

虛擬實境輔助室內設計互動系統及學習成效研究

張郁蘆^{1*}，許浩龍²，李柏穎³

^{1*}崑山科技大學空間設計系，jecho@mail.ksu.edu.tw（通訊作者）

²hlshu@mail.ksu.edu.tw

³dark75337@gmail.com

摘要

在傳統的室內設計教學上，初學者在學習過程中常遇到的主要問題，是無法掌握縮小比例的 2D 草圖或模型與真實空間尺度之間的關係。這是因為他們缺乏直接面對 1:1 空間尺度的經驗和知識，無法通過繪製縮小比例的圖來體驗和感知設計所呈現的空間感。傳統教學為解決這問題，往往要求學生花費時間製作大尺寸的模型或圖來表達設計的空間感。而這種設計方法需要經過漫長的反復嘗試，才能通過 2D 圖和模型來培養對空間尺度的感知能力。對此，本研究實作一套互動設計系統輔助學習，在初步的草圖設計階段便能導入 VR 應用在輔助教學，此系統利用遊戲引擎設計 APP，可將 2D 繪圖直接轉換成 3D 並可進入 VR 環境體驗及修改內部空間的陳設與材質，另可產生 QRcode，透過互動桌辨識轉換成 3D。研究透過新手與熟手的實驗問卷分析，系統在設計輔助的學習成效上獲得一致的認同，尤其是新手認同度更高於熟手。這結果符合本系統實作的預期目的，輔助設計新手學生縮短學習時間及有效地協助空間尺度的感知。

關鍵詞：空間尺度、虛擬實境、電腦輔助教學、設計草圖、學習成效。

Studying on the Design of Interactive System and Learning Effect of Virtual Reality Aided Interior Design

Yi-Li Chang^{1*}, Hao-Long Shu², Bo-Ying Li³

^{1*} Department of Spatial Design, Kun Shan University. jecho@mail.ksu.edu.tw (corresponding author)

² hlshu@mail.ksu.edu.tw

³ dark75337@gmail.com

ABSTRACT

In traditional interior design teaching, the problem often encountered by beginners in learning is that they do not know the real spatial scale relationship represented by the scaled down 2D sketch surface or model. The reason is that they lack the experience and knowledge to directly face the 1:1 spatial scale, and cannot experience and perceive the spatial feeling presented by the drawn design through drawing the space reduction drawing. In order to solve this problem, traditional teaching tends to require students to spend a lot of time making large-scale models or drawings to express the sense of space of the design, and such a design operation method must go through a long period of training and trial and error. Only gradually can the perception training of spatial scale be obtained through 2D drawings and models. Therefore, this research implemented an interactive design system. This system can be imported into VR application in the preliminary sketch design stage to assist in teaching. This system uses the game engine to design APP, which can directly convert 2D drawings into 3D and enter the VR environment experience and modify the furnishings and materials of the internal space. It can also generate QR code, converted into 3D through interactive table recognition. In this study, through the T-test analysis of the experimental questionnaire, the system has obtained consistent recognition of the learning effect of the design assistance, especially for novices than experienced hands. This result is in line with the expected purpose of the system implementation, helping design novice students to shorten the learning time and effectively construct the perception of spatial scale.

Keywords: Spatial Scale, Virtual Reality, Computer-Assisted Instruction, Design Sketch, Learning Outcomes.

1 緒論

空間設計是一門強調實際操作的學科，通常會採用專案及案例式教學法，引導學生將腦海中的想法通過手繪、電腦製圖及立體效果圖等方式將空間設計以平面、三維等方式表現出來，然後再綜合進行空間模型的製作以提升學生對空間想像的實踐力。因此在傳統教學現場，師生在圖紙上的描繪，包含尺度、空間分割以及註解等等，是討論過程中，老師與學生們分享自己的想法以及給予意見的常用工具。在傳統的空間設計教育中，紙筆及實體模型為討論過程中常用的工具。實體的模型難以在討論過程中即時進行修改，同時也必須透過想像才能體會到實際身處在空間中的感受，以及各家具物件排列後所產生的空間感。

空間設計課程的教學是整合不同知識的專業學習。長期以來，設計教學過程中在概念發展階段，手繪草圖對設計新手（大一、大二的學生）的訓練是重要的；相對於設計熟手（大三、大四的學生）則更傾向於以電腦繪圖為重（Islamoglu & Deger, 2015）。概念構想階段對於空間設計訓練過程的意義和影響都具有相當重要性。在此時做出正確的尺度比例決定，將有助於整個設計流程的順暢。在概念構想階段，常使用設計手繪草圖作為篩選構想的主要工具。清晰地呈現構想的草圖表達，有助於提高對構想的理解程度。而草圖構成的形狀、比例、透視、視角呈現及色彩表達都是與空間的尺度正相關的（Ching, 2023）。

所以在傳統的空間與室內設計教學上，通常是訓練學生使用紙筆或模型來將初步的設計概念演變為可度量化和具體化形式。然而，在學習過程中，新手初學者（大一、大二的學生）常面臨一主要問題，即不清楚縮小比例的 2D 圖或模型所代表的真實空間尺度關係。其中一個相當重要的原因是他們缺乏 1:1 真實空間尺度的經驗和知識，因此無法通過繪製縮小比例的圖來體驗和感知所繪製的設計所展現

的空間感受。因此在傳統的教學模式上，為了解決這個問題，大都要求學生花費許多時間去製作大尺度的模型或圖來傳達設計的空間感，以獲取更多資訊來判斷和解讀更多設計問題。然而，這種設計方法通常需要經過漫長的磨練和反復嘗試，才能逐漸通過 2D 圖和模型來獲取空間尺度的感知訓練。

但在空間與室內設計的教學現場上，新手學生他們對於真實空間的想像難以體會，而導致空間中物件、家具、色彩的規劃及分割後的空間感無法掌握。也由新手學生正處於學習的初階段，他們對於空間知識與空間感的想像力不足，因此在真實空間的尺度敏感度也相對薄弱，導致在構想階段所繪製的 2D 草圖，在室內空間的規劃、家具以及物件排列上，比例錯誤，不符合人因尺度。

因此，如何在現有的空間設計教學中運用沉浸式 VR，讓新手學生理解自己草圖階段的空間尺度之繪製問題，來提升學生對於草圖繪製時的空間比例、家具、尺度等整合後的人因敏感度，以增進學習效能，並優化空間設計的整體教學品質。若能在設計教學過程中，適時地透過沉浸式 VR 設備的技術來輔助設計學習的不同階段，讓學生能以 1:1 的真實比例觀看自己的室內空間設計、傢俱陳設以及室內材料色彩，並作材質與陳設的修改，應能有效提升學生對於 2D 圖面轉換成三度空間時的空間感知學習效果以及對於空間想像的訓練。（圖 1）

本研究技術實作開發一套虛擬實境輔助室內設計的互動系統，通過虛擬實境的體感模式提出一個全新的通用介面輸入架構，不僅加強互動設計，也導入了遊戲的概念增加 APP 介面的直覺性以及系統跨平台整合的特性。VR 體感互動學習的優點可增進學生在學習過程中對空間感知與空間尺度的設計理解。目前該系統已取得 2 項發明專利（I696085、I771924）及 1 項設計專利（D217264）。



圖 1. 評圖學生的實體模型透過 VR 評圖老師們表示更能掌握學生的設計問題(本研究整理)

系統的功能著重在初步設計時，能將手繪的設計草圖稿，透過拍照描繪，直接建立 3D 檔。同時，通過 1:1 虛擬實境環境系統，使設計初學者能夠直接感受空間的尺度，而不用花費太多時間去製作紙板模型或數位模型，並導入 VR 讓師生能以 1:1 的空間感受來討論空間設計的尺度，並進行設計修正，以縮短學習時間及有效地建構出空間尺度的知識與感知。而在學習成效上透過新手（大一、大二學生）與熟手（大三、大四學生）的問卷分析，探討該系統是否能縮短學習時間及有效地增進出空間尺度的知識與感知。

本互動系統是想利用 VR 直覺式的體驗及 1:1 空間導覽的虛擬實境，來建構輔助空間設計學習的即時輔助系統，以突破傳統既有空間設計教學的方式，讓學生在初步草圖設計階段，就能在空間中即時遊走進行空間尺度的感知，並進行開口、材質、物件及家具的選用評估，以輔助學生縮短在空間尺度、平面規劃及空間陳設的學習時間。研究利用虛擬實境的體感互動特性來進行設計輔助，期望突破既有設計教學的慣性，導入跨領域的創新設計工具及操作方式，建構一虛擬實境輔助室內設計的互動系統及設計流程。而研究的目的有二：(1). 有效提高學生的設計學習興趣、設計效率以及空間尺度的感知學習。(2). 在設計的草圖階段結合直覺式的設計媒材輔助，建立新的設計教學模式。

2 文獻回顧

文獻將從空間設計中尺度感知的重要性切入，透過空間設計中數位媒材以及虛擬實境的發展歷史，探討有關電腦輔助設計在學習的應用。其次將探討人機介面的設計重點以及互動性的重要性。最後是針對空間設計教學方法與本研究技術實作的相關參考文獻之回顧。

2.1 空間設計的尺度

空間以人為尺度的觀點，最早由 Vitruvius 在《建築十書》中提出了描述人體與建築比例的基本模型，從標準尺寸轉移到人體與空間的公約定數上。在文藝復興時期發展起來的“透視法的典範”通過數學描述將人體視為測量系統，將人的印象轉化為比例性的觀點。通過這種科學的研究方法，開創了文藝復興時期建築與美學的新發展 (Palumbo, 2000)。20 世紀，柯比意提出了“模矩” (Modulor) 的概念，他認為“模矩”實際上是關於人的尺寸與測量的概念，獲得數字價值。建築空間作為人的容器和延伸，是身體的重要延伸部分，因此通過使

用身體來感知是最適合、最直接的測量方法，使空間概念得以具體化。

所以，我們知道空間尺度的感知，是以自身為量測工具。但在傳統的空間設計教學上只能從自身的想像以及繪圖過程來感受設計者自己所描繪的空間大小與氛圍。因此，對於空間與室內設計的初學者往往是很難想像實際的真實空間感受。如何透過數位媒材的協助，讓初學者能在草圖階段即能夠了解自己設計的空間尺度大小關係，便成為重要的問題。

2.2 設計過程中從傳統到數位媒材的發展

在空間設計中，繪圖行為被認為是一種能夠激發和培養設計創造力的行為。在繪圖行為中，模糊而缺乏結構性的草圖與設計創造力的正相關 (Purcell & Gero, 1998; Verstijnen *et al.*, 1998)。在電腦出現之前的設計媒材，傳統尚主要是使用筆和紙來繪製的手繪草圖。

在電腦媒材介入設計之後，電腦輔助設計對整個設計過程產生了多方面的影響。在 90 年代，電腦已被確認為設計工具的一部分，並開始影響傳統設計，對設計師的思維過程產生影響。相關研究開始探討設計中電腦的角色以及未來的發展，尤其關注電腦在設計過程中提供的輔助作用 (Van Elsas & Vergeest, 1998)。Sasada (1999) 在實作研究中認為電腦是一種強大的媒介，在設計中有三個層次的應用。早期被視為設計展示的工具，因為運算速度慢，無法輔助設計決策，僅作為工具使用。後來成為設計過程的媒介，進入了設計思考的層面，設計師可以將電腦的運算能力直接應用於設計，並通過其在溝通、評估、展示等方面的角色幫助做出設計決策。近年已發展到介入概念階段，協助人類無法通過非電腦手段生成的設計構想，或者間接幫助設計師獲得構想，電腦的應用在設計中逐漸接近設計的核心。

另外，在 Van Elsas 和 Vergeest (1998) 的研究中，探討了電腦輔助概念設計系統 (computer aided conceptual design, CACD) 中早期階段使用電腦輔助設計的優勢。這些優勢包括：第一，能夠提升設計概念的品質；第二，允許快速生成替代方案；第三，提供更好的平台進行溝通與評估；第四，使用電腦輔助概念設計可以在早期的設計決策避免錯誤的代價等。相關研究主要集中在電腦系統的開發上，嘗試建立運算式繪圖環境，以實現數位運算與草圖的直接關聯，使設計師能在概念發展階段廣泛應用電腦進行草圖測試 (Gross, 1996)。

近來電腦科技迅速發展，尤其是虛擬實境（VR）的新技術更讓電腦繪圖技術達到前所未見地擬真。如何運用數位科技媒材來協助設計的創造力會是設計過程中的重點。因此，數位媒材對設計的影響必然會對設計創造力帶來變革。因為資訊科技的價值並非僅限於生產力，而是在於其創造力，以及它開創設計新局的潛力（Y. T. Liu, 2002）。

2.3 虛擬實境應用

虛擬實境（Virtual Reality, VR）一詞最早是 1970 年代於麻省理工學院出現。虛擬實境是通過電腦繪圖和影像合成技術，結合聲音處理，模擬構建的虛擬世界。在這個虛擬世界中，物體可以是人們熟悉的周圍事物，也可以是肉眼無法看見的，甚至是虛擬想像的空間。在虛擬實境系統的環境中，可以戴上頭盔顯示器，手控 3D 滑鼠或戴上感應手套等設備，在虛擬世界中自由地遊覽和探索，並且控制或觸碰物體。過程中，系統會根據你的動作，通過設備上的感測器接收資訊並傳遞到系統中進行計算處理，即時更新顯示或回應行為。因此，虛擬實境確實能夠讓人們完全沉浸在系統環境中，體驗身臨其境的感知。虛擬實境包含三大要素（Burdea & Coiffet, 2003）：(1)想像力（Imagination），是指知覺感受接受刺激後，通過神經傳遞至大腦，再借助過去的經驗形成幻覺。(2)融入性（Immersion），意味著人類利用知覺器官來全身心地感受整個虛擬實境，仿佛真實地置身其中。(3)互動性（Interaction），表示人與機器之間相互回饋的關係。

從功能特性的角度來看，虛擬實境可以被解釋為一個由立體電腦繪圖、音效和其他身體感知介面組成的模擬環境，旨在創造出一個極具逼真感的虛擬世界。在這個虛擬世界中，使用者能夠即時地與虛擬環境互動。所謂的即時互動意指電腦能夠實時感知和監測使用者在虛擬環境中的活動，並立即做出適當的反應和回饋。這種即時互動的能力帶來的是讓使用者感覺自己完全融入了模擬的虛擬環境之中。除了視覺之外，虛擬實境還能融入其他感知資訊，讓使用者能夠透過觸覺、嗅覺、聽覺等多種方式與虛擬環境進行互動。因此，我們可以將虛擬實境定義為一種高級的使用者介面，透過介面能將多種人類感知通道實現即時的模擬和互動能力（Mystakidis, 2022）。

目前，虛擬實境技術已廣泛應用於室內空間設計領域。與傳統的手繪圖相比，當代設計生產主要依賴於電腦技術，數位化設計在各個

設計階段得到廣泛應用。在設計過程中，進行空間視覺模擬，可以作為設計評估的參考。例如，在施工前進行的設計模擬可以提前發現問題並進行改進，減少試錯所帶來的成本。在設計階段，虛擬實境的空間模擬可以加強不同專業領域的緊密整合。同時，它也允許設計師、使用者或客戶自行操作電腦，自由地觀看設計成品的任何角度，甚至即時進行修改（圖 2）。



圖 2. VR 綠幕設備與空間 (本研究整理)

2.4 人機介面與電腦輔助設計

在 1963 年，Ivan Sutherland 提出了 Sketchpad 研究計畫，人機介面開始受到研究者的重視。對於電腦輔助設計（Computer-Aided Design）的研究也迅速增加，引發了對於輸入與顯示技術的重要性的探討（Baecker, 2014）。到了 1981 年，Xerox 推出了 Star Information System，建立了現代個人電腦的基本架構，包括處理器、顯示器、鍵盤以及指標控制裝置（滑鼠）。在這個時期，人機介面的關注點開始轉向如何理解顯示器背後的虛擬空間，引入了圖像指令、樹狀選單、視窗系統等概念。同時，這也奠定以使用者為中心、直覺化和視覺化操作等介面設計的重要原則，這些概念一直延續至今。

人機介面，又被稱為人機互動，是專注於開發使用者介面設計的領域。圖形介面具備直接操縱的特性，通過在屏幕上直接操作可見的物件，類似於人類肢體動作的方式，改變系統狀態。例如，通過滑鼠點擊和拖曳或者使用光筆在屏幕點擊，都屬於直接操縱的範疇。透過互動式的 3D 即時編輯介面，可以實現對新事物的學習和探索（Chien & Flemming, 2002）。

在 1962 年，Morton Heilig 提出一個有趣的觀念，sensorama 讓使用者透過影像、聲音和氣流的結合，體驗沉浸式（immersion）的感覺。隨著 90 年代 3D 技術的逐步成熟和投影設備的普及，研究者開始致力於視覺化塑造完整虛擬空間。在 1992 年的 SIGGRAPH 展示中，出現了"The Cave"，透過立體眼鏡和周圍的投影幕，觀眾能夠即時感受到立體空間，這

種沉浸式的感知成為探索虛擬空間的重要要素。隨著使用者中心的思想不斷發展，全虛擬環境硬體的操作介面變得多樣化，包括手部動態追蹤、眼部追蹤、手勢辨識、位置辨識等方向。這些不同的操作方式進一步分析了身體所能傳達的訊息 (LI *et al.*, 2019)。

隨著展示科技的飛快發展，虛擬實境軟體的開發與應用也得到了全面提升，同時運算位元組的擴充以及資料處理速度的提升，促成了互動式多媒體介面的崛起。這些進展有效地提供了人機介面的研發資訊，使得人體、介面、機器和程式語言之間的互動得以實現。從科技的角度來看，虛擬實境可以被視為一種「人類－電腦介面」的形式，它的特點在於環境的模擬。隨著數位時代的到來，多媒體互動人機介面工具已成為虛擬實境科技發展不可或缺的一部分。同時，在虛擬實境發展系統的設計方面，傳統的單向溝通和系統控制逐漸被雙向溝通和學習者主動控制學習情境所取代。此外，在資訊時代，數位資訊平台的持續發展和眾多軟硬體的不斷創新，使得電腦與多媒體的結合衍生出全新的「互動式虛擬實境」模擬環境 (圖 3)。



圖 3. 互動式虛擬場景之建構(本研究整理)

2.5 電腦輔助設計的互動式學習

互動科技中的「互動性」一直被認為是數位媒材的重要特質。透過電腦資訊介面呈現的互動科技，當參與者獲得指引訊息後，能夠與物體進行某種程度的心得交流，從而實現參與後的體驗和反饋 (陳永賢, 2005)。當我們面對機器時，不直接看使用說明書，使用者透過介面所透露的各種暗示和訊息以及倚靠與機器互動來瞭解如何操作，就是心智模型 (Norman, 1993)。而互動 (Interactive) 是指人與機器之間進行訊息交流、互相回應和反饋，以實現個別化和適應化的效果。Borsook 和 Higginbotham-Wheat (1991) 針對互動多媒體設計提出構成互動的六項要素如下：「立即回應 (immediacy of response)、非線性取用內容 (non-sequential access information)、可適應性 (adaptability)、回饋 (feedback)、選擇權 (option)、雙向溝通 (bi-directional

communication)。」

在電腦教學活動中，互動指的是學習者與電腦之間的相互作用關係，這關係涉及學習者是否能夠與所提供的環境融為一體。同時，教學系統還應能夠根據學習者不同的需求調整互動模式與建議。互動可分為三個層次 (Gao, 2003)：反應式 (reactive)、主動式 (proactive)、雙向式 (mutual)。在互動的 CMC (computer-mediated communication) 科技技術的機制下，虛擬實境在空間設計的數位輔助與應用，首先是透過虛擬實境的數位科技媒材來創造與設計可視覺化的新空間；第二是著重在虛擬實境媒體所創造的人機互動界面及其所呈現的視覺效果，來討論設計思維的呈現在虛擬空間與真實空間的差異；最後是透過基於遊戲的娛樂科技，展現了空間的多樣性，並創造一個新的設計取向與互動方式，來挑戰實體與虛擬空間中複雜的環境互動行為 (圖 4)。



圖 4. 互動式 3D 即時介面(本研究整理)

虛擬實境在空間設計的數位學習輔助和應用方面，逐步演變，從以往的傳統單向系統溝通和控制方式，轉向強調雙向交流，由使用者主動掌握情境的控制。隨著數位學習的興起，設計教學的數位系統整合已愈來愈重要。在相關的虛擬實境研究，許多學者認為虛擬實境在對學生學習能力的提升上具有潛力。多數學者認為虛擬實境可以作為輔助學生空間能力的學習工具，因此建議應用虛擬實境在教學上，讓學生探索空間概念。在此一趨勢下，如何設計一個具系統化的單一整合學習環境，讓學習者透過虛擬實境的輔助學習系統，達成設計教學的目標，已成為整個電腦輔助設計教學及學習活動的重點 (Colreavy-Donnelly *et al.*, 2022; Zou & Tsai, 2022)。

2.6 虛擬實境在空間設計的研究

虛擬實境在空間與室內設計上的應用，近

年由於 HTC 及其他廠商的相繼投入使得沉浸式 VR 的設備變得更可親近，而在應用層面也越廣。虛擬實境作為一種表達、溝通、互動的方式，早期的應用與研究以實體及虛體視覺化的模擬為主，作為設計的模擬與溝通，近期逐漸以跨領域及產業的應用為主。虛擬實境於空間設計產業相關應用的研究指出，透過虛擬實境的溝通模式，確實能明顯提升設計可行性、溝通效率和設計決策的優勢，尤其對「材料質感」、「色彩計畫」、「整體氛圍」等會有明顯的提升 (Juan, Chi & Chen, 2021)。而虛擬實境在模擬真實空間的導覽是能讓室內設計師與客戶之間更有效地進行溝通 (S. Liu *et al.*, 2021)。

近年相關研究中有 4 大方向，空間認知與尺度感、設計創造力、用戶的感官體驗以及商業上的應用。Banaei 等人的研究從建築和心理學的角度對不同空間再現形式的情感影響所進行的研究，顯示與刺激類型有關，使用了頭戴式虛擬現實 (HMD-VR) 裝置可增強使用者對空間的認知 (Banaei, Ahmadi, Gramann, & Hatami, 2020)。Zhang 等人提出以沉浸式 VR 研究可增進空間尺度感知 (SSP, Spatial Scale Perception) 的強度 (Zhang *et al.*, 2020)。Brusatin (2020) 則更大膽地在指出，設計師敘述 (繪製) 設計以使其變為現實，但設計中 VR (虛擬現實) 趨於主導 RR (真實現實)。Obeid 與 Demirkan (2020) 的研究指出沉浸式虛擬設計環境比非沉浸式虛擬設計環境更能促進參與者的設計過程創新，並提出虛擬實境可作為一種創造力支持工具，所以沉浸式 VR 不僅可以改善用戶空間意識，也減少了設計師重建和修改設計的時間。

2.7 空間設計的教學方法研究

設計行為是一種融合實用性、美感和創意等多元條件的綜合計畫。設計專業教育涵蓋廣泛領域，涉及多種學習領域。設計教學包含實作、思維培養、實務技能和創意發展等內容，其課程通常強調透過實際操作來累積經驗。設計工作坊及設計案例成為主要的教學形式。設計工作坊旨在培養學生的創造力、繪圖能力、問題解決能力、溝通技巧和規劃流程，使學生能以設計師的思維方式進行思考，並透過圖像、模型和視覺語彙來呈現和解決設計案中的問題。(游萬來、楊敏英、廖珮玲，2007)。

空間設計教育中，設計工作室被視為一種主要的教學方法。它是學生獲取知識、培養批

判性思維能力和增強創造力的地方，因此大都採師徒制 (Makki, Farooq & Alaskar, 2019)。空間設計教學內容及目標是要在設計課程中訓練學生經由設計實作來體驗與呈現空間；同時，在進行繪圖、模型製作以及研究討論分析的過程中，反覆運用不同的思考模式，以熟練的分析、推理和組織能力，結合設計價值觀和專業知識，完成作品。因此繪圖在空間設計中是基本的訓練與溝通的媒介方式，教學方法以學生為中心，教師主要以輔助教學的方式協助指導，透過小班式的教學在課堂改圖方式作為教學模式的活動之一。

基於學習理論的數位化教學方法中，虛擬實境是符合情境教學理論的。情境教學理論強調個體需要沉浸在知識的實際情境中，通過觀察、模仿和實際活動，才能真正理解知識和技能的意義。虛擬實境是最佳應用情境教學理論的工具。虛擬實境利用多媒體電腦技術模擬真實場景，結合互動式硬體設備，如頭戴式顯示器、立體眼鏡和感應手套等，讓參與者獲得身臨其境的感覺。它有影像式虛擬實境 (Imaged-based VR)、幾何式虛擬實境 (Graphic-based VR)、和混合式虛擬實境 (Hybrid VR) 三種方式，在學習的應用領域將越來越廣泛 (Bolshakova & Taratukhin, 2022; 施文玲，2007)。

傳統教學存在以下三個問題：首先，教師仍然採用傳統的教學方式，過於理論化，實踐性較差。其次，雖然教師使用了多媒體教學方法；但在展現抽象的三維空間方面存在困難。第三，在空間與室內設計教學過程中，缺乏對真實空間設計專案的實際操作。課堂模式通常是教師提供基地與案例資料，學生根據教師提供的資訊進行設計。因此，課堂上師生之間的設計溝通工具主要是手繪草圖和實體模型 (Orthel & Day, 2016)。這種教學方式缺乏學生對空間設計專案的實際體驗和人因尺度的掌握，導致新手學生在考慮實際室內空間時缺乏足夠的務實考量。

因此為了解決此一傳統空間及室內設計教學上的溝通工具及增進學生對於空間感知的掌握，有研究題出以虛擬實境技術運用在教學中，可促進教學觀念、教學內容、教學活動的改革。期望運用虛擬實境技術來創新教學方式，營造一種從以教師為中心轉變為以學生為中心的教學環境。並利用引入 VR 技術使學生的空間認知形式更具真實與動態性來變革教學內容。

表 1. 輔助設計繪圖軟體比較

軟體名稱	系統	功能	優點	備註
Sweet Home 3D	PC 平台 線上平台	室內空間的平面圖繪製	可看見當前空間尺寸、準確的尺寸標註、易閱讀之軟體介面、可匯入多樣化家具	無法自動解除繪製模式、繪製範圍有限、材質分類不足
Floorplanner	線上平台	室內空間平面圖繪製	自由繪製的空間、材質更換方便、家具可自由配置、軟體帶有對齊功能	部分家具、材質為付費使用
Homestyler	線上平台	室內空間平面圖繪製及 3D 空間觀看	軟體可進行詳細之牆體設定、介面會同步顯示 3D 空間狀況、可自有創作部分材質、不同視角的家具配置	大部分家具為付費使用、視角移動較為複雜
Planner 5D	行動載具 Android、IOS	室內平面圖繪製，3D 視角觀看	軟體可匯出 3D 效果圖，真實之家具模型，可參考之空間模板	繪製模式不夠直覺，大部分家具為付費使用
Magicplan	行動載具 Android、IOS	室內平面圖繪製，空間渲染圖匯出	可透過 AR 系統進行空間拍攝並建構平面圖	收費，部分家具或門窗無法放在對應材質上

資料來源：本研究整理

3 研究方法與步驟

研究方法如下，並採用 T 檢定統計來分析輔助設計學習的成效：

(1)「文獻研究分析」：從空間模擬、人機介面及互動學習的應用案例分析，了解電腦輔助設計對於空間設計教學、空間數位資訊及互動式的類型，以及在電腦輔助設計系統的設計過程中需要具備的技術特徵。

(2)「互動設計系統案例分析」：透過對於現有的電腦輔助設計繪圖軟體與平台技術、互動設計技術、數位媒材及互動教學研究進行工具案例分析，並配合系統分析的設計原則與功能需求，規劃出運用虛擬實境媒體所需的系統介面及操作流程。

(3)「問卷設計與統計分析」：本研究問卷採 5 分制，對象為空間設計系 1 到 4 年級學生，分成新手與熟手兩組。問卷設計涵蓋在使用互動系統後之空間尺度、空間感知、設計流程與設計學習的構面滿意度，並採用 SPSS 軟體透過獨立樣本 T 檢定進行資料分析。

研究假設有下列兩點：

(1).虛擬實境輔助設計系統可以有效地提升空間設計初學者（新手）在空間尺度的感知訓練。

(2).運用虛擬實境媒體在空間設計的輔助教學方式可以增進學生的學習效能。

3.1 互動設計系統案例分析

電腦輔助設計繪圖軟體如架構在 PC 系統的 Autocad、Sketchup、3DS MAX、Rhino 等，常以 2D 的圖面與 3D 模型繪製為主。近年有不少網路平台開發出線上的室內設計繪圖軟體，並擴及到手機與平板等行動載具來方便使用。這些軟體大多能透過線上網路平台進行使用而不必下載至電腦。

在科技的發展下，行動裝置的功能也更加廣泛，催生了可進行設計圖面繪製之 APP，研究分析 5 款輔助設計軟體在系統及功能（表 1）。前三款為 VR 作為學習的互動系統研發時所參考的平面繪圖相關軟體，皆可快速進行平面繪製並產生 3D 模型，讓使用者能便利進行修改。後兩款為行動載具上的 APP 軟體，透過行動載具方便進行設計討論，提供 VR 互動系統在介面設計的配置模式參考。在以上軟體的使用分析後，VR 互動系統的技術實作考慮以下 3 點：(1).在設計平面圖繪製軟體時應規劃固定之繪製流程，以便簡化繪圖的複雜程度。(2).規劃部分繪圖以外之功能：如 3D 視角觀看、圖面或視角透視的輸出、輔助繪製之網格、軟體使用說明等。(3).介面應使用圖示來指涉功能內容，讓使用者可以更便利的使用。

3.2 問卷設計

本研究問卷設計將探討在設計學習中有關空間尺度與空間感知的因子，並針對 VR 輔助空間學習與傳統教學以及在新手與熟手間

的差異來設計問卷的構面，問卷的測試對象為空間設計系大學生。研究問卷的設計分成四構面：空間尺度、空間感知、學習成效（設計流程與設計學習）與科技輔助（載具應用與雲端資料庫）。

在空間尺度中為了要了解 VR 是否能提升使用者對空間中物件在尺寸上的了解，因此透過尺度、距離、序列以及空間佈局來做設計因子的思考。在建築的空間尺度中因子關乎：平面佈局、尺寸控制、立體型態、次序、比例、方向對比、空間銜接尺度、距離、序列與空間佈局（Ching, 2023）。本研究重新整理如下表 2 說明。

表 2. 空間尺度因子

項目	因子	說明
尺度	大小	判斷空間中物件是否過大或過小
	尺寸	更為準確的判斷空間中物件的尺寸差異
	比例	物件比對後對於物件比例正確性的認知
距離	距離	對於整體空間方向的掌握
	間距	用於連接各個空間的過道
	相對位置	提升對整體空間在規劃上的掌控
序列	排序	使用者對於空間排列的相關知識
空間佈局	空間掌握	使用者對於不同視角的空間掌握

資料來源：本研究整理

針對空間感知能否透過 VR 的互動體驗來提升使用者在整體空間認知的能力，因此分別在方向性、靜態、動態、配置、真實性及關注度等方面來做設計因子的探索，以便於分析 VR 應用在室內設計的使用效益。在空間感知的文獻研究（林庭羽，2012），指出空間感知的因子關乎：方向性、靜態、動態、配置、真實性及關注度。本研究重新整理如下表 3 說明。

研究問卷的設計分成四構面共 39 題，問卷構面與題目如下（詳附錄二）：(1).空間尺度 9 題(A1-A9)；(2).空間感知 14 題(B1-B14)；(3).學習成效 11 題：分成兩面向，一為有關設計流程 4 題(C1-C4)，以及有關設計學習 7 題(D1-D7)；(4).科技輔助 5 題：分成載具應用 4 題(E1-E4)，以及雲端資料庫的應用 1 題(F1)。

（詳附錄一及附錄二）

表 3. 空間感知因子

項目	因子	說明
方向性	方向性	使用者在 2D 與 3D 間轉換後方向的判斷
	通透性	使用者對於空間中開口的掌握
	位置	對於空間中物件方向的掌握
靜態	靜態	空間中不會變化的物件
	質感	空間中色彩及材質的變化
	透視感	不同物件在空間中立體感的差異
動態	視角變化	在虛擬空間中不同視角的差異
	動線	空間中移動路線的變化
	場景變化	虛擬空間中景色的轉換
配置	配置	對於空間設計在配置上的知識
真實性	對比真實經驗	使用者在虛擬空間中所見與真實經驗的差異
關注度	專注性	在空間體驗時對於問題的敏感性

資料來源：本研究整理

3.3 實驗步驟

本次實驗共有 1-4 年級大學生，共 66 名協助進行測驗，分別為 38 名高年級學生（熟手）和 28 名低年級學生（新手），高年級學生具有獨立進行設計之相關經驗與 3D 繪圖能力；而 28 名低年級學生皆為具有空間設計相關基本知識之學生，皆擁有考取丙級手繪建築製圖及 2D 繪圖能力。實驗測試地點：本系 VR 實驗室_D3304；測試使用設備：MSI 筆記型電腦、HTC VIVE COSMOS、安裝 VRoom 之安卓平板；每次 1 人。實驗為掌握時間，受測者需挑選在 VRoom 系統中預先設定完成的 1 個公寓平面格局來進行設計編修與家具陳設（圖 5）。

測試過程如下：1.測試內容及目的簡介，約 5 分鐘；2.軟體操作與功能說明，約 5 分鐘；3.軟體實際測試，總共 30 分鐘，分為平板繪圖體驗、互動桌家具配置、虛擬實境場景沉浸式體驗與 VR 中進行編修，各項測試時間為 5-10 分鐘；4.學生體驗感受討論及學生問卷填寫，約 10 分鐘。

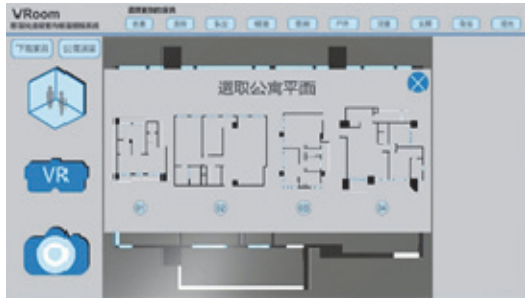


圖 5. 公寓平面的選取 (本研究整理)

4 VR 互動系統架構設計與功能

本研究的 VR 互動系統是做為輔助低年級室內設計教學的工具，讓初學者在完成平面格局的草圖設計後，開啟系統透過平板掃描草圖，並在系統中描繪完成 2D 平面格局完成數位化以及利用系統的資料庫進行家具的陳設。如此系統會自行產生 3D 空間，並可進行空間瀏覽，或透過虛擬實境設備在等 1:1 的空間中體驗並編修。新手學生透過虛擬空間的瀏覽能親身體驗草圖設計的空間尺度與感知。

在空間與室內設計教學上，為了要讓新手學生在草圖設計的階段就能有適當的數位輔助工具，來協助縮小草圖與正圖的空間尺度與比例的誤差，並培養學生對於 2D 圖面轉換成真實空間的想像力與感知力。因此，系統的特質是導入遊戲引擎（UNITY）及 APP 開發透過使用 VR 體驗式輔助設計系統（VRoom），使設計初學者能夠實際感受草圖設計方案在真實空間尺度和平面佈局中的關係，同時可以直觀地操作和即時修改草圖設計。

而 VRoom 作為輔助設計工具，其運用的限制、教學範圍及特質如下：

(1).其限制為針對低年級學生在繪製設計草圖階段時使用，以訓練空間感知與空間尺度，需有相對應的 VR 設備。

(2).教學範圍透過 VR 的應用除了輔助低年級學生的室內設計課程外，也可輔助基本圖學課程，協助學生進行空間或家具配置、色彩及材質選用來對繪圖空間進行空間尺度以及感受上的體驗。

4.1 VR 互動系統架構設計

本研究的 VR 互動應用是採直覺式室內配置設計，透過 Unity 遊戲引擎開發的輔助設計系統，特別是指一種將個人對於空間設計的想法融入於空間意象感知中的室內配置設計

系統及方法，搭配虛擬實境互動裝置提供使用者進入自己創造的場景並體驗，目前已取得 2 項發明專利及 1 項設計專利並獲得 2021 及 2022 年「台灣創新技術博覽會」兩屆的金牌。VR 的室內設計互動系統在原型發展的架構概念，分成 6 部分：平面繪圖、拍照上傳、校正、生成 3D 與 QRcode、VR 環境中的材質與家具選單以及 VR 環境中的編修功能，並先以 Unity 遊戲引擎設計後進行 APP 設計測試(如圖 6)。

VR 的 APP 互動系統可以經由將草圖拍照或直覺地利用 App 在平板載具上快速規劃室內空間的配置設計，包含家具陳設及材質指定，產出 3D 立體檔案以及平面圖，並衍生一 QRcode 圖型提供列印。在透過 QRcode 的辨識呼叫或直接讀取檔案，可在 PC 電腦端進行家具、材質的 2D 或 3D 編輯，或直接透過虛擬實境設備，在完全沉浸式地 3D 虛擬環境進行互動操作，除了能即時體驗空間外，也同時進行開口、材質及家具替換的編修功能。整體架構可分成四項，說明如下（圖 7）：

(1).系統架構：使用者透過平板載具或電腦端設計空間內容，透過網路上傳資料到雲端資料庫；而將上傳的空間設計資料，下載到 PC 電腦系統或平板載具上，系統會依照數位資料建置出 3D 房間，每個空間量體可以綁定一張圖卡，使用者可以將圖卡放在互動桌上組裝排列各種空間變化，並透過 CCD 辨識圖卡轉成所對應的數位空間資料，除了可進行 3D 空間的瀏覽外，同時可以使用 VR 設備連接 PC 的方式直接深入體驗空間內容並及時修改物件。

(2).硬體架構：分成設計操作端（平板或 PC 電腦），及設計體驗端（電腦+網路攝影機+VR 設備+互動圖卡方塊）。

(3).網路架構：分成區域網路，在互動桌電腦安裝伺服器軟體，透過 wifi 或是有線方式與平板連接，進行互動。公開網路，將資料庫放在雲端，不同使用單位在使用時先建立編號，平板在與該編號做綁定進行上傳，互動桌電腦只下載該編號的檔案。

(4).雲端資料庫架構：分成空間資料庫與家具資料庫，並對應到 QRcode 作為辨識數位資料方式。

VR 應用系統作為概念發想的輔助設計工具，在草圖階段便能協助空間感知與尺度的掌握以及材質與色彩的討論，而藉由 VR 全尺度的空間瀏覽，能輔助學生更清楚的瞭解空間、材質與家具尺度的關係，節省製作模型與 3D 繪

製的時間，協助縮短在進入設計定案前的時間，並提升設計新手的空間感知與學習成效。

互動系統的介面規劃如圖 8 所示，視覺化的空間編輯器做為繪製或修正草圖空間與擺放家具，完成後就可上傳至雲端。系統的主要

操作分為以下步驟：(1)設計房間尺寸與機能，(2)設定家具內容，(3)確認 3D 模型，(4)改變 IP 位址，(5)上傳資料。

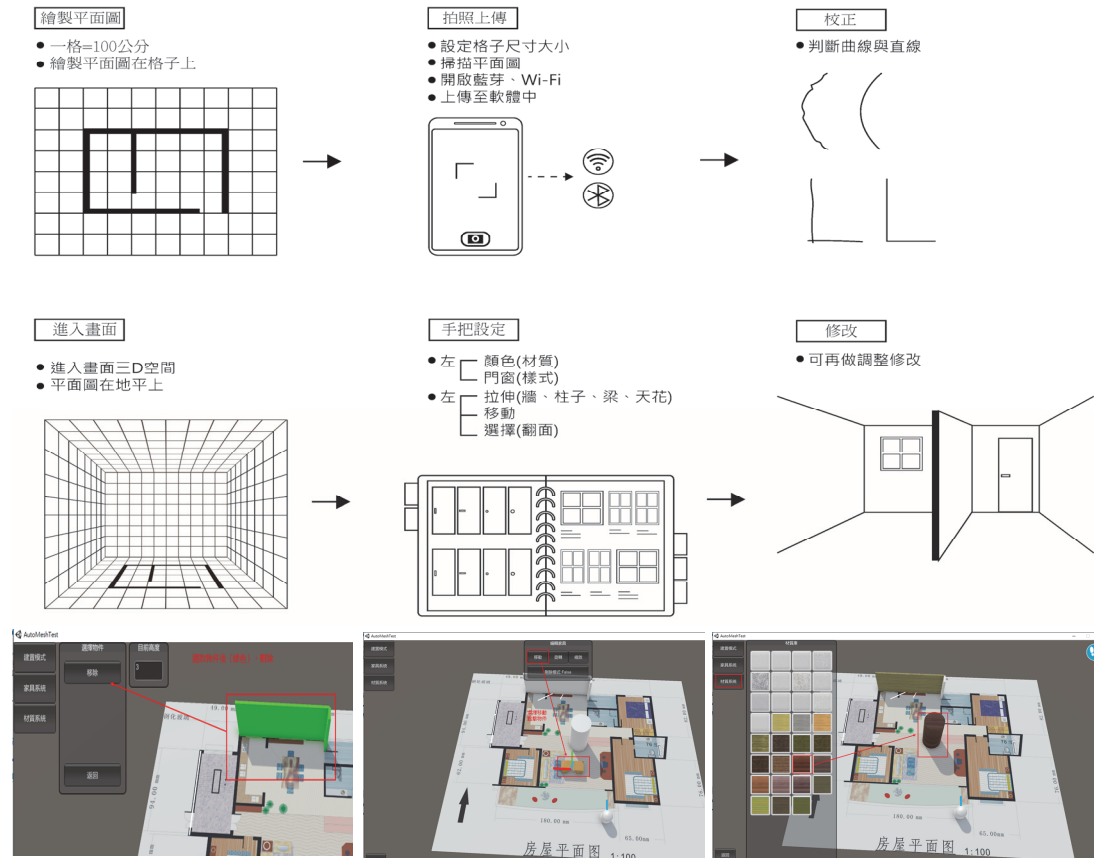


圖 6. 原型架構的概念圖及遊戲引擎設計 APP 測試(本研究整理)

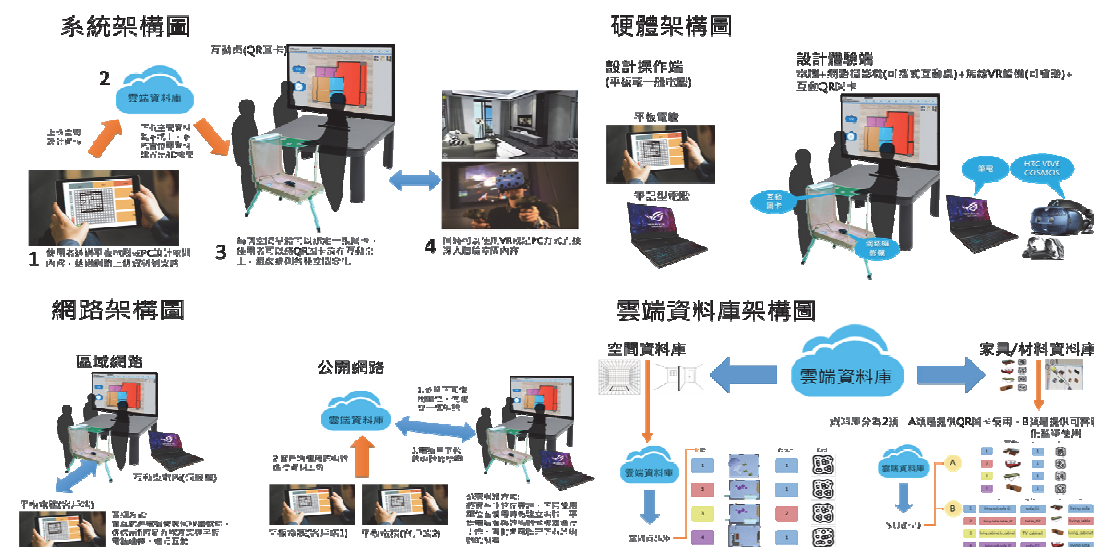


圖 7. VR 輔助設計系統架構圖(本研究整理)

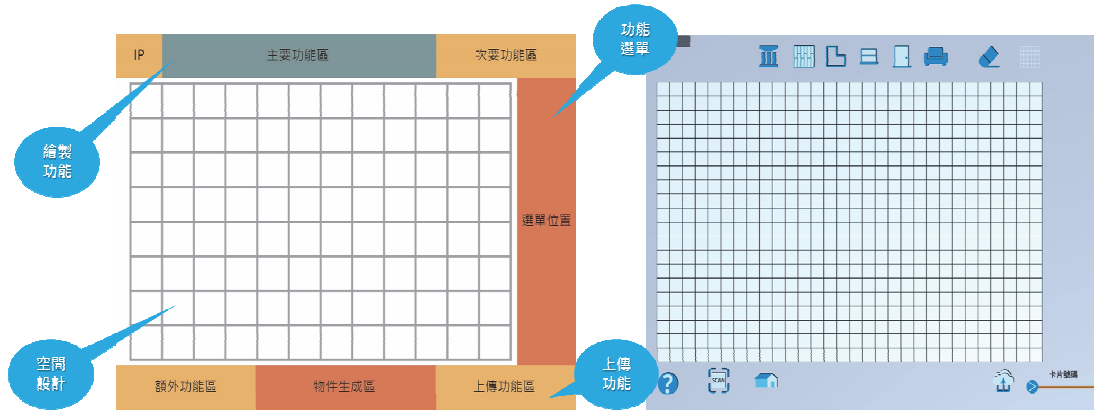


圖 8. 平板介面分區功能與視覺化編輯器畫面(本研究整理)

4.2 VR 輔助室內設計互動系統功能

VR 互動系統分成兩種硬體設備來操作：

(1). 平板或電腦，對該設備安裝設計好的視覺化編輯器，透過草圖拍照或直接在 APP 上繪製 2D 平面空間並加入家具與材質後可自動生成 3D 圖面資料，並進行設計編修，完成後可上傳至雲端資料庫。

(2). 第二是互動桌連接電腦端，會即時下載雲端上的資料，將房間資料轉化成 3D 模型空間，並透過房間 QRcode 編號與互動方塊做綁定，使用者只要拿著配對好的方塊圖卡，就可在互動桌上進行空間單元與物件的組合，電腦畫面可看到組合的 3D 空間結果，同時配戴 VR 顯示設備，可進行 VR 的空間互動體驗與編修。

APP 在軟體上分為平板載具、互動桌裝置、虛擬實境沉浸體驗 3 個面向，分別對應了平面繪圖、家具配置、空間體驗三個部分，各項硬體上的功能運用方式如下：

(1). 平板載具端：在整體操作上以平面圖繪製為主，並融入了 3D 瀏覽的功能。首先在繪製上依序從牆壁、柱子、地面、窗戶、門以及家具的順序來做操作；牆壁主要是透過使用者的手指在網格上拖曳來繪製；柱子、地面、門窗、家具則是在開啟選單後選擇要生成的家具並將其放置在目標地點，整體介面如下圖 9。在完成繪製後會，點選 3D 的功能來做空間的即時導覽觀看並了解整體空間，確認後透過上傳的功能將資料及圖面上傳至雲端如下圖 10。

(2). 互動桌裝置：主要的功能為家具的配置。透過與電腦連結後運用攝影機來做家具方塊 QRcode 的偵測，並立即顯示出對應的家具數位資料的模型，而在配置上的方式會透過移

動家具方塊來變更在空間中家具的位置，如下圖 11。

(3). 虛擬實境沉浸體驗：主要功能是進行 1:1 空間的沉浸式瀏覽體驗以及對家具、材質的編修，如下圖 12、13。

整體操作系統的功能包括空間編輯單元、雲端伺服器、互動桌、處理單元以及互動與虛擬實境介面。系統功能在於將空間草圖轉換為空間單元對應的 QRcode 圖卡，用以取代過去的空間設計實體模型，且透過互動及虛擬實境介面可即時顯示互動桌上之圖卡的空间配置，讓使用者穿戴虛擬實境裝置進入自己創造的場景中體驗。系統相關操作功能的詳細說明如下 5 點：

(1). 提供使用者藉由直接在空間編輯單元的編輯介面上，經由一編輯程式進行繪製及修正以形成該空間草圖；此外，該空間編輯單元更包括該掃描介面用以提供該外部空間圖的匯入。該空間編輯單元提供一個編輯介面方便使用者加入其個人想法及喜好於所要規劃的空間意象中，再者，利於後續的空間設置、調整、編輯、修正及規劃（圖 9）。

(2). 藉由該空間編輯單元與該雲端伺服器的連接，將上傳至該雲端伺服器的空間草圖轉換為空間單元，且於該室內配置資料庫中找與該空間單元個別對應的圖片資料以形成複數圖卡。如此，空間草圖以數位資料的格式存放於雲端伺服器，改變過去耗費多時以製作空間設計模型的型態（圖 10）。

(3). 藉由 QRcode 辨識圖卡的互動桌設備，提供一個空間內容重新配置的平台，用以設置、組合及排列各種空間變化等，該掃描器擷取該等圖卡且上傳至雲端伺服器。其中，藉由將空間草圖轉換為對應的空間單元，在形成對應的圖卡後，藉由自雲端伺服器下載圖卡且

印製，由圖卡的空間編輯意象取代過往的空間設計模型，使得空間的設計配置上增加可調整的彈性，以及增加個人化設計的豐富度（圖 11）。

(4).藉由該處理單元與雲端伺服器連接，該處理單元將圖片資料配置於一底模以形成一室內配置設計圖，利於後續使用者藉由互動及虛擬實境介面，進入並體驗自己創造的室內配置設計圖（圖 12）。

(5).藉由該互動及虛擬實境介面與處理單元的電腦連接，用於即時顯示該室內配置設計數位模型，以及提供使用者進入虛擬實境的一個介面（圖 13）。

VR 的互動操作與功能具有以下 3 特點：

(1).直覺性的操作：第一階段透過直覺 APP 介面操作，使用者可以清楚明確的建立空間配置與家具陳設規劃。

(2).即時空間體驗：當使用者結束第一階段的空間設計的繪圖與組合後，即可使用虛擬實境系統進行空間體驗，而且在 VR 體驗過程中也可以進行材質家具等替換即編修的功能，讓使用者自身的設計可以更完整。

(3).增進互動討論：藉由該系統的操作，能縮短學生與老師在討論設計上所耗費的大量時間，增進設計互動的參與可能性。

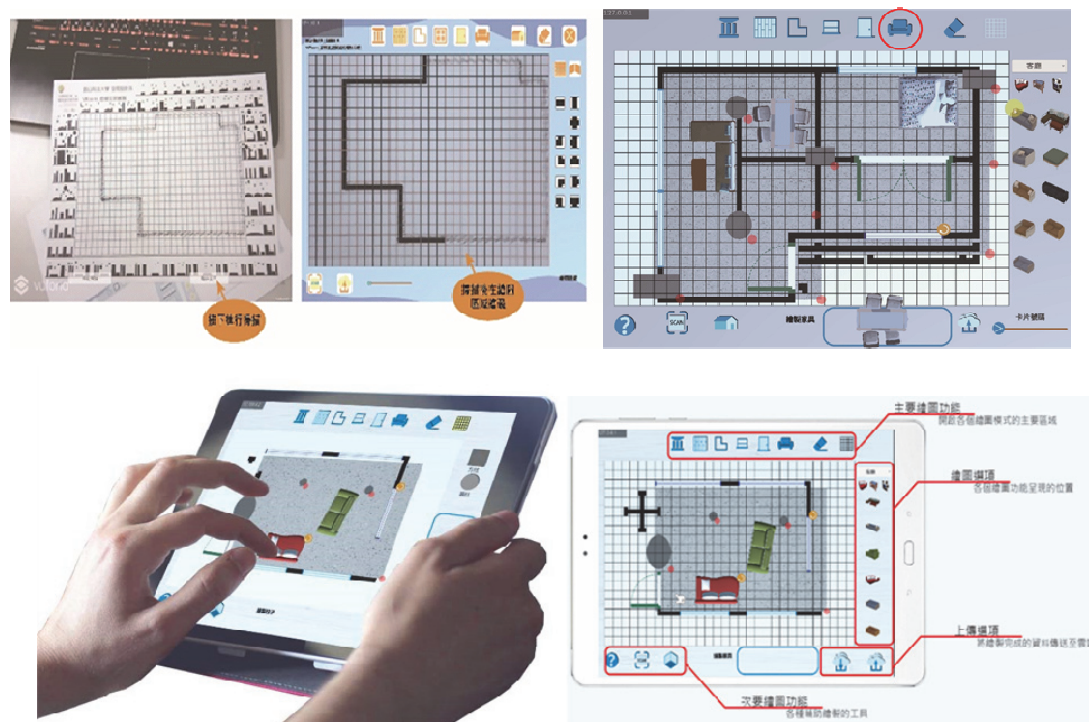


圖 9. 草圖掃描進入平板電腦描繪及進行家具規劃(本研究整理)

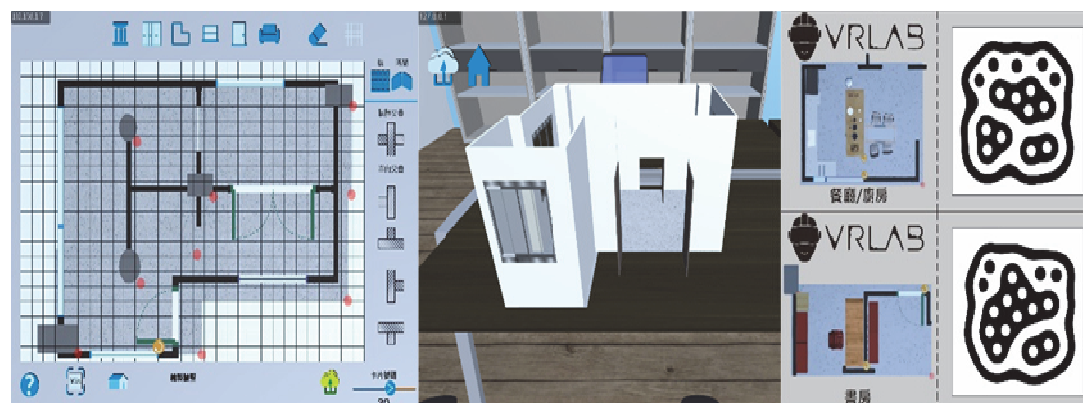


圖 10. 2D 空間資料編輯後自動生成 3D，在上傳雲端產生對應的 QR CORD(本研究整理)

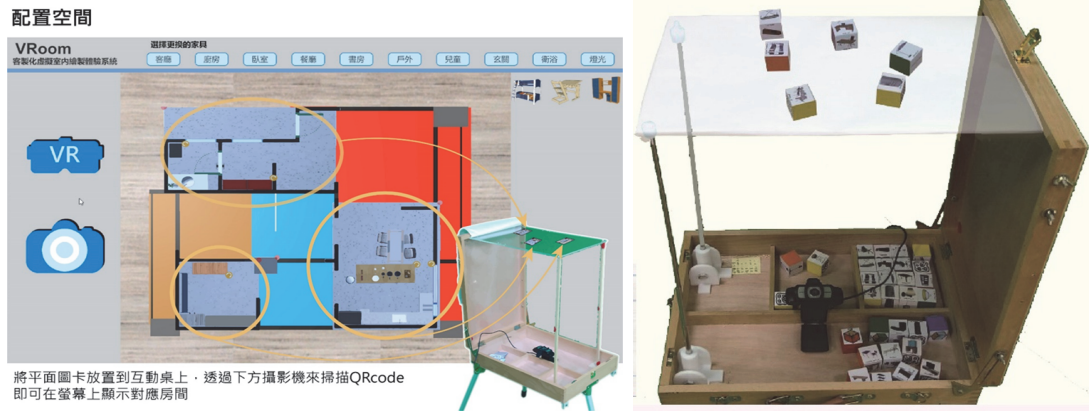


圖 11. 辨識圖卡的互動桌設備，可呼喚出對應的空間數位資料(本研究整理)

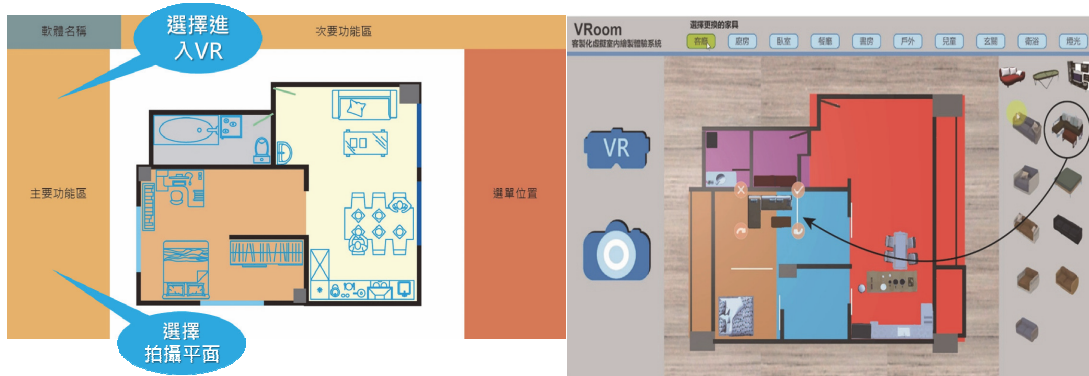


圖 12. 雲端資料庫的空間資料可再進行編修，並提供進入 VR 環境中觀看(本研究)



圖 13. 進入 VR 環境進行空間瀏覽、編修家具、材質、拍照與標註(本研究整理)

5 統計分析與結論

本研究利用 SPSS 進行獨立樣本 T 檢定分析，問卷對象共有 66 名空間設計相關背景學生，並分成新手與熟手兩組。本研究將分析統

計結果的平均值、顯著性 P 值、T 值及雙尾顯著性 P 值來進行分析說明。問卷四項構面的題目主要在瞭解 VR 互動系統應用於輔助設計學習的效益，以及在室內設計輔助教學的學習成效。本研究假設雙尾顯著性 P 值大於 0.05

時，表示高低年級的熟手受測者都認同题目的描述，反之則代表雙方在题目的認知上有所差異。

5.1 統計結果分析

本研究的問卷採李克特式五點量表(非常同意、同意、普通、不同意、非常不同意)，問卷結果 Cronbach's α 值為 0.977，每一個題目與其他題目加總後的總分相關係數，最低為 0.525，全部皆高於 0.3，且平均項目變異值為 0.497 小於 1。低項目變異顯示受試者對於题目的回答相對一致。項目及整體統計量如表 4。

表 4. 項目統計量

	平均值	下限	上限	範圍	上限/下限	變異	項目數
項目平均值	4.066	3.803	4.197	0.394	1.104	0.007	39
項目變異	0.497	0.315	0.714	0.399	2.267	0.008	39

資料來源：本研究整理

問卷透過 SPSS 來進行資料分析，採用獨立樣本 T 檢定中 P 值及雙尾 P 值的差異顯著性來分析新手與熟手間的差異。整體而言，在項目統計量的平均值為 4.066，顯示整體受測者對四項構面的問題是肯定的。以下將分別就各構面來進行分析(詳附錄一：項目與整體統計量表，附錄二：構面的獨立樣本檢定表)：

(1).在空間尺度構面上，項目統計量的平均值為 4.07 (高年級 3.99，低年級 4.15)，在 T 檢定中 P 值及雙尾 P 值顯著性並無差異存在，顯示受測的新手與熟手都認為透過 VR 互動系統可以有效提升使用者的空間感知。另外，透過項目統計量可以發現相較於高年級的熟手學生，低年級的新手學生更認為 VR 互動系統可以有效的協助熟悉空間尺度的訓練。

(2).在空間感知構面上，項目統計量的平均值為 4.05 (高年級 3.91，低年級 4.19)，在 T 檢定中 P 值及雙尾 P 值顯著性的分析，存在對 B2、B4 及 B14 題目上的差異(表 5、6、7)。另外，透過項目統計量，可以發現相較於高年級的熟手學生，低年級的新手學生更認為 VR 體驗可以有效的協助熟悉空間感知。統計分析

的差異說明如下三點：

(a).「在 VR 中移動增進對通透性及窗戶開口的掌握」的差異顯示(表 5)，對高年級學生的成效有限。高年級的熟手學生認為在 VR 中移動不容易熟悉空間的通透性，空間中開口的方向也不容易瞭解，透過平面圖與 3D 的對應更能掌握空間特性。低年級的新手學生則認為在 VR 中移動能輕鬆的掌控空間的開口並體會到空間通透性的問題，進而更快速熟悉空間不同的型態。

表 5. 在 VR 中移動增進通透性及窗戶開口的掌握(B2)

年級	平均值	顯著性 P 值	T 值	雙尾顯著性 P 值
高年級	3.66	0.007<0.05	-2.641	0.010<0.05
低年級	4.11			

資料來源：本研究整理

(b).「VRoom 能協助了解自身與空間相對位置的掌控」的差異顯示(表 6)，多數學生認為 VRoom 能協助學習在空間中掌握相對位置，透過 2D、3D、VR 的模式來提升學生的感知能力。在雙尾 P 值的顯著性差異，顯示高年級學生在設計學習的 3D 繪圖經驗上較為豐富，因此認為透過不同視角對於感知能力的提升效果有限。但低年級新手學生則認為透過瞭解在空間中的位置能有效理解空間的狀況，進而掌握空間中的問題。

表 6. 能協助了解自身與空間相對位置的掌控

年級	平均值	顯著性 P 值	T 值	雙尾顯著性 P 值
高年級	3.84	0.304>0.05	-2.758	0.005<0.05
低年級	4.32			

資料來源：本研究整理

(c).「VRoom 能協助增進對於空間的感受及設計問題的敏感性」的差異顯示(表 7)，受測學生皆認為能增進感知及對設計問題的敏感性。但從統計量來看高年級學生不像低年級新手學生的高度認同。低年級學生則高度認同透過 VR 的互動體驗能有效增進空間感受

以及對設計問題的敏感性。而雙尾 P 值的顯著性差異，顯示高年級學生的設計經驗與知識較豐，比較能判斷設計繪圖的空間感與設計應考量事項。

表 7. 能協助增進對於空間的感受及設計問題的敏感性(B14)

年級	平均值	顯著性 P 值	T 值	雙尾顯著性 P 值
高年級	3.89	0.862>0.05	-2.125	0.036<0.05
低年級	4.25			

資料來源：本研究整理

(3).在學習成效構面上，項目統計量的平均值為 4.12（高年級 4.02，低年級 4.22），在 T 檢定中 P 值及雙尾 P 值顯著性的分析，存在對 D2 題目上雙尾 P 值的顯著差異（表 9）。另外，透過項目統計量，可以發現受測學生都有高度認同，但相較於高年級熟手學生，低年級的新手學生更認為 VR 互動系統可以有效的協助熟悉空間感知。D2 題目差異說明如下：「VRoom 能增進了前期草圖繪製的效率」的差異顯示（表 8），透過 VRoom 進行草圖繪製的效益會被學生的經驗所影響。雙尾 P 值的顯著性差異，顯示高年級學生認為運用手繪的繪製速度還是較快，但如果需要快速修改圖面或大量繪製時，VRoom 就能進行有效提升繪製效益。而低年級學生則高度認同應用 VRoom 進行草圖繪製可以顯著提升繪製效益，讓學生能夠在短時間內嘗試不同類型的圖面。

表 8. 增進了前期草圖繪製的效率(D2)

年級	平均值	顯著性 P 值	T 值	雙尾顯著性 P 值
高年級	3.89	0.312>0.05	-2.177	0.026<0.05
低年級	4.29			

資料來源：本研究整理

(4).在科技輔助構面上，項目統計量的平均值為 4.12（高年級 4.00，低年級 4.23），在 T 檢定中 P 值及雙尾 P 值顯著性的分析，存在對 E1 題目上的差異（表 9）。另外，透過項目統計量，可以發現受測學生對整體構面都有

高度認同；但相較於高年級的熟手學生，低年級的新手學生更認為，VR 的互動科技能有效來輔助設計。在構面的 E1 題目差異說明如下：「VRoom 能協助增進平面繪圖的學習」的差異顯示，高年級熟手學生因為設計能力的經驗、數位工具與 PC 載具使用的熟悉，因此對本研究實作的 VR 互動系統透過平板載具來進行平面繪製的學習，這一項認同度相對較低；但低年級學生則相對認同高。原因在於本系統並非 2D 平面繪圖軟體且為了互動性以平板載具為主，做為低年級學生在草圖設計過程中快速轉換 2D 到 3D、VR 的數位輔助工具。

表 9. 協助增進平面繪圖的學習(E1)

年級	平均值	顯著性 P 值	T 值	雙尾顯著性 P 值
高年級	3.82	0.037<0.05	-2.429	0.018<0.05
低年級	4.25			

資料來源：本研究整理

5.2 結論

本研究導入應用 VR 的輔助室內設計互動系統，讓開始學習設計的新手能夠直接感受到設計中真實空間尺度與空間佈局之間的關聯，並直覺地對設計進行操作。研究希望能在設計流程的草圖階段結合直覺式的設計媒材輔助，來有效提高學生的設計學習興趣、設計效率以及空間尺度的感知學習。因此研究假設 2 點：(1) 虛擬實境輔助設計系統可以有效地提升空間初學者在空間尺度的感知訓練。(2) 運用虛擬實境媒體在空間設計的輔助教學模式可以提高學生學習效率。

研究為了驗證以上假設，根據對設計新手與熟手的問卷統計分析及總合平均值（表 10），有以下 7 點統計上的結論：

(1).新手與熟手對於構面「學習成效」與「科技輔助」，在統計平均值不論高、低年級皆大於 4 分。因此可以得知對於學生來說透過 VR 作為輔助設計學習的效率是相對被肯定的，尤其對低年級的新手學生，透過 VR 及平板的工具來做學習的輔助能夠有效地協助學習效率，進而提升學生學習的意願，這也驗證研究假設：運用虛擬實境媒體在空間設計的輔助教學方式有助於增進學生的學習效率。

(2).在 VR 能協助「空間尺度」構面的認

同度上，低年級與高年級並無顯著性差異存在；且低年級學生的同意度都高於高年級學

生，皆有達 4 分以上。另在能增進對於空間尺寸的正确認知、增進 2D 平面與 3 度空間的認

表 10. 構面與年級的統計平均值

構面/年級	空間 尺度	空間 感知	學習成效		科技輔助	
			設計學習	設計流程	載具應用	雲端資料庫
高年級	3.99	3.91	4.01	4.03	4.00	4.00
低年級	4.15	4.19	4.23	4.21	4.25	4.21
構面平均	4.07	4.05	4.12	4.12	4.13	4.11

資料來源：本研究整理

知轉換及增進物件在空間中規劃的掌握這三題上，兩者皆有 4 分以上的認同。顯見 VR 能提供新手設計初學的空間尺度學習。

(3).在 VR 能協助「空間感知」構面的認同度上，存有 3 題的顯著性差異；且低年級學生的同意度都高於高年級學生，除對 D6（VRoom 能透過材質、色彩的可變性增進對空間的感知）為 3.93 分外，其餘皆有達 4 分以上。顯見 VR 能提供新手的設計初學在空間感受學習之重要性。上述兩點驗證研究假設，虛擬實境輔助設計系統可以有效地提升空間設計初學者（新手）在空間尺度的感知訓練。

(4).針對四構面的認同度上，新手學生皆有 4 分以上，而熟手學生由於 2D、3D 繪圖、設計知識與經驗具有較長時間的訓練，因此在「空間尺度」與「空間感知」的總和平均值較低，且未達 4 分。但對於是「科技輔助」否能提升「學習成效」是相對有較高的認同。這驗證研究假設，運用虛擬實境媒體在空間設計的輔助教學模式可以提高學生學習效率。

(5).針對四構面的認同度上，新手學生皆有 4 分以上，顯見 VR 作為學習的互動系統能為設計初學提供較大的輔助功能。這驗證研究假設，虛擬實境輔助設計系統可以有效地提升空間初學者在空間尺度的感知訓練。

(6).在傳統的空間設計教學，高年級的課程會導入高階的數位教學進行設計操作與檢討。而研究也顯示在空間尺度與空間感知構面上，相較於低年級學生，高年級學生的平均值都相對較低，這反映數位能力與設計應用的操作讓高年級學生能掌握設計中的空間尺度與感知；而低年級學生強調手繪，因此在 VR 的輔助下這兩項構面的平均值是高於高年級。

(7).新手與熟手學生在 VR 中的體驗能增進對通透性及開口的掌握（B2），兩者存有顯著性差異。空間的通透性及空間中開口位置的

掌控有助於使用者了解空間，而在 VR 中的體驗可以有效的提升掌控能力，統計分析顯示 P 值小於 0.05，代表高、低年級間對此有不同的看法，分別是前者認為在此系統 VR 中的體驗與現實依舊有所差異，而後者則認為 VR 可以更便於理解立體化空間與平面的差異。這也顯示高、低年級在數位課程訓練的差別，高年級學生俱備 3D 空間渲染能力，對於 VR 在空間的真實性相對要求高。

空間與室內設計課程的教學是整合不同知識的專業學習，長期以來，設計教學過程的三階段為概念構想、設計發展及方案提報。而概念構想階段對於空間設計訓練，過程的重要性和影響都非常顯著。在此時做出正確的尺度比例選擇，將會使整個設計過程更加順利。本研究實作的虛擬實境輔助設計系統有其限制，主要作為低年級空間設計教學在草圖階段的輔助工具。在傳統的教學中，大一、大二階段強調手繪技巧，會運用較多的草圖與概念實體模型，而 VR 在設計草圖階段的介入，研究結果顯示是可以提升新手學生在空間尺度及感知的訓練。

在未來的研究議題方向，首先可針對在傳統的設計流程中，應在那階段導入 VR，能有效縮短設計時程。其次，在低年級圖學、色彩或材料等基礎課程中，如何應用 VR 開發輔助學習的工具。最後在後疫情時代如何發展 VR 的多人連線輔助教學平台，解決遠距共作在設計學習與互動討論的問題。

誌謝

本研究為科技部計畫 MOST-110-2637-H-168-001 及 MOST-111-2637-H-168 -001 之部份研究成果，特此銘謝對本研究之補助。

參考文獻

施文玲 (2007)。以學習理論為基礎的數位化

教學策略。生活科技教育月刊 40(2), 32-41。

【Shi W.L. (2007). Digital Teaching Strategies Based on Learning Theory Life Technology Education Monthly 40(2), 32-41. (in Chinese)】
DOI: 10.6232/LTE.2007.40(2).10

陳永賢 (2005)。互動式媒體藝術創作觀念之探討。藝術學報：表演類 (革新版), 77, 51-66。【Chen Yongxian. (2005). A Study of Creative Concept in Interactive Media Art. Art Journal: Performance (Renovation Edition), 77, 51-66. (in Chinese)】
DOI:10.6793/JNTCA.200510.0007

游萬來、楊敏英、廖珮玲 (2007)。大學工業設計系學生的學習態度調查。設計學報, 12(2), 15-36。【You W.L., Yang M.Y., & Liao P.L. (2007). Survey of Industrial Design Students' Learning Attitudes. Journal of Design, 12(2), 15-36. (in Chinese)】
DOI:10.6381/JD.200706.0015

Borsook, T. K., & Higginbotham-Wheat, N. (1991). Interactivity: What Is It and What Can It Do for Computer-Based Instruction? *Educational Technology*, 31(10), 11-17. Retrieved from <http://www.jstor.org/stable/44425695>

Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). Virtual reality technology. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 12(6), 663-664. DOI:10.1162/105474603322955950

Chien, S. F., & Flemming, U. (2002). Design space navigation in generative design systems. *Automation in Construction*, 11(1), 1-22. DOI: 10.1016/S0926-5805(00)00084-4

Van Elsas, P. A., & Vergeest, J. S. M. (1998). New functionality for computer aided conceptual design: the displacement feature. *Design studies*, 19(1), 81-102. DOI:10.1016/S0142-694X(97)00016-1

Gao, T. (2003). The effects of different levels of interaction on the achievement and motivational perceptions of college students in a web-based learning environment. *Journal of Interactive Learning Research*, 14(4), 367-386. Retrieved from <https://www.learntechlib.org/p/4062/>

Gross, M. D. (1996). The Electronic Cocktail napkin-a computational environment for working with design diagrams. *Design studies*, 17(1), 53-69. DOI:10.1016/0142-694X(95)00006-D

Juan, Y. K., Chi, H. Y., & Chen, H. H. (2021).

Virtual reality-based decision support model for interior design and decoration of an office building. *Engineering, Construction and Architectural Management*, 28(1), 229-245. DOI:10.1108/ECAM-03-2019-0138

Banaei, M., Ahmadi, A., Gramann, K., & Hatami, J. (2020). Emotional evaluation of architectural interior forms based on personality differences using virtual reality. *Frontiers of Architectural Research*, 9(1), 138-147. DOI:10.1016/j.foar.2019.07.005

Mystakidis, S. (2022). Metaverse. *Encyclopedia*, 2(1), 486-497. DOI:10.3390/encyclopedia2010031

Obeid, S., & Demirhan, H. (2023). The influence of virtual reality on design process creativity in basic design studios. *Interactive Learning Environments*, 31(4), 1841-1859. DOI:10.1080/10494820.2020.1858116

Orthel, B. D., & Day, J. K. (2016). Processing beyond drawing: A case study exploring ideation for teaching design. *SAGE*, 6(3). DOI:10.1177/2158244016663285

Purcell, A. T., & Gero, J. S. (1998). Drawings and the design process: A review of protocol studies in design and other disciplines and related research in cognitive psychology. *Design studies*, 19(4), 389-430. DOI:10.1016/S0142-694X(98)00015-5

Colreavy-Donnelly, S., Ryan, A., O'Connor S., Caraffini, F., Kuhn, S., & Hasshu, S. (2022). A Proposed VR Platform for Supporting Blended Learning Post COVID-19, *Education Sciences*, 12(7), 435. DOI:10.3390/educsci12070435

Verstijnen, I. M., Leeuwen, C. v., Goldschmidt, G., Hamel, R., & Hennessey, J. M. (1998). Sketching and creative discovery. *Design studies*, 19(4), 519-546. DOI: 10.1016/S0142-694X(98)00017-9

LI, Y., HUANG, J., TIAN, F., WANG, H. A., & DAI, G. Z. (2019). Gesture interaction in virtual reality. *Virtual Reality & Intelligent Hardware*, 1(1), 84-112. DOI: 10.3724/SP.J.2096-5796.2018.0006

Baecker, R. M. (2014). *Readings in Human-Computer Interaction: toward the year 2000*. Amsterdam: Elsevier Science. ISBN:0080515746.

Brusatin, M. (2020). Design Surrenders to Virtual Reality. In *Cultural, Theoretical, and*

Innovative Approaches to Contemporary Interior Design (pp. 308-314). IGI Global. DOI: 10.4018/978-1-7998-2823-5.ch014

Ching, F. D. K. (2023). *Architecture: Form, Space, and Order*. Hoboken, N.J.: John Wiley & Sons P&T. ISBN: 1119853370

Liu, Y. T. (2002). *Defining Digital Architecture: 2001 Far East International Digital Architectural Design Award Far Eastern International Digital Architectural Design Award*. Birkhäuser. ISBN: 3764368918

Norman, D. A. (1993). *Things that make us smart: Defending human attributes in the age of the machine*. Basic Books. ISBN: 9780201626957

Palumbo, M. L. (2000). *New Wombs: Electronic Bodies and Architectural Disorders*. birkhäuser. ISBN: 3-7643-6294-4

Zou, Z., & Tsai, S.C. (2022). *Exploration of Virtual Simulation Teaching Mode of Landscape Design with OBE Concept as Core in Post-pandemic Era*. Paper presented at the 2022 IEEE 5th Eurasian Conference on Educational Innovation (ECEI), 170-176. DOI: 10.1109/ECEI53102.2022.9829514

Bolshakova, Y., & Taratukhin, V. (2022). *Development of a Model of Design Thinking Hybrid Implementation in the Post-pandemic World*. Paper presented at the 2022 31st Conference of Open Innovations Association (FRUCT), 21-29. DOI : 10.23919/FRUCT54823.2022.9770898

Islamoglu, O. S., & Deger, K. O. (2015). The location of computer aided drawing and hand drawing on design and presentation in the interior design education. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 182, 607-612. DOI : 10.1016/j.sbspro.2015.04.792

Zhang, J., Piumsomboon, T., Dong, Z., Bai, X., Hoermann, S., & Lindeman, R. (2020). *Exploring Spatial Scale Perception in Immersive Virtual Reality for Risk Assessment in Interior Design*. In Proceedings of the extended abstracts of the 2020 CHI conference on human factors in computing systems. Honolulu, HI, USA: ACM. DOI: 10.1145/3334480.3382876

Liu, S., Lu, Y., & Zhang, H. (2021). *Application of Virtual Reality Technology in Architectural Interior Design*. In: Sugumaran, V., Xu, Z., Zhou, H. (eds) Application of Intelligent Systems in Multi-modal Information Analytics. MMIA 2021. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1384, 529-534. Cham: Springer. DOI:10.1007/978-3-030-74811-1_77

Makki, A., Farooq, M., & Alaskar, N. (2019). *The Design Process in Interior Design Studio: Integrating Interdisciplinary Approach in Undergraduate Level for Improving Professional Practice*. In: Chung, W., Shin, C. (eds) Advances in Interdisciplinary Practice in Industrial Design. AHFE 2018. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 790, 238-246. Cham: Springer. DOI:10.1007/978-3-319-94601-6_25

Sasada, T. (1999). *Computer graphic and design: presentation, design development, and conception*. Proceedings of the 4th Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA), 21-29. DOI: 10.52842/conf.caadria.1999.021

林庭羽 (2012)。初探參數化開口的空間感知 (碩士論文)。國立交通大學，新竹市。【Lin T.Y. (2012). *A Study of Parametric Opening for Space* (Master Thesis). National Chiao Tung University, Hsinchu City (in Chinese)】DOI: 10.6842/NCTU.2012.00829

附錄一、項目與整體統計量表

構面	題目	平均值	比例平均值(如果項目已刪除)	比例變異(如果項目已刪除)	更正後項目總計相關性	Cronbach's Alpha (如果項目已刪除)
空間	VRoom 能協助使用者正確區分不同物件的大小、尺寸	3.98	154.59	385.538	0.750	0.976
	VRoom 能增進對於空間尺寸的正確認知	4.12	154.45	385.329	0.678	0.977
	VRoom 能協助判斷空間中物件比例的正确性	4.00	154.58	384.617	0.671	0.977

間 尺 度	VRoom 能增進對於空間中距離感的掌握	3.97	154.61	383.596	0.669	0.977
	VRoom 能協助增進 2D 平面與 3 度空間的認知轉換	4.14	154.44	385.512	0.662	0.977
	2D 平面與 3 度空間的轉換增進對於尺寸的真實感受	4.05	154.53	382.253	0.747	0.976
	VRoom 能增進物件在空間中規劃的掌握	4.08	154.50	388.562	0.525	0.977
	VRoom 能透過不同形式的空間物件排列協助使用者提升對配置的知識	4.12	154.45	385.975	0.653	0.977
空 間 感 知	VRoom 能透過 2D、3D、VR 來增進使用者對空間規劃上尺度的掌握	4.06	154.52	385.177	0.675	0.977
	VRoom 能透過 2D 轉為 3D 的觀看增進了在 VR 中對方向性的掌控	4.06	154.52	385.792	0.759	0.976
	在 VR 中移動增進對通透性及窗戶開口的掌握	3.85	154.73	382.601	0.717	0.977
	VRoom 能增進對於空間中物件方位的掌握	4.02	154.56	386.189	0.723	0.977
	VRoom 能協助了解自身與空間相對位置的掌控	4.05	154.53	383.638	0.698	0.977
感 知	VRoom 在 VR 當中移動能增進對於深度、遠近、立體感及距離的判斷	3.95	154.62	379.931	0.785	0.976
	VRoom 能透過材質、色彩的可變性增進對空間的感知	3.80	154.77	381.348	0.670	0.977
	VRoom 能運用空間中物件的遠近來增進空間中所看見的透視感	4.05	154.53	383.422	0.752	0.976
	VRoom 能運用視角的變化來增進空間的沉浸感	4.08	154.50	382.531	0.718	0.976
	VRoom 能運用在 VR 中移動增進了空間的變化	4.12	154.45	382.929	0.859	0.976
學 習 成 效	VRoom 透過在 2D、3D 及 VR 中的景色變化來增進空間的感知	4.05	154.53	383.668	0.831	0.976
	VRoom 能增進對於空間配置相關知識的了解	4.15	154.42	382.740	0.783	0.976
	VRoom 透過 VR 能增進對空間理解的真實化	4.06	154.52	382.407	0.754	0.976
	VRoom 能增進對於 2D、3D 想像的真實化	4.14	154.44	384.496	0.700	0.977
	VRoom 能協助增進對於空間的感受及設計問題的敏感性	4.05	154.53	384.807	0.699	0.977
科 載 具 應 用 輔 助	VRoom 能協助縮短草圖想像轉化的時間	4.11	154.47	384.684	0.688	0.977
	VRoom 能協助快速擬定不同的設計方案	4.06	154.52	384.254	0.710	0.977
	VRoom 能協助縮短數位模型的製作	4.06	154.52	382.623	0.797	0.976
	VRoom 能協助建立草圖的 3D 模型	4.18	154.39	388.366	0.678	0.977
	VRoom 透過互動能增進使用者對於設計學習的興趣	4.08	154.50	380.377	0.733	0.976
習 成 效	VRoom 能增進了前期草圖繪製的效率	4.06	154.52	382.838	0.717	0.977
	VRoom 能增進空間設計知識的學習效益	4.09	154.48	383.177	0.730	0.976
	VRoom 能增進了圖面與空間轉化上的知識的學習效益	4.20	154.38	382.485	0.793	0.976
	VRoom 能透過材質、色彩的變化來提升學習空間感知的效益	4.05	154.53	383.607	0.678	0.977
	VRoom 能協助學生提升空間尺度在學習上的效益	4.06	154.52	380.315	0.806	0.976
科 載 具 應 用 輔 助	VRoom 能透過 VR 的空間變化來增進對於空間設計的學習樂趣	4.20	154.38	381.624	0.799	0.976
	VRoom 能協助增進平面繪圖的學習	4.00	154.58	384.433	0.622	0.977
	VRoom 能協助增進空間及家具配置方式的學習	4.17	154.41	386.307	0.639	0.977
	VRoom 能協助增進室內空間氛圍的學習	4.11	154.47	381.638	0.713	0.977
	VRoom 能協助增進空間尺度的掌握	4.15	154.42	387.848	0.725	0.977
助 端 資 料 庫	VRoom 透過資料庫能增進空間陳設的知識	4.09	154.48	386.654	0.727	0.976

資料來源：本研究整理

附錄二、構面的獨立樣本檢定表

構面	題目	變異數等式的 Levene 檢定		平均值等式的 t 檢定			
		F	顯著性	t	自由度	顯著性 (雙尾)	
A1	VRoom 能協助使用者正確區分不同物件的大小、尺寸	採用相等變異數	1.822	0.182	-1.808	64	0.075
		不採用相等變異數			-1.874	63.657	0.066
A2	VRoom 能增進對於空間尺寸的正確認知	採用相等變異數	0.014	0.906	-1.684	64	0.097
		不採用相等變異數			-1.777	63.807	0.080
A3	VRoom 能協助判斷空間中物件比例的正確性	採用相等變異數	1.474	0.229	-1.387	64	0.170
		不採用相等變異數			-1.451	63.994	0.152
A4	VRoom 能增進對於空間中距離感的掌握	採用相等變異數	0.126	0.723	-0.928	64	0.357
		不採用相等變異數			-0.943	61.463	0.349
A5	VRoom 能協助增進 2D 平面與 3 度空間的認知轉換	採用相等變異數	0.008	0.931	-0.418	64	0.677
		不採用相等變異數			-0.424	60.815	0.673
A6	2D 平面與 3 度空間的轉換增進對於尺寸的真实感受	採用相等變異數	0.090	0.765	-0.926	64	0.358
		不採用相等變異數			-0.936	60.338	0.353
A7	VRoom 能增進物件在空間中規劃的掌握	採用相等變異數	0.001	0.975	-0.982	64	0.330
		不採用相等變異數			-1.024	63.921	0.310
A8	VRoom 能透過不同形式的空間物件排列協助使用者提升對配置的知識	採用相等變異數	0.058	0.810	-0.217	64	0.829
		不採用相等變異數			-0.221	61.545	0.826
A9	VRoom 能透過 2D、3D、VR 來增進使用者對空間規劃上尺度的掌握	採用相等變異數	0.280	0.599	-0.461	64	0.646
		不採用相等變異數			-0.474	62.927	0.637
B1	VRoom 能透過 2D 轉為 3D 的觀看增進了在 VR 中對方向性的掌控	採用相等變異數	0.284	0.596	-0.948	64	0.347
		不採用相等變異數			-0.954	59.601	0.344
B2	在 VR 中移動增進對通透性及窗戶開口的掌握	採用相等變異數	7.655	0.007	-2.503	64	0.015
		不採用相等變異數			-2.641	63.833	0.010
B3	VRoom 能增進對於空間中物件方位的掌握	採用相等變異數	0.355	0.553	-1.873	64	0.066
		不採用相等變異數			-1.922	62.741	0.059
B4	VRoom 能協助了解自身與空間相對位置的掌控	採用相等變異數	1.074	0.304	-2.758	64	0.008
		不採用相等變異數			-2.911	63.817	0.005
B5	VRoom 在 VR 當中移動能增進對於深度、遠近、立體感及距離的判斷	採用相等變異數	1.116	0.295	-1.724	64	0.090
		不採用相等變異數			-1.758	61.894	0.084
B6	VRoom 能透過材質、色彩的可變性增進對空間的感知	採用相等變異數	0.072	0.790	-1.036	64	0.304
		不採用相等變異數			-1.018	54.303	0.313
B7	VRoom 能運用空間中物件的遠近來增進空間中所看見的透視感	採用相等變異數	3.173	0.080	-1.735	64	0.088
		不採用相等變異數			-1.852	62.822	0.069
B8	VRoom 能運用視角的變化來增進空間的沉浸感	採用相等變異數	2.329	0.132	-1.294	64	0.200
		不採用相等變異數			-1.275	55.053	0.208
B9	VRoom 能運用在 VR 中移動增進了空間的變化	採用相等變異數	0.135	0.714	-1.885	64	0.064
		不採用相等變異數			-1.945	63.328	0.056
B10	VRoom 透過在 2D、3D 及 VR 中的景色變化來增進空間的感知	採用相等變異數	1.385	0.244	-1.100	64	0.275
		不採用相等變異數			-1.084	55.053	0.283
B11	VRoom 能增進對於空間配置相關知識的了解	採用相等變異數	0.205	0.652	-1.003	64	0.320
		不採用相等變異數			-0.997	56.985	0.323
B12	VRoom 透過 VR 能增進對	採用相等變異數	0.016	0.898	-1.144	64	0.257

	空間理解的真實化	不採用相等變異數			-1.143	58.027	0.258
B13	VRoom 能增進對於 2D、3D 想像的真實化	採用相等變異數	1.480	0.228	-1.136	64	0.260
		不採用相等變異數			-1.112	53.485	0.271
B14	VRoom 能協助增進對於空間的感受及設計問題的敏感性	採用相等變異數	0.031	0.862	-2.125	64	0.037
		不採用相等變異數			-2.147	60.345	0.036
C1	VRoom 能協助縮短草圖想像轉化的時間	採用相等變異數	0.001	0.975	-1.809	64	0.075
		不採用相等變異數			-1.873	63.564	0.066
C2	VRoom 能協助快速擬定不同的設計方案	採用相等變異數	0.884	0.351	-1.550	64	0.126
		不採用相等變異數			-1.553	58.768	0.126
C3	VRoom 能協助縮短數位模型的製作	採用相等變異數	0.148	0.702	-1.220	64	0.227
		不採用相等變異數			-1.250	62.527	0.216
C4	VRoom 能協助建立草圖的 3D 模型	採用相等變異數	0.597	0.442	-0.819	64	0.416
		不採用相等變異數			-0.817	57.894	0.417
D1	VRoom 透過互動能增進使用者對於設計學習的興趣	採用相等變異數	0.120	0.730	-0.884	64	0.380
		不採用相等變異數			-0.895	60.791	0.374
D2	VRoom 能增進了前期草圖繪製的效率	採用相等變異數	1.037	0.312	-2.177	64	0.033
		不採用相等變異數			-2.272	63.963	0.026
D3	VRoom 能增進空間設計知識的學習效益	採用相等變異數	0.099	0.754	-0.850	64	0.398
		不採用相等變異數			-0.866	61.676	0.390
D4	VRoom 能增進了圖面與空間轉化上的知識的學習效益	採用相等變異數	0.001	0.975	-0.175	64	0.862
		不採用相等變異數			-0.175	58.602	0.861
D5	VRoom 能透過材質、色彩的變化來提升學習空間感知的效益	採用相等變異數	2.870	0.095	-1.581	64	0.119
		不採用相等變異數			-1.645	63.849	0.105
D6	VRoom 能協助學生提升空間尺度在學習上的效益	採用相等變異數	0.076	0.784	-0.771	64	0.444
		不採用相等變異數			-0.796	63.406	0.429
D7	VRoom 能透過 VR 的空間變化來增進對於空間設計的學習樂趣	採用相等變異數	0.770	0.384	-0.521	64	0.604
		不採用相等變異數			-0.533	62.497	0.596
E1	VRoom 能協助增進平面繪圖的學習	採用相等變異數	4.514	0.037	-2.294	64	0.025
		不採用相等變異數			-2.429	63.606	0.018
E2	VRoom 能協助增進空間及家具配置方式的學習	採用相等變異數	0.474	0.494	-1.203	64	0.233
		不採用相等變異數			-1.218	60.686	0.228
E3	VRoom 能協助增進室內空間氛圍的學習	採用相等變異數	0.007	0.936	-1.282	64	0.205
		不採用相等變異數			-1.317	62.919	0.193
E4	VRoom 能協助增進空間尺度的掌握	採用相等變異數	0.108	0.743	-0.777	64	0.440
		不採用相等變異數			-0.801	63.153	0.426
F1	VRoom 透過資料庫能增進空間陳設的知識	採用相等變異數	3.139	0.081	-1.444	64	0.154

資料來源：本研究整理

