

互動式 3D 電腦輔助學習應用於正投影視圖教學

洪明顯 游耿能 許永洲

國立臺中科技大學多媒體設計系碩士班

evia918@gmail.com, gny@nutc.edu.tw, openbigeyes@gmail.com

摘要

在技職教育的機械、建築與設計等類科的圖學課程，是學生學習空間概念的基礎課程之一，其中正投影視圖單元更是學生踏入空間領域所需具有的先備知識。

隨著科技進步，應用電腦輔助教學的方式逐漸多樣化，藉由影音動畫的輔助與 3D 互動技術的發展，圖學學習不再只能依靠傳統授課模式。本研究設計一套輔助教師與學生認識正投影視圖的電腦輔助學習工具，將互動式 3D 模型的操作與觀察融入到學習內容中，以協助學生了解正投影視圖。本文中將著重於敘述此輔助學習工具之設計依據與發展流程。

關鍵詞：正投影視圖、互動式 3D、電腦輔助學習

Abstract

Graphics is a basic course in vocational high school for students to acquire skills in machinery, architecture or design. In most graphics-related courses, orthographic projection is an important prior knowledge for the development of spatial concepts.

As rapid improvement in computer graphics technology, the approaches for the application of computer-aided instruction have been more versatile. With the development of animation and 3D-based graphics and interactive techniques, learning is no longer based only on traditional teaching. This study designs a Computer-Aided Instruction (CAI) prototype for teaching and learning orthographic projection. The prototype integrates the 3D-based interaction with visualization tools to help students understand orthographic projection. This paper focuses on the description of the design rationale and the development of the CAI prototype.

Keywords: orthographic projection, 3D-based interaction, computer-aided instruction

1. 前言

在現今日常生活中，眾多實體的生產過程往往需要透過製圖與視圖來做為設計發想、研究開發與執行製造之間的共通語言[1]。因此，在技職體系的機械群、土木與建築群、設計群，將圖學列為重要基礎學科，並依不同科系的屬性，開設基礎圖學、

機械製圖、工程製圖、建築製圖等相關課程，以教授學生應具備製圖與視圖的溝通能力[2]，而其中一單元是關於正投影(orthographic projection)立體圖的學習。在教學上的研究發現學生對於立體圖的識圖能力與空間能力呈現正相關，尤其在立體圖旋轉、二度空間旋轉及空間組織能力、空間整體能力等皆有顯著提昇[3]。

然而，具有標準化準則的正投影視圖，在繪製時僅以特定角度的 2D 白底黑色線條、尺寸標註符號呈現，學生在學習過程中，容易受困於圖形符號與立體空間轉換。其一問題是空間線索不明確，有名的例子是奈克立方體(Necker cube)，由於奈克立方體單純以線條描述一立方體造型，在毫無任何深度線索下，人類視覺上容易產生含糊不明確的圖像。其二是視圖投影的差異性，透過人眼觀察實體後所解讀的是透視投影(perspective projections)，繪製時則必須再轉換成具有平行投影(parallel projections)的等角立體圖。

因此本研究設計一套配合教學進度的電腦輔助學習工具，讓學生藉由互動式 3D 虛擬模型的操作與觀察，達到正投影視圖的解題訓練，並從中讓學生逐漸建立起解讀正投影視圖的空間觀念。

2. 互動式 3D 電腦輔助學習工具之發展

在本節中將針對學生學習正投影視圖常遇到的一些盲點，進行相關文獻整理，作為設計本輔助學習工具的參考依據。

2.1 空間知覺

在人類的視覺作用中，是由 2D 的視網膜成像獲取 3D 空間的訊息，在這 3D 實體空間投射到 2D 平面的過程中，是一種遺漏訊息的轉換過程(lossy transform)，因此大腦需要透過一些線索、根據，來彌補探索空間深度的立體(深度)知覺(depth perception)。其中，圖畫線索(pictorial cues)指的是在平面上以各種手法營造出深度層次感[4]。

在本研究中的平行投影與透視投影皆是由圖畫線索中的直線透視繪製，直線透視靠的是線條的交錯與消失點來傳達空間深度資訊[4]。在繪製投影圖像的技術上，又可依觀察者的視點所在位置而分。當觀察的物體如圖 1 距離視點越遠，視點觀看物

體上各點的視線幾乎形成平行線，此時稱為平行投影；反之，物體越靠近視點時，物體上各視線便會集中落於視點上，因此形成如圖 2 的透視投影。

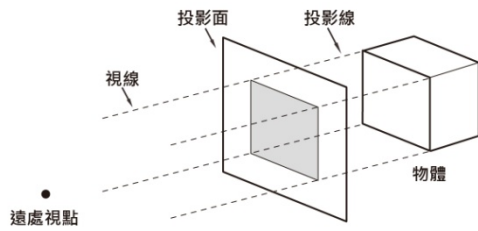


圖 1 平行投影

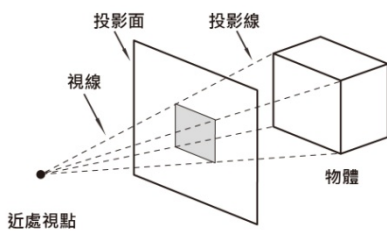


圖 2 透視投影

如表 1 所示，此二類型投影圖在繪製的功能上各有其特點，但在視覺上仍有可能造成如矛盾圖形 (Paradoxical Figure) 的錯視效果，因此本研究擬以具有互動式 3D 之輔助學習工具來協助學生釐清正投影視圖所產生的一些矛盾現象，為解題能力減少不必要的錯視誤判。

表 1 平行投影與透視投影比較表

類型	平行投影	透視投影
特性	前後大小一致	前景大、後景小
尺寸標註	較準確	依等比縮放，易產生誤差
空間知覺	不具有空間感	具有空間感
用途	工程製圖	建築外觀 室內空間
圖樣	正投影視圖 等角立體圖	一點透視圖 二點透視圖 三點透視圖

2.2 應用電腦輔助教學於圖學教學

自從 1970 年代個人電腦普及化之後，電腦輔助教學 (Computer-Aided Instruction, CAI) 不斷地被擴大研究範圍以運用到各個學習領域。尤其 90 年代後網路與多媒體的興起，快速地提昇了流通性與使用率[5]。在相關的研究發現，一套好的輔助教學工具需要具備使用的效果、便利與自主性，並透過電腦繪圖、動畫與虛擬實境的整合已達成學習目標[6]。

時至今日，由於電腦硬體設備與網路傳輸速度大幅提升，原先運用於遊戲育樂的 3D 遊戲引擎，開始將 3D 圖形顯像技術開發於網路線上遊戲，此類型軟體較常見的有 Quest 3D、Unity 3D、EON 與 Cryengine 等。近幾年來，陸續有其他學者在研究圖學相關的電腦輔助工具開發時，嘗試將 Cult 3D 軟體製作操作平台，提供網路學習版本[7]；而國外亦有將視覺化軟體系統地可視化機制運用在實體對象的正投影隱喻[8]，以及用遊戲引擎軟體 Unity 3D 製作，在軟體系統加入定向指標的概念，以協助視圖者觀看立體物件[9]。

3. 輔助工具之使用性設計

本研究為提供學生亦能在課後自我學習的互動性，在操作性與支援平台的考量下選擇以 Unity 3D 作為研究開發工具，並以普及性較高的網頁 Flash 互動模式做為本輔助學習工具，開發前端選擇以 3Ds Max 軟體建置模型，運用 Unity 3D 遊戲引擎的特點，整合成虛擬互動，並參考空間知覺的使用經驗，設計成更具有辨識力的 3D 輔助學習工具，最後再透過網路平台呈現。

3.1 學習正投影視圖的問題點與解決方法

正投影視圖的繪製內容必須包含一個等角立體圖 (圖 3a) 與三個面的視圖 (圖 3b)，在傳統教學過程中，常將圖 3b 三個視圖抽離其中一視圖，訓練學生從其他二個面與等角立體圖的關聯線索推理與解題，亦有讓學生觀察僅提供的等角立體圖再繪製出其他三面視圖 (正視圖、俯視圖、右側視圖)；或是由三面視圖反推思考正確的等角立體圖。

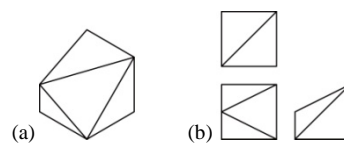


圖 3 正投影視圖，包含等角立體圖(a)、三視圖(b)

根據授課教師的經驗，初學者觀察單純以黑色線條勾勒出的立體圖，不易對該圖像產生立體空間的知覺，尤其如遇到圖 3 中一個立體圖包含有單斜面與複斜面的元素時，更容易在深度感知上產生混淆。因此教師在教授時常使用的手法有塗色、代號標註等方式，讓學生了解立體圖與各視圖之間的對應面向。

因此本研究在使用設計上亦加入教師們的經驗，將立體圖的各面向以顏色做出明確區隔，並加上文字標註，以正確對應各面的關係。圖 4 為操作視窗，視窗左邊提供一般標準的等角立體圖，視窗右邊則是以製作虛擬實境為專長的 Unity 3D 軟

體產生具互動效果的學習視窗。在學習策略上請學生從視窗左邊觀察並繪製三視圖，在推理過程中如對空間深度或對應關係有所疑惑時，即可操作視窗右邊的學習工具，運用滑鼠拖拉以旋轉立體圖像，或是點擊下方各視圖選項，找尋答案並立即釐清問題點。

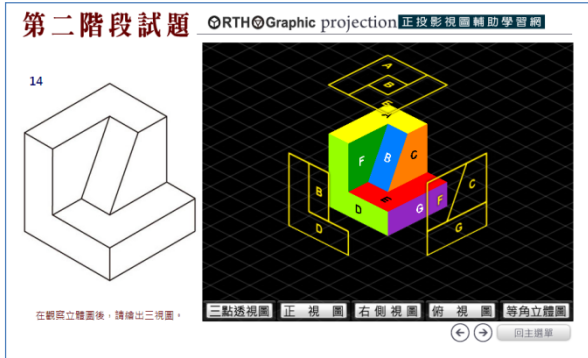


圖 4 輔助學習工具的操作視窗

3.2 輔助工具發展程序

在本研究所開發之 3D 輔助學習工具流程如圖 5 所示，是以 2D 正投影視圖（設計題型、繪製 2D 線稿）、3D 模型製作、虛擬互動式 3D 製作（場景與燈光安排、互動腳本撰寫）、網頁編輯等四項技術做整合。

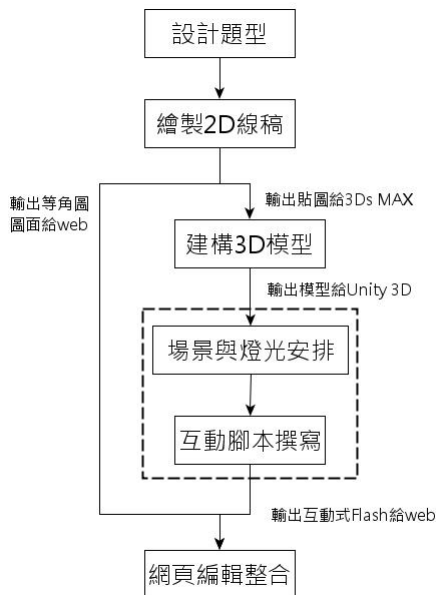


圖 5 輔助學習工具之開發流程

一、2D 正投影視圖繪製：在工業上，繪製正投影視圖講求精準、正確，因此較常使用 AutoCAD、Inventor、Pro/E 或 Solidworks。然而本研究最終是以網頁呈現，基於網頁通用格式之考量則需要選用 Illustrator。在繪製線條時，由於 Illustrator 具有智慧型參考線的輔助功能，因此很適合畫出優美正確的線條以提供給網頁圖

形格式。

二、3D 模型製作：配合正投影視圖之圖面資料，以 3Ds MAX 製作出一立體模型，並在各面設定不同材質顏色與文字代號作為各面之間區隔，輔助參考的三視圖則以透空貼圖貼上事前在 Illustrator 繪製好的影像檔，最後再將各式模型輸出 OBJ 檔案格式，OBJ 檔為 Unity 3D 可接受之 3D 模型通用格式，其特點是可以連同具時間動態之動作（animation 選項）一併完整輸出。

三、虛擬互動式 3D 製作：以 Unity 3D 將製作好的 3D 模型匯入，原則上匯入的 OBJ 檔案，亦可將 3Ds MAX 設定之模型貼圖、燈光與鏡頭位置等關聯性一併完整地帶入，然而本研究為統一各模型的鏡頭、燈光位置，僅將模型與貼圖一起匯入，鏡頭與燈光的設定選擇另外在 Unity 3D 裡重新放置。Unity 3D 完成的互動式 3D 模型，可選擇匯出給不同的使用平台例如 PC 電腦、網頁、行動裝置等，本研究中考量受測試者為高中學生，使用電腦上網比其他行動裝置有較多的機會，因此選擇以一般網頁方式呈現。

四、網頁彙整：已完成之圖面資料如 2D 正投影視圖以 JPEG 影像檔呈現、虛擬互動式 3D 則以 Flash 播放檔（.swf 格式）呈現，再使用 Dreamweaver 軟體配合 HTML 與 CSS 之網頁規範，建立網頁形式之正投影視圖資料與操作介面，並嵌入具有互動效果的 swf 檔案進行整合，以製作互動式多媒體網頁。

4. 實例：輔助學習工具之規劃與設計

本節中將藉由一模型實例介紹其設計與製作過程中，各軟體間不同特性與使用方式。

4.1 圖樣設計與選定

本研究在設計題型的難易度是依實驗對象作為考量，因此擬定受測試者為某縣立高級職業商業學校廣告設計科一年級學生，學生需對正投影視圖具有基本的先備知識，內容包含：空間三維、空間座標、第一與第三角投影法、正投影六視圖、線條虛實的意義、中心線畫法、繪圖的程序等。

教學目標則是針對正投影視圖單元的讀圖與視圖，著重在讓學生對只有黑白線條所構成的等角立體圖（如圖 3），如何在心理產生立體感，進而對立體模型的三個面（正視、右側視、俯視）有正確的投影觀念，以提升正投影圖的解題能力。

在教學策略設計上是以正投影視圖的線條特徵、意義做四大分類（表 2）：(1)具有直角特性的垂直、水平線；(2)斜角特性的單斜面；(3)斜角特性

的複斜面；(4)隱藏特性的隱藏虛線。

表 2 正投影視圖特性分類

分類	垂直線 水平線	單斜面	複斜面	隱藏 虛線
圖例				

4.2 2D 圖面繪製

透過 Illustrator 軟體的線條繪製，可以分別將等角立體圖之原型圖樣輸出.JPG 檔案給網頁編輯使用(如圖 6a)；三視圖則是在各面標註文字代號後，另外輸出具有透明背景的.PNG 格式，提供給 3Ds MAX 做為透空貼圖使用(如圖 6b)。

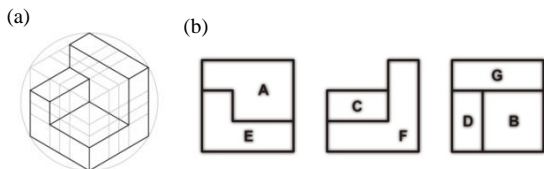


圖 6 等角立體圖與三視圖之 2D 線條稿

4.3 3D 模型製作

為協助學生增強對模型的空間知覺，依據設計原型之尺寸在 3Ds MAX 重新建置模型(圖 7)，並在模型的各面設定不同的顏色貼圖作為明確區隔，以及在模型外圍貼上 Illustrator 繪製的透空貼圖，做出模擬投影面的效果，對照貼圖上之文字編號，亦在模型上賦予相同編號，如此即可讓學生了解各面的投影關係。完成後輸出.OBJ 格式，作為 Unity 3D 軟體之 3D 物件使用。

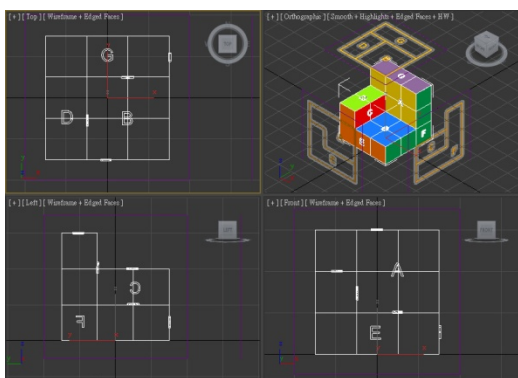


圖 7 在 3Ds MAX 之模型建置

4.4 虛擬互動整合

Unity 3D 原是为開發遊戲引擎之 3D 互動設計軟體，透過腳本 (Script) 撰寫達到控制 2D 或 3D 物件的互動效果，腳本所使用的程式語言可以選擇

Javascript 或是 C 語言來撰寫。本研究目的為提供學生正確地觀察模型的三面向，因此主要是撰寫程式以提供滑鼠對攝影機的方向、角度做正確的控制來圍繞模型觀察。其中，亦在攝影機的旋轉角度加入範圍限制，以避免在心理上，學生對物體的心象旋轉造成額外的負荷[10]。

由於 Unity 3D 提供遊戲玩家能以擬真的透視角沉浸在遊戲場景中，或是提供以概觀的直射角總覽整體場景，因此在攝影機的投射方式提供如圖 8 之正射投影 (Orthographic) 與圖 9 透視投影 (Perspective) 兩種視角選擇。

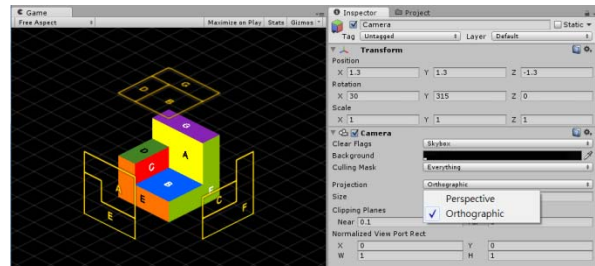


圖 8 在 Unity 3D 中，攝影機的正射投影視角

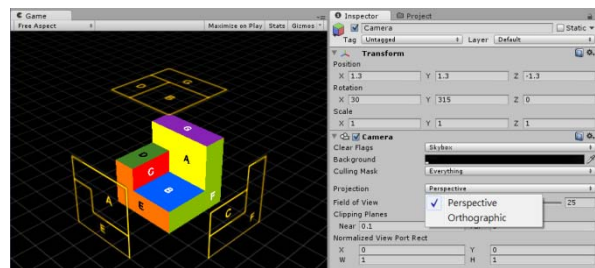


圖 9 在 Unity 3D 中，攝影機的透視投影視角

本研究為協助學生排除視覺錯視的困擾，提供學生除了正射視角以外，另一具有空間感的透射視角觀察，因此在 UI 介面設計時，加入切換攝影機視角的選項：三點透視圖、正視圖、右側視圖、俯視圖、等角立體圖，做為不同面向的觀察比較。

燈光設定方面，Unity 3D 則提供各式具有逼真效果的光源應用 (Light)，其項目包含：(1)聚光燈 (Spot Light)；(2)平行光源 (Directional Light)；(3)點光源 (Point Light)；(4)區域光源 (Area Light)。本研究中考量使學生清楚觀察模型的正視、俯視、右側視三個面向，因此分別於此模型的三面各以一盞平行光源垂直投射到模型(圖 10)，使其三面能均勻受光。

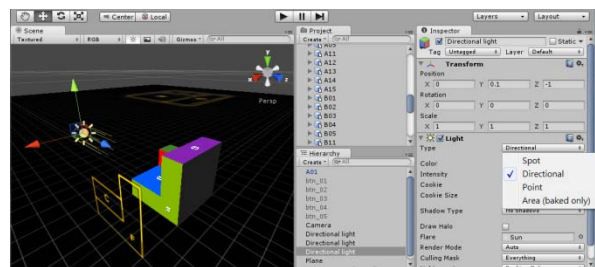


圖 10 Unity 3D 之燈光控制

最後，Unity 3D 提供多類型平台的輸出格式

(圖 11),其包含了 Web Player、PC and Mac、Flash Player、iOS、Android、Xbox 360、PS3、Wii, 因此本研究選擇以 Flash Player 格式輸出, 以利後續網頁編輯。

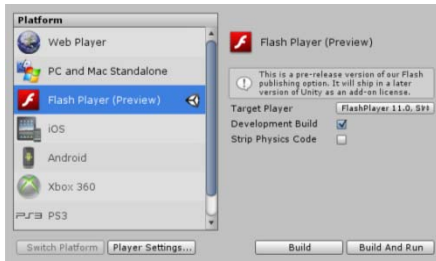


圖 11 Unity 3D 之輸出介面

4.5 網頁視覺編輯

最後,在網頁整合時配合研究者與教師討論之教學策略,在網頁首頁提供二階段實驗之選擇,第一階段由授課教師操作示範(圖 12a),每階段呈現 20 個不同樣式的等角立體圖,點選後即可進入到如圖 4 之等角立體圖操作介面;第二階段亦為 20 個不同樣式的等角立體圖(圖 12b),由學生自行操作觀察與練習。

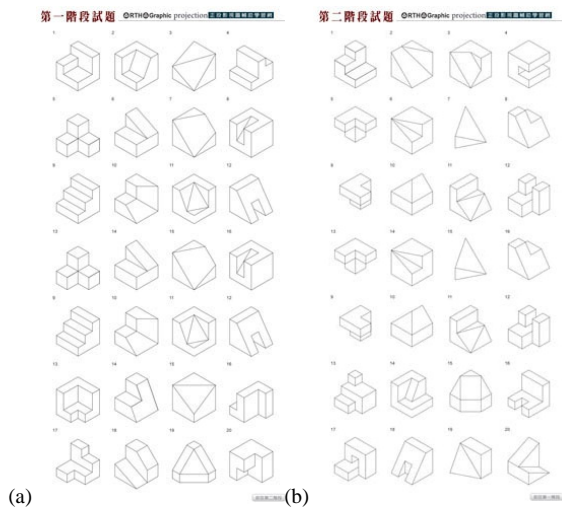


圖 12 網頁之二階段實驗畫面

5. 研究分析

為了解本研究所開發之 3D 輔助學習工具是否對學生的學習產生影響,選定以廣告設計科一年級學生為實驗對象,學生需對正投影視圖具有基本的先備知識,將學生分二組進行實驗,研究期間共有 76 位學生參與實驗,在實驗組有學生 36 位,對照組學生 40 位,在男女生比例分配上女生人數比男生多,女生有 60 人、男生共有 16 人。其中實驗組男生 8 人、女生 28 人,對照組男生 8 人、女生 32 人(表 3)。

表 3 研究受測人數統計一覽表

性別	組別	
	實驗組	對照組
男生	8	8
女生	28	32
合計	36	40

5.1 學習成效分析

本研究採用獨立樣本單因子共變數分析(one-way analysis of covariance; ANCOVA)將兩班學生的前測成績(代表學習前的視圖能力)做為共變項以進行差異校正,探討並將後測成績設為依變項,不同的教學方式的班級則是自變項,以使用 3D 輔助學習工具的班級訂為實驗組,而使用傳統課程教學做為學習方式的班級設為對照組。

在實驗分組自變項與前測成績共變項之間的交互作用中(表 4),F 值為 2.442、顯著性 p 值 = .123 > 0.05 並未達顯著水準,這表示共變數(前測成績)與依變數(後測成績)之間的關係並不會因為自變項(不同教學方式)各自處理水準的不同而有所差異,因此可以繼續進行共變數分析。

表 4 組內迴歸係數同質性檢定

	SS	df	MS	F	Sig.
分組*共變項	370.117	1	370.117	2.442	.123
誤差	10912.101	72	151.557		

經過前測成績調為 67.5 的共變量之後,在不同教學方式的分組影響下,原始的后測成績平均數分別為 79.86 與 74.87,調整後平均數分別為 80.747 與 74.078(表 5)。

表 5 不同教學方式的後測成績描述性統計量

實驗分組	人數	後測原始分數		後測調整後分數
		平均數	標準差	平均數
實驗組	36	79.86	18.07	80.747
對照組	40	74.87	19.56	74.078

註:共變量為前測成績 = 67.5

其中,觀察自變項(實驗分組)對依變項(後測成績)所造成的實驗效果(表 6),在實驗分組項目的 F 值為 5.433,顯著性 p 值為 .023 (<.05),達到顯著水準,表示後測成績的高低受到不同教學方式的實驗分組影響而有所不同。因此採用本研究的 3D 輔助學習工具的實驗組確實比使用傳統教學的對照組更有助於學生對識圖能力的提升。

表 6 學習成效之共變數分析摘要表

變異來源	SS	df	MS	F	Sig.
前測成績	15066.463	1	15066.463	97.485	.0
實驗分組	839.721	1	839.721	5.433	.023
誤差	11282.218	73	154.551		
總數	480200	76			

6. 結語

本研究依據輔助教學工具的實驗發現，實驗組使用互動式 3D 電腦輔助學習工具後，有助於受測試學生在正投影視圖的解題表現。

雖然市面上已有簡易且免費的 3D 繪圖軟體如 Google 公司出品的 SketchUp 軟體可供學生進行塑模練習，然而本研究的優勢則是提供教師與學生無需學習新軟體即可輕鬆容易地操作學習，以協助學生克服正投影視圖學習的障礙。

隨著數位媒體的迅速發展，將遊戲引擎的操作模式融入到傳統教學中，將是突破傳統黑板上單一平面的教學方式，讓學生有更多機會從虛擬 3D 模型的互動觀察中，逐漸建構起心中的空間知覺。

參考文獻

- [1] 康鳳梅、戴文雄、李金泉、吳煥昌、簡慶郎、陳憲章，「機械製圖交線與展開提昇學生空間能力之研究」，全國技術及職業教育研討會論文集，第十六卷，第一期，第 313-322 頁，2001。
- [2] 職校群科課程綱要 97 年版，取自高級職業學校群科課程資訊網：<http://course.tchcvs.tc.edu.tw>。
- [3] 簡慶郎，「學習正投影對提昇高工學生空間能力之研究」，碩士論文，國立臺灣師範大學工業教育研究所，台北，2000。
- [4] 陳一平，視覺心理學，雙葉書廊，台北，2011。
- [5] 李亞蘭，「電腦輔助教學釋義」，國家教育研究院雙語詞彙、學術名稱暨辭書資訊網：<http://terms.naer.edu.tw>。
- [6] 張萬子，「圖學網路學習系統之發展」，國立虎尾科技大學鼓勵性研究計畫成果報告 No. TCS-9204，雲林，2003。
- [7] 趙世範、方榮爵，「應用立體電腦動畫技術建置高職製圖課教學網站研究」，高雄師大學報，第十五卷，第一期，第 55-83 頁，2009。
- [8] C. Atkinson, C. Tunjic, D. Stoll, and J. Robin, "A prototype implementation of an orthographic software modeling environment", Proceedings of the 1st Workshop on View-Based, Aspect-Oriented and Orthographic Software Modelling, Article, No. 3, July 2, 2013, Montpellier, France.
- [9] T. Ziemek, S. Creem-Regehr, W. Thompson, and R. Whitaker, "Evaluating the effectiveness of orientation indicators with an awareness of individual differences," Journal ACM Transactions on Applied Perception, 9(2), Article, No. 7, 2012.
- [10] 趙世範，「基於圖學原理量化心像旋轉空間維度之實徵研究」，博士論文，國立高雄師範大學工業科技教育學系，高雄，2010。