



雷射3D攝影測量運用於三峽祖師廟之建築藝術

The Application of 3D Laser Scan in Digitizing the Architecture and Art Objects of Hsan-Hsia Master Temple

施乃中^{*}，王惠君，姜智勻，蔡宗旂

Shih, Naai-Jung^{*}; Wang, Huey-Jiunb; Chiang, Chih-Yunc; Tsai, Tsung-Chic

摘要

本研究目的在將歷史建築藝術文物數位化以利保存，利用3D 長距離雷射掃描器紀錄歷史建築文物外觀及量體，將點雲據以轉換成3D 電腦模型，以數位模型記錄提供史料，作為長期記錄、長時間比對之依據。本案擬以三峽祖師廟為對象，以建築本體、裝飾藝術及內外附著之文物（如雕塑、壁畫、碑碣、匾額等）、外部環境（廟埕廣場及周圍建築物景觀）掃描。本研究預期可達到開發反向建構過程、整合幾何體與物表影像二屬性數據、數位化模式建立等效益。

關鍵詞：3D雷射掃描，數位保存，建築藝術

Abstract

The purpose of this study is to digitize historical building and objects for preservation. Long-range and short-range laser 3D scanner were used to record object appearance and mass as point clouds initially and 3D computer polygon models with format being transferred afterward. The digital models will be used as references for long-term records and comparisons. This study was conducted to Hsan-Hsia Temple by scanning buildings, decorations with attached objects (including sculptures, wall paintings, steles, inscribed boards), and exterior environments (including open space and surrounding buildings). The scans benefit a reversed object construction process, the integration of geometries and surface attributes, and the establishment of working pattern for digitization.

Keywords: 3D Laser Scan, Digital Preservation, Architectural Art

1.計畫緣起

文化資產包含具有歷史、文化、藝術價值之古物、古蹟、民族藝術、民俗及有關文物、自然文化景觀與歷史建築等，而古蹟及歷史建築基本資料之調查與蒐集為基礎性之工作。1986 年開始，國際文化紀念物與歷史場所委員會（ICOMOS）之國際建築攝影測量委員會（CIPA），已運用先進測量科學與技術於文化遺產文件與登錄之專業領域。

3D長距離雷射掃描已有在大型歷史文物上運用實例（Besuner & Springfield, 1998; Rocchini et al., 1983; Levoy, 2002; Shadel, 2002），除了建構3D文物數位資料外，亦可用於2D圖面繪製。任何平面圖均難脫符號化之限制，歷史建築及構件本為3D實體，因此紀錄應以數位化之3D資料為主，輔以2D圖面，視2D圖面為3D資料經運算處理後所製作之投影或切割後表達方式之一。物表常見曲面、皺折等高低差變化較為明顯之處固然為線條繪製之依據，但使用相片攝影、放大、視覺校正、描繪方式在實體記錄上仍存在不詳盡之處，曲度變化以線條表示固然可指示脊線位置，仍不足以區分弧面或與銳角皺折。

屬於物表之圖案立面以往可用bitmap轉vector檔案格式及照相測量法描繪兩種方式測繪。前者必須盡量從欲描繪圖案正前方拍攝無變形之影像，再運用演算法參考影像中彩度及明度差異以轉成圖案輪廓、外觀之向量格式。後者為照相測量法附屬功能，因為該法可算出照片影像中之透視矩陣，因此即使照片因基地景深不足有偏斜，亦可直接用於描繪，經反矩陣還原成正視圖（Debevec et al., 1998）而不致變形。圖案測繪完成後僅完成部分工作，尚必須與原形體範圍尺寸比對以求正確，為整合和提升二工作精確度，照相測量法似為較合適方法（Debevec et al., 1998; Liebowitz et al, 1999; Pollefeys & van Gool, 2002）。現今常用軟體在不同物體描述方式上有些直接使用點、線勾勒輪廓，或將構件解析再使用幾何原型（正方體、球型、四角錐…）分別調整位置、比例、旋轉軸向及角度後再安置，各有其優缺點、精確度、及對自由曲線支援程度，操作介面與空間資訊不足時所做之假設亦不同，適用對象各異。

量測在建築相關領域應用已見於國外歷史建築修復過程中，在缺少原始圖面情形下，照相測量法在立面、設備尺寸獲得方法中雖具成本低廉優勢，但在整體資料完備要求下，仍不及3D長距離雷射掃描器紀錄翔實。紙本紀錄、視覺傳播常以2D圖面為主，其參考價值仍大，如配合以3D實體，建置網頁可因格式及互動方式多樣化發揮資料在呈現、下載後操作之有形價值。

2.研究目的

台灣的古蹟與歷史建築共有六百多處，類型大致分為城廓、遺址、祠廟、書院、宅第、教堂、其他等，因此本研究希望將雷射攝影測量運用於歷史建築藝術3D實測數位模型之調查，以古蹟與歷史建築的祠廟類型作為對象，選擇歷史悠久台北縣三峽祖師廟進行操作。

本研究目的在將歷史建築藝術文物數位化以利保存。使用3D長距離雷射掃描器紀錄歷史建築文物外觀及量體，將點雲據以轉換成3D電腦模型，以數位模型記錄提供史料長期記錄、長時間比對之依據。本案以三峽祖師廟為對象，以建築本體、裝飾藝術及內外附著之文物（如雕塑、壁畫、碑碣、匾額等）、外部環境（廟埕廣場及周圍建築物景觀）掃描。

3.掃描設備與規劃

數位資料輸入方式可由CAD軟體自行建構，或是經由實物掃描的方式以擷取目標物件的三維資料。本校建築研究所CAAD研究室於九十五年底引進可360度旋轉的HDS3000機型(圖1左)，其掃描距離更高達300公尺。其原理係經由掃描器本身發送雷射光束投射至目標物，再計算雷射光束自目標物反射回來的時間差，以空間點雲(point-cloud)的形式來記錄被測物表在空間中存在的位置。當掃描器對目標物進行量測時，每一次可以投射出高達20000*5000個class 2綠色雷射光所形成的光點矩陣。掃描器同時提供結合同一量測目標多方位掃描資料成單一檔案的解決方案。

OptiX400掃描器為工業設計產品專用之掃描器(圖1右)，其特性為掃描點距較長距離掃描器來的密集，掃描的精確度也較長距離掃描器高出許多，並可運用其附屬之500萬畫素數位相機取得數位影像與點雲結合，使點雲資料直接呈現構件本體之顏色，本研究將其運用在三峽祖師廟細部構建點雲資訊的取得，可獲得較佳的視覺與幾何資料。

使用3D雷射掃描器進行歷史建物掃描作業時，因需動用較多的移動成本及人力支援，因此在掃描作業前必須先做好一定的掃描計畫，使得掃描作業能夠有效率的進行，主要的掃描計畫可分為掃描前置作業、掃描進行作業、後續資料處理作業等三大部分。

掃描進行作業為掃描作業中最重要的一環，一次掃描的成功與否在掃描的進行作業中佔相當比例。掃描作業的進行有其一定的流程，必須在掃描前先行熟練，掃描設備的架設必須謹慎小心依照一定的流程(圖2左)，參考點架設必須穩定不可晃動(圖2右)，並避免來往的行人碰撞，必要時需拉設警告標線，到達現場時仍

須依據現地現況而略做調整。

在掃瞄點選擇時，通常以鄰房屋頂作為標的。這些在鄰房屋頂所架設的掃瞄點稱之為制高點，由於制高點距離地面有較大的高層差，可視性叫平面架設掃瞄點為佳。三峽祖師廟的外觀因為周遭的制高點並不多，在經過反覆尋找與評估後，外觀掃瞄選定的制高點分別置於祖師廟的四個角落，每個制高點都可掃描到兩向度，標示如圖3 所示。每一個檔案資料不足或是有產生陰影處，都恰好的可以用其他面向的檔案都補足。

4.點雲結合

內部掃瞄作業受限於每一天能夠掃瞄的範圍，且為了避免毀損歷史建物壁面，因此沒有為下一次的掃瞄作業貼附參考點做。所以每次當日作業檔案都用個別參考點結合，每個獨立空間掃瞄都是非常完整而準確。不過各個空間相互結合使用手動選點自動結合的方式進行，然後在經由人工的判斷及審核，避免產生誤差，以達到正確、完整記錄相關資訊的要求。

本掃瞄作業約共花費六作業天，合計18 個掃瞄點、20 次的掃瞄作業；內部掃瞄佔14 個掃瞄點、16 次的掃瞄作業。但因為內部掃瞄往往受限於空間阻隔，或以不損壞歷史建物表為準則下，參考點設置以一天為單位，當天掃瞄完即撤除。因此每天的個別檔案是利用每一個較為特徵的區域做為結合依據，用手動選點自動結合的方式進行，盡量多選參考點方式來減少誤差的產生。

為達到所有的檔案都可以結合的整合動作，使三峽祖師廟的點雲檔案可以更加的完整，所以每日的檔案與檔案之間都需要做一個結合的動作，圖4 是每日檔案與檔案手動選點自動結合的流程圖，外觀如圖5 所示。外部掃瞄作業因為三峽祖師廟周遭環境的關係，非常難以找到共同可視的空間，因此無法設置共同參考點，因此外部掃瞄也是採用手動選點自動結合的方式，表1 例舉呈現雷射掃瞄作業的資訊內容。



圖1. (左)HDS3000 雷射掃描器(右)Optix400 雷射掃描器
Figure 1. HDS3000 (left) and Optix400 (right) laser scanner

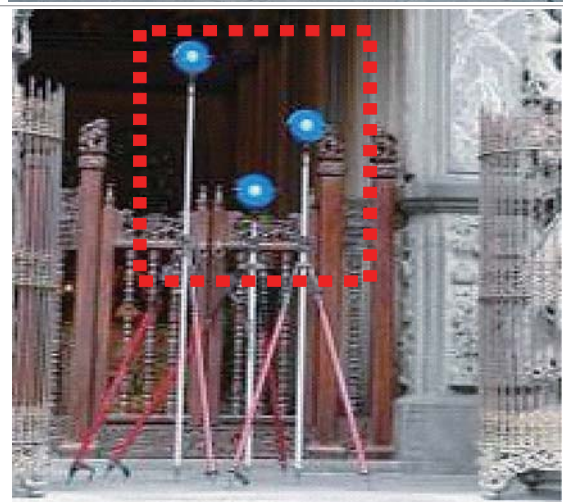


圖2. 掃描設備與參考點架設
Figure 2. Scan equipments and the set up of reference points



圖3. 制高點相對位置示意圖
Figure 3. The scan locations around the temple

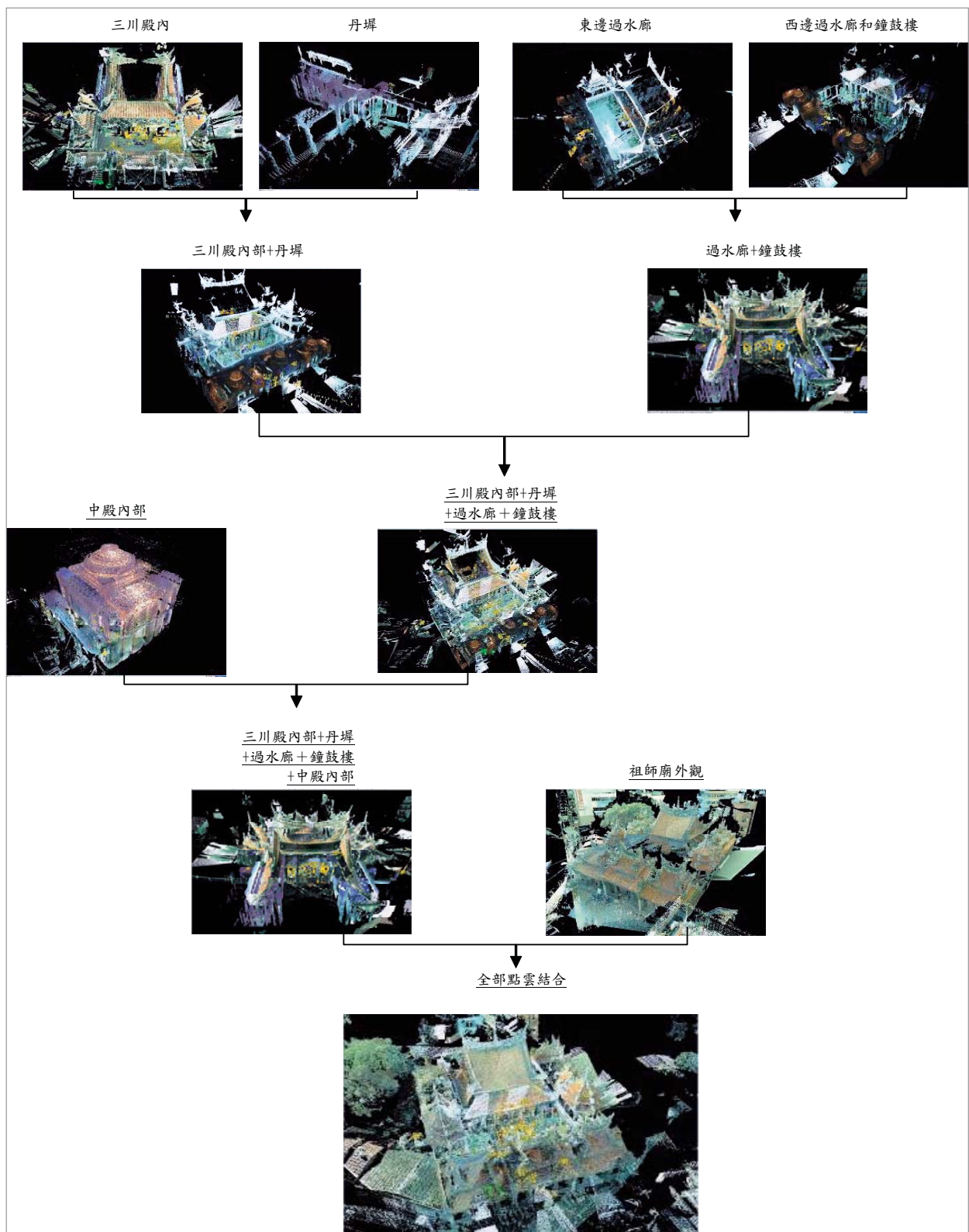


圖4.檔案與檔案手動選點自動結合的流程圖
Figure 4. The flowchart of manual selection and automatic registration between files

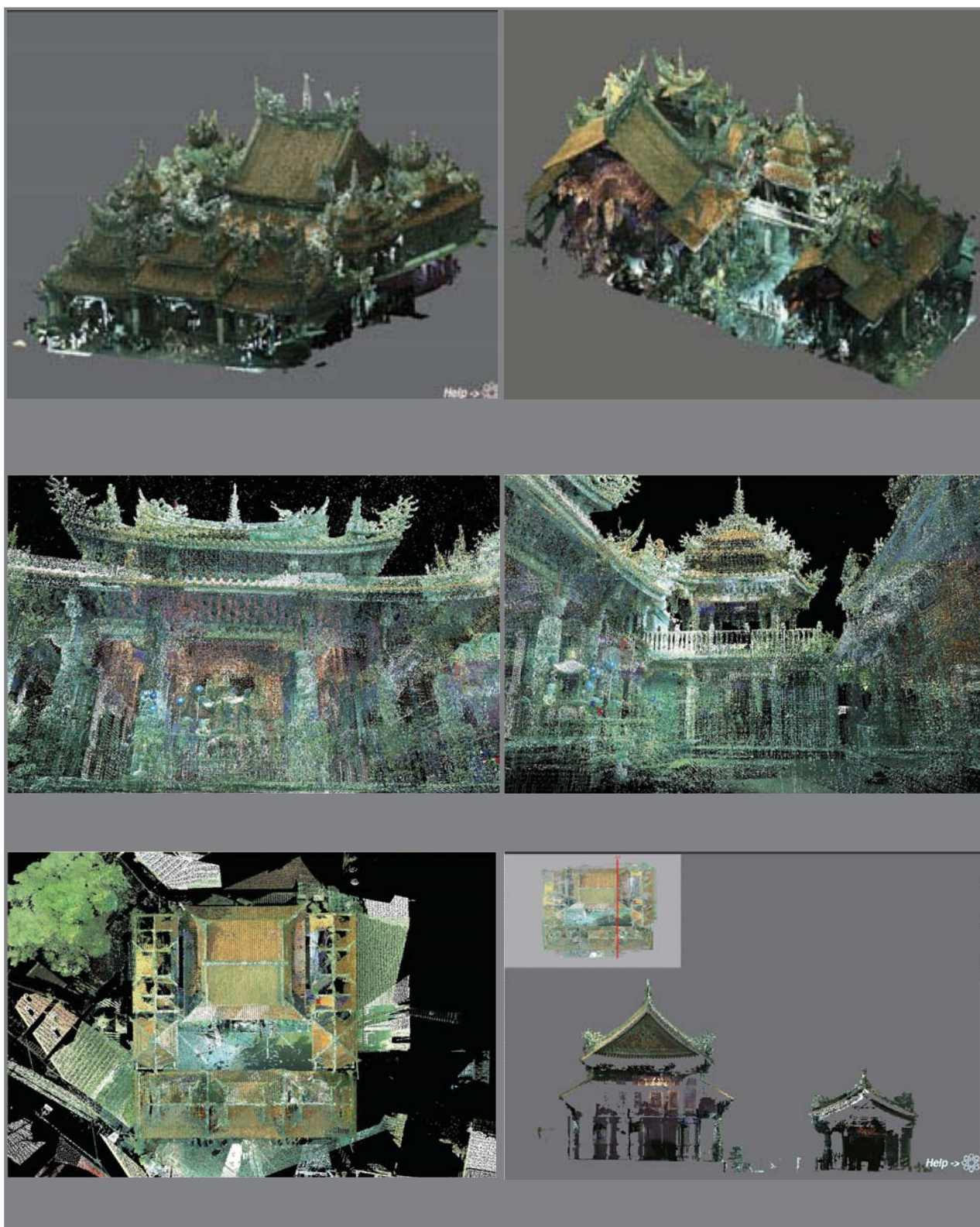
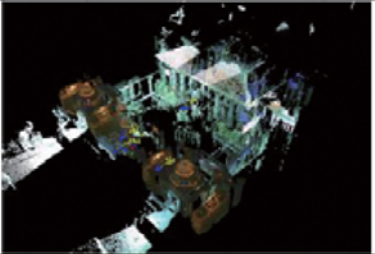
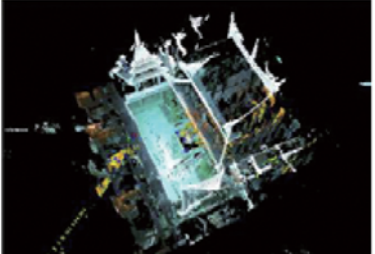
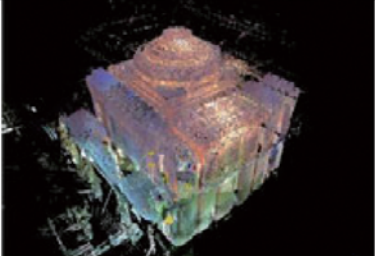
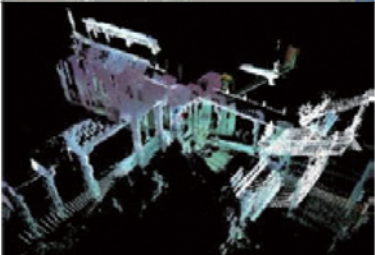
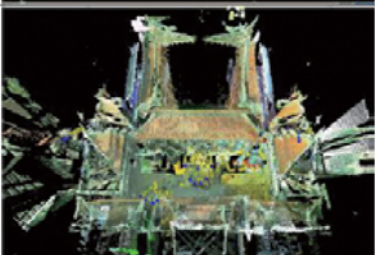



圖5.外觀掃描成果
Figure 5. Final scan outcomes

表1. 雷射掃描作業資訊
Table 1. The operational information of laser scans

掃描日期	名稱	掃描數量	掃描次數	總掃描點數	結合方式	點雲
2006 1103	三川殿 內部	3	4	7,571,468	參考點自 動結合	
2006 1107	丹墀	2	3	5,943,321	參考點自 動結合	
2006 1109	正殿內 部	5	5	8,803,453	參考點自 動結合	
2006 1116	東邊過 水廊	1	1	4,832,848	參考點自 動結合	
2006 1117	西邊過 水廊和 鐘鼓樓 內部	3	3	13,947,018	參考點自 動結合	
2006 1123	祖師廟 外觀	4	4	27,898,825	手動選點 自動結合	

5. 細部掃描

局部多區域掃描是指在一個掃描視景內做兩次以上的掃描，適用於檢視各目標物在空間中之相互關係，或對掃描密度要求極高時使用，例如目標物距掃描點較遠，則可用局部多區域掃描來增加目標物的掃描密度。一般的廟宇除了雕刻、尚有彩繪，而祖師廟則以大部分的雕刻代替彩繪，石堵上雕刻的花鳥畫（圖6）及對聯都是出自名家的手筆，且數量繁多，而銅雕亦是首創，多為李梅樹及其學生的作品，構件繁多。除綜觀的全景掃描之外，一些細部構件需要單獨的加強掃描，才能更精確的顯示出其原貌（圖7-10）。



圖6. 物件模型-水磨沉花細部(中杜鵑-李梅樹)
Figure 6. Details of scanned object

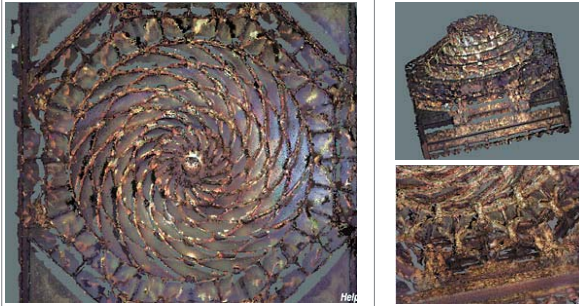


圖7. 正殿藻井
Figure 7. Well in the central temple



圖8. 浮雕
Figure 8. Scanned sculptures

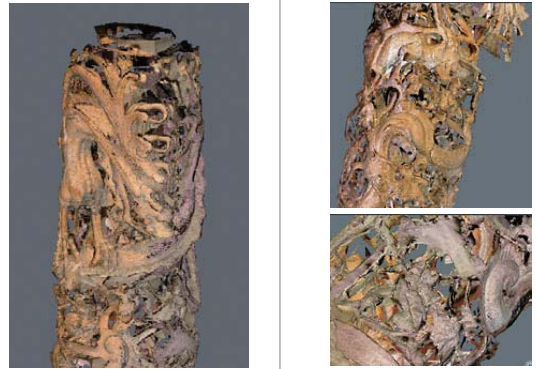


圖9. 雙龍柱(點呈現)

Figure 9. Double-dragon column (in point representation)

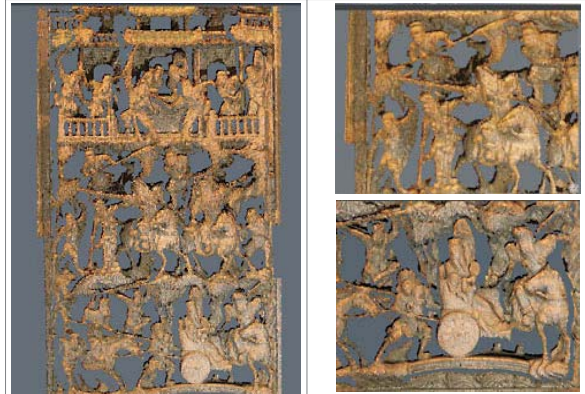


圖10. 身堵細部(點呈現)

Figure 10. Details of San-Dou (in point representation)

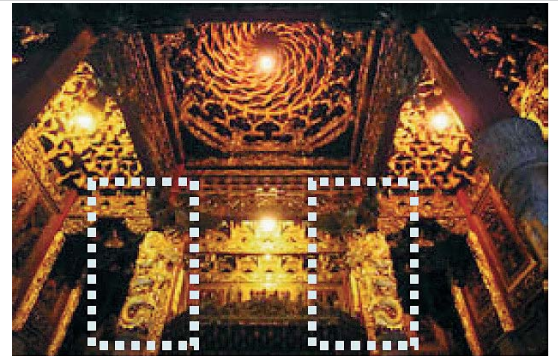
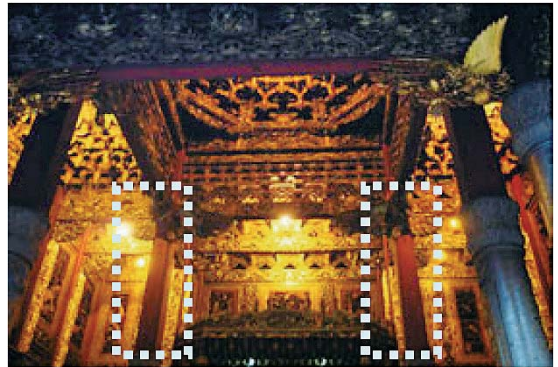


圖11. 中殿內部龍形雕刻裝修前(上)裝修後(下)

Figure 11. Double-shaped sculpture before (left) and after (right) renovation in the central temple

祖師廟為藝術價值甚高之廟宇，匠師在此集結獻藝，構件繁多，且相關保存、修繕工程仍然持續進行中，例如8月底發現鍾鼓樓欄杆已修建完成，10月底新增中殿內部龍形彫刻(如圖11)>如所有細部構件皆加以掃描，恐造成資料量過大，以現有電腦設備恐難以負荷，固本研究挑選較具代表性的構件作細部掃描，相同的構件或許在不同的地方以不同形式語彙呈現，在此也盡量挑選每種構件最經典的作品作為代表，以期讓瀏覽者能夠快速的對各構件有所了解。

.pmjx 檔案形式為Optix400 掃描器紀錄點雲資料的格式，其特色是將掃描物件的顏色資訊直接紀錄於每個點資料上，與.obj 檔案格式顏色資訊是利用貼圖方式呈現有很大的差異。而.pmjx檔案形式最大的優勢在於其檔案量只有.obj 檔案格式的1/3~1/4，在結合的處理過程中電腦的負荷量較小，處理過程也較為流暢，但其顏色的顯示效果並不如貼圖來的精細。由圖8中可發現，利用貼圖所顯示的顏色效果較為均勻也較暗沉，而.pmjx 的顏色資訊(圖9)顯示有較多亮面暗面的差異，整體顏色顯示效果也較淡。但整體來說.pmjx 顯示效果仍在可接受範圍，且對於後續網頁資源呈現使用上較為有利，本研究將.obj 與.pmjx 檔案格式作為構件結合與呈現之原始資料，使用者可從網頁的瀏覽中感受到兩種檔案格式顯示效果的差異。

6.結論

本掃描研究尚在進行中，初步研究成果顯示數位形體保存可藉由3D 掃描器達到。雖然資料量非常龐大，但藉由網路顯示程式輔助，可經格式轉換增加呈現效率。研究過程中逐漸認知古蹟保存是永續事業，即使在施做進行中亦應隨即更新；為求後續增修有最新圖面可供參照，掃描除必須在施工中、後進行外，每間隔數年亦應實施一次，以達永續保存目的。

謝誌

本研究接受「國立文化資產保存研究中心籌備處」委託，為「雷射3D 攝影測量運用於三峽祖師廟之建築藝術」(案號:95-06)研究，在此致謝。

參考文獻

- Besuner, 1998, P.; Springfield, J., "Modeling existing facilities via laser," Lasers & Optonics, Vol. 17, Iss: 5, p. 43-4.
- Debevec, P.E., Taylor, C.J., Malik, J, 1996, Modeling and Rendering Architecture from Photographs: A hybrid geometry- and image-based approach. Proceedings of the SIGGRAPH 96 Conference, 4-9, pp.11-20.
- Debevec, P.E.; Taylor, C.J.; Malik, J.; Levin, G.; Borshukov, G.; Yu, Y., 1998, "Image-based modeling and rendering of architecture with interactive photogrammetry and view-dependent texture mapping," ISCAS '98. Proceedings of the 1998 IEEE International Symposium on Circuits and Systems, p. 514-17 vol.5.
- Levoy, M., S. Rusinkiewicz, et al.,2000, The Digital Michelangelo Project: 3D Scanning of Large Statues. SIGGRAPH 2000, New Orleans.
- Liebowitz, D., Criminisi, A. Zisserman A., 1999, Creating Architectural Models from Images. Proceedings of the EUROGRAPHICS'99, Computer Graphics Forum, 7-11 Sept. 1999, vol.18,no.3, pp.C39-50, C399.
- Pollefeys, M. and van Gool, L., 2002, From Images to 3D Models, Communications of the ACM,July,.
- Rocchini C, Cignoni P, Montani C, Pingi P, Scopigno R., 2001, A low cost 3D scanner based on structured light. Blackwell Publishers for Eurographics Assoc. Computer Graphics Forum, vol.20,no.3, pp.C/299-308, 549. UK.
- Shadel, B. and P. Vu, 2002, 3D laser scanner survey aids design of Rinconda Water Treatment Plant.APWA Reporter. September: 75-76.

作者

施乃中* Shih, Naai-Jung

國立台灣科技大學建築系教授

Professor,

Department of Architecture,

National Taiwan University of Science and Technology

Taipei City, Taiwan, R.O.C.

✉n7893110@mail.ncku.edu.tw

王惠君 Wang, Huey-Jiun

國立台灣科技大學建築系副教授

Associate professor,

Department of Architecture,

National Taiwan University of Science and Technology

Taipei City, Taiwan, R.O.C.

姜智勻 Chiang, Chih-Yun

國立台灣科技大學建築系碩士生

Graduate student,

Department of Architecture,

National Taiwan University of Science and Technology

Taipei City, Taiwan, R.O.C.

蔡宗旂 Tsai, Tsung-Chi

國立台灣科技大學建築系碩士生

Graduate student,

Department of Architecture,

National Taiwan University of Science and Technology

Taipei City, Taiwan, R.O.C.