析

欲透過主觀偏好之比較與分析瞭解何種俯瞰地圖最受歡迎並且容易被使用者採用。最高值 7 表示非常喜歡，最低值 1 表示非常不喜歡。受測者對偏好評量之平均數 ($M=5.60$, $Sd=1.044$)，各組受測者的偏好平均分數均在 5 分以上，偏向喜歡。

俯瞰地圖主觀偏好之雙因子變異數分析結果如表 4 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數間交互作用不顯著 ($F_{(1,68)}=3.122, p=0.082>0.05$)。主觀偏好在透明度變數主效應當中未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=0.014, p=0.907>0.05$)。在俯瞰地圖尺寸變數主效應當中產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=6.120, p=0.016<0.05$)。受測者對尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖主觀偏好評分 ($M=5.89, Sd=0.919$) 顯著高於尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖 ($M=5.31, Sd=1.091$)。如圖 4 所示，受測者對尺寸為 1/16 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖主觀偏好評分最高 ($M=6.11, Sd=0.832$)，對尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖主觀偏好評分最低 ($M=5.11, Sd=0.963$)。此外，受測者對尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 80% 的俯瞰地圖 ($M=5.50, Sd=1.200$) 與尺寸為 1/16 螢幕、透明度為 80% 的俯瞰地圖 ($M=5.67, Sd=0.970$) 主觀偏好評分比較接近。

表 4. 俯瞰地圖主觀偏好之雙因子變異數 ANOVA 檢定

來源	型 III 平方和	自由度	平均平方和	F 檢定	顯著性
俯瞰地圖尺寸	6.125	1	6.125	6.120	.016*
俯瞰地圖透明度	.014	1	.014	.014	.907
尺寸 × 透明度	3.125	1	3.125	3.122	.082

$\alpha=0.05, *p<.05$, 有顯著差異存在

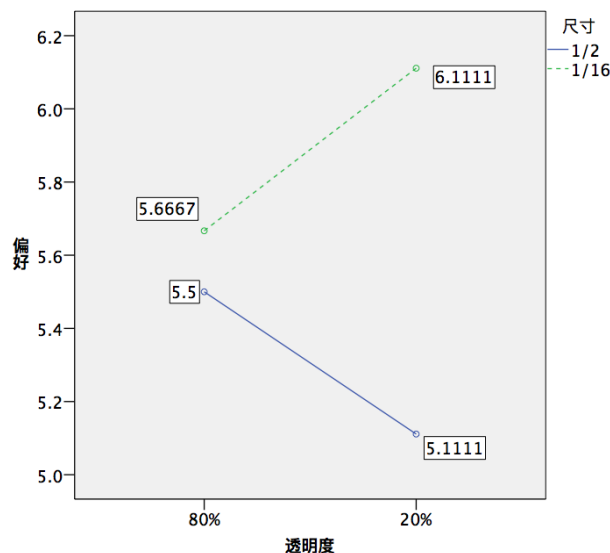


圖 4. 俯瞰地圖主觀偏好評價之結果

4-3 NASA TLX 工作負荷程度分析

對使用俯瞰地圖的 NASA TLX 工作負荷程度評量進行檢定，每個構面的評分越低表示工作負荷程度越低，最低值為 0，最高值為 20。僅在心智需求與績效表現構面的檢定結果中發現研究變數主效應產生顯著差異，如表 5 所示。

受測者對 NASA TLX 心智需求評分的平均數 ($M=3.833, Sd=3.793$)，使用俯瞰地圖完成操作任務具有一定的工作負荷程度的心智需求。受測者對心智需求評分的雙因子變異數分析結果如表 5 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數間交互作用不顯著 ($F_{(1,68)}=0.856, p=0.358>0.05$)。在俯瞰地圖尺寸變數主效應當中未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=0.389, p=0.535>0.05$)。在透明度變數主效應當中產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=7.348, p=0.008<0.05$)。受測者對透明度為 20% 的俯瞰地圖心智需求評分 ($M=5.000, Sd=3.979$) 顯著高於透明度為 80% 的俯瞰地圖 ($M=2.667, Sd=3.248$)。從圖 5 可以發現受測者對尺寸為 1/16 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖心智需求評分最高 ($M=5.667, Sd=4.438$)。受測者對尺寸為 1/16 螢幕、透明度

為 80% 的俯瞰地圖心智需求評分最低 ($M=2.537$, $Sd=2.191$)，且與對尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 80% 的俯瞰地圖心智需求評分 ($M=2.796$, $Sd=4.110$) 比較接近。

表 5. NASA TLX 工作負荷程度之雙因子變異數 ANOVA 檢定

來源		型III平方和	自由度	平均平方和	F檢定	顯著性
心智需求	俯瞰地圖尺寸	5.191	1	5.191	.389	.535
	俯瞰地圖透明度	98.000	1	98.000	7.348	.008*
	尺寸 × 透明度	11.414	1	11.414	.856	.358
體能需求	俯瞰地圖尺寸	1.043	1	1.043	.514	.476
	俯瞰地圖透明度	.006	1	.006	.003	.956
	尺寸 × 透明度	2.228	1	2.228	1.098	.298
時間需求	俯瞰地圖尺寸	3.409	1	3.409	.105	.747
	俯瞰地圖透明度	5.014	1	5.014	.154	.696
	尺寸 × 透明度	25.681	1	25.681	.788	.378
努力程度	俯瞰地圖尺寸	16.052	1	16.052	.601	.441
	俯瞰地圖透明度	2.989	1	2.989	.112	.739
	尺寸 × 透明度	33.798	1	33.798	1.266	.265
挫折程度	俯瞰地圖尺寸	.446	1	.446	.108	.743
	俯瞰地圖透明度	1.681	1	1.681	.408	.525
	尺寸 × 透明度	11.681	1	11.681	2.833	.097
績效表現	俯瞰地圖尺寸	194.483	1	194.483	5.954	.017*
	俯瞰地圖透明度	.347	1	.347	.011	.918
	尺寸 × 透明度	19.014	1	19.014	.582	.448
總分	俯瞰地圖尺寸	38.034	1	38.034	.215	.644
	俯瞰地圖透明度	175.250	1	175.250	.991	.323
	尺寸 × 透明度	281.385	1	281.385	1.591	.212

$\alpha=0.05$, * $p<.05$, 有顯著差異存在

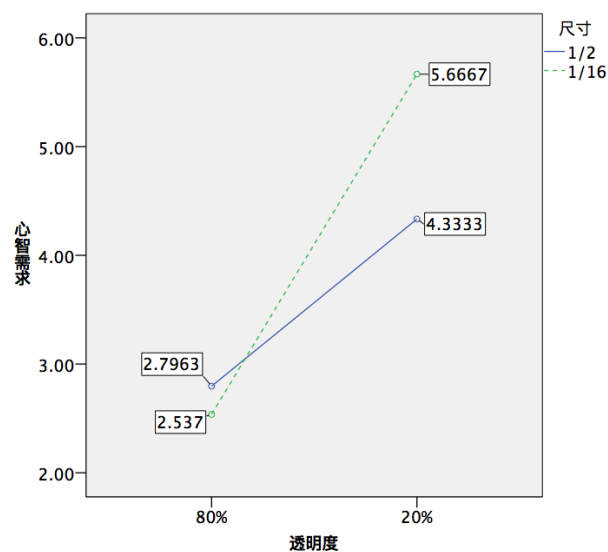


圖 5. 俯瞰地圖 NASA TLX 心智需求評分

受測者對 NASA TLX 體能需求評分的統計分析結果如表 5 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數之間的交互作用未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=1.098$, $p=0.298>0.05$)。在俯瞰地圖尺寸變數主效應當中未產生顯著

差異($F_{(1,68)}=0.514, p=0.476>0.05$)。在透明度變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.003, p=0.956>0.05$)。各組受測者對體能需求的評分均在 1 分以下，平均數($M=0.509, Sd=1.411$)，使用者認為使用俯瞰地圖完成操作任務的體能需求極低。

受測者對 NASA TLX 時間需求評分的統計分析結果如表 5 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數之間的交互作用未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.788, p=0.378>0.05$)。在俯瞰地圖尺寸變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.105, p=0.747>0.05$)。在透明度變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.154, p=0.696>0.05$)。各組受測者對時間需求的評分均在 5 分以上，平均數($M=6.394, Sd=5.628$)，使用者認為使用俯瞰地圖完成操作任務具有較高的時間需求。

受測者對 NASA TLX 努力程度評分的統計分析結果如表 5 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數之間的交互作用未產生顯著差異($F_{(1,68)}=1.266, p=0.265>0.05$)。在俯瞰地圖尺寸變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.601, p=0.441>0.05$)。在透明度變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.112, p=0.739>0.05$)。各組受測者對努力程度評分的平均數($M=4.324, Sd=5.130$)，使用俯瞰地圖完成操作任務需要一定的努力程度。

受測者對 NASA TLX 挫折程度評分的統計分析結果如表 5 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數之間的交互作用未產生顯著差異($F_{(1,68)}=2.833, p=0.097>0.05$)。在俯瞰地圖尺寸變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.108, p=0.743>0.05$)。在透明度變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.408, p=0.525>0.05$)。各組受測者對挫折程度評分的平均數($M=1.477, Sd=2.036$)，使用者認為使用俯瞰地圖完成操作任務的挫折程度較低。

受測者對 NASA TLX 績效表現評分的平均數($M=4.273, Sd=5.856$)表明使用俯瞰地圖完成操作任務時在績效表現構面具有一定程度的工作負荷。受測者對績效表現評分的雙因子變異數分析結果如表 5 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數間交互作用不顯著($F_{(1,68)}=0.856, p=0.358>0.05$)。在俯瞰地圖透明度變數主效應當中未產生顯著差異($F_{(1,68)}=0.011, p=0.918>0.05$)。在尺寸變數主效應當中產生顯著差異($F_{(1,68)}=5.954, p=0.017<0.05$)。受測者對對尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖績效表現評分($M=5.917, Sd=6.988$)顯著高於尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖($M=2.630, Sd=3.897$)。從圖 6 可以發現受測者對尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖績效表現評分最高($M=6.500, Sd=5.942$)。受測者對尺寸為 1/16 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖績效表現評分最低($M=2.185, Sd=3.442$)。

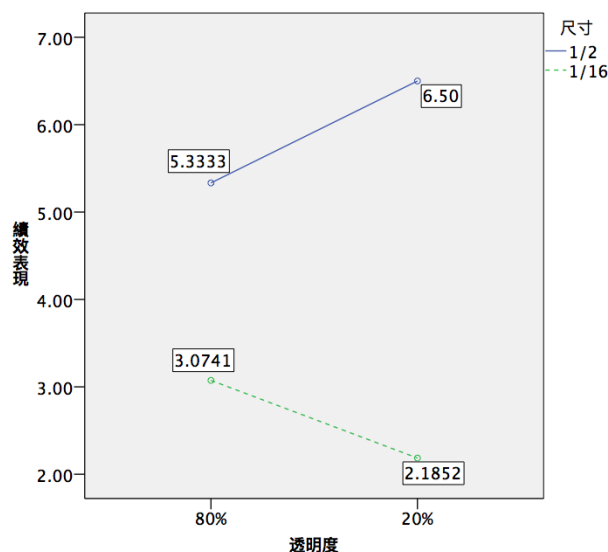


圖 6. 俯瞰地圖 NASA TLX 績效表現評分

受測者對 NASA TLX 工作負荷程度總分的統計分析結果如表 5 所示，俯瞰地圖透明度與尺寸變數之間的交互作用未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=1.5911, p=0.212>0.05$)。在俯瞰地圖尺寸變數主效應當中未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=0.215, p=0.644>0.05$)。在透明度變數主效應當中未產生顯著差異 ($F_{(1,68)}=0.991, p=0.323>0.05$)。其中，尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖 NASA TLX 工作負荷程度總分最高 ($M=25.074, Sd=11.241$)。另外三種俯瞰地圖的 NASA TLX 工作負荷程度總分比較接近。

此外，受測者對尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖在體能需求、時間需求、績效需求構面的評分均高於另外三種俯瞰地圖。

4-4 討論

本節對使用俯瞰地圖輔助尋路的客觀績效與主觀感受進行研究，輔以 NASA TLX 工作負荷程度作為討論分析的依據，將所得之結果輸入至 SPSS 統計軟體中進行量化分析，並結合研究者觀察受測者在各任務之操作情形與簡單訪談進行討論。

對任務操作的客觀績效檢定結果發現，在簡單的感知資訊任務中，透明度為 20% 的俯瞰地圖任務完成時間顯著長於透明度為 80% 的俯瞰地圖。由此證實本研究第 3 項假設成立：使用不同透明度的俯瞰地圖在虛擬環境中尋路績效有顯著差異。原因可能為當透明度為 80% 時，俯瞰地圖遮擋的虛擬環境內容呈現得更清晰，可能有助於使用者感知目標物體的形狀、尺寸等資訊。因為簡單任務中對俯瞰地圖的使用程度有限，即使增加俯瞰地圖透明度會降低文字的可讀性，也並未對任務操作的客觀績效產生顯著的負面影響。該結果與認為透明度有助於提升使用者尋路績效的先前研究一致 (Chen, M. X. & Chen, C. H., 2019; Nurminen & Oulasvirta, 2008)。

客觀績效結果顯示，在涉及感知資訊與抽象資訊的較難任務中，尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖任務完成時間顯著長於尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖。由此證實本研究第 1 項假設成立：使用不同尺寸的俯瞰地圖在虛擬環境中尋路績效有顯著差異。原因可能是尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖會產生較大的遮擋問題，難以觀察俯瞰地圖下方的虛擬環境內容，減少了使用者視野中的空間線索數量，從而增加了掌握方向、色彩、文字描述等感知資訊或抽象資訊的難度。使用者通常需要在使用尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖後將其隱藏，以查看被遮擋的虛擬環境，任務操作的複雜性會降低客觀績效。

對俯瞰地圖的主觀偏好進行檢定，結果發現受測者對尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖主觀偏好顯著高於尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖。由此證實本研究第 2 項假設成立：使用不同尺寸的俯瞰地圖在虛擬環境中主觀評量有顯著差異。推測原因在於尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖可能遮擋了使用者感興趣的資訊，影響了使用者偏好。虛擬環境使用者的關注重點是豐富的虛擬內容，而不是俯瞰地圖中的資訊。另一個原因可能是占用較少螢幕空間的俯瞰地圖避免了頻繁隱藏與顯示地圖的操作，更加簡單便捷。這也與建議使用透明度增加虛擬環境的顯示空間且影響使用者在空間中導航喜好的意見相一致 (McGookin et al., 2011)。

對 NASA TLX 工作負荷程度的檢定結果顯示受測者對透明度為 20% 的俯瞰地圖心智需求評分顯著高於透明度為 80% 的俯瞰地圖。由此證實本研究第 4 項假設：使用不同透明度的俯瞰地圖在虛擬環境中主觀評量有顯著差異。原因可能是透明度為 20% 的俯瞰地圖遮擋的虛擬環境內容更加難以辨識，令受測者在觀察感興趣的虛擬物體細節、判斷目標物與環境之間對應關係時感到困難。該結果與認為透明度有助於減少使用者認知負荷的先前研究一致 (Nurminen & Oulasvirta, 2008)。

此外，受測者對尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖在績效表現構面的評分顯著高於尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖。再次證實第 2 項假設：使用不同尺寸的俯瞰地圖在虛擬環境中主觀評量有顯著差異。原因可能是

使用者在整合俯瞰地圖資訊於與虛擬環境中的細節資訊時，經常需要隱藏地圖以釋放更多的視覺空間，視線在不同視差平面之間來回切換。尺寸較大的俯瞰地圖增加了使用者努力提升尋路績效時感受到的壓力。該主觀評量結果與尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖客觀績效優於尺寸為 1/2 螢幕俯瞰地圖的結果相一致。

使用尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖任務完成時間在所有任務中都是最長的。使用者對其主觀偏好評分低於另外三種俯瞰地圖。受測者對尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖在體能需求、時間需求、績效需求構面的評分均高於另外三種俯瞰地圖。

受測者對介面的整體評價滿意，操作體驗平穩，並且指出俯瞰地圖對虛擬環境中尋路有所幫助。所有受測者都沒有設備基本操作問題，使用俯瞰地圖在虛擬環境中順利完成了任務。受測者在訪談中表示介面呈現的資訊簡單明瞭、易於理解，觸控靈敏度高，互動反應迅速、流暢，在實驗過程中均未遇到加載緩慢、卡頓等情況。部分受測者認為俯瞰地圖中內容相同的展區名字應有所區分以利於記憶與尋路。部分受測者在訪談中表示希望在虛擬環境中獲得更豐富的資訊。

五、結論與建議

本研究主要探討尺寸和透明度如何影響使用俯瞰地圖在虛擬環境中完成尋路任務的客觀績效和主觀感受。主要結果歸納如下：(1) 使用不同透明度的俯瞰地圖在虛擬環境中尋路績效有顯著差異。在難度較低的任務下，透明度為 80% 的俯瞰地圖績效優於透明度為 20% 的俯瞰地圖。(2) 使用不同透明度的俯瞰地圖在虛擬環境中尋路績效有顯著差異。在難度較高的任務下，尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖績效優於尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖。(3) 使用者對不同尺寸的俯瞰地圖主觀評量有顯著差異。主觀偏好與 NASA TLX 績效表現構面的工作負荷評價中，尺寸為 1/16 螢幕的俯瞰地圖優於尺寸為 1/2 螢幕的俯瞰地圖。(4) 使用者對不同透明度的俯瞰地圖主觀評量有顯著差異。NASA TLX 心智需求構面的工作負荷評價中，透明度為 80% 的俯瞰地圖優於透明度為 20% 的俯瞰地圖。

本研究結果對於虛擬環境介面的設計具有一定的參考價值和指導意義。根據整體使用性及主觀評量結果，建議虛擬環境的開發與設計者避免使用尺寸為 1/2 螢幕、透明度為 20% 的俯瞰地圖。根據虛擬環境中不同的任務特徵，減小俯瞰地圖的尺寸或增加俯瞰地圖的透明度能夠提升尋路績效和體驗。

本研究致力於虛擬環境中俯瞰地圖的視覺設計，因此應考慮地圖設計的局限性（例如顏色、形狀、紋理和透視），以及地圖空間對應的虛擬環境大小與複雜程度的問題。時間限制本研究無法探討大量俯瞰地圖的設計要素，因此期望後續研究可對地圖各種視覺變量的變化再系統化分析，增加研究完整度。此外，虛擬環境介面設計涉及的使用者特徵相關議題甚廣，而且本實驗受測者全部是年輕的大學生，因此本研究的發現是否具有足夠的代表性可能需要考慮，後續可再深入探討使用者年齡、使用經驗等個體差異對俯瞰地圖使用體驗的影響。研究結果適用於使用移動設備螢幕上的虛擬環境時，本實驗採用的顏色與形狀較為簡單、無透視與立體效果的俯瞰地圖。未來或可使用頭戴式顯示器等實驗裝置以獲得更豐富的研究發現，由於使用者視野、互動方式、任務難度的變化，沉浸式虛擬環境中導航輔助工具的設計可能更具挑戰性。

參考文獻

1. Bertin, J. (1983). *Semiology of graphics: Diagrams, networks, maps*. Madison, NY: The University of Wisconsin Press.
2. Bowman, D. A., Gabbard, J. L., & Hix, D. (2002). A survey of usability evaluation in virtual environments: Classification and comparison of methods. *Presence, 11*(4), 404-424.
3. Bowman, D. A., & Hodges, L. F. (1999). Formalizing the design, evaluation, and application of interaction techniques for immersive virtual environments. *Journal of Visual Languages and Computing, 10*(1), 37-53.
4. Burigat, S., & Chittaro, L. (2013). On the effectiveness of overview+detail visualization on mobile devices. *Personal and Ubiquitous Computing, 17*(2), 371-385.
5. Chen, C. H., & Chen, S. C. (2015). Effects of 2D wedge design as a wayfinding facilitator in a 3D virtual environment. *Journal of the Society for Information Display, 23*(1), 27-35.
6. Chen, M. X., & Chen, C. H. (2019). User experience and map design for wayfinding in a virtual environment. In S. Yamamoto & H. Mori (Eds.), *Human interface and the management of information in intelligent systems* (pp. 117-126). HCI 2019. Lecture Notes in Computer Science, vol 11570. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22649-7_10
7. Chen, S., Pan, Z., Zhang, M., & Shen, H. (2013). A case study of user immersion-based systematic design for serious heritage games. *Multimedia Tools and Applications, 62*(3), 633-658.
8. Darken, R. P., & Peterson, B. (2001). Spatial orientation, wayfinding, and representation. In K. M. Stanney (Ed.), *Handbook of virtual environments: Design, implementation and applications* (pp. 493-518). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Assoc.
9. Darken, R. P., & Sibert, J. L. (1996). Wayfinding strategies and behaviors in large virtual worlds. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 142-149). New York, NY: Association for Computing Machinery.
10. Devlin, A. S., & Bernstein, J. (1997). Interactive wayfinding: Map style and effectiveness. *Journal of Environmental Psychology, 17*(2), 99-110.
11. Gagnon, K. T., Thomas, B. J., Munion, A., Creem-Regehr, S. H., Cashdan, E. A., & Stefanucci, J. K. (2018). Not all those who wander are lost: Spatial exploration patterns and their relationship to gender and spatial memory. *Cognition, 180*, 108-117.
12. Garlandini, S., & Fabrikant, S. I. (2009). Evaluating the effectiveness and efficiency of visual variables for geographic information visualization. In K. S. Hornsby., C. Claramunt., M. Denis., & G. Ligozat (Eds.), *Spatial information theory* (pp. 195-211). Berlin: Springer.
13. Guiberson, P. F. (2007). *An examination of transparency as a visual variable for the mapping sciences*. (Unpublished doctoral dissertation). The University of Nebraska, Lincoln, Nebraska.
14. Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (task load index): Results of empirical and theoretical research. In P. A. Hancock & N. Meshkati (Eds.), *Human mental workload* (pp. 139-183). Amsterdam: Elsevier.
15. Healey, C. G. (2012). Attention and visual memory in visualization and computer graphics. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 18*(7), 1170-1188.
16. Hornbæk, K., Bederson, B. B., & Plaisant, C. (2002). Navigation patterns and usability of zoomable user

- interfaces with and without an overview. *ACM Transactions on Computer-Human Interaction*, 9(4), 362-389.
17. Hornbæk, K., & Hertzum, M. (2011). The notion of overview in information visualization. *International Journal of Human-Computer Studies*, 69(7-8), 509-525.
 18. Jakobsen, M. R., & Hornbæk, K. (2013). Interactive visualizations on large and small displays: The interrelation of display size, information space, and scale. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 19(12), 2336-45.
 19. Kraak, M. J., & Brown, A. (2001). *Web cartography: Developments and prospects*. London: Taylor and Francis.
 20. LaViola JR, J. J., Kruijff, E., McMahan, R., Bowman, D. A., & Poupyrev, I. (2017). *3D user interfaces: Theory and practice* (2nd ed.). Reading, MA: Addison-Wesley Professional.
 21. Löwen, H., Krukar, J., & Schwering, A. (2019). Spatial learning with orientation maps: The influence of different environmental features on spatial knowledge acquisition. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(3), 149-164.
 22. MacEachren, A. M. (1992). Visualizing uncertain information. *Cartographic Perspectives*, 13, 10-19.
 23. McGookin, D., Herteleer, I., & Brewster, S. (2011). Transparency in mobile navigation. In *Proceedings of CHI'11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 1903-1908). New York, NY: Association for Computing Machinery.
 24. Mitsudo, H. (2003). Information regarding structure and lightness based on phenomenal transparency influences the efficiency of visual search. *Perception*, 32, 53-66.
 25. Montello, D. R. (2005). Navigation. In P. Shah & A. Miyake (Eds.), *Handbook of visuospatial thinking* (pp. 257-294). New York, NY: Cambridge University Press.
 26. Moraglia, G., Maloney, K. P., Fekete, E. M., & Al-Basi, K. (1989). Visual search along the colour dimension. *Canadian Journal of Psychology*, 43(1), 1-12.
 27. Nurminen, A., & Oulasvirta, A. (2008). Designing interactions for navigation in 3D mobile maps. In L. Meng, A. Zipf & S. Winter (Eds.), *Map-based mobile services: Design, interaction and usability* (pp. 198-224). London: Springer.
 28. Preece, J. (Ed.). (1993). *A guide to usability: Human factors in computing*. Wokingham: Addison-Wesley.
 29. Rebelo, F., Noriega, P., Duarte, E., & Soares, M. (2012). Using virtual reality to assess user experience. *Human Factors*, 54(6), 964-82.
 30. Richardson, A. E., Montello, D. R., & Hegarty, M. (1999). Spatial knowledge acquisition from maps and from navigation in real and virtual environments. *Memory & Cognition*, 27(4), 741-750.
 31. Robinson, A. H., Morrison, J. L., Muehrcke, P. C., Kimerling, A. J., & Guphill, S. C. (1995). *Elements of Cartography* (6th ed.). New York, NY: Wiley.
 32. Ruotolo, F., Claessen, M. H. G., & van der Ham, I. J. M. (2019). Putting emotions in routes: The influence of emotionally laden landmarks on spatial memory. *Psychological Research*, 83, 1083-1095.
 33. Schmid, F., Richter, K. F., & Peters, D. (2010). Route aware maps: Multigranular wayfinding assistance. *Spatial Cognition & Computation*, 10(2-3), 184-206.
 34. Siegel, A. W., & White, S. H. (1975). The development of spatial representations of large-scale environments. *Advances in Child Development and Behavior*, 10, 9-55.

35. Treisman, A., & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12(1), 97-136.
36. Wang, C., Chen, Y., Zheng, S., & Liao, H. (2019). Gender and age differences in using indoor maps for wayfinding in real environments. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(1), 11-30.
37. 游萬來、陳俊文、李佩衿 (2006)。尋路地圖視角和地標形式的使用性研究。《設計學報》，11 (1) ， 85-95。
You, M., Chen, C. W., & Lee, P. J. (2006). Effects of map view and landmark presentation styles on usability of wayfinding maps. *Journal of Design*, 11(1), 85-95. [in Chinese, semantic translation]

Effects of Overview Map Size and Transparency Degree on the Interface Usability of Wayfinding Maps in Virtual Environments

Chien-Hsiung Chen* Meng-Xi Chen**

Department of Design, National Taiwan University of Science and Technology

* cchen@mail.ntust.edu.tw

** Corresponding author: cmx12677@gmail.com

Abstract

Navigational support plays an important role in the virtual environment. However, previous studies have not focused on the usability of overview maps. This study investigated the effects of overview map size and transparency degree on users' performance and feelings in virtual environments. Seventy-two participants were invited to take part in the experiment by using convenient sampling method. This experiment implemented a 2 (size) x 2 (transparency) between-subjects design. The results are as follows: (1) Subjects performed better using 80% transparent overview map than 20% transparent in an easy task. (2) Subjects performed better using overview map in the condition of 1/16 screen size than 1/2 screen size in a difficult task. (3) Concerning subjective evaluations of preference and performance, overview map in the condition of 1/16 screen size was better than 1/2 screen size. (4) 80% transparent overview map was better than 20% transparent concerning subjective evaluations of mental demand. (5) Evaluations of 20% transparent overview map in the condition of 1/2 screen size was the worst among others.

Keywords: Virtual Environment, Overview Map, Size, Transparency, Interface Design.