

交通事故 3D 現場還原與重建之初步研究

Study on 3D Reconstruction of Traffic Accident Scene

林志勇 C. Y. Lin¹
黃維信 Wei-Shin Huang
董基良 J. L. Doong²
林豐福 Fong-Fu Lin³
張開國 Kai-Kuo Chang³
黃明正 Ming-Cheng Huang³

摘要

交通事故現場資訊收集首重迅速以儘速恢復現場交通。除此之外，如何收集到足夠正確的資訊，或有效將現場資訊先完整的記錄下來，以便後續利用現場的重建與還原，將事故現場的車、痕跡、標線、標誌等相對位置關係能正確呈現。本研究利用標準攝影作業流程及3D現場還原重建技術，輔助肇事現場資料收集，探討拍攝距離、兩張相鄰相片的拍攝角度、張數對3D重建資料的誤差及適用性。此外並就模擬3個事故現場，進行攝影與3D現場還原與重建，還原後整體誤差平均值都在1%以下，由實驗結果可知，拍攝距離對現場資料的重現影響不大，而兩張有6點重疊位置相片的拍攝角度以45°~90°較佳，未來可利用3D重建技術還原出事故現場資料，配合肇事重建軟體進行碰撞動態模擬。

關鍵字：交通事故、肇事重建

-
- ¹ 私立龍華科技大學助理教授（通訊地址：桃園縣龜山鄉萬壽路一段300號；電話：(02) 82093211 轉 5100, 5101；傳真：(02) 82094650；Email：lcy@mail2000.com.tw）
- ² 國立中央大學車輛行車事故鑑定研究中心
- ³ 交通部運輸研究所運安組
- ⁴ 本文作者感謝三位審查委員之寶貴意見

Abstract

The most important of traffic accident investigation is allow the traffic back to normal in the shortest time. With sufficient information collection, the related locations of the vehicles, tracks, marking, signals etc. will be reconstructed. This research uses the standard operation procedure of photography and the techniques of 3D accident reconstruction to assist the collection of accident data. Exploring the applicability and data error developed by the photo shooting distances, the angles between 2 consecutive photos, and the number of photos been taken. Besides, we also reconstructed 3 simulated accident scenes and the average of the errors occurred below 1%. Based on the experiments, shooting distance affect the reconstruction not very, and we learned the angle of 2 near photos between 45 and 90 degrees will give better results. In addition, the 2 near photos must have over 6 overlapped points. In the future, the 3D reconstruction could be applied to reconstruct the data of accident scenes, then along with the collision simulation software to simulate the collisions in action. This research also proceeded with an actual accident case to demonstrate the 3D accident reconstruction.

Keyword: *Traffic accident, Accident reconstruction*

壹、前言

隨著國內機動車輛的增加，交通問題也層出不窮，再加上駕駛人守法的觀念及駕駛習慣不佳導致交通事故日益增加，相對所衍生的社會成本更是難以估計。事故的發生，不僅造成當事人的傷害，更可能導致家庭及社會問題。目前交通事故責任鑑定係送請各地區之肇事鑑定委員會或是相關學術研究機關代為鑑定，鑑定委員會係由省（市）政府遴聘各相關之專家、學者擔任。國內在肇事現場作業流程與資料蒐集時，量測及記錄的相關資料不齊全，較無法完整提供鑑定委員做分析及責任歸屬之判斷。由於交通事故分析與責任歸屬鑑定是複雜、繁瑣且具高難度技術性的工作，故如何改善現場資料收集完整性的工具及方法，即為一主要的工作。

目前現場處理員警在繪製道路交通事故現場圖時，是依據現場所繪製之草圖還原成相對比例，但由於現場是以皮尺或測距輪進行量測，容易產生人為誤差。

而員警在繪製肇事現場時，對於彎曲道路與道路斜度的繪製上也有其困難。另外現場量測資料不足及人員疏失或作業時間有限、繪圖訓練不足等，造成圖形的繪製錯誤，造成肇事鑑定上的誤導及困擾。此外，由於肇事現場常在路段中或路口，來往的車輛相當多，使得現場處理員警危險性提高，而且若是現場處理時間太長，亦容易造成道路車流之延滯及干擾。

本研究之目的在於利用一3D現場還原與重建軟體配合標準攝影程序，探討3D重現技術應用於交通事故現場還原重建之可行性，並規劃實驗以了解拍攝技巧的影響和重現數據的誤差。

貳、文獻回顧

肇事現場資料收集之技術，除了現場描述、相關人員之筆錄外，另外也會使用照像或攝影的方式記錄。近年來也逐漸應用3D重建技術於事故現場資訊的重現，以提高交通事故資料的蒐集調查的完整性和正確性。

陳文志【1】針對三度空間物體之二度空間投影行為進行實證研究，證明所假設的投影轉換公式可以採用，誤差範圍 8 % ~ 30 %，但缺點為在蒐集現場的照片時，其誤差會受到肇事現場地形的影響，且處理事故的員警要受過一些基本的訓練，才能使誤差減少。李宏振【2】將實際空間中網格板下緣中點定為空間原點，藉由量測物體在影像中的座標位置進而推算物體相對於空間原點之距離，並配合電腦圖解分析，以改良傳統網格法，提高還原精度。Hyzer【3】提出網格法，利用肇事現場擺設的參考板擺設於肇事現場，進行拍攝，類推相片其餘資料位置，方法簡單，但只適用於平地。王瑩瑋等【4】將標竿擺設法應用於求取肇事現場帶狀區域內資料的實際空間距離關係，結果在標竿設定範圍內之資料，誤差範圍在 8 % 以內，還原準確度佳，而且成本低、時間短，唯其缺點是只能還原帶狀區域的現場。Baker【5】提出相機反射法（Camera Reverse Projection Method）來還原肇事現場，此法是攜帶肇事現場調查當時拍攝之底片，重返現場，利用特殊之觀察設備，再進行人為比對路面跡證之工作，精確度高，但耗時、成本高。張新立【6】曾針對國內肇事鑑定的相關問題做過深入研究，除了提出鑑定師的可行性外，文中的圖表及問卷調查結果均提到，現場搜證的完整性

對於肇事鑑定十分重要。台北市【7】目前正進行平板電腦應用在事故現場登錄的專案，此系統是由警員在現場將各項設施以點選方式，依照現場所量測物件的位置，以拖曳方式直接畫在一個 CAD 軟體上，此法可簡化後續資料整理的時間，但仍無現場跡証保留及依現場照片做3D重建的功能，若在日後因鑑定的需求，必須要知道某一特定物件或當時未考慮到的量測點位置時，此系統則無法滿足其需求。類似北市平板電腦的專案，國外亦有軟體如 CrashZone【8】有相同的功能。主要是將平板電腦上的物件以軟體 Icon 方式顯示在畫面上，方便使用者直接點選。

參、實驗方法與步驟

3.1 現場處理程序

3D 重建軟體 PhotoModeler 係利用近景攝影量測原理，透過不同角度所拍攝之物體照片，重建物體之 3D 模型，目前國外 DSC 公司已利用該軟體進行交通事故現場還原重建，因此本研究亦選用該軟體進行後續現場重建，流程如圖1所示，茲將操作流程分述如下：

1. 相機校正：對未曾使用過的相機依 PhotoModeler 軟體進行標準流程的校正，可得一組校正參數存檔，以後用同型相機可省略此步驟，本研究採用 Nikon Coolpix 2500。
2. 現場拍攝：將適當大小的樣本（建議為 1.2 x 0.9 m，未來可當作員警執勤時的標準配件），放在靠近拍攝位置，並將要跡証標示物（建議用黑白對比明顯的物件）擺設在被拍攝的物件位置上，現場至少擺設 6 個以上的標示物，本研究採用小型紅色交通錐上放置黑白圓型碟片組合物做為跡証標示物，見圖 2（A）；圖 2（B）及 2（C）為國外其他公司的跡証標示物。
3. 回警局後再用 PhotoModeler 軟體做尺寸計算與還原，並劃出 3D 現場圖，以 DXF 格式儲存。
4. 用 AutoCAD 或其他軟體讀取步驟（3）所儲存的現場圖，並做尺寸標示，輸出即完成整個程序。

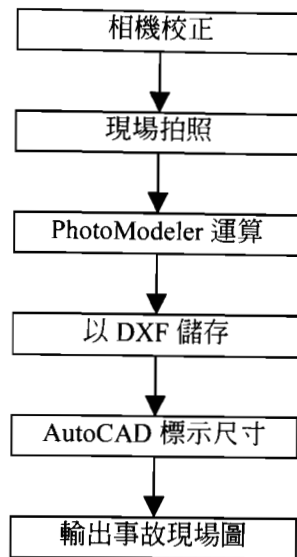
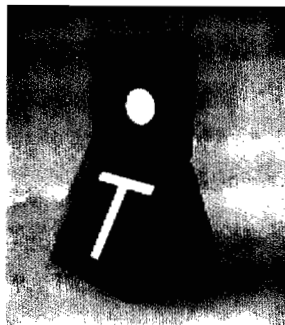


圖 1 現場重建流程圖



(A)



(B)



(C)

圖 2 跡証標示物

3.2 實驗室驗證

本研究將探討環場拍攝時拍攝距離、拍攝位置之間夾角，對於3D重建時的誤差影響，實驗項目如表1所示。拍攝主體選擇二種不同的椅子以及一個台階作為實驗主體。如圖3所示。

表 1 實驗項目與參數列表

實驗項目	實驗參數
拍攝距離(固定)	1.5m、3m、4m
拍攝距離(變動)	固定 3m、將其中 3-5 張換成不同距離(1.5m、4m)
拍攝位置之間夾角(固定)	30°、45°、90°
拍攝位置之間夾角(變動)	固定 30°、將其中 3-5 張換成不同夾角(60°、90°)
拍攝張數	2、3、4、5 張



圖 3 實驗主體照片

3.3 實際道路現場試驗

本研究除了在校內道路模擬事故現場驗證外，亦針對大貨車的緊急煞車胎痕做驗證，最後也與台北市交通大隊合作，赴實際現場做交通事故處理時以評估實際現場應用的可行性。

肆、實驗結果與討論

4.1 實驗室驗證

4.1.1 拍攝距離

圖4為還原後之結果，由表2還原結果比較發現，不同距離還原後的結果差異不大，當拍攝距離大於3m之後，整體誤差值會漸趨穩定。但整體誤差值都在10%以下，由表3變動拍攝距離還原結果比較發現，改變其中三張照片的拍攝距離，對於整體誤差值影響並不明顯，但是當改變其中四張的拍攝距離時，誤差值開始有明顯變動，甚至會有錯誤訊息產生。因此在拍攝過程應盡量保持與還原主體相同的拍攝距離，以減少誤差的產生。

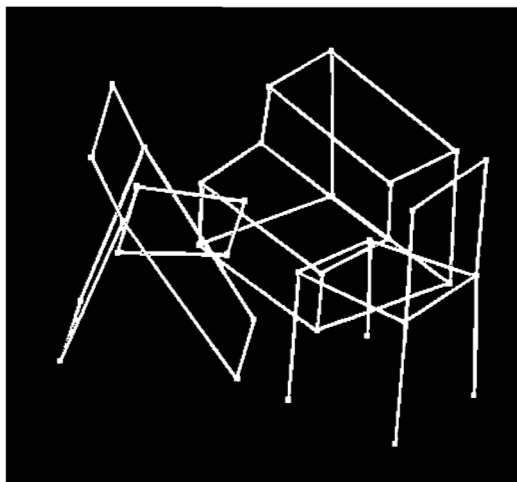


圖 4 還原後的幾何外型

表 2 固定距離還原尺寸的誤差值

拍攝距離	紅色標線 實際尺寸(m)	還原尺寸(m)	尺寸誤差值(%)	整體誤差值(%)
1.5m	0.62	0.658	6.13	0.723
3.0m	0.62	0.645	4.03	0.581
4.0m	0.62	0.628	1.29	0.507

註：整體誤差值係所有尺寸誤差之絕對值平均

表 3 變換距離還原尺寸的誤差值

拍攝距離	紅色標線 實際尺寸(m)	模擬尺寸(m)	尺寸誤差值 (%)	整體誤差值 (%)
固定 3.0m	0.62	0.645	4.03	0.581
3 張不同距離	0.62	0.65	4.83	0.615
4 張不同距離	0.62	0.609	1.1	1.364
5 張不同距離	0.62	0.582	6.1	3.12

註：整體誤差值係所有尺寸誤差之絕對值平均

4.1.2 拍攝位置之間夾角

表4為不同拍攝位置之間固定夾角的還原結果比較，當角度越接近900時，還原後的單一尺寸與整體尺寸誤差均會較小，但是由於可使用的照片張數較少，因此較不易還原出全部的幾何外型，因此兩張照片拍攝夾角建議 45° ~ 90° ，拍攝距離影響不大，表5為還原結果比較，由表5發現變換其中3~4張的拍攝位置以改變夾角，對於整體尺寸誤差值影響並不明顯，但是當抽換其中五張變換不同角度時，誤差值有明顯變大。因此在拍攝過程中對於角度的掌握應盡量保持相同，以減少誤差的產生。

表 4 固定角度還原尺寸的誤差值

相片角度	紅色標線 實際尺寸(m)	模擬尺寸(m)	尺寸誤差值 (%)	整體 誤差值 (%)
90°	0.62	0.628	1.29	0.723
45°	0.62	0.639	3.06	0.976
30°	0.62	0.64	3.2	1.463

註：整體誤差值係所有尺寸誤差之絕對值平均

表 5 變換角度還原尺寸誤差值

相片夾角	模擬尺寸(m)	尺寸誤差值 (%)	整體誤差值 (%)
2 張固定 30°	0.628	1.29	0.732
3 張任意角度	0.624	0.64	0.736
4 張任意角度	0.63	1.61	0.739
5 張任意角度	0.737	18.87	1.498

註：整體誤差值係所有尺寸誤差之絕對值平均

由於PhotoModeler是利用近景攝影量測法還原3D場景，因此需要至少要有6個以上的重複點座標方可透過聯立方程式求解。所以在拍攝過程中，相鄰2張照片中至少要有6個以上的重複點以供還原，在現場處理時為避免遺漏可能重要之尺寸，均多拍攝幾張，以備日後使用，一般而言，張數越多，精度越高。

4.2 實際道路試驗

4.2.1 校內道路事故現場模擬

本研究先針對中央大學機械系館前道路進行拍攝與還原，拍攝位置之間夾角為 45° ，圖5左為中央大學機械系館前道路現場照片，右圖則為中央大學機械系館前道路還原結果之鳥瞰圖，由表6還原結果誤差比較發現，還原後的尺寸誤差相當小，整體誤差平均值小於2%。



圖5 現場道路照片（左）與現場還原後之上視圖（右）

表6 中央大學機械系館前道路還原結果及誤差比較

線段	實際尺寸(m)	還原尺寸(m)	誤差尺寸(m)	誤差比(%)
1	2.18	2.18	0	0%
2	1.3	1.26	-0.04	-3.08%
3	1.23	1.225	-0.005	-0.41%
4	2.24	2.345	0.105	4.69%
5	5.23	5.375	0.145	2.77%
6	2.21	2.25	0.04	1.81%
7	2.35	2.36	0.01	0.43%
8	0.95	0.935	-0.015	-1.58%
9	1.3	1.29	-0.1	0.77%
			平均誤差	1.73%

註：平均誤差係全部誤差比之絕對值平均

圖 6 為本研究於中央大學校園內模擬事故現場，而圖 7 則為經由 PhotoModeler 配合輔助標示物輔助還原，再匯出至 AutoCAD 標示尺寸之鳥瞰圖，除了車輛的四個角落之外，也將各輪軸標示出來。表 7 為校內模擬事故現場還原結果及誤差比較，由還原結果可發覺，由於拍攝時與主體間的垂直角度不足 30° ，因此發現在車身橫寬方面的還原結果較為精準，但與縱深有關之尺寸則準確度較低。



圖 6 校內模擬事故現場

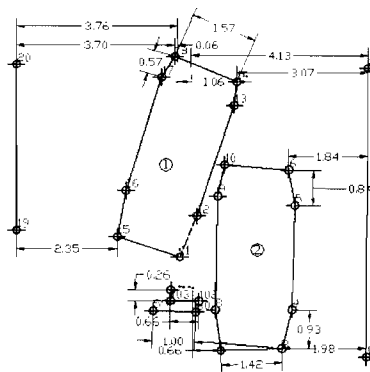


圖 7 校內模擬事故現場還原圖

表 7 中央大學校內模擬事故現場還原結果及誤差比較

標示尺寸名稱	實測尺寸(m)	還原尺寸(m)	誤差值(cm)	誤差比(%)
左線路寬	3.76	3.87	0.09	2.9%
右線路寬	4.07	4.13	0.06	1.5%
6~右側路邊	1.84	1.84	0	0%
18~左側路邊	3.79	3.7	-0.09	-2.4%
3~4	0.96	0.93	-0.03	-3.1%
5~6	0.82	0.84	0.02	2.4%
3~7	1.45	1.42	-0.03	-2.0%
7~黃色雙中線	0.7	0.66	-0.04	-5.7%
17~18	0.6	0.57	-0.03	-5%
3~右側路邊	1.92	1.98	0.06	3.1%
1 號車身寬度	1.5	1.57	0.07	4.7%
2 號車身長	4.15	4.28	0.13	3.1%
2 號車身寬度	1.45	1.42	-0.03	-2.1%
			平均誤差值	2.923%

註：平均誤差係全部誤差比之絕對值平均

4.2.2 台塑貨運大型車輛煞車試驗現場重建

本研究在 2003 年 9 月與台塑貨運合作於麥寮六輕工業區進行大型車輛煞車試驗，試驗方法為貨櫃車先以一定速行駛，突然急踩煞車到車身停止，將煞車痕記錄下來。由於貨櫃車的慣性較一般小客車大，煞車痕會隨之增長，因考慮煞車痕若過長，將導致地面煞車痕會產生辨識不易甚至無法辨識的情形，因此將輔助標示物引入實驗中實際應用。

圖 8 為現場依照煞車痕位置擺設跡証標示物之實照，圖 9 之左圖為根據現場測量結果之還原圖，右圖則為使用 3 張現場拍攝照片之還原結果，由表 8 之實驗結果可發現，輔助標示物的效果十分不錯，尺寸誤差平均小於 1%，證明此技術對於跡証定位確實有其定位輔助效果。

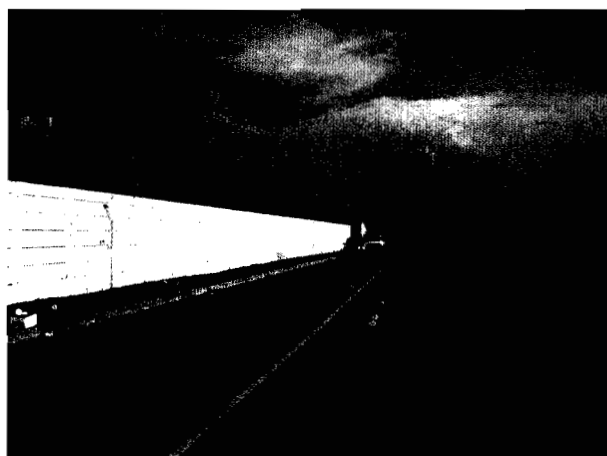
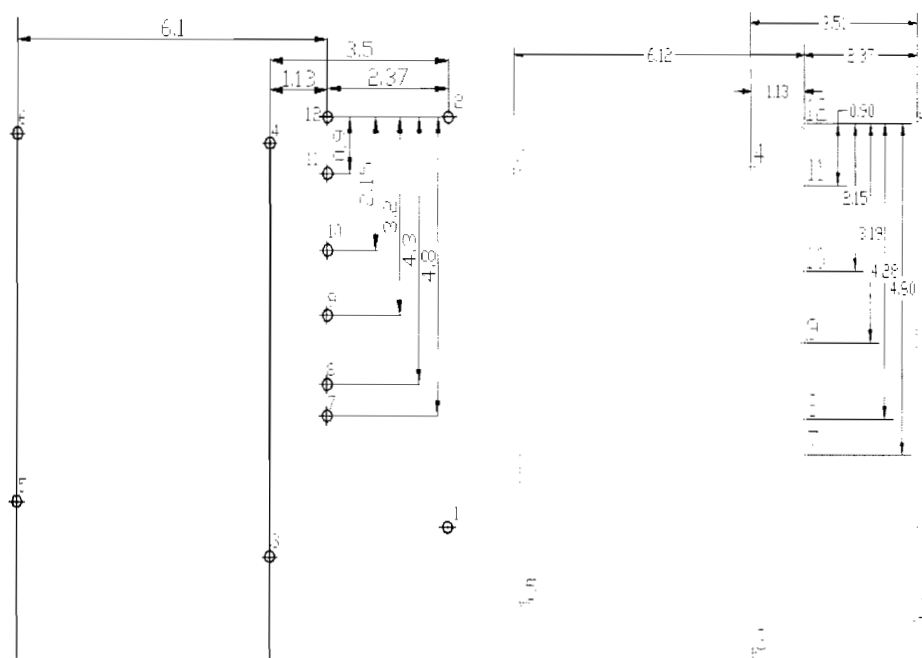


圖 8 煞車試驗依輪胎痕擺設輔助標示物實照



根據現場測量實繪圖

以三張現場照片還原後之結果

圖 9 煞車痕還原結果

表 8 煞車痕實測尺寸與還原結果

線段	實際尺寸(m)	還原尺寸(m)	尺寸誤差
雙黃線至白線之路寬	3.5	3.51	0.3%
2~12	2.37	2.37	0%
7~12	4.8	4.8	0%
8~12	4.3	4.28	0.5%
9~12	3.2	3.19	0.3%
10~12	2.15	2.15	0%
12~路邊之路寬	6.1	6.12	0.3%
		誤差平均	0.31%

4.2.3 台北市交通大隊夜間事故現場還原

因考慮到事故並非僅在白天發生，因此本研究也與交通大隊合作，跟隨基層警員到事故現場進行實驗，實驗步驟為：

1. 跟隨交通大隊到達現場，立即將輔助標的物組合，並放置到可供定位參考位置。
2. 以環場的方式每隔一角度拍攝一張，兩張照片拍攝夾角建議 45° ~ 90° 。
3. 拍攝完畢，盡速將輔助標的物收回，排除阻礙交通之事故現場。
4. 以 PhotoModeler 軟體還原事故現場鳥瞰圖。

由於現場並無額外輔助燈光，僅以現場光線亮度拍攝，因此光線上有些許不足。在事故現場組合、擺設跡証標示物，拍攝，回收跡証標示物的試驗程序，過程僅花費 10 分鐘左右。

圖 10 為道路交通事故現場照片，圖 11 為員警所繪製之事故現場圖，本研究依據事故現場圖上所標示之尺寸，利用 AutoCAD 重新繪製，結果如圖 12 所示。由圖 12 中可發現，若以路寬為基準而構圖，在最後結果會發覺在縱深方面，有尺寸會發生無法配合的情形，以軟體還原結果仍然保有這個問題，甚至比簡圖所繪製的還要大，這個問題是因為受到軟體本身特性的影響，此軟體在拍攝角度上建議避免過小，而由於當時在事故現場拍攝時，兩張照片拍攝夾角上無法達到要求，因而導致此問題之產生而造成誤差，但在路寬方面的尺寸都相當符

合。此外由於物體在空間中的相對位置，原本就存在著彼此拘束關係，因此若是現場量測資料不足，則利用AutoCAD所繪製出來的現場圖就可能會發生與實際現場不符的問題，圖12右為根據員警繪製之簡圖以AutoCAD重新繪製之結果，黃色計程車的位置明顯超過白色標線，但是由圖10中發現，黃色計程車的整體車身其實都未超過白色標線。而利用軟體還原後的結果則已無此一問題，因此只要解決拍攝角度的問題，將可提升重建精確度。



圖 10 道路交通事故現場照片

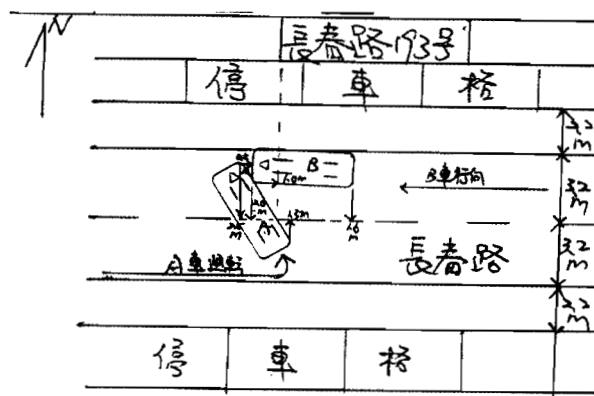


圖 11 交通大隊繪製之簡圖

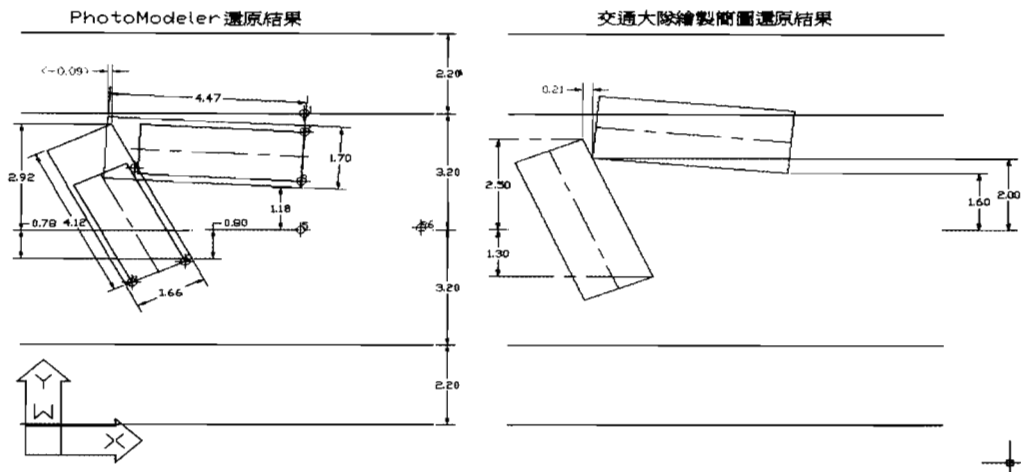


圖 12 事故現場還原結果之比較

伍、結論

本研究利用3D重建技術，輔助肇事現場資料收集，探討拍攝位置、拍攝角度、拍攝相片的張數對3D重建資料的誤差及適用性，經由實驗和實際案例的比較和探討，可得知幾項結論。

1. 利用現場攝影配合3D重建技術，可輸出事故現場之鳥瞰圖，並降低目前人工量測繪製的誤差外，並可完整保留事故現場跡證之相對位置關係。
2. 實驗結果發現實驗室內大部分的還原誤差平均 $<1\%$ 。
3. 在台塑貨運大型車輛煞車試驗現場重建方面，透過跡証標示物的輔助，還原後尺寸誤差平均小於 1% ，證明3D還原與重建技術配合跡証輔助定位，確實有其效果。
4. 與台北交通大隊合作進行夜間事故現場還原重建實驗結果發現，透過本技術可較準確還原肇事車輛與現場標線之相對位置關係。此外，夜間事故現場攝影應注意光線是否充足的問題。

參考文獻

1. 陳文志，「肇場三度空間投影行爲之研究」，成功大學交通管理學系碩士論文，1994。
2. 李宏振，「改良網格測距法以還原事故現場之研究」，中央警察大學交通管理研究所，2001。
3. Hezer, W. G., " Perspective Grid Photography", Imaging Technique in Research and Development, 1985.
4. 王瑩偉、丁國樑，「影響處理應用於肇事現場帶狀區資料的重現」，中華民國運輸學會第七屆論文研討會論文集，1994。
5. Baker, J. S., and Fricke L. B., "Traffic Accident Investigation Manual", Northwestern University Traffic Institute, 1986.
6. 張新立，「提昇行車事故鑑定品質及建立交通事故鑑定師制度之研究」，交通部運輸研究所，2001。
7. 台北市政府警察局交通警察大隊，台北市交通事故處理數位化及資料地理資訊系統建構試辦計畫，2002/8。
8. http://www.cadzone.com/index_crash.htm

(92/11/12 收稿，92/11/28 第一次修改，92/12/05 定稿)