

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

建構於虛擬實境系統下的參數式建模學習與設計環境 研究成果報告(精簡版)

計畫類別：個別型

計畫編號：NSC 97-2221-E-009-129-

執行期間：97年08月01日至98年07月31日

執行單位：國立交通大學建築研究所

計畫主持人：侯君昊

計畫參與人員：博士班研究生-兼任助理人員：陳冠燁

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 98 年 11 月 01 日

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫 ☒ 成果報告
☐ 期中進度報告

建構於虛擬實境系統下的參數式建模學習與設計環境

計畫類別：☒ 個別型計畫 ☐ 整合型計畫

計畫編號：NSC 97-2221-E-009-129

執行期間：2008 年 08 月 01 日 2009 年 07 月 31 日

計畫主持人：侯君昊

共同主持人：

計畫參與人員：陳冠燁、吳彥良、吳冠穎

成果報告類型(依經費核定清單規定繳交)：☒ 精簡報告 ☐ 完整報告

本成果報告包括以下應繳交之附件：

☐ 赴國外出差或研習心得報告一份

☐ 赴大陸地區出差或研習心得報告一份

☐ 出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

☐ 國際合作研究計畫國外研究報告書一份

處理方式：除產學合作研究計畫、提升產業技術及人才培育研究計畫、
列管計畫及下列情形者外，得立即公開查詢

☐ 涉及專利或其他智慧財產權，☐ 一年☐ 二年後可公開查詢

執行單位：國立交通大學 建築研究所

中 華 民 國 98 年 07 月 31 日

計畫中文摘要

中文關鍵詞：空間模擬器、參數建模、人機互動、體感操控界面

歷史上，科技的發展對各個領域都會產生重大影響。在建築設計領域，新媒材的出現，改變其設計過程、設計方法與結果。從古埃及的平面工程圖到文藝復興時期的實體縮小模型，再到廿世紀末電腦數位工具的出現，都促使建築設計趨向多元的面貌。虛擬實境技術提供一個預覽設計結果的管道，設計者和使用者可在此預先體驗實體空間，過去虛擬實境多著重於設計後期的視覺模擬和結果呈現，近年逐漸出現針對早期設計階段的研究，以及融合體感操控追求更高的沈浸感。另一種新的建築設計工具為參數式建模法，提供了造型的自由度、精確度與可操控的內在秩序，當代仿生物結構與自由形體建築多採用此種設計法，以達到高度的模矩化與可被建造性。然而此類建模法仰賴大量數學與幾何應用知識，對於僅具備傳統建築背景的初學者有極高的學習門檻。參數式建模可被視為一種新的早期設計階段，本研究運用虛擬實境系統與體感互動裝置，開發一個易於學習與使用的參數化建模學習與設計環境，研究議題著重於參數化建模的學習瓶頸、設計流程、3D 立體呈現、虛擬環境中的體感操控界面，以及系統的測試與評估。

計畫英文摘要

Keywords: VR CAVE, Parametric Modeling, Human-Computer Interaction, Physical Interface

Historically, the development of technology usually brought immense impact to every aspect of life. In architectural design, the design process, method, and final result have benefited from the evolution of the new media: from the 2-D engineering drawing used in ancient Egypt to the physical scale models used in the Renaissance, and eventually to the emergence of digital media, architectural design has been able to diversify in all fields of design and construction. By using virtual reality (VR) technology, we are not only able to preview the end product of the design, but also to pre-experience the un-built spaces. Researches in VR have expanded from visual simulation and representation of design to assisting conceptual design in the early stage. Recently, physical interface has been introduced to VR environment for gaining higher immersive experience. Another emerging design method is parametric modeling, by which high-level of freedom and precision in form generation, as well as manipulable intrinsic order can be achieved. A large portion of modern architectures with organic and free forms is done by parametric modeling to gain higher modularity and constructibility. However, to perform parametric modeling, sufficient knowledge of geometry and programming are required. This is a difficult threshold for students trained in conventional architecture schools. Parametric modeling is a new way of conceptual design, which merges the early stage of design concept and mid-stage design development into an iterative process. This research uses VR CAVE and physical interaction technology to develop a parametric modeling environment that is easy to use and learn. The research topics include the learning and design process of parametric modeling, stereoscopic representation of parametric models, physical interface in VR CAVE, and feasibility of the system.

目錄

計畫中文摘要	I
計畫英文摘要	II
目錄.....	III
1. 前言	1
2. 研究目的	1
3. 文獻與案例探討	2
3.1. 虛擬實境系統上的設計環境.....	2
3.2. 參數建模方法	2
3.3. 視覺化開發與設計工具	3
4. 研究步驟	4
4.1. 參數學習之案例觀察與分析.....	4
4.2. 虛擬實境體感操作環境	4
4.3. 虛擬實境中的參數化設計環境.....	4
4.4. 系統測試與評估	5
5. 結果與討論	6
5.1. 研究成果與貢獻.....	6
5.2. 研究建議.....	6
6. 參考文獻	7
7. 計畫成果自評	9

1. 前言

數位媒材除了在設計階段後期做為施工與視覺呈現的媒材外，同時也介入了設計早期階段的概念設計，如 Greg Lynn 利用電腦掌握複雜的有機量體，因而提升對於三度空間關係的掌握 (Liu et al., 2001; Ishii et al., 2002)；在設計早期階段，設計者利用黏土進行概念發展，並以 3D 掃描轉換成數位模型，進行即時視覺模擬 (Piper et al., 2002)；透過大型顯示桌面，將傳統 2D 繪圖、3D 實體模型與數位模型同時呈現；以及空間模擬器 VR Cave (Cave Automatic Visual Environment)(Cruz-Neira et al., 1993)、頭載式顯示器(Head Mounted Display, HMD)等技術，讓設計者得以身歷其境的方式預覽設計結果。

一般而言，利用虛擬實境系統進行概念設計時，需要大量的互動（不斷的繪製與修改），難以達到高畫質要求；設計完成進行模擬時，則須高度擬真畫面，相對而言互動性則不足。就上述虛擬實境系統之問題，若能有一套同時提供高度擬真與高度互動的系統，便可能達到概念設計、設計發展與設計模擬在同一平台流暢進行的目的。當代建築設計最新趨勢為基於參數方法所發展出的衍生式設計 (generative design)，該設計方法目前仍屬高學習門檻，瓶頸多在數學、幾何與複雜的參數關連性。

2. 研究目的

本研究目的在利用虛擬實境系統實作一個參數式建模學習與設計環境，提供給建築背景學生快速學習與體驗參數形體之空間感，以及沉浸式設計方法。本研究將以課程進行參數曲面學習之教材設計，使用交大建築所既有的沈浸式虛擬實境系統（空間模擬器）與可即時運算擬真畫面與即時互動的虛擬實境軟體製作互動環境，並採用體感操控方式，達成直覺瀏覽與調整參數形體的目的。

3. 文獻與案例探討

Sutherland 於 1963 年提出 Sketchpad 後，電腦輔助設計系統(Computer-Aided Design, CAD) 逐漸在設計過程中扮演重要角色。早期 CAD 多著重在設計後期的視覺呈現與模擬，直到 1994 年開始有研究者探索 CAD 在設計構想階段的角色，讓設計者可以在設計早期即運用電腦進行設計(Gross, 1996)。如 Van Dijk (1995)開發的 Fast Shape Designer (FSD)系統，將 2D 手繪影像掃描至電腦中，轉換成 2D 向量曲線後再變成 3D 模型。Van Elsas 和 Vergeest (1998)的 Displacement Feature Modeling、Igarashi (1999)的 Teddy System、Do (2001)的 Space Pen 等均為實驗性的 3D 草圖系統。然而這些系統的輸入仍受限於 2D 輸入與輸出，如滑鼠、數位筆和平面螢幕。

3.1. 虛擬實境系統上的設計環境

2002 年後，較實用的 3D 草圖系統陸續出現，如 SurfaceDrawing 所提供的半沉浸式(semi-immersive)虛擬實境系統，使藝術家能以實體工具和手勢創作虛擬造形，該系統提供的實體工具包括畫筆、鉗子、橡皮擦、磁鐵等，並利用液晶立體眼鏡(Shutter Glasses)呈現立體影像(Schkolne, 2002)。CavePainting 是建構在一個 8 英尺見方的沈浸式 VR Cave 中的互動環境，提供藝術家一個新的創作媒材與空間。藝術家在 Cave 中戴上立體眼鏡，透過可 3D 定位的油漆刷以及一排裝有感應器的顏料罐進行創作，整個介面模仿藝術家實際在創作時的工作環境，藝術家可以任意變換顏料、改變視角，用各種不同的角度觀看他們的 3D 作品(Keefe et al., 2002)。

3.2. 參數建模方法

1990 年代 Frank O. Gehry 利用數位科技引發建築形體的革命，打破傳統 3D 建模工具中幾何基本形的限制，加入手工描繪的自由度，發展出自由形體建築，此類自由形體屬於外在形式的自由。此後，設計趨勢逐漸轉向材料的原始特質與形體的內在秩序。由於數學中的參數式，得以用簡單的關係描述複雜的系統，藉以表現內在秩序的自由，遂被運用在新式建築形體的發展上。在建築領域的 3D 參數建模上，2004 年由 Colakoglu (2005)等人提出的參數化形體產生器 ConGen 是一個 3D Studio Max 的外掛程式，設計者可自由設定參數產生各種不同形式的沙發，具備相當大彈性，在 2004 年之後的 CAAD 軟體中，此類參數式物件已經成為普遍的模型產生工具。另一種參數式設計環境著重於建築形體與結構的建立，利用迭代

(iteration)與衍生(generation)方式以圖形化操控方式產生模型，例如由 Bentley Microstation 的 GenerativeComponent (GC)與 Rhino 的 Grasshopper，獲諸多國際建築團隊採用，包括 Arup、KPF、SOM 等，成就了若干前衛的建築設計案，如北京奧運會室內游泳池的「水立方」結構體。

3.3. 視覺化開發與設計工具

傳統開發與設計工具界面多以文字為主，此後為因應特定用途與使用者需求，而衍生出以流程圖方式為主的視覺程式環境 Visual Programming Language (VPL)，或稱作 Dataflow Programming 和 Flow-Based Programming (FBP)，例如用於互動藝術創作的 Max/MSP 和 vvvv、用於科學實驗的 LabVIEW 和 Simulink、以及虛擬實境與互動遊戲製作環境 Quest3D 與 virtools 等。VPL 透過元件（或功能區塊）與連結描述複雜系統中的物件關連性與邏輯程序，並有助於系統快速原型(Rapid Prototype)之開發，主要應用於處理即時資料的複雜程序，如資料擷取與分析、即時互動等應用。

本計劃在學生學習階段均以視覺化方法進行教學，故於參數建模之實務操作，亦採用視覺化設計工具，有助於學生將既有知識直接進行練習，省去「概念轉換」之障礙。Rhino 的 Grasshopper 提供直覺的設計歷程(design history)與參數關係管理界面，學生可以將所學參數方程式快速轉換為邏輯元件之組合。

4. 研究步驟

本計劃執行共分為四大步驟：案例觀察分析、虛擬實境體感環境開發、導入參數式設計環境、測試與評估。

4.1. 參數學習之案例觀察與分析

透過計畫主持人開設之「編織參數曲面」課程，以 Mathcad 設計一系列參數曲面教材，了解建築背景學生對學習參數式建模之反應與可能遭遇之困難。修課學生均為建築背景碩士班研究生，過去無參數化設計經驗。教學內容主要以圖形關係理解符號意義，教學過程著重發掘學生在學習上的瓶頸。並藉以找出適合以虛擬實境方式進行沈浸式體驗之內容。期末要求學生以專題方式設計一組參數曲面，分析其幾何特性並製作實體模型，確保學生充分理解參數曲面中各種幾何屬性與關係。

研究發現：對於從 1 對 1 參數關係發展至三維參數方程式之圖形，其中層層關連的參數關係以及從符號轉換為空間圖形是學生遇到最大瓶頸，故此階段應以平面與立體圖形交叉呈現對應關係，較有助於學生理解。

4.2. 虛擬實境體感操作環境

建構一套平價的虛擬實境體感操作環境，便於未來推展與教學。以 Quest3D 為平台，串連 Wii Remote 和 Wii Balance Board 作為虛擬實境之體感輸入裝置，取代搖桿與鍵盤，提高虛擬場景中瀏覽之流暢度與直覺性。

經測試三螢幕、六投影機輸出之同步效果良好，體感操作瀏覽場景效果良好。惟本功能已於 2009 年中旬 Quest3D 推出的新版本中由原廠提供，故已失去推廣效益。研究後期已採用原廠解決方案。

4.3. 虛擬實境中的參數化設計環境

建構一系列適用於虛擬實境環境之參數化學習與設計環境。本步驟平行發展兩套系統：其一、利用 Rhino 並配合 Grasshopper 外掛模組，以兩套 Rhino 設定不同攝影機位置，模擬雙眼視覺，並以 RhinoScript 進行與體感輸入裝置之同步溝通，達成基本瀏覽與操控，使用者可利用視覺化設計環境進行參數曲面之修改；其二、

利用 Quest3D 進行視覺效果較佳之模擬，使用者可利用體感操控裝置進行瀏覽以及建築形體之局部調整（利用動態骨架調整曲面網格）。

研究發現：Grasshopper 提供較佳曲面操控功能，適用於設計早期之構想階段，因應較多的調整與更動。Quest3D 提供較佳視覺模擬效果，使用於設計晚期之空間體驗與模擬，此階段不需要太多形體更動需求。

4.4. 系統測試與評估

本系統於計畫期末，經尋求 3 名曾經選修「參數曲面」課程之學生，以及 3 名未曾選修該課程之建築背景學生，進行系統測試與評估。評估方法：

- (1) 未曾受過參數曲面設計訓練之學生，先進行 2 小時之工作坊，學習參數曲面之基本概念。所有學生再花費 0.5 小時，共同學習虛擬實境中使用體感操作裝置。
- (2) 指定每位學生一個簡單的參數曲面建築形體，進行自由瀏覽 5 分鐘，再進行指定的形體調整 5 分鐘。接著指定一個複雜的參數曲面形體，同樣進行自由瀏覽 5 分鐘、指定的形體調整 5 分鐘。學生對於參數曲面之操控，僅限於參數方程式中各項常數與變數，故直接受限於對參數關係之了解。學生均於測試前取得該測試曲面之參數方程式。此項實驗因為需要彈性控制各項數值，故使用 Grasshopper 於虛擬實境系統中。

測試評估發現：

- (1) 曾經選修「參數曲面」課程之學生對於參數對應關係有較完整的了解，能較快掌握形體調整之關鍵變數（或常數）。
- (2) 未曾選修該課程之學生，對於簡單參數曲面之形體調整，大約於 3-4 分鐘後可掌握關鍵變數（或常數）。
- (3) 虛擬實境中使用體感操控系統，受測學生多數曾使用 Wii，故均表示易於使用。
- (4) 未曾選修該課程之學生表示，若能夠將參數曲面教材與說明結合虛擬實境系統，由於可以直接在三維空間中視覺化參數關係，應有助於對參數曲面之理解。

5. 結果與討論

5.1. 研究成果與貢獻

- (1) 數學軟體 Mathcad 參數曲面之數值矩陣至 CAD 格式之轉換軟體：為一 AutoLISP 外掛模組，提供轉換參數三維矩陣成為 CAD 網格曲面(mesh)、進行參數曲面上之曲線擷取、控制點標註等功能。利用此工具可簡化 Mathcad 中之參數曲面資料至 CAD 格式之轉換流程並進行簡易分析。
- (2) 虛擬實境系統中之體感操控環境：以 Quest3D 為基礎之體感操控環境，串連 Wii Remote 和 Wii Balance Board 成為虛擬實境之體感輸入裝置，取代搖桿與鍵盤，提高虛擬場景中瀏覽之流暢度與直覺性。(註：本功能已於 2009 年中旬 Quest3D 推出的新版本中提供，故已失去推廣效益。)
- (3) 針對建築背景學生設計之參數建模教材：該教材以 3 小時為一單元，包括 5 單元基本數學觀念與參數關係之建構，2 單元參數曲面建構，2 單元參數曲面實習（匯出、建模等），1 單元虛擬實境空間體驗。
- (4) 虛擬實境系統中參數建模學習與設計環境：建置兩套不同取向之學習環境，一套基於 Rhino 與 Grasshopper，以實驗與建模為主；一套基於 Quest3D，以視覺模擬與空間瀏覽為主。

5.2. 研究建議

本計劃未來研究應納入參數形體從設計至草模一貫流程之研究，其中包括虛擬實境模擬與形體修改、CAD/CAM 快速原型等，方有助於相關教材之整體規劃。此外，該流程將可同時作為各種草模技術規格之參考，包括 CAD/CAM 機具廠商客製化低價、適用於快速原型之機具，以及適於推廣之虛擬實境系統，包括教材，可作為建築系所提昇既有設計方法與建模科技之參考。

6. 參考文獻

- Bai, R. Y., Liu Y. T. (1998) Toward a computerized procedure for visual analysis and assessment, Proceedings of the CAADRIA '98, pp. 67-76
- Chase, Scott C. (2003) Revisiting the use of generative design tools in the early stages of design education, Digital Design [21th eCAADe Conference Proceedings] Graz (Austria) 17-20 September 2003, pp. 465-472
- Chung, Daniel Hii Jun (2007) Best Practice for Achieving Real-Time Virtual Reality Architectural Visualization, CAADRIA 2007 [Proceedings of the 12th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia] Nanjing (China) 19-21 April 2007, pp. 689-691
- Colakoglu, Birgul and Dionyan, Saro (2005) A Parametric Form Generator - ConGen, Digital Design: The Quest for New Paradigms [23nd eCAADe Conference Proceedings] Lisbon (Portugal) 21-24 September 2005, pp. 623-628
- Cruz-Neira, C., Sandin, D. J., DeFanti, T. (1993) A Surround-Screen Projection-Based Virtual Reality: The Design and Implementation of the CAVE. ACM Computer Graphics, 27(2), pp. 135-142
- Do, E. Y.-L.: 2001, VR Sketchpad: Create Instant 3D Worlds by Sketching on a Transparent Window, CAAD Futures, Eindhoven, the Netherlands, KluwerAcademic, pp. 161-172
- Elsas, P. A. and Vergeest, J. S. M. (1998) New Functionality for Computer-Aided Conceptual Design: the displacement feature. Design Studies, 19(1), pp. 81-102
- Franz, G., Von der Heyde, M. and Bülthoff, H.H. (2003) An empirical approach to the experience of architectural space in VR - Exploring relations between features and affective appraisals of rectangular interiors, Digital Design [21th eCAADe Conference Proceedings] Graz (Austria) 17-20 September 2003, pp. 17-24
- Gemeinboeck, P. and Blach, R. (2005) Interfacing the Real and the Virtual: User Embodiment in Immersive Dynamic Virtual Spaces, Learning from the Past a Foundation for the Future [Special publication of papers presented at the CAAD futures 2005 conference held at the Vienna University of Technology], Vienna (Austria) 20-22 June 2005, pp. 171-180
- Gross, M. D. (1996) The Electronic Cocktail Napkin-a computational environment for working with design diagrams. Design Studies. 17(1), pp. 53-69
- Hirschberg, Urs; Allen Sayegh; Martin Frühwirth and Stefan Zedlacher (2006) 3D Motion Tracking in Architecture - Turning Movement into Form - Emerging Uses of a New Technology, Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings] Volos (Greece) 6-9 September 2006, pp. 114-121
- Igarashi, T., Matsuoka, S. and Tanaka, H. (1999) Teddy: A Sketching Interface for 3D Freeform Design, ACM SIGGRAPH Annual Conference on Computer Graphics, pp. 406-419
- Ishii, H., Underkoffler, J., Chak, D., Piper, B., Ben-Joseph, E., Yeung, L., Kanji, Z. (2002) Augmented Urban Planning Workbench: Overlaying Drawings, Physical Models and Digital Simulation, Proceedings of Conference on IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality
- Keefe, D., Acevedo, D., Moscovich, T., Laidlaw, D., and LaViola, J. (2001) CavePainting: A Fully Immersive 3D Artistic Medium and Interactive Experience, Proceedings of the 2001 Symposium on Interactive 3D Graphics
- Kieferle, J.; U. Wössner and M. Becker (2006) Interactive Simulation of Architecture in Virtual Environments, Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings] Volos (Greece) 6-9 September 2006, pp. 52-57
- Kieferle, J. and Wössner, U. (2003) Combining Realities - Designing with Augmented and Virtual Reality, Digital Design [21th eCAADe Conference Proceedings] Graz (Austria) 17-20 September 2003, pp. 29-32
- Lang, S. (2004) Interactive Spaces for Advanced Communication using 3D Video, IJAC, 01(02), pp. 109-112

- Lin, Cheng-Yuan (2003) Introducing Virtual Reality CAVE into Non-geometrically Curved Space Design, Digital Design [21th eCAADe Conference Proceedings] Graz (Austria) 17-20 September 2003, pp. 33-36
- Liu, Y. L., Eisenman, P., et al. (2001) Emergence of digital architecture, Hu's, Taipei
- Liu, Y. T. (1996) Understanding of Architecture in the computer Era, Hu's, Taipei
- Millon, H. A. (1994) The Renaissance from Brvnelleschi to Michelangelo Rizzoli, New York
- Mitchell, W., McCullough, M. (1997) Digital design media, New York
- Palmon, O., Oxman, R., Shahar, M. and Weiss, P. L. (2005) Virtual Environments in Design and Evaluation, Computer Aided Architectural Design Futures 2005 [Proceedings of the 11th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures] Vienna (Austria) 20-22 June 2005, pp. 145-154
- Petric, J., Conti, G. and Ucelli, G. (2003) Designing within Virtual Worlds, Digital Design - Research and Practice [Proceedings of the 10th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures] Tainan (Taiwan) 13-15 October 2003, pp. 213-224
- Petzold, Frank; Bimber, Oliver; Tonn, Christian (2007) CAVE without CAVE, Predicting the Future [25th eCAADe Conference Proceedings] Frankfurt am Main (Germany) 26-29 September 2007, pp. 161-168
- Piper, B., Ratti, C., Ishii, H. (2002) Illuminating Clay: A Tangible Interface with Potential GRASS Applications, Proceedings of the Open Source GIS - GRASS User's Conference
- Schkolne, S. (2002) Drawing with the Hand in Free Space, Leonardo, 35(4), pp. 371-375
- Simon, H. A. (1981) The Science of the artificial, MIT press, Cambridge, MA
- Sutherland, I. (1963) SKETCHPAD, a man-machine graphical communication system. In Proceedings of the Spring Joint Computer Conference, pp. 329-346
- Tan, Beng Kiang; Daniel Hii Jun Chung (2007) Optimising Real-Time Virtual Reality Architecture Presentation, CAADRIA 2007 [Proceedings of the 12th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia] Nanjing (China) 19-21 April 2007, pp. 599-606
- Van Dijk, C. G. C.:1995, New Insights in Computer-Aided Conceptual Design, Design Studies, 16(1), pp. 62-80
- Veirum, Niels Einar; Mogens Fiil Christensen and Mikkel Mayerhofer (2006) Hybrid Experience Space for Cultural Heritage Communication, Communicating Space(s) [24th eCAADe Conference Proceedings] Volos (Greece) 6-9 September 2006, pp. 22-30
- Wang, Xiangyu (2007) Mutually Augmented Virtual Environments for Architectural Design and Collaboration, CAAD Futures [Proceedings of the 12th International Conference on Computer Aided Architectural Design Futures] Sydney (Australia) 11-13 July 2007, pp. 17-29
- Wu, Y. L., Liu, Y. T., Huang, Y. S., Wu, P. L., Wong, C. H., Wang, T. H., Gao, W. P., Shih, W. L. (2004) New Interaction of Digital Exhibition, CAADRIA'04, Korea, pp. 731-739
- Zelevnik, R., Herndon, K. and Hughes, J. (1996) SKETCH: An Interface for Sketching 3D Scenes, SIGGRAPH'96, pp.163-170

7. 計畫成果自評

本計畫成果各階段均與原提案計畫相符，為國際建築領域首次採用虛擬實境系統於參數建模之學習。參數建模為未來十年內之新興建築設計方法，且學習門檻較高，本計畫所提出之教材與學習環境，應有助於提昇本地學生對於前瞻設計方法之掌握，並提高專業與學術競爭力。

第二研究步驟所得成果為橋接技術，補足異質系統間之不足，而在計畫晚期由軟體原廠提出解決方案取代，未及將成果發表，實屬遺憾。第三研究步驟於原計畫提出單一方案（以 Quest3D 為平台），於計畫執行時以兩方案並行，各取其長處進行測試，因為原方案恐受限於軟體平台提供之功能而遭遇研發困難。

本研究各階段之間所獲得成果均以學生學習成效為參考進行開發，不過階段之間的整合度尚不足，如第一階段之 AutoCAD 外掛模組並未與爾後步驟之 Rhino 或 Quest3D 結合，在學習與資料轉換上並未流暢，

計畫所得結果，將以教育、橋接科技、虛擬實境等主題進行投稿。