

## 應用單張影像及3D網格板還原成像時三維空間資訊 之可行性評估—以交通事故現場為例

陳威宇<sup>1</sup>、黃怡碩<sup>2</sup>、程玉傑<sup>3</sup>

### 摘要

單張影像基本上需知道相機之固定參數，否則無法提供足夠的資訊還原影像中之資訊，因此一般還原空間資訊大多使用兩張或兩張以上影像之方式。但在交通事故現場進行資訊蒐集時大多使用單張影像，此外使用兩張或兩張以上影像之方式，其拍攝過程中需要有拍攝影像彼此間共同重疊資訊，且若忽略影像所拍攝的重疊範圍，從影像中擷取空間資訊將產生困難。本文主要使用單張影像配合非量測性相機及3D網格板，再搭配相關投影幾何觀念建構影像與實際空間之幾何關係，計算上並應用幾何代數定義影像中幾何物件彼此間之關係，進而從單張影像推算影像中物件之三維資訊。文中並透過實驗案例之現場拍攝，使用單張影像還原實驗場景中各物件量測點在相對距離高度、X軸方向實際相對距離及Y軸方向實際相對距離三維資訊之定位精度，最後並與實際之量測值比較，從實驗結果中發現，運用本文之計算方法所得之計算成果，其精度可至公分級。

### 壹、前言

相機擁有瞬間成像之特性，可快速的紀錄現場場景並可做長時間之存檔保存，例如在交通事故現場如此之緊急場合蒐集資料時，即可使用相機快速紀錄現場場景，此外若事後發現錯誤重回現場重新蒐集資料時，現場可能已遭破壞且無法重建，此時即可運用當初所拍攝之現場影像作為現場還原之依據。而利用影像還原現場一般可分為使用單張影像或多張影像，其中單張影像基本上無法提供足夠的資訊重建一完整的實際空間，因此需知道相機如：焦距（Focal Length）、相機拍攝位置...等固定參數（Intrinsic Parameter）。但固定參數一般不易取得，所以大多使用兩張或兩張以上之影像，但拍攝影像過程中，拍攝影像彼此間需有共同重疊資訊，而一般蒐集的影像在過程中，往往忽略所拍攝的重疊範圍，使得從影像中擷取空間資訊困難。此外攝影測量使用之量測性相

---

<sup>1</sup>朝陽科技大學營建工程系研究生。

<sup>2</sup>朝陽科技大學營建工程系助理教授。

<sup>3</sup>中央警察大學交通學系副教授。

機 (Metric Camera) 或經緯儀、電子光波測距儀等測量儀器，其結果雖較精準，但成本昂貴、使用程序複雜，因此若遇有時間限制下進行現場量測作業，將對作業人員產生困擾。而在交通事故現場如此之緊急場合，使用上述方式似乎不符合實際之效益，若能便利且迅速增加額外條件，從拍攝單張影像中擷取空間資訊，應更能滿足實際需求。

王瑩瑋【1】以相機模式及數值地型模式為基礎，利用影像疊合方法，推估影像點之實際空間位置及高程。並以虛擬標竿設定之方式，由已知尺寸標竿事後之影像長度推估其他未知影像長度，還原相片內所有資料實際空間之位置及尺寸。但其操作上需於現場擺設控制標竿或已知尺寸之固定物，還原時須返回事故現場量測地面點。Baker【2】首先將透視網格法應用於還原交通事故現場，其方式為在現場擺設已知尺寸方型參考版，由邊緣延伸之平行線在影像平面上決定消失點產生平面網格。在影像中每一網格尺寸大小雖不相同但實際卻相同，因此可由影像中物體所在格數推算實際位置及尺寸。其優點為操作容易、不增加現場處理及交通管制時間，且因使用一般相機及方型網板，成本低廉，但事後還原作業繁複、耗時不易廣泛使用，且由人工繪製網格，誤差難以控制。李宏振【3】針對傳統網格法缺點，利用「設定座標系統」、「簡化人工標繪定位」及「利用水平消失點校正攝影誤差」等方式改良傳統網格法，並運用電腦運算，縮短作業時程及提高精度，但與傳統網格法相同，其僅還原現場空間平面資訊。林文傑【4】由傳統平面網格板衍生3D網格板，利用3D網格板實際尺寸為已知的特性，配合相關投影幾何觀念求得比例常數，進而建立相片與實際空間轉換關係，計算相片中物件的空間資訊，但僅針對現場空間相對高度資訊還原並無還原平面資訊。

本文期望延續3D網格板目前僅還原相對高度之研究，使用非量測性相機 (Nonmetric Camera) 及藉由3D網格板作為單張影像成像時之額外資訊，並搭配相關投影幾何觀念，建構影像與實際空間幾何關係，從單張影像推算影像中之三維資訊，建立便利、低成本從單張影像還原三維資訊之方法，進而對使用影像還原現場資訊有所提昇及幫助。在本文中，首先介紹本文利用單張影像還原空間資訊之理論與方法，然後介紹實驗案例之計算成果與分析，最後進行討論。

## 貳、理論與方法介紹

在本文中，從單張影像蒐集空間資訊主要分為兩部分：(1) 物體在實際空間中與參考平面之相對距離高度；(2) 物體在實際空間中之平面資訊。在本文中，小寫字母如 $x$ 表示物體在影像平面之座標，大寫字母如 $X$ 表示物體在三維空間之座

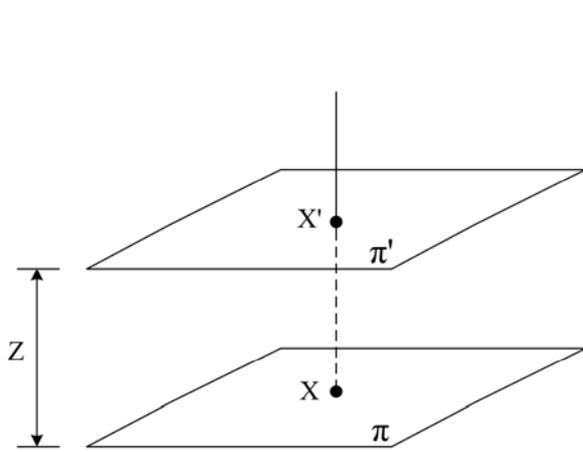
標。

本文在相對高度計算上，如圖一（a）所示，假設現實空間中某物件其底部為參考平面 $\pi$ 之點 $X$ 、頂部為平面 $\pi'$ 之點 $X'$ ，其成像後如圖二（b）所示，而若能從影像中計算 $X$ 與 $X'$ 兩點之實際距離，在空間意義上其即為物件之實際相對高度 $Z$ 。在本文中利用1999年Criminisi【5】提出之方式，其藉由均質座標系統（Homogeneous Coordinate）及代數表示影像與空間之投影關係推導出計算公式，計算時不需相機校正及相機在現實空間中之實際位置，可直接從影像中計算所求之物件實際相對高度，其公式如(1)式所示

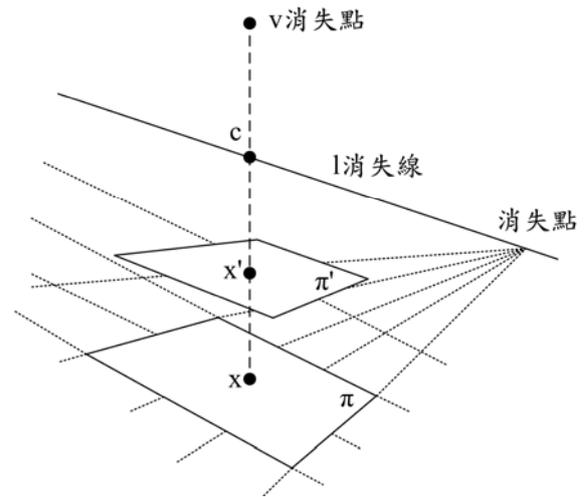
$$\alpha Z = -\frac{\|\mathbf{x} \times \mathbf{x}'\|}{(\hat{\mathbf{l}} \cdot \mathbf{x})\|\mathbf{v} \times \mathbf{x}'\|} \dots\dots\dots(1)$$

其中： $\mathbf{x}'$ 為物件其頂點之影像座標； $\mathbf{x}$ 為物件在參考平面之影像座標； $\mathbf{v}$ 為垂直消失點； $\hat{\mathbf{l}}$ 為消失線 $l$ 之單位向量即 $\frac{\mathbf{l}}{\|\mathbf{l}\|} = \hat{\mathbf{l}}$ ； $\alpha$ 為一比例常數； $Z$ 為欲還原物件之實際相對高度。

由(1)式可知，若能知道影像中之比例常數 $\alpha$ ，即可計算物件在現實空間中之相對高度距離 $Z$ ，相對的，若能知道一已知相對高度 $Z$ ，即可計算比例常數。因此在實際運用上，可先藉由一已知實際參考距離 $Z$ 配合其影像座標，計算出比例常數 $\alpha$ ，得到比例常數 $\alpha$ 後，即可運用比例常數及欲還原物件之影像座標，還原物件在現實空間中之相對實際高度 $Z$ 。



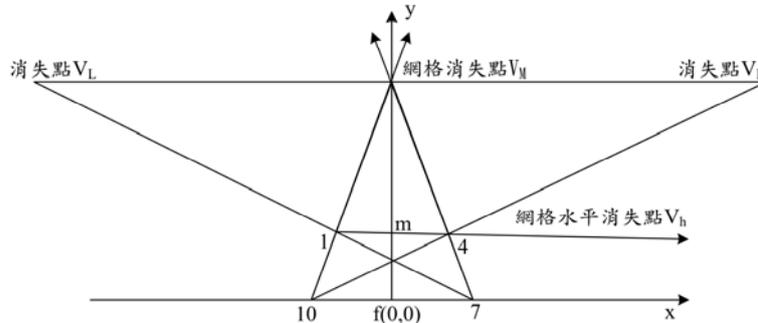
圖一、(a) 真實空間中參考平面 $\pi$ 與其平行平面 $\pi'$ 距離 $Z$



圖一、(b) 成像後消失點、消失線與平面間之投影情形

本文在平面資訊計算上，如圖二所示，首先設定相對座標系統，其中：(1) 以

網格板下緣（直線  $l_{7,10}$ ）為  $x$  軸；(2) 以網格板下緣（直線  $l_{7,10}$ ）中心點為原點  $f$ ；及 (3) 以網板上、下緣中點之直線（直線  $l_{f,V_m}$ ）為  $y$  軸。其中平面資訊之計算上亦可分為  $X$  軸方向與  $Y$  軸方向。



圖二、座標系統設定示意

在  $X$  軸方向計算上，如圖三 (a) 所示，影像中一量測點  $q(x, y)$  與消失點  $V_m$  形成之直線與  $X$  軸相交於點  $q_x$ 。由圖三 (b) 在空間意義上， $QQX$  直線與  $Y$  軸為一組平行線，且與  $X$  軸交於點  $QX$ ，所以  $QXF$  兩點之實際空間距離即為量測點之  $X$  軸截距  $D_x$ 。

由上述觀念，在影像中可將量測點之影像座標投射至  $X$  軸上，以作為計算  $X$  軸方向平面資訊之用。此外將量測點投射至  $X$  軸後，本文使用交叉比例 (Cross Ratio) 方式計算其空間資訊，計算方式說明如下：

圖四為量測點投影至  $X$  軸後之情形，其中  $f q_x$  兩點之空間距離即為所求截距，因此利用網格板上三點  $P_{10}$ 、 $P_8$ 、 $P_7$  及投影點  $q_x$  可定義一交叉比例：

$$\frac{d(q_x, p_8) d(p_7, p_{10})}{d(p_7, p_8) d(q_x, p_{10})} = r = \frac{D(Q_x, P_8) D(P_7, P_{10})}{D(P_7, P_8) D(Q_x, P_{10})} \dots \dots \dots (2)$$

其中： $d(x_1, x_2)$  為影像中兩點  $x_1$  及  $x_2$  之距離； $D(X_1, X_2)$  為空間中兩點  $X_1$  及  $X_2$  之距離。在實際上，因網格板之實際尺寸已知，但投影點  $q_x$  至網格板之實際距離為未知，所以計算上可假設投影點  $q_x$  至點  $P_7$  在空間中未知實際距離為  $W$ ，則 (2) 式可轉換為：

$$\frac{d(q_x, p_8) d(p_7, p_{10})}{d(p_7, p_8) d(q_x, p_{10})} = r = \frac{W + D(P_7, P_8) D(P_7, P_{10})}{D(P_7, P_8) W + D(P_7, P_{10})} \dots \dots \dots (3)$$

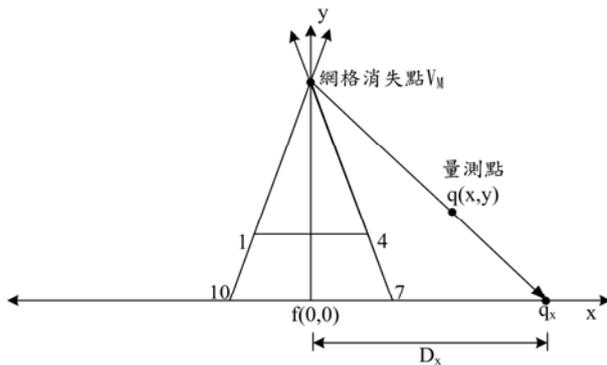
由 (3) 式計算出空間中未知實際距離  $W$  後，即可得到量測點之  $X$  軸截距，即為  $X$  軸方向之空間平面資訊。

在  $Y$  軸方向計算上，其觀念與  $X$  軸方向相同，如圖五所示，利用量測點至  $y$  軸之投影點  $q_x$  及網格板上三點  $m_3$ 、 $m_2$ 、 $m_1$  定義一交叉比例，計算上假設  $W$  為投影點  $q_x$  至點  $m_1$

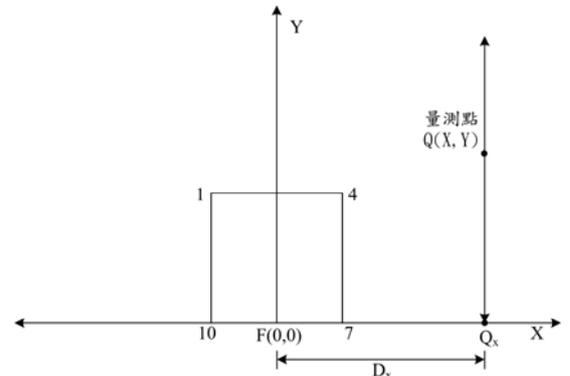
在空間中之未知實際距離，因此可得：

$$\frac{d(q_y, m_2) d(m_3, m_1)}{d(m_3, m_2) d(q_y, m_1)} = r = \frac{W + D(M_3, M_2)}{D(M_3, M_2)} \frac{D(M_3, M_1)}{W + D(M_3, M_1)} \dots\dots\dots (4)$$

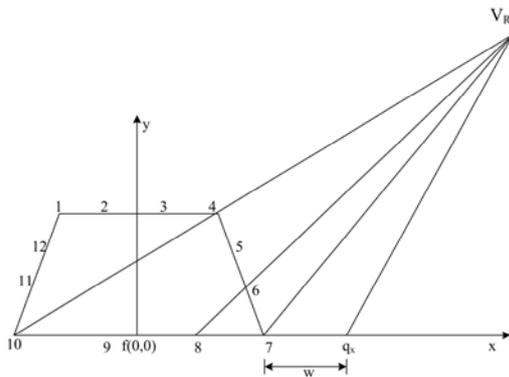
由(4)式計算出空間中未知實際距離 W 後，可得到量測點之 Y 軸截距，即為 Y 軸方向之空間平面資訊。



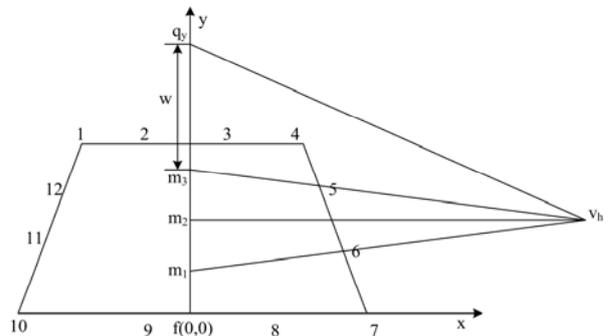
圖三、(a) 影像中 x 軸截距關係轉換示意



圖三、(b) 空間中 X 軸截距關係轉換示意



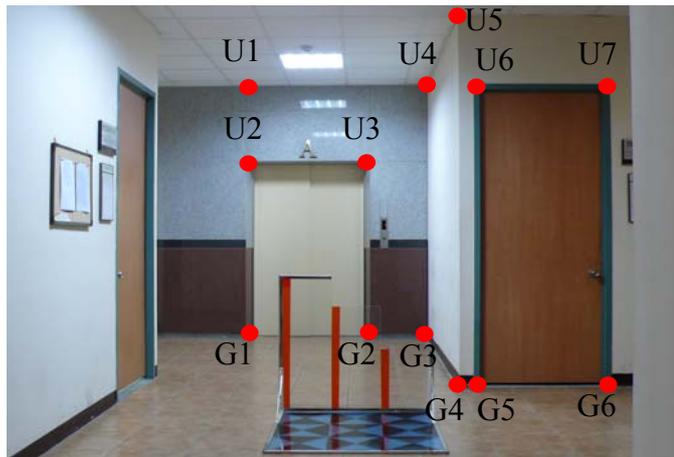
圖四、交叉比例計算 x 軸截距示意



圖五、交叉比例計算 y 軸截距示意

### 參、實驗測試與分析

為探討本文方法於影像蒐集實際空間資訊之實際情形，因而透過實驗進行測試。實驗主要於室內及室外兩種場地進行，首先期望利用室內環境單純且容易控制之特點進行本研究方法之測試，之後再於室外進行實驗測試，以了解本研究方法於實際場地之運用情形。因室內實驗之環境較為單純簡易，因此實驗中選擇卷尺對量測點進行量測以便實驗進行，而室外實驗即採用電子光波測距經緯儀量測相關之量測點。室內實驗現場場景及各還原之量測點位如圖六所示。



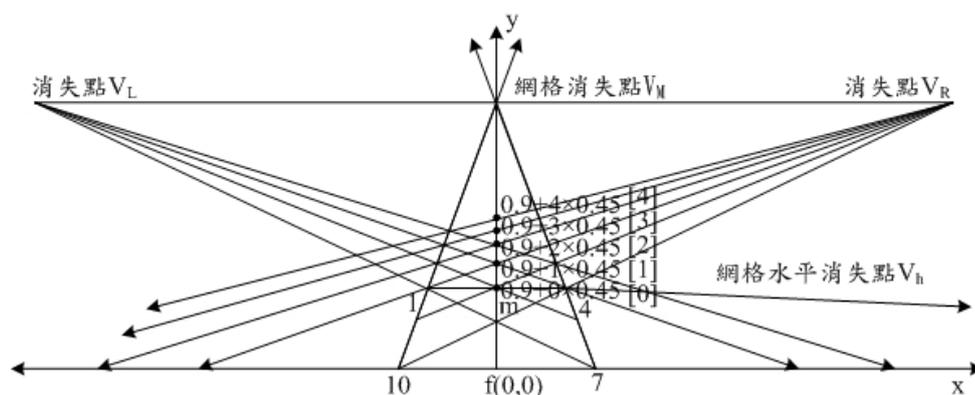
圖六、室內場地實驗現場場景及各測點位示意

在室內實驗方面，使用本文之方法所還原室內實驗現場各量測點之相對高度成果如表1所示，其還原成果與實際之量測值誤差最佳可至0.01m以內。此外在X軸方向資訊所計算之成果上，其還原成果與實際量測值差距不大。在Y軸方向資訊所計算之成果上，其還原成果與實際量測值差異頗大。

因Y軸方向資訊在計算之成果上，還原距離與實際量測值差異頗大，所以本文利用交叉比例之方式，推導網格板Y軸方向上之網格格線區間（圖七），再使用Y軸方向資訊之計算方法，計算各網格格線區間端點與座標系統原點之實際相對距離。最後藉由計算所得之各網格區間端點與座標系統原點之實際相對距離，與其真實之實際相對距離比較得知，在Y軸方向資訊計算上，靠近座標原點某段範圍內，計算所得之距離與真實相對距離所產生之誤差不大，但當超過此段範圍即開始產生較大誤差，且距離越遠者所產生之誤差越大。

表 1、室內場地相對高度計算成果

量測點	實際相對高度(m)	還原相對高度(m)	誤差(m)
U1	3.020	3.010	0.010
U2	2.115	2.103	0.012
U3	2.115	2.116	0.001
U4	3.020	3.040	0.020
U5	3.020	3.028	0.008
U6	2.465	2.461	0.004
U7	2.465	2.488	0.023
			RMSE : 0.013



圖七、網格格線區間示意

為改正Y軸方向資訊之計算誤差情形，本文採用控制點校正及建構距離方程式之方式，改正Y軸方向資訊之計算誤差。首先選擇現場幾個量測點作為校正之控制點，再利用各控制點投影至Y軸後，其投影點與座標系統原點在影像中之距離及真實距離建構距離方程式，得到距離方程式後，即可利用投影點與座標系統原點在影像中之距離，計算量測點實際相對距離。在距離方程式建構上，本文中選擇常用之直線、多項式及指數方程式進行校正並比較其結果，最後選擇出校正精度較佳之方程式。由表2可見，最後由校正之結果相互比較，其中利用多項式校正所得之精度為最佳。因此本文即選用多項式方程式作為校正之方程式，此外相較於原本Y軸方向資訊計算之成果，其精度已有提昇，且成果與實際之量測值誤差最佳可至0.01m以內。

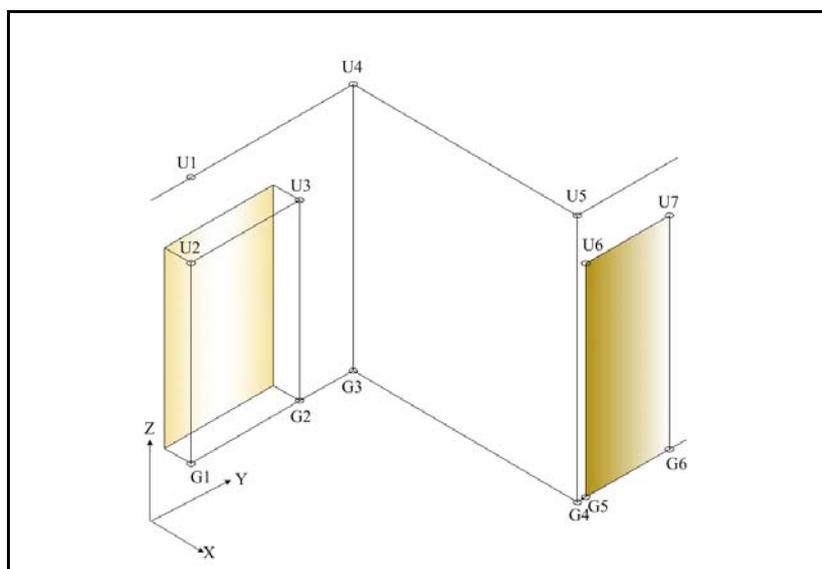
本研究亦利用Y軸方向資訊之校正方式，對X軸方向資訊進行校正以求得更佳之精度，校正後X軸方向資訊精度亦有提昇，且成果與實際之量測值誤差最佳可至0.01m以內，其成果如表3所示。最後利用表1、表2及表3計算之三維資訊，還原圖六相關之室內實驗現場場景，還原成果如圖八所示。

表 2、各距離方程式對室內場地 Y 軸方向資訊校正結果比較

量測點	實際相對距離(m)	方程式					
		直線		多項式		對數	
		還原相對距離(m)	誤差(m)	還原相對距離(m)	誤差(m)	還原相對距離(m)	誤差(m)
G1	4.563	4.713	0.150	4.562	0.001	4.683	0.120
G2	4.563	4.506	0.057	4.569	0.006	4.380	0.183
G3	4.563	4.457	0.106	4.558	0.005	4.310	0.253
G4	1.810	1.821	0.011	1.810	0.000	1.832	0.022
G5	1.810	1.826	0.016	1.811	0.001	1.835	0.025
G6	1.810	1.796	0.014	1.809	0.001	1.817	0.007
		RMSE : 0.079		RMSE : 0.003		RMSE : 0.137	

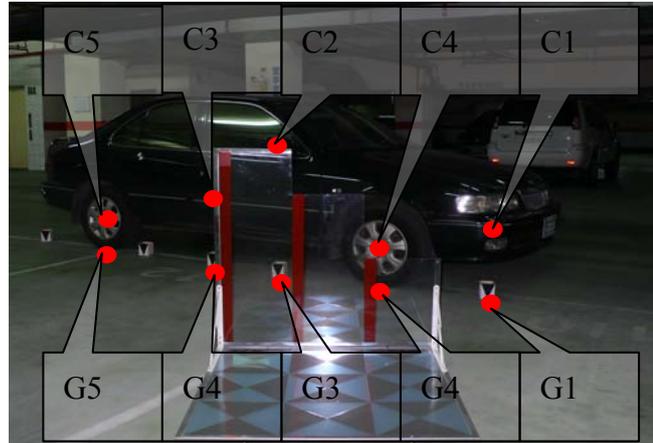
表 3、室內場地校正後 X 軸方向資訊計算成果

量測點	實際相對距離(m)	還原相對距離(m)	誤差(m)
G1	1.200	1.203	0.003
G2	0.120	0.120	0.000
G3	0.744	0.762	0.018
G4	0.744	0.740	0.004
G5	0.859	0.843	0.016
G6	1.855	1.855	0.000
RMSE : 0.010			



圖八、室內場地實驗現場場景還原結果

在室外實驗方面，其現場場景及各還原之量測點位如圖九所示。此外因實驗之車體除輪胎外其餘部份為懸空，所以成像後懸空部份位於參考平面之量測點，其影像座標將難以辨識量測。因此實驗中採用於參考平面（地面）上放置定位標示牌方式，藉此幫助懸空量測點部分，其位於參考平面之點位成像後影像座標之量測。



圖九、室外場地實驗現場場景及各量測點位示意

在室外實驗方面，本文相對高度計算方法在實際應用上，由表 4 可見，其成果與實際之量測值誤差最佳可至 0.01m 以內。本文 X 軸方向資訊計算方法在實際應用上，所計算之成果與實際量測值差距不大，此外由表 5 可見，經校正方法校正後，精度亦有提昇且成果與實際之量測值誤差最佳可至 0.01m 以內。本文 Y 軸方向資訊計算方法在實際應用上，所計算之成果與室內實驗之情形相同，還原距離與實際量測值差異頗大，此外由表 6 可見，經校正方法進行校正後其精度亦有顯著提昇，且成果與實際之量測值誤差最佳可至 0.01m 以內。最後使用表 4、表 5 及表 6 計算之三維資訊，還原圖九相關之室外實驗現場場景，還原成果如圖十所示。

表 4、室外場地相對高度計算成果

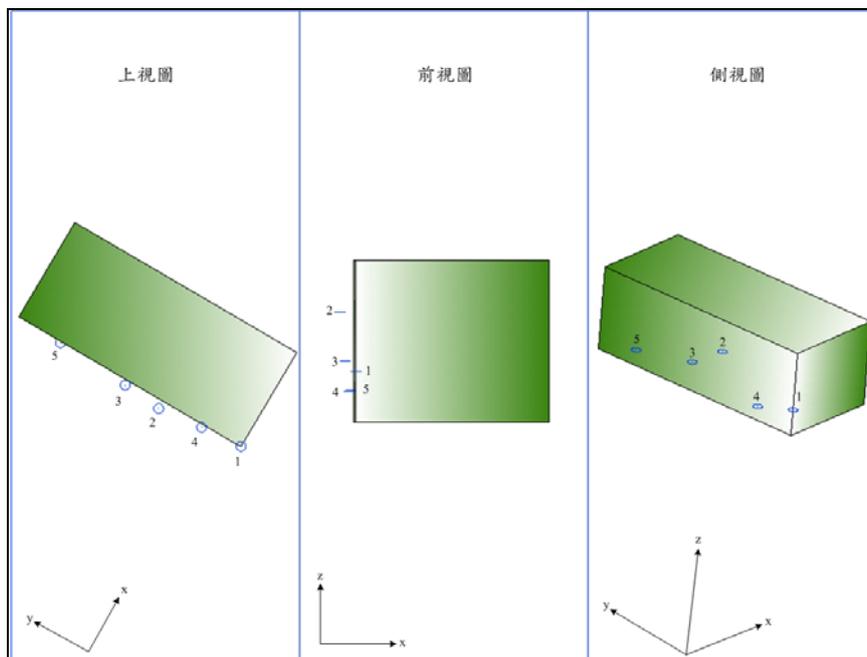
量測點	實際相對高度(m)	還原相對高度(m)	誤差(m)
C1	0.448	0.453	0.005
C2	0.977	0.981	0.004
C3	0.540	0.544	0.004
C4	0.275	0.277	0.002
C5	0.287	0.285	0.002
			RMSE : 0.004

表 5、室外場地校正後 X 軸方向資訊計算成果

量測點	實際相對距離(m)	還原相對距離(m)	誤差(m)
G1	0.939	0.945	0.006
G2	0.352	0.330	0.022
G3	0.857	0.851	0.006
G4	0.310	0.333	0.023
G5	1.855	1.855	0.000
			RMSE : 0.015

表 6、室外場地校正後 Y 軸方向資訊計算成果

量測點	實際相對距離(m)	還原相對距離(m)	誤差(m)
G1	2.147	2.146	0.001
G2	2.740	2.737	0.003
G3	3.106	3.108	0.002
G4	2.445	2.447	0.002
G5	3.765	3.765	0.000
			RMSE : 0.002



圖十、室外實驗現場場景相關量測點還原示意

## 肆、結論

本文利用單張影像還原空間資訊主要有兩部份：物體在實際空間中與參考平面之相對距離高度；以及物體在實際空間中之平面資訊。在高度資訊計算方面，其中室外實驗中，因車體除輪胎外其餘部份為懸空，所以成像後懸空部份位於參考平面之量測點其影像座標將難以量測，因此本文中使用的在地面上擺設標示牌之方式以利用成像後之辨識。在平面資訊計算方面，本文利用交叉比例之方式，使用網格板上之已知條件及量點之座標配合消失點等觀念，直接計算量測點之平面資訊。此外在平面資訊計算時，因 Y 軸方向資訊之誤差受其還原距離影響，因此本文中利用校正方式，選擇現場量測點作為校正點，建構量測點距離之曲線方程式，進而對所還原之量測點進行校正，校正後其精度亦有所提升。最後由實驗結果可知，本文在高度與平面資訊計算上，所計算之成果與實際之量測值誤差最佳可至 0.01m 內。

## 參考文獻

1. 王瑩瑋，「以單張影像攝影測量方法還原肇事現場之研究」，博士論文，國立成功大學交通管理科學研究所，臺南，1996。
2. Baker, J. S., and Fricke, L. B., *Traffic Accident Investigation Manual*, the Traffic Institute of Northwestern University, Evanston, Illinois, 1986.
3. 李宏振，「改良網格測距法以還原事故現場之研究」，碩士論文，中央警察大學交通管理研究所，桃園，2001。
4. 林文傑，「交通事故現場空間資料還原-3D 網格版的應用」，碩士論文，朝陽科技大學營建工程系，臺中，2004。
5. Criminisi, A., "Accurate Visual Metrology from Single and Multiple Uncalibrated Images," Ph.D. Dissertation, Department of Engineering Science, University of Oxford, UK, 1999.

