

浮測模型理論於建物萃取之應用

Floating Model on Building Extraction from Aerial Images

王聖鐸¹

曾義星²

Sendo Wang

Yi-Hsing Tseng

摘要

三維城市模型或三維空間資訊系統整合並提供各方面所需的三維空間資訊，可以廣泛應用在都市計畫、不動產管理、交通規劃、無線基地台規劃、觀光導覽等民生及專業用途。數十年來攝影測量一直是精確量測地物最有效的技術，然而以浮測標逐點量測的方式建置三維城市模型需要龐大的人力，是航測技術的效率瓶頸。本文採用模型式建物萃取法，將傳統的浮測標擴充為浮測模型，使量測的單元不再是抽象的一個點位，而是許多種可伸縮、旋轉、移動的三維模型，除了與浮測標同樣具備可調整的三維位置參數外，還依模型種類增加了各方向的伸縮尺度、空間旋轉等參數，如同一個漂浮在空間中，可移動、旋轉、縮放大小以量測建物的工具，期能以逐物件萃取的方式提升三維空間資訊之萃取效率。本研究建置了點、線、面、立體四大類基本元件模型庫，量測員可以依需要選擇適當元件模型，在多張重疊像片上進行模型式的量度。並可依模型精細程度需求，以數個基本元件模型分部萃取，再透過布林運算規則組合為複合模型，因此能適用於萃取大多數的三維建物。以浮測模型為基礎，本研究提出一套半自動化萃取策略，操作員透過人機互動介面將模型一次套合至所有影像，再透過最小二乘模型-影像套合演算法自動計算最佳套合，以便在已知相片方位的條件下，利用浮測模型萃取地物的三維空間資訊，或在已知地物模型資訊的條件下利用模型求解相片的外方位元素。藉由實驗案例的證明，浮測模型確可萃取一般常見建物之三維空間資訊，提高三維塑模之效率，並能達到傳統攝影測量之精度要求。

關鍵字：浮測模型、建物萃取、數值攝影測量。

ABSTRACT

3D city model or 3D spatial information system integrates 3D spatial information can be applied to versatile applications such as urban planning, real estate managing, traffic evaluating, radio station locating, tourist guiding etc. Photogrammetry has been considered as the most efficient approach to extracting 3D spatial information in the last few decades. However, the point-by-point measurements of using floating mark has

¹國立成功大學測量及空間資訊學系博士候選人，sendo@geomatics.ncku.edu.tw

²國立成功大學測量及空間資訊學系教授，tseng@mail.ncku.edu.tw

become the bottleneck while reconstructing the 3D city model. In this paper, we proposed a floating model theory for extracting 3D spatial information or determining image orientation. The floating mark is expanded to a 3D plastic model which can be moved, rotated, or scaled in the space. By fitting floating model to the images, the shape, size, and pose of the object are also extracted rather than the 3D coordinates of a point. This model-based approach is tested by experiments on extracting buildings from aerial images and its efficiency and accuracy are also described in this paper.

Keyword: Floating Model, Building Extraction, Digital Photogrammetry.

一、前言

模型式建物萃取 (Model-based Building Extraction, MBBE) (Ameri, 2000; Brenner and Haala, 1999; Lowe, 1991; van den Heuvel, 1997; Wang and Tseng, 2004) 的假設是以建物模型來描述三維空間中的目標建物，設法在模型與現有影像資料之間建立關係，以萃取建物的三維空間資訊。大部分的模型式建物萃取多採取半自動化的程序，其中高階的工作像是：建物偵測、模型選擇、以及賦予屬性等都由操作員以人機互動方式完成，而電腦系統則是用來執行低階的計算工作如：模型-影像的最佳套合。當模型-影像套合完成後，建物的空間資訊也就隨之確定，這種逐物件 (Object-by-object) 的萃取方式將比逐點 (Point-by-point) 式的量測更有效地提供精確而可靠的成果，大幅減低操作員的負擔。模型式建物萃取的概念與優點雖為專家學者所認同，然而詳細運作模式仍有待確立，因此本文提出「浮測模型」(Floating Model) 的概念與方法，即在為模型式建物萃取法建立一套可行的理論與實作藍圖。

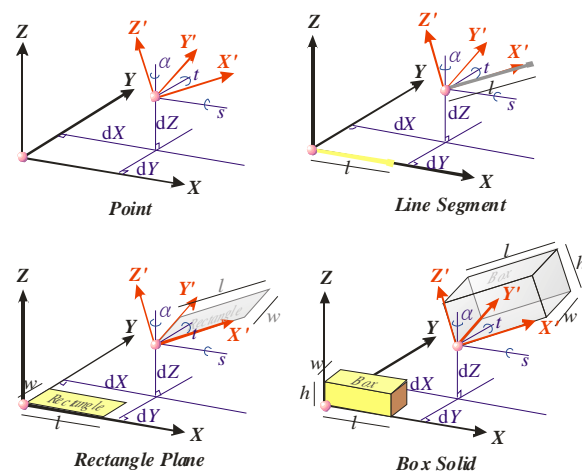
傳統上航測以立體製圖方式來測繪地圖，在類比、解析或數值攝影測圖儀中提供立體影像的觀測系統，配合浮測標的操作，逐點量測待定點三維座標。浮測標實際上是由左右像上的半標 (Half Mark) 構成，半標的移動需受影像相對方位的約制，必須保持位在同一核面 (Epipolar Plane) 上。如此在物空間形成一個漂浮的點位，調整手輪可移動其平面位置，調整腳盤則移動其垂直位置。當浮測標貼地面時，即代表左右半標位在影像的共軛位置上。延伸浮測標量度的概念為浮測模型，即將零維的浮測標拓展到三維實體，除了與浮測標同樣具備可調整的三維位置參數外，還依模型種類增加了各方向的伸縮尺度、空間旋轉等參數，如同一個漂浮在空間中，可移動、旋轉、縮放大小以量測建物的工具。量測員可以依需要自點、線、面、或立體等四大類模型中選擇適當元件模型，在多張重疊像片上進行模型式的量度。萃取成果為一個獨立的模型，並可以視需求按照建構實體幾何 (Constructive Solid Geometry, CSG) 的概念與布林運算法則 (Boolean Set Operator) 組合或相消，以構成建物完整的複合模型。由於模型在設計之初即隱含幾何約制條件，且由多張影像同時套合而得，因此可以提高遮蔽區的萃取機率，同時提高量測的可靠度。

以浮測模型萃取建物包括兩大議題：模型設計與模型-影像套合。模型設計的議題在於如何完整建立足以代表各式建物的模型，基於建物外型的多樣性與複雜性，要為所有建物建立其專屬模型幾乎是不可能的，較為可行的方法是採用 CSG 的概念來設計建物模型。CSG 並非針對整棟建物設計模型，而是依照建物所需詳細程度，組合數個稱為基本元件 (Primitives) 的簡單形狀實體 (Solid) 構成一棟建物的複合模型(Braun et al., 1995; Laebe and Guelch, 1998; Lang and Foerstner, 1996; van den Heuvel, 2000; 林文棋 et al., 2001)。模型-影像套合的重點則在分析模型與影像之關係，藉由調整模型的形狀與姿態參數控制模型在空間中的浮動與變形，連帶改變模型在影像上的投影，使其重合於影像上物體的邊緣線，以決定出最佳套合時的模型參數。在這裡我們假設影像的內、外方位資訊均為已知，相反地，當建物之模型參數已知而影像外方位未定時，浮測模型的模型-影像套合理論亦可用來反求影像的外方位資訊。

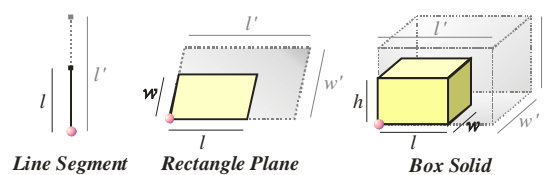
二、浮測模型理論

傳統航測製圖系統以量測「點」的三維座標為基礎，浮測標可以很簡易地表達三維空間的點位，因此儘管航測製圖儀由類比發展至解析再發展至現今之數位航測工作站，浮測標仍然是航測的基本工具。浮測標在傳統 2 維或 2.5 維的量測相當實用，因為它明確地指出點位唯一的三維座標。然而當影像含有陰影或遮蔽等不良因素時，將無法同時量測立體像對上的共軛點，同時越來越多的應用需要三維的物件模型，此一逐點量測的方式也會造成作業上的瓶頸。

為了解決快速建模的問題，本研究將浮測標的概念加以擴展，提出了以浮測模型重建三維建物模型的方法。浮測模型本質上就是一個參數式多面體模型，模型設計之初便決定了建物或物件的內部幾何條件。基本的浮測模型可以概分為四大類：點、線、面、實體，每一種類型的浮測模型還可以各自衍生出不同的模型以符合實際作業需要。例如：「線」就包括了「直線段」或「弧線段」；而「面」包括了「矩形面」、「圓形面」、「橢圓面」、「三角面」等等；而「實體」更多樣化，可以是「矩形體」、「圓柱體」、「角椎體」、或「屋脊型建物」等等。儘管這些浮測模型的外型各異，卻都擁有一些共同的特徵，就是一定具有一個基準點，一組姿態參數(Pose Parameters)以及一組形狀參數(Shape Parameters)。基準點與姿態參數決定



圖一、更改姿態參數前後浮測模型的改變



圖二、更改形狀參數前後浮測模型的改變

就是一定具有一個基準點，一組姿態參數(Pose Parameters)以及一組形狀參數(Shape Parameters)。基準點與姿態參數決定

了模型在物空間中的位置與姿態，其中基準點的位置由三個平移參數(dX , dY , dZ)來描述，而三個旋轉參數分別代表繞 Y 軸的傾角(t)、繞 X 軸的旋角(s)、以及繞 Z 軸的方位角(α)。圖一以四個浮測模型為例，顯示更動姿態參數後的變化。圖中 $X'-Y'-Z'$ 座標系統定義在模型空間，而 $X-Y-Z$ 定義在物空間。粉紅色的小圓球代表基準點的位置，黃色的元件模型表示更動參數(dX , dY , dZ , t , s , α)前的位置與姿態，而灰色的元件模型則是代表更動參數後的模型位置與姿態。由圖一可以清楚看出模型就有如漂浮在物空間中，藉由控制這些姿態參數，可以任意地移動或旋轉模型，惟模型的外型與大小並不會因為姿態參數的改變而有所不同。模型的外型與大小是由形狀參數所控制，例如：矩形體模型具有三個形狀參數，分別描述其寬度(w)、長度(l)、以及高度(h)。改變這些參數的值可以修改模型在三個軸向上的大小，但是模型整體的外觀並不會改變。不同外觀的模型會具備不同的形狀參數，例如：屋脊型房屋除了上述三個形狀參數外，還多了一個屋脊高參數(rh)。圖二以三個浮測模型為例子，說明更動形狀參數後的變化。「點」浮測模型是一個特例，因為它不具備任何形狀參數。圖中粉紅色的小圓球代表基準點的位置，黃色的元件模型表示更動形狀參數前的模型，而灰色的元件模型則是代表更動形狀參數後的模型。由圖二可知更動形狀參數並不會影響模型的位置或姿態，卻讓模型在外觀上具有某些約制而又保有調整大小的彈性。

影像方位重建意指重建攝影站與物體在拍攝瞬間的幾何關係，是將影像應用在攝影測量、遙感探測或電腦視覺等工作前最基本的工作。傳統上是先量測數量足夠且分佈良好的控制點的影像座標，再由空間後交會法 (Space Resection) 以求解單張影像之方位，如圖三所示。儘管這種以點為基本量測單元的方法已經廣泛地應用於解析或數值攝影測量，卻因為需要大量的人工量測，造成效率上的瓶頸。事實上除了點之外，更高階的特徵物，如：直線、平面、甚至模型不僅更容易從影像上辨識出來，也比抽象的點更具有空間上的意義。因此近二十年來不僅在攝影測量領域，包括電腦視覺領域的學者陸續對高階特徵物進行了許多研究，希望能以直線等高階特徵物取代點作為影像的控制單元(Haralick and Cho, 1984; Jaw, 1998; Smith and Park, 2000)。

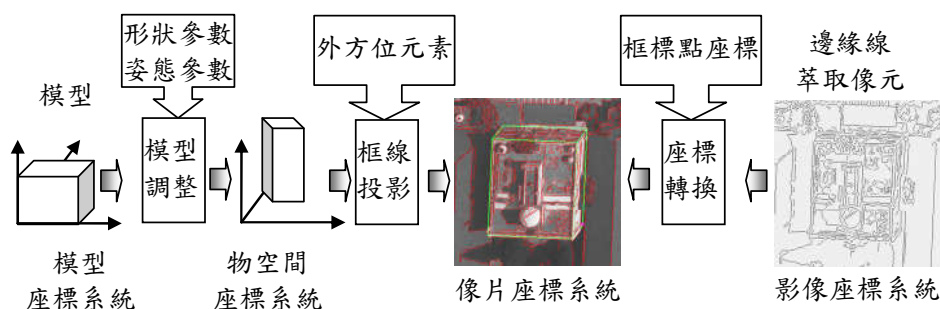
Mulawa 與 Mikhail 在 1988(Mulawa and Mikhail, 1988)提出以控制線取代控制點的想法，他們將傳統以控制點組成的空間後交會方程式改由三維直線方程式組成，只要觀測三條不共面的三維直線即可決定影像的方位，而三維直線方程式則可由量測直線上任意的兩點加以決定。儘管乍看之下需要的觀測數較傳統控制點的方法多，但由於是以直線方程式為控制，因此在多張重疊影像上量測同一直線時可以任意量測直線上的兩點而不需要量測共軛點，如此一來將大幅減輕影像判讀的工作並且避免匹配錯誤的可能性。以此觀念出發，可以推廣到更多類型的線段，如：自由型式的曲線 (Free-form Curves) (Buchanan, 1992; Petsa and Patias, 1994; Schenk, 1999)。

本計畫以浮測模型為基礎，亦即將已知模型作為控制影像方位的基本單元。實作上則是將基本元件模型拆解為數條三維線段，根據初始的影像外方位元素投

影到影像上近似的位置，藉由最小二乘模型影像套合法 (Least-squares Model-image Fitting, LSMIF) 漸進地調整影像的外方位元素，直到線段的投影能與影像上萃取出邊緣線特徵像元達到最佳重合為止，此時的外方位元素理應最接近攝影當時的影像外方位。由於三維線段的投影與邊緣線的萃取都可以用演算法自動計算，因此在最佳套合的階段完全不需要人力的介入，可大幅提昇影像方位重建的效率。

三、模型-影像套合

模型與影像之套合是指模型投影於影像上之邊緣線與影像邊緣像元之間的吻合程度，由於模型是建立在所定義的模型座標系統上，而每個像元位置則定義於影像座標，當將模型與影像做套合時，必先經過幾個必要的座標轉換，如圖三所示。首先是模型座標與物空間座標之轉換，接著為物空間與像片座標、及像片座標與影像座標之轉換。透過模型參數（姿態及形狀參數）的決定，可將模型角點的模型座標轉換為物空間座標；而藉由已知像片之外方位元素，可計算出角點在像片上的像片座標。另一方面，透過率定書中已知的框標點像片座標並量測其影像座標，可將邊緣線萃取像元轉換為像片座標。若航測影像之內、外方位元素已知，代表影像固定、模型浮動，則套合作業的目的就是決定模型的形狀及姿態參數。相反地，若模型參數已知，代表模型固定、影像浮動，則套合作業的目的就是決定影像的外方位參數。



圖三、模型-影像套合過程中的座標轉換

實際作業則將套合成近似套合及最佳套合兩部分：近似套合從所有參數都是未知參數開始，由人工判識影像並挑選合適之模型，而最佳套合則是以 LSMIF 自動迭代計算出模型與影像最佳套合時的參數。本研究以 Borland C++ Builder 設計了一套人機互動式操作介面，可自動計算上述座標轉換，並將模型投影框線顯示在影像上。模型首先以預設參數投影在對應之影像區域，接下來操作者可在影像上拖拉模型框線，與影像進行近似的套合，以決定最近似的參數，此時模型邊緣線與影像邊緣像元應有初步的吻合。

模型-影像最佳套合的基礎是假設模型參數正確且影像外方位也正確的情況下，模型外框的投影應該完全重疊於影像上的邊緣線，因此可將萃取出邊緣線像元到對應的投影線的距離視為不符值，以盡可能消除不符值作為套合的目標。由於模型經由人工近似套合後理應很接近最佳套合之位置，為避免非屬該投影線像元之干擾，因此自投影線向外延伸一段距離作為套合環域，只有落在該環域內

的邊緣線像元才加入該投影線之平差計算，如圖四所示。由於人工近似套合的程度不一，且地物附近的環境特徵（如：女兒牆的內外緣）也可能造成邊緣線偵測元的誤判，因此環域大小不宜完全固定，最好能隨著影像的內容及迭代的成果逐步調整。

圖四顯示第 i 張影像上模型第 j 條框線環域，其中第 k 個萃取點 T_{ijk} 到投影框線 $\overline{v_{im}v_{in}}$ 的距離 d_{ijk} 可以用平面上點到線的距離公式表示。在萃取地物時未知數是模型參數，此時 d_{ijk} 是模型參數 ($l, w, h, dX, dY, dZ, \alpha$) 的函數，而在重建影像方位時外方位元素才是未知數，此時 d_{ijk} 則是外方位元素 ($\omega_i, \varphi_i, \kappa_i, X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}$) 的函數。但是不論用在萃取地物或重建方位，計算套合的依據都是以所有萃取點到投影線的距離平方和為最小做目標，分別如(1a)及(1b)兩式所示：

$$\sum \sum \sum d_{ijk}^2 = \sum \sum \sum [F_{ijk}(l, w, h, dX, dY, dZ, \theta)]^2 \rightarrow \min \quad (1a)$$

$$\sum \sum \sum d_{ijk}^2 = \sum \sum \sum [F_{ijk}(\omega_i, \varphi_i, \kappa_i, X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i})]^2 \rightarrow \min \quad (1b)$$

若將距離視為平差中的不符值，則(1a)及(1b)式可分別改寫為平差的觀測方程式(2a)及(2b)：

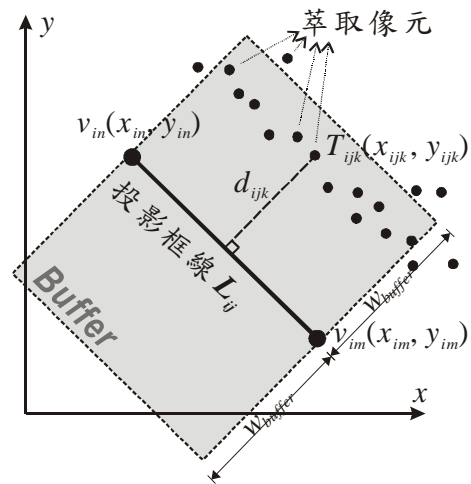
$$0 + v_{ijk} = F_{ijk}(l, w, h, dX, dY, dZ, \theta) \quad (2a)$$

$$0 + v_{ijk} = F_{ijk}(\omega_i, \varphi_i, \kappa_i, X_{0i}, Y_{0i}, Z_{0i}) \quad (2b)$$

上式為非線性式需採用牛頓漸進法求解，將上式分別依未知數（模型參數或方位元素）取一次偏微分即可將其線性化，代入未知數的近似值可解出未知數之增量，如此可反覆迭代直到其收斂至最佳解。採用最小二乘平差法的好處之一是平差後可以求得未知數的中誤差，可以作為最佳套合的理論精度參考，另一方面則是可以藉由調整未知數的權以設定約束條件。舉例而言，若在萃取建物時事先由其他方式獲得建物附近的地面高 dZ ，則加大 dZ 的權將使其在平差過程中近似固定，即能確保 LSMIF 能收斂至最佳解。

四、實驗測試

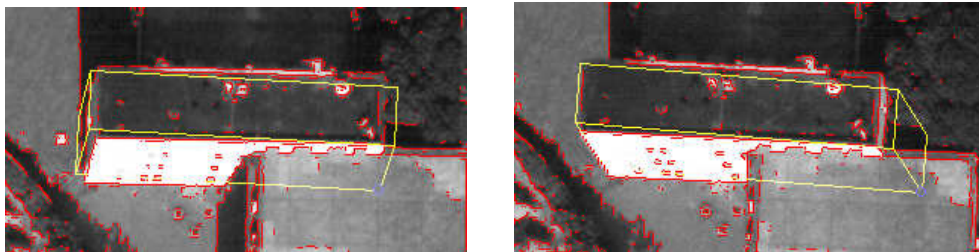
本研究利用本研究提出浮測模型的概念，以四大類浮測模型：點、線、面、實體為基礎，分別設計常見之浮測模型，如：直線段、矩形面、矩形體、屋脊型房屋等，以 Borland C++ Builder 撰寫物件導向程式，將每個模型製作為獨立物件，使其具有形狀參數與姿態參數等屬性。所有輸入的航照或近景影像也視為獨立的物件，分別具有框標、內方位參數、外方位參數等屬性。模型-影像套合的互動介面亦利用 Borland C++ Builder 程式設計，使用者可以藉由拖拉滑鼠或鍵盤輸入的方式，分別輸入模型參數或影像參數，模型在影像上的投影會隨之更新，以便使



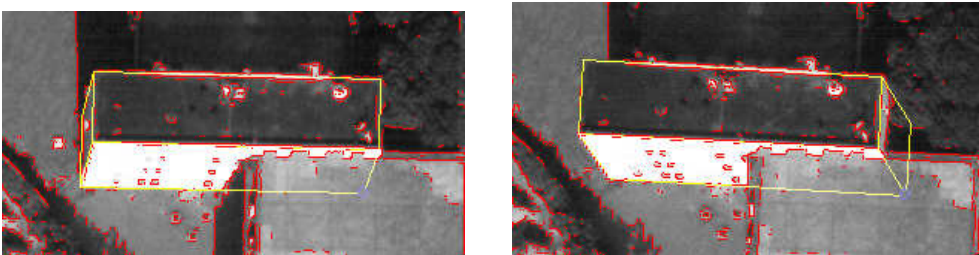
圖四、由模型投影框線向外延伸的環域及萃取出的邊緣線像元

用者確認是否符合近似套合。為了實踐模型-影像的自動化最佳套合，我們將萃取建物模型與求定影像方位兩種不同的 LSMIF 演算法，分別製作為不同之物件，以便根據求解需要分別應用於模型與影像物件。

本研究採用成大校區附近兩條相鄰航帶、共六張航空攝影像片，從中挑選十棟不同類型的建物進行實驗。航空攝影的航高約 1600m，採用像機的焦距為 305.11mm，平均像比例尺約為 1/5000，像片經過專業航測像片掃描儀以像元解析度 25 μ m 數化。圖五顯示其中一棟近似套合與最佳套合後之成果，其中黃色框線代表所採用的矩形體浮測模型，紅色點顯示自影像萃取出之邊緣線像元，藍色圓圈標示模型基準點。在未給予任何約制條件下，十棟建物以 LSMIF 自動計算最佳套合之成功率約 88%，若加入約制條件，如基準點的地面高 dZ 或建物高 h，則成功率可達 100%。在每一棟建物均萃取出來後，可藉由模型參數換算出建物角點座標，再與傳統航測角點座標比對，X、Y、Z 座標差值之各項統計值如表一所列。



(a)人工近似套合後，模型在影像 2-28 與 2-27 之投影



(b)LSMIF 計算最佳套合後，模型在影像 2-28 與 2-27 之投影
圖五、矩形體浮測模型與建物之套合成果

表一、十棟建物經 LSMIF 套合後，模型角點座標與航測座標差值之統計值

	ΔX	ΔY	ΔZ	$\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$	$\sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2 + \Delta Z^2}$
最大值(m)	0.983	0.723	3.034	1.072	3.047
最小值(m)	-0.733	-0.985	-1.932	0.045	0.138
絕對值的平均值(m)	0.291	0.223	0.799	0.397	0.942
平均值(m)	0.161	0.070	0.047	0.397	0.942
標準差(m)	0.3296	0.2770	1.0335	0.2400	0.6233

在所有建物均萃取出來後，吾人挑選其中五棟建物模型，作為求解影像方位之控制模型，圖六顯示該張航測影像與所選用的模型位置關係。操作員藉由調整影像外方位參數，使模型在影像上的投影能與影像上的建物近似套合，最後再以 LSMIF 自動套合出最佳之外方位參數。比較套合出的外方位參數與先前已知的外方位參數，(X₀, Y₀, Z₀) 差距大約都在 1 公尺以下，而旋轉角差距大約在 10' 以下。此一結果是受到控制模型在影像上的分佈位置影響，使得影像無法得到較好的幾

何約制，若能以影像邊角位置的建物作為控制，相信能獲得更佳成果。

五、結論與建議

本文提出浮測模型之概念，建立點、線、面、立體四大類浮測模型，其下分別設計各種常用之浮測模型基本元件，定義其形狀參數與姿態參數，以備模型-影像套合之用。並釐清模型與影像的座標系統轉換關係，因此模型的外框可同時投影至所有重疊影像上。若影像方位已知，調整模型參數可改變模型在影像上之投影，當模型投影與影像上建物邊緣線趨於一致時，模型參數亦隨之確定，得到精確之三維建物模型。反之，當影像方位未知而模型已確定時，調整影像外方位參數亦會改變模型在影像上之投影，當模型投影與影像上建物邊緣線趨於一致時，方位參數亦隨之確定，得到精確之影像外方位參數。而由實驗所得到的數據，利用浮測模型重建建物模型所得到的屋角點點位座標精度大約在 30 公分左右，與傳統航測相去不多。而利用浮測模型求解影像方位，則與傳統後方交會法相同，受到控制模型分佈的影響甚鉅。因此建議在採用浮測模型求解影像方位時，務必選擇影像邊角位置建物作為控制，且依循由高精度模型控制低解析度影像之原則。



圖六、航測影像與作為控制之五棟浮測模型

整模型參數可改變模型在影像上之投影，當模型投影與影像上建物邊緣線趨於一致時，模型參數亦隨之確定，得到精確之三維建物模型。反之，當影像方位未知而模型已確定時，調整影像外方位參數亦會改變模型在影像上之投影，當模型投影與影像上建物邊緣線趨於一致時，方位參數亦隨之確定，得到精確之影像外方位參數。而由實驗所得到的數據，利用浮測模型重建建物模型所得到的屋角點點位座標精度大約在 30 公分左右，與傳統航測相去不多。而利用浮測模型求解影像方位，則與傳統後方交會法相同，受到控制模型分佈的影響甚鉅。因此建議在採用浮測模型求解影像方位時，務必選擇影像邊角位置建物作為控制，且依循由高精度模型控制低解析度影像之原則。

六、參考文獻

※IAPRS: *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*

- 林文棋, 曾義星 and 王聖鐸, 2001. CSG 模型式建物萃取之模型建置與操作, 第二十屆測量學術暨應用研討會, 中壢, pp. 91-98.
- Ameri, B., 2000. Automatic Recognition and 3D Reconstruction of Buildings through Computer Vision and Digital Photogrammetry. Doctor Thesis, University of Stuttgart, 110 pp.
- Braun, C., Kolbe, T.H., Lang, F., Schickler, W., Steinhage, V., Cremers, A.B., Förstner, W. and Plümer, L., 1995. Models for Photogrammetric Building Reconstruction. *Computers & Graphics*, 19(1): 109-118.
- Brenner, C. and Haala, N., 1999. Towards Virtual Maps: On the Production of 3D City Models. *GeoInformatics*, 2(5): 10-13.
- Buchanan, T., 1992. Critical Sets for 3D Reconstruction Using Lines. In: G. Sanini (Editor), *Computers Vision - ECCV*, Berlin, Germany, pp. 730-738.
- Haralick, R.M. and Cho, Y.H., 1984. Solving Camera Parameters from the Perspective

- Projection of a Parameterized Curve. *Pattern Recognition*, 17(6): 637-645.
- Jaw, J.J., 1998. Simultaneous Determination of Exterior Orientation and Terrain Surface from Aerial Imagery and Scanning Airborne Laser, *IAPRS*, Columbus, Ohio, pp. 52-57.
- Läbe, T. and Guelch, E., 1998. Robust Techniques for Estimating Parameters of 3D Building Primitives, *ISPRS Commission II Symposium*, Cambridge.
- Lang, F. and Förstner, W., 1996. 3D-City Modeling with a Digital One-eye Stereo System, *IAPRS*, Vienna, 31: 415-420.
- Lowe, D.G., 1991. Fitting Parameterized Three-Dimensional Models to Images. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 13(5): 441-450.
- Mulawa, D.C. and Mikhail, E.M., 1988. Photogrammetric Treatment of Linear Features, *IAPRS*, Washington, DC, 29(B3): 383-393.
- Petsa, E. and Patias, P., 1994. Sensor Attitude Determination Using Linear Features. *IAPRS*, 30(1): 62-70.
- Schenk, T., 1999. *Digital Photogrammetry*, 1. TerraScience, Laurelville Ohio, 428 pp.
- Smith, M.J. and Park, D.W.G., 2000. Absolute and Exterior Orientation Using Linear Features. *IAPRS*, Amsterdam, 33(B3): 850-857.
- van den Heuvel, F.A., 1997. Efficient 3D-Modeling of Buildings Using a Priori Geometric Object Information. In: S.F. El-Hakim (Editor), *SPIE*, pp. 38-49.
- van den Heuvel, F.A., 2000. Trends in CAD-based Photogrammetric Measurement. *IAPRS*, Amsterdam, 33(B5): 852-863.
- Wang, S. and Tseng, Y.-H., 2004. Semi-automated CSG Model-based Building Extraction from Photogrammetric Images, *IAPRS*, Istanbul, Softcopy(DVD-ROM).