

# 以真實影像自動化敷貼三維建物模型表面之研究

王聖鐸<sup>1</sup> 曾義星<sup>2</sup> 傅秉綱<sup>3</sup>

## 摘要

以三維建物模型取代傳統二維圖籍表達建物的空間資訊，可完整且直覺地呈現建物的外貌，其呈現方式由僅具建物主體概念的抽象模式，可依不同的需求增加如：陽台、窗台、遮陽罩等細節模型，並於模型各表面敷貼虛擬材質影像，甚至進一步敷貼實地拍攝之像片，成為擬真式的複雜模型。在模型表面敷貼真實拍攝的影像能予人如臨現場之真實感，然而傳統的整面敷貼方式需要大量人工量測角點並建立對應關係，以致模型製作成本高昂。本研究採用浮測模型法重建三維建物之幾何模型，藉由分析建物模型、拍攝像片、及材質影像之間的幾何關係，逐像元建立材質影像至航測或近景像片之對應關係，並考慮拍攝距離、拍攝角度、像片品質等成像因素設計一組像片選取指標，以程式自動化選出最適合的來源影像，藉由投影與重新取樣製成最合理的材質影像，最後以虛擬實境語言(Virtual Reality Modeling Language, VRML)展現三維建物之擬真模型。為驗證其可行性，本研究依據所提方法撰寫一套電腦程式，並選定成大校園中的兩棟建物為測試對象，實地環繞建物拍攝一系列像片。所使用之數位單眼像機(DSLR)已預作率定，故像片內方位及透鏡畸變差可據以改正，像片之外方位則是以模型框線為控制線加以求定。故程式可自動選取最適來源影像，逐像元製作材質影像，最後敷貼至三維建物模型表面，以虛擬實境語言展現成果。兩棟測試模型之敷貼成果都獲得令人滿意的視覺效果，證實本文所提自動化方法之可行。

**關鍵詞：**三維建物模型、材質敷貼、透視投影轉換、近景攝影測量、虛擬實境

## 1. 前言

如何以最擬真的方式重建肉眼對於生活空間的觀察經驗，一直是科學家追求的目標。Catmull (1975) 將一小塊類似磚塊紋理的材質成功地敷貼至平面及圓柱面上後，開啓了電腦圖學中模型敷貼影像的研究熱潮；Blinn and Newell (1976) 將材質影像敷貼到茶壺模型表面，成為電腦圖學領域中最常被引用的範例；Bunker et al. (1984) 則是率先將同一材質影像單元重複敷貼至地表模型使其更逼真。然而虛擬材質影像終究只能敷貼出虛擬(Virtual)模型，無法反映物體的實際外觀。因此學者開始研究以實地拍攝的真實像片作為材質，敷

貼為擬真(Realistic)模型，如：Gulch (1997)、Halla and Brenner (1999) 萃取航測影像作為建物模型屋頂的材質影像，Forstner and Gulch (1999) 萃取近景影像作為建物模型側面牆壁的敷貼材質。

模型表面材質的敷貼過程可用材質影像、模型及拍攝像片三者之間的幾何關係來說明。電腦圖學領域將其視為數學上的坐標系統轉換，以齊次坐標(Homogeneous Coordinates)的概念來計算三者間的對應關係。攝影測量領域則將其視為光學上的投影轉換，以透視投影(Perspective Projection)與平行投影(Parallel Projection)的概念來進行計算，稱為透視轉換或透視像片貼圖。Weinhaus (1997) 比較了兩者在適用情況及實際計算上的不同，並以透

<sup>1</sup> 國立成功大學測量及空間資訊學系博士後研究員

<sup>2</sup> 國立成功大學測量及空間資訊學系教授

視貼圖的方式將遙測影像敷貼至郊區及都市區的地表及三維建物模型面上，後續又將量測性相機所拍攝的真實影像敷貼至平面多邊形模型上（Weinhaus, 1999）。

為確定模型面在像片上之範圍，必須先求得像片之方位元素。傳統近景攝影測量多利用佈設控制點，再以空間後方交會（Space Resection）求解。Varshosaz（2003）與 Haala（2004）則是利用特殊設計的攝影系統取像，以提升求解影像方位的效率，惟此類特殊儀器相當昂貴，實作上不易普及。目前已有加拿大 EOS 公司出品之 PhotoModeler 軟體可透過量測建物邊緣求解影像外方位，可節省佈設控制點之時間與人力。

上述方法都是以「面」為單位進行材質影像與拍攝像片的對應，需要以人工在像片上量測材質影像對應範圍的角點，當角點被遮蔽時就會造成量測上的困難。此種作業方式所需人力與時間成本相當可觀，而且以面為單位範圍太大，實際作業時經常發生不論從哪一張像片萃取材質影像都不盡理想的情況。Rau et al.（2006）則是以航空攝影測量建物三維線段，再透過其專利之SMS演算法半自動地組成建物幾何模型。為了提升大批影像之管理效率，建物側面影像是以整合GPS定位功能之非量測性數位像機拍攝，透過GIS圖形介面管理GPS所記錄之像機位置，並提供互動介面以決定每張影像之外方位。而材質影像製作則是以面為單位，並以鏡射的方式補償遮蔽部分（Tsai et al., 2006）。

相對於Rau et al.（2006）採用的SMS演算法，本研究採用浮測模型法（王聖鐸, 2005）重建建物幾何模型，以非量測性數位單眼像機拍攝近景像片作為材質影像來源。像機於拍攝前已透過PhotoModeler 軟體率定其內方位及鏡頭畸變差，攝得像片再利用模型框線求解像片外方位。故依攝影測量中心投影的透視轉換概念，可由已知的像片方位重建模型與像片之間的投影關係，並在模型表面建立區域性的材質坐標系以模擬平行投影的材質影像，即可以模型表面為中介，建器材質影像與拍攝像片間投影關係。

材質影像製作的好壞直接影響模型敷貼後的

視覺效果，相對於以整片模型面為單位萃取材質影像，本研究以每一面材質影像上的「像元」為單位逐一選擇來源像片。其考量因素包括拍攝物距、拍攝角度等，藉由評估一組整合指標使電腦程式可自動判斷該像元應由哪張像片取樣，達成自動化製作材質影像並敷貼至模型表面之目的。在已知像片方位的條件下，整個流程可以由電腦程式自動完成，大幅減輕製作材質影像的工作量並有效提升影像敷貼的品質。

## 2. 建物模型敷貼材質影像理論

### 2.1 材質影像敷貼

模型表面材質的敷貼過程可用材質影像、模型及拍攝像片三者之間的幾何關係來說明，如圖 1 所示。其中材質影像可以視為某模型表面在平行於該表面之平面上的平行投影，亦為敷貼模型表面的素材，在本研究中為待求定之未知影像。拍攝像片則是模型經透視投影於某平面之成像，可視為肉眼觀察之經驗，亦可視為拍攝物體所得的真實影像。在本研究中由數位像機拍攝而得，且其方位經空中三角計算確定，屬於已知的來源影像。其中正向貼圖（Forward Mapping）是將材質影像敷貼至物件模型後，經由透視投影方式顯示於某一成像平面，成為螢幕上顯示影像或拍攝像片的流程，在電腦圖學中稱為三維顯圖。而從拍攝像片對應到物件模型，藉以製作材質影像的流程則稱之為反向貼圖（Inverse Mapping）。本研究先採取反向貼圖的流程，從真實影像中求解出每個模型面的材質影像，最後利用VRML 依正向貼圖的方式，將求得之材質影像一一敷貼至對應的建物模型表面上展示。

### 2.2 反向貼圖

從真實影像求解材質影像的反向貼圖流程可概分為兩個部分：（1）建器材質影像與物件模型表面之對應關係、（2）建立拍攝影像與物件模型之對

應關係。欲建木材質影像與物件模型表面的對應關係，即要求出模型坐標系統與材質影像坐標系統之間的轉換關係。本研究引入電腦圖學的「觀察者平面」(張峰銘，1994)作為材質影像所在平面，直接以建物模型表面作為觀察者坐標系統的  $u-v$  平面，以建物模型表面的法向量作為觀察者坐標系統的  $n$  軸，如此材質影像上的每一個像元都可以藉三維坐標轉換對應到模型上的一個三維點。

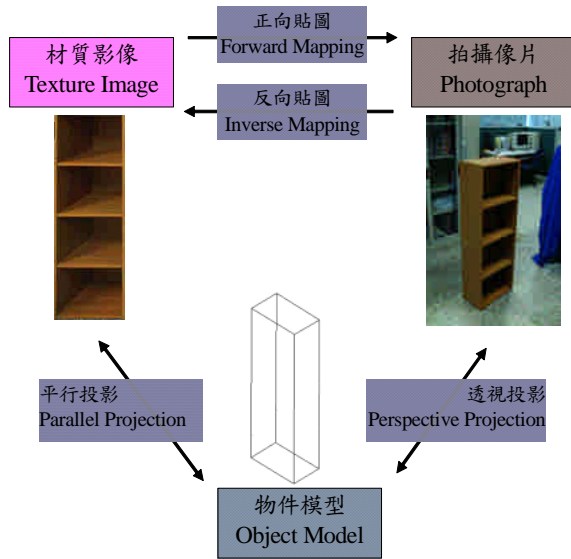


圖 1 材質影像敷貼示意圖

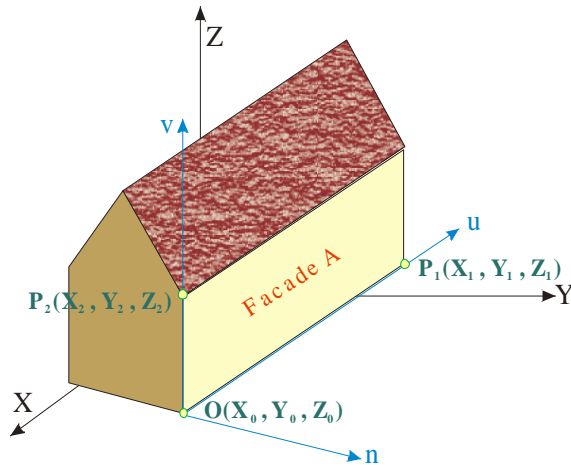


圖 2 觀察者坐標系統示意圖

以圖 2 為例，如欲製作 Facade A 之材質影像，首先以模型面上任意一個端點做為觀察者坐標系的原點  $O(X_0, Y_0, Z_0)$ ，以原點  $O$  與另外兩個相鄰端點  $P_1(X_1, Y_1, Z_1)$  及  $P_2(X_2, Y_2, Z_2)$  組成向量  $OP_1$  與  $OP_2$ ，設  $OP_1$  的單位向量為觀察者坐標系  $u$  軸在模型坐標系統的分量 ( $u_x, u_y,$

$u_z$ )，再求出  $OP_1$  與  $OP_2$  外積的單位向量，做為觀察者坐標系  $n$  軸在模型坐標系統的分量 ( $n_x, n_y, n_z$ )，最後再利用  $u$  軸與  $n$  軸的外積求出  $v$  軸在模型坐標系統的分量 ( $v_x, v_y, v_z$ )，由模型點  $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$  計算其對應的材質影像坐標  $T_i(u_i, v_i, n_i)$  如 (1) 式：

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ n_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_x & u_y & u_z \\ v_x & v_y & v_z \\ n_x & n_y & n_z \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_i - X_o \\ Y_i - Y_o \\ Z_i - Z_o \end{bmatrix} \quad (1)$$

像片點  $p(x_i, y_i)$ 、模型點  $P_i(X_i, Y_i, Z_i)$ 、以及投影中心  $C_i(X_{ci}, Y_{ci}, Z_{ci})$  三點共線是中心投影的基本原則，在已知像片內方位元素 ( $x_o, y_o, f$ ) 及外方位元素 ( $X_{ci}, Y_{ci}, Z_{ci}, \omega, \phi, \kappa$ ) 的前提下，透過共線式 (Collinearity Condition Equations) 可以由模型點  $P_i$  坐標 ( $X_i, Y_i, Z_i$ ) 計算出對應的像片點  $p$  坐標 ( $x_i, y_i$ )，建立像片與模型之間的對應關係。當反向貼圖的兩大對應關係都建立後，即可著手進行材質影像之製作。由於材質影像必須為矩形，故製作建物表面材質時，是將模型面轉換到觀察者平面，取其外包矩形作為材質影像的範圍。依照精緻需求程度，將材質影像切割為四方網格，每一網格即為材質影像的一個像元，逐像元計算其模型空間坐標，再投影到拍攝像片上取樣出該像元的灰度值。整個流程可以程式自動化完成，如圖 3 所示。取樣的方法有很多種，如：最鄰近法、雙線性內插、多項式內插等，本研究僅對投影位置的四鄰像元，採用雙線性內插計算其灰度值，可在不影響程式效率的前提下獲得理想的取樣品質。

### 3. 像片之選取

由於實際拍攝情況的不同，模型面出現在像片上的情況也會有所不同，因此像片的選取流程大致上分為兩個部份，第一部份是分析模型面與像片的幾何關係，排除不適用的像片，第二部份則是根據選取指標，從保留的像片中選取出最適合做為該模型面材質影像來源的像片。

### 3.1 像片涵蓋

由於建物體積龐大而攝影像幅有限，往往必須在不同位置、由不同角度拍攝，才能取得該建物完整的外表影像。同一片建物面可能會被多張像片同時涵蓋，若面積較大則必須由多張像片拼接才能構成完整的建物面，以下分別針對像片涵蓋情形及選取對策加以探討。

(1) 一張像片完整包含一建物面：發生在特殊安排的攝影場景，或已由人工預先為各建物面挑選適當像片的情形下。因為只有一張像片完整包含這片建物面，這張像片是敷貼材質時唯一的選擇，故直接擷取影像作為敷貼材質。

(2) 同一建物面需由多張影像拼接：攝影情形類似，惟因某些建物表面面積過大，無法以一張像片完全涵蓋，因此必須以拼接的方式組成完整的材質影像。黃文利（2001）提出了區塊萃取法來解決這種情形，區塊萃取法將建物面以矩形區塊表示，並將區塊角點在影像上分佈的情形分成四個角點落在同一張像片、三個角點落在同一像片、兩個角點落在同一張像片像片、一點落在同一張像片等四種情況。除了第一種情況外，在其他情況下材質影像均無法僅由一張影像獲得，必須對區塊進行分割，分割後再對新的區塊進行角點分佈判斷，直到整個區塊的影像被完整萃取。

(3) 同一建物面為多張像片所涵蓋：在一般情況下，同一建物面通常會出現在多張像片上，其中某些像片可涵蓋完整的建物面，而有些像片僅能涵蓋局部。與上一種情形類似，若仍以整片建物面為單元萃取材質影像，就會出現無法萃取或影像品質不佳的困擾。因此本研究是以像元為單位，先依初步篩選原則淘汰成像幾何不佳的像片，再透過三維

坐標轉換與透視投影，依整合指標選取來源像片。

### 3.2 初步篩選

以每個材質像元為單位，分析其拍攝角度、像元所在位置、拍攝距離及建物自我遮蔽等 4 個項目，以排除不適用像片。

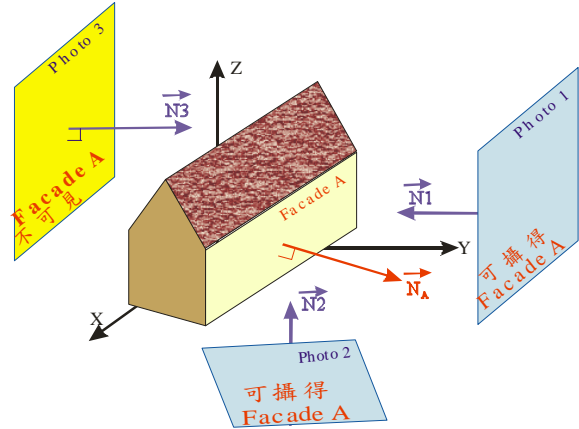


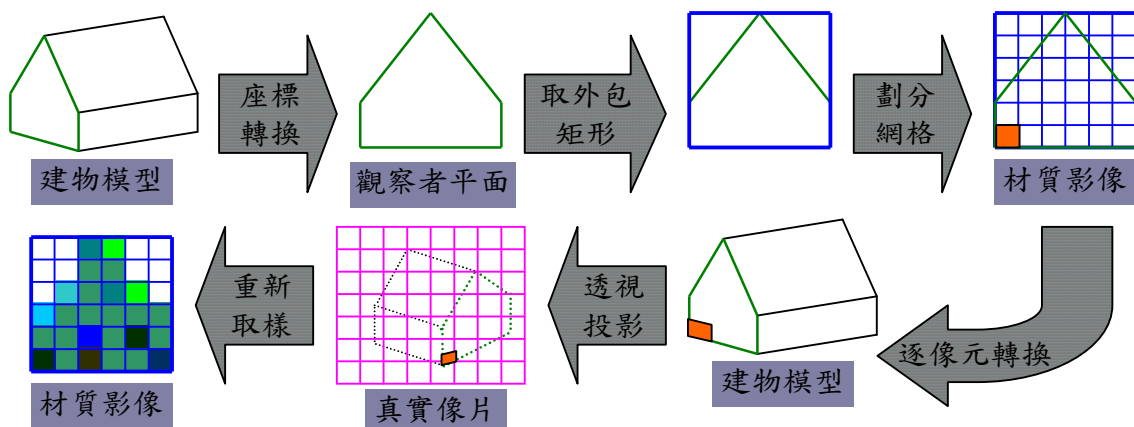
圖 4 由拍攝角度決定建物面是否可見

(1) 拍攝角度：如圖4所示，建物面法向量  $N_A$  與像片法向量  $N_1$ 、 $N_2$ 、 $N_3$  之間的夾角範圍為  $0 \sim 180$  度，當夾角大於  $90$  度時模型面才能於此張像片上成像，因此可由拍攝角度的計算先排除夾角小於  $90$  度的像片。

(2) 像元所在位置：像幅大小是固定的，因此透過計算後若像元坐標落在圖幅外時，則代表該像元點無法在此張像片上成像，可先將此張像片排除。

(3) 拍攝距離：物距過遠時成像較小，不宜作為敷貼影像，故若計算出的拍攝距離超過預定臨界值，則排除該張像片。

(4) 建物自我遮蔽：若像元點與攝影中心所組成的光束與其他建物面亦有交點，則判斷此像元點會被建物本身其他模型面遮蔽，應排除該張像



片。

### 3.3 選取指標

經初步篩選排除不適用的像片後，若尚有多張備選像片，則需進一步評估成像因素來選取最適合該像元點的材質影像。本研究將拍攝角度  $\theta$  及拍攝距離  $d$  透過加權函數整合成爲一評估指標  $S$  作爲像片選取依據，如 (2) 式。其中  $w_1$  及  $w_2$  分別爲角度加權函式  $f(\theta)$  及距離加權函式  $f(d)$  在評估指標中所佔的權，可視實際需求調整角度因素或距離因素的比重，一般的情形下可以等權處理。本研究考量到實驗對象護理系館與總圖書館的實際攝影狀況，擬加重拍攝角度在  $157.5^\circ$  以上及拍攝距離在 50 公尺以內像片的權。而  $f(\theta)$  及  $f(d)$  函式則是以餘弦函式爲基礎，故以 (3) 式將拍攝角度的範圍由  $90^\circ \sim 180^\circ$  換算至餘弦函式的  $180^\circ \sim 360^\circ$  之間，以 (4) 式將拍攝距離由  $0 \sim 200$  公尺換算至餘弦函式的  $0^\circ \sim 180^\circ$  之間。如此利用餘弦函式在  $180^\circ \sim 360^\circ$  時函數的兩個反曲點變化 ( $180^\circ \sim 225^\circ$  之間緩升， $225^\circ \sim 315^\circ$  之間陡升， $315^\circ \sim 360^\circ$  之間緩升)，突顯出拍攝角度介於  $112.5^\circ \sim 157.5^\circ$  的差異如圖 5。同理利用餘弦函式在  $0^\circ \sim 180^\circ$  時函數的變化突顯出拍攝距離介於 50 公尺  $\sim$  150 公尺的差異如圖 6。

$$S = f(\theta) * w_1 + f(d) * w_2 \quad (2)$$

$$f(\theta) = 1 + \cos(2\theta) \quad (3)$$

$$f(d) = 1 + \cos(\pi * d / 200) \quad (4)$$

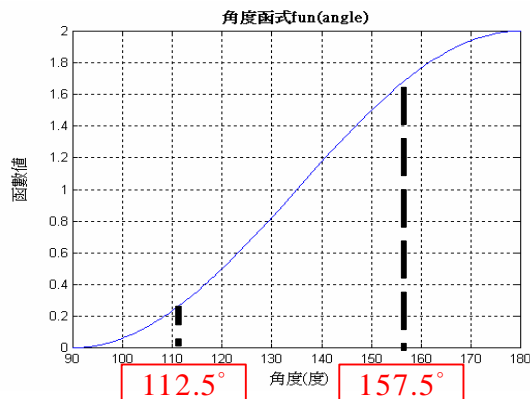


圖 5 角度加權函式圖形

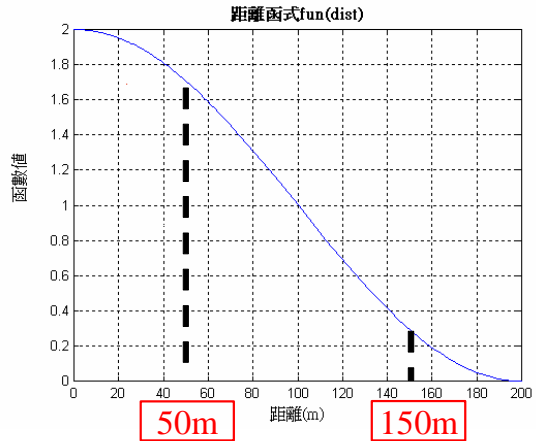


圖 6 距離加權函式圖形

## 4. 實例測試

在三維建物模型及像片方位均已知的的前提下，本文所提出的方法可讓電腦程式以像元爲單位，依照整合指標自動地選擇最適切的真實拍攝像片，從中取樣出材質影像的像元灰度值，並敷貼至三維建物模型表面，最後輸出 VRML 展現成果。爲驗證所提自動化流程之可行性及效果，吾人選擇成大校區內的護理系館及總圖書館兩棟建物進行測試，以 Fujifilm FinePix S1 Pro 數位相機搭配 Nikon 28mm f/2.8s 單眼鏡頭至現場拍攝建物的真實像片。拍攝前預先以加拿大 EOS 公司出版的 PhotoModeler 軟體率定數位相機的內方位及像機畸變差，拍攝時焦距維持不動，而光圈均維持 f:22，快門則介於  $1/90$  秒  $\sim$   $1/180$  秒之間，拍攝後仍採用 PhotoModeler 求解像片的外方位以及三維建物模型之角點坐標。

### 4.1 護理系館的測試

成大護理系館如圖 7 所示，其側面共分爲 11 個模型面，除了模型面 11 因緊鄰隔棟建物無法拍攝外，環繞護理系館共拍攝了 14 張像片，各模型面材質影像的求解結果如圖 8 所示。



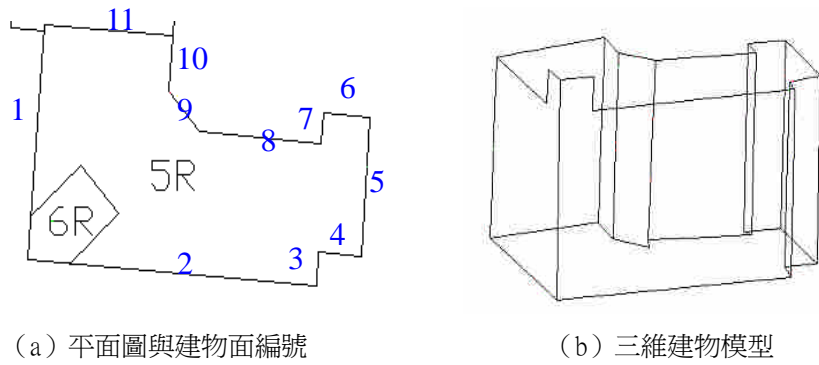


圖 7 成大護理系館

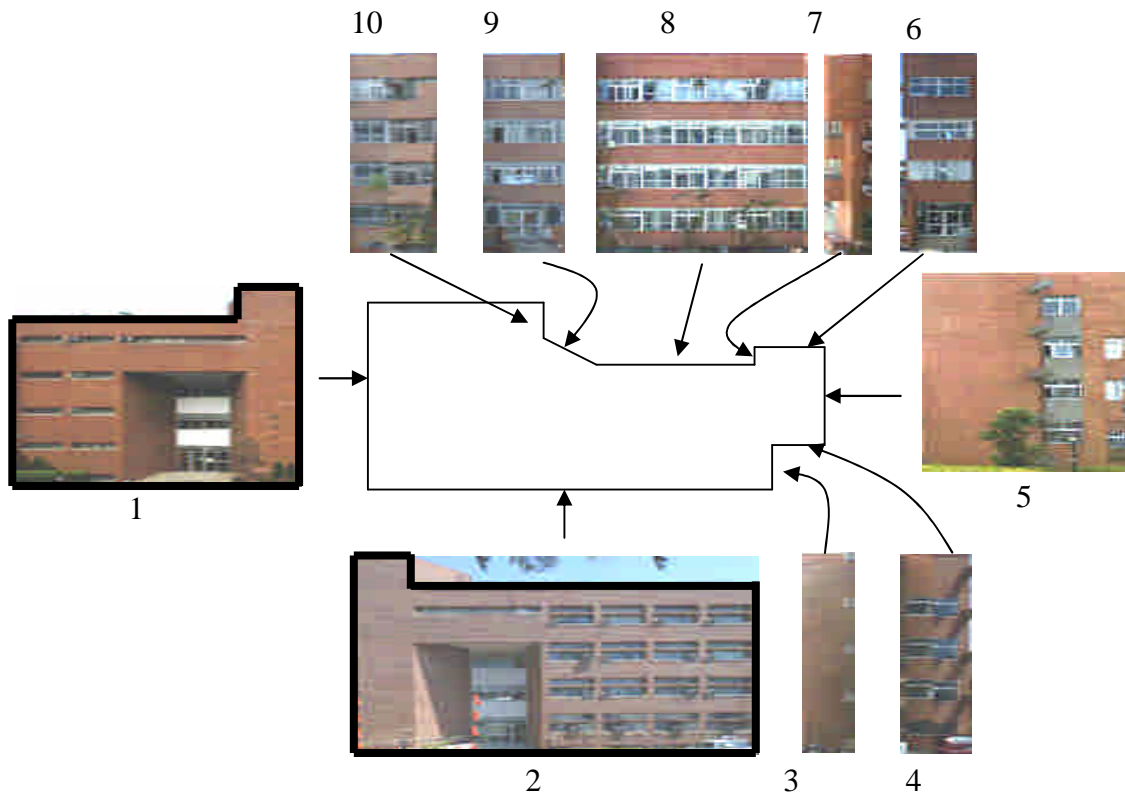


圖8 護理系館各模型面的材質影像成果

10 個模型面中僅有模型面 4 及模型面 10 的材質是由多張像片拼接而成，其中模型面 4 的材質是由像片 3、像片 10 及像片 13 三張像片拼接而成，這是因為模型面 4 在像片 10 及像片 13 中受到其他模型面的遮蔽，因此最後的材質必須由三張像片拼接而成，如圖 9 所示。模型面 10 出現拼接的情形則是因為拍攝條件最佳的像片 8 僅涵蓋模型面 10 的左半部，右半部必須以拍攝條件次佳的像片 1 做為材質影像的來源，如圖 10 所示的左右拼接情況。護理系館三維建物模型敷貼真實影像以 VRML 輸出的成果如圖 11 所示。

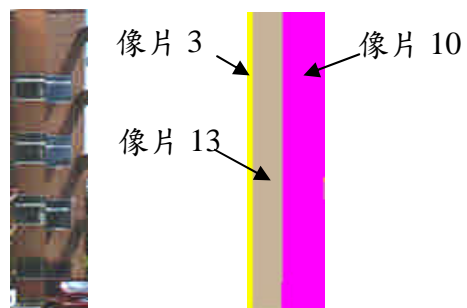


圖 9 模型面 4 的拼接成果與材質來源圖

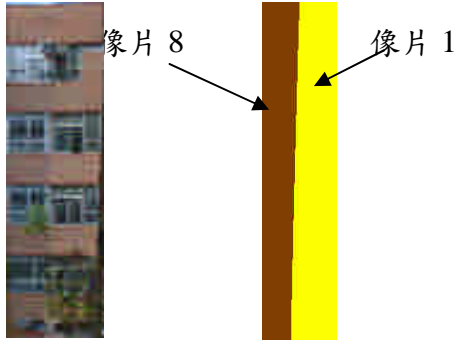


圖 10 模型面 10 的拼接成果與材質來源圖



圖 11 護理系館三維建物模型VRML展示

### 4.2 總圖書館的測試

總圖書館的建築主體可視為一矩形體，大致上可分為正面、右側面、左側面及背面四個主要模型面，而在建築主體上有許多突出的部份，因此再根據個別情況將主要模型面細分為數個小模型面的組合。其中正面分為A1~A10十個小模型面、右側面分為B1~B9九個小模型面、左側面分為C1~C5五個小模型面以及背面分為D1~D7七個小模型面，如圖12。

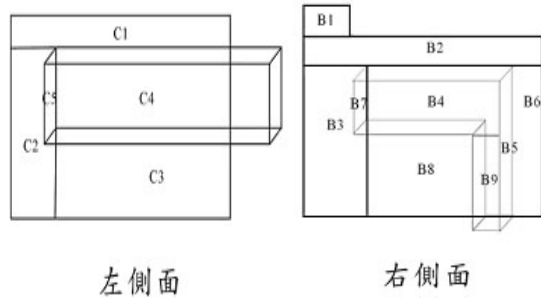
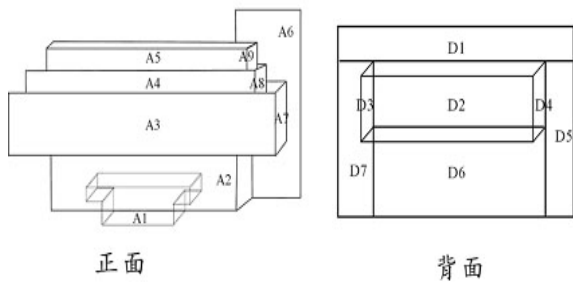


圖 12 總圖書館模型面示意圖

環繞圖書館總共拍攝了6張像片，其中圖書館正面的材質影像都來自於像片1且都未經過拼接，圖書館的右側面除了B3及B7的材質來自像片1外，其餘模型面的材質都來自於像片2，同樣未經過拼接。而圖書館左側面的C1、C3及C4三個模型面的材質是由拼接而得，均因拍攝條件最佳的像片5僅涵蓋模型面的左半部，故需由拍攝條件次佳的像片3敷貼模型面的右半部，圖13展示了C1的拼接成果。



圖 13 模型面 C1 拼接成果及材質來源圖

圖書館的背面除了D3、D4及D7外，剩下5個模型面的材質都經由拼接而成，其原因大致上可以分為兩種：(1) 根據實際拍攝情況選取，(2) 拍攝條件最佳的像片無法完整涵蓋模型面。其中根據實際情況選取而產生拼接的有D1、D2及D6三個模型面，以D2為例，材質的左半部以像片2的拍攝條件最佳而右半部則以像片4為最佳，因此出現了拼接的情況，如圖14。

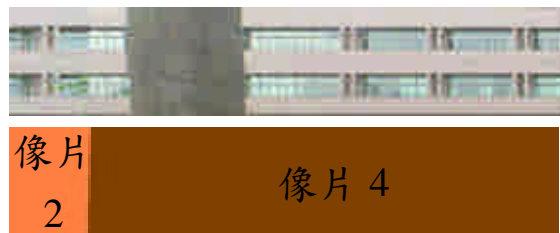


圖 14 模型面 D2 拼接成果及材質來源圖

而D5則是由於拍攝條件最佳的像片無法完整涵蓋模型面而產生了拼接的情形，其中拍攝條件前三佳的像片都無法完整涵蓋 D5，因此最後D5是由4張像片拼接而成，如圖15。總圖書館三維建物模型敷貼真實影像後的 VRML 如圖16所示。

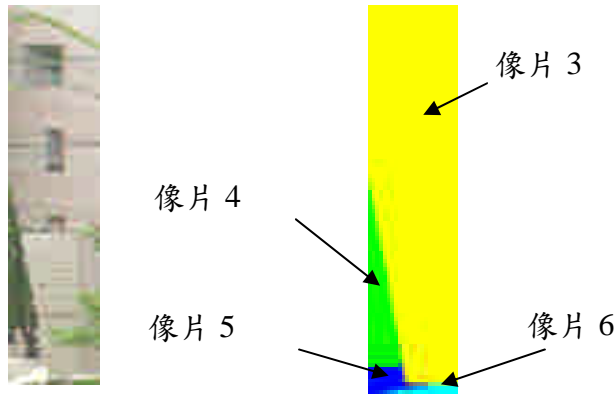


圖 15 模型面 D5 拼接成果及材質來源圖



圖 16 總圖書館三維建物模型 VRML 展示

## 5. 結論與建議

以虛擬實境技術展現建物的三維空間資訊是一項趨勢，如何能以最有效率的方法以真實拍攝像片取代虛擬材質敷貼至模型表面，則是目前研究的關鍵。本文以「像元」為單位逐像元自像片中萃取最適影像，可避免傳統以「面」為單位拚接不佳的

缺點，同時依整合指標自動化挑選像片的流程可大幅減輕人力的介入，有效提升三維建物模型表面敷貼的效率與品質。經由兩棟建物的實例測試，不僅證明本文所提自動化方法之可行，也證實以「像元」為單位製作材質影像確實能獲得較傳統以「面」為單位更佳成果。

基於實驗過程所獲經驗，謹提出一些建議供後續研究參考：太過粗略的三維建物模型或是外觀非常複雜的建物，會造成像片與建物模型無法完整對應，因而影響後續貼圖的品質。在考量整合指標時，本研究僅利用拍攝角度及拍攝距離等幾何條件來做像片的選取，建議可以再加上適合的影像品質指標來提升像片選取的正確性。自動化的流程難免會有不盡完善之處，因此在程式自動完成材質影像時，應提供操作者檢查、重新選擇像片的人機互動介面。Rau et al. (2006) 與 Tsai et al. (2006) 針對非建物本身的遮蔽，以鏡射方式貼圖擬真，或可作為人工編修時的選項之一。而在拍攝像片前，必須詳細觀察待攝建物及其周圍環境，預先擬定拍攝計畫，以降低拍攝出不適用像片的機率。本研究僅完成模型表面「平面」之敷貼，曲面之敷貼因幾何模式較為複雜，仍待進一步探討。使用 VRML 展現三維建物模型敷貼成果的好處是可以放置於網際網路便於分享，然而效能卻不甚理想。對於大量敷貼像片時，應考慮改以 OpenGL、DirectX 或 Java3D 等繪圖函式語言改寫專屬的單機展示程式，或採用網路串流 (Streaming) 方式逐步下載影像。

## 參考文獻

- 王聖鐸，2005。「以浮測模型法萃取三維空間資訊-以建物重建為例」，國立成功大學測量及空間資訊學系博士論文。
- 張峰銘，1994。「電腦繪圖」，松崗電腦圖書資料股份有限公司，台北市。
- 黃文利，2001。「近景攝影測量應用於三維建物模型側面影像敷貼之研究」，國立成功大學測量工程學系碩士論文。



- Blinn, J. and M. Newell, 1976. "Texture and Reflection in Computer Generated Images", *Commun. ACM* 19, 10 May, pp. 542 – 547.
- Bunker, M., Economy, R., and J. Harvey, 1984. "Cell Texture—Its Impact on Computer Image Generation", In *Proceedings of the Sixth Interservice/Industry Training Equipment Conference*, Washington D.C., October, pp. 149 – 155.
- Catmull, E., 1975. "Computer Display of Curved Surfaces", In *Proceedings of the Conference on Computer Graphics, Pattern Recognition and Data Structures*, New York, 14-16 May, pp. 11 – 17.
- Forstner, W. and E. Gulch, 1999. "Automatic Orientation and Recognition in Highly Structured Scenes", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, pp. 23-34.
- Gulch, E., 1997. "Application of Semi-Automatic Building Acquisition", *Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images ( II )*, Birkhauser Verlag, Basel, pp. 129-138.
- Haala, N. and C. Brenner, 1999. "Extraction of Building and Trees in Urban Environments", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 54, pp.130-137.
- Haala, N., 2004. "On the Refinement of Urban Models by Terrestrial Data Collection", *International Archives of the Photogrammetry, Remotes Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 35, Part.B3, Istanbul, Turkey, pp.564-569.
- Rau, J.Y., Teo, T.A., Chen, L.C., Tsai, F., Hsiao, K.H., and Hsu, W.C., 2006. "Integration of GPS, GIS and Photogrammetry for Texture Mapping in Photo-Realistic City Modeling", *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 4319, pp.1283-1292.
- Tsai, F., Chen, C.H., Liu, J.K., and Hsiao, K.H., "Texture Generation and Mapping Using Video Sequences for 3D Building Models", *Lecture Notes in Geoinformation and Cartography*: Innovations in 3D Geo Information Systems, A. Abdul-Raham, S. Zaltanova, V. Coors (Eds.), Springer, pp. 329-438.
- Varshosaz, M., 2003. "True Realistic 3D Model of Buildings in Urban Areas", *International Archives of the Photogrammetry, Remotes Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. 34-5/W10.
- Weinhaus, F. and V. Devarajan, 1997. "Texture Mapping 3-D Models of Real World Scenes", *ACM Comput. Surveys*, Vol. 29, No. 4, pp. 325 – 365.
- Weinhaus, F. and R. Devich, 1999. "Photogrammetric Texture Mapping onto Planar Polygons", *Graphical Models and Image Processing*, Vol. 61, pp.63-83.

# Automated Texture Mapping on 3D Building Model Using Photogrammetric Images

Sendo Wang<sup>1</sup> Yi-Hsing Tseng<sup>2</sup> Ping-Kang Fu<sup>3</sup>

## ABSTRACT

Photo-realistic texture mapping of 3D object is one of the major subjects in the study of landscape or city modeling. This paper presents an automated method to map realistic texture onto the facades of 3D building models from multiple overlapped images. This method works on condition that the geometric representation of buildings and the image orientation are known. Images used for texture mapping are mainly obtained from close-range photogrammetry. Rigorous mapping function is developed and implemented with the consideration of selecting the most appropriate images to obtain the best mapping texture. Two examples of building structures are demonstrated. The results will be expressed in Virtual Reality Modeling Language (VRML) so that they can be shown with VRML-compatible visualization software.

**Keywords:** 3D Building Model, Texture Mapping, Perspective Transform, Close-range Photogrammetry, Virtual Reality.