

穿戴式虛擬實境互動感官回饋之 設計與應用

侯易佑* 王毓汝**

摘要

現今網路購物模式僅能以 2D 圖片的方式查看衣服樣式，使用者在挑選服飾過程中無法滿足實際觸摸的需求，但是人們在擇衣上仍然偏好於透過觸摸衣物，了解實際服飾的觸感與質量後才進行選擇。因此，本研究將透過虛擬實境體驗試圖提供不同的方式，並利用虛擬實境系統的沉浸感來改善實際選擇衣服時所發生的上述情況。

在系統內將以 Blender 建模軟體來建置不同款式的 3D 虛擬服飾，使用者可以直接點選衣物款式進行 3D 模式的體驗，並連接 Arduino Pro Mini 微控制器開發板，透過壓力感測器來偵測使用者的按壓程度，回傳相對數值於系統，並產生不同程度的服飾皺褶形變，再加入觸覺手套的部分讓使用者在體驗過程中有感官回饋的感受，使用者在虛擬環境上即可體驗如同實際觸摸般，為選購衣物帶來不一樣的消費體驗。最後以實驗的方式來評估整體系統，透過系統易用性分析(SUS)及使用者互動滿意度分析(QUIS)製作問卷並分析，結果顯示使用者對於本系統大致呈現滿意的表現。

關鍵詞：系統易用性分析(SUS)、使用者互動滿意度分析(QUIS)、虛擬實境、感官回饋、3D 建模

投稿日期：2019/09/06；接受日期：2019/11/29

* 國立高雄科技大學智慧商務系副教授

** 國立高雄科技大學智慧商務系研究生

Design and Application of Wearable Virtual Reality and Interactive Sensory Feedback

Yi-you Hou^{*} Yu-ru Wang^{**}

Abstract

Today's online shopping can only view clothes in 2D mode. Users can't meet the needs of actual touch in the selection process. But people still love to touch clothes, understand the feel and quality of clothing, and then make choices. Therefore, this study will provide different ways through the virtual reality experience. And the use of immersive virtual reality system to improve what happens when the actual choice of clothes.

The system is built with Blender in different styles of 3D clothes, users can choose clothes and experience 3D mode. And connect Arduino Pro Mini development board. Through the pressure sensor to detect the level of pressure, return to relative value to the system. And produce different levels of changes in clothing wrinkle. Then add the touch gloves, let users experience sensory feedback in the process. Users can experience the feeling of actual touch in the virtual environment. It brings a different consumer experience to purchase clothes. Finally, use experiment to evaluate the entire system. Through the System Usability Scale (SUS) and Questionnaire for User Interface Satisfaction (QUIS) make a questionnaire and do the analysis. The results show that users are generally satisfied with the system.

Keyword: Questionnaire for User Interface Satisfaction (QUIS) 、Sensory Feedback 、System Usability Scale (SUS) 、Virtual Reality 、3D Modeling.

Submitted: 2019/09/06 ; **Accepted:** 2019/11/29

^{*} Associate Professor, Department of Intelligent Commerce, National Kaohsiung University of Science and Technology

^{**} Graduate Student, Department of Intelligent Commerce, National Kaohsiung University of Science and Technology

壹、緒論

一、研究動機

隨著科技業的進步，虛擬技術也日漸成熟，涉略的領域也越來越廣，帶動新的趨勢-虛擬實境(VR)。(資策會產業情報研究所，2016)提出 2017 年通訊科技產業將邁向十大發展趨勢，其中虛擬實境也包含在內，跨界的合作並產生新產品、新商機，為科技上邁向更多元化發展。

而早期的虛擬實境(VR)技術大多應用於遊戲居多，因此遊戲娛樂產業是虛擬實境最先成熟的市場，近期慢慢推展到工業設計、教育、醫療保健等，而後來開始拓展到日常生活中的食衣住行，像是日本藝術公司 Naked 利用虛擬實境技術，建造一間既可享受美食，又能享受視覺衝擊體驗，打造不一樣的用餐形式，另外現今有許多飯店網站都有提供 3D 虛擬環景功能，提供旅客能預先查看屋況，又或者是 Google 公司提出的 Tour Creator 這項服務，可在基本的街景地圖中製作一個屬於自己的虛擬實境導覽，帶給人們更便利的生活。

根據上述內容陳述，本研究欲將虛擬實境技術應用於虛擬服飾上，將傳統僅以 2D 圖片的方式查看服飾的模式，利用虛擬實境技術打造 3D 影像的呈現方式，讓使用者能更清楚的觀看服飾細節，過去文獻或作品中，雖然有相關的研究已被提出或進行討論，但在以往的研究較著重於視覺化設計，而本研究認為僅是視覺化的呈現還未能達到真實感，需要有更擬真的動畫輔助或者其他技術的結合，因此本論文將虛擬實境技術結合感官回饋功能應用於虛擬服飾上，在虛擬體驗過程中加入觸覺的感官回饋，為選購衣物帶來更真實的體驗與更多元的發展。

二、研究目的

本研究開發一套穿戴式虛擬實境互動感官回饋之設計，以達到以下幾項目的：

1. 研究 3D 服飾建置的呈現之效果。
2. 研究感官回饋之設計。
3. 探討虛擬實境中結合感官回饋之設計。
4. 探討使用者滿意度與未來改善目標。

貳、文獻回顧

一、虛擬實境

虛擬實境(Virtual Reality，簡稱 VR)，利用電腦計算技術加上專用的硬體及軟體模擬出三維的虛擬空間，讓使用者透過視覺感官沉浸於虛擬環境中，並能與其互動，體驗到彷彿深入其境的感受。

在以往研究中也有許多學者對虛擬實境的定義與認知，以技術面定義的包含：(Zhao, 2002)定義虛擬實境是一個封閉式的電腦系統，其包含虛擬環境、物理環境、軟體及硬體介面，允許人與電腦之間進行互動。(Gigante, 1993)提出虛擬實境依賴於三維空間、頭部追蹤顯示、手/身

體追蹤器和聽覺接收，是一種提供參與性與互動性的多感官體驗技術。

而以使用經驗層面定義的為：(Burdea & Coiffet, 1994)提出虛擬實境的達成需要三大要素(3I)：想像力(Imagination)、互動性(Interaction)、沉浸性(Immersion)，以人類的感官能力接收到刺激，藉此發揮想像力，再透過虛擬環境中會根據使用者動作而產生不同行為，將系統與人之間聯繫並有互動性，最終帶給使用者有身歷其境的感受，沉浸於虛擬世界，如圖 1 所示。(Sherman & Craig, 2003)指出虛擬實境體驗應包含四項關鍵要素，分別為虛擬環境、沉浸式、感官回饋和互動。綜合以上論述，(簡伯威, 2016)提及虛擬實境不但是一種概念，也是一項體驗，同時更是一個技術，使用者能透過電腦所仿擬出的虛擬環境，並藉由特定裝置來增強使用體驗，讓整體過程有更真實的感受。

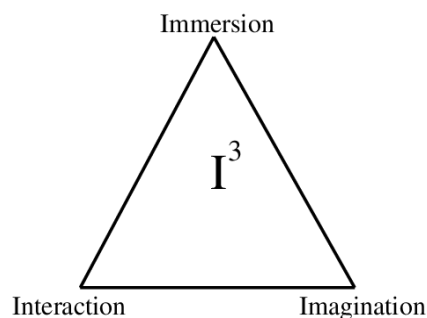


圖 1 虛擬實境三大要素(Burdea & Coiffet, 1994)

(Costello, 1997)將虛擬實境分為三類型，非沉浸式系統(Non-Immersive (Desktop) Systems)、半沉浸式投影系統(Semi-Immersive Projection Systems)、完全沉浸式頭戴式顯示系統(Fully Immersive Head-Mounted Display Systems)，如表 1 所示。

1. 非沉浸式系統(Non-Immersive (Desktop))

利用傳統的鍵盤、滑鼠等設備進行互動，在電腦或螢幕上呈現虛擬環境，此類型的虛擬實境耗費成本相當低，同時沉浸感也相對薄弱。

2. 半沉浸式投影系統(Semi-Immersive Projection Systems)

以投影幕、大型屏幕等範圍較大的投影設備來呈現，能處理更高效能的圖形計算，提供比非沉浸式系統更強烈的沉浸式體驗。

3. 完全沉浸式頭戴式顯示系統(Fully Immersive Head-Mounted Display Systems)

為沉浸度最高的類型，需要使用頭戴式裝置(HMD)來進行互動，提供 360 度的環景功能，使用上大幅提高真實性與互動性，然而此類型系統成本較高，且頭戴式裝置(HMD)的尺寸和重量皆可能影響使用者體驗。

表 1 各類型虛擬實境系統的性能比較表(Costello, 1997)

Main Features	Qualitative Performance		
	Non-Immersive VR (Desktop)	Semi-Immersive VR (Projection)	Full Immersive VR (Head-coupled)
Resolution	High	High	Low - Medium
Scale (perception)	Low	Medium - High	High
Sense of situational awareness (navigation skills)	Low	Medium	High
Field of regard	Low	Medium	High
Lag	Low	Low	Medium-High
Sense of immersion	None-low	Medium-High	Medium-High

虛擬實境技術蓬勃發展，其所應用的領域也甚廣，最常見的想必為多媒體應用，(Guo & Quarles, 2012)運用 Kinect 做為追蹤系統，開發了兩種不同鍛鍊介面的賽車遊戲，得以觀察使用者的生理與行為變化。(Graaf, 2016；Jang & Ryu, 2009；Oh & Whangbo, 2017)探索遊戲玩家在虛擬世界中可以透過各種社交體驗，來模擬現實生活中的組織體驗，提升學習和發展領導能力，亦可進行相關的社會問題研究，例如恐慌症等。(Herbst, Braun, Mccall & Broll, 2008)提出一種在空間與時間維度上探索城市歷史，透過虛擬實境技術增強空間、物理、社會、時間的存在，是一種寓教於樂遊戲。(Quarles, 2015)展示了一個水下的 VR 遊戲，玩家在真實的水下環境戴上頭戴式裝置，透過遊戲擊退虛擬大白鯊，也能藉此體驗改善關節活動性。

而在其他領域上，虛擬實境也有極大的貢獻，在觀光業與運動方面，(吳世光、陳建和，2002；Singthongchai, Naenudorn, Kittidachanupap, Khopolklang & Niwattanakul, 2012)將虛擬實境的技術運用在虛擬旅遊(Virtual Tour)中，可以在虛擬世界中向遊客重點提示，亦可作為遊客行前資訊的參考。(Tsungwu & Lee, 2017)透過 VR 體驗引入台灣黑暗旅遊，配合 GoPro 全景相機與 Kolor Autopano Giga、Panotour Pro 軟體，讓旅客能沉浸於被選為黑暗旅遊的目的地，像是 228 紀念館等。(Pagé, Bernier & Trempe, 2019)利用虛擬實境技術，讓運動員體驗籃球比賽的影片，並得以評估決策。

在醫療與教育方面，(Ji, Wang, Gao & Liu, 2016)以虛擬手術導航系統為例應用於虛擬遠程醫療，系統可跨平台使用，滿足遠程醫療與即時通訊的需求。(Baheti, Seshadri, Kumar, Srimathveeravalli, Kesavadas & Guru, 2008；謝旻儕、林語瑄，2017；Rajeswaran, Hung, Kesavadas, Vozenilek & Kumar, 2018)提出 VR 應用於醫療護理教學訓練、手術模擬、神經復健、心理治療、遠距醫療等，改善傳統醫療護理的不便利性，同時降低醫護教學成本，並增加臨床工作之執行效率；(Daniela & Lytras, 2019)提出透過觸覺體驗結合遊戲化的思想，讓學習有更多樣化體驗，也為教學過程帶來新的挑戰。

在國防安全方面，(Wei, Zhou & Nahavandi, 2018)提出一新型的槍支射擊訓練模擬系統，利用虛擬實境技術達到身臨其境的體驗，且能重複進行測試，不會產生任何危險性。

在文化發展方面，(Ni & Gao, 2015)利用 3DMAX 建模軟體來呈現 3D 場景，並加入 OpenGL 渲染技術，建造一虛擬中國殿堂，讓遊客能輕鬆探索中國文化。(Jinho, Muhammad, Kim & Lee,

2015)利用 3D 掃描工具來重建韓國著名遺址，在虛擬環境中顯示重建環境，增強文化遺址體驗的樂趣。(楊智晶、張華城、楊政達、黃文德、呂姿玲、莊惠茹，2017)將書本內容轉換為視覺化的 VR 場景，讓讀者體驗古代文學作品描述的情境，增加閱讀的樂趣。(Puig, Rodriguez Santiago, Arcos, Rodríguez-Aguilar, Cebrián, Bogdanovych, Morera, Palomo & Piqué, 2019)在巡迴考古展覽中加入虛擬實境技術，讓遊客能更深入其境於新石器時代的世界裡。

在服務業方面，(Xin & Yingying, 2010)利用虛擬實境技術創建一個可根據個人喜好，進行虛擬體驗的購買與評價，滿足產品客製化的需求。(謝淑玲、邱淑芬、王曉玫，2016)將電子商務平台加入 3D 虛擬實境，從任何空間角度位置觀看場地，更有身歷其境的感覺。(楊漾、姚杭飛、楊琛、許淑華，2014)設計一套虛擬家具購物系統，展示系統裡家具的 3D 模型，讓顧客享受有如實際購物樂趣。(張玉斌、沈陽、劉浩、趙宇，2018)設計一虛擬購物中心，顧客帶上 VR 設備後，即可享受逛街樂趣。(Lau & Lee, 2018)研究透過 StereoVR 的應用，可以增強消費者享受購物樂趣，為服務零售業創造更大的貢獻。

二、虛擬服飾店

而在虛擬服飾店的相關研究也甚多，像是(王洪泊、黃翔、曾廣平、涂序彥，2009)開發智慧三维虛擬試衣模特兒仿真系統，讓虛擬模特兒代替消費者進行試穿，並建立了服裝搭配合適度的智慧評價系統。(Sun, Mirhosseini, Gutenko, Park, Papadopoulos, Laha & Kaufman, 2015)將虛擬購物擴展到沉浸式的虛擬實境平台中，進行人體角色建模並進行虛擬購物，進而探討買家滿意度。(李嬌、郭瑞良、魏丹，2017)提出衣服材質的處理在虛擬服飾呈現上相當重要，包含紋理、配色、物理屬性，皆可以模擬出更加真實的圖像。(Li, Zou, Xu, Li & Li, 2011；張伊凡，2017)設計一虛擬試衣間，主要研究人物建模、更換服裝及舞台走秀，打造更真實的試衣技術。(繆菁菁、吳子朝，2018)開發一虛擬換裝系統，提供不同場景與不同燈源，供使用者參考在不同環境下的服裝效果。(陳建雄、陳盈秀、汪文政，2008)提出使用者對於虛擬試衣間整體介面需求，首要具備條件為「3D 影像展示商品」，能表現出實體商品的真實形態。其次是「具有互動性的操作介面」，能賦予使用者更高的控制權，並增加搭配服裝時的自主性。

三、感官回饋

人的感官主要是感受外在事物的刺激，其中包括眼、耳、鼻、舌、身，所引發的感覺分別為視覺、聽覺、嗅覺、味覺及觸覺，藉由不同的感官系統會讓人有不同的體驗，(李潤容，2017)提出虛擬實境是透過不同的感官體驗讓使用者認為虛擬物件是真實存在的，(Zhang & Fernando, 2003)提及視覺感官以頭戴式顯示器呈現虛擬畫面，由於螢幕距離使用者很近，可提供 360 度環景功能；聽覺感官以耳機傳遞，將虛擬世界的聲音傳遞至使用者；觸覺感官則可透過穿戴式配備協助，像是手套、衣服或是遙控手把等，模擬有如實際觸摸物體時的拉力程度、震動頻率等功能。將聲音匯集到 3D 虛擬環境中，在執行任務時會根據視覺畫面的變化，也會播放相對應的聲音，將視覺與聽覺的感官回饋整合達到相輔相成的效能。(Dang, Perrot & Mestre, 2011)在虛擬空間內模擬打棒球的狀態，利用 HTC VIVE 手把提供的觸覺回饋，在虛擬球棒與球之間的碰

撞進行震動，可以增強真實性與體驗的品質。(Scheibe, Moehring & Froehlich, 2007)自製一個以形狀記憶合金(SMA)為基礎的手指追蹤系統，來輔助虛擬駕駛中，觸覺的回饋可以幫助使用者在虛擬空間裡，有更顯著的互動體驗。(Yem, Vu, Kon & Kajimoto, 2018)利用電流的強度自造一可穿戴式指尖設備，透過改變電流大小與虛擬物件的變形程度，讓使用者感受到虛擬物件不同等級的軟硬度表現。(Guinan, Montandon, Doxon & Provancher, 2014)開發一個具滑動性的伸縮手柄，模擬出力矩的強弱程度，可應用於彈弓、劍與盾、射擊及釣魚等變形的狀態，體驗虛擬物件伸展的形變。再者，Bizrate Insights 公司在 2018 年針對網路消費者對於線上及線下偏好購買的報告指出，消費者在購買服飾商品時，會藉由線上找尋相關資訊，但是人們在決定購買上仍然偏好於透過觸摸衣物，了解實際服飾的觸感與品質後才進行選擇。

四、SUS&QUIS

系統易用性量表(System Usability Scale，簡稱 SUS)是由(Brooke, 1996)所提出，用來了解整體產品介面、電腦應用程式及網站介面的易用性，並可與以往產品或競爭產品做比較，(陳萱恩，2016)利用 SUS 分析所開發的視障者導航 APP，來了解使用者在使用 APP 過程中的感受，進而加強需要補強的面向；(戴鵬醇，2016)使用實體控制器作為虛擬介面的操作手勢，並找尋受測者進行實驗，再透過 SUS 量表來比較介面的優使性。

使用者互動滿意度量表(Questionnaire for User Interaction Satisfaction，簡稱 QUIS)是由(Chin, Diehl & Norman, 1988)美國馬里蘭大學人電腦互動實驗室(Human-Computer Interaction Lab)提出，用於收集統計資料與使用者滿意度調查，(陳靖怡，2017)利用 QUIS 量表來探討使用者對於穿戴式智慧型手錶表的使用滿意度，將分析結果彙並利於整日後研究；(劉競云，2019)開發以擴增實境技術應用於遊戲化互動英語口說 APP，並利用 QUIS 量表收集資訊，以提供學術界未來開發。

根據上述論述，以往在虛擬服飾的研究上較著重在視覺的呈現，像是衣服的渲染、場景的變化、系統介面的互動性等，但是在視覺呈現上可能又不夠擬真，而在文獻回顧中可以得知感官的回饋能增添虛擬實境的真實性，透過視覺、聽覺、觸覺、嗅覺與味覺，能讓使用者更沉浸於體驗過程，其中在觸覺感官應用於虛擬實境中，以往研究利用 HTC Vive 手把、手指追蹤系統、穿戴式指尖設備及伸縮手柄等，因此本研究欲突破虛擬實境技術在視覺上呈現，透過於系統內加入感官回饋之功能，製作以指尖為設計的觸覺手套，能讓使用者同時能體驗視覺與觸覺的享受，讓體驗過程中更加真實與豐富。

參、研究設計與方法

一、硬體架構

(一) HTC VIVE

本研究主要使用 HTC VIVE 作為頭戴式顯示器，提供高畫質的影像輸出與立體音效，整體

的頭套大小皆可調整，眼睛的焦距也能做設定，提供近視的使用者方便進行體驗，而 VIVE 控制器給予使用者直接性的操作模式與手勢偵測，並提供觸覺回饋的感受讓體驗品質大幅提升，整個 VIVE 設備擁有 360 度追蹤定位，加上提供無線同步的技術，在使用過程中簡便許多，表 2 為 HTC VIVE 的詳細規格說明。

表 2 HTC VIVE 規格表(VIVE 台灣官方網站)

VIVE 頭戴式顯示器	
VIVE 頭戴式顯示器規格 螢幕：直徑 3.6 吋 Dual AMOLED 顯示螢幕 解析度：單眼解析度 1080 × 1200 像素 螢幕更新率：90 Hz(赫茲) 視野：110 度 安全防護裝置：VIVE 導護系統(Chaperone System)與前置相機 感應器：SteamVR 追蹤技術、重力感測器、陀螺儀感測裝置、距離偵測裝置 裝置連接槽：HDMI、USB 2.0、3.5 mm 立體聲耳機插孔、電源插孔、藍芽 輸入裝置：內建麥克風 眼睛焦距調整：瞳距距離與鏡片距離調整	
VIVE 控制器	
VIVE 控制器規格 感應器：SteamVR 追蹤技術 輸入裝置：多功能觸控面板、側邊抓取功能鍵、二階段式扳機、系統選單鍵、功能選單鍵 單次充電使用時間：約 6 小時 裝置連接槽：Micro-USB 插槽	
VIVE 基地台	
追蹤範圍設置需求 站姿／坐姿：無最小空間限制 房間規模：最小為 2 公尺×1.5 公尺，大小上限則為 3.5 公尺×3.5 公尺	

(二) 穿戴式手套

Arduino Pro Mini 是由美國公司 SparkFun 所研發，主要的處理器核心為 ATmega168，電路板電源與電壓分為 3.3V 和 5V 兩種，具有 14 個數位 I/O 接腳，其中有 6 個可作為 PWM 接腳，8 個類比輸入接腳，SRAM 為 2KB，EEPROM 為 1KB，時脈頻率分 8 MHz 與 16 MHz。最大的優點就是它的外觀精簡，而且成本不高，比起許多開發板更加便利與節省成本。

FTDI FT232RL 晶片主要為轉換成 TTL 的轉接接頭，方便 Arduino Pro Mini 利用 USB 方式進行程式語言開發，USB 供電有 3.3V 和 5V 兩種選擇，由於 FT232RL 為單晶片，因此使用上十分容易上手。

伺服馬達是用來控制位置、速度與扭力的改變，而伺服馬達-SG90 裡面有包含直流馬達、齒輪箱、軸柄及控制電路，並且配有三條線，分別為電源線、接地線及訊號線，使用者可以透過訊號傳遞，來控制伺服馬達轉動的角度，範圍在 0-180 度之間，扭力可達到 1.8KG，重量為 9 克，尺寸為 23*12.2*29，整體規格相當輕便。

壓力感測器檢測是否受壓或擠壓，並推估其壓力值大小，壓力感測器-FSR402 的壓力感測範圍為直徑 12.7mm，可偵測壓力值最大到 10KG，一般在連接 Arduino 相關開發板時會配合電阻一起使用，以免壓力值不穩定。

二、軟體架構

(一) 建模軟體-Blender

本研究在軟體設計上使用一套開放原始碼的 3D 電腦圖形軟體—Blender，使用上完全免費且平台提供多元化的素材提供使用者下載，Blender 能在不同平台上運行，並支援多種檔案格式如：.dae、.3ds、.fbx、.obj、.x3d 等，能輕鬆的與其他建模軟體或相關的遊戲引擎互相交流，初學者容易上手且安裝容量不大，其提供的功能很多，例如：建模、攝影機追蹤、物件渲染、材質、燈光調配、綁定骨骼、3D 動畫等功能，因此本研究選擇 Blender 作為建置 3D 模型的工具。

系統中的服飾皆透過 Blender 建模軟體建構而成，由點、線、面三元素基礎建置，包含衣服大小的調整、顏色配置、材質貼合，甚至是皺褶程度與燈光呈現，都是經由不斷修正所做出的調整，本研究紀錄建置一個衣服模型並經過渲染，大約使用頂點數為 54,342 個，面數為 54,006 個，三角面為 108,068 個，佔記憶體容量約 363.7M，如圖 2 所示。而圖 3 系統場景使用頂點數為 127,596 個，面數為 179,395 個，三角面為 253,871 個，佔記憶體容量約 103.6M。



圖 2 系統服飾模型

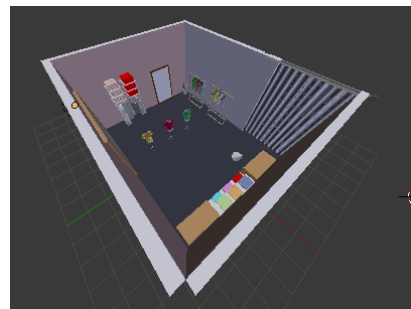


圖 3 系統場景模型

(二) 遊戲引擎-Unity

整體系統呈現使用 Unity 作為整合，Unity 是一款免費跨平台的 3D 遊戲開發引擎，可用來開發 Window 或 Linux 平台的遊戲，採用階層式的開發環境，視覺化的編輯讓使用者能即時預

覽，不容易產生設計畫面與實際遊戲畫面有出入的問題，且開發資源很多，容易匯入資料，亦可自行撰寫遊戲指令碼進程式編輯，制定個人化的腳本設計，因此本研究選擇 Unity 為整合系統呈現的工具。

本研究在 Unity2018.3.0 環境下結合 Steam VR 應用程式，Steam VR 為 HTC 與 Valve 所開發的虛擬實境系統，作為 Unity 與 HTC VIVE 之間的連接橋梁，並以 C#程式語言撰寫腳本，控制整個系統的操作流程，包含服飾的出現或消失、服飾顏色與材質的選擇、衣服皺摺的程度等。

綜合上面論述，本系統使用 Window 作為開發作業系統，利用 Blender 電腦繪圖軟體來建置 3D 模型及場景內的相關物件，並透過 Unity 遊戲引擎設計系統介面與腳本撰寫，其中硬體的連接則使用 Arduino IDE 編譯器進行硬體的 control，整體系統軟體規格表如表 3。

表 3 軟體規格說明表

名稱	內 容	負責項目說明
Windows 10	作業系統	作業系統
Unity 2018.3.0f2 (64-bit)	遊戲引擎	撰寫 VR 腳本
Blender 2.72b (64-bit)	3D 電腦繪圖軟體	建立 3D 模型
Arduino IDE	Arduino 編譯器	開發控制硬體設備程式

三、系統方塊圖

本研究之系統方塊圖主要分為四大部分，模型建置的部分包含服飾、場景相關物件的建模，使用 Blender 建模軟體所完成；系統介面與腳本的部分包含整體系統的介面設計與互動，使用 Unity 遊戲引擎所建置；感官體驗的部分以壓力感測器連接 Arduino Pro Mini 通過訊號傳到 PC，PC 利用無線連結的方式，將系統畫面顯示於 VIVE 設備上，如圖 4 所示。

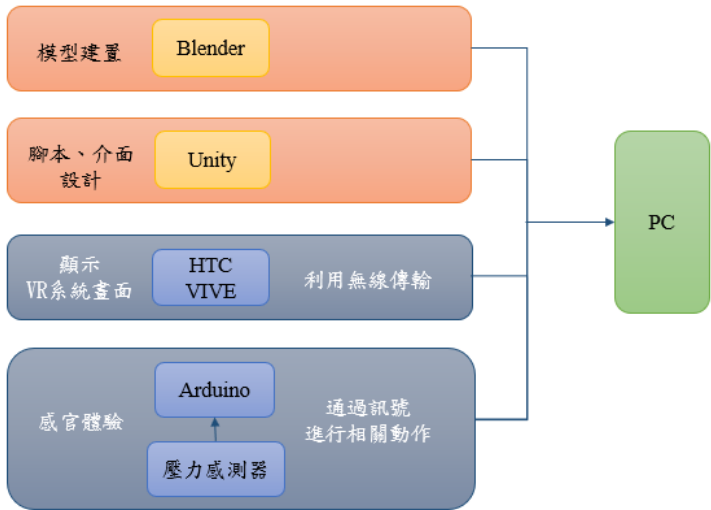


圖 4 系統方塊圖

四、實驗設計

(一) 實驗對象與裝置

本研究實驗對象主要針對大學部及碩士班學生，以年輕的網路使用族群作為目標，並曾經體驗過網路購物的行為，實驗地點為高雄科技大學資訊管理系實驗室，實驗時間根據受測者時間進行安排，而本研究實驗內容使用 VR 頭戴式裝置設備，因此須排除使用過程中會有頭暈、身體不適的受測者。

本研究實驗裝置分為 HTC VIVE 與觸覺手套兩部分，並結合可執行系統體驗之電腦設備。受測者於空間大小為 2 米×2 米的範圍內進行測試，同時配戴 VIVE 頭戴式裝置及自製手套，與系統內虛擬物件進行互動。

(二) 問卷內容

問卷內容分為三部分：基本資料、系統易用性量表、使用者互動滿意度量表。基本資料共 3 題，系統易用性量表共 10 題，使用者互動滿意度量表共 28 題。問項使用李克特五點量表作設計，給分範圍為 1-5 分，1 分代表非常不滿意，3 分代表無意見，5 分代表非常滿意。

(三) 實驗流程

本研究實驗測試時間大約 5-10 分鐘，主要分為三大部分：實驗前說明、實驗進行、問卷填寫，詳細說明如下：

1. 實驗前說明

實驗前會與受測者說明設備的配戴方式與操作，並詳述實驗的目的與流程，讓受測者在實驗過程中能用最流暢的方式進行。

2. 實驗進行

實驗過程中受測者頭戴 VIVE 頭戴式顯示器，左手拿取 VIVE 控制器，右手配戴本研究觸覺手套，在實驗過程中若有疑問或不適，則立即告知並暫停實驗流程。

3. 問卷填寫

在實驗結束後會發放問卷給予受測者進行填寫，其中包含基本資料、系統易用性量表、使用者互動滿意度量表等題項，受測者也可將欲提供給本研究之建議一併提出，以供系統後續調整。

肆、實驗結果與分析

一、VR 系統呈現

本研究系統場景的設計理念是以一虛擬服飾間為基礎，建立一個密閉空間，當中包含衣架、服飾、及其他配件等，如圖 5～圖 6 所示。當使用者進入系統便會立即看見一大布幕映入在眼前，介面是以 Unity 當中的 Canvas 作為 UI 面板進行設計，其內容包含衣服樣式、衣服材質、衣服資訊與衣服的樣貌，如圖 7，其中紅色框為跑馬燈標示文字，內容為：「請點選欲察看衣服」，作為提醒使用者開始進行系統操作，而以跑馬燈的呈現也與按鈕的呈現不同，讓使用者不會誤

以為此標示文字可以進行點選的動作，利用 `ScrollRect` 元件增添捲動效果，在設定 `horizontalNormalizedPosition` 屬性來控制水平方向的值，當對應值超過 1，則從 0 重新開始，完成文字跑馬燈的功能。



圖 5 系統場景圖——正面

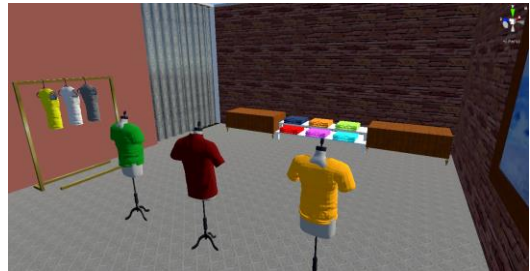


圖 6 系統場景圖——背面



圖 7 系統介面圖



圖 8 系統介面——更換衣服樣式與材質

在系統內使用者可以自行點選欲察看的衣服樣式，目前建置有提供三種樣式，分別為紅色、灰色及白色，並可以更換其服飾材質。而目前樣式有提供三種，包含人物圖案、英文字母圖案及愛心圖案，如圖 8 所示。將衣服樣式點選為灰色，而衣服材質選擇愛心圖形，系統畫面則會呈現使用者所點選的衣服組合，如圖 9 為更換衣服樣式與材質之程式碼，透過 `rend.material.color`、`read.material.mainTexture` 來讀取資料，並顯示相對應的樣式與材質。

```
public class Colorclothes : MonoBehaviour
{
    Renderer rend;

    void Start()
    {
        rend = GetComponent<Renderer>();
    }
    public void color1()
    {
        Color color = Color.red;
        rend.material.color = color;
    }
    public void color2()
    {
        Color color = Color.gray;
        rend.material.color = color;
    }
    public void color3()
    {
        Color color = Color.white;
        rend.material.color = color;
    }
    void Update()
    {
    }
}
```

```
public class Materialclothes : MonoBehaviour
{
    public Texture[] textures;
    public Renderer rend;

    void Start()
    {
        rend = GetComponent<Renderer>();
    }
    public void Material1()
    {
        rend.material.mainTexture = textures[0];
    }
    public void Material2()
    {
        rend.material.mainTexture = textures[1];
    }
    public void Material3()
    {
        rend.material.mainTexture = textures[2];
    }
    ...
}
```

圖 9 更換衣服樣式／材質之程式碼

使用者可藉由配戴本研究自製的觸覺手套，感受衣服的重量，仿擬衣服在手中的感覺，進而開始進行服飾觸摸，如圖 10 為 Unity 欲接收 Arduino Pro Mini 開發板的壓力值所編譯之程式檔，以 System.io 類別的方式來傳值，接收到 Com port 位置為 8、鮑率為 9600 後，開啟序列埠進行資料讀取與接收。隨後根據接收到的壓力數值，在 Unity 系統內進行服飾皺褶程度的變化，如圖 11 所示，接收不同壓力值於程式內會產生不同服飾的 XYZ 座標，服飾也會因此進行旋轉及位移。

```
[SerializeField]
public static string move;
public SerialPort sp = new SerialPort("COM8", 9600);

void Start()
{
    sp.Open();
    sp.ReadTimeout = 1;
}

// Update is called once per frame
void Update()
{
    if (sp.IsOpen)
    {
        move = sp.ReadLine();
    }
}
```

圖 10 Arduino 與 Unity System.io 類別傳值之程式碼

```
if (move == "0")
{
    eulerAngX = -100;
    eulerAngY = 201;
    eulerAngZ = -26;
    //transform.localPosition = new Vector3(eulerAngX, eulerAngY, eulerAngZ);
    gameObject.transform.localRotation = Quaternion.Euler(eulerAngX, eulerAngY, eulerAngZ);
}
else if (move == "11") {
    eulerAngX = -100;
    eulerAngY = -90;
    eulerAngZ = -20;
    //transform.localPosition = new Vector3(eulerAngX, eulerAngY, eulerAngZ);
    gameObject.transform.localRotation = Quaternion.Euler(eulerAngX, eulerAngY, eulerAngZ);
}
```

圖 11 Unity 服飾皺褶程度之程式碼

當使用者按壓程度較小，系統偵測其壓力值數值較低，則系統畫面將呈現服飾皺褶程度較小力的皺褶感，讓使用者感受到有如實際輕度觸摸服飾一般，如圖 12。

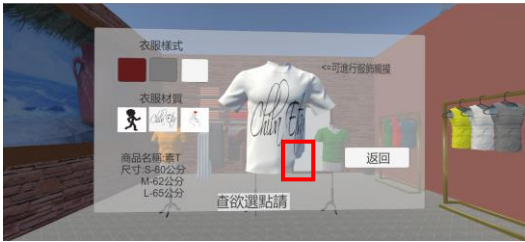


圖 12 系統介面——服飾觸摸(小)



圖 13 系統介面——服飾觸摸(大)

當使用者按壓程度較大，系統偵測其壓力值數值較高，則系統畫面將呈現服飾皺褶程度較重度的皺褶感，讓使用者感受到有如實際大力觸摸服飾一般，如圖 13。

二、觸覺手套

本研究利用 Arduino Pro Mini 開發版連接 FT232RL 晶片，Arduino IDE 編譯器中撰寫硬體設備程式，如圖 14 所示，結合壓力感測器(FSR402)，接收使用者壓力值大小，再透過伺服馬達(SG90)的控制，進行相對應的動作，表 4 為壓力值及對應的皺褶程度表格說明，當偵測壓力值小於 200g，服飾將不會產生皺摺變化；當壓力值在 201-750g 之間，服飾會產生輕度皺褶的改變；而壓力值大於 750g 時，則服飾會呈現重度的皺褶變化。

```
int sensorValue = analogRead(A0);
if(sensorValue <= 200){
  Serial.println("0");
  delay(1);
}
else if(sensorValue <= 750 && sensorValue> 200 ){
  Serial.println("1");
  delay(1);
}
else{
  Serial.println("11");
  delay(1);
}
}
```

圖 14 Arduino Pro Mini 開發板編譯程式碼

表 4 壓力值及對應的皺褶程度表

服飾皺褶程度	無變化	輕	重
由 Arduino 傳遞 所接收的值	0	1	11
壓力值(g)	<200	201-750	751-1023
顯示畫面			

手套部分以指套作為主要設計理念，用魔鬼氈的方式進行配戴，由於每個人的手掌大小均為不同，若以手套方式進行設計，其設計較難均符合每一位使用者，因此本研究以指套的方式，以大拇指與食指進行穿戴，即可避免手掌大小不同的問題，使用上也較容易穿脫。而手套下方設計一個黑色存放空間，用以放置 **Arduino Pro Mini** 開發板與伺服馬達等硬體用件，看起來也較為美觀，如圖 15 所示，一連串的流程皆在本研究所自製的手套中呈現，使用者能透過穿戴此設備體驗到不一樣的感官回饋。



圖 15 觸覺手套



圖 16 使用者配戴 VR 設備與觸覺手套

三、使用者操作流程

本研究實驗裝置分為 **HTC VIVE** 與觸覺手套兩部分，並結合可執行系統體驗之電腦設備。使用者於空間大小為 2 米×2 米的範圍內進行測試，同時配戴 **VIVE** 頭戴式裝置及自製手套，如圖 16 所示，再與系統內虛擬物件進行互動，如圖 17。在體驗過程中使用者頭戴 **VIVE** 頭戴式顯示器，左手拿取 **VIVE** 控制器，右手配戴本研究觸覺手套進行體驗。



圖 17 使用者進入系統畫面

下圖 18，當使用者於系統內點選服飾觸摸的按鈕後，自製的觸覺手套會產生一股拉力，仿擬實際拿取衣服一樣，感受到衣服的重量，進而進行服飾觸摸體驗，如圖 19 所示。



圖 18 點選服飾觸摸按



圖 19 觸覺回饋體驗

下圖 20 所示，使用者透過本研究研製的手套進行服飾觸摸，透過按壓手套中的壓力感測器來讀取壓力程度，再將數值傳到系統中，並呈現相對應的畫面，提供使用者視覺的感官回饋，如圖 21 所示。



圖 20 按壓觸覺手套中的壓力感測器



圖 21 系統畫面提供視覺回饋

四、問卷分析

本研究總共發放 30 份問卷，實際收回有效問卷為 30 份，進行計算與統計後做出分析，相關分析如以下敘述。

(一) 基本資料統計

問卷基本資料統計表如下表 5，其中包含 12 位男性、18 位女性；受測者年齡 18-22 歲有 6 位，23-29 歲有 21 位，30 歲以上有 3 位；教育程度為大學有 20 位，碩士程度為 9 位，博士程度為 1 位。

表 5 基本資料統計表

基本資料	選項	數量	百分比
性別	男	12	40%
	女	18	60%
年齡	18-22 歲	6	20%
	23-29 歲	21	70%
	30 歲以上	3	10%
教育程度	大學	20	66.7%
	碩士	9	30%
	博士	1	3.3%

(二) 系統易用性分析

本論文問卷採用系統易用性量表(SUS)作為分析，總共為十題，採用李克特五點量表作為評分依據，單數題為正向題，雙數題為反向題設計，計算方式為：正向題分數減 1，反向題以 5 減去每題分數，將所有題目分數加總後乘上 2.5，可得到系統易用性平均分數，而平均分數為 68 分，作為系統的及格分數標準。

表 6 為系統易用性統計表之敘述統計，經過計算後得知本系統易用性平均分數為 77.03 分，分數高於平均分數 68 分，由此可知本論文之系統屬於易用性良好之系統，可得知受測者在使用本論文之系統是容易的，並且不限定於特殊族群的使用者才可使用。

表 6 系統易用性統計表之敘述統計量表

	非常不同意	不同意	無意見	同意	非常同意	每題分數
我願意經常使用這個系統	0	1	5	7	17	3.33
我覺得這個系統過於複雜	8	14	5	3	0	2.9
我認為這個系統很容易使用	0	1	5	9	15	3.27
我需要有人幫助才能使用這個系統	5	7	9	7	2	2.2
我覺得這個系統的功能整合得很好	0	0	6	10	14	3.27
我覺得這個系統有太多不一致的地方	11	12	6	1	0	3.1
我可以想像大部份的人很快就可以學會使用這個系統	0	0	5	9	16	3.37
我覺得這個系統使用起來非常困難	17	6	5	2	0	3.27
我很有自信能夠使用這個系統	0	0	5	8	17	3.4
我需要學會很多額外的資訊，才能使用這個系統	10	7	9	2	2	2.7

(三) 使用者互動滿意度分析

本論文問卷採用使用者互動滿意度量表(QUIS)作為分析，全部共 28 題，分為五大部分作為調查，分別是系統整體反應、系統呈現、系統用詞與資訊、觸覺手套、學習及系統效能。

表 7 為使用者對於系統整體反應的統計，在系統整體反應的滿意度、難易度、趣味性與人性化方面，皆呈現滿意的表現，使用者認為在系統整體是有人性化的，可以輕易與虛擬物件作互動，而且在使用過程中有相當的趣味性，系統整體反應極為滿意。而系統整體功能齊全的部分，大部分使用者表示滿意，僅一位使用者認為功能尚有不足。

表 7 使用者互動滿意度統計表——系統整體反應

	非常不同意	不同意	無意見	同意	非常同意	平均數
系統的整體反應是滿意的	0	0	3	10	17	4.47
系統的整體反應是容易的	0	0	3	6	21	4.6
系統的整體是功能齊全的	1	0	5	14	10	4.07
系統的整體是有趣的	0	0	2	9	19	4.57
系統的整體是有人性化的	0	0	3	8	19	4.53

表 8 顯示使用者在系統呈現部分，對於系統字體、功能顯示程度、系統連續性與視覺真實感的表現皆呈現滿意，使用者認為良好的系統呈現能帶來更豐富的視覺體驗，在視覺的呈現上也更有真實感。而系統顏色配置方面僅一位使用者認為須再加強，由於系統目前僅提供固定幾種顏色的服飾選擇，因此色彩配置上明顯較為不足。

表 8 使用者互動滿意度統計表——系統呈現

	非常不同意	不同意	無意見	同意	非常同意	平均數
閱讀系統上的文字字體容易	0	0	1	9	20	4.63
重點功能的顯現程度高	0	0	3	7	20	4.57
系統連續性清晰	0	0	5	7	18	4.43
系統顏色配置良好	1	0	3	13	13	4.23
視覺呈現具真實感	0	0	6	9	15	4.3

表 9 為使用者於系統用詞與資訊的滿意度統計，在功能用詞與資訊呈現的一致性、相關性皆呈現滿意，由此可知介面功能用詞與資訊呈現在系統呈現上皆有一致性，且用詞與操作任務的相關性高，操作流程十分清晰。

表 9 使用者互動滿意度統計表——系統用詞與資訊

	非常不同意	不同意	無意見	同意	非常同意	平均數
介面功能用詞一致	0	0	3	8	19	4.53
用詞與操作任務的相關性高	0	0	2	9	19	4.57
資訊呈現的位置有一致性	0	0	2	10	18	4.53
資訊呈現十分清晰	0	0	1	7	22	4.7

表 10 顯示使用者在觸覺手套方面，對於手套體驗皆感到有新奇感，詢問過後得知市面上較少產品能體驗觸覺感受，因此感到十分有趣。而在手套設計的部分仍有使用者認為手套外觀、穿脫設計與真實性需要再加強，由於手套為了可以讓不同手掌大小的使用者配戴，使用指套的方式設計，在穿脫上需要花費較長時間，而真實性的部分是以伺服馬達扭轉的方式來產生拉力，由於指套到馬達的距離設計固定，因此對於不同手指長度的使用者，在使用上拉力強弱度也會不同。

表 10 使用者互動滿意度統計表——觸覺手套

	非常不同意	不同意	無意見	同意	非常同意	平均數
手套設計美觀	1	4	6	14	5	3.6
手套設計穿脫便利	0	2	7	10	11	4
手套體驗具真實感	0	4	3	11	12	4.03
手套體驗具有新奇感	0	0	1	10	19	4.6

表 11 為使用者於系統學習部分的滿意度統計，於操作介面、功能名稱的記憶與輔助說明的幫助性上皆表示滿意，僅有一位使用者在系統操作易懂性表示不同意，原因可能為實驗過程需要配戴 VR 頭戴式裝置、控制手把與觸覺手套，由於配戴的東西較多，操作上可能較為繁瑣。

表 11 使用者互動滿意度統計表——學習

	非常不同意	不同意	無意見	同意	非常同意	平均數
學習操作介面容易	0	0	1	9	20	4.63
可容易透過嘗試錯誤發現正確的操作方式	0	0	3	12	15	4.4
功能的使用及功能的名稱容易記憶	0	0	3	10	17	4.47
任務的操作是易懂的	0	1	1	8	20	4.57
系統的輔助說明訊息是有幫助的	0	0	2	7	21	4.63

表 12 顯示使用者在系統效能方面，對於系統執行速度、穩定度與操作難易度上都呈現滿意，均無不滿意的回答，由此可知本論文系統執行速度快，且系統穩定度也有一定標準，在錯誤更改上也十分容易，系統在使用上不受限於特殊族群，各類型使用者皆可輕鬆操作。

表 12 使用者互動滿意度統計表——系統效能

	非常不同意	不同意	無意見	同意	非常同意	平均數
系統執行速度快	0	0	3	8	19	4.53
系統穩定度高	0	0	4	9	17	4.43
若操作錯誤，更改錯誤容易	0	0	4	10	16	4.4
各種使用者皆能操作	0	0	3	9	18	4.5
操作的難易度不會受到經驗值影響	0	0	4	13	13	4.3

伍、結論

一、研究結論

本研究探討以往相關研究，在虛擬服飾的研究上較著重於視覺的呈現，而視覺呈現上擬真度又不夠成熟，且研究指出感官的回饋能增添虛擬實境的真實性，能讓使用者更沉浸於體驗過程，因此本論文開發出一套穿戴式虛擬實境互動感官回饋之設計與應用，來突破以往在網路購物時，僅能以 2D 圖片進行衣服的瀏覽，且無法實際觸摸到衣服，主要利用 Blender 建模軟體建置系統內的 3D 物件，包含服飾款式、場景的相關物件等，以 Unity 遊戲引擎進行系統的介面設計，並撰寫系統整體流程的腳本。而使用者在過程中須全程戴上 HTC VIVE VR 設備，於系統內可點選衣服樣式與材質，選擇的衣服組合會立即顯示於畫面供使用者查看，提供使用者視覺的感官體驗。

另外，本研究自製了一個以手指為設計理念的觸覺手套，以 Arduino Pro Mini 開發板為基礎，結合壓力感測器與伺服馬達，於使用者操作過程中模擬衣服重量，讓使用者體驗到衣服像是拿在手中一般，增加觸覺的感官回饋，也利用觸覺手套讀取按壓的壓力值大小，並回傳數值置系統呈現相對應的畫面，讓使用者更貼近於現實上的仿真體驗，為選購服飾帶來不一樣的體驗。

本論文問卷設計包含三大部分，分別為基本資料、系統易用性量表(SUS)與使用者互動滿意度量表(QUIS)。經過分析與統計後得知本系統的易用性分數為 77.03 分，高於平均分數 68 分，可得知屬於易用性良好之系統，使用者可容易的操作系統。而使用者互動滿意度的部分，在系統整體反應的滿意度均高，使用者大致認為操作上是人性化的，可以輕易與系統進行互動且充滿趣味性，而功能齊全的部分有使用者認為仍需加強，未來可增添更豐富的功能讓系統加以完整；在系統呈現的滿意度表現也很高，良好的系統呈現能帶給使用者更真實的視覺體驗，在體

驗上也更多元化，而顏色配置的部分有使用者認為可加以改善，若衣服色彩的選擇更多，整體的色彩配置也相對會提升；在系統用詞與資訊的滿意程度均為滿意，可知系統的功能用詞與資訊呈現上皆有一致性，且功能用詞與操作任務的相關性高，在操作過程上十分清晰；在觸覺手套的滿意度調查中發現使用者皆感受到新奇感，在體驗上較為有趣，但對於手套的設計認為尚可加強，外觀上若能更簡便輕巧，配戴上也會更容易，而觸覺真實感的部分目前感受與真實觸摸服飾仍有差距，因此可在進行補強的動作，像是針對服飾的軟硬度、材質等進行深入的開發；在系統學習部分的滿意度統計顯示，對於操作介面、功能名稱的記憶與輔助說明的幫助性上皆呈現滿意，而有部分使用者認為系統操作上不容易快速了解，由於操作過程需配戴的東西較多，因此操作上會較為繁瑣；最後在系統效能的滿意度也顯示均高，可得知系統的執行速度快，且系統穩定度也在一定標準之上，使用者皆可輕鬆進行操作。

二、未來展望

未來系統可增添客製化服務，使用者不僅能選擇系統內建的衣服款式，還能自行調配喜愛的服飾顏色，並且能上傳圖片或輸入文字，提供使用者設計出屬於自己獨一無二的專屬服飾，甚至後續提供截圖的功能，將設計完成的衣服圖像寄送到自身的電子信箱作保存，增添使用者在操作時的樂趣。亦希望能結合 AR 技術，在系統中查看完 3D 圖像後，能連結到 AR 模式讓使用者進行服飾的試穿，結合 AI 技術讓衣服能服貼的呈現在使用者身上，更能增添服飾體驗的真實性，整個體驗流程也會更加完整。

觸覺手套的部分目前僅能感受到服飾重量的回饋，往後若能增加衣服的軟硬程度、衣服的材质等，更細膩的觸覺感受，並配合 3D 視覺呈現效果，再加上聽覺的感官回饋，在觸摸衣服過程中亦能聽到摸衣服的聲音，達到視覺、聽覺、觸覺三個感官回饋的價值，讓整個服飾體驗更加有真實感與互動性，體驗的品質也會更加提升。

最後本研究認為此系統能結合電子商務平台，消費者不需要局限於實體店家的營業時間及地點，能隨時隨地在網站上體驗到服飾的 3D 查看與模擬服飾觸摸，讓消費者能更明確了解服飾的資訊，減少猶豫是否購買的狀況，也為電子商務帶來全新的消費模式，增添更多元化的商機。

參考文獻

- [1] 王洪泊、黃翔、曾廣平、涂序彥(2009)。智能三維虛擬試衣模特仿真系統設計，*計算機應用研究*，26(4)，1405-1408。
- [2] 吳世光、陳建和(2002)。影像式虛擬實境之發展及其在觀光產業應用之研究。*觀光研究學報*，8(1)，109-125。
- [3] 李嬌、郭瑞良、魏丹(2017)。服裝虛擬展示和試衣系統分析。*山東紡織科技*，4，29-31。
- [4] 李潤容(2017)。虛擬實境的沉浸感。*電腦與通訊*，170，1-5。
- [5] 張玉斌、沈陽、劉浩、趙宇(2018)。基於 U3D 技術的虛擬在線商城的設計與實現。*數字化*

- 用戶，9，102-102。
- [6] 張伊凡(2017)。基於 unity3D 開發引擎的虛擬試衣間的設計。科技風，6，1-1。
- [7] 陳建雄、陳盈秀、汪文政(2008)。虛擬試衣間功能與互動介面設計之使用者需求評估。明新學報，34(2)，235-252。
- [8] 陳靖怡(2017)。穿戴式裝置的智慧型手錶之使用性研究——以運動介面設計為例(未出版碩士論文)。國立臺北科技大學互動設計系，臺北市。
- [9] 陳萱恩(2016)。視障者行動導航之使用者經驗設計與研究(未出版碩士論文)。國立臺灣科技大學設計所，臺北市。
- [10] 資策會產業情報研究所(2017)。通訊科技產業的九大應用發展趨勢。檢自：https://mic.iii.org.tw/IndustryObservations_PressRelease02.aspx?sno=440
- [11] 楊智晶、張華城、楊政達、黃文德、呂姿玲、莊惠茹(2017)。穿越經典-圖書館以虛擬實境推廣閱讀之個案研究。國家圖書館館刊，2，134-152。
- [12] 楊漾、姚杭飛、楊琛、許淑華(2014)。基於 Unity 3D 的虛擬家具商城的設計與實現。計算機時代，6，47-49。
- [13] 劉競勻(2019)。遊戲化互動機程度對於擴增實境學習應用程式之學習動機與互動滿意度研究(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學數位科技設計學系，臺北市。
- [14] 謝旻濟、林語瑄(2017)。虛擬實境與擴增實境在醫護實務與教育之應用。護理雜誌，64(6)，12-18。
- [15] 謝淑玲、邱淑芬、王曉玫(2016)。以虛擬實境技術建置電子商務網站——攀峰岩場規劃設計公司為例。藝見學刊，12，99-110。
- [16] 繆菁菁、吳子朝(2018)。基於 unity3d 的虛擬換裝系統設計與實現。電腦迷，22，127-127。
- [17] 戴鵬醇(2016)。從實體控制器之操作探討虛擬控制器之操作手勢(未出版碩士論文)。大同大學工業設計學系，臺北市。
- [18] 簡伯威(2016)。不同引導程度的虛擬實境遊戲介面設計之遊戲經驗比較研究(未出版碩士論文)。國立臺北教育大學數位科技設計學系，臺北市。
- [19] Baheti, A., Seshadri, S., Kumar, A., Srimathveeravalli, G., Kesavadas, T., & Guru, K. (2008). RoSS: Virtual Reality Robotic Surgical Simulator for the da Vinci Surgical System. 2008 Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems.
- [20] Brooke, J. (1996). SUS: A "Quick and Dirty" Usability Scale. Usability Evaluation in Industry, 189-194.
- [21] Burdea, G., & Coiffet, P. (1994). Virtual Reality Technology. New York: Wiley-Interscience.
- [22] Chin, J. P., Diehl, V. A., & Norman, L. K. (1988). Development of an instrument measuring user satisfaction of the human-computer interface. Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems.
- [23] Costello, P.J. (1997). Health and Safety Issues associated with Virtual Reality - A Review of Current Literature. Loughborough: Advisory Group on Computer Graphics.

- [24] Dang, N., Perrot, V., & Mestre, D. (2011). Effects of sensory feedback while interacting with graphical menus in virtual environments. *2011 IEEE Virtual Reality Conference*.
- [25] Daniela, L., & Lytras, M. (2019). Editorial: themed issue on enhanced educational experience in virtual and augmented reality. *Virtual Reality*, 23(4), 325-327.
- [26] Gigante, M. A. (1993). Virtual Reality: Definitions, History and Applications. *Virtual Reality Systems*, 3-14.
- [27] Graaf, H. D. (2016). Social Inclusion through Games and VR. *2016 8th International Conference on Games and Virtual Worlds for Serious Applications (VS-GAMES)*.
- [28] Guinan, A. L., Montandon, M. N., Doxon, A. J., & Provancher, W. R. (2014). An ungrounded tactile feedback device to portray force and torque-like interactions in virtual environments. *2014 IEEE Virtual Reality (VR)*.
- [29] Guo, R., & Quarles, J. (2012). Exercise-based interaction techniques for a virtual reality car racing game. *2012 IEEE Virtual Reality (VR)*.
- [30] Herbst, I., Braun, A., McCall, R., & Broll, W. (2008). Multi-dimensional Interactive City Exploration through Mixed Reality. *2008 IEEE Virtual Reality Conference*.
- [31] Jang, Y., & Ryu, S. (2009). Exploring Game Leadership and Online Game Community. *2009 Conference in Games and Virtual Worlds for Serious Applications*.
- [32] Ji, H., Wang, J., Gao, J., & Liu, X. (2016). Research on telemedicine technology and implement based on Virtual Reality. *2016 IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference (IMCEC)*.
- [33] Jinho, P., Muhammad, T., Kim, J., & Lee, J. (2015). A virtual reality platform for the 3D representation of Seokguram Temple. *2015 Digital Heritage*.
- [34] Lau, KW & Lee, PY. (2018). Shopping in virtual reality: a study on consumers' shopping experience in a stereoscopic virtual reality. *Virtual Reality*, 23(3), 255-268.
- [35] Li, R., Zou, K., Xu, X., Li, Y., & Li, Z. (2011). Research of Interactive 3D Virtual Fitting Room on Web Environment. *2011 Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design*.
- [36] Ni, Z., & Gao, Z. (2015). Developing Digital Hall of Prayer for Good Harvest Software to Promote Historical Culture by Applying Virtual Reality Technology. *2015 International Conference on Culture and Computing (Culture Computing)*.
- [37] Oh, S. H., & Whangbo, T. K. (2017). A study on the effective interaction method to improve the presence in social virtual reality game. *2017 4th International Conference on Computer Applications and Information Processing Technology (CAIPT)*.
- [38] Pagé, C., Bernier, PM., & Trempe, P. (2019). Using video simulations and virtual reality to improve decision-making skills in basketball. *Journal of Sports Sciences*, 37(21), 2403-2410.
- [39] Puig, A., & Rodriguez Santiago, I., Arcos, JL., Rodríguez-Aguilar, J., Cebrián, S., Bogdanovych,

- A., Morera, N., Palomo, A., & Piqué, R. (2019). Lessons learned from supplementing archaeological museum exhibitions with virtual reality. *Virtual Reality*, 1-16.
- [40] Quarles, J. (2015). Shark punch: A virtual reality game for aquatic rehabilitation. *2015 IEEE Virtual Reality (VR)*.
- [41] Rajeswaran, P., Hung, N., Kesavadas, T., Vozenilek, J., & Kumar, P. (2018). AirwayVR: Learning Endotracheal Intubation in Virtual Reality. *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*.
- [42] Scheibe, R., Moehring, M., & Froehlich, B. (2007). Tactile Feedback at the Finger Tips for Improved Direct Interaction in Immersive Environments. *2007 IEEE Virtual Reality Conference*.
- [43] Sherman, W. R., & Craig, A. B. (2003). *Understanding virtual reality: Interface, application and design*. San Fransisco: Morgan Kauffman.
- [44] Singthongchai, J., Naenudorn, E., Kittidachanupap, N., Khopolklang, N., & Niwattanakul, S. (2012). Virtual 3-D animation for tourism. *2012 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering (CSAE)*.
- [45] Sun, Q., Mirhosseini, S., Gutenko, I., Park, J. H., Papadopoulos, C., Laha, B., & Kaufman, A. (2015). Buyers satisfaction in a virtual fitting room scenario based on realism of avatar. *2015 IEEE Symposium on 3D User Interfaces (3DUI)*.
- [46] Tsungwu, S., & Lee, B. (2017). An Innovative Way of Guided Tour: A Virtual Experience of Dark Tourism. *2017 International Conference on Information, Communication and Engineering (ICICE)*.
- [47] VIVE 台灣官方網站。檢自：<https://www.vive.com/tw/>
- [48] Wei, L., Zhou, H., & Nahavandi, S. (2018). Haptically enabled simulation system for firearm shooting training. *Virtual Reality*, 23(3), 217-228.
- [49] Xin, Y., & Yingying, S. (2010). Application of Virtual Interactive Technology in Product Personalized Customization Service. *2010 International Conference on Electronics and Information Engineering*.
- [50] Yem, V., Vu, K., Kon, Y., & Kajimoto, H. (2018). Softness-Hardness and Stickiness Feedback Using Electrical Stimulation While Touching a Virtual Object. *2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*.
- [51] Zhang, Y., & Fernando, T. (n.d.). 3D sound feedback act as task aid in a virtual assembly environment. *Proceedings of Theory and Practice of Computer Graphics*, 2003.
- [52] Zhao, Z. X. (2002). Virtual Reality Technology: An Overview. *Journal of Southeast University*, 32(2), 1-10.

附 錄 一

第一部分 基本資料

性別：☐男 ☐女

年齡：☐18-22 歲 ☐23-29 歲 ☐30 歲以上

教育程度：☐大學 ☐碩士 ☐博士

第二部分 系統易用性量表(SUS)

	1 非常 不同意	2 不同意	3 無意見	4 同意	5 非常 不同意
我願意經常使用這個系統	☐	☐	☐	☐	☐
我覺得這個系統過於複雜	☐	☐	☐	☐	☐
我認為這個系統很容易使用	☐	☐	☐	☐	☐
我需要有人幫助才能使用這個系統	☐	☐	☐	☐	☐
我覺得這個系統的功能整合得很好	☐	☐	☐	☐	☐
我覺得這個系統有太多不一致的地方	☐	☐	☐	☐	☐
我可以想像大部份的人很快就可以學會使用這個系統	☐	☐	☐	☐	☐
我覺得這個系統使用起來非常困難	☐	☐	☐	☐	☐
我很有自信能夠使用這個系統	☐	☐	☐	☐	☐
我需要學會很多額外的資訊，才能使用這個系統	☐	☐	☐	☐	☐

第三部分 使用者互動滿意度量表(QUIS)

系統的整體反應					
	1 非常 不同意	2 不同意	3 無意見	4 同意	5 非常 不同意
系統的整體反應是滿意的	☐	☐	☐	☐	☐
系統的整體反應是容易的	☐	☐	☐	☐	☐
系統的整體是功能齊全的	☐	☐	☐	☐	☐
系統的整體是有趣的	☐	☐	☐	☐	☐
系統的整體是有人性化的	☐	☐	☐	☐	☐

系統呈現					
	1 非常 不同意	2 不同 意	3 無意 見	4 同 意	5 非常 不同 意
閱讀系統上的文字字體容易	☐	☐	☐	☐	☐
重點功能的顯現程度高	☐	☐	☐	☐	☐
系統連續性清晰	☐	☐	☐	☐	☐
系統顏色配置良好	☐	☐	☐	☐	☐
視覺呈現具真實感	☐	☐	☐	☐	☐
系統用詞與資訊					
介面功能用詞一致	☐	☐	☐	☐	☐
用詞與操作任務的相關性高	☐	☐	☐	☐	☐
資訊呈現的位置有一致性	☐	☐	☐	☐	☐
資訊呈現十分清晰	☐	☐	☐	☐	☐
觸覺手套					
手套設計美觀	☐	☐	☐	☐	☐
手套設計穿脫便利	☐	☐	☐	☐	☐
手套體驗具真實感	☐	☐	☐	☐	☐
手套體驗具有新奇感	☐	☐	☐	☐	☐
學習					
學習操作介面容易	☐	☐	☐	☐	☐
可容易透過嘗試錯誤發現正確的操作方式	☐	☐	☐	☐	☐
功能的使用及功能的名稱容易記憶	☐	☐	☐	☐	☐
任務的操作是易懂的	☐	☐	☐	☐	☐
系統的輔助說明訊息是有幫助的	☐	☐	☐	☐	☐
系統效能					
系統執行速度快	☐	☐	☐	☐	☐
系統穩定度高	☐	☐	☐	☐	☐
若操作錯誤，更改錯誤容易	☐	☐	☐	☐	☐
各種使用者皆能操作	☐	☐	☐	☐	☐
操作的難易度不會受到經驗值影響	☐	☐	☐	☐	☐