

結合虛擬實境技術與情境模擬學習以增強學生的學習成效及參與度

潘玠佑
國立成功大學
工程科學系
jypan1129@gmail.com

呂曉南
國立成功大學
工程科學系
e94081181@gs.ncku.edu.tw

鄭育評
國立成功大學
工程科學系
yuping.cheng0413@gmail.com

李心佑
國立成功大學
工程科學系
andy26862357@gmail.com

黃悅民*
國立成功大學
工程科學系
*huang@mail.ncku.edu.tw

摘要

虛擬實境是一項嶄新的技術，能夠將使用者帶入虛擬的世界當中。儘管虛擬實境應用相當廣泛，但卻在教育領域中相對稀少，尤其是工程教育的部分。為此，本研究在電子學習課程建構學習樹莓派的虛擬實境場景，並融合情境模擬學習，以此讓虛擬世界中的體驗放大或替代現實中的學習經驗。此外，本研究基於準實驗設計方法，並招募了28位大學生以探討學生在電子學習的學習成效及參與度。根據實驗結果表明，實驗組使用虛擬實境的學習成效顯著高於控制組，且完成實驗後的參與度也顯著地提升。

關鍵詞：虛擬實境, 情境模擬學習, 學習成效, 參與度

I. 前言

虛擬實境(Virtual Reality, VR)逐漸融入日常生活中的各個面向，如虛擬實境遊戲、電影等。使用者可通過虛擬實境進入虛擬世界中，並可以體驗有如真實的情境。除了娛樂產業外，虛擬實境也被應用在導覽體驗上，使用者可以在虛擬世界中真實體驗內容。相對於導覽員的口述與使用者的憑空想像，虛擬實境提供更為實際與真實的體驗，同時為生活帶來相當的便利性。然而，其延展層面卻在人類生活中最重要的層面相對稀少——「教育」，尤其是關於電子工程相關內容。

教育一直在人類的發展與演進上扮演著重要角色。教育使人類可以將知識傳承，使後人可以藉由前人的技術，往上邁進與突破。因此，教育總是與時俱進，不斷引入新的教育方式到傳統課堂授課之中，以此提升學習效果。譬如問題導向學習(Problem based learning)是藉由問題的建立，使學習者在小組討論，自我導向的過程中來解決問題與學習知識。換言之，問題導向學習利用適當的問題來增進知識和理解[1]；而情境模擬學習(Simulation-based learning)則是透過一個情境的模擬來代替或放大真實的體驗[2]。如醫療院所打造高擬真模擬假人，具備呼吸、說話、眨眼等功能，提供醫學生實際進行手術與急救等訓練，即是一種情境模擬學習。由此可知，當有一項新技術出現時，是否能將其引入教育之

中，為人類學習和技術的傳承有所貢獻，是一件值得探討的事情。

然而，虛擬實境較少用於工程教育或電子相關的課程中。為此，本研究致力於應用虛擬實境於教育之中，針對工程與電子相關課程內容將其虛擬化，探討該技術的使用是否有效提升學生的學習成效以及參與度。同時，本研究結合虛擬實境與情境模擬學習，以降低在現實中打造合適情境所可能耗費高額的費用。

II. 文獻探討

基於本研究主要結合虛擬實境與情境模擬學習，以此探究學生的參與度。為此，本章節將著墨於虛擬實境(Virtual Reality)、情境模擬學習(Stimulation based learning)、與參與度(Engagement)的探討。

A. 虛擬實境

以下將詳細描述虛擬實境的基本介紹、種類以及在教育上的應用。

1) 介紹：虛擬實境(Virtual Reality) 時常簡稱為 VR。透過電腦圖學的演算來創造一個逼近真實的虛擬場景，使用者可以藉由配戴頭戴式裝置和手把，將一舉一動作為電腦的輸入訊息，讓電腦在即時的運算下，調整虛擬世界的一切來配合使用者的體驗。[3]簡單來說，使用者可以在虛擬世界中到處走動，從不同角度觀看虛擬世界，甚至伸手抓取、重新改造虛擬世界，與之互動[4]。

Burdea 於1993年提出虛擬實境金三角，如“圖1”所示，代表虛擬實境所應具備的三種特性：

- 沈浸性(Immersion)
- 互動性(Interaction)
- 想像性(Imagination)

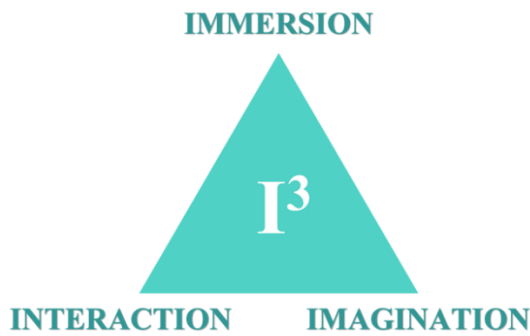


圖1. 虛擬實境金三角

所謂沈浸性代表使用者能夠在虛擬實境之中體驗比擬真實世界的感受。換句話說，視覺必須具備立體感、層次感；聽覺需具備空間感；觸覺要擁有真實感；甚至可以的話，嗅覺也同樣可以聞到味道，吃也可以嚐到味道。讓使用者於虛擬世界中完完全全地體會真實身歷其境的感受。互動性則提供使用者與虛構世界進行交流與互動，好比現實中人們可以與周遭的人物溝通和交流，虛擬實境也應透過使用者的移動和動作來改變虛擬世界中的事物，與之交流。而想像性則代表虛擬實境的拓展性。由於虛擬實境將虛擬的事物化作真實的感觸，讓不可能成為可能。因此，這表示人們可將天馬行空的想法變成真實。無論是參與童話故事的劇情，抑或到月球漫步，皆有可能。

2) 種類：目前虛擬實境主要分為三類：

- 物件式虛擬實境(Geometry-based VR)
- 影像式虛擬實境(Image-based VR)
- 混合式虛擬實境(Hybrid VR/ Mixed Reality)

物件式虛擬環境正如其名，代表虛擬世界中所看到的東西皆是物件，可以從各個角度觸摸與互動。可以透過虛擬實境的編輯軟體如哈瑪星科技的 Magic VR 來建立虛擬場景。其優點是互動性極高，但是對系統的硬體運算要求很高。使用者必須具備良好的硬體設備才可以在物件式虛擬實境獲得完善的使用體驗。

然而，由於昔日的電腦效能並不如現今如此良好，建立物件式虛擬實境的成本很高，為此後來開發出影像式虛擬實境。影像式虛擬實境最早由使用 Quick Time 影像處理的技術的 Apple 公司所提出。透過攝影的方式擷取現實生活中的景象，利用電腦軟體編程，將照片一張張接合投射在立體的圓柱或球體上。以中心主體為人或物又可細分為360度環繞實境(Panoramic Image VR)和360度環場物件(Object Movie)。環繞實境是以人為中，使用者可以環顧四周的立體景色；而環場物件則是以物為中，使用者可以在四周走動，從不同面向觀看物體。

物件式虛擬實境與影像式虛擬實境各有優缺點，因此，為彌補各自短板，後來發展出混合式虛擬實境，從字面意思即可知道，其融合兩者的優點。混合式虛擬實

境透過影像式虛擬實境的技術來建立背景與其他不需和使用者互動的物件，並使用物件式虛擬實境的技術建立需要互動的目標，以此來大大降低建造成本與時間。可從“表1”看出三者對比。

3) 虛擬實境的教育應用：歸因於虛擬實境可以跳脫現實世界的性質，幫助使用者體驗現實中因為道德、物理或時間限制、或危險所不允許的情況，因此，它被相當廣泛地應用於醫護教育、物理教育與員工培訓[5]。譬如透過虛擬實境使消防人員模擬火災發生時的應變[6]；醫護人員在虛擬實境中對假人開刀學習手術操作過程[7]；物理課程借助虛擬實境幫助學生更加具體地探索宇宙[8]。

B. 情境模擬學習

情境模擬學習(Simulation-based learning)是一種幫助學習和練習的技術，可以應用於不同的訓練當中。其主要在真實世界中複製一個可互動所需的學習情境，使學習者「沈浸」當中，幫助學習者放大或替代該情境下的學習收穫[9]。現今已被廣泛地運用於醫療、航空、太空與軍事領域。以醫療為例，醫學生、護理師或是醫療人員可以透過情境模擬學習來重複學習或複習手術過程或某項技術，而不把病人至於危險之中[10]。舉例來說，國高中健康教育教學心肺復甦術時，經常使用人形道具「安東尼」來輔助教學，即為一種情境模擬學習。學生可以透過按壓安東尼的胸口來模擬真實心肺復甦的方法與力道，以此代替真實對人操作的情況，並彌補口頭描述的不足。

目前已有許多用於醫療情境的模擬系統，如人類病患模擬器(Human patient simulators)以及虛擬程序站(Virtual procedure stations)。如同其字面意思，人類病患模擬器是用來模擬真實人類的擬真儀器。透過電腦快速運算，人類病患模擬器可以重現人體的生理機能如心跳、脈搏、眨眼與呼吸。此外，若安裝相對應教學程序，人類病患模擬器甚至可以與學習者互動與對談，引導學習者學習。

同時，視學習內容，無論是微小創傷抑或大面積燒燙傷，人類病患模擬器皆可以靈活重現，使學習者在類真實的情境中，學習應對方式。虛擬程序站則是根據所要模擬情境建立的專門類別學習站，如大腸鏡檢查、支氣管檢查與插管，學習者可以藉由虛擬程序站來重複操刀與學習，直到學會該技術[9]。

然而，建造一個適合情境模擬學習環境的成本基本上相當高的，因為必須購買與真實情境所匹配的儀器。譬如建立一個完善的臨床環境模擬(Simulated clinical environment)。為提供醫生、護理師、或學生作學習使用，勢必要配備健全的設備才可以真實地模擬情境，使學習者投入之中。

表 I
三種虛擬實境技術比較

虛擬實境種類	優點	缺點
物件式虛擬實境	互動性高	成本高
影像式虛擬實境	成本低	互動性低
混合式虛擬實境	互動性高	成本低

C. 參與度

參與度(Engagement)從字面本身可理解為參與的程度。普遍而言，參與度代表著投入課業、工作與活動的程度，也就是熱情、奉獻與承諾的結合[11]。因此，參與度的高低會影響一個人的外在表現與成效。同時，參與度依照身份的相異可更加細分成不同類別，如學生參與度、員工參與度等。而本研究將主要探討的是學生參與度。

一般普遍認為學生參與度可分成四項[12]：

- 行為參與度(Behavioral engagement)
- 情感參與度(Emotional engagement)
- 認知參與度(Cognitive engagement)
- 投入參與度(Agentic engagement)

行為參與度指的是學生於課程中的行為表現，如是否專注上課、努力參與課堂活動。情感參與度代表學生心中的參與情緒，例如享受上課與否、是否覺得課堂有趣，喜歡聆聽新知識。認知參與度則代表學生的自我意識程度，像是學生會願意將學習內容與過去經驗或知識做融合、以及學習前會先知悉自我的學習目標等。而投入參與度意指學生於課堂中的行為表現是積極投入、或是慵懶散漫。可從學生是否常舉手發問、回答問題、發表看法中來得知。

學生參與度之所以重要是因為其巨大地影響著學生學習與表現[13]。並且，它會隨著學生本身的動機、自主性、能力做出改變[14]。因此，根據環境的改變、學習的方式不同，將可以改變學生學習的參與度與意願，而這也是本研究所想探討之處。

III. 研究方法

目前虛擬實境多應用於影音產業或遊戲開發上，而在教育方面則以醫療、天文教育的應用較為廣泛，但卻鮮少看到資訊工業方面的課程結合虛擬實境。程式的學習往往只需要一台電腦就能完成，但這在軟體方面完全不一樣，寫軟體需要與 IC 結合，若操作不甚有機會將 IC 燒毀，而這便是虛擬實境能補足的地方，使用虛擬實境可以不用擔心 IC 損壞的因素，讓學習者可以安心的學習。因此，本研究以「樹莓派教學」作為課程設計的架構，在此基礎上建構出一個合適的學習場景。本研究使用哈瑪星科技所開發的虛擬實境編輯器 MagicVR，並輔以

Blender 和 Cinema 4D 建模，或是使用網路上的現成資源以建置虛擬的學習情境。

本研究使用準實驗設計以探討虛擬實境對學生的學習成效與參與度的影響。實驗流程如“圖2”所示本研究招募了28人作為實驗的受試者，並將其分成實驗組及控制組進行實驗。在實驗開始前，研究人員會向二組的學生發放測試問卷前測及參與度問卷前測，以量測學生對樹莓派的先備知識。本研究以樹莓派作為主題，透過約莫三小時的教學時程使學生了解樹莓派的基本操作並且能完成基礎的實際應用。實驗組使用虛擬實境進行實驗活動，控制組則以投影片進行實驗活動。當學生完成實驗後，研究人員會發放測試問卷後測及參與度問卷後測，以探討與分析虛擬實境學習的實驗組是否比傳統教學的控制組更能提升學習成效及參與度。

本研究所提供的測試問卷是由從事相關研究數年的學者所設計，該問卷包含13道與樹莓派有關的試題，滿分為100。另外，本研究參考 Reeve 及 Tseng (2011)所提出的參與度問卷[12]，並將其編修為適合本次實驗活動之問卷內容。該問卷包含15道題項，並以李克特5點量表作為尺規。經信度分析後，參與度問卷的 Cronbach's Alpha 為0.948，這表示此問卷具有良好的可靠性。

此外，本研究建立的虛擬實境場景依學習過程分為兩階段，分別為樹莓派的基本連接與實際應用，以下將詳細說明兩者內部資訊，以及虛擬實境場景建置內容。

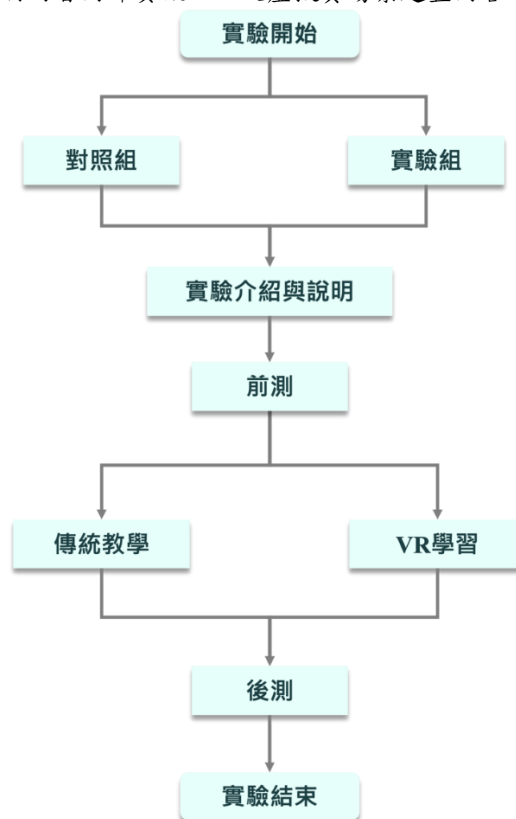


圖2. 實驗流程圖

A. 認識樹莓派

由於受試者不限任何條件，考量到大部分受試者幾乎沒有任何樹莓派基礎，因此第一部分將進行樹莓派的基礎介紹教學，內容是使學生了解樹莓派上的 HDMI、USB、MicroUSB、網路線接口及 GPIO 腳位改與何種接頭連接，並能自己完成接線的操作。控制組因為是採傳統教學方式授課，因此講師將以投影片方式進行介紹，並搭配實際操作影片輔助學生學習。實驗組會讓學生穿戴 VR 裝置，在虛擬環境中，一一進行樹莓派的功能介紹，並使學生動手完成接線的操作。

B. 樹莓派的實際應用

當學生對樹莓派的基礎功能有一定認識後，將進行樹莓派的實際應用，這一部分需要學生透過樹莓派，有條件地使三顆 LED 燈規律閃爍，因此需要學生在這一部分學習程式的編寫以完成任務。

控制組會先透過講師撥放實作影片，了解操作的步驟後，再程式的部分會教學生程式編寫需使用到的指令。

實驗組是在 VR 的環境中進行實際的操作，因此會需要完成程式碼的編寫。由於學生多半沒有程式背景，因此程式碼編寫將使模組填充的方式，在虛擬環境中將有各函式及變數的功能介紹，學生需要比對功能並將模組填入對應的程式位置，另外，因為所有操作過程是可逆的，所以不需考慮樹莓派損壞的問題。

C. 虛擬實境的場景建置

本實驗將 VR 學習的過程分為兩個部分，第一部分為樹莓派基本功能介紹第二部分將協助學生編寫基本的程式，使樹莓派執行簡單的功能。

1) 第一場景——學習樹莓派基本功能：在此場景中，學生將會先學習樹莓派的基本接線，了解各 I/O 接口對應的接頭及其功能如“圖3”。在學習樹莓派的場景中設有以下幾種功能：

- 錯誤提示
- 樹莓派腳位的功能提示
- 接口名稱與圖示提示
- 任務進度條



圖3. 樹莓派基本連接

錯誤提示：當學員將接錯線時，會出現連接錯誤的提示，使學生即時發現錯誤而不需花費更多時間尋找錯誤。樹莓派腳位的功能提示：提供學員樹莓派的 GPIO 功能，使其學習樹莓派上各個 GPIO 的功能。接口名稱與圖示提示：將樹莓派上對外的接口名稱及形狀顯示出來，使學員能更清楚地找出對應裝置連接。任務進度條：使學員隨時了解目前的學習進度，並得知尚未完成的進度有哪些。

2) 第二場景——撰寫程式碼實際應用樹莓派：學生將在此場景學習如何撰寫程式，使得樹莓派實際運行，如“圖4”。本研究設立以下數點幫助學生學習：

- 錯誤配對
- 程式碼功能提示
- 任務進度

錯誤配對：學員將程式碼填錯時，會出現配對錯誤的提示。程式碼功能提示：提示函式與變數等的功能和定義，幫助學員學習與複習程式語言。任務進度：明確目標使學員能夠有目的的學習而非漫無目的的神遊。

除此之外，為善盡虛擬實境的特色，本研究同時加入遊戲的元素，以 RPG 遊戲作為主要架構並加入劇情、任務與對戰系統，使得樹莓派的學習課程有別於以往的課程，期許引起學生興趣並提升參與度，如“圖5”。



圖4. 撰寫程式實作樹莓派應用



圖5. 增添遊戲提升趣味性

IV. 結果與討論

本研究通過虛擬實境讓學生在虛擬環境中進行樹莓派學習，並探討學生在該情境學習後之學習成效及參與度之影響。

“表 II”為 Mann-Whitney U 檢定的前測結果，實驗組的等級平均數是 14.79，控制組的等級平均數是 14.21，U 值是 94 ($p > 0.05$)，其未達到顯著差異。這意味著在實驗開始前，二組學生對樹莓派的先備知識並沒有程度上的區別。“表 III”為 Mann-Whitney U 檢定的後測結果，實驗組的等級平均數是 18.14，控制組的等級平均數是 10.86，U 值是 47 ($p < 0.05$)，二組達到顯著差異。這意味著二組的後測有明顯的差異，而且實驗組的成績高於控制組。因此，實驗組透過虛擬實境進行學習可以顯著提升其學習成效。

經上述結果可知，實驗組以虛擬實境進行學習有更顯著的成績提升，以下總結其原因：

- 實驗組透過 VR 學習時，因為受試者的感官皆被虛擬環境籠罩，因此需要 100% 投入在課程當中；反觀控制組有許多外在因素的誘惑，無法確保所有受試者皆全心全意投入在課堂中，因此成績才會比較分散。
- 在虛擬環境中，實驗組可以親自體驗過樹莓派的操作，比起控制組僅在透過課堂的介紹有更多的身體記憶，因此後測的表現上才會更加突出。

另外，“表 IV”為 Mann-Whitney U 檢定的參與度前測結果，實驗組的等級平均數是 12.07，控制組的等級平均數是 16.93，U 值是 64 ($p > 0.05$)，其未達到顯著差異。這意味著在實驗開始前，二組學生在學習樹莓派的參與程度並沒有顯著的區別。“表 V”為 Mann-Whitney U 檢定的參與度後測結果，實驗組的等級平均數是 15.57，控制組的等級平均數是 13.43，U 值是 83 ($p > 0.05$)，二組未達到顯著差異。

表 II
Mann-Whitney U 檢定的前測結果

組別	個數	等級平均數	U	Z	p
實驗組	14	14.79	94	-.185	.853
控制組	14	14.21			

表 III
Mann-Whitney U 檢定的後測結果

組別	個數	等級平均數	U	Z	p
實驗組	14	18.14	47	-2.364	.018*
控制組	14	10.86			

Note: * $p < 0.05$

表 IV
Mann-Whitney U 檢定的參與度前測結果

組別	個數	等級平均數	U	Z	p
實驗組	14	12.07	64	-1.563	.118
控制組	14	16.93			

表 V
Mann-Whitney U 檢定的參與度後測結果

組別	個數	等級平均數	U	Z	p
實驗組	14	15.57	83	-.691	.490
控制組	14	13.43			

儘管二組在參與度的結果並未達到顯著，但本研究發現實驗組在前測及後測的參與度有明顯的提升。因此，本研究使用 Wilcoxon 符號等級檢定分別分析實驗組與控制組在參與度前測及後測的差異性。“表 VI”為 Wilcoxon 符號等級檢定的實驗組參與度之前後對比。實驗組的後測-前測參與度在負等級的有 2 個參與者，為正等級的有 11 位參與者，等值結的有 1 位參與者，而負等級的平均數是 4.75 分，正等級的平均數是 7.41 分，Z 值是 -2.517 ($p < 0.05$)，達到顯著差異。這意味著實驗組透過虛擬實境學習後，其參與度可以顯著地提升。另外，“表 VII”為 Wilcoxon 符號等級檢定的控制組參與度之前後對比。控制組的後測-前測參與度在負等級有 5 個，正等級 8 個，等值結 1 個，負等級平均數 8.2，正等級平均數 6.25，Z 值 -0.315 ($p > 0.05$)，未達到顯著差異。這意味著控制組並不會因為經由投影片學習樹莓派後提升其參與度。

經上述結果可知，實驗組使用 VR 學習在課堂參與的表現上較控制組的學生好，以下總結其原因：

- 控制組的模式與傳統教學的上課方式相同，僅課程內容不同，因此學生對於課程的參與度可能不會有太多的差異。
- 因實驗組透過 VR 裝置進行學習，所以學生較不會被外界因素干擾，沉浸式的虛擬環境也可以有效提升學生對課程的參與程度。
- 教材內容的趣味性可能也是影響因素之一，VR 的教材內容相較板書教學能給學生更多互動的機會，更能促進學生學習與提升

表 VI
Wilcoxon 符號等級檢定的實驗組參與度之前後對比

後測-前測	個數	等級平均數	Z	p
負等級	2	4.75	-2.517	.012*
正等級	11	7.41		
等值結	1			

Note: * $p < 0.05$

表 VII

Wilcoxon 符號等級檢定的控制組參與度之前後對比

後測-前測	個數	等級平均數	Z	p
負等級	5	8.20	-.315	.753
正等級	8	6.25		
等值結	1			

V. 結論

本研究建立一個完善的虛擬實境系統，幫助學生學習樹莓派的相關知識與應用。根據研究成果顯示，使用虛擬實境進行教學相較於傳統教學確實顯著提升學生參與度與成績。這意味著虛擬實境除了讓受試者體驗到真實的實驗操作外，也能使教學內容更有趣。例如在教學過程中融入遊戲闖關的概念及獎勵制度，使整個教學不再只是枯燥乏味的學習，而是能激起學生好勝的慾望，同時帶動他們的求知慾，使整個教學過程更加活潑，更有互動性，這是傳統教學中很難實現的教學模式。此外，類似的相關研究[15, 16]也佐證虛擬實境應用於工程教育上，透過在沈浸式的虛擬實境中動手操作，有助於提升學生學習成效、參與度和身體記憶。

雖然目前虛擬實境並沒有普及在資訊教育的應用上，但隨著電子產品愈來愈離不開大眾的生活中，以及近年來所謂的智慧生活，未來的人類都需要具備一定的程式背景，為了使所有人都能輕鬆了解這些艱澀難懂的程式指令，一套好的教學是比不可少的，而這也是虛擬實境最大的優勢，在傳統教學方式已經難以改變的情況下，虛擬環境開發的自由度能提供不同族群各自合適的教學模式，也就是所謂的因材施教。因此，期待虛擬實境在未來的發展能使人類社會更加進步。

誌謝辭

本研究承國家科學及技術委員會（National Science and Technology Council，NSTC）研究計畫（計畫編號：109-2511-H-006-011-MY3）補助經費，謹此感謝。

參考文獻

- [1] Diana F Wood. Problem based learning. *Bmj*, 326(7384):328–330, 2003.
- [2] David M Gaba. The future vision of simulation in health care. *BMJ Quality & Safety*, 13(suppl 1):i2–i10, 2004.
- [3] Grigore C Burdea and Philippe Coiffet. *Virtual reality technology*. John Wiley & Sons, 2003.
- [4] JM Zheng, KW Chan, and Ian Gibson. Virtual reality. *Ieee Potentials*, 17(2):20–23, 1998.
- [5] Laura Freina and Michela Ott. A literature review on immersive virtual reality in education: state of the art and perspectives. In *The international scientific conference elearning and software for education*, volume 1, pages 10–1007, 2015.
- [6] F Michael Williams-Bell, Bill Kapralos, Andrew Hogue, BM Murphy, and EJ Weckman. Using serious games and virtual simulation for training in the fire service: a review. *Fire Technology*, 51(3):553–584, 2015.
- [7] Yuan Liu. Virtual neurosurgical education for image-guided deep brain stimulation neurosurgery. In *2014 International Conference on Audio, Language and Image Processing*, pages 623–626. IEEE, 2014.
- [8] Jan Detlefsen. The cosmic perspective: Teaching middle-school children astronomy using ego-centric virtual reality. *Unpublished master's thesis*. Aalborg University, Medialogy, Aalborg, 2014.
- [9] Fatimah Lateef. Simulation-based learning: Just like the real thing. *Journal of Emergencies, Trauma and Shock*, 3(4):348, 2010.
- [10] Fatimah Lateef. What's new in emergencies, trauma, and shock? role of simulation and ultrasound in acute care. *Journal of Emergencies, Trauma and Shock*, 1(1):3, 2008.
- [11] Wilmar B Schaufeli. What is engagement? In *Employee engagement in theory and practice*, pages 29–49. Routledge, 2013.
- [12] Johnmarshall Reeve and Ching-Mei Tseng. Agency as a fourth aspect of students'engagement during learning activities. *Contemporary Educational Psychology*, 36(4):257–267, 2011.
- [13] Gary W Ladd and Lisa M Dinella. Continuity and change in early school engagement: Predictive of children's achievement trajectories from first to eighth grade? *Journal of educational psychology*, 101(1):190, 2009.
- [14] James P Connell and James G Wellborn. Competence, autonomy, and relatedness: A motivational analysis of self-system processes. 1991.
- [15] Yu-Ping Cheng, Chin-Feng Lai, Shu-Chen Cheng, and Yueh-Min Huang. Using immersive virtual reality to explore the learning performance and cognitive load of students in steam electronic circuits learning. In *International Conference on Innovative Technologies and Learning*, pages 107–116. Springer, 2022.
- [16] Gurjinder Singh, Archana Mantri, Ojaswa Sharma, and Rashpinder Kaur. Virtual reality learning environment for enhancing electronics engi_neering laboratory experience. *Computer Applications in Engineering Education*, 29(1):229–243, 2021.