

以特徵物為主的攝影測量物型重建(I)
Feature-based Photogrammetric Object Reconstruction (I)

計畫編號：NSC 90-2211-E-002-067

執行期限：90 年 08 月 01 日至 91 年 07 月 31 日

計畫主持人：趙鍵哲 台灣大學土木工程學系
jejaw@ce.ntu.edu.tw

一、中文摘要

攝影測量傳統上以點特徵(Point Feature)進行量測、方位解算及生產地形地物資料。由於雜訊(Noise)及輻射(Radiation)影響，影像上的一個獨立點，實際上很難辨識出是屬於獨立的特徵點或是雜訊所造成。再者，由於點特徵資料是屬於較低階(Low Level)的資訊，自動化作業之難度高，往往需要大量的人工介入完成製圖任務。

從物型重建的角度來看，都市地區的航測影像中，人工建物為主要的地物特徵，其最大特色就是由多面體所組成，而多面體的輪廓可由影像中的邊緣線所呈現。採用直線特徵(Linear Feature)比點特徵更能貼近真實物體的資訊，且以各個成份像元為觀測值之直線擬合易獲致高精度之直線方程式，受雜訊的干擾較少。因此本文嘗試在立體像對中利用共面直線特徵觀測量求解方位元素，並獲得三維直線特徵之空間資訊，達到方位解算及物型重建的目的。實驗中以實際影像之測試結果提供後續研究之參考。

關鍵字：物型重建、直線特徵、共面直線特徵

ABSTRACT

The point feature has been inherently utilized for photogrammetric tasks, including point measurements, orientation, and topographic mapping, etc. Due to the effects of noise or radiometric concern, the recognizability of the point feature is often under expectation. One can easily experience the dilemma when trying to tell a meaningful point feature from a noise by

observing a distinct image point. From computer vision point of view, the point feature is of low-level. The degree of automation using only point features remains unsatisfactory, leading to heavy human's intervention in mapping tasks. On the other hand, from the object reconstruction view point, the linear feature that can be easily extracted from the image via image processing techniques is of higher-level information than its counterpart, the point feature. It is especially advantageous of employing linear features when considering the urban photographs in which the man-made buildings, polyhedron-type, are the main structure in the scene. The fitted line by adjusting many points which are regarded as if they are along the line would reasonably suppress the noise effect and provide linear feature with higher precision. This study was motivated by the above facts and aimed at solving for photogrammetric orientation and performing three-dimensional object reconstruction by coplanar linear features. An experimental test on an aerial stereopair over urban area has been conducted for the purposes of solving orientation and demonstrating object reconstruction.

Keywords: Object reconstruction, Linear feature, Coplanar linear features

二、緣由與目的

傳統的攝影測量方法主要依賴點特徵(Point Feature)以共線方程式(Collinearity Equations)進行方位及物型重建。然而，實際上點特徵並不具體存在，而必須加以特徵化，例如佈標或利用線條交點，才能在測量作業中加以量測而得到其相關資料。

近年來，數位影像建構於直線特徵基礎的方位求解問題，引起攝影測量研究者的高度興趣，例如，將直線特徵應用於空中三角的解算過程[1]，直線特徵萃取的技術應用於建物重建的作業模式[4]等。數值攝影測量的自動化作業引入以直線特徵為基礎的方法，例如道路邊緣萃取[5]、人造建物萃取[2]。

本研究針對利用航空像片之立體像對，以共面直線特徵求解相對方位參數，並引入控制點的資訊，求解絕對方位，從中加以分析直線特徵對於方位求解的影響，並藉由整合共面直線特徵於方位求解過程中，達到方位解算及物型重建的目的。

三、研究理論及方法

3.1 攝影測量之直線特徵幾何

攝影測量的直線特徵不論在物空間或像空間，都是具有長度或具端點的直線段，直線特徵之物像關係是利用投影中心 O' 、影像直線 l' 及物空間直線 L 這三者 在物空間形成一個判斷面 (Interpretation Plane)，如圖 3.1 所示，經由共軛直線特徵建立物像關係及方位求解的條件。物空間中之平面結構常是由直線邊界組成，由[3]所提出的方法，若物空間 N 條直線構製 M 個不同平面，則一個三維平面方程式只需三個參數表示，因而可將求解直線參數轉成求解平面參數，於是原本 $4N$ 個未知數減至只剩 $3M$ 個。以一個矩形平面為例(包含 4 條直線)，利用共面直線約制只須處理平面方程式的三個未知數，而非 $(4 \times 4)=16$ 個三維直線未知參數，如此可提供較多的多餘觀測(Redundancy)以形成方位求解的條件。

3.2 共面直線條件式求解相對方位

一個三維的平面有 3 個未知參數，每一組共軛共面直線特徵可列兩個條件式，若在 M 個平面上收集到 N 條直線特徵，則觀測量與未知參數的平衡關係為 $2N \geq (5 + 3M)$ ，其中 5 為相對方位參數個數，在 $M=1$ 、 $N=4$ 之情形下，即在物空間中有四條直線共面時，就能求解相對方位問題，演算法中所引用的條件式：

第一個條件式為「空間直線 L 的方向向量 d 和平面 S 的法向量 n_s 正交」：

$$n_s^T d = 0 \quad (3-1)$$

第二個條件式為「空間直線 L 與 YZ 平面的交點 X_L ，會落在平面 S 上」：

$$n_s^T X_L + 1 = 0 \quad (3-2)$$

3.3 共面直線條件相對於地面座標系統之外方位參數

相對方位完成後可藉由已知的物空間絕對(位置)資訊求得相對於物空間座標系統之外方位參數，一般而言，地面控制點是物空間絕對資訊的最直接來源。

相對方位狀態之共面直線條件式加入地面絕對資訊時，第一個條件式，即(3-1)式，只須調整旋轉量，得下式：

$$n_s^T (R_1^T n_1 \times R_2^T n_2) = 0 \quad (3-3)$$

而第二個條件式，即(3-2)式，須調整平移量與旋轉量，則變成：

$$(R_2^T n_2)^T t (R_1^T n_0)^T (R_1^T n_1 \times n_s) + (n_s^T t_1 + 1)(R_1^T n_0)^T (R_1^T n_1 \times R_2^T n_2) = 0 \quad (3-4)$$

一組像對有 12 個外方位參數及 3 個內方位參數，再加上平面的參數 $3M$ ，則未知數的數目為 $15 + 3M$ ，觀測量與未知數間的平衡關係為 $2N \geq 15 + 3M$ ，若有足夠的觀測量，看似可解絕對方位問題，但所用兩個約制條件只是物像之間的相對約制，並不足以解決三維卡式直角座標系統的基準問題(三個平移量、三個旋轉量及一個尺度因子)，因此仍需借助地面控制點或物空間的約制來提供基準，而每增加一個控制點量測，即增加四個共線方程式，而平差模組因此整合共線方程式及共面直線條件式作聯合求解，物像關係如圖 3.1 所示。

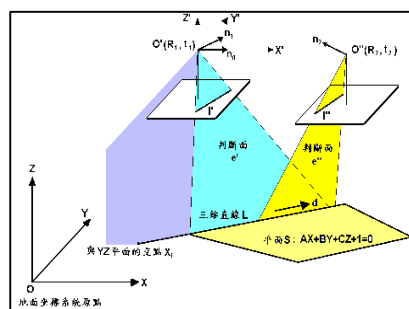


圖 3.1 相對於地面座標系統的物像關係

l 、 l' ：三維直線 L 於左右影像上之共軛直線段。

n_0 ：模型座標系 $Y-Z$ 平面的單位法向量。

n_1 ：左像直線 l 和投影中心 O 所形成判斷面 e' 的法向量。

n_2 ：右像直線 l' 和投影中心 O' 所形成判斷面 e'' 的法向量。

n_s ：平面 S ： $AX+BY+CZ+1=0$ 的法向量。

X_L ：三維直線 L 和左像座標系 $Y-Z$ 平面的交點。

d ：三維直線 L 的方向向量。

R_1 、 R_2 ：左、右像相對於地面座標系的旋轉矩陣。

t_1 、 t_2 ：左、右像相對於地面座標系的位置平移向量。

四、影像方位解算成果與物型重建

4.1 實測資料求解方位

(一)實測資料說明

影像立體像對由成功大學測量工程學系提供，拍攝的時間為 2001 年 3 月份，拍攝地區為台北市松山菸廠附近，如圖 4.1 所示。影像解析度 25 ~m，航高約 1800 m，像比例尺約 1/6000，焦距 304.921mm。

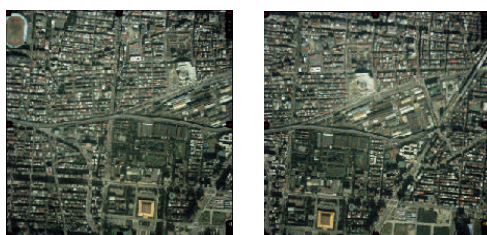


圖 4.1 影像立體像對

在影像重疊區內選擇均勻分佈的平面，包括屋頂面、停車格、網球場等矩形平面，邊線儘量清晰容易辨認，量測邊線上兩點(不須為共軛點或端點)組成共面直線的觀測量，如圖 4.2 所示

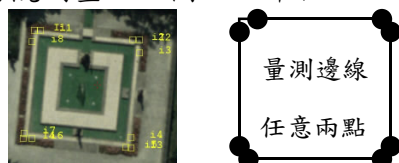


圖 4.2 共面直線觀測量量測方式示意圖

(二)實測資料分組

分組觀測量如表 4.1 所示，其中內方位參數當成是已知量。

表 4.1 實測資料分組

組別	平面數	直線數	觀測數	未知數	自由度
一					
二	5	20	40	20	20
三	20	80	160	65	95

第一組：利用數位攝影工作站以點觀測量解算的外方位參數。

第二組：以 5 個平面，20 組共軛直線觀測量，解算相對方位參數

第三組：以 20 個平面，80 組共軛直線觀測量，解算相對方位參數

如圖 4.3 所示，藉由解算之方位參數經由空間前方交會的計算，可得兩個端點的三維座標，據以推算模型邊長，再與實地量測的邊長作比較，邊長的量測工具是鋼卷尺，檢核資料的精度可到達 1(mm)。

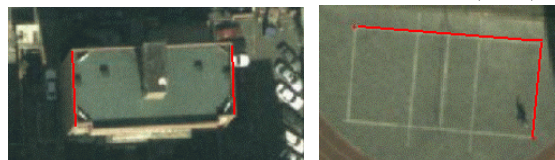


圖 4.3 可供實地量測邊長的地物

第一組資料是經由整批航測作業，以空中三角程式解算之連結點成果，雖其理論精度 $f_x = f_y = \pm 2$ (cm)， $f_z = \pm 3$ (cm)，但在未驗證其正確性前，若逕自取用當成控制點，則立體模型所受影響將無法客觀掌握，因此改以比較「模型地物的邊長」與「實地地物的邊長」的比例關係作為相對方位成果評估標準。唯本實驗是純以共面直線特徵求解相對方位，無法比較模型邊長與實測邊長的差值，改以比較模型邊長與實測邊長的比例變化作為相對方位成果的評估。

解算成果比較如表 4.2，比較 44 段實測邊長與模型邊長比例，計算其平均比值 ~ 與標準差 f_0 。由於相對方位解算出的模型比例尺有些微差異，上述實長與模型比例關係間仍存有不同尺度之問題，因此須約化(Normalization)各組所求的變形量指標 f_0 ，做法為將 f_0 除以各組之平均比值 ~，即 $f = f_0 / \sim$ ，作為各組約化後之變形量指標。

表 4.2 實測資料解算成果

組別	一	二	三
平均比值 \sim	0.99496	1.02332	1.01185
標準差 f_0	0.00946	0.01274	0.01223
$f = f_0 / \sim$	0.00951	0.01245	0.01209

(三)實測資料成果分析

由表 4.2(以約化後的變形量比較)，第一組成果是由影像工作站上以數量相當多的共軛點觀測量利用共線式求解外方位參數，呈現較小的變形量，而第二、三組以共面直線觀測量求解相對方位，變形量較大。

增加直線觀測數可以得到較小的變形量，即立體模型的重建精度較佳，因此增加觀測數可提升方位參數品質，表現於更佳的空间度量精度上。實驗亦顯示變形量較大的邊長大都是在重疊的邊緣位置，這是因為愈往外圍的點位其交會幾何較差，導致較大的變形量[6]。

4.2 平面物型重建

在立體像對收集共面直線觀測量，經平差後可求得外方位參數及像點改正數，因此針對共軛直線可據以形成共軛判斷面(如圖 3.1)，由共軛判斷面可在空間交會三維直線軌跡，相鄰共面直線軌即交會出平面角點，依此可完成平面物型重建，重建影像套合成果如圖 4.4 所示。

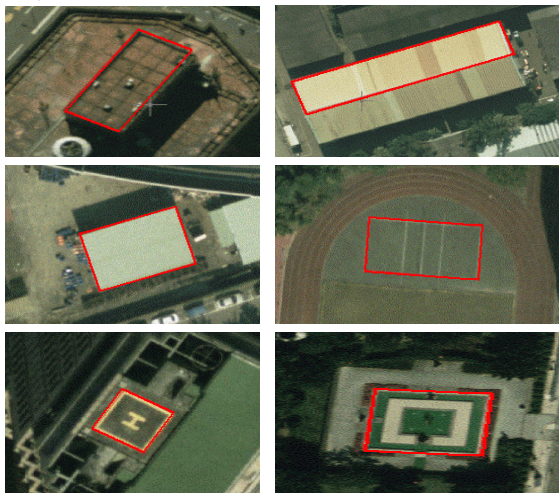


圖 4.4 物型重建影像套合圖

五、計畫成果自評

本研究利用共面直線觀測量，最少只需一平面含四組共軛直線即可求解相對方

位，提供方位求解的另一種選擇。引入共線式加入控制點資訊可求解絕對方位，以此建立點特徵與直線特徵同時求解方位參數的演算法。經由共面直線觀測量的收集及安排，可在方位求解後，以平差後的觀測量前方交會計算三維平面的物空間資訊，即整合方位求解與部份物型重建於同一作業流程，有別於一般方法，藉此以提高自動化程度。

以實際影像求解相對方位時，直線觀測量不須要求有共軛的直線端點，使觀測量的量測有相當的彈性，對於受到某些程度遮蔽的線條仍然可以列出條件方程式，因此遮蔽的建物角點亦可由直線交點的方式來恢復。

由實驗成果顯示，共面直線條件式的幾何強度不如共線方程式[6]，若欲提高定位精度，除了提升直線觀測量的量測精度外，物空間高確定性及高精度之約制條件，例如垂直、水平、平行、距離等，都可以嘗試引入求解條件，提昇方位及空間定位精度。

六、參考文獻

- [1].Habib, A. F., 1998. Aerial Triangulation Using Point and Linear Features. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Munich/Germany, Vol.33, Part3-2.W5. pp.137-141.
- [2].Michel, A.H. and Goretta, O., 1998. Exploitation of Linear Features in Surveying and Photogrammetry. Journal of Surveying Engineering. Vol. 123, No. 1, February. pp32-47.
- [3].Pesta, E. and Karras, G.E., 2000. Constrained Line-Photogrammetric 3D Reconstruction from Stereopairs. Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B5. pp.604-610.
- [4].邱式鴻, 2001, “從都市區立體航照影像中萃取屋頂面的實用策略”, 國立成功大學測量工程研究所博士論文。
- [5].陳志升, 1996, “數位航空影像中非都市區道路萃取之研究”, 國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
- [6].李志宏, 2002, “應用線特徵物求解攝影測量方位參數與物型重建”, 國立台灣大學土木工程學研究所碩士論文。