

應用 3D 重建技術還原道路交通事故現場之研究

許峻嘉 董基良

國立中央大學車輛行車事故鑑定研究中心

林志勇

私立龍華科技大學機械工程系

林豐福 張開國 黃明正

交通部運輸研究所 運輸安全組

摘要

道路交通事故發生之後，現場人員倒地位置、車輛最後停止位置、撞擊點位置、地面痕跡以及散落物的位置等，均是由現場處理員警繪製於「道路交通事故現場圖」，提供後續行車事故鑑定以及肇事重建軟體使用。但是由於現場是以皮尺或測距輪進行量測，因此對於較為特殊的道路幾何曲線，如彎道等，常會發生尺寸精度不足的問題。此外，事故現場物證之相對位置量測記錄，常因現場量測資料不足及人員疏失或作業時間有限，導致事後行車事故鑑定上的誤導及困擾。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。若現場處理時間太長，又容易造成道路車流之延滯及干擾。目前國內利用攝影量測還原事故現場的研究多屬學術方面之探討，且均只針對日間交通事故，並未探討夜間交通事故現場還原的問題。因此若能透過事故現場攝影以及標準作業程序，利用 3D 重建技術還原事故現場跡證之相關幾何位置關係，應能解決目前事故現場圖量測繪製的誤差問題

本研究利用現場攝影配合 3D 重建技術，探討拍攝距離、拍攝位置之間夾角以及高低落差拍攝對於 3D 重建的影響及適用性。實驗部分選擇一轉彎路口，並於該處停放一小客車與另一參考物，利用數位相機進行拍攝，選擇三種不同拍攝角度及三種拍攝張數進行探討。同時與台北市政府警察局交通警察大隊合作進行夜間交通事故現場還原測試。

1. 實驗結果發現，拍攝過程應盡量保持距離還原主體相同的距離，拍攝角度以 45° 較佳，但在拍攝過程中對於角度的掌握應盡量保持相同，利用高低落差拍攝時，垂直夾角應大於 30° ，以減少誤差的產生。
2. 本研究針對轉彎路口利用現場攝影進行 3D 現場重建，結果發現在轉彎路口的還原誤差均在 3% 之內。
3. 在夜間交通事故現場還原方面，本研究亦與台北市政府警察局交通警察大隊合作進行測試，實驗結果發現還原誤差亦在 3% 附近。
4. 利用現場攝影配合 3D 重建技術還原後的 3D 現場場景，還可輸出現場處理員警所需之上視圖，不僅可以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。

一、前言

事故現場跡證與四周環境之相關位置關係，如現場人員倒地位置、車輛最後停止位置、撞擊點位置、地面痕跡以及散落物的位置等，均記錄於現場處理員警所繪製的「道路交通事故現場圖」中，但由於事故現場是以皮尺或測距輪進行量測，因此對於較為特殊的道路幾何曲線，如彎道等，常會發生尺寸精度不足的問題。且容易因為人員疏失或是作業時間有限，造成現場量測資料不足，導致事後行車事故鑑定上的誤導及困擾。目前員警所拍攝之照片，主要針對現場遺留跡證進行拍照，但是由於照片多以該跡證為拍攝主體，缺少與周遭環境之相對關係，因此僅能作為記錄之用無法提供現場重建使用，雖然員警仍有拍攝一至二張事故現場之全景照片，但是由於張數不足且所記錄僅為單一方向，仍無法提供充足之現場重建資訊。

二、文獻回顧

運研所 91 年[1]針對事故現場資訊收集部分，提出利用現場攝影方法快速記錄現場狀況，並可藉由 3D 重建技術重建事故現場跡證之相關位置關係。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]提出圖形法，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。Baker[4]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，重返現場利用特殊觀察設備，進行人為比對，精確度高，但耗時、成本高。美國太空總署[5]亦曾利用高度差方式還原直徑 5m 的太空衛星天線外型，其垂直拍攝位置夾角為 33.6° ，水平拍攝位置夾角為 58.5° 。曾招雄等人[6]將事故現場圖所必須繪製之要項，事先撰寫成對話框之方式，存於結合測繪儀器之類似 PDA 的掌上型電腦中，開發出自動繪圖系統。

三、研究方法

1、相機校正

本研究係利用數位相機與 3D 重建軟體 Photomodeler 進行事故現場之重建，使用重建軟體之前必須先進行相機校正。校正方法如圖 1 所示，首先將一長度寬度已知的矩形件(如 A4 紙)固定於牆壁上，利用腳架固定相機高度對準矩形件的中心處並拍攝照片，之後依序輸入相機焦距、矩形件長寬以及相機與矩形件之水平距離，Photomodeler 會自動進行相機校正。

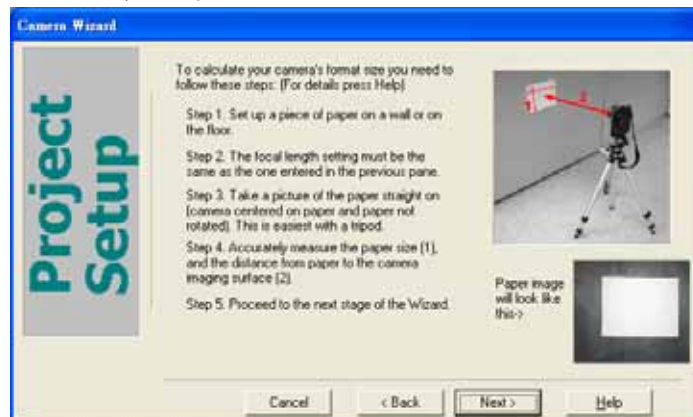


圖 1、相機校正方法

2、實驗方法

本研究將探討環場拍攝時拍攝距離、拍攝位置之間夾角及不同高度落差，對於 3D 重建時的誤差影響。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 2 所示。拍攝距離實驗分為固定與變動二種，拍攝位置夾角為 30° ，拍攝距離分別為 1.5m、3m、4m，各拍攝 12 張照片。拍攝位置之間夾角實驗亦分為固定與變動二種，拍攝距離為 3m，拍攝位置夾角分別為 30° 、 60° 、 90° 。高低落差實驗的拍攝距離為 3m、拍攝位置之間的夾角為 45° ，垂直拍攝高度分別為 1m、1.5m、2m。

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° 、 60° 、 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°)
高低落差	1m、1.5m、2m

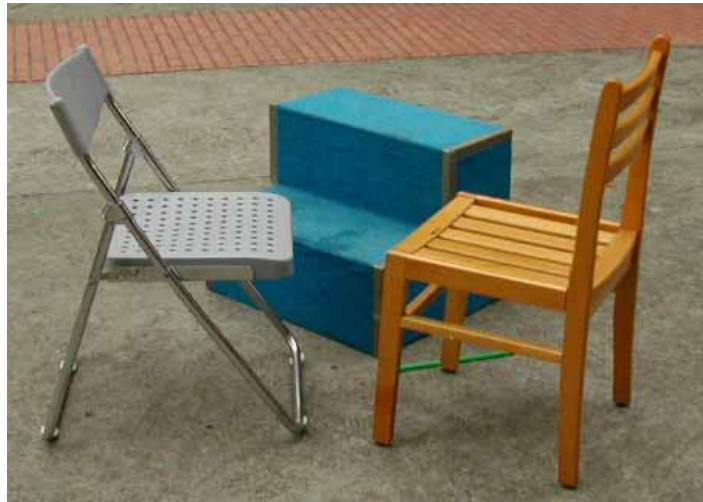


圖 2、實驗主體照片



圖 3、高低落差實驗主體照片

3、實際場地試驗

本研究依據上述關於拍攝距離、拍攝位置之間夾角及不同高度落差的探討結果，先於中央大學機械系館前的道路進行實地拍攝與重建，如圖 4 所示，拍攝位置之間夾角為 45° ，共拍攝三張照片。此外，並與台北市政府警察局交通警察大隊中山分隊合作，於夜間事故現場進行拍攝與重建，如圖 5 所示。



圖 5、中央大學機械系館前道路圖



圖 6、道路交通事故現場夜間照片

四、結果與討論

1、拍攝距離

圖 7 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。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距離還原主體相同的距離，以減少誤差的產生。

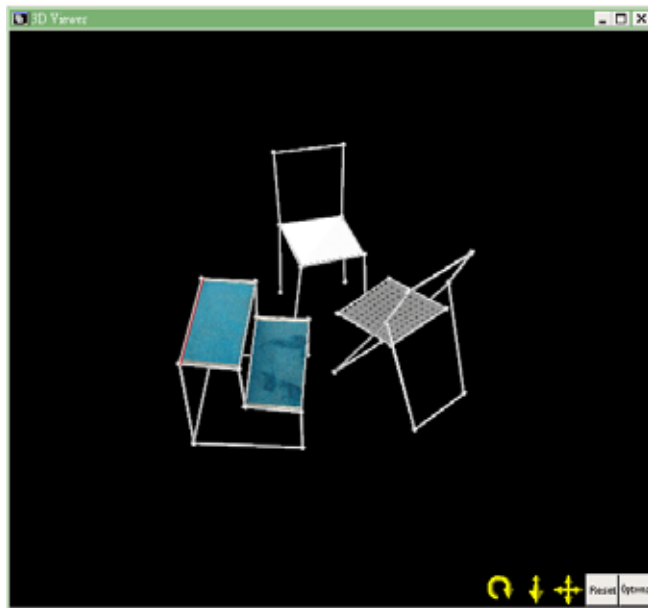


圖 7、還原的幾何外型

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

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

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 90° 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，因此建議選用 45° 作為固定的拍攝夾角。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

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 (%)
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

3、高低落差

圖 8 為高低落差實驗，單一高度拍攝位置之示意圖。圖 9 為單一車輛幾何外型還原結果。由表 6 還原結果發現，當拍攝照片高度落差越大時，且照片張數增加，對於所還原的尺寸會越接近真實物體尺寸；過程中訊息告知部分照片因為拍攝位置所夾的角度過小，容易造成軟體還原計算上錯誤或是誤差較大的情況。此外美國太空總署亦曾利用高度差方式還原太空衛星天線外型，其垂直拍攝位置夾角為 33.6° ，因此利用高低落差拍攝時，垂直夾角應大於 30° ，以減少誤差的產生。

表 6、高低落差還原結果誤差比較表

線段	實際尺寸 (m)	僅單一高度 1m	誤差尺寸 (%)	高度落差 1-1.5m	誤差尺寸 (%)	高度落差 1-2m	誤差尺寸 (%)
1	1.45	1.5	3.45	1.54	6.21	1.5	3.45
3	1.03	0.95	7.77	1.2	16.5	1.12	8.74
5	1.39	1.44	3.6	1.2	13.67	1.26	9.35

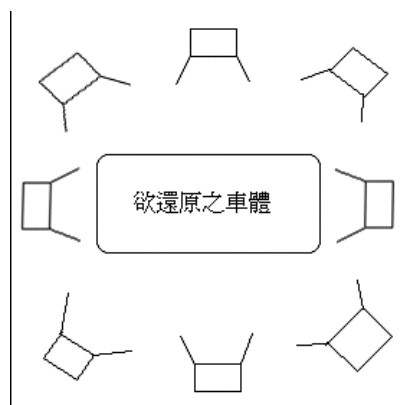


圖 8、單一高度拍攝示意圖

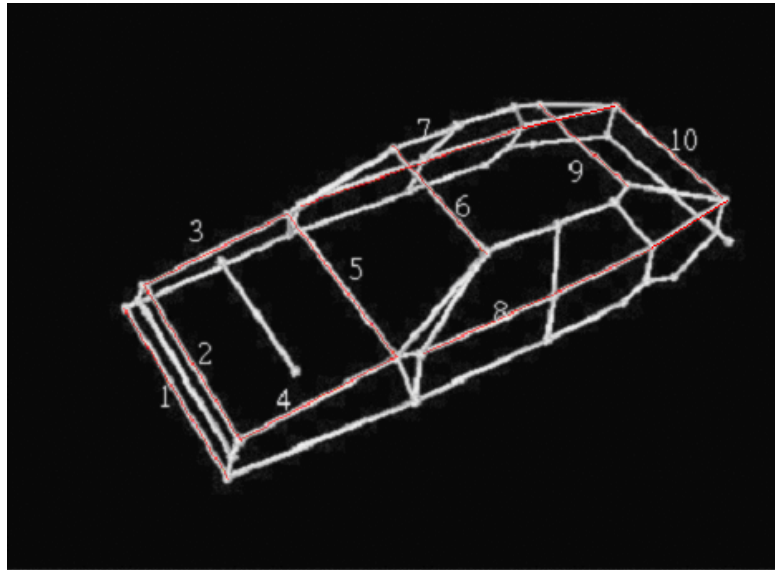


圖 9、單一車輛幾何外型還原結果

4、實際場地試驗

本研究利用數位相機、小型交通錐(跡證標定)以及長 1 公尺的參考件，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 10 為還原結果之鳥瞰圖。由表 8 還原結果誤差比較發現，還原後的尺寸誤差相當小，整體誤差小於 3%。

圖 11 為本研究與台北市政府警察局交通警察大隊中山分隊合作，於實際夜間道路交通事故現場拍攝後還原之現場鳥瞰圖，該事故為一計程車撞到行人之案例，行人在事故發生後已先行送醫，肇事車輛則停留在原地方。事故現場白色標線之寬度為 3m，還原後尺寸為 3.1 公尺，尺寸誤差為 3.3%。

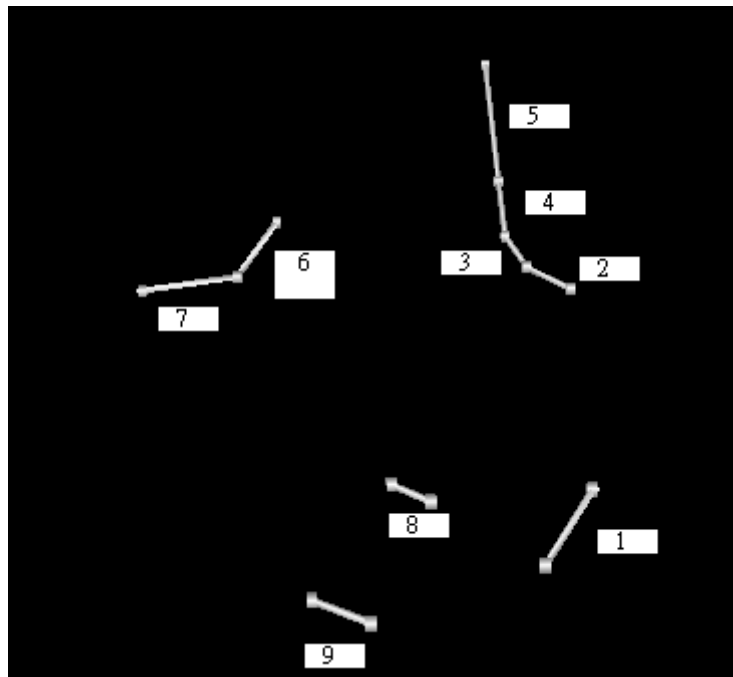


圖 10、中央大學機械系館前道路還原鳥瞰圖

表 8、中央大學機械系館前道路還原結果誤差比較

線段	實際尺寸(m)	還原尺寸(m)	尺寸誤差
1	2.18	2.18	0.00%
2	1.3	1.26	3.08%
3	1.23	1.225	0.41%
4	2.24	2.345	-4.69%
5	5.23	5.375	-2.77%
6	2.21	2.25	-1.81%
7	2.35	2.36	-0.43%
8	0.95	0.935	1.58%
9	1.3	1.29	0.77%

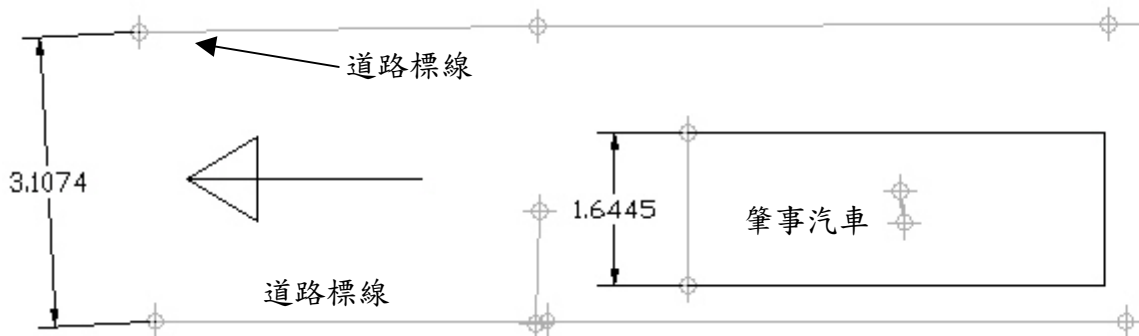


圖 11、道路交通事故夜間現場還原鳥瞰圖

五、結論

由上述實驗結果發現，拍攝過程中與還原主體應盡量保持相同的距離，拍攝角度以 45° 較佳，但是在拍攝過程中拍攝位置之間的夾角，亦應盡量保持相同，此外，利用高低落差拍攝進行還原時，拍攝位置的垂直夾角應大於 30° ，以減少誤差的產生。

本研究針對轉彎路口利用現場攝影進行 3D 現場重建，結果發現在轉彎路口的還原整體誤差均在 3% 之內。在夜間交通事故現場還原方面，本研究亦與台北市政府警察局交通警察大隊合作進行測試，實驗結果發現還原誤差亦在 3% 附近。此外，在進行夜間事故現場攝影時，應注意光線不足的問題，避免照片影像過暗而無法還原。

本研究利用現場攝影配合 3D 重建技術還原後的 3D 現場場景，還可輸出現場處理員警所需之鳥瞰圖，不僅可以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。

六、參考文獻

1. 交通部運輸研究所，肇事鑑定之煞車距離應用與行車速度推估方法之研究，交通部運輸研究所，民國 91 年。
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，民國 90 年。

3. Hezer, W. G., "Perspective Grid Photography," Imaging Technique in Research and Development, 1985.
4. Baker, J. S., and L. B. fricke, "Traffic Accident Investigation Manual ," Northwestern University Traffic Institute, 1986.
5. Richard S. P., Louis R. G., and Jessica M. Q., Photogrammetry of a 5m Inflatable Space Antenna With Consumer Digital Cameras, from <http://www.photodeler.com/>
6. 曾招雄、吳健生、陳繼藩，交通事故現場自動繪圖系統之探討與實作，國際道路交通安全與執法研討會，民國 90 年。