

具檢驗手繪兩點透視立方體功能之 電腦輔助教學系統研發

陸定邦* 陳劭農**

國立成功大學工業設計系

* luhdb@mail.ncku.edu.tw

** nomoloschen@yahoo.com.tw

摘要

產品設計程序之前期階段中，手繪圖稿是許多設計師發展構想之主要媒介。目前表現技法教育多未針對建構空間概念之基本單位—正立方體—的繪製加強訓練，易使手繪透視草圖因比例失調而無法正確符合視覺經驗，進而減緩構想發展速度；此外，尺寸概念薄弱所引發之相關問題，亦常在透視圖形轉換為工程尺寸描述之過程中，出現偏離原設計想像的情況。為改善此些問題，本研究以正立方體為練習標的、傳統紙筆配合數位繪圖板為輸入介面，根據兩點透視足點法發展逆向圖法，建構一個可供學習者初階手繪概念練習與進階自我修正的電腦輔助教學系統，即時針對每一手繪立方體推算正確圖形供比對修正，可提升學習成效並增加學習資源。經查，無相類似功能之系統，具首創性；教學實驗指出，系統之使用性良好，具實用性；受測者於立方體草圖繪製上之正確率提升近二成，具有有效性。

關鍵詞：電腦輔助教學，兩點透視，手繪草圖

論文引用：陸定邦、陳劭農（2010）。具檢驗手繪兩點透視立方體功能之電腦輔助教學系統研發。《設計學報》，15（2），19-36。

一、前言

1-1 手繪草圖重要性

產品設計開發過程中，手繪構想圖一直是設計師用於表現創新構想與外觀設計的重要工具之一，透過構想圖的繪製，讓設計師能快速紀錄、比較、整理、修改並發展出新的設計構想。構想圖的繪製，除了幫助釐清與加速設計師自我思考程序、循序產生新的創意、與他人交換意見之外，對於計畫生產、宣傳和產品發展等方面亦有許多助益（康鳳梅、戴文雄、王照明，1994）。Vinod Goel（1995）指出，相較於使用電腦輔助軟體，手繪草圖方式發展構想能產生更多面向之解決方案；香港平面設計師李永詮（2004）倡導在概念構思或草圖階段的時候，仍要採用基本之手繪草圖，以避免被電腦限制各種構思之可能性；由於手繪草圖的視覺效果符合一般人視覺經驗，因此透過草圖，設計師可向沒有接受專業訓練

的客戶與工作人員進行即時的構想傳達。此外，在許多設計研究所申請或考試，以及應徵設計職位時，測驗項目除學理知識和設計成果外，常包含手繪能力之檢驗，足見無論是在電腦科技運用普遍的產業中，或是其他設計相關職位的徵才中，手繪能力依然具備關鍵重要性。

1-2 表現技法教學現狀

愈前瞻的設計工作，愈需要手繪的技能。以在設計界具領導地位的 Art Center College of Design 產品設計系為例，雖然該校電腦設備先進、設計題材前瞻，其課程內容仍非常注重手繪能力之培養。在汽車設計流程初期構想發展階段中，設計師透過大量的草圖繪製，構思汽車外觀造形、內裝配置等細節，甚至在色彩及材質表現等中後期階段裡，亦常以手繪圖快速表現構想，以避免耗費大量時間建置電腦模型。

目前表現技法課程之教學方式，普遍以傳統教學模式為主，即教師與學生在同一空間與時間中，由教師說明並示範重要繪圖觀念與技巧後，讓學生透過課中與課後練習方式，將其融會貫通。傳統教學模式在教師資源充足狀況下，具有良好的教學效用。同樣以 Art Center College of Design 產品設計系為例，在為期八個學期的修業過程中，從第一學期開始，共有連續 6 個學期的手繪表現技法課程，從基礎透視原理、透視原理應用、快速材質表現、透視草圖繪製至電腦輔助繪圖，循序漸進，培養學生紮實之手繪表達能力。每一門表現技法課程之授課時數為每週 5 小時，每位教師僅需負責指導 6 至 10 位學生，有充分的時間針對每位學生的學習需求與練習狀況進行個別指導。然而，教學資源不足的情況，卻普遍存在大多數國家之設計校系裡，一名教師常須指導 4~50 位學生，難以針對學生個別學習差異進行指導。此外，在缺乏正確參考圖面與即時檢驗工具的情況下，常造成學生在持續錯誤狀況下練習，不但難以提升練習品質，更容易導致挫折、降低學習意願，傳統教學模式之效用性亟需提升。

在培養基礎兩點透視正立方體繪製能力之訓練過程中，不論教學資源是否充足，由於欠缺檢驗圖面正確性的工具，即使是名校教師，甚至專業設計師，都僅能憑藉個人經驗指出學生所犯錯誤類型或提出修正意見而已，其與實際正確解答間之差異，若非根據透視圖法逐一檢驗，均無法得知。為了解專業人士手繪兩點透視正立方體之正確度，本研究檢驗 5 名 Art Center 設計師、2 位台灣產品設計師、與 1 位表現技法授課老師所繪製之兩點透視正立方體共 53 個，計算其錯誤類型、錯誤率與正確率。結果發現，專業人士繪製之正立方體亦有各種錯誤類型發生，平均正確率約為 30%，顯示在缺乏標準檢驗工具下，即使專業人士徒手繪製之正立方體亦非絕對趨近正確。因此，若能藉助適當電腦輔助教學系統之開發，針對個別手繪圖面提出正確解答並指出修正方向，讓學習者可以自我練習與修正，或可彌補教學資源不足或欠缺提供標準答案工具之窘境。

1-3 電腦輔助教學現狀

隨著科技的進步，電腦輔助系統逐漸導入教學中，提供學習者不受時間、空間限制之學習機會。在教學資源嚴重不足的環境下，電腦輔助教學 (Computer Aided Instruction, CAI) 成為提供學生充分學習資源的工具之一，目前已有相當多的大學將電腦輔助教學系統作為學生學習基礎學科知識的主要管道 (謝文雄, 2007)。電腦輔助教學或學習教材軟體的種類繁多, Alessi 與 Trollip (1991) 將其概分為五種類型：

1. 教導式 (tutorials)：以提供教學的環境為主，強調知識、原理、原則的傳授，以及問題解決技巧。
2. 練習式 (drill)：強調提供熟練之方式、技巧及增強記憶的環境。
3. 模擬式 (simulation)：主要是將現實生活中具危險性、需花長時間執行或花費較高的事物，透過電腦模擬方式，提供學習與練習機會，並將透過模擬練習所習得之知識技巧運用於現實生活環境。

4. 遊戲式 (games)：與練習式相同地提供熟練知識、技巧以及增強記憶的環境，但強調以遊戲的方式呈現各種問題解決、歸納推理技巧以及假設性試驗等內容，提高學習者學習意願。
5. 測驗式 (tests)：以測驗學生學習成效為主，教師利用電腦組織考題、製作題庫並隨機產生題目，以測驗學習成效是否達成預定之目標。

觀察目前電腦輔助表現技法教學相關軟體或系統，多屬教導式，以顯性知識之學科知識學習為重。然而，表現技法課程偏重隱性知識之術科練習，除基本知識理解外，更強調實務操作，而練習的品質對學習成效具有高度影響，因此須更加關注練習式、模擬式與測驗式之學習協助與系統工具開發。術科之模擬或測驗模式，應以輔助學生「自我指導」的方式建構，如此方可應付多變的未知狀況。

1-4 透視圖學之重要性

透視圖學之基礎對於表現技法課程的學習具有顯著的影響。有修習過透視基礎課程的學生，在表現技法、產品設計、專題製作等專業必修課程中較未選修者有較佳的學習成效（洪維欣，2000），接受電腦輔助教學之學生，在圖面正確性、構圖、作業要求、圖面整潔以及圖面完整性五個項目的整體評分中，比接受傳統教學者有較佳且顯著的進步。陸定邦（2005）比較數位化與傳統教學在透視圖學上之學習差異，發現數位化教學對高分群與中分群的學生有相當的學習成效，但對學習意願本即較低的低分群學生，則不因教學法之不同而對學習效果有所提升。

目前國際間對於手繪草圖之研究，多偏重於透過手繪線稿產生立體模型之轉換方式：Hod 與 Moshe（2002）發展由單一手繪平面線稿，產生造形較為簡單的幾何立體模型；Lynn（1996）所研發之系統則自動辨識手繪稿後，以貝茲曲線取代並產生立體模型；Koichi（1997）提出以手繪輸入，透過幾何拓樸方式產生較為複雜造形之繪圖系統。此三系統皆大幅度修改手繪稿之造形，使立體模型與原造形產生極大差異。有別於上述之研究，Jun 與 Hiromasa（2002）提出在盡量保留手繪曲線的條件下產生立體模型，並以手繪稿的貼圖材質呈現，雖僅適用於對稱之造形，但使用者可繪製一個圖面後得到多種視角之畫面。上述四手繪草圖系統，皆著重於手繪圖面的應用發展，但對於提高手繪圖稿之正確性，並無明顯助益。

目前台灣有關電腦輔助透視圖學教學系統工具之研究，多集中於基礎學理知識的教學，以透視原理為主，包含透視基礎、兩點透視、光影透視與投影幾何（吳君婷，1998；洪維欣，2000；丁毓佩，2004；林淑德，2004；林俊宏，2004），強調可重複學習的特性（固定的教材內容，而非具有變化之教材內容），使學習者可以在課後加強基本知識的吸收（以學科為中心而非以術科為導向），或於產生疑問時即時獲得解答（特定問題之特定解答，而非發現本身問題進而自我修正）。

1-5 立方體的重要性

任何產品造形變化之產生，均可被視為是立方體造形之分割與堆積所衍生（劉又升，1997）。山城義彥（1982）指出，無論產品之造形多麼複雜，一般而言，皆可將其還原成基本形狀來研究其造形構成之由來，而此一最原始的基本造形，便是立方體。在透視圖法的運用上，相對而論，一點透視較多運用於空間設計表現，二點透視則較常使用於產品設計，其基本圖法主要有二，即足點法與測點法，前者較常使用於對初學者之入門介紹，在尺寸觀念模糊的階段中亦可使用，而後者往往是在物件尺寸清楚定義下使用，將三面視圖轉換為立體透視圖。一般而言，構想草圖發展或展開，多採用二點透視之足點法。

1-6 研究目的

有鑑於手繪表現技法和透視圖學之基礎關鍵性，以及電腦輔助教學系統對彌補教學資源不足與自主學習之重要性，本研究將術科學習過程之特性與需求，導入電腦輔助教學系統設計中，以二點透視之足點法為基礎、正立方體為練習對象、手繪正確性之提升為目標，發展一套可即時偵錯與提出修正建議、協助學習者進行「自我指導」的電腦輔助術科學習系統。本研究發展輔助教學系統之主旨，在提供傳統兩點透視正立方體練習過程所未能提供之標準解答供學生比對以進行自我改善。至於提升圖面品質或設計觀念方面，如圖面美觀程度或設計品質等，由於牽涉其他訓練課程，故不在本研究之討論範圍。

二、逆向圖法及程序規範

使用足點法的基本要件，如圖 1 所示，包括：從上視圖觀之，畫面線 (PL) 位置 (在此為簡化圖法，特將畫面線與立方體前緣相貼合，使其前緣具有實際長度)、正立方體之單位長度 (L) 與擺放角度 (R)、繪圖者 (或觀看者) 與畫面線之距離 (線段 SA 或 SB 之長度)；從側視圖視之，足點 (FP) 位置、地平線 (HL) 高度或視點 (E) 位置、立方體與足點距離 (此圖例中係將立方體置於地面)。足點法的基本繪圖步驟包括：(1) 上視圖角度，自 S 點繪方體兩邊之平行線，交畫面線 PL 於點 LP、點 RP；自點 LP、點 RP 引垂線，交地平線 HL 於點 LVP、點 RVP；作點 S 與點 D 之連線，交 PL 線於點 X。(2) 正視圖角度，在足點 FP 之垂線上取方體邊長線段 AB 作為立方體透視圖形之前端邊線；作點 B 與點 LVP 之連線，並作點 X 之垂線，二線截點處即為該側邊透視之深度位置。(3) 循相同方法可得其餘截點，將所有截點加以連接，得立方體之透視圖形。

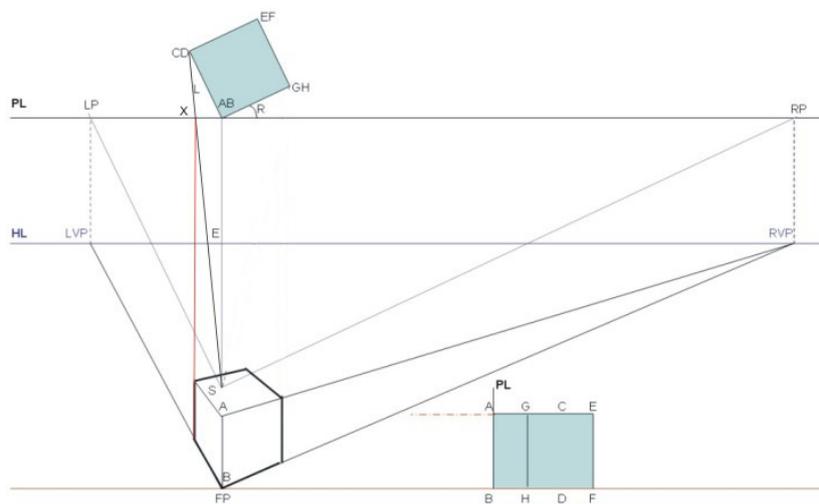


圖 1. 兩點透視足點法

若「正向」圖法可以根據三面視圖繪製出立體圖形，「逆向」操作應可從手繪立體圖形中，還原出上述基本繪圖資訊。然而，手繪草圖容易失之精準，因此在進行逆推步驟前，須先假設所繪圖形已達某種可接受之正確程度，然後定義可資參考之基準面及基準線等資訊，方能還原出立方體於空間中之水平旋轉角度。手繪立方體透視完成後，會產生八個參考點，如圖 2 所示，可將中間垂線 (線 ab) 視為視心線；中間垂線至二側邊垂線之距離較短者，且其上下方透視線會形成合理交點者視為基準面；當一側面被認為為基準面時，另一側之底線 (或頂線，若立方體高於視線) 或較遠離視平線者 (若該物件位於視線正前方) 即被定義為基準線。

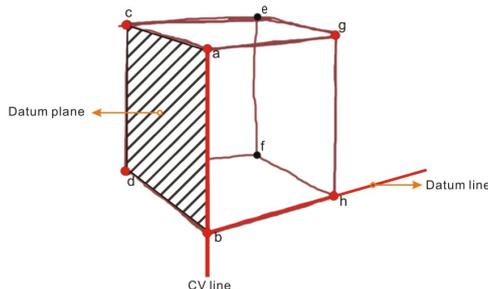


圖 2. 參考點、視心線、基準面與基準線

在上述條件之基礎上，定義參考點、視心線、基準面與基準線後，說明逆向圖法之主要步驟，如圖 3 所示：

1. 以中央垂線 ab 為視心線，自基準面所得之一側邊透視消點 (LVP) 繪垂直於視心線 ab 之水平線，得地平線 HL ，延伸基準線 bh ，交地平線 HL ，得另一側之透視消點 (RVP)。
2. 取二消點之中心點 o ，以長度 $oLVP$ 為半徑繪圓，界定視線錐範圍，交視心線 ab 之延伸線於點 s 。
3. 任取一條平行於地平線 HL 之畫面線 PL ，視心線 ab 之延伸線交畫面線 PL 於點 x ，自點 x 分別做平行於線 $sRVP$ 和線 $sLVP$ 之線段 xy 及線段 xw ，其線段長度同線段 ab 長度。
4. 延伸線段 cd 交 PL 於點 j ，作線 wj 交視心線 ab 延伸線於點 SP ，得足點位置。
5. 線 sy 交畫面線 PL 於點 k ，自點 k 繪垂線，交線 bh 於點 h' ，得點 h 之正確位置；同理得點 g 之正確位置 g' 。
6. 作線 $g'LVP$ 和線 $cLVP$ ，交於點 e' ，得點 e 之正確位置；同理得點 f 之正確位置點 f' 。
7. 作所有正確點之連線，得到正確立方體之所有十二邊邊線。

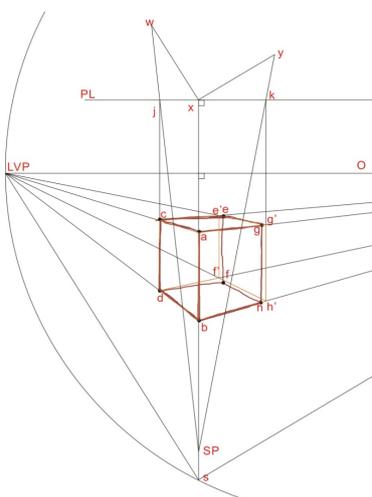


圖 3. 逆向圖法

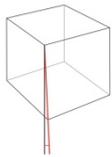
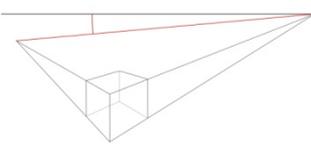
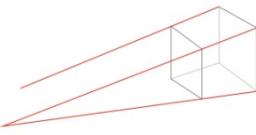
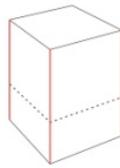
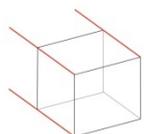
3697 圖格為簡易之二點透視輔助工具，可用以繪製各種量體之物件透視，渡邊洵三根據一般人之視覺經驗，將其修正為 3,6,8.5,7 圖格，以前述二種圖格工具所呈現最大立方體邊長（即視心線線段長度）為基本單位長，以逆向圖法反推出其足點到畫面線之距離，分別為 1.7 和 2.1 個單位長。根據具二十年表現技法教學經驗且著有專書之資深教師指出，將畫面線與立方體前沿相貼合時，不論是採用 1.7 或 2.1 個單位長的足點到畫面線距離，在運用足點法繪製大量體物件時，均會有明顯之比例失調情況發生，經

試驗以不同距離所呈現之視覺經驗，最佳足點到畫面線距離約為四個立方體之邊長，本研究將以其作為足點與畫面線間距離之基本設定。

為順遂逆向圖法之進行，必須提高手繪草圖之正準性，因此須加入偵錯機制、錯誤提示和修正建議。手繪正立方體之透視錯誤類型可概分為七大類，參考表 1：垂直線歪斜、視平線歪斜、反透視、消失線平行、多消失點、超出視線錐、立方體比例失調（陸定邦、楊彩玲，2002）。其中，垂直線歪斜又可細分為視心線歪斜（即位於前方中央位置之垂直線歪斜），與非視心線歪斜二種，為方便討論，前者稱之為「視心線歪斜」，後者則仍以「垂直線歪斜」稱之；此外，立方體比例失調又可細分為「過高」和「過扁」二種狀況。各錯誤類型之偵錯方式規範如下：

1. 視心線歪斜：視心線與圖紙底緣垂線之夾角大於 X° 時（人眼正常視力狀況下之視銳角為 1° ，Holladay, 1997；本研究採較寬鬆之標準，以正常視力之一半，即 $\pm 2^\circ$ 為預設值，可調整）。
2. 垂直線歪斜：視心線外的任何垂直線之歪斜角度大於 X° 時（預設值為 $\pm 2^\circ$ ，可調整）。
3. 視平線歪斜：視平線之歪斜角度大於 Y° （預設值為 $\pm 2^\circ$ ，可調整）。
4. 反透視：視心線線段長度短於任何其它垂直線線段長。
5. 消失線平行：視心線線段長度等於任何其它垂直線段長。
6. 多消失點：以視心線線段位於立方體中央位置之端點為基點，任一側各三條之透視平行線產生二個交點，且第一個交點到基點之距離與二個交點間之距離比例小於 Z （預設值為 1.0，可調整）。
7. 超出視線錐：最上方或最下方兩線段之夾角小於 90° 。
8. 正立方體過高：視心線線段長度大於最左與最右兩垂直線間距離。
9. 正立方體過扁：視心線線段長度小於任何非垂直線段之長度。

表 1. 正立方體之透視錯誤類型

錯誤類型	示意圖	錯誤類型	示意圖
1.垂直線歪斜		5.多消失點	
2.視平線歪斜		6.超出視線錐	
3.反透視		7.比例失調	
4.消失線平行			

手繪圖難免會有所不精準，錯誤類型偵錯規範之可調整參數 (X,Y,Z) 可視為容忍裕度，系統使用者可視個人練習進程，自行調整精準度。當錯誤情形超出容忍範圍時，提示錯誤位置及其類型。為方便系統使用者了解錯誤所在以進行自我修正，以及運用該工具統計學習者常犯錯誤，特別根據圖 2 之參考點，將修正建議之項目細分為 17 項，參考表 2。

表 2. 錯誤類型與修正建議對照表

錯誤類型	修正建議	錯誤類型	修正建議
視心線歪斜	(1) 前方垂直線歪斜	超出視線錐	(8) 角DBH超出視線錐
垂直線歪斜	(2) 左方垂直線歪斜		(9) 角CAG超出視線錐
	(3) 後方垂直線歪斜	多消失點	(10) 平行線未收斂至右消失點
	(4) 右方垂直線歪斜		(11) 平行線未收斂至左消失點
反透視	(5) AG、BH反透視	比例失調	(12) 正立方體過高
	(6) AC、BD反透視		(13) 正立方體過扁
視平線歪斜	(7) 視平線歪斜	消失線平行	(14) AG、BH平行
			(15) AC、BD平行

三、系統構件與流程介面

本研究系統之主要構件有四，包括：一輸入裝置、一顯像裝置，一處理裝置，以及一操作軟體，如圖 4 所示。輸入裝置係採用 Intuos 3 繪圖板或其它等效裝置為輸入工具，使用者可依個人習慣，使用感應筆直接於繪圖板上作圖，或將紙張鋪設其上，使用墨水筆於紙面作圖進行輸入工作；顯像裝置可以是一般僅提供顯像功能的電腦螢幕，亦可以是取代繪圖板作用的觸控式螢幕或電腦，提供更為直接、便利之輸入方式；處理裝置可為一般電腦或觸控螢幕式電腦，後者之價格較高，難以針對多人同時測試，故於本研究之實驗中採用前者；操作軟體可分為「初階練習系統」與「進階修正系統」二部份，為本研究之核心所在，詳細說明於下：



圖 4. 系統構件與操作模式

3-1 初階練習系統

發展之核心概念為「觀察與記憶」，係提供可選擇之參考圖面予使用者觀察與描繪，以建立使用者對於立方體特定角度與空間位置的觀察力、眼手協調能力及想像力。根據視線錐範圍，系統提供五種水

平旋轉角度（15、30、45、60、75）和五種仰俯角度（30、15、0、-15、-30），共 25 個標準正立方體空間形態透視範例供使用者選用，以協助使用者建立正確之正立方體空間概念。初階練習系統之基本操作步驟說明於下：

1. 進入系統：打開 Perspective Practice 初階練習系統（圖 5 右上角所框出畫面）。
2. 選擇視角：於左上角之參考圖面選擇區域中，選擇欲練習繪製之正立方體水平旋轉角度 A 與仰俯角度 B，然後點擊 Load Reference（讀取參考畫面），選擇區域之右方即顯現該特定角度之正立方體透視圖形，使用者亦可勾選 Hide Reference 隱藏參考圖面，以考驗自己對於該透視圖形之記憶、想像或理解能力。
3. 繪圖練習：透過觸控筆或傳統紙筆，於繪圖區域中繪製該特定角度之正立方體線圖。
4. 圖形比對：勾選 Correct State，以手動點擊輸入或由系統自行判斷輸入手繪圖形與正確圖形之比對軸線端點，即圖 6(a)所示之點 A、點 B 以及點 a、點 b。
5. 圖面疊置：點擊 Call Image 並勾選 Show Map，正確圖面與手繪圖面重疊顯示供比較修正，如圖 6(b)所示。
6. 清除畫面：點擊 Clear Stage 以清除畫面重新作圖輸入，進行下一回練習。
7. 離開系統：關閉初階練習系統。

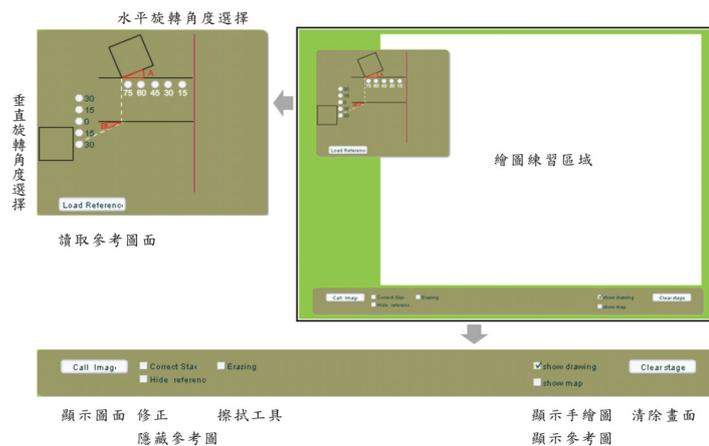


圖 5. 初階練習系統之操作介面與可選項目

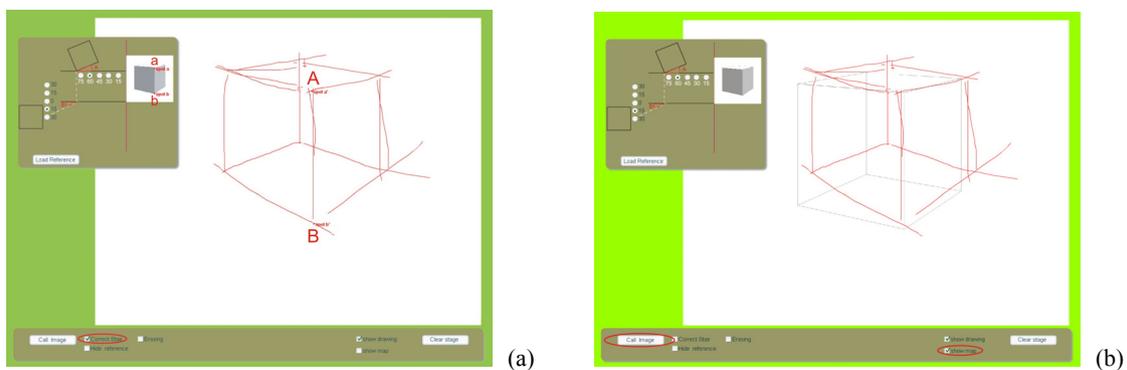


圖 6. 初階練習系統操作介面：(a) 點擊輸入比對軸線之端點位置；(b) 正確與手繪圖面之重疊比較

3-2 進階修正系統

發展之核心概念為「想像與求證」，使用者可自訂透視角度，由系統偵測並指出錯誤所在，然後建立正確圖形以供修正參考，其主要用意是提高使用者練習想像角度之手繪立方體圖形正確性，其基本操作步驟說明於下：

1. 進入系統：開啟 Perspective Practice 修正系統（圖 7(a)左上角所顯示之畫面）。
2. 基本設定：可依照使用者本身之能力或需求，調整手繪錯誤之容許程度，包括垂直線歪斜角度（X）、視平線歪斜角度（Y）、多消失點誤差（Z）三項。
3. 繪圖練習：透過輸入裝置於繪圖區中繪製想像角度之正立方體線圖。
4. 輸入參考點：勾選 Locating Spots，依序標訂所繪立方體之八個角點位置，如圖 7(b)，過程中遇有錯誤，可點擊 Clear Spot 清除已輸入座標點，然後重新輸入。
5. 修正指示：點擊 Correcting，建議修正之項目會顯示於畫面右方黃色 System Message 區域，勾選 Chinese Message 可顯示中文訊息（系統預設為英文），勾選 Hide Message 可隱藏訊息以訓練自行發掘問題之能力。
6. 逐步修正：點擊 Clear Stage 清除畫面圖形，決定是否需要調整「基本設定」，然後重複「繪圖練習」、「輸入參考點」、「修正指示」等步驟，直至無任何錯誤發生。
7. 正確顯示：點擊 Re-standardize，系統以藍色線條顯示該透視角度之標準正立方體解答，如圖 8 所示，提供使用者比對細節差異與修正調整。
8. 計算百分比：點擊 Calculate，系統根據手繪正立方體與標準正立方體之面積，計算誤差百分比。
9. 儲存資料：點擊 Save Data，儲存練習資料作為個人或群體之統計資料分析基礎。
10. 離開系統：關閉進階修正系統。

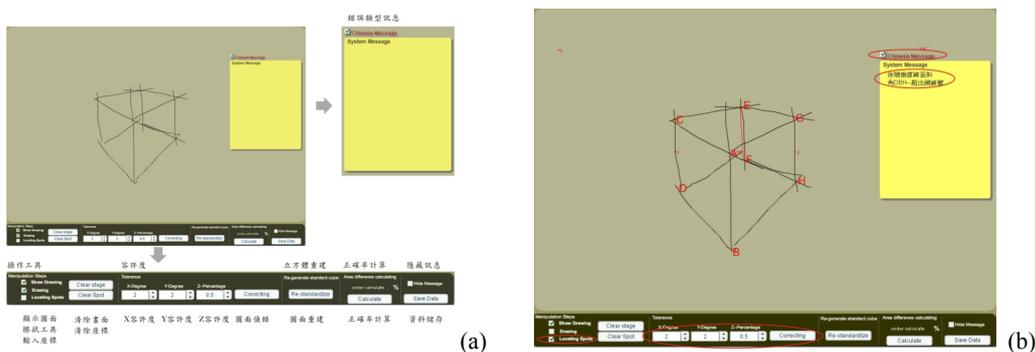


圖 7. 進階修正系統操作介面：(a) 進階系統功能選項；(b) 角點標訂與修正指示

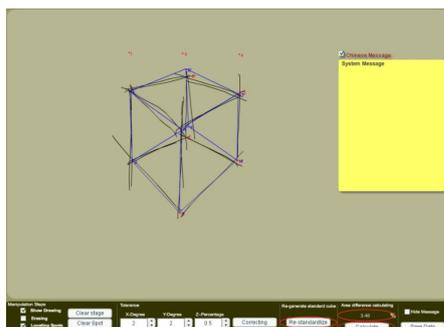


圖 8. 正確圖形之貼合顯示

四、系統功用檢視

為了解系統功用，以尚未接受過透視圖學或表現技法基本訓練之工業設計系大一學生為對象進行相關測試，以避免先前學習經驗影響實驗結果；由於工程圖學為透視圖學與表現技法之前置課程，且對透視圖學之學習具相當程度影響，故本研究依據學生大一上學期工程圖學成績，將學生分為實驗與對照二組進行教學實驗，並透過統計方法檢驗二群組，確保實驗組與對照組學生於實驗前，在圖學知識方面無顯著差異，藉此了解輔助教學系統之使用性、實用性，以及對訓練兩點透視正立方體手繪能力之效能性。

教學實驗的進行，配合實驗對象（國立成功大學工業設計學系大一生）學習進度於下半學年表現技法課程中實施。學期開始之前五週，實驗組與對照組學生共同接受基礎學理課程，並於第六週接受實驗前立方體繪製測驗；第 7 週至第 12 週，二組學生除共同接受老師指導外，實驗組學生須透過輔助教學系統練習立方體繪製，對照組學生則以傳統模式練習；第 13 週時，兩組學生再次接受立方體繪製測驗作為實驗後之成績。

前 5 週之課程部份係在一般教室進行，實驗部份則於電腦室中進行。授課老師教授足點法、3697 圖格應用等各種基本透視學理，學生有充足時間根據所學練習正立方體在各指定角度之透視圖形，因為傳統教學方式難以提供正確答案，故學習者之手繪表現會充分反應出其在傳統教學法中之常犯錯誤類型。第 6 週進行之基本學理考試，其中一題即為事前告知必考之「立方體於指定空間位置與角度之手繪線圖」，測驗實驗前二組學生繪圖能力水準狀況。

第七週開始展開為期五週、每週五十分鐘之系統訓練與使用課程。輔助教學系統採用 Intuos 3 繪圖板為輸入工具，使用者可依個人習慣，使用感應筆直接於繪圖板作圖，或使用墨水筆於紙面作圖。在第 7 週中介紹「初階練習系統」和「進階修正系統」之操作方式，讓學生熟悉操作方式。第 8 週和第 9 週針對「初階練習系統」練習，第 10 週到第 12 週練習「進階修正系統」並於結束後，請學生繪製與前次考試題目相同之立方體手繪線圖，由研究助理利用「進階修正系統」將所得紙面圖形結果輸入系統並加以儲存統計，此資料即為實驗結果。第 13 週請受測者填寫「新系統之使用性滿意度調查問卷」。對照組學生亦同步展開為期五週、每週 50 分鐘之正立方體繪製練習，採用傳統模式以紙筆為練習工具，且於練習結束後繪製與實驗組相同之立方體手繪線圖，作為實驗對照數據。

對照組學生人數共計 18 人，其中 1 人因測驗缺席而剔除；實驗組學生人數計有 22 人，其中 5 人因無法參與所有訓練與實驗過程而被剔除於統計資料之外，最後有效樣本計有對照組與實驗組各 17 人，所有統計資料係根據有效樣本進行之。

以「進階修正系統」為量測工具、系統預設之容許度值（ $\pm 2^\circ$ ）為標準、偵錯所提之 15 項修正建議為指標，參考表 2，使用者測驗時繪製之立方體個數為分母，系統判斷單一錯誤類型出現之次數為分子，計算後即為該項錯誤類型之錯誤率。例如：在個別受測者所繪製之五個立方體圖形中，三個立方體上出現垂直線歪斜之錯誤，該受測者於該錯誤類型項目之錯誤率為 0.6（=60%）。量測結果顯示，消失線平行之二個錯誤項目（AG、BH 平行與 AC、BD 平行）未曾發生，故於後續統計分析中予以省略，指標數量向下修正為 13 項。此外，本研究亦平行記錄「正確率」，正確率之計算方式乃以單一圖面中，無任何錯誤類型（共 13 項）發生之立方體個數，佔總圖面數量之百分比值；由於錯誤率與正確率所計算之對象與條件皆不同、代表之意義亦不相同，分析過程中將分別比較錯誤率與正確率在實驗前後之差異。

檢視新系統功用所採取之方法包括：整體分析、分群探討與使用滿意度調查三部分，分述於下。為方便討論，統計分析過程採用之「傳統練習」與「進階練習後」資料，分別稱其為「實驗前」與「實驗

後」資料。將所獲得之各項數據透過 SPSS 統計軟體進行同質性檢定、單因子變異數分析 (one-way ANOVA) 以及成對 t 檢定 (paired-samples t -test)，以了解實驗前後受測者繪圖能力之進步程度。

4-1 整體分析

首先檢驗實驗組和對照組學生之工程圖學成績，如表 3，結果顯示二組學生之工程圖學成績 ($Sig.=0.418$) 之 $Sig.$ 值未達顯著差異水準 ($Sig.<0.05$)，得知二組學生實驗前，在圖學知識方面無顯著差異，驗證學生分群之合理性。

根據實驗組實驗前後各錯誤類型發生之錯誤率分析，如圖 9 所示，可了解傳統教學方式下，學生最易犯之錯誤類型分別是：視平線歪斜、多消失點、(左方)垂直線歪斜、比例失調(過高)。

學生使用系統練習後，在反透視及超出視線錐此二項錯誤類型上完全消失，垂直線歪斜之發生率亦大幅降低，由於測驗以繪製任意角度之立方體為主，造成在 AC、BD 反透視以及立方體偏高等二項錯誤類型之發生百分比略為提高，就整體繪圖水準而言，不但具備繪製任意角度立方體之能力，且在正確率上有所進步；此外，視平線歪斜是職業設計師亦難以發現之問題點，使用本系統後，可有效改善之。

表 3. 實驗組對照組初始能力比較-工程圖學成績

	平均成績	t	$Sig.$ (2-tailed)
實驗組	75.59	0.832	0.418
對照組	75.06		

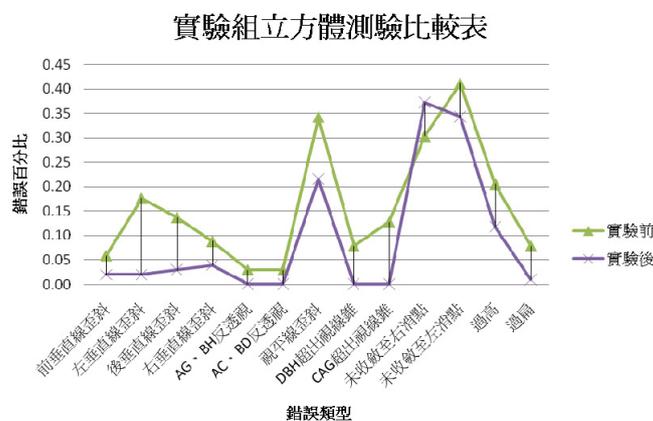


圖 9. 整體受測者使用初階練習系統之前與之後各錯誤類型之錯誤率分析

整體而言，使用本系統軟體確實可以提升整體受測者之手繪能力，部份錯誤類型 (第 5、6、8、9 四項) 之發生情況可以降至最低之程度，且整體繪圖能力會隨本系統使用時間之增加而提高。然而，亦發現在第 10 項 (平行線未收斂至右消失點)、第 11 項 (平行線未收斂至左消失點) 出現些許退步之狀況，其原因可能在受測者對立方體後方「隱藏點」之掌握能力不佳。由於以往欠缺標準答案可供比對，故此類問題是難以在教學過程中或在自行練習中發覺，而本系統可協助發覺並分析問題。

檢驗受測者使用電腦輔助教學系統前後繪圖能力差異程度，將實驗組各類型錯誤百分比累計與正確率進行成對 t 檢定，由檢驗結果，如表 4，得出錯誤百分比累計與正確率二項目皆產生顯著差異 ($Sig.<0.05$)，可知輔助教學系統對於降低學生立方體繪製錯誤率具顯著效用。若以實驗前之整體正確率平均數 (0.15) 為基準，與實驗後之整體正確率平均數 (0.34) 進行比較，本系統可有效提升正確率近二成 (19%)。

進一步比較實驗組對照組學生，在實驗前、後之圖面正確性，以成對 t 檢定分析實驗前後，如表 5、6 所示，對照組與實驗組學生之繪圖能力的差異，發現實驗前二組學生之繪圖能力無顯著差異，而實驗後之能力差異達顯著水準，再次證明輔助教學系統具實質效用。

表 4. 軟體使用前後錯誤類型百分比累計與正確率比較

	平均		成對 t 檢定	
	實驗前	實驗後	t	Sig. (2-tailed)
錯誤率	2.07	1.17	-3.336	0.004
正確率	0.15	0.34	-2.579	0.020

表 5. 實驗前實驗組對照組繪圖能力檢驗

	錯誤百分比累計平均	t	Sig. (2-tailed)
實驗組	2.07	-0.721	0.481
對照組	2.23		

表 6. 實驗後實驗組對照組繪圖能力檢驗

	錯誤百分比累計平均	t	Sig. (2-tailed)
實驗組	1.17	-3.293	0.005
對照組	2.19		

4-2 分群探討

本研究進一步將 17 名受測者依其工程圖學成績前 30% 為高分群、後 30% 為低分群（30% 之比例介於 25% 與 33% 之間，取其間之值），將對照組與實驗組細分為三群體，比較不同程度學生之學習成效。

(1) 高分群學習成效

觀察高分群測驗錯誤類型百分比分析表，如圖 10，與成對 t 檢定檢驗結果，如表 7，得知錯誤百分比（Sig.=0.101）與正確率（Sig.=0.079）之 Sig. 值皆未達顯著水準（Sig.<0.05），得知高分群學生使用輔助教學系統後，正立方體繪製之錯誤百分比與正確率平均值進步的狀況皆未達顯著。

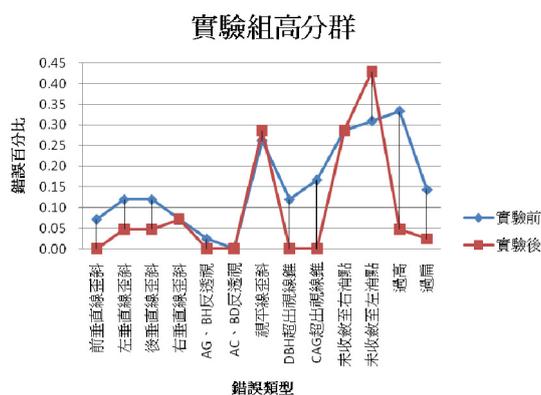


圖 10. 實驗組高分群立方體測驗分析

表 7. 實驗前後實驗組錯誤類型百分比累計與正確率比較-高分群

	平均		成對 t 檢定	
	實驗前	實驗後	t	Sig. (2-tailed)
錯誤百分比累計	2.07	1.03	-2.123	0.101
正確率	0.13	0.4	-2.340	0.079

以成對 t 檢定分析實驗前後，如表 8、9 所示，對照組與實驗組高分群學生之繪圖能力的差異，得知實驗前後二組學生之繪圖能力差異程度未達顯著水準。

表 8. 實驗前實驗組對照組繪圖能力比較-高分群

	錯誤百分比累計平均	<i>t</i>	<i>Sig.</i> (2-tailed)
實驗組	2.07	-0.140	0.895
對照組	2.13		

表 9. 實驗後實驗組對照組繪圖能力比較-高分群

	錯誤百分比累計平均	<i>t</i>	<i>Sig.</i> (2-tailed)
實驗組	1.03	-1.397	0.235
對照組	1.43		

(2) 中分群學習成效

觀察中分群測驗錯誤類型百分比分析表，參考圖 11，與成對 t 檢定檢驗結果，參考表 10，得知錯誤百分比 (*Sig.*=0.777) 與正確率 (*Sig.*=0.877) 之 *Sig.* 值皆未達顯著水準 (*Sig.*<0.05)，顯示輔助教學軟體對於中分組學生在兩點透視正立方體繪製學習上未具明顯幫助。

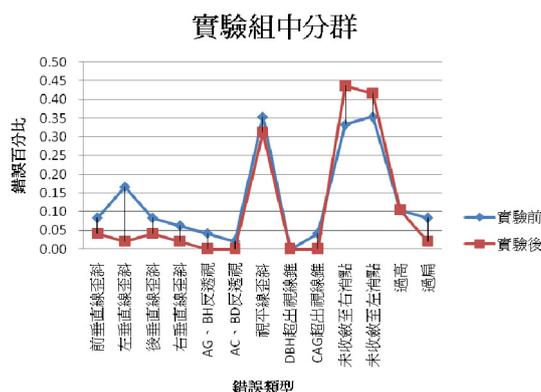


圖 11. 實驗組中分群立方體測驗分析

表 10. 實驗前後實驗組錯誤類型百分比累計與正確率比較-中分群

	平均		成對 <i>t</i> 檢定	
	實驗前	實驗後	<i>t</i>	<i>Sig.</i> (2-tailed)
錯誤百分比累計	1.50	1.40	-0.296	0.777
正確率	0.26	0.29	-0.161	0.877

成對 t 檢定分析實驗前後，如表 11、12 所示，對照組與實驗組中分群學生繪圖能力差異，發現實驗前二組學生繪圖能力無顯著差異，而實驗後能力差異達顯著水準，證明輔助教學系統對中分群學生具實質效用。

表 11. 實驗前實驗組對照組繪圖能力比較-中分群

	錯誤百分比累計平均	<i>t</i>	<i>Sig.</i> (2-tailed)
實驗組	1.50	-1.382	0.216
對照組	1.95		

表 12. 實驗後實驗組對照組繪圖能力比較-中分群

	錯誤百分比累計平均	<i>t</i>	<i>Sig.</i> (2-tailed)
實驗組	1.40	-4.446	0.004
對照組	2.33		

(3) 低分群學習成效

低分群測驗錯誤類型百分比分析表，參考圖 12，與成對 t 檢定檢驗結果顯示，參考表 13，錯誤百分比 ($Sig.=0.001$) 與正確率 ($Sig.=0.004$) 之 $Sig.$ 值皆達顯著水準 ($Sig.<0.05$)，顯示使用電腦輔助教學系統後，對於低分群學生修正正立方體繪製之錯誤與提高正確率二方面皆具顯著的效用。

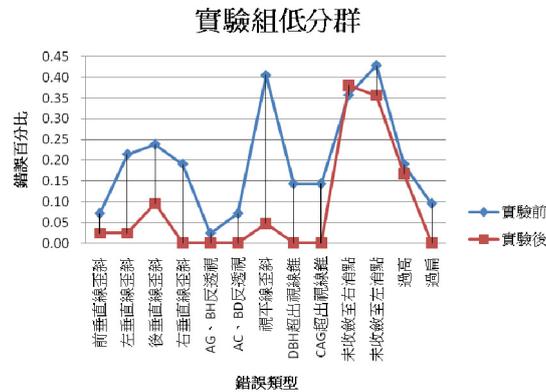


圖 12. 實驗組低分群立方體測驗分析

表 13. 實驗前後實驗組錯誤類型百分比累計與正確率比較-低分群

	平均		成對 t 檢定	
	實驗前	實驗後	t	$Sig.$ (2-tailed)
錯誤百分比累計	2.87	0.97	-7.972	0.001
正確率	0.00	0.37	-5.902	0.004

以成對 t 檢定分析實驗前後，如表 14、15 所示，對照組與實驗組低分群學生之繪圖能力的差異，得知實驗前後二組學生之繪圖能力差異程度未達顯著水準。

表 14. 實驗前實驗組對照組繪圖能力比較-低分群

	錯誤百分比累計平均	t	$Sig.$ (2-tailed)
實驗組	2.87	0.445	0.679
對照組	2.70		

表 15. 實驗後實驗組對照組繪圖能力比較-低分群

	錯誤百分比累計平均	t	$Sig.$ (2-tailed)
實驗組	0.97	-1.869	0.135
對照組	2.73		

受測學生在經過六週共六小時輔助教學系統練習後，立方體的繪製能力有顯著進步，同時錯誤類型之發生百分比亦有明顯改善，其中以反透視以及超出視線錐二項目之進步狀況最為明顯，證明輔助教學系統除可增進繪圖能力之外，亦可幫助減少錯誤類型之發生機率。進一步檢視高、中、低三分群之學習成效，高分群學生經輔助教學系統練習後，在正確率項目中，相較於中、低分群皆有最佳之表現 (40%)，中分群於使用輔助教學系統後，在錯誤百分比累計項目上有小幅進步；此二群學生在垂直線歪斜項目中有穩定的進步，且在反透視與超出視線錐二錯誤類型上之發生率皆為零，顯示電腦輔助教學系統對於特定錯誤類型之學習有所幫助；低分群於輔助教學系統使用後，在錯誤百分比累計與正確率二方面均產生顯著進步，得知電腦輔助教學系統對於低分群學生之立方體繪製學習，具有最佳之成效。綜上而論，學生學習透視圖學基礎觀念時，使用輔助繪圖系統可有效提高學生學習效果。

4-3 使用滿意度調查

分析受測者之使用性滿意度問卷結果統計，可知受測者對於本繪圖輔助系統之使用感到滿意。進一步觀察受測者對於初、高階練習系統各細項功能之滿意度，可獲知以下結果：

初階練習系統之使用滿意度分析結果指出：61.9%的受測者認為在仰、俯角立方體繪製上具正面的改善助益；有 42.9%的受測者表示，在立方體水平旋轉練習上有所助益。

進階修正系統之使用滿意度分析結果顯示：81%的受測學生認為錯誤類型檢查對於繪圖的學習有所助益；正立方體重建功能對 52.4%的受測者有所幫助；僅有 19%的受測學生認為錯誤百分比與使用記錄功能有正面的效果。

五、結論與建議

本研究以兩點透視足點法為基礎，發展電腦輔助繪圖系統，提出客觀判斷工具和修正建議，經教學實驗驗證，可獲致以下四點結論：

1. 本研究建構出適用於術科教學模式之電腦輔助教學系統工具，可針對透視圖學習作特性，提供正確繪圖答案與修正建議，讓學習者更有效地進行自主學習與改善。
2. 本系統提出逆向圖法，由透視圖面回推正確工程圖面，並重建標準透視圖供使用者比較與修正，經實驗證明此圖法係可行且有效。
3. 本研究發展之輔助繪圖系統，根據術科教學核心概念—「觀察與記憶」、「想像與求證」—將學習內容分為初階、進階二部分，分段訓練之，先培養基本概念，再偵測手繪立方體錯誤類型，進而提供學生正確答案作為修正依據，可有效提升學習效能。
4. 本研究所發展之輔助繪圖系統，實際應用於教學所得之成果顯示，實驗組整體繪圖正確率提升約 19%，為實驗前正確率之 2.35 倍，並與對照組具有顯著差異；在高、中、低三分群學生中，實驗組中、低分群學生分別與對照組存在顯著差異，且實驗組低分群學生之正確率由 0%提升至 36.6%，驗證本系統具有有效性。

由於本研究所建置之繪圖系統為創新之嘗試，初步努力在了解系統之可行性、實用性與效用性等特性，故內容僅含兩點透視正立方體之繪圖練習。後續可增加繪圖練習之內容，如圓柱、圓錐、角錐等幾何造形之練習與修正，將可更加完整、有效的提升使用者之學習成效與系統效用。

誌謝

本研究承國科會（計畫編號：NSC 97-2221-E-006-162-MY2）之計畫贊助，謹此致謝。

參考文獻

1. Alessi, S. M., & Trollip, S. R. (1991). *Computer-based instruction: Methods and development* (2nd ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.

2. Lipson, H., & Shpitalni, M. (2002). Correlation-based reconstruction of a 3D object from a single freehand sketch. *Proceedings of the AAAI Spring Symposium Series - Sketch Understanding* (pp. 99-104). Cambridge: AAAI Press.
3. Holladay, J. T. (1997). Proper method for calculating average visual acuity. *Journal of Refractive Surgery*, 13(4), 388-391.
4. Mitani, J., Suzuki, H., & Kimura, F. (2002). *3D sketch: Sketch-based model reconstruction and rendering*. Norwell, MA: Kluwer Academic Publishers.
5. Matsuda, K., Sugishita, S., Xu, Z., Kondo, K., Sato, H., & Shimada, S. (1997). *Freehand sketch system for 3D geometric modeling*. Washington, DC: IEEE Computer Society.
6. Egli, L., Bruderlin, B. D., & Elber, G. (1996). *Sketching as a solid modeling tool*. New York: ACM
7. Goel, V. (1995). *Sketches of thought*. Cambridge, Mass: MIT Press.
8. 丁毓佩 (2004)。術科電子化教學之教學成效探討-以表現技法為例。未出版之碩士論文，國立成功大學工業設計研究所，台南市。
Ting, Y. P. (2004). *An educational effectiveness study on digitalization of study courses: Using presentation techniques courses as an example*. Unpublished master's thesis, National Cheng Kung University, Tainan, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
9. 山城義彥 (1982)。最新透視圖技法續編 (吳宗鎮譯)。台北：北屋。
Yoshihiko, Y. (1982). *Latest presentation technique* (Zong-Jhen Wu, trans.). Taipei: North House. [in Chinese, semantic translation]
10. 李永銓 (2004)。李永銓設計路。台北市：長松文化。
Li, T. (2004). *Tommy Li's design road*. Taipei: Xfuns. [in Chinese, semantic translation]
11. 吳君婷 (1998)。透視基礎教學-兩點透視圖法之電腦輔助教學軟體的研究與設計。未出版之碩士論文，大同工學院工業設計研究所，台北市。
Wu, C. T. (1998). *The research and design of computer assisted instruction*. Unpublished master's thesis, Tatung University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
12. 林俊宏 (2004)。投影幾何之電腦輔助教學設計與成效研究。未出版之碩士論文，大同大學工業設計研究所，台北市。
Lin, C. H. (2004). *The effectiveness and design of computer-assisted instruction for descriptive geometry*. Unpublished master's thesis, Tatung University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
13. 林淑德 (2004)。電腦輔助光影透視教學之設計與研究。未出版之碩士論文，大同大學工業設計研究所，台北市。
Lin, S. T. (2004). *The design and research of computer assisted instruction for light- shadow perspective drawing*. Unpublished master's thesis, Tatung University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
14. 洪維欣 (2000)。電腦輔助透視基礎教學軟體的設計與成效之研究。未出版之碩士論文，大同大學工業設計研究所，台北市。
Hong, W. S. (2000). *The research of design and effectiveness of computer assisted instruction for perspective*. Unpublished master's thesis, Tatung University, Taipei, Taiwan. [in Chinese, semantic translation]
15. 謝文雄 (2007)。95 學年大專校院數位學習訪視計畫摘要報告書。台北市：教育部電算中心。

-
- Hsieh, W. S. (2007). *2006 College e-learning program inquire report*. Taipei: Computer Center of M.O.E.. [in Chinese, semantic translation]
16. 陸定邦、楊彩玲 (2002)。 *創意表現技法*。台北市：全華。
- Luh, D. B., & Yang, T. L. (2002). *Presentation techniques for creative ideas*. Taipei: OpenTech. [in Chinese, semantic translation]
17. 陸定邦、丁毓佩、張嘉玲 (2005)。 *術科數位化學習成效探討-以表現技法課程為例*。設計學研究，8(1)，25-37。
- Luh, D. B., Ting, Y. P., & Chang, C. L. (2005). Effectiveness of skill learning through digitalization: Using presentation techniques course as an example. *Journal of Design Science*, 8(1), 25-37. [in Chinese, semantic translation]
18. 康鳳梅、戴文雄、王照明 (1994)。 *我國工業技術人力所需知識建構之研究-機械製圖業* (行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告，NSC-82-0111-S-003-059.)。台北市：國立台灣師範大學。
- Kang, F. M., Dai, W. S., & Wang, C. M. (1994). *The research of Taiwan industry technical workforce essential knowledge construction- mechanical drawing*. (National Science Council research report, NSC-82-0111-S-003-059). Taipei: National Taiwan Normal University. [in Chinese, semantic translation]
19. 劉又升 (1997)。 *設計的表現技法*。台北市：六合。
- Liu, Y. S. (1997). *Presentation techniques for design*. Taipei: Liuho. [in Chinese, semantic translation]

Developing a Software System to Examine Cubes Drawn via Two-Point Perspective Approach

Ding-Bang Luh* Shao-Nung Chen**

Department of Industrial Design, National Cheng Kung University

* luhdb@mail.ncku.edu.tw

** nomoloschen@yahoo.com.tw

Abstract

Freehand sketch is a central medium employed by designers during early stages of product design. Due to the lack of sketching practices on the fundamental spatial conception construction unit - cube, freehand sketches were usually unproportionally drawn which do not match visual experience and slow down the concept development process. Furthermore, weak spatial conception leads to appearance design deviation when converting perspective drawings into orthographic drawings.

To ease this problem, a computer-aided 2-point perspective cube sketching software is developed based on a reversed 2-point station-point approach proposed by the authors. It can be used to analyze the user's drawings and provide correction instruction feedbacks, serving as the first system with these functions and an interactive learning tool for novices in product design to enhance learning effect.

Its usability was validated through a series of experiments done in real classroom setting. As a result, an average of 19.5% increase in drawing accuracy was shown in test subjects trained with the proposed system.

Keywords: Computer Aided Instruction (CAI), Perspective, Freehand Sketching.