

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 以特徵物為主的攝影測量物型重建-系統整合(III)

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2211-E-002-095-

執行期間：92年08月01日至93年10月31日

執行單位：國立臺灣大學土木工程學系暨研究所

計畫主持人：趙鍵哲

計畫參與人員：彭念豪、王奕婷

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 94 年 5 月 25 日

本研究報告包含探討以點、線、面為主的影像特徵物於攝影測量的用途包括進行共軛量測、扮演物空間控制角色以及物型重建工作。除了攝影測量物、像對應的數學模式探討外，亦衍生出建構控制實體資料庫（Control Entity Database）或萃取控制實體的重要後續工作。也因此，利用控制實體特徵資料作為像片方位解算或修測工作的作業系統芻議及其效益，總本研究成果中獲致明確印證並值得後續研究加以推廣。

關鍵字：控制實體資料庫、方位解算、物型重建

### Abstract

This report summarizes a systematic study on how point features, line features, and area features can be implemented into the photo orientation and object reconstruction tasks. The mathematical models linking the features both in image space and object space with camera perspective center have been formulated and tested by the experiments. The by-product of this research work reveals also the importance of creating control entity database, which may suggest the research trend in next step.

**Keywords** : Control entity database, Photo Orientation, Object Reconstruction

---

## 一、前言

傳統空中三角作業(Aerial Triangulation)須引入地面控制點(Ground Control Points)作為像片模型與地面座標套合(Registration)並藉以減少像片模型之誤差。地面控制點常藉由外業的地面測量獲取座標資訊，並由人工在像片上辨識(Identify)及量測(Measure)控制點。這些工作不僅耗力費時，也需投入相當之經費。因此，考量如何減少外業測量人、物、財力耗費以及朝向控制點自動量測(Automatic Control Point Measurement)，並解算像片外方位參數，是提昇航測業務效能之關鍵工作。

誠然，研究報導及若干實測資料顯示經由嚴密整合(Integration)及率定(Calibration)之GPS/INS 輔助之航測攝像系統，理論上可直接於攝像時經由後處理獲取高精度之像片外方位參數(Exterior Orientation Parameters)，即所謂的直接外方位參數求法(Direct Geo-referencing)，但一則因整合之硬體系統價位偏高，另外考量在缺乏物空間(Object Space)可資檢查之控制資料情況下，對未能掌握像片內方位參數(Interior Orientation Parameters)型態所造成物空間定位畸變(Distortion)及不準確之效應，使得此項應用仍未能普及化。近一、二十年來，數值攝影測量(Digital Photogrammetry)結合影像處理(Image Processing)、儲存及電腦運算效能，使得藉由利用包含點、線、面特徵物來提供新拍攝影像之控制資料，利用影像匹配(Image Matching)、特徵式匹配(Feature-based Matching)或圖形匹配(Graphic Matching)的方式新拍攝的影像中，自動找尋及對應共軛特徵(Conjugate Features)，減少人工外業佈點、測量及像片認點、量測的工作更形可行。另一方面，由於以點特徵及直線特徵作為控制資料均能滿足單張像片空間後方交會(Single Photo Resectioning)求解方位之條件，因此空中三角作業亦可能因而被簡化，有利於修測(Revision)工作或快速小面積的航測任務，例如即時性的災變評估。

## 二、研究目的

本系列研究前兩階段主要探討利用共面之直線特徵物達到方位求解及面狀特徵物(在本例中為屋頂面)之物型重建之理論構建[趙鍵哲，2002]及利用點特徵之影像控制實體之自動化方位求解系統[趙鍵哲，2004]。本年度階段性任務為探究以控制直線(Control Line)及控制面(Control Surface)來完成像片方位求解，簡化空中三角作業並滿足後續空間資訊收集如數值地形模型生產及正射影像製作對方位參數之精度需求。而本報告為系列報告之綜結，亦將前述階段之重要成果包含於此研究報告中。

## 三、文獻探討

本研究主要以點、線、面特徵物作為方位解算及物型重建之控制資料，此類控制資料可萃取自航照影像、GIS 向量資料、正射像片、數值地形模型(Digital Terrain Model,DTM)及三維物件模型(例如房屋模型)。不同的控制資料將會有不同求解外方位參數的方式，以下介紹針對不同特徵類別作為像片控制求取外方位參數之各項相關研究工作。

### 3-1 利用點特徵物(Point Feature)

在 Drewniok & Rohr [1996] 研究工作中，主要建構以人孔(Manhole)為主之影像模版

(Template)，並利用區域式匹配於新影像中自動偵測此類特徵點；Pederson[1996]則主要使用萃取數值圖(Digital Map)中之道路交叉點(Road Intersections)或停車場地面線條交叉點配合影像資料構建模版；Hahn[1997]亦取用點特徵物模版資料庫進一步探討模版大小、特徵物形狀以及影像壓縮對匹配成果之影響；Höhle[1999]利用於新影像中開啟包含特徵點之目標視窗，並與包含相同區域之正射影像匹配，尋找中心對應像元平面位置(X,Y)，再以數值地形模型資料內差此對應像元之高程值(Z)。

### 3-2 利用線特徵物(Linear Feature)

線特徵物求解方位問題最早由是 Masry[1981]所提出，Liu *et al.*[1990]利用模擬的直線控制特徵(Linear Control Feature)求解相機方位的研究，將外方位參數求解分成兩步驟求解；Mikhail & Weerawong[1997]應用線形特徵於座標轉換的研究；Van den Heuvel[1997]引入兩組共面平行線(平行四邊形、矩形等)為幾何約制的條件求解相機方位；Habib[1998a]以直線特徵估計運動參數應用於 MMS(Mobile Mapping System)及結合點及線特徵的空中三角解算[Habib,1998b]；Van den Heuvel[1999a]以直線特徵平行與正交的約制估計透鏡畸變差與內方位參數及應用直線特徵於多面物體的重建[Van den Heuvel, 1999b]；Hrabacek & Van den Heuvel [2000]整合物體間的幾何約制於線形光束法平差中；Zalmanson[2000]以三維曲線特徵求解外方位參數；Tommaselli[2000]在直線特徵演算法中加入距離的觀測量應用於近景攝影測量的方位求解及物型重建；Pesta & Karras [2000]引入共面直線的條件求解相對方位問題；李志宏[2002]則將 Pesta & Karras [2000]概念應用於都會區影像之方位及建物重建；另外，Läbe[1999]的 AMOR(Automatic Model-based ORientation)及 Mika & Kuittinen[1999]均成功引入向量圖資，例如道路特徵物於方位求解模式。

### 3-3 利用三維物件模型(3D Object Models)

在德國波昂大學航測研究所發展的 AMOR 是最早將“模型”(Model)引入自動化方位求解的相關研究[Schickler,1994]，其概念為使用房屋的三維框架模型(3D-Wireframe Models)，將三維的房屋邊緣線投影至影像中，與影像萃取之邊緣線套合；成功大學測量工程學系的研究群係利用平面圖籍資料加上建物高度屬性產生三維的建物模型，仿照如上之概念，在模型投影線與相應影像邊緣線之最佳套合機制中決定影像外方位參數[王正忠，2002]。

### 3-4 利用地表、物表特徵(Terrain/Surface Feature)

由於地形資料生產日益頻繁，且點位密度也亦趨增加，例如 INSAR 及 LIDAR 的地形產物均能提供細緻的地形描述。因此利用地形資料作為影像量測之控制條件是另一類方位求解的工具。Ebner & Strunz[1988]及 Ebner & Ohlhof[1994]的工作成果是這一方面研究的先驅，而 Jaw[1999]更改良前述理念，以較具適用彈性的“沿法線約制”將控制面(Control Surface)引入空中三角作業。

## 四、研究方法

本研究主要工作為探討利用屬於點特徵之影像控制區塊 (Control Patch)、屬於線特徵的控制特徵(Control Line)以及屬於地表、物表特徵的控制面(Control Surface)求解像片外方位

之數學模式及其實驗分析，並衍生部分的物型重建成果，茲分述如下：

#### 4-1 影像控制區塊用於像片外方位求解之應用

欲完成影像控制區塊自動量測及方位求解之任務，必須經由建構影像控制區塊，利用影像匹配技術、策略、成像幾何、偵錯處理以及有效的工具組合，此部份之具體研究成果可參閱[吳怡燊，2003][Jaw & Wu, 2004, 2005]。

#### 4-2 控制直線用於像片外方位求解之應用

以直線為基礎的外方位參數求解方式分為兩種方法，一為利用共面的條件，另一法為將直線方程式代入共線式求解，兩者為等效的解算模式[彭念豪、趙鍵哲，2004]，但在實際應用上，後者具有可擴展直線特徵至三維曲線特徵、適合於自動作業流程及可直接獲取改正數訊息等優勢[Schenk, 2004]，故本研究採用以直線方程式代入共線式的解算模式。

以直線為基礎之共線模式和傳統以點為基礎之共線模式相似，是描述投影中心、像片量測點及物空間對應點三者共線的關係，惟物空間直線上點位以三維直線參數式描述，讓平差模式自行解算像片量測點對應在物空間直線上的點軌跡。

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + t \times \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix} \\ &= \begin{bmatrix} p \\ q \\ 0 \end{bmatrix} + z \times \begin{bmatrix} a \\ b \\ 1 \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{cases} X_L = p + z \times a \\ Y_L = q + z \times b \\ Z_L = z \end{cases} \quad (2)$$

其中  $X_0, Y_0, Z_0$  和  $X_L, Y_L, Z_L$  為物空間直線上兩點；

$dX, dY, dZ$  為方向向量；

$a, b, p, q$  為描述三維直線的四參數；

$t, z$  為三維直線上之變數；

將直線四參數表示式(2)代入傳統之共線方程式，產生以直線為基礎之共線方程式，如式(3)及示意如圖 1(b)。

$$\begin{cases} x-x_0 = -f \times \frac{(p+z \times a - X_c) \times r_{11} + (q+z \times b - Y_c) \times r_{12} + (z - Z_c) \times r_{13}}{(p+z \times a - X_c) \times r_{31} + (q+z \times b - Y_c) \times r_{32} + (z - Z_c) \times r_{33}} \\ y-y_0 = -f \times \frac{(p+z \times a - X_c) \times r_{21} + (q+z \times b - Y_c) \times r_{22} + (z - Z_c) \times r_{23}}{(p+z \times a - X_c) \times r_{31} + (q+z \times b - Y_c) \times r_{32} + (z - Z_c) \times r_{33}} \end{cases} \quad (3)$$

其中  $X_c, Y_c, Z_c$  為投影中心物空間座標；

$x, y$  為量測點框標座標；

$x_0, y_0$  為像主點框標座標；

$f$  為相機焦距；

$r_{ij}$  為旋轉矩陣元素，旋轉元素定義為從物空間轉至像空間，旋轉順序為  $w, j, k$ ；

在趙鍵哲及彭念豪[2005]中詳述以控制直線為主的方位求解數學模式(含函式模式及隨機模式)。

#### 4-3 控制面用於像片外方位求解之應用

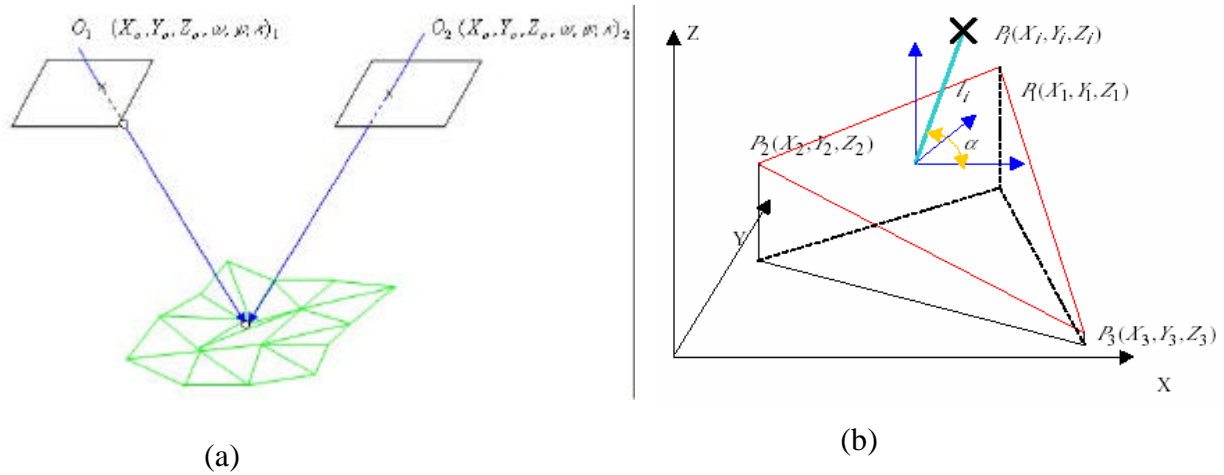


圖 1、利用控制面之物、像對應關係[Jaw,1999]

利用從物空間地形資料萃取之平面與攝影測量模型點組成之約制方程式如式(4)：

$$E(l_L) = E\left(\frac{aX_L + bY_L + cZ_L + d}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}}\right) \quad (4)$$

其中： $l_L$  為：攝影測量模型點至所對應之地形控制面之距離

##### 4-3-1 控制面的平差模式

利用控制面結合攝影測量的物、像對應線性化之數學模式可以式(5)描述

$$y_{(2k+m) \times 1} = \begin{bmatrix} y_1 \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{x}_1(6px1) \\ \mathbf{x}_2(3nx1) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} e_1 \\ Be_2 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} e_1 \\ Be_2 \end{bmatrix} \sim (0, \Sigma) \quad (5)$$

其中：

$y_1$  向量描述像片座標量測值不符值；

$w$  向量則形成像片共軛點前交至控制面上之約制條件；

$A_{11}$  為  $y_1$  對外方位未知參數偏微分之係數矩陣；

$A_{12}$  為  $y_1$  對前交之物空間點位座標未知參數偏微分之係數矩陣；

$A_{22}$  為  $w$  對前交之物空間點位座標未知參數偏微分之係數矩陣；

$B$  為  $w$  對套合使用之地形點座標觀測值偏微分之條件係數矩陣；

$e_1$  為像片座標量測值誤差(Error)；

$e_2$  為套合使用之地形點座標值誤差(Error)；

$$\mathbf{x}_1 = [\Delta X_{01}, \Delta Y_{01}, \Delta Z_{01}, \Delta \mathbf{w}_{01}, \Delta \mathbf{f}_{01}, \Delta \mathbf{k}_{01}, \dots, \Delta X_{0p}, \Delta Y_{0p}, \Delta Z_{0p}, \Delta \mathbf{w}_{0p}, \Delta \mathbf{f}_{0p}, \Delta \mathbf{k}_{0p}]^T$$

$$\mathbf{x}_2 = [\Delta X_1, \Delta Y_1, \Delta Z_1, \Delta X_2, \Delta Y_2, \Delta Z_2, \dots, \Delta X_n, \Delta Y_n, \Delta Z_n]^T ;$$

k 為像點量測個數；m 為控制面套合個數；p 為像片個數；n 為前交物空間點個數；

以控制面作為物空間控制之像片外方位參數求解模式架構在至少雙像幾何的條件，因此可視為模型法，一個單獨模型在利用至少七個控制面(此時滿足最小基準)便可求解雙像之外方位參數，若考慮連續重疊之像片，則需滿足式(6)之條件:

$$2k + m \geq 3n + 6p \text{ and } m \geq 7 \quad (6)$$

此種方位解算模式因易於找到滿足像片求解最少個數的控制面，吾人可視套合的地形為像片連結的物空間控制，因此不需依從傳統空中三角連結點(Tie Point)的概念量測出現在多張重疊影像上的連結點，只需注意每張像片上是否出現足夠的控制面量測。從自動化的角度而言，找尋像對共軛點的自動匹配任務遠較找尋多重疊影像的共軛點(像片連結點)單純且易達成，因此此模式十分適合在自動化的環境下執行。

以控制面作為攝影測量模型點套合及像片外方位求解之模式因包含解算前交物點之座標估值及地形點點位之調整(改正)，因此可由攝影測量生產之前交物空間點位資訊及經過調整的地形點位獲得更可靠以及具有更豐富資訊的地表(地形)資料(亦即助益於地、物表重建)，實為融合攝影測量及地形資料處理之增益(Gain of Efficiency)。

#### 4-3-2 控制面的隨機特性

以攝影測量之前交物點套合在地表、物表控制面的約制幾何其隨機特性(即約制條件之誤差)受到此控制面本身精度之影響，由於套合約制是採取以延著面法線方向的距離誤差為主，因此討論控制面約制的隨機特性實即探究此面上法線向量的誤差，從這個角度來看，地形點位在 X 分量及 Z 分量的誤差量對平行於 X 軸向的垂直面約制不具影響性；地形點位在 Y 分量及 Z 分量的誤差量對平行於 Y 軸向的垂直面約制不具影響性，同理，地形點位 X 分量及 Y 量的誤差量不影響水平面的約制(換言之，水平面約制對決定物空間 Z 分量佔有決定性影響)。採用方程式(4)利用誤差傳播方式可計算任意套合點的控制面約制誤差。除了前述地形點位誤差及控制面姿態(空間方位)對約制條件誤差之影響外，前交物點相對於控制面的位相亦影響約制強度，一般而言，在前交物點落於地形點所形成多邊形區域內時，當套合點越接近多邊形質心，其約制誤差越小，此實屬幾何上的內插處理；當前交物點落於地形點所形成多邊形區域外時，其約制誤差大於內插處理時的誤差，而當前交物點偏離多邊形邊界越遠，其約制套合條件的誤差越大，也因此越易形成對求解無益的約制。

#### 4-3-3 控制面模式的延伸- 連結面(Tie Surface)

上述利用物空間控制面施行之解算方式架構於已知之地表、物表資料(即已知地表、物表點之物空間三維座標)，針對物空間的幾何已知條件而言，某些時候僅能掌握其部分資訊，例如只知平面結構，但無相關地表、物表點之座標資訊，在此情況下，仍可利用前述模式，但需調變為包含求解物空間平面參數(每一平面包含三個未知參數)，也因此有效地使用此平面約制需利用至少三組落於此平面之點對，而當這些共面點對來自不同之像對觀測量時(如圖 2 所示)，此類型之約制與以點為主之連結點角色類似，因此在本模式中稱之為連

結面。

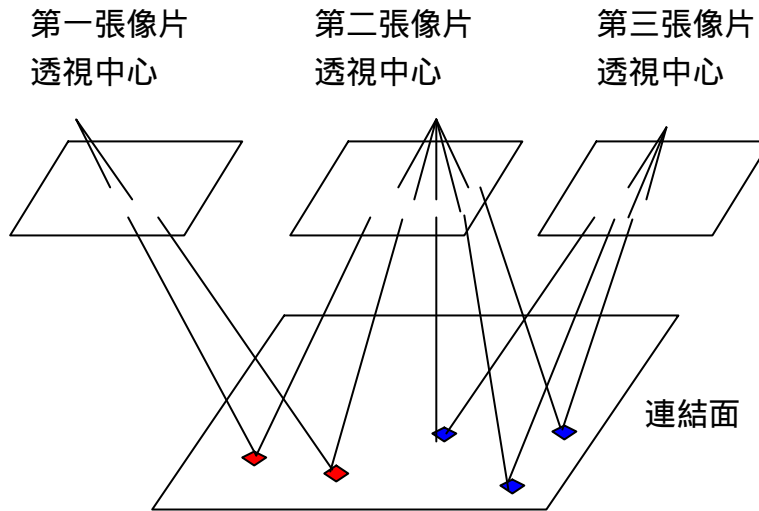


圖 2、連結面幾何

## 五、結果與討論

本研究成果實包含三大部分，探討利用點特徵、直線特徵以及地形特徵求解像片方位之效益及部分物型重建成果，已有文章發表的成果部分將以文獻方式呈現。

### 5-1 點特徵之影像控制區塊用於像片外方位求解

成果可參閱[吳怡燊，2003][Jaw & Wu, 2004, 2005]，其具體結論為：

- (1). 影像控制區塊猶如控制點之影像點之記，搭配相應的資料庫儲存、管理及更新有助於自動化量測工作的推行
- (2). 以控制實體來提供物空間的約制，可大量省卻外業測製地面控制點的工作量，節省時間及經費(約佔傳統航測作業經費之 15%~20%[李莉華與趙鍵哲，2003])，且發展匹配技術，可進行自動化量測作業，取代人工對點或配對的工作。

### 5-2 控制直線用於像片外方位求解及物型重建

具體研究成果包含：

- (1). 應用線特徵物求解攝影測量方位參數及物型重建[李志宏、趙鍵哲，2002]
- (2). 利用數值地形圖中三維直線特徵物求解方位參數[彭念豪、趙鍵哲，2004]
- (3). 利用地面及空載雷射點雲資料萃取之控制直線求解近景及航照影像方外參數[Jaw & Perng, 2004][趙鍵哲、彭念豪，2005]

### 5-3 控制面用於像片外方位求解及地、物表重建

利用地形地物控制面的實驗目前著重於數學模式的有效性及精度評估，共軛點量測及面約制之對應均採人工方式。實驗區為座落於美國東岸之 Ocean City，其涵蓋如圖 3 所示，總共使用五張連續之航照影像(像片編號為 6147,6148,6149,6150,6151，像比例尺約為 1/4000)，因此可組成四個模型，並利用在 Zeiss-C120 解析測圖儀量測所有共軛點對及檢核點(每一控制面均有一檢核點，檢核點三維座標利用已知的外方位參數施行前交計算)。所



量測的控制面大多為屋頂面及少部分的停車場地面。除了評估控制面之效益以外，本實驗亦加入連結面對求解之影響分析。本項工作總共分成四種狀況(Case)來探討各影響因子，參見 5-3-1 節內容。



- 控制面
- 連結面
- 無已知地形點區域 (針對 case 3 and 4)

圖 3、以控制面求解像片外方位參數模式之實驗區 [Jaw, 1999]

### 5-3-1 四種分析狀況

四種狀況(case)如表 1 描述，主要用做判斷所使用模式之有效性及效益。

表 1、四種分析狀況

Case type	物空間約制條件
Case1	控制面
Case2	控制面、連結面
Case3	控制面 (不包含連結面區域 (圖 3 綠色區域) 中的控制面)、 連結面
Case4	控制面 (不包含連結面區域 (圖 3 綠色區域) 中的控制面)

### 5-3-2 成果及分析

本實驗像片點位量測、地形點位及連結面約制標準偏參見表 2 資料；平差系統各項資料統計如表 3 所列；依本研究模式解算之像片外方位參數前交物空間檢核點之三維分量均

方根值參見表 4，本精度指標為與外部高精度之獨立資料比較，因此又稱為實際精度 (Empirical Accuracy)。

表 2、誤差分量

像片點位量測(x,y)標準偏差	$\pm 7mm$
地形點位 X 分量標準偏差	$\pm 7cm$
地形點位 Y 分量標準偏差	$\pm 7cm$
地形點位 Z 分量標準偏差	$\pm 12cm$
連結面約制標準偏差	$\pm 10cm$

表 3、平差系統資料

Case Type	A B	C D	E F	G H	I J	K	L
Case1	228 14.67	57 75.88	N/A	5 30	57 171	84	1.08
Case2	292 17.15	57 75.34	4 0.28	5 30	73 219	104	0.89
Case3	264 15.36	50 81.16	4 0.60	5 30	66 198	90	1.08
Case4	200 13.43	50 83.95	N/A	5 30	50 150	70	1.39

A: 像片點位觀測方程式個數 (像片量點為個數 x 2)

B: 像片觀測量加權之改正數平方總合

C: 控制面個數

D: 控制面約制觀測值加權之改正數平方總合

E: 連結面約制個數

F: 連結面約制觀測值加權之改正數平方總合

G: 像片個數; H: 外方位參數個數(G x 6)

I: 前交物點個數; J: 前交物點三維座標未知參數個數(I x 3)

K: 系統多餘觀測數; L: 後驗單位權方差

N/A: 表示無相關訊息

表 4、檢核點均方根值

	X 分量(m)	Y 分量(m)	Z 分量(m)
Case1	0.133	0.057	0.072
Case2	0.121	0.053	0.065
Case3	0.120	0.051	0.072
Case4	0.138	0.074	0.076

從表 4 檢核點之均方根值可分析在本實驗資料配置下，利用控制面的外方位參數求解模式其物空間定點精度特性如下：

- (1). 物空間定點精度約與地形點位精度相當等級。
- (2). 原地形點位 X 及 Y 分量精度(即水平面方向精度)優於 Z 分量(高程方向)，但解算後像片外方位參數前交物點座標顯示出不同之精度差異趨勢(Z 分量精度反優於 X 分量精度)。此現象可由物空間約制面的方位分布狀況解釋，實驗區中的場景為住宅區，所量測的控制面絕大部分為接近水平方向之屋頂面(雖然也包含極少數垂直之房屋側量)，因此在水平控制面佔多數的情況下，高程精度(Z 分量)能獲致較佳的定位效果。
- (3). 在只使用控制面的前提下，比較 case1(多餘觀測數:84)及 case4(多餘觀測數:70)，顯示系統多餘觀測數越高，則獲致之物空間定點精度越高，也反映較高精度的外方位參數估值；相同現象也反映在 case1 及 case2 結果之比較，case1 由於加入連結面的約制具有較高的系統多餘觀測數，因而也獲致較好的物空間定點精度。
- (4). 比較 case3 及 case4，在無地形已知點可資利用之區域(圖 3 之綠色區域)所採用之連結面(case3)確實能夠成為有效觀測量，用來連結相應之模型，因此呈現較 case4 優越的物空間定位精度。
- (5). 由檢核點的物空間定位精度顯示在搭配良好地形點位精度的條件下，結合攝影測量與地表、物表特徵的外方位參數解算模式可據以滿足大多航測製圖任務精度要求。
- (6). 航測前交點位加上經過約制平差修整後的原地表、物表點位表現出重建後更可靠的物空間地、物表訊息。

## 參考文獻

- 王正忠, 2002, “以近景攝影測量進行模型式建物重建”, 國立成功大學測量工程研究所碩士論文。
- 李志宏, 2002, “以共面直線特徵物求解方位元素及物型重建”, 國立台灣大學土木工程學系碩士論文。
- 李志宏、趙鍵哲, 2002, 應用線特徵物求解攝影測量方位參數及物型重建, 第二十一屆測量學術及應用研討會, 論文集(2/1), 國立交通大學土木工程學系, pp35-44。
- 李莉華、趙鍵哲, 2003, “航攝影像控制實體資料建置與自動化量測之探討”, 中華技術, 第 59 期。
- 吳怡燦, 2003。影像控制區塊自動化量測及方位求解作業之探討, 台灣大學土木工程學系碩士論文。
- 彭念豪、趙鍵哲, 2004, 以控制直線求解單張像片外方位參數模式之探討, 第二十三屆測量學術及應用研討會, 論文集(2/1), 國立中興大學土木工程學系, pp197-204。
- 趙鍵哲, 2002, “以特徵物為主的攝影測量物型重建( )”, 國科會專題研究報告, NSC 90 - 2211 - E - 002 - 067。
- 趙鍵哲, 2004, “以特徵物為主的攝影測量物型重建(II)”, 九十一年度國科會專題研究報告書, 計畫編號: NSC91-2211-E-002-086。
- 趙鍵哲、彭念豪, 2005, 以光達資料之控制直線求解單張像片外方位參數之作業探討, 航測及遙測學刊, 第十卷, 第一期, pp89-102。
- Drewniok, C. and K. Rohr, 1996. Automatic Exterior Orientation of Aerial Images in Urban Environments, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. 31, B3, pp.146-150.
- Ebner, H. and G. Strunz, 1988. Combined Point Determination Using Digital Terrain Models as Control Information, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS XVIth Congress, Vol. 27 Part B11, Kyoto, pp.III/578-III/587.
- Ebner, H. and T. Ohlhof, 1994. Utilization of Ground Control Points for Image Orientation without Point Identification in Image Space, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, ISPRS Commission III Symposium, Munich, Sep, Vol. 30, Part 3/1, pp.206-211.
- Habib, A. F., 1998a. Motion Parameter Estimation by Tracking Stationary Three-Dimensional Straight Lines in Image Sequences, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing 53, pp.174-182.
- Habib, A. F., 1998b. Aerial Triangulation Using Point and Linear Features, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Munich/Germany, Vol. XXXIII, Part 3-2W5, pp.137-141
- Hahn, M., 1997. Automatic Control Point Measurement, Photogrammetric Week '97, pp.115-126.
- Hrabacek, J. and F.A. Van den Heuvel, 2000. Weighted Geometric Constraints Integrated in a Line-Photogrammetric Bundle Adjustment, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B5, pp.380-387.
- Höhle, J., 1999. Automatic Orientation of Aerial Image on Database Information, European

- Organization for Experimental Photogrammetric Research Vol.36, pp.71-117.
- Jaw, J. J.,1999. Control Surface in Aerial Triangulation, Ph.D Dissertation, Department of Civil and Environmental Eng. And Geodetic Science, The Ohio State University, Columbus, Ohio, USA.
- Jaw, J.J. and N.H. Perng, 2004. Solving single photo orientation by corresponding to line features of LIDAR data set, 25<sup>th</sup> Asian Conference on Remote Sensing, Chiang Mai, Thailand, pp96-101.
- Jaw, J.J. and Y.S. Wu, 2004. Automatic Photo Orientation via Matching with Control Patches, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXV, Part B3, pp1168-1172.
- Jaw, J.J. and Y.S. Wu, 2005. Control Patches for Automatic Single Photo Orientation, PE&RS, Accepted (SCI).
- Läbe, T., 1999, Contribution to OEEPE-Test on Automatic Orientation of Aerial Images, Task A-Experiences with AMOR, European Organization for Experimental Photogrammetric Research Vol. 36, pp.119-126.
- Liu, Y., T.S.Huang, and O.D. Faugeras,1990. Determination of Camera Location from 2-D to 3-D Line and Point Correspondences, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. Vol. 12, No. 1. pp.28-37.
- Masry, S.E., 1981. Digital Mapping Using Entities : A New Concept, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 48,No. 11, pp.1561-1599
- Mika, K. and R.Kuittinen, 1999. Interactive Exterior Orientation Using Linear Features from Vector Map, European Organization for Experimental Photogrammetric Research Vol.36, pp.127-129.
- Mikhail, E. M. and K. Weerawong, 1997. Exploitation of Linear Features in Surveying and Photogrammetry, Journal of Surveying Engineering.Vol.123,No. 1, February, pp.32-47.
- Pedersen, B. M.,1996. Automated Measurement of Ground Control Objects in Large Scale Aerial Photographs, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing ,Vol.31, B3, pp.633-637
- Pesta, E. and G.E. Karras, 2000,“Constrained Line-Photogrammetric 3D Reconstruction from Stereopairs ”, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2, pp.604-610.
- Schenk, T., 2004, From point-based to feature-based aerial triangulation, ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing, VOL. 58, pp.315-329.
- Schickler, W.,1994, “Towards Automation in Photogrammetry—an Example: Automatic Exterior Orientation.”, Geodetical Info Magazine 7(4), pp.32-35.
- Tommaselli , A. M. G.,2000. Orientation and Reconstruction of Close-Range Images Using Lines, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2, pp.838-845.
- Van den Heuvel, F.A.,1997. Exterior Orientation using Coplanar Parallel Lines, 10<sup>th</sup> Scandinavian Conference on Image Analysis, Lappeenranta (Finland),pp.71-78.
- Van den Heuvel, F.A., 1999a. Estimation of interior orientation parameters from constraints on

line measurements in a single image, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 32, Part 5W11, pp.81-88.

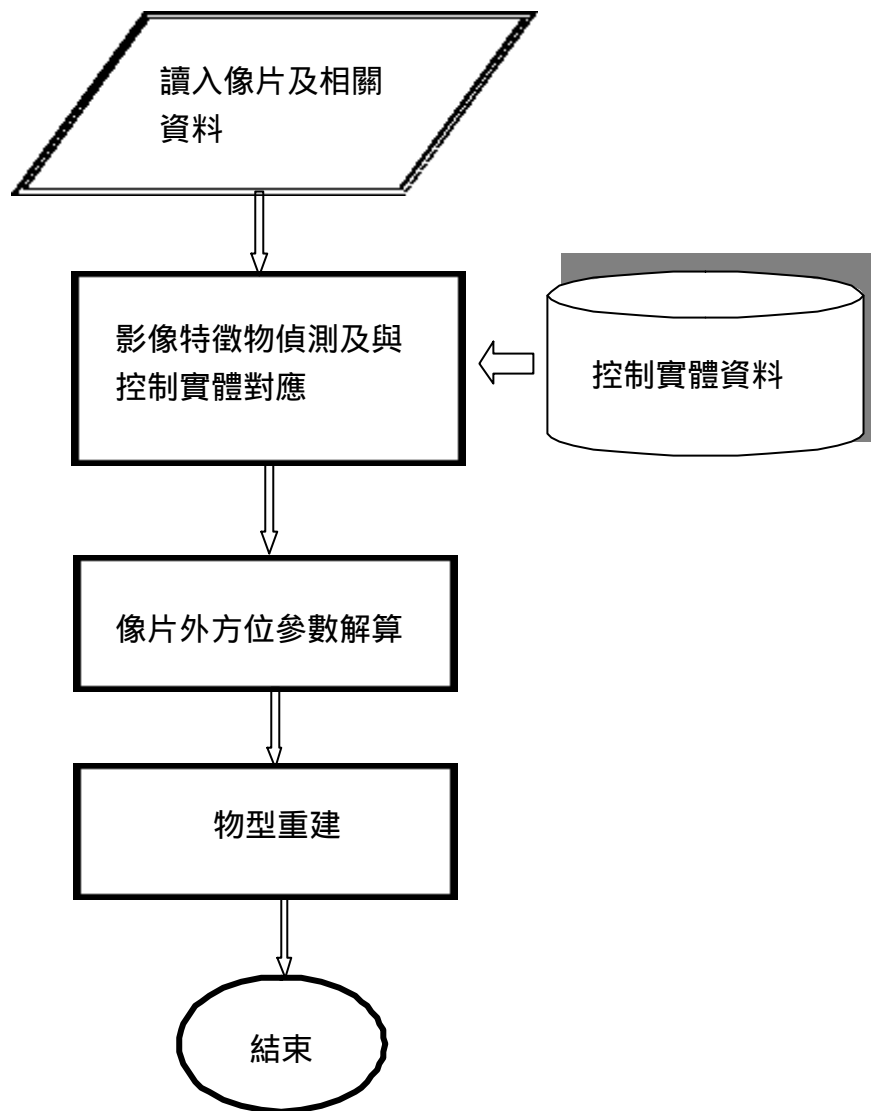
Van den Heuvel, F.A., 1999b. A line-photogrammetric mathematical model for the reconstruction of polyhedral objects, In: Videometrics VI, S.F.El-Hakim(ed.), Proc.SPIE, Vol.3641, pp.60-71.

Zalmanson, G. H.,2000. Hierarchical Recovery of Exterior Orientation from Parametric and Natural 3-D Curves, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B2, pp.610-617.

## 計畫成果自評

本研究成果達成以點、線、面特徵物分別執行像片外方位參數解算及部分物表重建之模式建立及實驗，成果顯示利用特徵物作為像片控制資料之可行性並引發建立控制實體資料庫的實用性及必要性，其後續研究構想可由附圖 1 闡明。

在本系列研究資助下總共完成附表一作品，包括碩士論文、研討會論文、期刊論文。部分研究成果亦受到業界重視，有機會經由合作探究更深入並滿足業界需求的作業系統。



附圖 1、以控制實體為主的像片外方位參數解算及物型重建系統流程

附表 1 研究作品

類別	題目	發表日期(年/月) 出處	作者
碩士論文	以共面直線特徵物求解方位 元素及物型重建	2002/07 台灣大學土木系	李志宏
碩士論文	影像控制區塊自動化量測及 方位求解作業之探討	2003/07 台灣大學土木系	吳怡燊
碩士論文	以控制直線進行影像外方位 參數求解之自動化系統	2005/07 expected 台灣大學土木系	彭念豪
碩士論文	以控制面進行航攝影像外方 位求解	2005/07 expected 台灣大學土木系	王奕婷
研討會	應用線特徵物求解攝影測量 方位參數及物型重建	2002/09 第二十一屆測量學 術及應用研討會	李志宏、趙鍵哲
研討會	航照影像控制實體建置與自 動化量測之可行性探討	2002/09 第二十一屆測量學 術及應用研討會	邱式鴻、李莉華、 趙鍵哲
研討會	影像控制區塊自動化量測及 方位求解作業之探討	2003/09 第二十一屆測量學 術及應用研討會	趙鍵哲、吳怡燊
研討會	以控制直線求解單張像片外 方位參數模式之探討	2004/09 第二十一屆測量學 術及應用研討會	彭念豪、趙鍵哲
研討會	Automatic Control Point Measurement and Photo Orientation via Matching with Control Patch	2003/11 24 <sup>th</sup> Asian Conference on Remote Sensing	Jaw, J.J. and Y.S. Wu
研討會	Automatic Photo Orientation via Matching with Control Patches	2004/07 ISPRS 2004 Congress	Jaw, J.J. and Y.S. Wu
研討會	Solving single photo orientation by corresponding to line features of LIDAR data set	2004/11 25 <sup>th</sup> Asian Conference on Remote Sensin	Jaw, J.J. and N.H. Perng
期刊	以光達資料之控制直線求解 單張像片外方位參數之作業 探討	2005/03 航測及遙測學刊	趙鍵哲、彭念豪
期刊 (SCI)	Control Patches for Automatic Single Photo Orientation	Accepted PE&ES	Jaw, J.J. and Y.S. Wu