

提升液態透鏡共焦模組之形貌掃描速度

一連續式三角波同步驅動搭配資料擷取裝置

Improving the Topography Scanning Speed of the Liquid Lens Confocal Module Based on Continuous Triangular Wave Synchronous Drive with Data Acquisition Device

呂國豪、盧柏榕、劉兆峰、鄭璧瑩、翁俊仁

Guo-Hao Lu, Bo-Rong Lu, Chao-Feng Liu, Pi-Ying Cheng, Chun-Jen Weng

本研究為將液態透鏡的連續式變焦技術整合於共焦測距系統上，發展待測物曲面形貌量測系統。實驗使用三角波驅動模式搭配 DAQ 連續接收模式用於資料擷取，本研究設計 DAQ 操控程序為自啟動後可以連續掃描擷取一整列的待測點資料，搭配程式的訊號分析演算法來提升連續多點的量測速度。在 20 Hz 的三角波驅動下，可以達到每點 50 ms 的量測速率，此方式達成 5.8 倍速度的提升，未來將三角波頻率提升，液態透鏡變焦頻率能有大幅提升速度。以此量測系統搭配二維移動載物平台對標準階梯鋁塊做形貌掃描。本研究的實驗數據顯示經過量測速率與精度改善後，應用液態透鏡搭配共焦量測系統可明顯提高量測速度。

The study proposed and applied the innovative confocal optical technique with liquid lens on confocal displacement sensor system. The study proposed the continuously scanning method by using analog triangle mode assisted by DAQ system. Measuring the data of multiple points based on LabVIEW improves the scanning speed while using 20 Hz triangle driving current with this method. The scan speed could reach near 50 ms per scan point, which increases 5.8 times in speed compared with former method. Based on the above method, the topography scanning of standard stepped aluminum blocks was carried out with a two-dimensional mobile platform. The evaluated results demonstrate the improved and practical performance of the confocal displacement sensor system with liquid lens.

一、前言

一般的共焦位移感測器運作方式為，探測光通過透鏡及物鏡並到達待測物表面，進行共焦量測，但此種方式的焦距是固定的，所以必須透過馬達調整待測物與物鏡相對的 Z 軸距離，才能偵測光通過的強弱數值，並分析待測物表面的相對高度⁽¹⁾，而本研究所使用的系統可以透過液態透鏡取代 Z 軸的馬達，透過輸入至液態透鏡的電流，調整範圍為 0—290 mA，焦距會不斷的改變，其電流增量的最小值為 0.1mA，如圖 1 為液態透鏡不同電流變形示意圖，接著蒐集反射光能量的數值並分析，透過這種方式，只要在量測範圍內，即使不用移動 Z 軸平台也可以達到測量距離的目的⁽²⁻⁴⁾。本系統使用 Optotune 公司的液態透鏡⁽⁵⁾，經由驅動電路 USB 介面選擇的電流值來控制液態透鏡的光曲度，工作原理為驅動電流經過電磁驅動器會轉為磁力使磁鐵擠壓內部的液體至透鏡端，以達到不同的驅動電流改變透鏡的曲率及形狀。驅動的電流越大液態透鏡的曲度越大，其焦距越短，驅動電流越小則聚焦的焦距越長。液態透鏡的驅動模式有三種選擇方式，分別為電流、光焦度以及類比電流波形去驅動液態透鏡，在類比電流波型的驅動上可以選擇弦波、三角波與方波，其輸出頻率最大可達到 1000 Hz，內部可同時產生同步輸出的方波信號，藉此訊號可以達成接收端資料擷取的時間與驅動波型的起始點同步。透鏡內部有 SE97B 溫度感測晶片可提供即時的溫度回授，由於溫度是影響液態透鏡曲度的重要因素，本實驗在掃描待測物中會記錄液態透鏡的溫度狀況並盡量使操作過程中溫度控制於恆溫狀態。

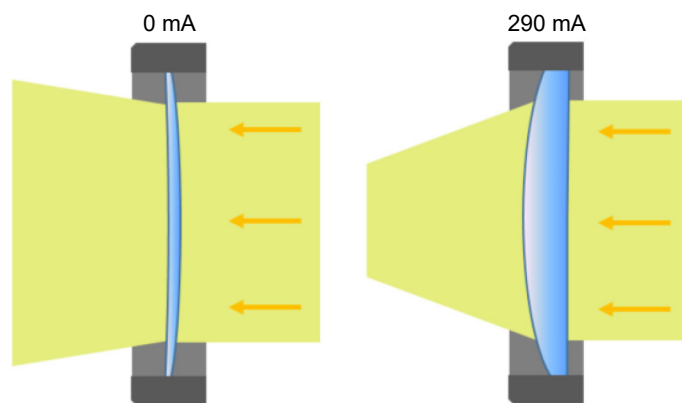


圖 1. 液態透鏡不同電流變形示意圖。

雷射共焦利用雷射光源搭配光學針孔光圈進行空間濾波消除雜訊，過濾掉非焦點上反射回來的光，只有聚焦光能通過，再搭配量測光強度的儀器分析反射光能量的強度，尋找反射能量曲線之峰值位置，藉此就可以判斷位於聚焦平面上的物體距離，即軸向之 Z 軸位置，通常會搭配 XYZ 三軸的移動配合而成為一個非接觸式表面形貌掃描的系統⁽⁶⁻⁸⁾；光學針孔光圈是此項技術的一個重要元件，光圈或狹縫愈狹窄則系統的精準度愈高。本實驗量測系統使用雷射共焦來進行測距的量測，搭配液態透鏡快速變焦的特性來進行共焦測距的形貌量測。

該研究團隊在前期研究中已有架設雷射共焦掃描測距系統的初步成果⁽¹²⁾，本研究增加 DAQ 為資料擷取接收器來提升掃描速度，研究中使用類比三角波電流模式來驅動液態透

鏡，掃描的流程上使用 DAQ 為資料接收器來等待觸發的方波然後開始接收反射能量的訊號，掃描一個量測點便關閉 DAQ，再由移動平台移動至下一個量測點再做下一次的量測，此掃描方法在 20 Hz 三角波驅動掃描下平均單點量測時間為 290 ms，以此方法量測標準微型階梯鋁塊。以原本系統搭配 DAQ 接收觸發做掃描的量測方法以量測 1 千個點為例子需要 2 分鐘多的時間，速度上並不快，因此本研究則希望能在掃描速度上再進一步的提升⁽⁹⁻¹⁰⁾。使用 DAQ 同步觸發做量測在以往的方式上掃描一系列的點量測上需要開關 DAQ 程式好幾次，本研究構想加強了硬體與軟體之間的配合提出新的資料擷取方式，藉由改良 DAQ 的控制軟體只需啟動一次就能連續掃描多點的方式來使得量測速率提升，藉此達成多點的共焦反饋訊號的量測。本實驗量測以 DAQ 連續多點量測方法量測一維的標準微型階梯鋁塊並與實際尺寸做比較，再來做二維的量測觀察其整體外形。本研究研發創新的量測方法，以此方法去實際量測待測物，以提升速度的目標為前提下，同時也進行精確度的分析與改善訊號對應偏差的問題。

二、系統架設與量測原理

圖 2 為本實驗之連續多點量測系統架構示意圖，實驗架構使用單模分光光纖為光的傳輸元件，實驗中選擇單波長雷射光源導入分光光纖中 Port 1，單波長雷射光會從分光光纖 Port 2 導出並經過液態透鏡和物鏡將光聚焦於待測物表面，聚焦於待測物的單波長雷射光會依原路徑返回分光光纖並從 Port 1 與 Port 3 導出，Port 3 導出的光透過能量量測儀進行偵測，並搭配接收器 DAQ 接收觸發訊號再進行量測，量測的驅動模式選擇類比三角波電流驅動模式。為了提高單點的量測速率，實驗選用同步觸發的方式來使得速度提升，首先在液態透鏡方面它的控制器可以使用類比訊號使得透鏡做出不同電流波形的連續驅動，分別有弦波、三角波的電流波形驅動方式。程式端上可以輸入此驅動波形的種類、頻率以及最大驅動的電流值與最小驅動電流值，接下來就可以由電腦下達命令使其作出不同頻率下不同波型的電流驅動。

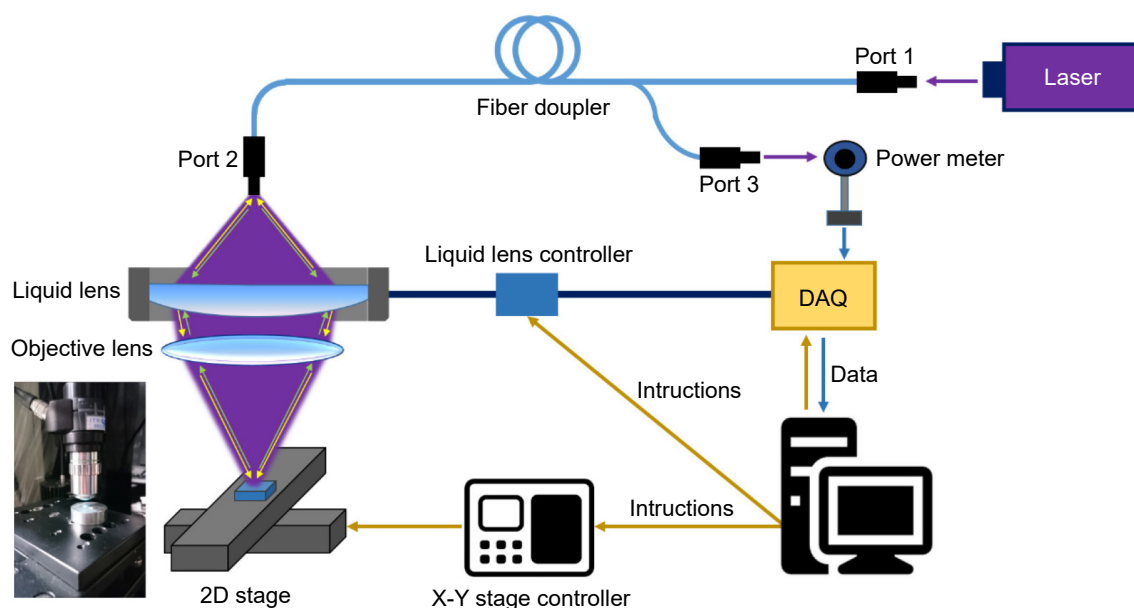


圖 2. 連續多點量測系統架構示意圖。

實驗架構以 DAQ 為接收方，當 DAQ 接收到了同步訊號時 (如下圖 3 所示)，DAQ 才會開始擷取資料。而同步訊號的來源來自液態透鏡的控制器，會同步送出方波信號告知 DAQ 作為觸發時間。如此一來，在 DAQ 的擷取上便可辨別出頻率的週期並進行多週期區間的資料擷取。

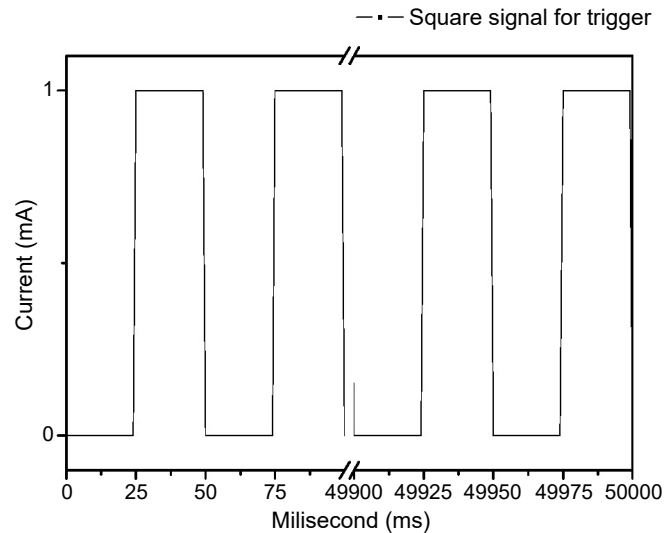


圖 3. 驅動器輸出 20 Hz 同步方波訊號給 DAQ 做觸發開始擷取資料 (程式模擬數據)。

在同步方波的選擇上可以選擇正緣觸發或者負緣觸發做同步訊號。本實驗使用三角波電流驅動搭配負緣觸發作同步訊號，示意圖如圖 3 與圖 4 所示，訊號的一個負緣是指數位訊號從高準位向低準位的轉變，當接入的時脈訊號由高準位向低準位轉變時，正反器電路被觸發，此訊號的意思是驅動器會在類比驅動電流的波峰出現時送出方波的高值 (電流值為「1」) 告知接收器做資料接收。由於負緣觸發做同步訊號的關係，驅動電流是由大驅動到小，因此對應焦距的量測變化是從近到遠。液態透鏡的類比電流控制頻率可達 1000 Hz，然而經由實驗發現當頻率越高的時候，DAQ 擷取資料的共焦訊號其半高弦寬會變寬，波型會變得不對稱。本研究的實驗選用 20 Hz 的類比三角波電流驅動模式來做掃描量測。

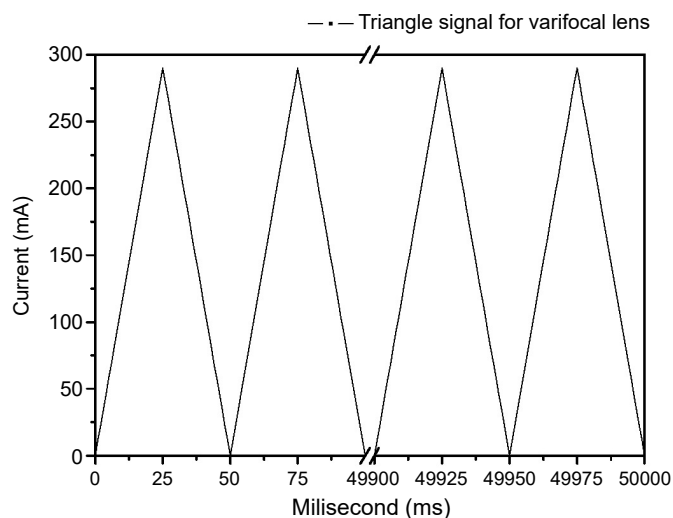


圖 4. 驅動器驅動液態透鏡 20 Hz 三角波類比電流 (程式模擬數據)。

本研究設計了 DAQ 連續多點量測的方法，使用 20 Hz 三角波電流驅動搭配 DAQ 接收方波訊號的觸發來進行量測，圖 3 至圖 7 為此量測方法與 20 Hz 三角波驅動下各個硬體的響應訊號示意圖。圖 3 與圖 4 為液態透鏡的控制器同時輸出同步方波訊號給 DAQ 以及 20 Hz 三角波電流驅動波型給液態透鏡，圖 5 表示 DAQ 接收方波的觸發那一刻便開始接收資料。圖 6 為移動平台的移動情形，本方法藉由資料的分析上只需要每個三角驅動波訊號周期的前半週期訊號 (對應驅動電流 290–0 mA)，因此設計在後半個週期的時間內給移動平台來做移動，藉此來達成速度的提升。實測結果在一列的掃描中以 20 Hz 的三角波電流驅動下每一點的掃描時間平均為 50 多 ms。一系列掃描完成後，待 Y 軸的移動平台移至下一點再重複上述過程進行下一列的掃描。圖 7 表示 DAQ 開啟擷取到的共焦訊號對應示意圖。

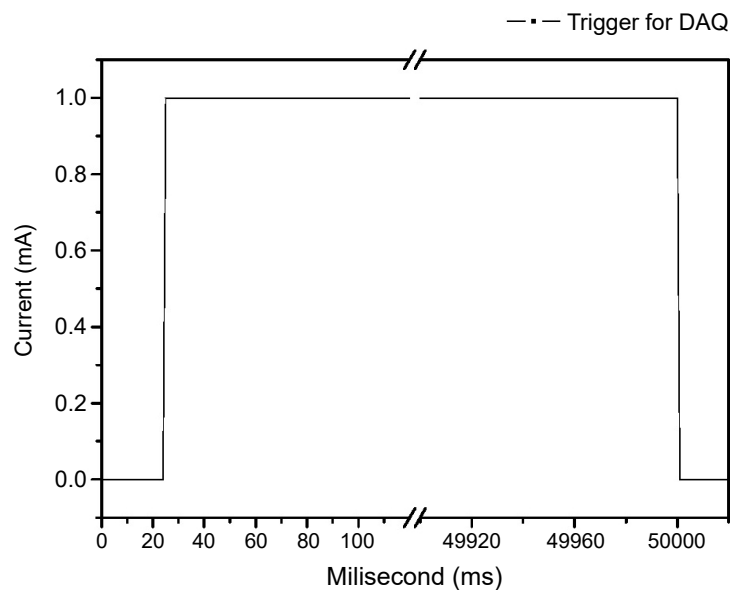


圖 5. DAQ 接收觸發訊號後開始做資料擷取 (程式模擬數據)。

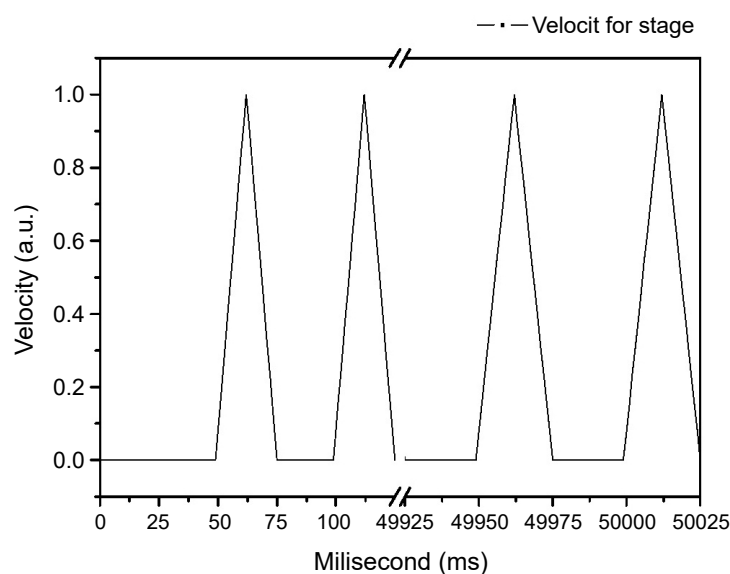


圖 6. 移動平台於對應時間做出移動 (程式模擬數據)。

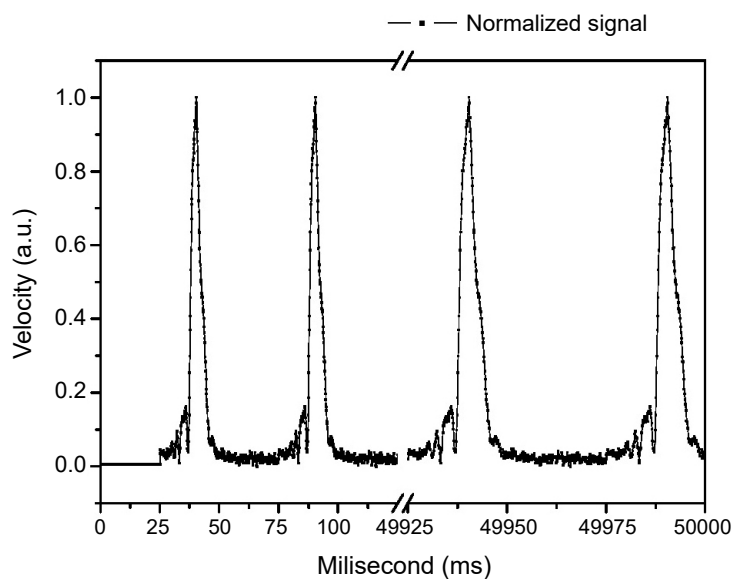


圖 7. DAQ 開啟擷取到的共焦訊號 (程式模擬數據)。

表 1 為 DAQ 連續多點測距系統的輸入參數與說明，在液態透鏡方面，選擇以 20 Hz 三角波電流驅動來做掃描，實驗在 DAQ 選擇上選擇每秒擷取 10 萬筆資料做解析，此代表每 50 ms (三角波的一個週期) DAQ 會以 5,000 筆資料來做解析，DAQ 還有一個參數為輸出資料數其代表 DAQ 擷取多少筆資料後再輸出給電腦，以掃描一列 100 個點為例，在 DAQ 參數上需設定擷取 5,000 筆資料乘以 100 點等於 50 萬筆資料，此方式以 5,000 筆資料來解析每一個量測點，等待一列的數值都擷取完畢後再傳輸資料給電腦進行數值運算找到每一個量測點的共焦對應訊號。由於 DAQ 以 5,000 筆資料來解析一個三角波電流週期 (290 mA – 0 mA – 290 mA)，因此共焦對應訊號的表示法為 0–5,000 index，由於訊號上只要取驅動電流 290 mA 至 0 mA 的這一段，因此只要分析 0–2,500 index 這區間的共焦訊號即可，此段時間的長度為 25 ms。在移動平台的部分，由於我們使用 20 Hz 的驅動波，表示一個周期為 50 ms，搭配 DAQ 使用負緣觸發的方式只要 25 ms 就可以擷取到透鏡的驅動電流為 290 mA 到 0 mA 的量測資料，藉由此條件讓移動平台在每個量測點的前 25 ms 保持靜止讓 DAQ 進

表 1. DAQ 連續多點測距方法的參數輸入。

硬體	參數輸入
液態透鏡	1. 選擇類比三角波電流驅動模式 2. 選擇驅動頻率為 20 Hz 3. 選擇三角波電流驅動最大電流為 290 mA，最小電流為 0 mA
DAQ	1. 選擇每秒擷取資料點頻率：選擇每秒取 10 萬點 2. 選 總共接收多少筆資料再送給電腦：選擇 5000 筆乘上一列的量測點數 3. 選擇負緣觸發做為接收資料的開端
移動平臺	1. 選擇 X 行程要量測幾點 2. 選擇 Y 行程要量測幾點 3. 選擇 X 行程每步移動距離 4. 選擇 Y 行程每步移動距離

行資料上的擷取，在每個量測點的後 25 ms 進行移動至下一個量測點 (圖 6 所示)，以此達成 DAQ 於一系列多點的連續量測，也由於這個方式，可以省去移動平台在原本方式上要花費額外的時間去做移動，因此達成量測速度上的提升。

1. LabVIEW 程式之儀器自動化控制

此掃描方法在程式端上使用 Queue (佇列) 的語法改良系統的掃描速度，Queue 可以讓接收到的資料在程式端中以另一個迴圈來做資料處理，可以使得實驗於一邊掃描的當下同時進行資料處理，藉由此特性，程式讓 DAQ 量測完一整列的點資料後，緊接著繼續量取新的一列，原本掃描列上量出來的資料就送進 Queue 以另一個迴圈做運算處理來算出對應點的共焦訊號。因此達成掃描與資料處理的時間不衝突。圖 8 為 DAQ 連續多點量測方法的流程圖，實驗前先設定好相關參數，實驗開始後 DAQ 的量測會以掃描一系列的點為一次的循環，直到掃描的列數滿足條件才會結束程式。

由於此量測方法為 DAQ 開啟一次便開始量測整列點的效果，因此不會有每點掃描都需要開關 DAQ 而有額外時間的問題，設計上把移動平台的移動時間涵蓋於 DAQ 的量測時間內因此不用額外等待移動平台移動的時間，再搭配 Queue 語法做運算，因此改良後的量測速度獲得提升。以 20 Hz 三角波電流驅動做掃描來看，改良前的量測方法每點量測平均需要 290 ms 的時間，改良後的量測的方法平均每點量測時間可達 50 多 ms。

使用 DAQ 連續多點量測方法可讓掃描速度有效提升，但在研發的過程中遇到了以下問題，一為 DAQ 最大擷取資料量有極限因此不可以單列擷取太多筆資料，二為 DAQ 是把整列的資料都做擷取，因此後續的資料處理上如何取得對應的共焦訊號會是程式端上演算法要解決的問題，三為實驗發現此量測方法在共焦訊號的表現上會有對應偏差的問題需要解決。

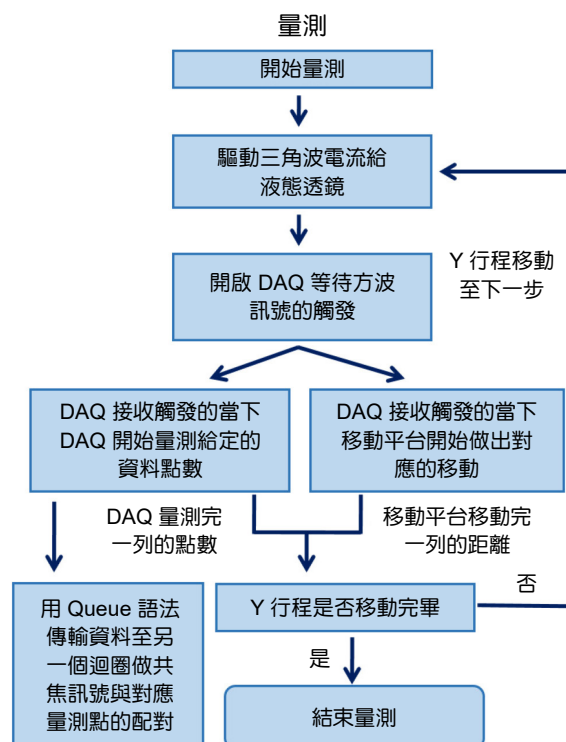


圖 8. 連續多點量測方法的量測流程圖。

2. 本系統量測方法的距離曲線

實驗對 DAQ 連續多點量測方法做距離曲線實驗，由於 DAQ 只開啟一次就可以做多個量測點的資料擷取，除了第一個量測點外，其他的量測點會有訊號對應偏差。此距離實驗選用鏡子為待測物在同個位置上使用 DAQ 連續量測的方法一次量測 11 次，代表量測了 11 個週期的資料，把 11 個週期的資料去除第一個周期後把剩下的週期資料做累加，累加的資料為第 2 個周期到第 11 個週期，裡頭的 10 個週期的共焦對應訊號值會有相對於初始的對應偏差值，再把這 10 個對應偏差值扣回去，再做平均，最後得出該位置的共焦對應訊號，對應偏差值的選用上以下圖 9 在控溫下待測物維持同一高度時做重複量測 1,500 次的量測實驗，Sample times 為累積重複的量測次數，得出量測 1,500 點的時候訊號對應偏移會來到 160 index，以此來算每多量測一點，共焦對應訊號會偏移 0.107 index，以此當作 20 Hz 三角波驅動模式下的共焦訊號對應偏差值。確立好實驗方法後，進行同樣的實驗步驟，首先把待測物移至共焦對應訊號為 267 index 的位置 (近端) 由此量測來記錄共焦對應訊號位置後，再移動待測物往遠端移動 20 微米，20 微米為此次量測待測物 XY 軸的解析度，再掃描一次得出下個位置的共焦對應訊號值，以此類推直到共焦訊號的峰值消失為止，過程中共量測了 51 個點，得出 20 倍物鏡與 20 Hz 三角波電流驅動下搭配 DAQ 連續多點量測方法的可量測距離範圍為 1.02 毫米，實驗得出的資料點為下圖 10 的黑色線，紅色線為其 2 次方的擬合線。

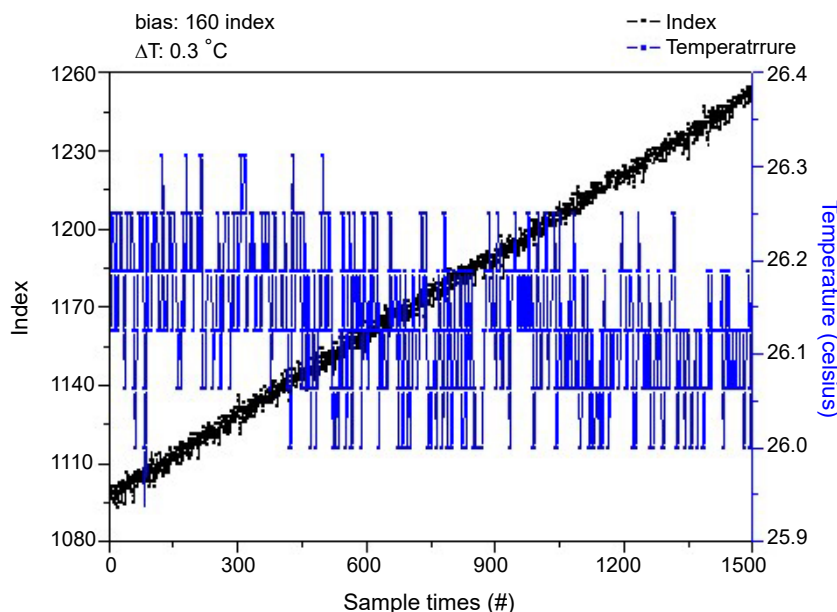


圖 9. 控溫下 DAQ 連續多點量測方法於原點量測下的共焦反饋訊號對應偏差表現情形。

把得出的距離曲線 (圖中黑色線) 做二次的曲線擬合得出其方程式為：

$$y = 0.000046125 x^2 - 0.55217 x + 1116.2$$

y 為對應位置，單位為 μm ； x 為對應的 index

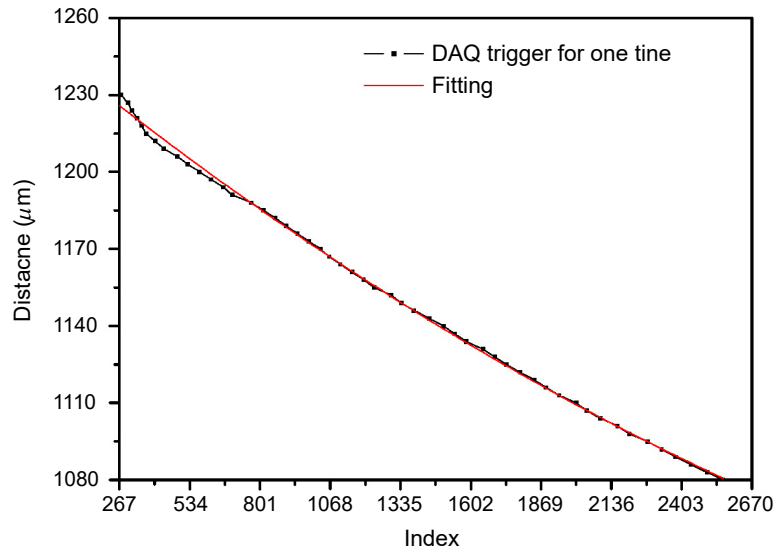


圖 10. DAQ 連續多點量測方法的距離曲線與擬合線。

三、實驗結果與討論

1. 標準階梯鋁塊的量測

此實驗所量測的待測物為一個委外製造的標準微型階梯鋁塊，如圖 11 所示，其右半邊的階梯總和高度比左半邊的階梯總和高度來得高，右半邊總共有 10 階階梯，每階階梯的高度為 100 微米，每階的寬度間隔為 0.5 毫米。左半邊的階梯共有 10 階階梯，其尺寸前五階高度間隔為 80 微米，後五階為 50 微米，每階的寬度間隔為 0.5 毫米。實驗將此階梯鋁塊搭載在一個二維移動平台，藉由移動平台於垂直量測方向進行平面的移動，此量測系統使用 20 倍物鏡以及 20 Hz 的三角波驅動電流搭配 DAQ 連續多點量測方法來進行掃描，並研究量測過程中需要持續改進的地方。

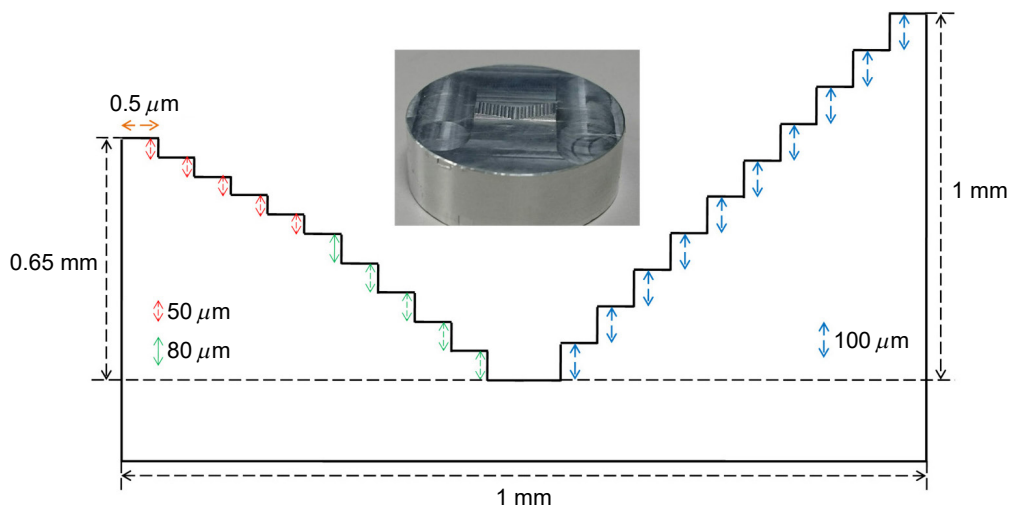


圖 11. 標準微型階梯鋁塊待測物。

量測起始位置由待測物兩種階梯中的最低點開始量測，量測方向朝向高階 100 微米方向移動，實驗掃描使用 DAQ 連續多點量測的方法，因此本身的共焦訊號會隨著量測點數的遞增而產生對應偏差，因此資料需要進行第二部分的資料校正，校正訊號對應偏差的資料以圖 9 顯示來看在定溫的狀況下每量測 1,500 點，其共焦反饋訊號的偏移會遞增 160 個 index，以此偏移值來做補償訊號偏差。下面以掃描階梯鋁塊的矮邊為例子，下圖 12 為掃描結果與沒校正的資料作比較可以看出校正後的共焦訊號值隨著量測點的數量增加有遞減的差值產生，把校正完的資料帶入距離曲線換算成對應距離可以得出圖 13。

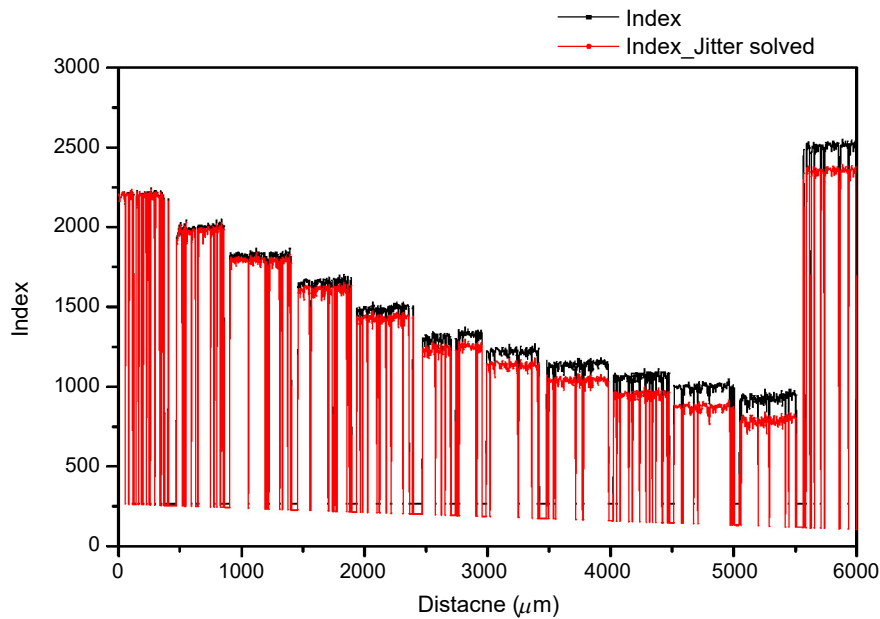


圖 12. 標準微階梯鋁塊的掃描原始共焦反饋訊號(黑色圖)與校正後的資料(紅色圖)比較。

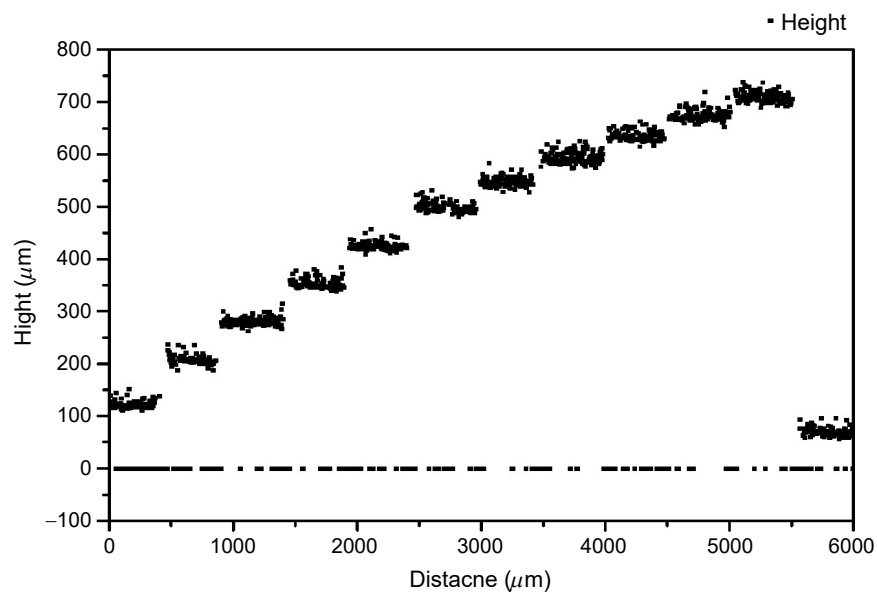


圖 13. 對應距離曲線換算後的掃描結果。

確立好訊號對應偏差值與的補償方法後，實驗正式量測標準階梯鋁塊進行一維掃描，目的為了量測出鋁塊的高度分布圖，並實際與鋁塊的尺寸做比較，觀察 DAQ 連續多點量測方式是否能在提高量測速度下擁有一定的準確度。此次掃描在 X 軸方向掃描 9 段，每一段為 X 軸方向移動平臺每次移動 1 微米，移動 1,500 步，9 段的掃描總共量測 13,500 個量測點，總量測距離為 13.5 微米。掃描後經由校正並帶入距離公式後，再把 9 段的量測數據接合在一起，其結果如圖 14 所示，可以看出量測的資料點與鋁塊的高低 (紅色線) 有明顯重合，代表此量測方式確實能有效解析物體表面形貌的相對高低位置，然而在同個高度水平的階梯上可以量測高度有著將近 50 微米的浮動情形，這部分原因有兩種可能，一為工件本身的表面粗糙度，二為本量測系統的自然誤差範圍。

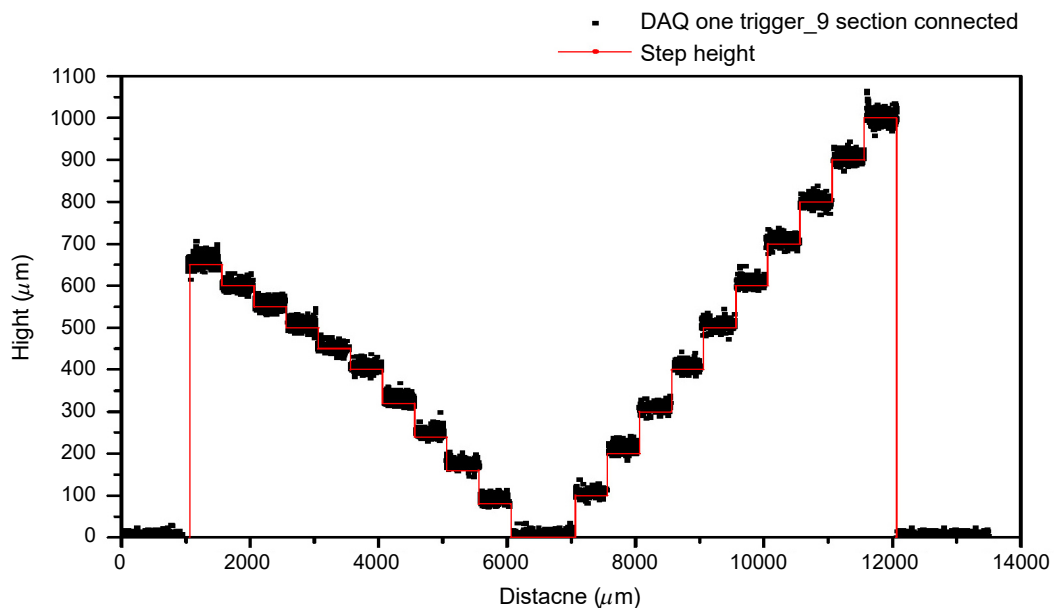


圖 14. 標準微型階梯鋁塊的掃描結果與實際尺寸 (紅色圖) 做比較。

最後實驗以 DAQ 連續多點量測方式來做階梯鋁塊表面的形貌掃描，實驗數據如圖 15 所示，階梯鋁塊的長邊為 11 毫米，短邊為 3.7 毫米，實驗掃描矩形範圍為長邊 15 毫米，短邊為 5 毫米，藉此掃描來掃描出整體的輪廓。參數選擇在 X 軸的掃描上選定量測 3,000 個點，每點的量測距離間隔 5 微米，選擇在 Y 軸的掃描上選定量測 100 列，每列的量測距離間隔為 50 微米。

四、結論

本研究改良了 DAQ 接收觸發後再做訊號接收的量測方法，由原本每個量測點都需要接收觸發再做量測改良為一系列的量測點只要接收一次的觸發做量測掃描，得出的數據再經由 Queue 語法傳遞至另一個迴圈做共焦訊號的運算，藉由軟體與硬體間的搭配來提升量測速度。實驗以 20 Hz 的三角波電流驅動下由原本單點量測時間需要 290 ms 提升至 50 多 ms，此方式達成 5.8 倍速度的提升。本量測方法在量測中存在共焦對應偏差值需要做校正的問

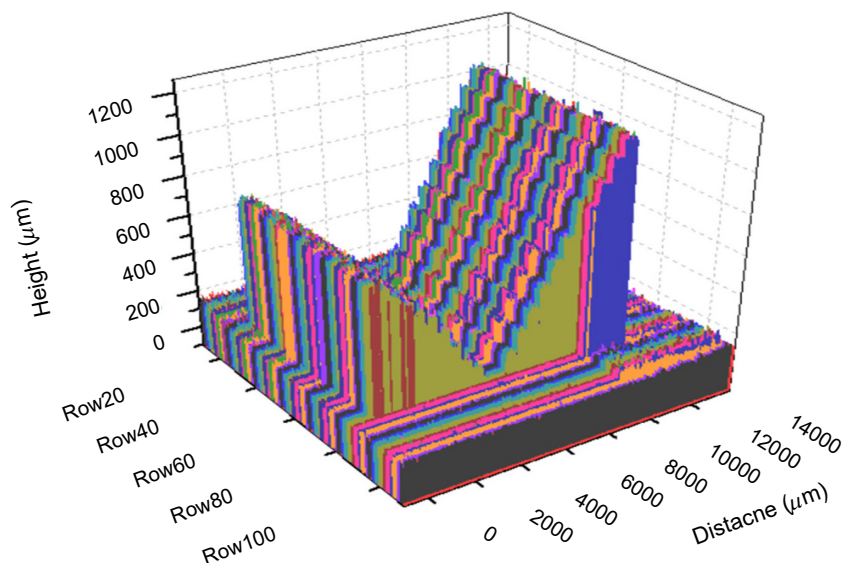


圖 15. 標準微型階梯鋁塊表面形貌的掃描結果。

題，藉由實驗觀察出共焦對應偏差值在 20 Hz 三角波驅動下每多量測一個量測點造成的共焦對應訊號會偏移 0.1067 index，由此得出校正值。最後由此方法掃描標準微型階梯鋁塊的一維高度分佈圖與表面形貌圖得出此量測系統，可有效量測出階梯鋁塊的高度形貌分佈，目前的量測誤差有 50 微米左右，最後對標準微型階梯鋁塊進行二維的表面形貌。

誌謝

感謝科技部計畫 MOST 110-2221-E-492-007、106-2622-E-492-004 -CC3 之部分經費補助。作者群感謝葉政傑和范振亮過去提供部分技術幫助。

參考文獻

1. Garry Berkovic and Ehud Shafir, *Advances in Optics and Photonics*, **4** (4), 441 (2012).
2. Chang Zhou, Xiaoming Hu and Ya Zhou, *International Journal of Engineering and Technology*, **8** (4), 297 (2016).
3. Yong Zhao, Yanbiao Liao and Shurong Lai, *Optical Engineering*, **42** (3), 670 (2003).
4. Kentaro Noda, Nguyen Binh-Khiem, Yusuke Takei, Tomoyuki Takahata, Ken Matsumoto and Isao Shimoyama, "Multi-axial confocal distance sensor using varifocal liquid lens", The 17th International Conference on Solid-State Sensors, Actuators and Microsystems, 16-20 June, (2013).
5. Specification, "Fast Electrically Tunable Lens EL-10-30 Series", please refer to the website: <http://www.optotune.com>
6. H.-J. Jordan, M. Wegner and H. Tiziani, *Measurement Science and Technology*, **9** (7), 1142 (1998).
7. Dong-Ryoung Lee, Suin Jang, Min Woo Lee, Hongki Yoo, *Applied Optics*, **55** (27), 7631 (2016).
8. Yun-bo Zhang, Wen-mei Hou, Ji-hong Zheng, *Applied Optics*, **33** (1), 14 (2012).
9. 藍子賢, "應用可變焦式液態透鏡於光學共焦距離量測系統之開發", 國立交通大學碩士論文, 民國 104 年.
10. 葉政傑, "可變焦透鏡應用於微曲面量測的分析與實作", 國立交通大學碩士論文, 民國 105 年.
11. 盧柏榕, "數位變焦光學測距系統於表面形貌掃描的開發與應用", 國立交通大學碩士論文, 民國 107 年.
12. 藍子賢, "可變焦式透鏡於光學共焦距離量測系統之應用", 科儀新知, 212, 73 (2017).

作者簡介

呂國豪先生為國立嘉義大學生物機電工程學系碩士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心專案佐理研究員。

Guo-Hao Lu received his M.S. in the Department of Biomechatronic Engineering from National Chiayi University. He is currently a Project Research Assistant at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.

盧柏榕先生為國立陽明交通大學機械所碩士。

Bo-Rong Lu received his M.S. in Mechanical Engineering at National Yang Ming Chiao Tung University.

劉兆峰先生為國立陽明交通大學機械所碩士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心佐理研究員。

Chao-Feng Liu received his M.S. in Mechanical Engineering from National Yang Ming Chiao Tung University. He is currently a Research Assistant at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.

鄭璧瑩先生為國立成功大學機械研究所博士，現為國立陽明交通大學機械系副教授。

Pi-Ying Cheng received his Ph.D. in Mechanical Engineering from National Cheng Kung University. He is currently an Associate Professor in the Department of mechanical engineering at National Yang Ming Chiao Tung University.

翁俊仁先生為國立陽明交通大學光電工程研究所博士，現為國家實驗研究院台灣儀器科技研究中心研究員。

Chun-Jen Weng received his Ph.D. in Electro-Optical Engineering from National Yang Ming Chiao Tung University. He is currently a Research Fellow at Taiwan Instrument Research Institute, NARLabs.