

肇事現場三度空間投影行為之研究

丁國樑* 陳文志**

摘要

肇事現場重建的過程主要藉由事故現場資料之蒐集、整理並加以分析，進而研判肇事原因。然而現場資料的蒐證目前仍以人工方式進行量測、記錄、輔以相機拍攝相片，這種現場處理方式除可能造成量測上的遺漏與錯誤外，更會因處理時間過長導致車流嚴重之干擾及延滯。故本研究旨在利用肇事現場簡單攝影（不影響車流）、事故影像掃描處理方式（避免人為登錄錯誤），以及近景攝影測量中的解析法（快速、便利、成本低）來還原肇事現場資料。本研究為期能掌握真正投影行為，因此針對三度空間物體之二度空間投影行為進行實證研究，並以不同角度拍攝之兩張相片來還原肇事現場資料。

一、前言

根據交通部的資料統計（83年9月）國人小汽車的持有率約為 41% ，而機車的持有率更遠超此數，因此在有限的道路面積上除了造成交通極度的擁擠外，更導致汽機車肇事頻繁發生；由八十一年資料可知台灣地區每年平均有3,400人喪身於交通事故中，7,600人受到嚴重傷害，而由事故所衍生的社會成本更是不可計數。顯見目前國內交通安全問題的嚴重性。

當交通事故發生後，事故處理員警首要工作是趕赴現場進行調查與蒐證，但在現場處理設備的限制下，一般以人工方式進行簡單的量測、記錄、攝影與繪製工作，以取得肇事現場之相關資料。目前此種肇事現場處理方式，面臨幾個嚴重的問題，諸如：(1)員警處理肇事現場之人力不足與經驗無法傳承、(2)人員欠缺重大交通事故的處理應變能力，徒增車流干擾、(3)現場處理時間太長，造成道路車流之延滯及干擾、(4)肇事現場處理人員的安全性不高、(5)現場量測、記錄與繪製項目內容有限，而且容易錯誤、(6)攝影照片顯現資料之真正空間尺寸與位置無法正確判斷等。是故發展一套科

*國立成功大學交通管理科學研究所教授

**國立成功大學交通管理科學研究所碩士班研究生

學的方法，而且兼顧成本、時間、精確度與便利性的前提下，有效正確地進行肇事現場資料的蒐集，乃是當前肇事現場處理上刻不容緩的課題。

針對上述問題，就目前警方肇事現場處理之設備而言，仍以肇事現場攝影測量的方式，將完整之肇事資料加以保存，並提供分析取用，乃是最節省時間及成本的一種方式。基於此項理由，進一步地若能由肇事現場照片發展出一套科學方法，正確地取得其中資料真正的空間尺寸及位置，如此不僅能克服現場人員測繪所造成的誤失及遺漏，更可保持肇事資料之正確性及完整性，進一步有效縮短肇事現場處理時間，促進道路交通安全，以解決目前肇事現場處理所面臨的困難。

二、文獻回顧

攝影測量乃是由像空間與物體空間座標點位之轉換關係，可從像空間座標之量測進而推求物體空間的一般資料。近年來近景攝影測量嘗試採用非量測型相機 (Non-Metric Camera) 再配合其他數學理論 (如直接線性轉換法)，以這樣的處理過程在實際應用上不僅可省去昂貴的設備費用，亦可節省大量的計算時間。截至目前為止的國內外文獻研究現況包括：Hatzopoulos【1】、Turek【2】、楊心渾君【3】，胡一帆君【4】等。其他肇事現場還原的相關文獻尚有Bleyl【5】、Hyzer【6】、Baker 和 Lynn【7】、Smith【8,9】等。

針對以上的研究結果的缺失，欲突破其瓶頸，應改以人工拍攝再加上電腦輔助來蒐集各種肇事現場的資料，此種應用技術將能解決肇事現場資料蒐集的困境，達到資料蒐集的完整性與正確性的目的。

三、理論探討

有關於中心透視投影轉換數學模式之理論基礎，乃基於中心透視投影的基本共線關係式，由此共線關係推演出空間前交會法、空間後交會法，直接線性轉換 (Direct Linear Transformation) 法等之三度空間點位轉換至二度空間平面點為之數學模式。茲將適用於非量測型相機之投影數轉換模式介紹如下：

直接線性轉換法 (Direct Linear Transformation, DLT) 是由 Abdel-Aziz & Karara【10】發展出來，其基本觀念即為由直接量測的像點儀器座標值，利用已知控制點之物體空間座標，經轉換參數之計算，計算出空間點位座標，即攝影站的內、外方位元素。其數學模式利用 (3-1) 式，配合像面轉換式 (3-3) 式，經演算得 (3-4) 式。

$$\begin{aligned} x - x_0 &= -C \frac{m_{11}(X - X_0) + m_{12}(Y - Y_0) + m_{13}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \\ y - y_0 &= -C \frac{m_{21}(X - X_0) + m_{22}(Y - Y_0) + m_{23}(Z - Z_0)}{m_{31}(X - X_0) + m_{32}(Y - Y_0) + m_{33}(Z - Z_0)} \end{aligned} \quad (3-1)$$

X_0, Y_0, Z_0 $\therefore$ 攝影站物體空間座標

X, Y, Z $:$ 物體空間座標系統

C $:$ 機常數

x, y $:$ 像面座標系統

$$x' = a + bx + cy \quad (3-3a) \quad y' = d + ex + fy \quad (3-3b)$$

$$x + \Delta x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (3-4a)$$

$$y + \Delta y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad (3-4b)$$

$\Delta x, \Delta y$ $:$ 系統誤差（透鏡畸變誤差與底片變形）

$$\Delta x = \bar{x}(K_1 R^2 + K_2 R^4 + K_3 R^6 + \dots) + P_1(R^2 + 2\bar{x}^2) + 2P_2 \bar{x} \bar{y} \quad (3-5a)$$

$$\Delta y = \bar{y}(K_1 R^2 + K_2 R^4 + K_3 R^6 + \dots) + P_2(R^2 + 2\bar{y}^2) + 2P_2 \bar{x} \bar{y} \quad (3-5b)$$

式中：

$$R^2 = \bar{x}^2 + \bar{y}^2, \quad \bar{x} = x - x_0, \quad \bar{y} = y - y_0.$$

K_j : 對稱性透鏡畸變誤差係數； $j=1, 2, 3$

P_k : 非對稱性透鏡畸變誤差係數； $k=1, 2$

本研究採直接線性轉換的方法，其原因有：

- 1 直接由儀器座標求出至物體空間座標。非量測相機因無框標裝置，相片座標系統不易求得，而此種轉換正可不經由像片座標系統，故此法配合非量測型相機非常適宜
- 2 附加參數的數目可自由選擇。非量測型相機之系統誤差較大，而 DLT 可利用擴充之附加參數來加以吸收，以提高精確度。
- 3 分為空間後交會與前交會二段式來求解。空間後交會是以像片為處理單元，求解各片的轉換參數；前交會則是以各點為處理單元，將相關像片的轉換參數加以運用而得到物體空間座標。
- 4 內、外方位元素隱含於轉換參數中。DLT 僅求轉換參數，而對實用上較不重要的外方位元素省略而不計算，故運算步驟及計算時間可節省許多。

四、實驗設計與研究流程

近景攝影測量法目前多應用於較精準的測量方面，而國內在肇事現場資料蒐集方面仍處於人工方式，是故本研究嘗試將近景攝影測量法應用於肇事現場資料之蒐集，希冀能針對所遭遇的應用問題而來設計出一個合理的、簡單的近景攝影測量系統。而所謂合理的設計，即必須基於最經濟、簡單之原則，達到系統設計的最佳化（Optimization）。

4-1 實驗現場佈設

4-1-1 標形的選擇

為提高點位量測精度（包含現場控制點與相片掃入點位）並配合攝影作業環境，因此近景攝影測量的控制點大都採用人工造標點。而人工造標點設計首先需考慮形狀大小與容易辨識。

本研究的控制點為配合實際肇事現場，設計出一三維的標竿，如圖4-1所示。

4-1-2 實驗現場選擇

選擇成功大學管理學院之頂樓，實驗面積為 25×8 平方公尺。

4-2 實驗儀器

本研究所使用的相機為非量測型相機，即泛指一般生活上常使用的相機，本實驗採用的機型為 PENTAX 105R，所使用的底片為日本富士公司出品的底片。本實驗所用的經緯儀為 20" 讀的經緯儀。

4-3 實驗現場整理

1. 現場座標系統—近景攝影測量主要探求攝影場內點位的相關位置，無須考慮攝影場的絕對位置，故各攝影場均可設定不同的座標系統。本研究利用經緯儀設定出一直角座標系統。如圖4-2所示。
2. 現場控制點標竿佈設—為配合實驗現場環境與標竿個數，故將現場面積 25×8 平方公尺規劃出20個格位。（如圖4-2所示）。並將控制點標竿平穩地置於節點上，本研究共取24個節點，放置24支標竿。
3. 高程量測—由於實驗現場並非一理想平面，控制點之高低起伏必須於予考慮，否則將可能導致誤差過大，因此每一控制點的高程必須求出。本研究以原點（實驗現場任意假定）為基準點，利用測量學上之水準測量方法找出每個控制點之高程。
4. 控制點座標量測—所使用之每一標竿上共有 6個控制點，因此實驗現場共有144個控制點，而每一控制點之座標值為：

$$x = D \cos \theta$$

$$y = D \sin \theta$$

$$z = \text{控制點之高度} + \text{該控制點之高程}$$

$$D : \text{原點至各控制點之距離（以皮尺仔細量測）}$$

θ ：y軸與控制點之水平角（以測量學上單角法量測）

4-4 實驗設計步驟

本研究設計之作業流程，大概可分為三大步驟：

1. 資料蒐集與資料化算處理

- (1) 資料蒐集—針對實驗現場、相片點位、相機元素等相關參數，決定那些參數是已知條件（控制參數），那些是待測參數。
- (2) 資料化算處理—相片座標量測儀器是採用掃描器配合電腦來讀取圖元素座標，並將上述之資料以直接線性線性轉換法加以處理計算。

2. 確定此作業系統所要的結果

本研究主要的目的是驗證三度空間投影至二度空間之實際投影行為，另一目的是決定物空間物體的大小、形狀、位置、變位等。

3. 為達到上述之結果，精度與經濟兩參數必須相互兼顧。

4-5 控制點佈設原則

控制點主要的目的是能推求未知參數或推求待測物的位置，因此針對控制點的分佈需加以探討。

一般近景攝影測量中，有三種控制的基本方法：

1. 由相機的位置與攝影方向來當作控制條件。
2. 在物空間設立控制點或控制條件
3. 將以上二種方法加以組合。

若使用第一種方法，相機在物空間的位置及攝影方向僅能由量測型相機或照相經緯儀測定，很難由其他方式直接求得，即使以間接方法求取，其誤差亦很大。本研究主要儀器是採用非量測型相機，因此本法較不適用

第二種控制方法是採用空間擺設控制，分別有以下型態：

- (1) 使用物空間控制點之座標為控制。
- (2) 使用物空間物點間之距離為控制。
- (3) 使用物空間物點間之角、方向為控制。
- (4) 使用物空間物點間之高程差為控制。

4-6 程式說明

4-6-1 後方交會法

本研究資料的後續處理是採用直接線性轉換法（DLT），即引用1988年Smith所提出的程式，並經修改後應用在目前工作環境。直接線性轉換法基本上是由共線式簡化推演而來，其作法為將座標量測儀座標系統透過一組轉

換參數而直接轉換到物空間座標系統，而不必先將儀器座標轉換成相片座標，再將相片座標轉換成物空間座標。

本研究是以電腦螢幕所讀取的相片座標（圖元素座標）來替代座標量測儀，其目的除了降低設備成本之外，也可避免發生人為讀取、記錄、輸入等的錯誤。所謂「後方交會法」即利用足夠的控制點反推攝影站的位置及相機旋轉角，並推得其他相關參數。圖4-3為後方交會法之示意圖。

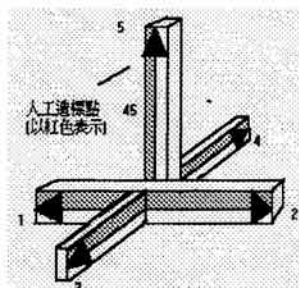


圖 4-1 實驗標竿

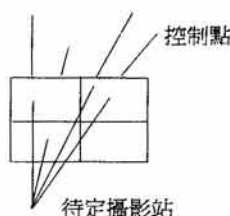


圖4-3後方交會法之示意圖

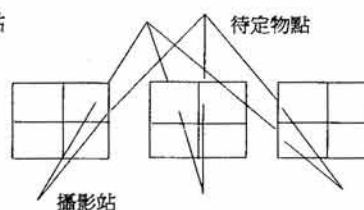


圖4-6-2 前方交會法之示意圖

1. 資料輸入—本程式輸入之資料主要有三項：

- (1) 相片控制點座標—將相機拍攝沖洗後之相片，經掃描器掃入電腦呈現於螢幕上，讀取與記錄圖片之圖元素座標。
- (2) 現場控制點座標—現場控制點座標之求取已於前節敘述，此處不再贅述。
- (3) 透鏡扭曲係數—由於非量測型相機的透鏡扭曲係數不易求得，因此採用Goodness-of-fit求得近似解。

2. 結果輸出—請參閱下一章節。

4-6-2 圖像座標讀取程式

本研究主要採用Fortran 77程式語言與Visual Basic物件導向語言，這主要是分別針對數值計算與圖形影像處理。根據實務經驗與相關文獻，圖像之座標由人工讀取、記錄與輸入，發生錯誤之機率相當高。故此，本研究發展以滑鼠點取圖像座標並自動記錄與儲存。除此之外，依實際作業經驗，在點取同一點未座標會因人、因時而所點取的座標值不盡相同。故此，本文也嘗試以多次點取同一點位座標來求得其平均值，以避免偶然誤差(程式為snow.exe)。

4-6-2 前方交會法

所謂「前方交會法」即以物空間點位為處理單位，將同一物點出現於各張相片的像點，依其在各張相片上的轉換參數與附加參數，經平差計算求得該點的物空間座標，其視意圖如圖4-4所示。

由公式(3-4)得知，實際物體空間座標 (X,Y,Z) 無法由以上二項方程式求得，因為當未知數個數大於方程式個數時，其解是無限多組解。因此若利用二張以上的相片，針對同一點位的相片座標，即可求出物空間座標 (X,Y,Z)。此推導如下：

$$x = \frac{L_1 X + L_2 Y + L_3 Z + L_4}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad X, Y, Z : \text{物體空間第 } i \text{ 點的座標}$$

$$y = \frac{L_5 X + L_6 Y + L_7 Z + L_8}{L_9 X + L_{10} Y + L_{11} Z + 1} \quad x, y : \text{物空間第 } i \text{ 點投影至相片座標}$$

$$x' = \frac{L_1' X + L_2' Y + L_3' Z + L_4'}{L_9' X + L_{10}' Y + L_{11}' Z + 1} \quad x', y' : \text{物空間第 } i \text{ 點投影至相片座標}$$

$$y' = \frac{L_5' X + L_6' Y + L_7' Z + L_8'}{L_9' X + L_{10}' Y + L_{11}' Z + 1} \quad L_1 \sim L_{11}, L_1' \sim L_{11}' : \text{相片轉換參數}$$

將以上四式經過整理並以矩陣方式表示，結果如下：

$$\begin{bmatrix} x_1 L_9 - L_1 & x_1 L_{10} - L_2 & x_1 L_{11} - L_3 \\ y_1 L_9 - L_5 & y_1 L_{10} - L_6 & y_1 L_{11} - L_7 \\ x'_1 L_9 - L_1 & x'_1 L_{10} - L_2 & x'_1 L_{11} - L_3 \\ y'_1 L_9 - L_5 & y'_1 L_{10} - L_6 & y'_1 L_{11} - L_7 \end{bmatrix}_{4 \times 3} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{3 \times 1} = \begin{bmatrix} L_4 - x_1 \\ L_8 - y_1 \\ L_4' - x'_1 \\ L_8' - y'_1 \end{bmatrix}_{4 \times 1}$$

即方程式可表示成下式：

$$[A]_{4 \times 3} \{X\}_{3 \times 1} = [B]_{4 \times 1} \quad (4-6-2)$$

此時因列數大於行數，因此無法以一般方陣矩陣來求的正確解。但實際上我們只需求得一組 $\{X\}$ 使其近似滿足 (4-6-2) 式，通常最常用之作法是使 (4-6-2) 式中每一個方程式的誤差的平方和 S 為最小，此種作法稱為最小誤差平方法(程式為vincent.exe)。

由以上說明可求得空間點位座標 (X,Y,Z)，程式方面的流程如圖4-5。

五、實例測試與結果分析

本節主要探討控制點分佈對還原精度的影響，針對以一實驗區進行二實例測試，配合前節所述之計算程式，求出還原點位的誤差與相關指標。

首先利用相機以不同角度拍攝實驗現場(參照圖4-2所示)，分別呈像後，依照各張相片採取六種控制點分佈型態，進行還原與分析。此六種控制點分佈型態說明如下：

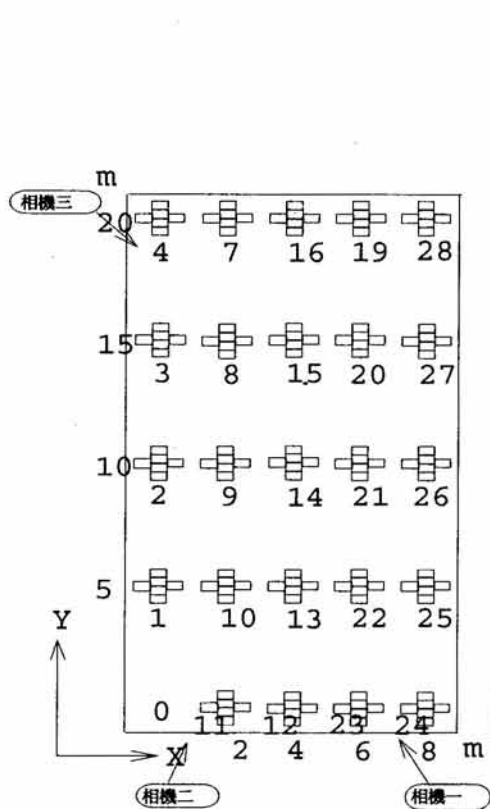


圖 4-2 實驗現場俯視圖

1-24代表標竿號碼，控制點號依序由左至右，由下至上，由下至上，可參考圖4-1，如控制點135代表第13支標竿中的第五個控制點

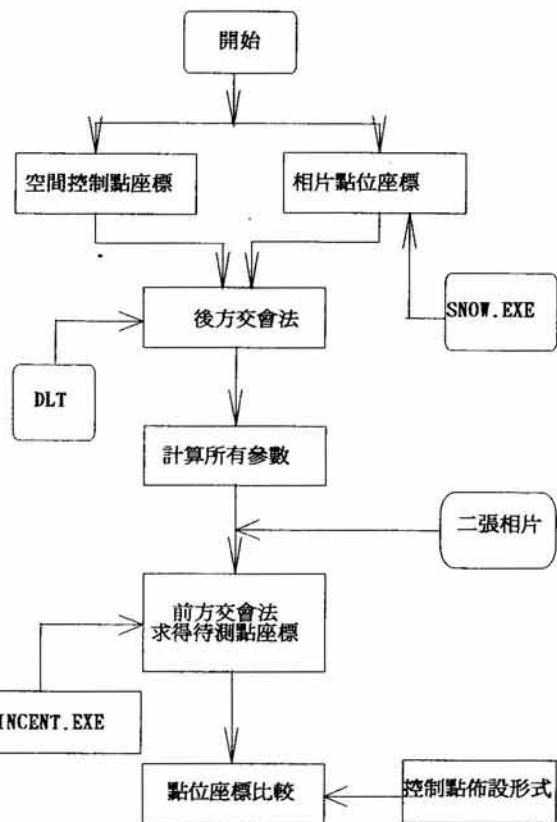


圖 4-5 程式之流程圖

1. 控制點為四角落：即在相片四個角落選取控制點，點數約為9點。
2. 控制點為角落成群分佈：選取方式與四角落相同，只是選取之控制點較多，點數約為15點。
3. 控制點成週邊分佈：控制點均勻分佈在相片四周，點數約為19點。
4. 控制點成一行分佈：選取相片中任何一行為控制點，點數約為20點。
5. 控制點成不完全一行分佈：選取方式與一行分佈相同，只是點數較少約為10個控制點。
6. 控制點為均勻分佈：即控制點均勻分佈在相片上，點數約為25點。

本文是應用直接線性轉換法求 $L_1 \sim L_{11}$ 參數，因此至少需6個控制點，且6個控制點不能同處於一直線上，否則會構成控制點與攝影站位於一平面上，而變為平面後方交會問題，而非一般空間後方交會問題。又控制點亦宜避免分佈於同一平面或近似平面上，以免使空間後方交會產生不定性。

5-1 控點分佈型態

相機在各位置所拍攝後選取控制點之形式。如附表一

5-2 結果分析

由於還原現場控制點需要二張相片以上，故本研究採取二種組合進行還原，分別是相機一與相機二及相機二與相機三的組合（參考圖 4-2）。每一種組合再根據控制點型態之不同進行還原物空間點的座標。將計算出之物空間座標 (X_C, Y_C, Z_C) 與實際物空間座標 (X_T, Y_T, Z_T) 比較其誤差，如附表二所示，其中的數據代表 $\sqrt{(X_T^2 - X_C^2) + (Y_T^2 - Y_C^2) + (Z_T^2 - Z_C^2)}$ ，即距離的誤差。

由附表二可瞭解誤差值較大的點位都是屬於相片中的邊緣點位，這是因為相機的透鏡邊緣扭曲較為嚴重所致。從這兩組資料顯示：

1. 四角落還原點位的結果不是很穩定，其中一組平均誤差是2M，最大值是3.76M，另一組平均誤差只有10CM，最大值是35CM。這是由於四角落的控制點只有7~9點，因此每一個控制點對轉換函數有極其重要的影響，若是控制點取用不當將會導致嚴重錯誤，因此應避免採行此種方法。
2. 四角落成群分佈還原結果其平均誤差約為10CM，最大誤差值也只是20CM，還原結果可達接受範圍，但仍需更多實例證明其結果。
3. 控制點為四週邊緣分佈，根據第二組資料其還原結果相當不錯，很合乎要求。第一組資料雖然平均值是16CM，但有一些值如57CM, 43CM, 43CM等誤差卻很大，觀察控制點的位置，發現這些控制點都是距離相機最遠與很邊緣的點位，因此若是去除這些極少數的點位，還原結果仍是令人滿意。
4. 控制點為完整一行之主要目的是能夠實際運用在肇事現場資料的重建，如利用道路上的車道線或其他邊緣線，而只需要等距離的選取，且其座標原點可任意選取，故此還原肇事現場所需的控制點不須事後量測，更能省時省力。所謂完整一行是表示實際三度空間的點位均在近似的直線上，無論這些點距離相機的遠近或是位於相片的邊緣，均選取這些點當作控制點。由第一組資料顯示結果並不令人滿意，而第二組資料仍有許多邊緣點與距離較遠的點位，是落在可接受範圍之外。
5. 控制點為有限一行：所謂有限一行是表示，只要取足夠的控制點，而這些控制點是距離拍攝位置較近的點位，以此反推其他數據時其誤差應較小。由第一組資料顯示：平均誤差是12CM，最大誤差值是34CM。第二組的平均誤差是9CM，最大誤差值是26CM，這些結果都是完全合乎條件。因此後續將以更多實例加以驗證。
6. 控制點為均勻分佈：還原結果最好也最穩定，但實際肇事現場，控制點不可能均勻分佈。

附圖一與附圖二是表示各種控制點形式對還原點精度的整體圖。本文中還原的雖都是點位的座標值，但是我們瞭解距離與物體形狀均是以點為基本元素，因此欲還原煞車痕跡的長度或其他形狀，這些應能輕易解決。除此

之外，本文所還原的物空間點位除了包含平面點位之外，尚包括三度空間的點位，目前尚未討論而已。

六、結論與建議

基於交通事故處理技術必須加以改善與突破，本文主要應用測量上的近景攝影測量法，突破傳統的人工量測，在快速、便利、成本低的情況下，也能符合準確度的要求。而目前所修改的幾點結論如下：

- 1 影響近景攝影精度的原因很多，諸如：
 - (1) 控制點的位置及數目與控制點的量測精度
 - (2) 相機的品質、相機與物體之最近與最遠距離及攝影站位置的佈設。
 - (3) 相片品質與光源的影響。
 - (4) 座標量測的精度與量測人員的熟練性。
- 2 為適應資訊化的需求，本研究應用掃描式自動登錄方式，方便大量資料的登錄與減少人為錯誤，其他資料運算也完全電腦化，期望將錯誤減至最低。
- 3 本文以不同控制點還原現場點位，進行實地實驗與分析探討，俾能找出合理的方式供執行者參考。
- 4 本文中的實驗設計與分析結果仍只是雛型，應加強更多的實例與驗證，期能提供實務單位還原肇事現場的完整操作方式。

參考文獻

- 1 Hatzopoulos, John N., "An Analytical System for Close-Range Photogrammetry", Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 51, No. 10, pp. 1583-1588, October 1985.
- 2 Turek, D., Trimble, J., North, W., "A Test of Close-Range Photogrammetry", Experimental Techniques (ISSN 0732-8818) V13, p28-30, March, 1989.
- 3 楊心輝，直接線性轉換法與非量測相機配合應用之精度研究，國立成功大學航空測量研究所碩士論文，民國73年6月。
- 4 胡一帆，控制點分佈對直接線性轉換法精度之影響，國立成功大學航空測量研究所碩士論文，民國76年6月。
- 5 Bleyl, R.L., "Using Photographs to Map Traffic Accident Scence: A Mathematical Technique", Journal of Safety Research, National Safety Council, Chicago IL, June 1976.
- 6 Hyzer, W.G., "Perspective Grid Photography" in Imaging Technique in Research and Development, Lakewood Publication, New York NY 10016, July 1985.
- 7 Baker, J.S. and Fricke, L.B., "The Traffic Accident Investigation Manual", Northwestern University Traffic Institute, 1986.
- 8 Smith, G.C., and Allsop, D.L., "A Case Comparison of Single-Images Photogrammetry Method", Society of Automotive Engineers, 890737, 1989.

- 10 Abdel-Aziz Y.I. & Karara H.M., "Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates into object Space Coordinates in Close-Range Photogrammetry", Proceedings of the Symposium on Close-Range Photogrammetry, Urbana, Illinois, 1971.

附表一 相機在各位置所拍攝後選取控制點的形式

(a) 位置一

散佈形式	控制點數	控 制 點 號
四角落	7	25 101 105 233 241 265 285
角落成群分佈	16	21 23 25 101 103 1045 105 192 195 231 233 241 2445 261 265 281
週邊分佈	21	241 2445 245 231 232 101 103 1045 105 2545 255 25 95 145 265 35 205 75 165 195 285
一行分佈	17	231 232 233 234 2345 235 221 222 223 224 2245 225 211 212 213 2145 215
不完全一行分佈	11	231 232 233 234 2345 235 221 222 223 224 225
均勻分佈	25	232 233 234 2345 2445 102 103 104 1045 132 222 223 2245 251 2545 32 35 82 85 152 155 202 205 271 265

(b) 位置二

散佈形式	控制點數	控 制 點 號
四角落	8	02 41 45 112 113 224 263 272
角落成群分佈	15	02 31 32 35 41 42 45 112 113 2245 225 263 264 2645 265
週邊分佈	18	045 05 145 21 31 45 75 111 112 113 165 195 223 224 2245 265 275 285
一行分佈	21	71 72 745 75 81 82 845 85 91 92 93 945 95 101 102 103 104 1045 105 111 112 113 114 1145 115
不完全一行分佈	12	101 102 103 104 1045 105 111 112 113 114 1145 115
均勻分佈	25	02 045 32 35 82 85 101 103 104 111 112 113 1145 152 155 131 133 134 202 205 221 223 224 272 275

(c) 位置三

散佈形式	控制點數	控 制 點 號
四角落	8	41 72 74 102 121 125 274 275
角落成群分佈	15	41 43 72 74 91 93 95 102 121 124 125 271 273 274 275
週邊分佈	19	32 41 42 72 74 91 95 102 121 124 125 235 245 255 265 272 274 2745 275
一行分佈	18	71 72 73 74 7445 75 81 82 84 8445 85 91 92 93 94 945 95 102
不完全一行分佈	11	71 72 73 74 7445 75 81 82 84 8445 85
均勻分佈	25	32 41 42 43 445 71 72 73 74 745 82 84 102 132 135 152 153 202 205 222 225 251 255 271 275

附表二 還原誤差表 (單位: cm)

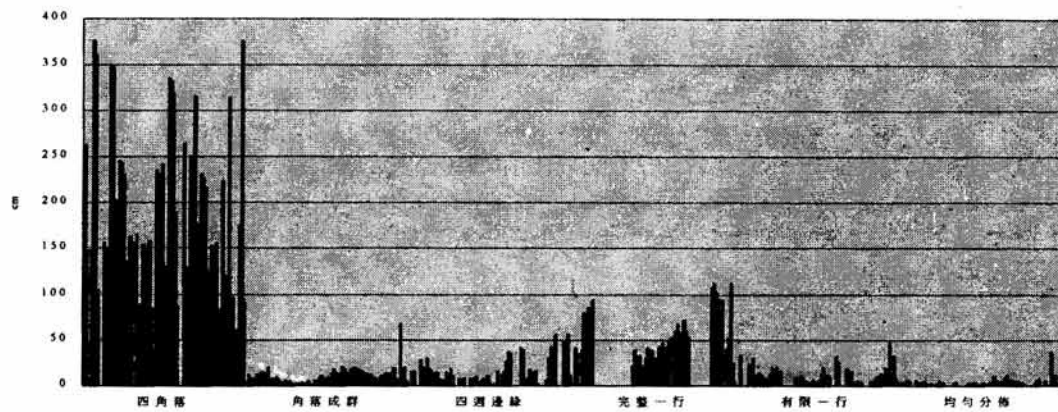
第	點號	四角	角落	四週	完整	有限	均勻	第	點號	四角	角落	四週	完整	有限	均勻
	落	成	邊	一	一	一	分		落	成	邊	一	一	一	分
組	21	263	12	15	42	***	5	組	32	20	***	***	15	5	***
	22	***	5	16	28	34	3		41	***	***	***	17	6	***
	245	147	9	***	35	***	5		42	3	***	***	10	***	***
	25	69	9	***	39	***	7		45	***	***	***	37	5	***
	31	376	13	28	80	***	5		745	5	10	4	***	***	***
	32	361	5	21	59	24	***		75	1	11	***	***	***	2
	35	105	15	19	86	***	***		81	9	15	***	***	***	4
	41	***	15	30	***	31	7		82	4	9	***	***	***	***

42	***	8	19	94	12	3
45	156	20	18	***	***	***
71	***	***	4	***	15	5
75	149	8	15	***	12	5
81	350	7	14	***	10	3
82	349	10	7	***	9	***
845	203	7	7	***	8	3
85	96	4	***	***	13	***
91	245	3	15	***	20	2
92	243	6	13	***	11	2
93	231	4	19	***	21	6
945	136	5	11	***	***	3
95	62	3	***	***	17	4
101	163	1	***	***	***	***
102	156	2	8	***	***	***
103	151	3	***	***	***	***
104	165	2	9	***	***	***
1045	89	4	***	***	***	3
105	40	2	***	***	***	5
131	153	3	8	22	10	***
132	152	5	7	40	7	***
133	145	2	10	32	10	***
134	158	2	11	33	11	***
1345	86	6	5	22	6	2
135	38	6	4	15	5	3
141	236	9	8	30	4	2
142	232	11	3	42	3	4
143	221	5	11	40	7	4
144	242	8	7	38	4	1
1445	130	10	2	32	3	2
145	57	8	***	29	6	2
151	335	13	3	41	13	4
152	332	18	16	44	20	***
153	320	10	3	47	10	2
1545	189	14	13	42	12	5
155	88	10	16	43	10	***
161	***	21	27	48	***	11
162	***	19	38	52	***	6
1645	264	15	36	55	32	6
165	129	9	***	60	26	3
192	***	19	***	68	***	5
1945	251	20	***	59	***	9
195	123	20	***	55	***	12
202	316	18	42	72	19	***
2045	178	18	40	59	17	7
205	80	17	***	54	16	***
211	231	14	9	***	4	5
212	226	14	18	***	5	5
213	217	9	8	***	5	2
2145	124	13	15	***	1	4
215	53	10	17	***	5	1
221	152	9	2	***	***	***
223	144	7	***	***	***	***
224	156	8	***	***	***	***

845	9	14	***	***	***	3
85	13	12	***	***	***	***
91	33	***	***	***	14	6
92	17	16	***	***	9	2
93	24		***	***	10	3
945	31	17	***	***	19	5
95	35	***	***	***	26	6
131	20	14	3	21	8	***
132	13	15	3	36	4	***
133	18	14	3	30	7	***
134	17	13	3	27	7	***
1345	20	13	2	17	12	3
135	21	12	1	8	16	***
141	9	14	3	10	6	1
142	4	12	4	20	4	2
143	***	14	5	17	4	4
144	7	10	2	12	7	1
1445	9	12	2	8	8	2
145	12	9	3	5	12	1
151	1	5	2	3	12	2
152	6	2	2	7	11	***
153	4	3	3	6	11	***
154	2	3	2	5	15	2
1545	4	6	3	5	10	3
155	1	6	3	4	11	***
202	13	9	3	27	10	***
203	9	6	4	24	9	3
2045	9	12	3	17	9	3
205	7	15	4	13	10	***
211	1	10	2	31	3	1
212	3	8	2	45	5	1
213	2	8	2	40	4	1
214	2	6	2	35	5	1
2145	3	8	3	31	2	3
215	3	7	1	25	5	1
221	11	15	2	51	4	***
224	***	14	***	58	6	***
2245	11	***	***	49	4	3
225	13	***	3	38	6	***
261	4	5	2	60	7	1
262	8	7	3	76	11	3
263	***	***	3	72	11	2
264	5	***	3	65	9	3
2645	6	***	3	61	7	3
265	6	***	3	54	8	1
271	15	***	3	40	10	***
272	***	19	***	53	12	***
273	14	***	5	50	13	4
274	***	***	***	44	14	1
2745	17	18	***	43	8	4
275	***	***	***	38	9	***

223	144	7	***	***	***	***										
224	156	8	***	***	***	***										
2245	84	11	***	***	5	***										
225	38	10	6	***	***	3										
261	224	13	31	108	8	6										
2645	121	14	43	113	11	8										
265	52	14	***	102	11	***										
271	313	16	57	96	14	***										
281	***	20	***	83	***	6										
285	97	8	***	94	20	2										
count	62	69	50	41	47	37	count	51	42	39	48	52	36			
average	175	10	16	53	12	4	average	10	11	3	30	9	3			
max	376	21	57	113	34	12	max	35	19	5	76	26	6			
stdev	91	6	12	25	8	2	stdev	8	4	1	20	4	1			

附圖 一 控制點形式對還原點精度的整體圖（第一組）



附圖 二 控制點形式對還原點精度的整體圖（第二組）

