

即時繪圖虛擬原型與實體模型之 產品造形真實度認知研究—以汽車造形設計為例

陳坤森* 陳玲鈴**

* 國研院 國家高速網路與計算中心、國立台灣科技大學 工商業設計系
morris@nchc.org.tw

** 國立台灣科技大學 工商業設計系
llchen@mail.ntust.edu.tw

摘要

本研究嘗試了解即時繪圖之虛擬原型與實體模型的認知差異程度，研究以實車（Real Car）為比較基準，針對縮小比例虛擬車（Scaled Virtual Model）、縮小模型車（Scaled Physical Model）、全尺寸虛擬車（Full-Scaled Virtual Model）進行不同視角的判別屬性比較。研究結果發現，在汽車虛擬量體以即時繪圖方式呈現下，就視角的真實度而言以透視表現最佳，不過與其他視角比較並沒有顯著性差異。在整體真實度呈現上，則以縮小模型車最佳，其次為全尺寸虛擬車、縮小比例虛擬車。雖然是縮小比例實體模型，不過在整體效果的判別評估中，優於全尺寸虛擬車與縮小比例虛擬車，可見人們在視覺評估仍習慣實體視覺呈現及可觸摸的感覺。就造形屬性而言，全尺寸比例所呈現之效果比縮小實體模型及縮小比例虛擬車呈現較佳，且與縮小比例虛擬車有顯著性之差異存在。因此，全尺寸比例的呈現，對造形屬性判別而言，扮演十分重要的角色。就光影屬性、色彩屬性和材質屬性而言，縮小之實體模型，比全尺寸虛擬車與縮小比例虛擬車，能得到更佳之效果。不過，細節屬性，則以全尺寸虛擬車呈現的效果，比縮小比例虛擬車佳；而與縮小模型車比較起來並沒有顯著性的差異。整體效果屬性而言，則以縮小模型較佳，全尺寸虛擬車次之，而縮小比例虛擬車最差。

關鍵詞：數位設計、汽車造形設計、判別認知、設計運算、虛擬原型

一、研究背景

傳統產品設計的過程中，構想的展開及篩選是十分重要的過程。在構想展開時，需要源源不絕的創意與經驗；然而在構想篩選時，就必須依賴良好的設計評估程序，篩選出符合開發利益的最佳方案。初期的設計評估，可能只是對簡略草圖來進行；而隨著設計的發展與成熟，評估的項目也會逐漸增加，逐

漸具體。因此，作為評估的設計呈現，除了項目逐漸精確外；呈現方式也逐漸由平面的繪圖，轉成為模型或原型，而製作的實體原型，則希望能更加接近真正的產品。然而，逼真的原型往往製作成本很高，或不易製作，尤其在大尺寸產品設計中更是如此。以汽車設計而言，如何節省開發成本與時間，而得出最佳設計方案，便是十分重要的工作。

近幾年汽車造形設計，由於電腦技術的提昇，因此設計流程的視覺化評估呈現方式，也不斷改進。調整的工作流程項目與傳統汽車流程相似，主要差異在於數位電腦技術的引入，如虛擬投影模擬能更真實地呈現設計師的構想，有助於開發過程中彼此的設計溝通。傳統設計流程進行，主要強調汽車設計階段油土模型的最終呈現結果。而近幾年，汽車設計整合了投影技術與虛擬實境的應用之後，大大的改善設計進行中，可即時看到未來可能的設計結果。有關汽車造形評估，包含幾類：手繪構想圖、縮小的電腦繪圖、全尺寸投影的電腦繪圖、縮小比例模型、全尺寸實體模型等多種表現技法。因此，在各個汽車造形發展階段，如何讓最終設計越接近設計的預期目標，避免因不同的表現方式，對於觀看者產生不同的影響，造成設計決策者的錯誤認知，影響判斷的正確性，便是十分重要的工作。再者，由於汽車設計開發成本控管十分重要，如何以經濟的方式，在不同設計階段對設計進行有效評估，也是本研究所關注的問題。

二、文獻探討

汽車設計在各車廠皆有其發展策略、設計流程與發展方向，在某種程度皆有商業機密的元素存在。不過，我們由相關汽車設計論文及文獻中，仍能大致歸納一些汽車設計流程的步驟。一般傳統汽車設計流程，約略可分為七個步驟：1. 市場調查與分析，了解人們對汽車的需求資訊、生活方式、競爭車型分析等，提供設計師作為設計的靈感與要求。2. 概念草圖，設計師將新車造形構思在圖紙上，描繪出形狀、顏色、質感等，作為初步選型的基礎參考。3. 製作小比例模型，為進行更具體的討論，製作縮小比例的汽車油土模型，以方便反覆修改。4. 膠帶圖，將模型的外觀輪廓放大至 1:1，用不同顏色的膠帶黏貼在標有座標的白色圖板上，將汽車整個外形輪廓、引擎位置、結構及人體樣板等都標示出來，方便隨時黏貼修改。5. 全尺寸油土模型，一般可分為外觀模型和內裝模型，屬車身造形設計中最關鍵的階段，包括：車輪、車身附件、大燈、小燈、雨刷都是真品呈現，並使用真漆塗裝，進行各項測試以取得最佳的設計效果。6. 3D 電腦模型，車身經過電腦測量轉為數據，然後透過 CAD 設計軟體，製成 3D 圖形檔案，內部已表現出整車關鍵組件的配置。7. 試裝車，是能真正駕駛的原型車，但仍須經過不斷測試與修改的過程才能生產上市。Bouchard [2]；並且認為現今汽車設計流程，若加入數位模型應用整合流程工具，在開發時程與成本控制上應有改進的空間。Jorge 等[4]；歸納汽車設計結合虛擬實境整合於設計流程，包含 16 個主要工作項目，如：定義造形設計之規範(Package creation)、透視的手繪構想(Perspective sketches)、透視的手繪構想發表(Perspective sketches presentation)、技術構想發展(Technical sketches)、技術構想發表(Technical sketches presentation)、四面圖之技術探討繪圖(Technical four-view drawing)、四面圖之外觀繪圖發表(Four-view drawing presentation)、電腦輔助模型建置(Computer aided modeling)、虛擬評估準備(Virtual presentation)、虛擬呈現發表(virtual presentation)、電腦輔助曲面修正(CAS modifications after the presentation)、實體模型雕塑(Physical model milling)、第一次實體模型發表(First model presentation)、全尺寸模型製作與修正(Modifications on surfaces of the model)、定案的造形建模完成(Final styling model construction)、風洞實驗(Wind tunnel test)等。由於 Bouchard and Aoussat[2]；所提到的傳統汽車設計的流程，並未完整包含數位設計的完整流程。Jorge 等[4]；則把數位設計與虛擬實境應用整合於汽車設計中，綜合 Bouchard 與 Jorge 研究，整理結果如下(圖 1)。

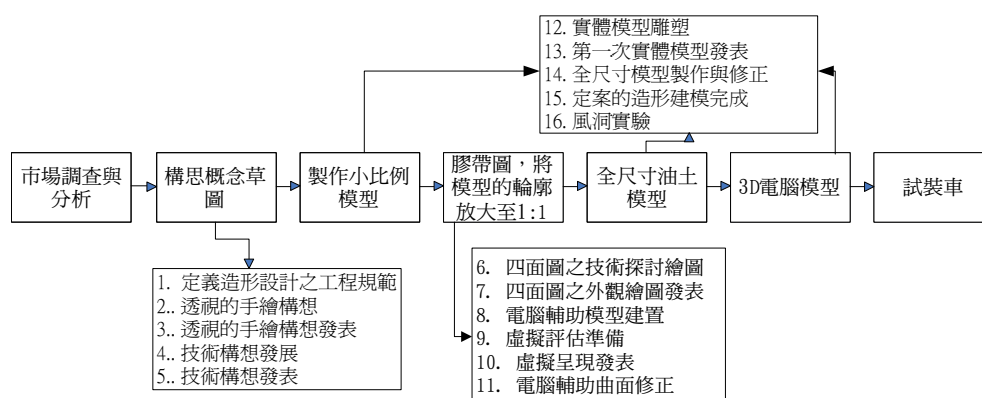


圖 1：傳統汽車設計流程中加入數位設計之工作項目[本研究整理]

近幾年，新科技的不斷導入汽車設計，如：造形量測技術、CNC 切削模型製作、虛擬投影技術、電腦模擬碰撞實驗等，在在都影響汽車設計的進行。以虛擬實境應用來說，Purschke 等[6]；以 Volkswagen 的開發流程導入，嘗試將虛擬實境投影應用於汽車設計。初步成果顯示，虛擬模型除了必須提供高品質的 CAD 資料檔之外，虛擬模型表面反射光線或色彩配置也十分重要，才能有助於視覺呈現之判斷，他們並認為虛擬原型評估尚有許多待改進的空間，如電腦運算無法即時運算呈現投影之最佳精細度、表面光影效果、色彩效果等因素必須再加強。Seron 等[7]；以 6 台投影機使用個人電腦為基礎平台，投影高速火車之造形及內裝輔助設計的模擬，並運用立體呈現技術 (Stereoscopy) 及擴增實境 (Augmented reality) 技術，以真實尺寸模擬真實設計的內裝比例、呈現完整火車造形的形態設計及人因情境等。研究結果認為，虛擬實境對決定人因情境尺寸有顯著的幫助，並認為以此投影方式，有助於設計案的評估確認。因此，虛擬實境之投影應用於汽車設計應有實質價值，不過現有文獻並未比較汽車設計，不同表現法之設計評估的優劣性差異。

以虛擬實境方式評估小型產品設計也有許多相關之研究，Lee 等[5]；於虛擬原型之產品整體評估方案，以三件手機機型分別用四種方法評估，其中三種是以虛擬模擬方法評估，另一種則以實體模型評估，評估項目包括：材質 (Texture)、吸引力 (Attractiveness)、表面材質 (Granularity)、整體調和 (Harmoniousness)、簡潔 (Simplicity)、嚴謹與安全 (Rigidity) 六項標準，來評估哪一件產品最好。由於手機有許多介面操作的問題，因此，該虛擬的介面設計強調如何使用按鍵的互動，達到最佳的虛擬設計評估。評估結果發現，實體產品所能產生之評估效果最佳。互動感覺優劣，依序分別為：混和式虛擬實境 (Mixed reality)、沉浸式虛擬實境 (Immersive VR platform) 及桌上型虛擬實境 (PC Desktop VR)。該研究顯示，在產品設計的設計模擬評估中仍以實體之握持感為主，介面操作也以最能真實呈現為原則。不過，對於一些大型產品，如：機車、汽車，甚至更大的產品等，較難立即以實體呈現。況且，在開發初期免不了不斷的設計修正討論，如果所有過程皆是實體呈現，開發成本將十分可觀。Soderman [8]；認為草圖構想圖與虛擬呈現方式以及真實車，由於呈現真實度效果方面不盡相同，對於實驗參與者而言，會有程度不一影響，相對影響設計評估的效率。他針對手繪構想草圖、即時虛擬原型、真實車三種模式以五個等級之李克特量 (Likert scales) 方法為評估方式，1 代表非常容易評估，5 代表非常困難評估。評估項目，包括：整體汽車的意象、汽車尺寸的估計一致性、操作、材質等。經過統計分析結果顯示，在外觀尺度項目中以真實車比較容易評估，其次為即時虛擬原型、再其次為草圖構想。不過該研究並未再深入探討其彼此差異的原因，或了解虛擬車與真實車差異的程度，或者虛擬車欠缺的實質判別屬性項目，甚至縮小模型於設計評估之真實性影響等。

本研究中之虛擬原型，使用即時 3D 立體繪圖彩現方式成像，其優點在於視覺呈現快速與即時繪圖成像，不需要透過電腦彩現經過冗長的運算精描繪圖時間。此種方式在車體改變位置時，能夠立刻看到車體各部位影像，方便即時視覺評估與討論；不過，缺點在於影像局部光影效果有待加強。而非即時的 3D 立體電腦繪圖，透過電腦算圖計算精描，優點在於視覺影像較佳；不過缺點在於電腦處理影像精描彩現所花費時間較多，無法隨心所欲，即時看不同的位置。目前一般電腦之運算速度，無法立即看到最真實的影像。(圖 2) 所示說明兩者差異。本研究將以即時繪圖之虛擬原型作為實驗樣本，進行汽車造形設計之探討。



圖 2：即時虛擬原型與電腦算圖精描之比較

由上述相關文獻得知，實體與虛擬的設計評估，彼此是存在些許之差異的，在許多設計案例或實務上，目前皆會嘗試使用虛擬原型進行設計討論，不過我們卻無從瞭解彼此之差異程度與可評估的項目之有效程度，以致影響階段中或最終之評估結果。因此，了解虛擬原型與實體模型之認知差異程度，如此將有助於設計中之不同階段，挑選最合適的呈現方式，應用於汽車造形設計之流程與改善。

三、研究目的與範圍

本研究分三階段進行，首先，建置全車尺寸呈現的視覺投影與等比例縮小成像投影的兩種實驗環境；其次，透過專家訪談方式定義汽車之造形特徵與判別屬性；再其次，進行各種表現技法之真實度認知實驗。詳細階段如下說明；

第一階段：開發全車尺寸呈現之 3D 立體擬真全尺寸視覺投影系統。

第二階段：藉由專業設計師訪談，歸納汽車造形外部主要特徵與汽車外觀之判別屬性詞彙，同時，並將影響汽車造形外觀真實度之判別屬性分群歸納。

第三階段：進行影響虛擬原型與實體模型之真實程度的實驗。

研究將針對全尺寸即時虛擬原型、縮小之即時虛擬原型及縮小比例之模型車，探討與比較基準之真實車間的外觀差異程度，各實驗樣本之名詞解釋如下說明；

- 縮小比例即時虛擬車 (Scaled Virtual Model) — 簡稱「縮小虛擬車」，將真實車原尺寸建構數位 3D 模型，並以即時電腦算圖呈現 1/18 視覺比例呈現。
- 縮小比例模型車 (Scaled Physical Model) — 簡稱「縮小模型車」，為原車廠出售之 1/18 比例實體模型。
- 全尺寸即時虛擬車 (Full-Scaled Virtual Model) — 簡稱「全尺寸虛擬車」，將真實車原尺寸建構數位 3D 模型，並以即時 (Real time) 電腦算圖呈現 1/1 視覺比例。
- 真實車 (Real Car)：真實尺寸之實際車。

本研究將針對不同的設計階段所呈現之方式，如：縮小虛擬模型、縮小實體模型、全尺寸虛擬模型與真實車之視覺差異比較，做一深入探討，藉此了解彼此在虛擬原型與實體車不同呈現方式之比較。其探討重點，包含汽車設計流程中不同表現方式傳達的真實性，與汽車造形設計表現方法之優劣點。

研究限制與困難：本研究中除了建置全尺寸虛擬投影不易之外，實車與數位模型取得也十分困難。實驗場地在汽車展示中心與虛擬實驗室兩個場地進行，若要在同一天進行所有受測者之實驗，實有執行的困難，因車商之展示中心與實車之出借，有時間之限制；因此實驗順序的進行與安排受到某種程度的限制。

四、全尺寸投影環境建立（第一階段）

4-1 硬體建置

在投射系統上，我們設計的投射系統，包括最大至 6 米寬，2 米高的前面投射銀幕，以 3 個高階投影機建構一投影牆面，希望能夠容許汽車原尺寸比例呈現。投射系統可以包括三個區段，投射 3 個頻道影像（簡稱三面投影牆），再以投影機投射部份重疊的影像，重疊的影像再利用幾何控制器，將之對位重疊投射，如此將產生由 3 個頻道影像疊合拼接的大螢幕畫面，中間疊合的影像為 324*768 (pixel)，因此扣掉兩個重疊部分，總投影為 2424*768(pixel)之混合電腦影像[2]。詳細投射系統架構，如(圖 3、4)。完成之實景全尺寸投影環境，如(圖 5)。

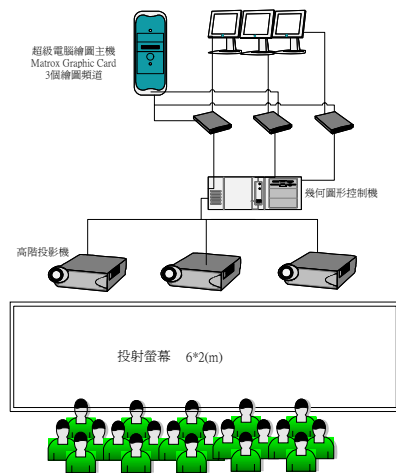


圖 3：三面牆投影之整合性之評估系統架構圖

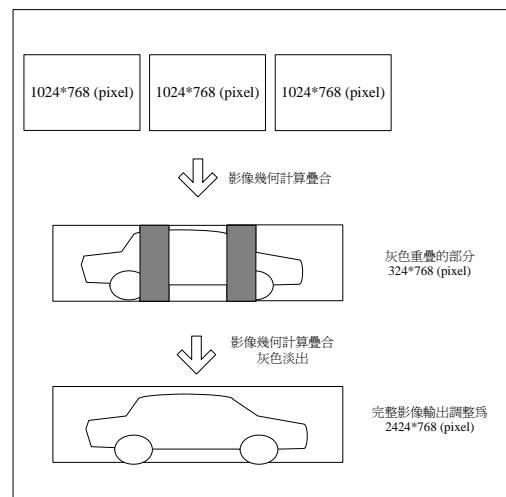


圖 4：三個投影機疊合成一個投影機效果



a. 全尺寸投影牆之汽車呈現效果



b. 控制平台

圖 5：全尺寸投影環境

4-2 軟體建置

實際的投影場景大小為 6m*2m(寬度*高度)，而整個介面大小為 2424*768(pixel)，載入模型時，必須考慮實際車子大小與投影場景的關係。舉例來說，若實際的車子大小為長*高(5m*1.5m)，則汽車模型的大小就為 $[2424*(5/6)] * [768*(1.5/2)] = 2020*576(\text{pixel})$ ，同時並加入接近真實的材質與光線效果。在功能性方面虛擬的汽車模型，應能以 3D 旋轉觀察，以及將視角調整至距離 4m 眼高約 1.5~1.6(m)的觀察角度。3D 立體模型計算，則使用 WorldViz 內建 OpenGL 即時算圖方式呈現。虛擬造形評估平台建置，使用 WorldViz 軟體中之 SDK 開發模組進行開發，並依實際需求規劃評估模組。介面開發主要分成兩大部分：控制面板與立體虛擬場景。影響評估，主要包含：場景背景更換、汽車原車尺寸呈現、旋轉、速度控制、更換顏色、反射貼圖等，如(圖 6)。其中，立體模型即時旋轉，立體數位汽車模型可以即時了解各面向之視覺感受。就即時反射貼圖功能而言，使用 WorldViz[8]軟體中之 SDK 開發模組，透過環境貼圖可即時達到立體汽車模型反射貼圖表面處理的效果。場景改變之功能中可加入各種不同的場景，提供任意場景的改變。

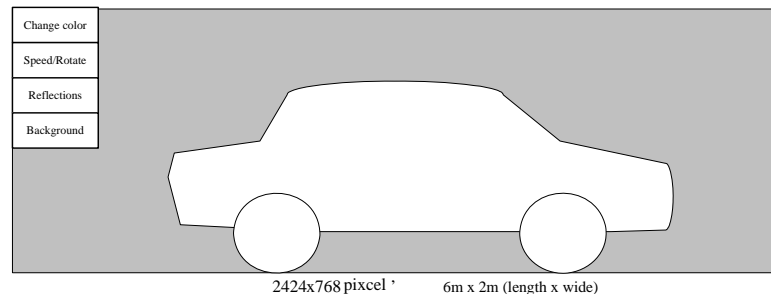


圖 6：三面牆投影之整合性之評估功能圖

五、汽車造形特徵 (第二階段)

針對第二階段研究工作，虛擬原型與實體模型在相似性程度之判別。首先，探討汽車外觀所應包含的判別屬性，並藉由汽車各部造形特徵，了解不同評估方式彼此之差異程度。如此，將有助於了解虛擬車與實體車之差異程度影響，並對未來之汽車數位設計流程，建立不同階段的設計評估真實度差異準則。

5-1 汽車造形特徵涵蓋面

本次訪談參與共計 12 位汽車設計實務的設計師，設計師皆來自國內數家知名汽車廠之造形設計部門，如中華汽車、裕隆日產汽車等，包括：設計主管、資深設計師、設計師等共計 12 位，訪談專家群基本資料表，整理如(表 1)~(表 3)所示。訪談結果整理如(表 4)，歸納得知汽車之造形特徵，主要分為四大部分，分別為：車頭、車側、車尾，以及車的透視 45 度方位。

表 1：專家訪談性別人數

性別	男	女
人數	10	2

表 2：專家訪談年齡區間

年齡(歲)	21~30	31~40	41~50
人數(人)	6	5	1

表 3：專家訪談資歷人數

資歷年資	1 年以下	1~2 年	2~3 年	3~5 年	5~8 年	8~10 年	10 以上
設計主管(人)	0	0	0	0	1	0	1
資深設計師(人)	0	0	0	2	2	0	0
設計師(人)	2	0	1	3	0	0	0
總人數(人)	2	0	1	5	3	0	1

表 4：汽車造形特徵涵蓋面

汽車視角	視角圖示	汽車外觀造型特徵
車頭		包含前保險桿、車頭燈、引擎蓋、水箱罩、前擋風玻璃、前方向燈、左右後視鏡
車側		包含前保險桿、方向燈、引擎蓋、前擋風玻璃弧度、後視鏡、車門、車門把、車窗、車頂、後擋風玻璃、輪拱、弧度、行李箱、輪胎、後方向燈、煞車燈
車尾		包含後保險桿、方向燈、擋風玻璃弧度、後視鏡、車頂、後擋風玻璃、行李箱、後方向燈、煞車燈
45 度透視		包含前保險桿、車頭燈、引擎蓋、水箱罩、前擋風玻璃、前方向燈、左右後視鏡、車門、車門把、車窗、車頂、後擋風玻璃、行李箱、輪胎、輪拱、後方向燈、煞車燈

5-2 汽車判別屬性之建立

為了要瞭解縮小模型車與虛擬車與真實車之差異，首先收集可能影響相關差異之判別屬性名詞約 70 個語彙，如(表 5)。經由與 12 位汽車設計師之深度訪談與分群實驗，並剔除無助於汽車造形設計之判別語彙；最後接納多位專家建議，歸納修正語彙說明，並以此作為判別屬性之衡量標準，將之收斂為六大類如(表 6)。由於判別屬性部分文字過於籠統，無法真實比較差異程度，經專家普遍認為可以瞭解，最後將六大判別屬性，分別為：造形屬性、光影屬性、細節屬性、色彩屬性，材質屬性與整體效果，並包含個別細項等。

表 5：第一階段收集的判別屬性語彙雛形

<input type="checkbox"/> 色彩	<input type="checkbox"/> 色調	<input type="checkbox"/> 明暗	<input type="checkbox"/> 亮度	<input type="checkbox"/> 配色
<input type="checkbox"/> 光源	<input type="checkbox"/> 環境光	<input type="checkbox"/> 色差	<input type="checkbox"/> 色相	<input type="checkbox"/> 效果
<input type="checkbox"/> 反光	<input type="checkbox"/> 光線	<input type="checkbox"/> 折射	<input type="checkbox"/> 光影	<input type="checkbox"/> 陰影
<input type="checkbox"/> 比例	<input type="checkbox"/> 間隙	<input type="checkbox"/> 位置	<input type="checkbox"/> 形狀	<input type="checkbox"/> 尺寸
<input type="checkbox"/> 大小	<input type="checkbox"/> R 角	<input type="checkbox"/> 弧度	<input type="checkbox"/> 稜線	<input type="checkbox"/> 曲面
<input type="checkbox"/> 線條	<input type="checkbox"/> 體積	<input type="checkbox"/> 量感	<input type="checkbox"/> 死角	<input type="checkbox"/> 尺度
<input type="checkbox"/> 角度	<input type="checkbox"/> 細節	<input type="checkbox"/> 元件	<input type="checkbox"/> 切面	<input type="checkbox"/> 線性
<input type="checkbox"/> 空間	<input type="checkbox"/> 張力	<input type="checkbox"/> 外形	<input type="checkbox"/> 平面	<input type="checkbox"/> 立體
<input type="checkbox"/> 流線	<input type="checkbox"/> 形態	<input type="checkbox"/> 精緻	<input type="checkbox"/> 清晰	<input type="checkbox"/> 一致
<input type="checkbox"/> 標準	<input type="checkbox"/> 合理	<input type="checkbox"/> 安定	<input type="checkbox"/> 外表	<input type="checkbox"/> 組合
<input type="checkbox"/> 層次	<input type="checkbox"/> 圓弧	<input type="checkbox"/> 細緻	<input type="checkbox"/> 凹凸面	<input type="checkbox"/> 變形
<input type="checkbox"/> 形體	<input type="checkbox"/> 剖面	<input type="checkbox"/> 組件	<input type="checkbox"/> 切割	<input type="checkbox"/> 測量
<input type="checkbox"/> 表面處理	<input type="checkbox"/> 紋理	<input type="checkbox"/> 質感	<input type="checkbox"/> 材質	<input type="checkbox"/> 局部特徵
<input type="checkbox"/> 視角	<input type="checkbox"/> 真實	<input type="checkbox"/> 解析度	<input type="checkbox"/> 相似	<input type="checkbox"/> 缺陷

表 6：透過深度訪談歸納後，專家認可之六大外觀判別屬性

造形屬性	光影屬性	細節屬性
<ul style="list-style-type: none"> ● 外形形態 ● 比例（視覺比例） ● 車體尺寸大小判斷 ● 車體線條 ● 車體凹凸曲面或弧線 	<ul style="list-style-type: none"> ● 環境光影響 ● 車體反光 ● 車體折射 ● 車體陰影 	<ul style="list-style-type: none"> ● 局部特徵 ● 組件間隙 ● 車體組件位置
色彩屬性	材質屬性	整體效果
<ul style="list-style-type: none"> ● 車體色彩 ● 車體色調 ● 車體配色 	<ul style="list-style-type: none"> ● 車體表面處理 ● 車體材質質感 ● 組件材質質感 	<ul style="list-style-type: none"> ● 真實效果 ● 表現細緻度 ● 立體感 ● 環境背景與車體融入感

六、實驗設計 (第三階段)

本研究嘗試建置完整之虛擬汽車視覺投影評估環境，希望藉此了解汽車於設計評估中不同階段之視覺評估的潛在差異。由於考量執行實驗環境的合適性，並經由 BMW 在台車商之協助，因此選取 BMW 創新五系列黑色轎車為範例實驗車。我們了解汽車設計的階段性評估，包括：電腦彩現階段、比例模型階段、全尺寸油土模型階段；因此在實驗設計中規劃 3 種視覺評估模式，分別包含：實體縮小比例模型（縮小模型車）、縮小比例虛擬車（縮小虛擬車）、真實比例虛擬車（全尺寸虛擬車）。在虛擬數位模型取得採用德國原廠比例 1/18 之實體模型，先以逆向工程方式掃描外觀尺寸，接著進行模型外觀修整與貼圖，並等比例放大至原車尺寸與調整比例為 1/18 之虛擬投影之大小，最後再以原車尺寸規格進行確認及微調，務求外觀之投影尺寸達到與真實車之尺寸規格相同狀態。

6-1 評估模式

由於真實車在設定中已經是最真實的狀態，因此在此實驗設計中三種模式強調與真實車之比較。視覺評估實驗設計，詳如(表 7、8)。實驗組包含三種模式；

- 第一種為縮小比例之實體模型車，原廠的比例尺寸 1/18 實體模型作為實驗刺激物。
- 第二種成像範圍為縮小 1/18 比例之虛擬車，電腦解析度並將之調整為 1024*768pixel，並依真實尺寸接近 1/18 之真實視覺成像，加入即時之材質貼圖與光影效果。
- 第三種為真實比例之虛擬車成像範圍為全尺寸比例呈現，電腦解析度為 2424*768pixel，投影全車尺寸為長*寬*高，分別為 4841*1846*1468(mm) [1]，如(圖 7)，同時並加入即時的材質貼圖與光影效果。比較組則為真實車，比較項目則包含外觀判別屬性，分別為：造形、色彩、光影、細節、材質、整體效果等六大屬性。

表 7：實體車與虛擬車之實驗對應畫面

	全尺寸比例 (1/1)	縮小比例 (1/18)
實體車	比較組 	實驗組 (第一種模式) 
虛擬車	實驗組 (第三種模式) 	實驗組 (第二種模式) 

表 8：實驗評估進行方式比較

評估分類	觸覺	視覺	比例	實驗場地	視覺與受測之距離
全尺寸真實車 (真實車)	✓	✓	1/1	汽車展示中心 戶外廣場	視覺距離約 4 公尺 繞 1~2 圈，途中並可隨時觸摸，並可隨時觀察
縮小比例之實體模型車 (縮小模型車)	✓	✓	1/18	台灣科技大學 虛擬實驗室	視覺距離約 25~30 公分，並可隨時觸摸觀察。
縮小比例虛擬車 (縮小虛擬車)	無	✓	1/18	台灣科技大學 虛擬實驗室	視覺影像縮小為原尺寸約 1/18 比例，視覺距離約 25~30 公分，並可 3D 即時旋轉，觀察汽車不同角度。
真實比例尺寸之虛擬車 (全尺寸虛擬車)	無	✓	1/1	台灣科技大學 虛擬實驗室	實驗視覺位置為 4 公尺，視覺影像為實車原尺寸，並可 3D 即時旋轉，觀察汽車不同角度。

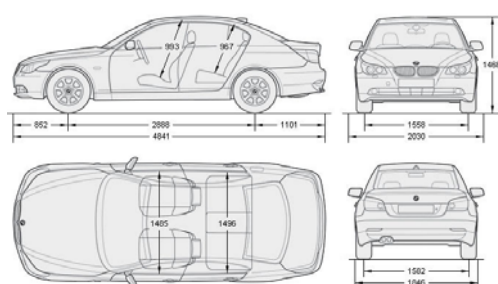


圖 7：BMW 創新五系列之 530i 外觀尺寸規格單位(mm)[1]



圖 8：實驗場地之背景圖像

6-2. 進行方式

我們主要進行實驗的模擬環境在汽車展示中心戶外廣場，其中模型車與真實車以視覺與觸覺方式進行，而全尺寸投影與縮小投影則以即時模擬真實方式進行，並呈現光影及材質效果，背景處理則拍攝汽車展示中心背景方式進行虛擬投影，如(表 7、8)。在本研究中虛擬場景的影像，以單張拍攝影像之汽車展示中心戶外廣場背景為主，如(圖 8)。

6-3 實驗流程與方法

在實驗中共有 45 位受測者參與，分別同時參與 3 種實驗刺激物與真實車之比較，其中每種展示方法，並包含四種不同視角的比較，分別為：車頭、車側、車尾、以及約 45 度透視。進行方式首先要求每位受測者，先以視覺以及觸覺感受真實車之外觀判別屬性，再進行與三種模式之比較，每個實驗每個人進行大約 30 分鐘，完成整組實驗約需 90 分，由於實驗場地包含汽車展示中心與虛擬實驗室兩個場地進行，若要在同一天進行完成所有受測者之實驗，實有執行的困難，又因車商之展示中心與實車之出借，有時間之限制，因此實驗進行順序的設計安排，受到某種程度的限制。研究中實驗分三次進行，第一次進行縮小比例之實體模型車與真實車之比較，第二次則進行縮小比例虛擬車與真實車之比較，最後則進行真實比例虛擬車與真實車之比較。實驗受測者採同一批人參與，參加者的年齡範圍為 21~30 歲，其中第一次共包括 26 位男性和 19 位女性參與，第二次共計 26 位男性和 16 位女性參與，第三次共計 26 位男性和 16 位女性參與，實驗進行時間與展示中心觀賞真實車時間間隔約 3~5 天；其中因進行實驗有 3 位受測者沒進行第二次與第三次之實驗，不過不影響實驗進行結果。由於實驗控制先前規定，必須參與實體車之評估才可進行以下三種實驗，最後完成實驗者給予 600 元獎勵。

6-3.1 預備說明

首先實驗參與者，必須了解實驗將進行項目與進行方式，同時並進行說明解釋，要求實驗受測者了解相關名詞解釋，包括：造形屬性、光影屬性、色彩屬性、材質屬性、細節屬性、整體效果屬性等；如此方能有效進行比較，問卷之填寫主要分為七個尺度分別為：非常不真實、不真實、稍微不真實、普通、稍微真實、真實、非常真實；問卷填寫主要針對各種判別屬性之真實程度勾選。

6-3.2 實驗過程

實驗設計中首先要求實驗受測者充分了解真實汽車之相關屬性之定義。之後請實驗受測者，針對真實汽車中之造形屬性、光影屬性、色彩屬性、材質屬性、細節屬性、整體效果屬性等相關屬性，與縮小模型車比較，並填寫差異尺度問卷，進行中以：前視、側視、尾視、以及約 45 度角透視分別評估。在真實車中除了視覺感受外，並增加觸覺方式，如(表 8) 說明。接著，進行縮小虛擬車與真實車比較。最後，進行全尺寸虛擬車與真實車比較評估。

七、實驗結果與分析

實驗中以三種模式四種角度，分別為：縮小虛擬車、縮小模型車、全尺寸虛擬車與真實車，進行 ANOVA 同質性檢定之整體分析；研究發現四種角度彼此並無顯著差異。而三種模式主要效果存在顯著性差異，接著進行判別屬性與三種模式之多重比較分析。六大屬性中主要針對，包括：造形屬性、光影屬性、色彩屬性、材質屬性、細節屬性、整體效果屬性等，比較彼此之程度差異。以下，分別就六大屬性分析結果，加以說明。

7-1 三種模式中六大屬性之比較

如圖(9~14)所示，各判別屬性在三種模式中不同視角之真實程度差異比較，由(圖 9~14)我們可由平均值約略瞭解，在造形屬性與細節屬性中，由於強調尺寸與細節之關係，全尺寸虛擬車呈現較佳之效果。光影、色彩、材質則以實體模型較佳。就整體效果屬性而言，由於縮小實體模型可觸摸因素，感覺較具體，因此相較於全尺寸虛擬車呈現較佳效果。

7-2 造形屬性

如(表 9)所示，在造形屬性中經 Tukey 檢定結果顯示，縮小模型車與縮小虛擬車，在與實車比較有顯著性差異存在 (p 值=0.001<0.05)，代表縮小模型車與縮小虛擬車，兩者與實車在造形屬性之視覺評估比較上有明顯的不同，縮小模型車呈現顯著性較佳效果。Tukey 檢定結果也顯示，縮小虛擬車與全尺寸虛擬車，也存在明顯的顯著性差異 (p 值=0.000<0.05)，以縮小比例投影與真實尺寸投影在，造形屬性的視覺判斷呈現明顯的不同差異，全尺寸虛擬車呈現明顯較佳的效果。全尺寸虛擬車與縮小模型車，無顯著性差異。

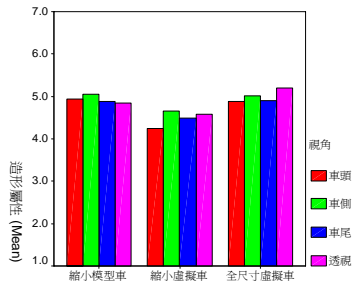


圖 9：造形屬性於三種模式真實度比較

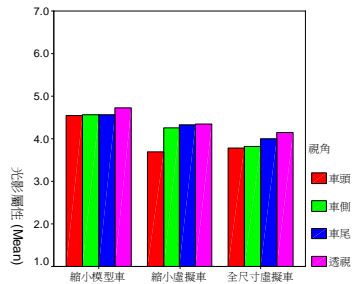


圖 10：光影屬性於三種模式真實度比較

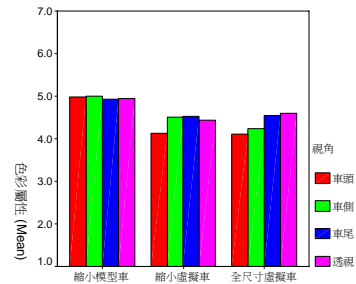


圖 11：色彩屬性於三種模式真實度比較

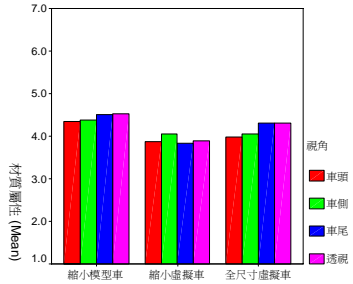


圖 12：材質屬性於三種模式真實度比較

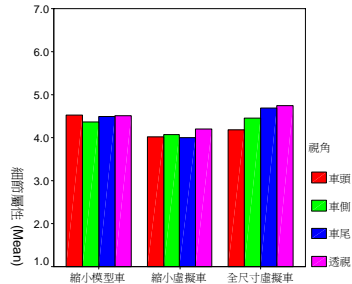


圖 13：細節屬性於三種模式真實度比較

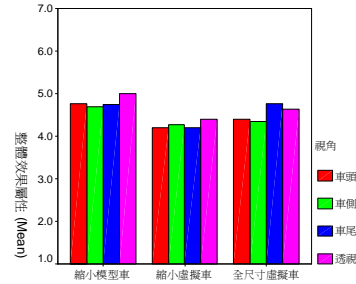


圖 14：整體屬性於三種模式真實度比較

(註 1) 縮小模型車、縮小虛擬車、全尺寸虛擬車，每種實驗模式並包括：車頭、車側、車尾、透視與實車相較的真實性整體平均值，縱列 1~7 代表真實的數值區間範圍 (1-非常不真實、2-不真實、3-稍微不真實、4-普通、5-稍微真實、6-真實、7-非常真實)。

表 9：造形屬性之顯著性差異程度多重比較

依變數	(I) type	(J) type	平均數差異 (I-J)	標準差	顯著性	95% 信賴區間		
						下限	上限	
造形屬性	Tukey HSD	縮小模型車	縮小虛擬車	.4417	.119	.001 (*)	.1623	.7211
			全尺寸虛擬車	-0.063	.119	.857	-.3425	.2163
		縮小虛擬車	縮小模型車	-.4417	.119	.001 (*)	-.7211	-.1623
			全尺寸虛擬車	-.5048	.121	.000 (*)	-.7889	-.2206
		全尺寸虛擬車	縮小模型車	0.063	.119	.857	-.2163	.3425
			縮小虛擬車	.5048	.121	.000 (*)	.2206	.7889

* p<0.05

7-3 光影屬性

如(表 10)所示，在光影屬性中經 Tukey 檢定結果顯示，縮小模型車與縮小虛擬車，在與實車比較有顯著性差異存在 (p 值=0.003<0.05)，代表縮小模型車與縮小虛擬車兩者，與實車在光影視覺評估比較上有明顯的不同；縮小模型車呈現顯著性較佳效果。Tukey 檢定結果，縮小模型車與全尺寸虛擬車，與實車比較也存在明顯的顯著性差異 (p 值=0.000<0.05)，代表縮小模型車與全尺寸虛擬車真實尺寸投影，在光影的視覺判斷呈現明顯的不同。

表 10：光影屬性之顯著性差異程度多重比較

依變數	(I) type	(J) type	平均數差異 (I-J)	標準差	顯著性	95% 信賴區間		
						下限	上限	
光影屬性	Tukey HSD	縮小模型車	縮小虛擬車	.4439	.135	.003 (*)	.1273	.7606
			全尺寸虛擬車	.6642	.135	.000 (*)	.3475	.9809
		縮小虛擬車	縮小模型車	-.4439	.135	.003 (*)	-.7606	-.1273
			全尺寸虛擬車	.2202	.137	.245	-.1019	.5423
		全尺寸虛擬車	縮小模型車	-.6642	.135	.000 (*)	-.9809	-.3475
			縮小虛擬車	-.2202	.137	.245	-.5423	.1019

* p<0.05

7-4 色彩屬性

如(表 11)所示，在色彩屬性中經 Tukey 檢定結果顯示，縮小模型車與縮小虛擬車，在與實車比較有顯著性差異存在 (p 值=0.000<0.05)，代表縮小模型車與縮小虛擬車，兩者在色彩視覺評估比較上有明顯的不同；縮小模型車呈現顯著較佳的效果。Tukey 檢定結果也顯示，縮小模型車與全尺寸虛擬車，也存在明顯的顯著性差異 (p 值=0.000<0.05)，代表縮小模型車呈現較佳的效果。經分析認為色彩的變化是十分複雜的，色彩本身並隨時受到光線改變的變化，目前電腦投影呈像技術要做到接近實車一樣的色彩，仍有許多努力的空間，實驗進行中只能儘可能控制投影機與液晶顯示器呈現一致的穩定性。

表 11：色彩屬性之顯著性差異程度多重比較

依變數		(I) type	(J) type	平均數差異 (I-J)	標準差	顯著性	95% 信賴區間	
							下限	上限
色彩屬性	Tukey	縮小模型車	縮小虛擬車	.5583	.137	.000 (*)	.2382	.8785
			全尺寸虛擬車	.5881	.137	.000 (*)	.2680	.9082
	HSD	縮小虛擬車	縮小模型車	-.5583	.137	.000 (*)	-.8785	-.2382
			全尺寸虛擬車	0.030	.139	.975	-.2958	.3554
		全尺寸虛擬車	縮小模型車	-.5881	.137	.000 (*)	-.9082	-.2680
			縮小虛擬車	-0.030	.139	.975	-.3554	.2958

* $p < 0.05$

7-5 材質屬性

如(表 12)所示，在材質屬性中經 Tukey 檢定結果顯示，縮小模型車與縮小虛擬車，在與實車比較有顯著性差異存在 (p 值=0.001<0.05)，代表縮小模型車呈現較佳的效果。縮小虛擬車與全尺寸虛擬車，無顯著差異存在。

表 12：材質屬性之顯著性差異程度多重比較

依變數		(I) type	(J) type	平均數差異 (I-J)	標準差	顯著性	95% 信賴區間	
							下限	上限
材質屬性	Tukey	縮小模型車	縮小虛擬車	.5262	.146	.001 (*)	.1849	.8675
			全尺寸虛擬車	.2802	.146	.132	-.0612	.6215
	HSD	縮小虛擬車	縮小模型車	-.5262	.146	.001 (*)	-.8675	-.1849
			全尺寸虛擬車	-.2460	.148	.220	-.5932	.1011
		全尺寸虛擬車	縮小模型車	-.2802	.146	.132	-.6215	.0612
			縮小虛擬車	.2460	.148	.220	-.1011	.5932

* $p < 0.05$

7-6 細節屬性

如(表 13)所示，在細節屬性中經 Tukey 檢定結果顯示，縮小模型車與縮小虛擬車，在與實車比較有顯著性差異存在 (p 值=0.014<0.05)，代表縮小模型車與縮小虛擬車，兩者與實車在細節視覺評估比較上有明顯的不同。Tukey 檢定結果也顯示，縮小虛擬車與全尺寸虛擬車，也存在明顯的顯著性差異 (p 值=0.006<0.05)，代表以縮小比例投影與真實尺寸投影，在細節屬性的視覺判斷呈現明顯的不同。

表 13：細節屬性之顯著性差異程度多重比較

依變數		(I) type	(J) type	平均數差異 (I-J)	標準差	顯著性	95% 信賴區間	
							下限	上限
細節屬性	Tukey	縮小模型車	縮小虛擬車	.3970	.142	.014 (*)	.0640	.7299
			全尺寸虛擬車	-.0495	.142	.935	-.3824	.2835
	HSD	縮小虛擬車	縮小模型車	-.3970	.142	.014 (*)	-.7299	-.0640
			全尺寸虛擬車	-.4464	.144	.006 (*)	-.7851	-.1078
		全尺寸虛擬車	縮小模型車	.0495	.142	.935	-.2835	.3824
			縮小虛擬車	.4464	.144	.006 (*)	.1078	.7851

* $p < 0.05$

7-7 整體效果屬性

如(表 14)所示，在整體效果屬性中經 Tukey 檢定結果顯示，縮小模型車與縮小虛擬車，在與實車比較有顯著性差異存在 (p 值=0.000<0.05)，代表縮小模型車與縮小虛擬車，兩者與實車在整體效果屬性項目上視覺評估比較上有明顯的不同。縮小模型車明顯優於縮小虛擬車；縮小虛擬車與全尺寸虛擬車，無顯著性差異存在。

就整體信度分析而言，實驗進行中控制變項有效呈現其實驗結果的穩定，進行信度分析，信度估計值為(Alpha=.9783)表示本次實驗進行結果，呈現十分穩定的狀態與信賴度。

表 14：整體效果屬性之顯著性差異程度多重比較

依變數		(I) type	(J) type	平均數差異 (I-J)	標準差	顯著性	95% 信賴區間	
							下限	上限
整體效果屬性	Tukey	縮小模型車	縮小虛擬車	.5335	.132	.000 (*)	.2233	.8438
			全尺寸虛擬車	.2687	.132	.105	-.0416	.5789
	HSD	縮小虛擬車	縮小模型車	-.5335	.132	.000 (*)	-.8438	-.2233
			全尺寸虛擬車	-.2649	.135	.120	-.5805	.0507
		全尺寸虛擬車	縮小模型車	-.2687	.132	.105	-.5789	.0416
			縮小虛擬車	-.2649	.135	.120	-.0507	.5805

* $p < 0.05$

八、結論與討論

整體結果顯示，縮小比例虛擬車、縮小模型車、全尺寸虛擬車三種模式與真實車進行不同視角的比較，儘管三種模式的真實性呈現效果尚有少許不足，不過實驗結果就視角的真實度而言，以透視表現最佳。綜合三種實驗模式中之真實度呈現，則以縮小模型車最佳，其次為全尺寸虛擬車、縮小虛擬車較為不足。我們可以了解造成差異之最主要原因，雖然是縮小比例實體模型，不過就綜合屬性的判別而言，明顯略優於兩者，可見設計師在視覺評估仍十分仰賴實體呈現效果；也或許現階段即時演算法之虛擬車仍然不夠逼真，而影響部分判斷屬性的結果。就造形屬性而言，全尺寸比例所呈現之真實度優於，縮小實體模型及縮小虛擬車，明顯與縮小虛擬車有顯著性之差異存在。我們可以了解全尺寸比例呈現汽車，在造形屬性判別而言，扮演十分重要的角色，主要原因在於全尺寸投影呈現能夠真實呈現外觀尺寸之判斷。就光影屬性、色彩屬性、材質屬性而言，縮小之實體模型顯然比全尺寸虛擬車與縮小比例虛擬車，能得到更佳之效果。由此，我們可以瞭解實體縮小車之光影與色彩及材質屬性所呈現的真實感，虛擬車較難模擬逼真，原因可能在於投影技術未達更加真實的情況或虛擬車無法感受觸摸之質感。不過，對細節屬性而言，則以全尺寸虛擬車所能呈現的效果比縮小虛擬車佳，與縮小模型車比較起來並沒有顯著性

的差異，推論原因在於縮小模型呈現細節效果不易。整體效果屬性而言，則以縮小模型較佳，全尺寸虛擬車次之，而縮小虛擬車最差。縮小模型、縮小虛擬車、全尺寸虛擬車，在造形、光影、色彩、材質、細節、整體效果等屬性，在視覺認知中與實車之差異程度，我們可由(表 15)得出各屬性中之顯著性差異結果總表。適當建議需要採用哪種表現方式，進行評估效果較佳，如(表 16)，我們可得知縮小模型車在各屬性上，皆表現有一定之水準；而全尺寸虛擬車，在光影、色彩、材質屬性表現不盡理想，不過在造形、細節、整體效果屬性表現十分好，可以建議使用。

表 15：六大屬性顯著差異總表

造形屬性	全尺寸虛擬車, 縮小模型車 > 縮小虛擬車
光影屬性	縮小模型車 > 縮小虛擬車, 全尺寸虛擬車
色彩屬性	縮小模型車 > 縮小虛擬車, 全尺寸虛擬車
材質屬性	縮小模型車 > 縮小虛擬車
細節屬性	全尺寸虛擬車, 縮小模型車 > 縮小虛擬車
整體效果屬性	縮小模型車, 全尺寸虛擬車 > 縮小虛擬車

表 16：六大屬性中表現方式之評估優劣建議

	縮小模型車	縮小虛擬車	全尺寸虛擬車
造形屬性	*		*
光影屬性	*		
色彩屬性	*		
材質屬性	*		
細節屬性	*		*
整體效果屬性	*		*

(註 2) 本表主要針對三種模式真實性評估建議，不考量製作成本與時間因素，符號 * 代表建議使用。

九、研究限制與未來可能研究

本研究在實驗環境中受限於環境現況，無法面面俱到做到完整控制，就現今技術本身亦受限於虛擬環境投影必須於暗室中才能透過投影機呈現良好之視覺呈像，這與真實的狀況本身即有不同，雖然 LCD 螢幕與投影機在實驗前，已皆透過不斷的色彩校正(color calibration)，不過所得出的效果受限於現有設備因素，仍有部分之不足之處，實難以完整妥善控制，相信這也是本研究不足的地方，有待未來之改善。現階段雖然電腦繪圖技術不斷進步，即時呈現的功能也有很大的進展，但由於電腦彩現技術必須花費許多時間計算才能產生一張圖形，因此失去即時呈現即時修改的方便性，不過由於即時呈現 (Real-time Rendering) 在光影屬性與材質屬性、色彩屬性中接近真實性效果仍有一段距離。未來，如果即時呈現技術能夠改善，並且能夠更真實與非即時電腦繪圖精描效果趨於一致，或者投影機效能能夠大幅提昇，相信將有助於汽車之虛擬擬真設計的評估。

誌謝

感謝中華汽車與裕隆日產汽車造形設計部門與浩漢交通工具設計部門的協助，以及 BMW 台灣總代理－汎德股份有限公司提供實驗場地與實車之協助，特此一併致謝。

參考文獻

1. BMW, n.d., "BMW 5 series specifications," Retrieved April 28, 2005, from <http://www.bmw.com.tw/model/5sers/sedan/data.htm>.
2. Bouchard, C. and Aoussat, A., 2003, "Modellization of the car design process," *International Journal of Vehicle Design*, Vol. 31, No. 1, pp.1-10.
3. Burdea, G. C. and Phillippe C., 2003, *Virtual reality technology*, John Wiley & Sons, New Jersey.

4. Jorge, J., João, M., Dias, F., and Ferreira, A. Jr., 2003, "A consolidated user requirements and task analysis," *Smart Sketches*, Retrieved March 20, 2007 from <http://smartsketches.inesc-id.pt/index.html>
5. Lee, S., Chen, T., Kim, J., Kim, G. J., Han, S., and Pan, Z. G., 2004, "Affective property evaluation of virtual product designs," in *Proceedings of IEEE Virtual Reality Conference (VR)*, IEEE Computer Society, pp.207-214.
6. Purschke, F., Schulze, M. and Zimmermann, P., 1998, "Virtual reality - New methods for improving and accelerating the development process in vehicle styling and design," in *Proceedings of the Computer Graphics International 98*, pp.789-797.
7. Seron, F. J., Gutierrez, D., Magallon J. A., Sobreviela E. J., and Gutierrez, J. A., 2004, "A CAVE-like environment as a tool for full-size train design," *Virtual Reality*, Vol.7, No.2, pp.82-93.
8. Soderman, M., 2005, "Virtual reality in product evaluations with potential customers: An exploratory study comparing virtual reality with conventional product representations," *Journal of Engineering Design*, Vol.16, No. 3, pp.311-328.
9. WorldViz, n.d., "VR toolkit," Retrieved June 20, 2007 from <http://www.worldviz.com/products/vizard/index.html>.

Perception of Realism for Real-time Rendered Virtual Prototypes and Physical Models: Using Car Styling as Examples

Kuen-Meau Chen^{*} Lin-Lin Chen^{**}

^{*}Visualization & Interactive Media Lab., National Center for High-Performance Computing
morris@nchc.org.tw

^{**} Department of Industrial and Commercial Design, National Taiwan University of Science and Technology
llchen@mail.ntust.edu.tw

Abstract

This study compares the different degrees of realism conveyed by physical models and real-time rendered virtual prototypes. Using scaled physical models, scaled virtual prototypes, and full-scale virtual prototypes as stimuli, the authors conducted experiments to investigate perception of realism with respect to six sets of attributes: *form, lighting and shadow, details, color, material, and total effect*. Overall, the authors found that scaled physical models conveyed the highest degree of realism, followed by full-scale virtual prototypes, and then scaled virtual prototypes. With respect to *form* attributes, full-scale virtual prototypes delivered better realism than scaled physical and virtual models, where the differences are significant between full-scale and scaled virtual prototypes. Thus, being able to view form features in full size appears to be important in perceiving objects' forms. With respect to lighting and shadow as well as color and material attributes, scaled physical models conveyed higher degree of realism than full-scale or scaled virtual prototypes. In terms of detailed attributes, full-scale virtual prototypes provided better realism than scaled virtual prototypes, but not significantly better than scaled physical models. For total effect attributes, scaled physical models conveyed the highest degree of realism, followed by full-scale virtual prototypes, and then scaled virtual prototypes.

Keywords: Digital Design, Automobile Style Design, Form Perception, Virtual Prototyping, Design Computing