

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 整合影像處理與線型雷射掃瞄技術之鋪面三維輪廓檢測系統開發

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC92-2622-E-002-041-CC3

執行期間：92年12月01日至93年11月30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：周家蓓

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫為提升產業技術及人才培育研究計畫，不提供公開查詢

中 華 民 國 94 年 4 月 7 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 整合影像處理與線型雷射掃瞄技術之鋪面三維輪廓檢測系統開發

計畫編號：NSC92-2622-E002-041-CC3

執行期限：92.12 93.11

主持人：周家蓓 國立台灣大學土木工程學研究所

### 一、中文摘要

目前國內量測鋪面的技術多半仍停留於直規量測階段，除精確度不佳外，量測時往往耗時費力。

本研究利用最新的車轍量測方式概念，將雷射與數位影像技術結合以量測鋪面橫剖面，並嘗試製作原型機以試驗量測系統正確性，以期增進鋪面檢測進行之速率與準確性，提升路網層級之服務水準。

本系統經實際量測後，平均解析度可達 0.85 公釐，且僅有 0.06 之誤差率，相當準確，唯因環境因素不佳而雜訊過多時，可能產生量測失敗之結果。因此，若可增強雷射功率並提高攝影機的性能，將可成功增加車轍量測的準確率。

**關鍵詞：**鋪面檢測、車轍、雷射掃瞄、數位影像處理

### Abstract

In Taiwan, the most common method of measuring pavement is by straightedge. The method is of low accuracy and often takes too much time in measuring. The main objective of this study aims to integrate the technologies of laser and digital image process to measure rutting on pavement. And trying to make a machine integrating technologies above to verify the accuracy of the new

measuring technology. If the technology passes the verification, we could improve the speed and accuracy in measuring rutting.

After the verification, the technology could measure rutting with very high accuracy. However, the technology is strongly affected by the environments. Sometimes the measuring technology may fail under bad environments. It is suggested that improve the power of laser and the functions of the camera to ensure more accuracy of measuring rutting.

Keywords : pavement measuring, rutting, laser scanning, digital image processing

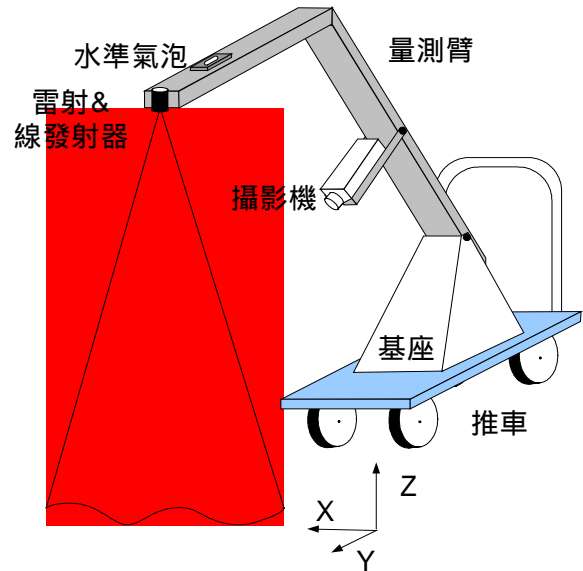
### 二、緣由與目的

由於近年來鋪面鋪築技術已臻成熟階段，國際間對於鋪面功能的需求除要求鋪面的基本承載能力外，也開始將提升與維持鋪面之服務品質及車輛行駛之安全性當成鋪面鋪築的重要目標；因此鋪面管理者對於鋪面服務績效之定期勘查與評估越顯重要。

鋪面服務績效評估包括表面狀況、平坦度、鋪面結構及行車安全等四項，其中表面狀況及平坦度對於用路者與駕駛運具之舒適感具有相當程度之影響。路面如產生縱橫向的表面變形，將造成駕駛者與乘客的不舒適，故行車品質與舒適度皆與鋪面平坦度有關。除此之外，平坦度高低對於鋪面的壽齡有明顯的影響。依研究文獻顯示，若能降低平坦度值 10%，即可增加鋪面使用年限約 5%；若平坦

度值降低 25%，則鋪面壽齡將可提昇 10%~20%[1]。

國內橫剖面檢測仍停留於直規量測階段，或少數利用自動檢測儀器上以多組測距儀架設於前保險桿同時測距方式構建剖面，而這些測量方式皆不若利用雷射掃描器配合影像處理技術量測之方式準確、省力。因此，本研究欲藉台灣大學成功發展縱向平坦儀檢測儀器成功之經驗，配合最新車轍量測方式概念，研究如何將雷射與數位影像技術結合以量測鋪面橫剖面，並嘗試製作原型機以試驗量測系統正確性，以期增進鋪面檢測進行之速率與準確性，提升路網層級之服務水準。

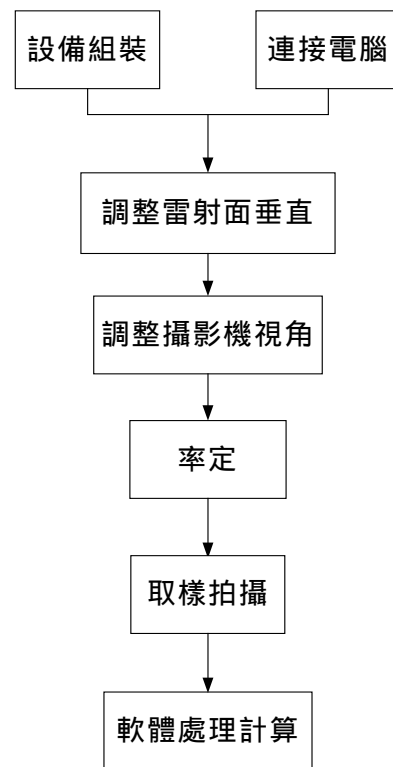


圖一 原型機構造圖

### 三、結果與討論

雷射與數位影像技術結合之原型機構造圖如圖一所示，本研究中的雷射利用波長為650nm(註)之紅光雷射模組作為雷射光產生源，並配與三顆電池串連盒，共4.5福特提供雷射模組電源，前端配合雷射線產生器，將雷射模組發出之點雷射折射成為線雷射而投射於地面，形成鋪面表面橫剖面曲線；攝影機藉IEEE 1394介面與筆記型電腦相接供給電源並傳輸畫面，不需經影像擷取卡即可及時顯示影像並拍攝；攝影機之鏡頭前可裝設濾光鏡片，此濾光鏡片允許通過之波長為 $660\pm 40\text{nm}$ ，亦即620~700nm之各種光波(通常為紅色光)將可通過濾光鏡片進入攝影機感光於CMOS晶片影像上。

本系統架構為靜態車轍量測系統，將雷射與攝影機架設於訂作之鐵製儀器上，底下以推車乘載以具移動能力。本儀器操作流程如圖二所示。



圖二 儀器操作流程圖

在每次進行鋪面量測前必須要先進行系統校正，本研究所採用的校正方法是利用尺規作圖，以「x」作為定位點繪製於全開壁報紙面上，每個「x」中心相距5公分，長邊為

20 個點,短邊為 10 點共 200 點組合而成。率定時將壁報紙貼於平整垂直於地面之桌面,並確定最低之 20 個定位點距離地面皆為 10 公分,以固定定位點位之實際物空間座標,如此即可假設最左下角點空間座標為(0,10),依序往上為 ( 0,15 )、( 0,20 ) ( 0,25)...等,如圖三所示。其後將桌面 200 個定位點接近雷射面,由於此時已將雷射面調整至垂直地面狀態,因此可輕易使整張圖紙落於雷射面中,待一切動作靜止後即利用攝影機拍攝單張影像,並依據 Buiten、Frederic 及 Huang [2]、[3]的研究建議,利用衛星照片及航空拍攝率定的方法,轉換拍攝之二維平面至實際空間中的二維平面,並進行參數率定與驗證 ( validation ) 之工作。帶參數率定完後,即可開始進行鋪面量測。



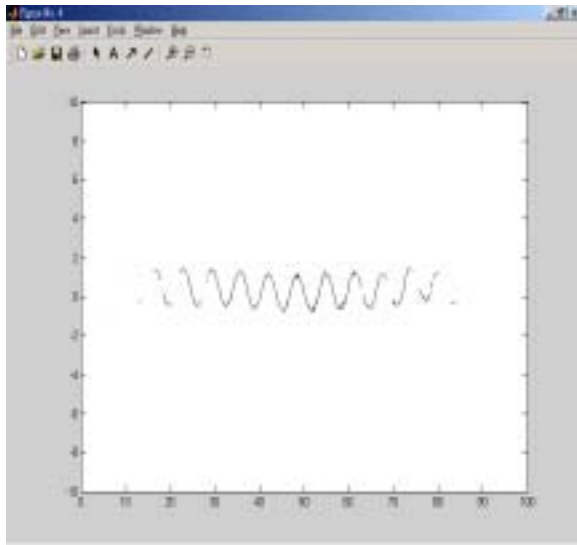
圖三 攝影機所拍攝定位點影像

量測時移動推車於路面欲量測處,待靜止後調整承軸重新維持水平並拍攝影像,再利用程式進行車轍計算之工作。本研究用以計算車轍凹陷量之軟體為 MATLAB,此乃因 MATLAB 具有強大處理矩陣之能力,而數位影像即是利用矩陣進行運算與操作,且

MATLAB 本身亦具備相當完整之影像處理工具,較適合本研究之研究方法。

雷射影像軟體處理之步驟依序為:

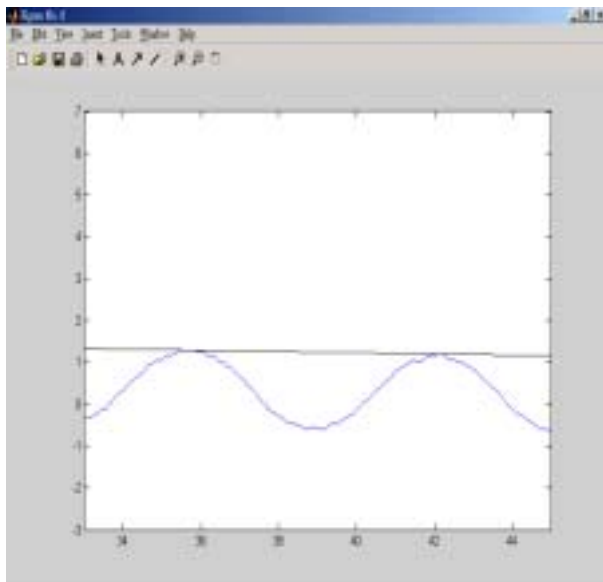
- 1.求取雷射線區域:框訂雷射區域位置,將其餘非雷射區域之影像皆予消除,減少雜訊影響雷射線位置之判讀。
- 2.強化影像對比:藉由加強影像對比,以區隔影像中不同亮度待測物之工作。
- 3.二值化:利用二值化的方式將雷射光以白色光點,其餘背景為黑色點方式呈現。
- 4.濾波:一般影像的濾波之方式,常採取遮照法 (Mask) 來進行濾波。遮照法之使用可依照不同權重進行影像處理,如可利用平滑化濾波 (smoothing spatial filter, 或稱低通濾波 low-pass filter) 以去除影像內不需要之雜訊,亦或是使用銳化濾波 (sharpening spatial filter) 突顯影像中物體之邊界以及亮度變化急遽之部分。
- 5.求取雷射中心線位置:由於雷射線寬度並非只佔有一個 pixel,大部分雷射線寬度約為 4 或 5 個 pixels,因此必須求取雷射光確切中心位置。可利用 ZC Method 假設雷射光源為理想的高斯分佈,以求取雷射中心線位置。
- 6.利用率定公式座標互換:獲得雷射曲線之影像座標後,即可利用前述影像座標與空間座標轉換公式進行座標轉換。圖四為以一班浪板進行影像處理後的結果,可見其圖形與一般所見浪板相似,呈波浪連續起伏分佈。
- 7.計算最大凹陷車轍深度:利用 ASTM E1703 之車轍計算方式,以直線取代直規連接兩波峰上合適之點,再利用點與線距離公式,求取波谷中離此線最遠點之距離,此距離即為所定義之車轍深度。車轍計算示意如圖五所示。



圖四 空間座標雷射線圖

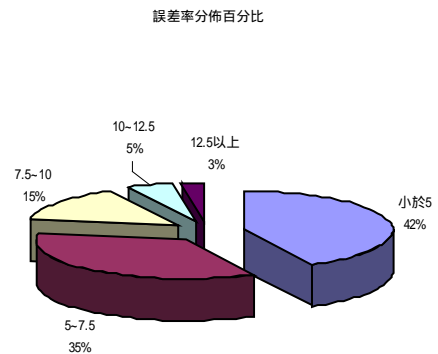
誤差率為百分之六計算則誤差量最大為 0.3 公分，就目前破壞調查之分級規定來看（輕級為 1.25 公分以下、中級為 1.25 公分至 2 公分，重級為 2 公分以上），本儀器之精度在分析車轍不同等級之功能上符合取代人工調查之構想。

由圖七可觀之，誤差率低於百分之十 的部分，約佔全部 47%，所有量測結果之平均為 9.7%，結果皆較實驗室不理想，而誤差率大於 12.5% 之部分所佔比率为 40%，其中有高達 39.6 與 28.7 之誤差量，加上另外 5 個無法判讀之個案，可見非實驗室所能控制之環境因素對於雷射光判斷之影響相當巨大。

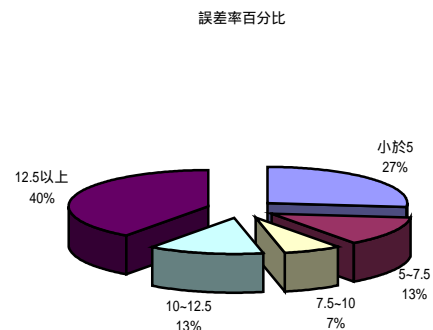


圖五 車轍深度計算示意圖

進行同一地點之人工量測與儀器量測之結果比較(單位為公分), 誤差率為儀器量測值減去人工量測值之差值並除以人工量測值之結果, 以百分比表示; 圖六及圖七分別為在實驗室量測及在室外鋪面量測之誤差百分比圖。由圖六中可發現，誤差率低於百分之十的機率为 92%，平均誤差率为百分之六。一般車轍量通常為 0 至 5 公分範圍內變動，以



圖六 實驗室量測誤差率百分比圖



圖七 鋪面量測誤差率百分比圖

室外的環境因素對於本研究所研發之儀器產生影響的可能原因如下：

1. 當拍攝位置處於路燈下時，路燈光波中的部分紅色波長之光線可能進入影像中形成雜訊，而雷射線邊緣部分因光強度較弱而與雜訊灰度相若，因此在影像處理時將無法輕易利用閾值進行分離，經常因為消除雜訊而失去雷射光影像，或為保留雷射影像而留下雜訊，因而影響判讀結果。
2. 在量測點附近的部份物體，如人手孔與電信箱蓋等，可能將街燈光線反射進入影像中，使得軟體判讀時誤將反光之金屬認為雷射而斷定位置，而捨去雷射光的部分，導致判讀失敗之情形產生。

本研究經架構儀器與實際量測後，可了解雷射與影像處理技術之結合，確可獲得實際鋪面之橫剖面量，但精確與否則必須取決於雷射亮度、波長、攝影機性能以及率定之方式，因此本研究之建議如下。

1. 本研究利用目前市售功率最強的雷射（9mW）進行實驗，仍受環境因素影響而導致攝影機取樣時影像雜訊無法消除之結果，影響了量測之準確性與真實性。建議未來可採用其它特製較強功率的雷射來進行測量，或利用不可見光之雷射，配合感光方式不同之攝影機並加裝該波長之濾光鏡片如此應可大幅降低其它可見光源產生之雜訊，甚而可能可於陽光中進行檢測。
2. 攝影機之性能與率定之方式亦為本量測方式準確度之關鍵，攝影機必須選取內方位參數穩定、且具有大數量總像素之攝影機，配合鏡頭與固定焦距之量測方式，以獲得最佳之準確度，本研究所使用之總像素為 1280x960pixels，配合二維平面對二維平面率定之轉換公式，可獲得 0.68 公釐之

誤差量，以及 0.85 公釐之單位誤差量，對於車轍嚴重等級區分標準（以 1.25 公分與 2 公分區隔為三類級），已可輕易的鑑別，若欲求更佳之精度，則可選擇使用攝影機之總像素更多之機種，或縮短攝影機與雷射之距離，如此雖減少可量測之寬度，但卻可增加準確度之表現。

3. 攝影機與雷射架設位置並非具有固定模式，可選擇如本儀器般垂直投射雷射線而使攝影機具有角度拍攝，或擺置攝影機於固定高度垂直向下拍攝，配合具有角度之雷射投射亦可，然第二類之選擇必須預先測得雷射平面與垂直方向夾角，藉以將放大之車轍量補償還原為實際大小。而攝影機與雷射兩者相關位置必須具固定裝置，進行率定後將不可任意改變此二者間角度與位置，以確保影像座標轉換實際座標之準確性。

註：雷射光之頻率須大於攝影機拍攝時所使用之頻率，以減少攝影機漏拍之情形。

#### 四、參考文獻

1. "Public Roads," FHWA, U.S. Department of Transportation, Sep.-Oct., 2002.
2. Y.H.Huang, "Pavement Analysis and Design," Prentice-Hall Inc, 1993.
3. C.A.Lenngren, "Some Approaches in Treating Automatically Collected Data on Rutting," TRR 1196, pp.20~26, 1998.
4. H.Taura, W.P.Kilareski, M.Ohama, "Field Survey Equipment and Data Analysis for Highway Rehabilitation Planning" TRR 1196, pp.27~39, 1998.
5. "Standard Test Method for Measuring Rut-Depth of Pavement Surface Using a Straightedge", ASTM E1703/E1703M-95, 2000.

- 6.交通部運輸研究所,「市區道路鋪面養護管理系統建立之研究」,民國八十二年。
- 7.吳惠正,「自動化路面分析儀操度與車轍子系統之評估研究」,淡江大學碩士論文,民國九十年一月。
- 8.侯羿、周家蓓、劉明仁,「中山高速公路路面養護管理系統電腦實務應用」,期末報告,交通部台灣區國道高速公路局,中華民國八十六年十二月。
- 9.James B.DuBose,“Comparison of the South Dakota Road Profiler with Other Rut Measurement Method”, TRR 1311, pp.1~6, 1991.
- 10.Roadware Group:  
<http://www.roadware.com/>
- 11.<http://www.dynatest.com>
- 12.<http://www.ino.ca/>
- 13.Toshihiko Fukuhara, Keiji Terada, Makoto Nagago, Atsushi Kasahara, Shigeki Ichihashi, “Automatic. Pavement-Distress-Survey System”, Journal of Transportation Engineering, Vol. 116, No. 3, 1990.
- 14.<http://www.lcpc.fr/>
- 15.<http://www.tech.center.or.jp/>
- 16.Rafael C.Gonzales, Richard E.Woods, “Digital Image Processing” 2nd Edition, 2001.
- 17.張振龍,「360度立體快速量測系統與寬頻之應用」,台灣大學碩士論文,民國九十年。
- 18.王彰群,「自製影像式量測儀之自動化研究」,交通大學碩士論文,民國九十年。
- 19.廖子凱,「影像處理應用於鋪面破壞辨識之研究」,台灣大學碩士論文,民國八十三年六月。
- 20.陳文志,「影像 3D 空間座標定位系統之研發」,中央大學碩士論文,中華民國八十九年七月。
- 21.<http://elearning.stut.edu.tw/>
- 22.劉寶信,「電子裝構三維尺寸雷射量測」,成功大學碩士論文,中華民國九十二年六月。
- 23.<http://www.digital.idv.tw/>
- 24.龔健彬、史天元,「Kodak DCS210 數位相機量測特性探討」,航測及遙測學刊,5(4), 頁 39~54, 民國八十九年。
- 25.何維信,「航空攝影測量學」,民國八十四年。
- 26.劉虹好,「數位相機率定之自動化」,成功大學碩士論文,民國八十九年六月。
- 27.Buiten,H.j, “Land observation by remote sensing: Theory and applications”, pp.297~321, 1997.
- 28.Frederic Darboux, Chi-hua Huang, “An Instantaneous-Profile Laser Scanner to Measure Soil Surface Microtopography”, Soil Science Society of America journal, Vol. 67, pp.92~99, 2003







