

# 以模型與近景影像套合之建物重建法

王正忠<sup>1</sup> 曾義星<sup>2</sup>

## 摘要

三維城市模型的建置 (3D City Modeling) 是目前熱門的研究課題，其中以三維建物資料的獲取為首要研究目標。本文以近景攝影測量的原理，提出以建物模型套合影像的方法來完成建物重建的工作。所提出的模型與影像套合分別應用在影像方位的計算及建物部分的萃取，當目標建物已具有粗略或部分的量測資訊，則可當成控制模型，此時可調整影像外方位元素來達到影像與控制模型的最佳套合來求解影像方位；當影像方位為已知，可利用 CSG (Constructive Solid Geometry) 模型代表建物，並以調整 CSG 元件之形狀與方位參數與影像套合來進行建物重建。所提出的方法特別適合於某都市區已先以航空攝影測量建立建物的精簡模型，而需針對某些已改建、結構較複雜或具有代表性的建物再使用近景攝影測量將原先的精簡模型修正或細節化，以建立更為完備的三維建物模型。本文突破傳統以點位立體量測建置空間資訊的攝影測量觀念，運用模型為單元進行物件式的自動化量測，提高建物重建的效率。文中之實驗例驗證了方法之可行性，並評估所萃取得的建物模型之幾何精度與點位量測相當。

**關鍵字：**近景攝影測量、建物重建、模型式建物萃取、模型與影像套合、建構實體幾何

## 1. 前言

三維城市模型近年來成為熱門的研究課題(Grun and Dan, 1997)，城市模型包含建物、道路、綠地及公共設施等，其中以建物的三維資訊與各項都市建設與管理最為息息相關，所以三維建物模型的重建也就成為建立三維城市模型的首要工作。

目前多以航空攝影測量的技術來重建三維建物模型，運用航照立體影像可以建置大量的三維建物模型，但是由於航照是幾乎垂直的攝影，因此航測主要憑藉建物頂部的影像建立較為簡化的建物

<sup>1</sup> 國立成功大學測量工程學系碩士班研究生

<sup>2</sup> 國立成功大學測量工程學系副教授

收到日期：民國 91 年 10 月 01 日

修改日期：民國 92 年 05 月 29 日

接受日期：民國 92 年 06 月 18 日



模型，無法完整表達複雜建物的三維資訊。而近景攝影可以對建物的各個面取像，完整地涵蓋建物的細節結構，建立細緻的三維建物模型，亦可針對某些已改建、結構較複雜或具有代表性的建物精簡模型修正或細節化。

本文提出以建物模型套合影像的方法來進行建物重建的工作，所提出的模型與影像套合分別應用在影像方位的計算及建物部分的萃取。當目標建物已具有粗略或部分的量測資訊，則可當成控制模型 (control model)，此時可調整影像外方位元素來達到影像與控制模型的最佳套合來求解影像方位。所謂的套合是使得影像中所萃取的邊緣線像元與投影到像平面的模型邊線盡量吻合，此方位計算的方法不需進行影像的點位量測。當影像方位為已知，可利用 CSG 模型套合影像套合來進行建物重建 (曾義星及王聖鐸，2000)，此模型式建物重建法突破傳統以點位立體量測建置空間資訊的攝影測量觀念，運用模型為單元進行物件式的自動化量測，提高建物重建的效率。

## 2. 最小二乘模型與影像套合

模型為描述建物空間資訊的物件實體，若模型對建物的描述是正確的，且當影像方位為已知時，可利用中心投影之幾何關係將模型投影到影像中，此時模型的投影線應與建物影像吻合。本文以模型與影像的不吻合度做為套合指標，利用最小二乘法求解未知參數，俾使模型與影像達成最佳套合，是為最小二乘模型與影像套合 (Least-Squares Model-Image Fitting)。

所謂模型與影像的套合是使投影到像平面的模型邊線與自影像中萃取出的建物邊緣線像元吻合。當目標建物已具有粗略或部分的量測資訊，可將其視為控制模型，將控制模型的邊線視為已知的三維線段，依據影像近似外方位以共線式將所有邊線投影至影像中，先進行可見性分析，去除模型中因自我遮蔽而不可見的邊線，再將其餘可見的投影線兩側固定範圍內的邊緣萃取點納入平差，計算出外方位元素的修正量，藉由調整影像外方位元素來達到影像與控制模型的最佳套合。當影像方位為已知時，同樣利用最小二乘模型與影像套合法來求解未知參數，惟此時的未知參數是模型參數，此時藉由調整 CSG 元件模型的形狀與姿態參數使模型與影像套合來進行建物重建。

### 2.1 觀測方程式與搜尋區域

假設影像中某邊緣線萃取點與其相對應的模型投影線的距離為模型與影像套合的不吻合值，則最佳解的定義為所有不吻合值之平方和為最小。此不吻合值可用一個點到直線之垂直距離( $v$ )的數學式來表示，如圖 1 及式(1)所示。

$$v = \frac{|(y_1 - y_2)x_t + (x_2 - x_1)y_t + (y_2x_1 - y_1x_2)|}{\sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}}$$



(1)

式中 $(x_1, y_1)$ 、 $(x_2, y_2)$ 是建物模型邊線端點的影像坐標，圖 1 中之 T 是影像邊緣線萃取點， $T(x_t, y_t)$ 是其影像坐標。

在實際計算時，我們並不知道某個邊緣線像元應對應到哪條投影的模型邊線，而且物體成像時會因自我遮蔽的關係，某些邊界線會隱藏。因此，應先排除模型中自我遮蔽的邊線，然後對每個未被遮蔽的邊線設定搜尋環域(buffer)，如圖 2，只有在環域內之邊緣線萃取點像元才組成觀測方程式。如此可以只針對會顯像的模型邊線進行計算，同時也篩選與各條模型邊線相關的邊緣線像元。可用一般的邊緣線運作元處理影像來獲取影像邊緣線像元，但必須經過細化處理，本文應用 Förstner (1994) 所提出的方法來萃取線特徵像元。

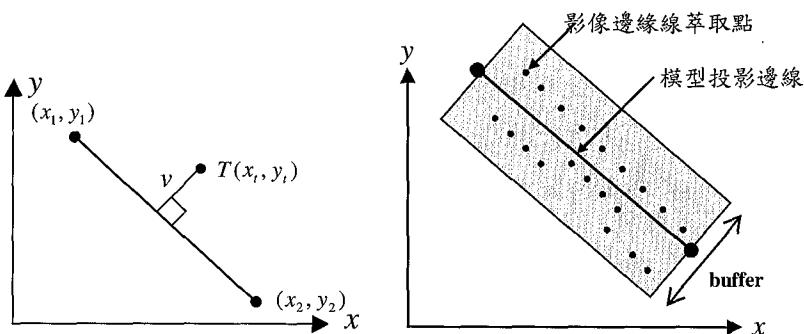


圖 1：點到直線之垂直距離

圖 2 搜尋環域之示意圖

## 2.2 影像方位計算

方位計算的目的是為了求解影像外方位元素，使用模型-影像套合計算影像外方位的概念如圖 3 所示，使用已知的建物模型做為控制模型，建物模型可以來自於舊有圖籍的建物三維資料，或者是經模型式建物重建後的三維建物模型。利用模型-影像套合的概念來解算影像外方位，藉由調整影像外方位元素，使投影到影像的模型邊線與影像中的建物邊緣線盡量吻合，待模型投影線與建物邊緣線達成最佳套合時，即可獲取最佳套合時的影像外方位元素。

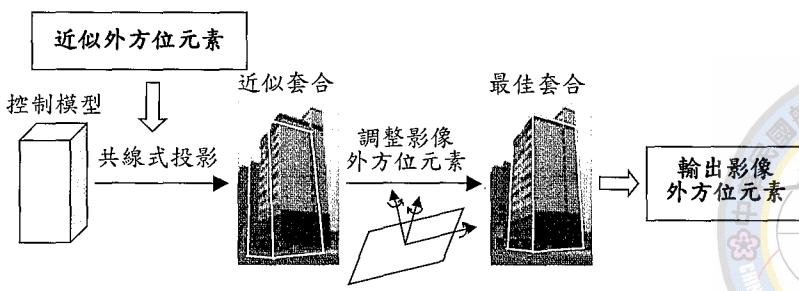


圖 3 影像方位重建概念示意圖



當影像外方位為未知時，式(1)中建物模型邊緣端點的影像坐標是模型角點的地圖坐標依據近似外方位元素以共線式轉換而來，如式(2)所示，此時模型的地圖坐標為已知可視為常數，而影像外方位元素則視為未知變數。每一個邊緣線像元與模型邊線的垂直距離  $v_{ij}$  都可視為是由外方位未知變數組成的非線性函數，如式(3)所示：

$$\begin{aligned}x_1 &= -f \frac{m_{11}(X_1 - X_0) + m_{12}(Y_1 - Y_0) + m_{13}(Z_1 - Z_0)}{m_{31}(X_1 - X_0) + m_{32}(Y_1 - Y_0) + m_{33}(Z_1 - Z_0)} \\y_1 &= -f \frac{m_{21}(X_1 - X_0) + m_{22}(Y_1 - Y_0) + m_{23}(Z_1 - Z_0)}{m_{31}(X_1 - X_0) + m_{32}(Y_1 - Y_0) + m_{33}(Z_1 - Z_0)}\end{aligned}\quad (2)$$

式中  $x_1, y_1$  為模型角點的像片坐標；

$m_{ij}$  為由外方位元素  $(\omega, \phi, \kappa)$  所組成的旋轉矩陣元素；

$X_0, Y_0, Z_0$  為投影中心的地圖坐標；

$X_1, Y_1, Z_1$  為模型角點的地圖坐標。

$$v_{ij} = F_{ij}(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa) \quad (3)$$

其中  $i$  為模型線段的編號， $j$  為線段 buffer 內邊緣線像元的編號。

模型-影像最佳套合的目標就是要調整外方位元素使這不符值之平方和為最小，所以可列出目標函式如式(4)所示：

$$\sum v_{ij}^2 = \sum [F_{ij}(X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa)]^2 \rightarrow \min \quad (4)$$

以式(3)為最小二乘理論中之觀測方程式，因式(3)為非線性函式，因此根據 *Newton's Method*，將式(3)線性化得到式(5)：

$$0 + v_{ij} = \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial X_0} \right]_0 \Delta X_0 + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial Y_0} \right]_0 \Delta Y_0 + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial Z_0} \right]_0 \Delta Z_0 + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial \omega} \right]_0 \Delta \omega + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial \phi} \right]_0 \Delta \phi + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial \kappa} \right]_0 \Delta \kappa + F_{ij}^0 \quad (5)$$

式中  $F_{ij}^0$  為近似外方位元素代入式(1)所得之值；

$\frac{\partial F_{ij}}{\partial X_0}, \frac{\partial F_{ij}}{\partial Y_0}, \dots, etc$  為  $F_{ij}$  對各外方位元素的偏微分；

$\Delta X_0, \Delta Y_0, \dots, etc$  為外方位元素起始值之增量。

每一個影像邊緣線萃取點像元對於其相對應的模型投影邊線，都可依上式列一條觀測方程式， $n$  個點則可列  $n$  個觀測方程式，將其寫成  $\mathbf{L} + \mathbf{V} = \mathbf{AX}$  的型式，其中  $\mathbf{A}$  是由各外方位元素的偏微分所組成，而  $\mathbf{X}$  是由外方位元素之起始值至收斂值的增量所組成， $\mathbf{L}$  為 0 減去其初始值  $F_{ij}^0$  之值所組成。當每增加一筆觀測量時，就會在  $\mathbf{A}$ 、 $\mathbf{V}$  和  $\mathbf{L}$  增加一列的值。依照最小二乘的理論  $\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{L})$ ，可解算得未知向量之值。將起始值代入後經平差可求出外方位元素的增量，再將原本起始值加上增

量後的參數值當成下一次平差計算的起始值，逐次迭代直至收斂後即求出模型-影像最佳套合時的影像外方位元素。方位的初始值可根據拍照時的紀錄來推估，亦可發展一個人機介面讓使用者調整近似方位參數，並即時顯示模型與影像的套合情形，來獲得較好的近似值。

## 2.3 建物部份萃取

模型-影像套合應用於建物重建的概念如圖 4 如示，影像外方位元素皆為已知，首先自建物模型資料庫中選取對應於影像中目標建物的模型，由操作者調整模型至與影像目標建物近似的大小及姿態之後，將近似模型投影至影像中，此時模型與影像僅為近似套合，再以最小二乘模型-影像套合法求解最佳模型參數，藉由調整模型參數使模型投影線與建物影像邊緣線套合，完成三維建物模型重建。此時影像外方位元素為已知；而模型參數則視為未知變數，以矩形元件模型為例，式(1)中建物模型邊線端點的影像坐標是依據近似模型角點的地圖坐標以共線式轉換而來，每一個邊緣線像元與模型邊線的垂直距離  $v_{ij}$  都可視為是由模型參數未知變數組成的非線性函數，如式(7)所示：

$$v_{ij} = F_{ij}(dX, dY, dZ, l, w, h, \theta) \quad (7)$$

式中  $dX, dY, dZ, \theta$  為模型方位參數，以調整模型的位置及水平旋角

$l, w, h$  為模型形狀參數，以調整模型的尺寸

將式(7)寫成最小二乘理論中之觀測方程式，並將其線性化得到式(8)：

$$0 + v_{ij} = \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial dX} \right]_0 \Delta dX + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial dY} \right]_0 \Delta dY + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial dZ} \right]_0 \Delta dZ + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial l} \right]_0 \Delta l + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial w} \right]_0 \Delta w + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial h} \right]_0 \Delta h + \left[ \frac{\partial F_{ij}}{\partial \theta} \right]_0 \Delta \theta + F_0 \quad (8)$$

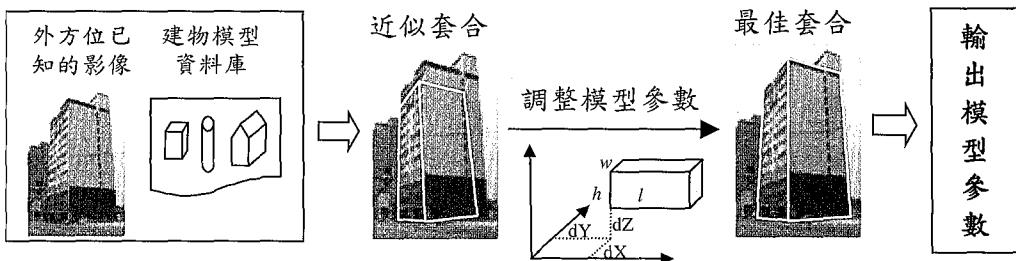


圖 4 建物重建概念示意圖

式中  $F_0$  為近似模型參數代入式(1)所得之值

$\frac{\partial F_{ij}}{\partial dX}, \frac{\partial F_{ij}}{\partial dY}, \dots$  etc 為  $F_{ij}$  對各模型參數的偏微分  
 $dX, dY, \dots$  etc 為模型參數起始值之增量

將每個影像邊緣線萃取點像元的觀測方程式寫成  $\mathbf{L} + \mathbf{V} = \mathbf{AX}$  的型式，依照最小二乘的理論  $\mathbf{X} = (\mathbf{A}^T \mathbf{A})^{-1} (\mathbf{A}^T \mathbf{L})$  解算得未知向量之值。將起始值代入後經平差可求出模型參數的增量，再將原本起始值加上增量後的參數值當成下一次平差計算的起始值，逐次迭代直至收斂後即求出模型-影像最



佳套合時的模型參數 (周宏達、等，2001)。

### 3. 模型式建物重建之應用

本文使用 CSG 模型來建構建物，稱為模型式建物重建法 (Model-based Building Reconstruction)，建構時是以 CSG 元件來組成完整的建物，因此是逐元件的方式來萃取三維的建物資訊，與傳統逐點量測的方式不同。圖 5 為本文重建三維建物的流程圖，整個作業流程首先對建物取像，接著引入物空間控制進行方位重建以恢復影像外方位，然後從建物模型資料庫中選擇適當的元件模型引入影像中，萃取出建物的三維幾何資訊並將元件模型結合成完整的建物，最後輸出三維建物模型的實體資料 (林文棋、等，2001)。

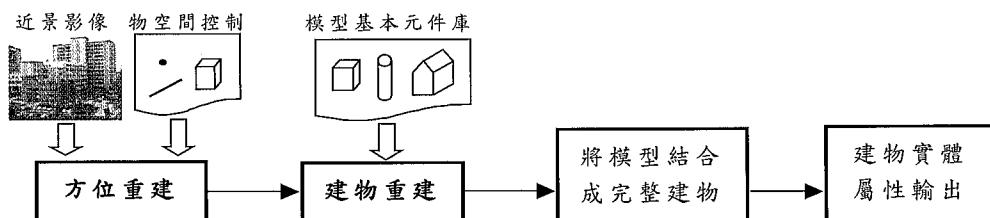


圖 5 以近景影像進行模型式建物重建的架構

都市區中的建物變動相當頻繁快速，建物資料須時常更新以符合實際的應用需求，模型建物重建法可應用於新建建物或局部變更的建物模型之更新作業。若其建物僅為局部變化，其餘皆未改變且與舊有的模型相符，則可以未變更的模型做為控制模型，以模型與影像套合法進行方位重建以恢復影像外方位。方位計算完成後，再依目標建物選擇對應的模型以萃取其三維模型，並將新建的模型更新至舊有的模型並結合起來，使整個模型得以符合現況。影像中若無建置過的三維模型建物，即無控制模型，亦可運用傳統點位量測的方法，利用地面控制點，以後方交會法計算影像方位(Wolf, 1983)，再應用模型式建物重建法萃取目標建物之三維模型。

模型式建物重建應用於航測可以快速地建置大量的建物模型，但其所建置的皆為較簡略的模型，對於某些結構複雜或具有代表性的建物而言，航測的方法無法滿足需求，針對這些已有簡略模型的建物，搭配近景影像可以建置其細節部分的模型，將原有的簡略模型加以細節化。此時同樣可採用原有的建物模型當成控制以反求影像方位，再以模型式的概念重建建物細節部的模型，最後再將細節模型與簡略模型結合成完整的建物模型。

### 4. 實驗



## 4.1 實例一

實例一以成大職治系館為例進行方位重建，首先對該建物進行取像，使用的相機為 Fuji Tech Pro. S1 單眼相機，使用手動式 55mm 鏡頭，相機已經過 PhotoModeler 軟體系統率定，所拍攝影像如圖 6 所示。從臺南市數值地形圖中取得該建物所有屋角點的三維坐標，依建物實際情形將屋角點組成三維線段，依據近似的影像外方位經由共線式將三維線段投影到影像中，以最小二乘模型與影像套合法解算最佳的影像外方位元素，並評估影像外方位之正確性。

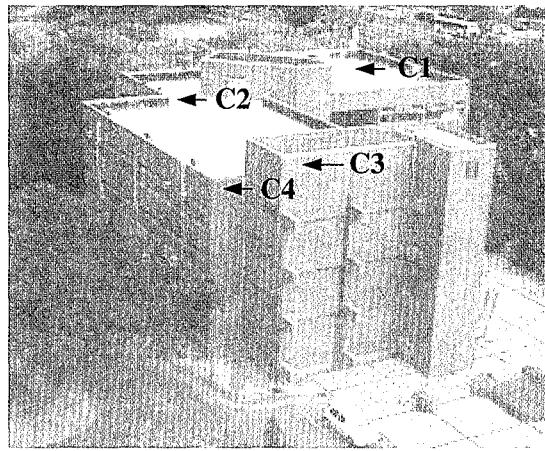


圖 6 職治系館影像

評估方式是利用控制點來檢核，選定影像中 C1、C2、C3、C4 四個屋角點為檢核點，分別量測這四個點在兩張影像上的影像坐標，依據最小二乘模型與影像套合法所解得的影像外方位元素，進行前方交會法計算 C1~C4 的物空間三維坐標。已知屋角點坐標來自航測產生的數值地形圖，其平面坐標的精度約為 20 公分，Z 坐標的精度約為 30 公分，將交會所得的坐標與已知的坐標相比，發現坐標差值最大的為 C2 點 X 坐標差 19 公分，其次為其 Y 坐標差 13 公分，其餘檢核點的坐標差值皆在±5 公分以內。

本實驗亦以職治系館做為建物重建的實驗對象，圖 7(b)之圓圈中較高的建築是新建的電梯設備，在原先的數值地形圖中並沒有此建築的資訊。本實驗利用最小二乘模型與影像套合法求解影像外方位元素，再以模型式建物萃取法重建新增建築的三維建物模型，實例做法如下說明：

### 1. 求解影像外方位元素 –

利用既有的數值地形圖獲取建物角點的三維坐標，依據建物外形將角點坐標組成三維線段，共使用了 27 條三維線段做為控制，將已知線段投影至影像中，並以最小二乘模型與影像套合法解算影像外方位元素，並檢核影像外方位之正確性。

### 2. 模型式建物重建 –



待所有影像外方位元素均解算完成並經過檢核後，選擇對應的矩形元件模型來重建該系館電梯之建築。首先概略點選近景像對中電梯建築四個角點，並由程式自動計算出矩形模型的近似參數，將建物的近似模型投影到影像中，如圖 8(a)所示，從圖中可看出近似模型與影像中建物的邊緣尚有一段差距。使用最小二乘模型與影像套合法解算最佳模型參數，套合結果如圖 8(b)所示，比較圖(a)與圖(b)圓圈標示的地方，可看出經過模型與影像套合後的建物模型與影像上建物的邊緣線較為吻合。

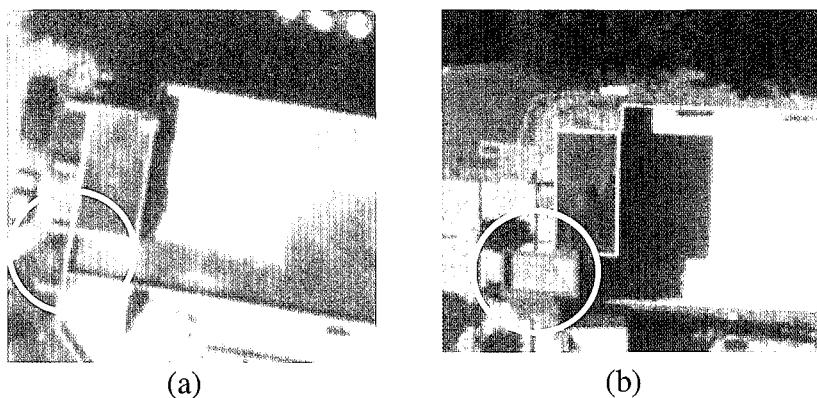


圖 7 職治系館航照圖(a)舊航照圖(b)新航照圖

由於原先測繪地形圖時還沒有電梯設備，所以無法由地形圖中取得該建物的三維坐標，無法以比較坐標差值的方式來評估重建後的精度，於是實地量測該建物長、寬、高的尺寸與最佳套合所得的模型之形狀參數相比，比較結果如表 1 所示，長、寬、高的差異量都相當小，這也間接驗證了模型式建物重建後建物模型的精度。

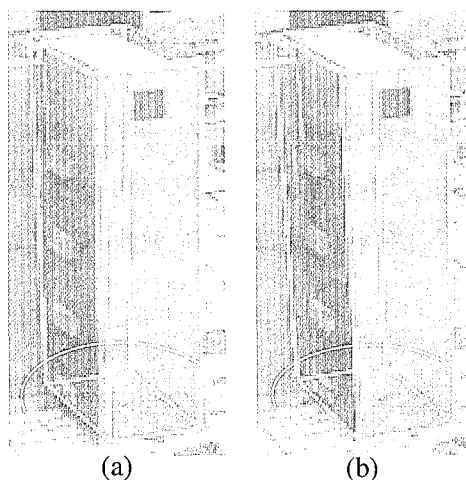


圖 8 模型與影像套合圖 (a)套合前(b)套合後



表 1 模型形狀參數與量測值之比較

	套合後參數	實地量測值	差值 (套合值-量測值)
長(m)	5.359	5.240	0.119
寬(m)	3.095	3.154	-0.059
高(m)	15.905	15.840	0.065

利用 AutoCAD 將重建前後的職治系館建築以三維圖形的方式呈現，如圖 9 所示，由圖中圓圈處可看出職治系館在重建前與重建後的差異，圖 9(b)中新增加的建物模型是運用模型式建物重建法所產生的模型，這也證明此方法可應用於三維建物模型的局部更新。

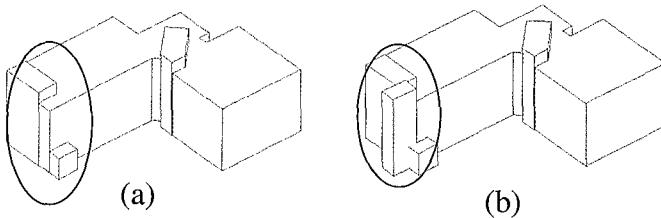


圖 9 職治系館三維建物模型 (a)重建前(b)重建後

## 4.2 實例二

實例二是以成大新啓用的總圖書館為實驗對象，臺南市數值地形圖於民國 89 年完成，而新總圖書館於民國 90 年興建完成，所以原有的地形圖中並沒有新總圖書館的資料，本研究採用模型式建物重建法來重建新總圖書館之三維模型，並以民國 90 年拍攝的航照影像測繪新總圖書館的三維坐標，以作為實驗結果檢核之用。

成大新總圖書館的建築如圖 10 所示，基本上可視為中央一個大的矩形建物再附加許多突出的矩形建物，以航測作業方式無法完整呈現其三維的幾何狀況，本文嘗試採用近景攝影配合模型式建物重建的方式解決上述的問題，建構新總圖書館完整的三維建物模型。



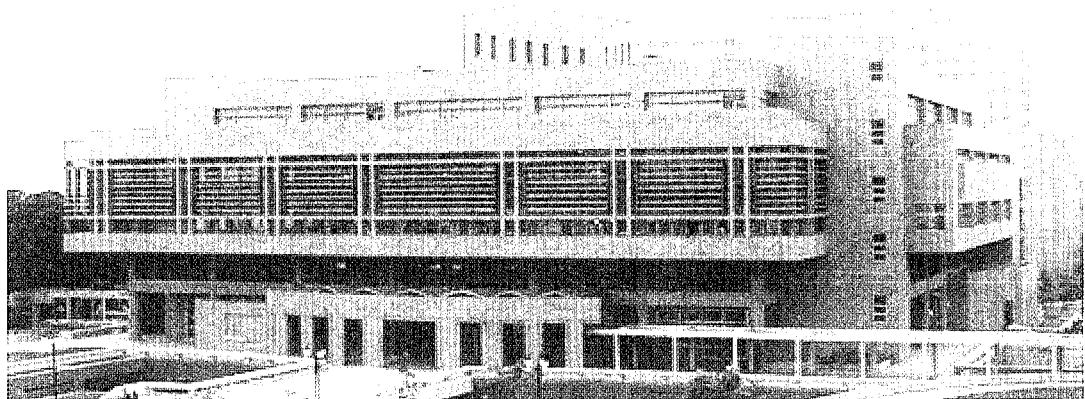


圖 10 新總圖書館正面影像圖

使用模型式建物重建法可自航空影像中建置新總圖書館的概略模型，但本實驗的目的在於使用近景將航測所建置的建物精簡模型細節化，因此先以航照影像建置概略的新總圖書館建物模型，然後以近景影像運用模型式建物重建法來建構其餘的細節部分。新總圖書館的三維建物模型細節可分為 5 個建物單元：建物單元一位於南面、建物單元二位於西面、建物單元三位於北面、建物單元四與建物單元五位於東面，分別對每個建物單元攝影，並重建其三維模型。

待五個建物單元的建物模型都完成模型與影像最佳套合後，將重建後的五個建物單元模型與總圖書館主體的概略模型輸出成 AutoCAD 腳本檔，利用 AutoCAD 顯示總圖書館重建後的二維平面圖，如圖 11 所示，先前曾利用航測製圖繪製總圖書館的三維數值點，由數值圖中選擇建物主體的外形做為總圖書館的概略模型，圖 11 中其他五個建物單元模型是利用模型式建物重建將總圖書館細節重建所產生的 CSG 模型，其結果類似於航測作業所產生的平面圖。

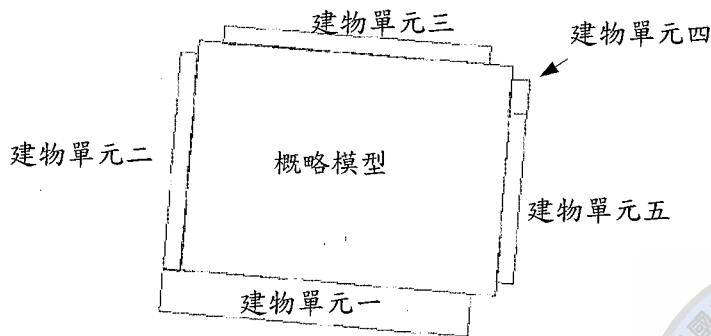


圖 11 模型式建物重建後總圖書館之俯視圖

接著進行重建後模型的精度分析，由模型參數計算得每個模型角點的地面坐標，再將其與航空攝影量測的角點坐標相比，分別計算三軸上的坐標差值之平均值及 RMS 值，結果如表 2 所示，其



精度符合千分之一地形圖的要求。

表 2 模型角點與檢核點的坐標差值平均及均方根值

坐標	差值平均	差值 RMS
X (m)	0.010	0.048
Y (m)	-0.014	0.049
Z (m)	-0.019	0.072

再統計所有坐標差值出現的範圍，如表 3 所示，發現 51% 的坐標差值在 5 公分以內，差值在 5~10 公分以內的有 31%，其餘的坐標差值也在 10~15 公分之間。由表 3 中可知近 82% 的坐標差值在 10 公分以內，顯示模型式建物重建法所產生的模型坐標與航測成果的差異絕大部分在 10 公分以內，而航測坐標精度約為 20~30 公分，因此本文認為模型式建物重建法所產生的建物模型其幾何精度與立體量測的精度相當。

表 3 模型角點與檢核點的坐標差值的分布統計

坐標差值	0~5 公分	5~10 公分	10~15 公分
個數	20	12	7
百分比	51%	31%	8%

本實驗以分成不同建物單元的方式分別建立每個建物細節的模型，再將所有細節模型組合起來，這種方式難免會有誤差，若將圖 11 局部放大來看，可以看出相接的細節模型之間有重疊或分離的情形，細節模型與概略模型之間也有同樣的情形（圖 12）。

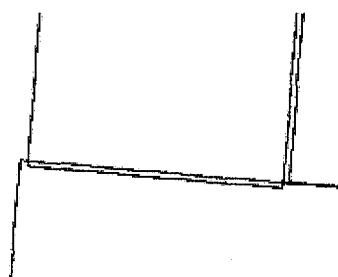


圖 12 總圖書館重建後模型的局部放大圖

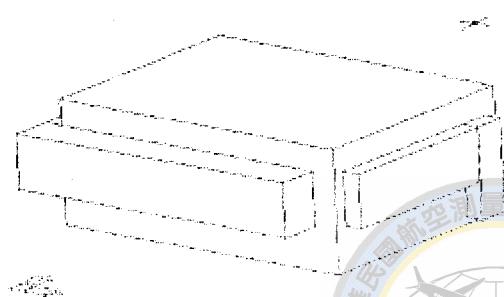


圖 13 重建後之總圖書館三維模型

依據總圖書館建物單元之間實際的幾何狀況來設定模型的約制條件，其目的是為了使重建後的

建物模型更符合實際建物的情形，設定模型的約制條件主要分為三個部分：

1. 每個建物單元與概略模型相接的面必須密合。
2. 建物單元一與建物單元二相接的面必須密合；兩者的頂面與底面的高程值必須相同；兩者位於西面的垂直面必須在同一個面。
3. 建物單元四與建物單元五相接的面必須密合；兩者的頂面高程值必須相同；兩者位於東面的垂直面必須在同一個面。

依據以上所列的約制條件來調整建物模型，將重建後的總圖書館建物模型以三維方式呈現，如圖 13 所示，重建後建物模型更完整地呈現總圖書館的三維幾何。

## 5. 結論與建議

本文針對既有簡略的三維建物模型，以近景影像採用模型式建物重建法重建較為細緻的三維建物模型，並提出以最小二乘模型與影像套合的方法來求解近景影像外方位元素，以半自動化方式進行模型式建物重建，經實驗結果可證實以最小二乘模型與影像套合恢復影像方位的可行性，以及細緻三維建物模型的重建，不論在效率上還是精度上都有相當不錯的成果。

在地面進行近景攝影時常遭遇遮蔽的情形，而在高處攝影又有許多限制，往往無法在理想的位置取像，因此若要快速且有效地建立完整詳細的三維建物模型，則取像方式必須突破目前只能在地面或高樓的限制，方能更有效率地重建完整的三維建物模型。

## 致謝

本研究承蒙行政院國家科學委員會研究計畫（NSC 90-2211-E-006-103 及 NSC 91-2211-E-006-092）支持得以順利完成，謹申謝忱。

## 參考文獻

林文棋、曾義星、及王聖鐸，2001。半自動化建物萃取之建物模型建置與操作，航測及遙測學刊，第六卷，第三期，September，35-55 頁。

周宏達、曾義星、及王聖鐸，2001。最小二乘 CSG 模型與影像套合，航測及遙測學刊，第六卷，第三期，September，57-73 頁。



曾義星及王聖鐸，2000。結合 CAD 與攝影測量之三維城市模型建置，中華地理資訊學會 GIS 2000 學術研討會論文集，台南，40-48 頁。

Förstner, W., 1994. "A Framework for Low Level Feature Extraction", In: EKLUNDH, J.-O.(Ed), Computer Vision, ECCV '94, Vol. II. pp. 383-394. Lecture Notes in Computer Science, 801, Springer-Verlag.

Grün, A. and Dan, H., 1997. "TOBAGO-a Topology Building for the Automated Generation of Building Models", Automatic Extraction of Man-Made Objects from Aerial and Space Images(II), Monte Vertia.

Wolf, P. R., 1983. "Elements of Photogrammetry", McGraw-Hill, Inc, 351-390.



# Building Reconstruction by Fitting Model to Close-Range Images

Cheng-Chung Wang<sup>1</sup> Yi-Hsing Tseng<sup>2</sup>

## ABSTRACT

Many applications, such as traffic management, urban planning, tourism, require 3D city model as their basic spatial information, which makes building extraction a hot research topic in the last two decades. This paper proposes a close-range photogrammetric procedure for building reconstruction based on model-image fitting. The model-image fitting process is applied in image orientation recovery and building part extraction. For image orientation recovery, previously measured building parts or outline can be used as control models. Orientation recovery is achieved by adjusting orientation parameters so as the image optimally fits to the control models. For building part extraction, the shape and pose parameters of a representative CSG primitive are adjusted to fit all of the corresponding images. The proposed procedure is especially suitable for updating or refining some building models in a city model built previously using aerial photogrammetry. Breaking through the traditional point measurement concept, this paper promotes a model (or object) based measurement concept to increase the efficiency of building reconstruction. Some experimental tests are demonstrated to show the feasibility of the proposed method. The accuracy assessment of the test results shows that the accuracy of proposed method is comparable to that of manual point measurement.

**Key words:** Close-Range Photogrammetry, Building Reconstruction, Model-based Building Extraction, Model-Image Fitting, Constructive Solid Geometry

<sup>1</sup> Graduate Student, Department of Surveying Engineering  
National Cheng Kung University

<sup>2</sup> Associate Professor, Department of Surveying Engineering  
National Cheng Kung University



Received Date: Oct. 01, 2002  
Revised Date: May 29, 2003  
Accepted Date: June 18, 2003