

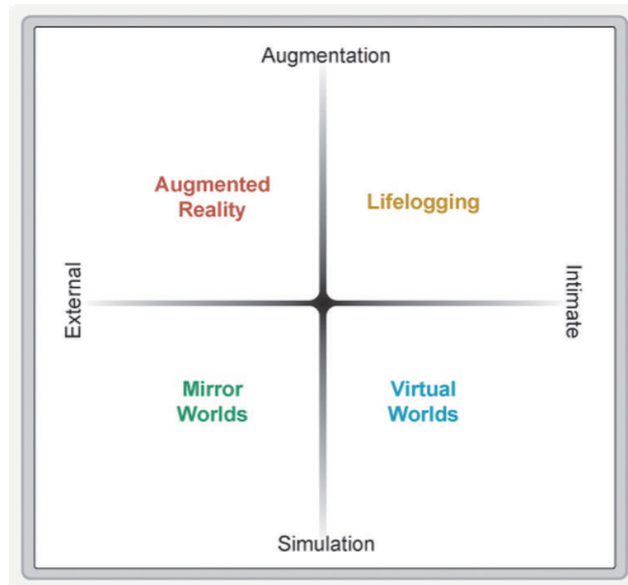
未來偶戲劇場：基於多螢互動之 沉浸式多人即時操偶系統

許峻誠、蘇嶧*

近年來元宇宙的議題成為新聞焦點，甚至臉書 (Facebook) 創辦人 Zuckerberg 在 2021 年 10 月宣布將公司改名為「Meta」，宣告著元宇宙的發展榮景。1992 年，小說家 Stephenson 出版作品《潰雪》(Snow Crash)，提出「元宇宙」(Metaverse) 一詞。在這部科幻小說中，元宇宙是一座虛擬的城市，沿著一條百米寬的街道發展，這條路則繞著一個無特徵的、黑色的、呈現完美球形的星球一圈，總共 65,536 公里長。使用者只要戴上虛擬實境的眼鏡，就可以進入這個虛擬城市，與其他使用者互動，甚至購買或開發這個虛擬世界中的土地 (Stephenson, 1992)。2007 年，加速研究基金會 (Acceleration Studies Foundation，簡稱 ASF) 提出「元宇宙藍圖」(Metaverse Roadmap) 計畫，認為元宇宙包括了在物理的現實世界中建構虛擬環境，以及在其中得以互動的物體、角色、介面和網絡等。該計畫將元宇宙簡述為「虛擬增強的物理現實」(virtually-enhanced physical reality) 和「物理持久的虛擬空間」(physically persistent virtual space) 的融合，兩者的融合即為元宇宙，允許使用者體驗其中任何一種 (Smart, Cascio, Paffendorf, Bridges, Hummel, Hursthouse, & Moss, 2007)。

在「元宇宙藍圖」中，ASF 以「從擴增 (augmentation) 到模擬 (simulation)」的技術作為橫軸，「從內在 (intimate) 到外在 (external)」的範圍作為縱軸，探討建構與運作元宇宙的相關因素。前者涉及到「內容和應用程式能透過電腦模擬將現實世界虛擬化或將擴增 (augmentation) 到什麼程度」，後者關係到「以使用者的認同感為中心，是屬於內部發生的個人領域，還是屬於與外部互動的領域」。依此，將元宇宙藍圖劃分四個象限，分別為：擴增實境、虛擬世界、生活紀錄、鏡像世界 (見圖一)，作為對元宇宙與虛擬實境技術之發展趨勢的預測基礎。

* 許峻誠，國立陽明交通大學應用藝術研究所教授；蘇嶧，國立陽明交通大學應用藝術研究所博士後研究員。



圖一：元宇宙藍圖（資料來源：<https://www.w3.org/2008/WebVideo/Annotations/wiki/images/1/19/MetaverseRoadmapOverview.pdf>, p.5）

如「元宇宙藍圖」所示，右下方象限為「虛擬世界」，由模擬技術與個人內在兩個虛擬實境技術因素所建構。在虛擬世界中，關鍵組成部分是使用者的「虛擬化身」(avatar)，即使用者在虛擬世界中的代理者。在 Second Life、Myspace 的案例中，已經可以觀察到，虛擬社交網絡的運作，以及在其中透過虛擬化身從事社交的可能性。隨著虛擬實境技術的發展，可以預見參與此類活動的人數將會增加。基於此，本研究團隊開發「基於多螢互動之沉浸式多人即時操偶系統」，將嘗試以虛擬實境技術結合戲偶操控的靈感，探討關於虛擬化身的操作設計需求。

在虛擬化身部分，我們選擇了具有臺灣文化象徵意義的布袋戲。一方面，考量到較長時間在虛擬實境中操控虛擬化身的情況，除了遙控器，應用布袋戲雙手操偶的形式，可帶來不同的樂趣。另一方面，以科技結合布袋戲操偶的研究，近年已出現如 VR 智慧布袋戲大師手套、通過虛擬實境網路的布袋戲雲劇場、PuppetTalk 物聯網操控布袋戲手套等（羅曉愉、劉琳、許峻誠，2022）。與這些系統有所不同，本研究團隊建構頭戴式顯示器（Head Mounted Display, HMD）所呈現的虛擬實境體驗，透過動作捕捉技術直接將裸手手勢軌跡轉化為虛擬化身的動作（如圖二、三）。保留傳統布袋戲的操偶概念，虛擬化身的形體與姿態變化主要由食指、中指與大拇指進行操作表現。這些操作手勢是蒐集、分析國寶級資深布袋戲操偶師的表演資料，從中擷取、設計可由資訊處理裝置

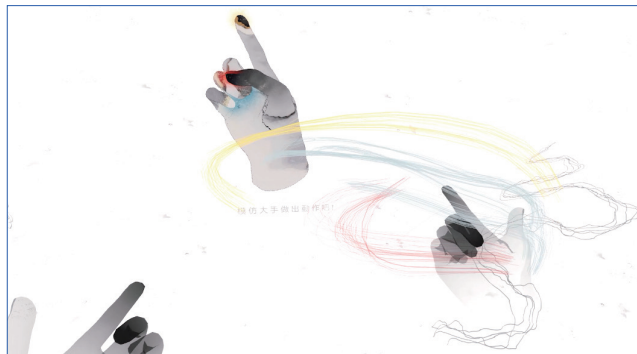
追蹤與反映的手部動作。在視覺效果方面，虛擬手與周邊背景的霧化處理，透過著色器 Shader Graph，將手的底部進行高透明度的融接 (Alpha Blend)，避免讓體驗者看到手掌與前臂交接處的完整切面，達到較為自然、較為直觀的虛擬手 (如圖四)。此外，以 Unity 的腳本設計功能，錄製資深布袋戲操偶師的手部動作環節，建構探索幕與學習幕，呈現老師傅的雙手動態，示範特定操偶手勢如翻身或後空翻。在虛擬實境的動畫影像方面，以手部的骨架點座標位置為基礎，製作可播放動態變化的關鍵幀 (Keyframe)¹，並記錄成動畫的方式予以運用。這能在短時間進行多種動態的嘗試，以便從中挑選合適的手勢動作。



圖二：戴上VR的HMD，使用者可使用裸手在虛擬環境中操作虛擬偶



圖三：戴上VR的HMD，使用者可在虛擬環境中看到自己以手勢操作虛擬偶的畫面



圖四：虛擬實境中，使用者的虛擬手的視覺效果

¹ Keyframe 亦稱為關鍵影格，是一格一格疊加之後可形成連續影像的動畫元素。

在此過程，至關重要的是，將使用者手部動作所輸入的資訊，映射至戲偶化身的骨架系統，達到即時隨著動作變化而改變模型外觀的相應輸出。這主要透過體感裝置 Kinect 捕捉手部所在位置，以此控制虛擬偶的位移。另外，透過 Unity Animation Rigging 提供的 Two Bone IK 綁定程序，將使用者的大拇指、食指、中指，分別綁定到虛擬偶的左手、右手、頭部，再偵測手指彎曲程度，達到操偶的基本效果。結合 Oculus Quest 2 的手部追蹤系統，將使用者的手與虛擬偶的關節即時綁定。特別的是，在觀察手指與戲偶如何連動的方式後，運用製作動畫的「反向運動學」(Inverse Kinematics)²，根據手勢的目標位置，反推出虛擬偶如何運動以達致該位置。可以發現，這種方法讓虛擬偶可操演出例如揮拳、拭淚等細緻的動作，表現出與實體操偶相符的狀況。

此外，為了實現多人同步的即時操偶系統，本研究團隊以 OculusQuest2 及智慧型手機進行嘗試。將智慧型手機內建的加速度計與陀螺儀數值，綁定在虛擬戲偶的三個旋轉軸向上，以旋轉手機的方式即可操控虛擬戲偶。我們的系統提供了五個經典的布袋戲角色：生、旦、淨、丑、雜，使用者透過手機掃描 QR 碼，選擇欲操控的虛擬戲偶。當虛擬戲偶已經有人使用時，其他使用者則進入排隊系統等待，避免體驗中的畫面出現重複的虛擬戲偶而混淆使用者。體驗開始後，使用者只需根據手機頁面上的教學提示，做出持拿手機的對應手勢以操控虛擬戲偶。為達到易用性的目的，在控制虛擬戲偶的動作方面，我們將傳統的操偶手勢進行簡化，為手機操偶系統設計了一套特定的手勢偵測機制。當使用者通過特定方式旋轉、揮舞或點擊手機，系統便會觸發相應的虛擬戲偶的動作變化動畫。例如，在選擇丑角後，左右搖擺手機會觸發虛擬戲偶的逃跑動作。

在多人同步即時操偶的系統中，我們還以不對稱式的互動設計概念，整合 VR 手勢操偶與手機操偶的同步體驗方式。最多可同時六人體驗，包含手機操偶五人，VR 手勢操偶一人。所謂不對稱式互動，主要指在同一個系統中，不同使用者透過不同的角色、能力、操作介面等進行互動。Harris 和 Hancock (2019) 曾以遊戲的概念，將對稱的協作遊戲（例如，玩家具有相同的介面、目標、機制等）與不對稱的協作遊戲（例如，玩家具有不同的角色、能力、介面等）進行比較。研究結果表明，不對稱性的協作遊戲可以提高玩家的聯結感、社交參與、沉浸感和遊戲控制的舒適度感知。另外，Grandi、Debarba 與 Maciel (2019) 將 VR-AR 不對稱協作與純 AR（純 VR）對稱協作進行對比，探討不對稱互動對表

² 布袋戲偶可看做是一個多連桿運動模型。如果以給定的關節點推算末端桿件在座標空間中的位置，稱為「順向運動學」(Forward Kinematics)。反之，若以末端桿件位置反推所需關節點的狀況，則為「反向運動學」。

現、社交互動和注意力的影響。研究結果發現，VR-AR 不對稱協作的表現比純 AR 對稱協作的表現要好得多。即使參與者之間存在可視化和互動不對稱的情況，協作的表現結果也很好。

為了提升不對稱式的手勢操偶與手機操偶的互動效果，基於投影式虛擬實境「洞穴自動虛擬環境」(Cave Automatic Virtual Environments, CAVE) 的概念，我們使用五台投影機打造沉浸式的虛擬環境，其中兩台負責投影地面，其餘三台分別對應正前方及左、右側牆面。主要建構過程是將 Unity 中的虛擬環境轉成立方體貼圖，並利用 OSC 通訊協議傳送至 MadMapper 軟體，進行畫面融接以實現立體的沉浸式空間(如圖五、六)。在無人操作時，此空間會呈現探索模



圖五：提升不對稱式的手勢操偶與手機操偶之互動效果的投影式虛擬實境



圖六：在投影式虛擬實境，多人同步即時操偶的實況

式，引導觀眾遊走在這個虛擬空間中。當有人使用操偶系統時，則轉為表演模式，虛擬戲偶會即時生成於舞台前方。於此，我們設計了視覺引導光束，顯示虛擬戲偶的連線及斷線狀態。為加強互動體驗，則設計了多人對打系統，只要虛擬戲偶兩兩相碰，即會觸發視覺特效與音效。使用者可以利用後空翻、漫步、逃跑等特定手勢，來進行攻擊或閃躲，進而提升參與者之間的互動性。

由於布袋戲的文化象徵層次，本研究團隊開發的「基於多螢互動之沉浸式多人即時操偶系統」具有將傳統技藝進行科技轉譯的面向。除此之外，多人同步的即時操偶系統、不對稱式的互動設計、多螢投影式虛擬實境等技術，則提供關於在虛擬世界中操控虛擬化身從事社交、娛樂、表演的設計應用想像。從傳統結合科技的角度來看，這件作品具有突破現階段數位典藏的潛力，以傳統技藝充實、開拓科技藝術的文化面向。以虛擬技術的未來發展趨勢來說，這件作品則完成了虛擬化身在虛擬世界中互動的設計基礎，手勢或手機的操偶形式既能提供樂趣又能考量實用。在科技與傳統之間的關係上，以及更為廣泛的人與科技應用之間的關係中，「基於多螢互動之沉浸式多人即時操偶系統」反映了豐富的未來可能性與價值。這件作品獲得「2024 未來科技獎」的肯定是本研究團隊所有成員的榮幸，要特別感謝國科會「科技藝術跨域融合與創新研究計畫」，以及相關單位與人士的支持，才能讓我們的研發創意得以實現與後續發展。

參考文獻

- 羅曉愉、劉琳、許峻誠 (2022)。〈應用於虛擬實境與擴增實境中的虛擬布袋戲偶設計研究〉，發表於 2022 中華民國設計學會國際研討會，臺灣。
- Grandi, J. G., Debarba, H. G., & Maciel, A. (2019, March). Characterizing asymmetric collaborative interactions in virtual and augmented realities. In 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR) (pp. 127-135). IEEE.
- Harris, J., & Hancock, M. (2019, May). To asymmetry and beyond! Improving social connectedness by increasing designed interdependence in cooperative play. In Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems (pp. 1-12).
- Stephenson, N. (1992). *Snow Crash*. Bantam Books.
- Smart, J., Cascio, J., Paffendorf, J., Bridges, C., Hummel, J., Hursthouse, J., & Moss, R. (2007). *Metaverse Roadmap*. Acceleration Studies Foundation. <https://www.w3.org/2008/WebVideo/Annotations/wiki/images/1/19/MetaverseRoadmapOverview.pdf>
- Yen, W. C., Lui, J. K., Luo, H. Y., Han, P. H., & Hsu, C. C. (2023). Theater of Future Puppetry: An Immersive Puppeteering Experience Based on Hands Tracking and Gestures Recognition. Proceedings of the SIGGRAPH Asia 2024. XR, ACM. Tokyo, Japan.