

應用 MATLAB 建構快速光學鏡頭 MTF 特性檢測系統

陳永祥*、蔡和霖、許家偉、郭慧君

國家實驗研究院儀器科技研究中心

*yschen@itrc.org.tw

摘要

本研究開發以單軸複數刀口演算法進行視訊鏡頭品質量測方法，應用 MATLAB 軟體開發環境之 Image Processing Toolbox 及 Signal Processing Toolbox，建構快速光學鏡頭 MTF 特性檢測系統核心技術。本方法係利用準直儀產生光源，將光源照射特殊光學組件成像測試影像畫面，進行光學鏡頭 MTF 特性檢測。首先，移動單軸馬達對待測鏡頭進行影像自動對焦，經由攝影機取像得到成像於軸上及離軸之五個刀口測試圖案。最後，讀取成像圖案資料並傳給電腦，利用 MATLAB 軟體開發環境之數位影像處理發展刀口演算法，對成像圖案進行處理。最後，求得光學鏡頭的光學調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)量測值，可避免量測誤差、快速進行量測並可與鏡頭設計做物理對應。

關鍵字：MATLAB、光學鏡頭、MTF 特性檢測、刀口演算法。

壹、前言

MTF 量測方法可分為直接與間接量測。直接量測方法採用週期性圖樣，經由鏡頭成像，分析其成像而得，這種圖樣需由多個週期組成，且各自為單一空間頻率測量。若為多個空間頻率測量。圖樣須包含多個週期性圖樣。另一種方式為間接量測，利用任意函數作為物，經由鏡頭成像，將成像分析並取其傅式轉換(Fourier transform)，取得各空間頻率之鏡頭傳遞係數，從而得出傳遞函數之曲線。採用之圖樣可為任意形狀，任意大小，最常見的有點，線與邊界等圖樣。這些圖樣函數都可利用傅氏級數(Fourier series)展開，經由鏡頭成像之後，分析其成像並利用傅氏轉換，可以得出各空間頻率之傳遞係數，進而量測出鏡頭 MTF 曲線。

若就量測裝置而言，也分為光源與感測器兩個部分。光源投射圖樣作為待測鏡頭之物，感測器分析待測鏡頭之成像。光源與感測器可以透過模組化設計使其各自獨立，互相搭配以因應各類鏡頭量測所需。光源方面，可分為有限距離與無窮遠物兩種，有限距離利用光源投射有限距離圖樣於待測鏡頭，作為待測鏡頭之物。這種投射圖樣有很多種形式，USAF1951、star pattern 及正弦波圖樣等[2]，為單一或為多個單一空間頻率量測用；點，線與邊界等圖樣透過傅式轉換，可做為 MTF 曲線量測之用。另一種為無窮遠物。投射器將圖樣投射於無窮遠處，作為待測鏡頭之無窮遠物，其圖樣與有限遠物相同，具有多種選擇，準直儀最常被用於投射器。而準直儀分為兩類，折射式準直儀與反射式準直儀，折射式準直儀用於可見光波段量測，反射式準直儀用於可見光與紅外光波段量測。可視量測波段採用不同形式之準直儀。除了投射器之外，光源之光譜組成決定量測系統之可量測波段範圍，透過加裝濾光片的方式可以調整量測波段範圍。

隨製程發展，平面影像感測器的可靠度提升，用於取得待測鏡頭成像資訊的感測器也從單感測器，線感測器，轉為二維平面影像感測器。最大的誘因為可以同時量測兩個方向的成像品質。光學鏡頭設計時，將成像品質分為軸向與切線兩個方向。成像品質設計曲線便有所不同。對於離

軸成像點的測量，兩個方向都要進行測量。利用二維平面感測器可以同時擷取這兩個方向之成像品質，進行同時測量。平面感測器的響應均勻性是能不能用於量測鏡頭成像品質的關鍵。感測器的取樣頻率是否足夠也是一個考慮因素。若感測器取樣不足時，必須利用種種方法提高其取樣頻率。最常用的是於感測器前加一放大物鏡，利用此物鏡將成像放大至幾倍至幾十倍，以此提高其感測器取樣頻率。此種作法必須考慮物鏡對於量測值的影響，只需於系統校正時加以修正即可。

然而物鏡將成像放大，同時也將其取像範圍縮小，進行多像點測量時必須多次精準移動感測器之位置，使量測時間大幅增加。若只用感測器則可以涵蓋所有的成像點，卻會有感測器取樣不足的情況。若於只用感測器的架構上，運用技術增加其取樣頻率，如此感測器可以涵蓋所有量測成像點，同時避免感測器取樣不足問題，只要同時投射多個圖樣即可同時進行多點量測。增加感測器空間取樣頻率的最直接方法就是降低感測器間距，舉例來說，感測器間距從 10 μm 降為 5 μm 時，其取樣空間頻率從 50 lp/mm 升高為 100 lp/mm。理論上，只要一直降低感測器間距，就可以找到一個足夠取樣空間頻率。不幸的是，降低感測器間距也同時降低感測器面積及其響應。這必須一再增加光源強度才可應付，而光源卻無法無限制地增加其強度，這表示建構量測系統，依據光源強度，可以找到一個相匹配的感測器間距。這些匹配而得之感測器間距所代表的空間取樣頻率對待測鏡頭之成像而言太小了。若要直接用感測器進行鏡頭成像必須運用內插的方式來增加其取樣頻率，最直接的內插方式是微掃描，也就是利用機構控制感測器進行次畫素的移動。這種方法可以根據取樣空間頻率需求進行一系列次畫素取像，透過影像重組來進行次畫素內插。採用這種方式必須機構精準，進行多次取像，並進行影像重組。除了量測所耗時間較多之外，感測器機構至少必須可以進行三個方向精準移動等基本要求。這些需求與使用放大物鏡的情況類似。另一種方法利用所謂空間取樣，配合特別圖樣，運用單張影像內容進行內插，提高感測器取樣頻率，降低量測時間。以達到快速量測的目的。特別的是，這種量測方式可將移動軸數目降為 1，降低量測機台重量與體積，以及成本。

在有限距離的情況，只需製作一個含有多個圖樣的標靶並將其投射至預定位置即可。無限遠物的情況比較複雜，用於投射圖樣的準直儀只投射單一方向的光，對於無窮遠物而言，多點量測代表多個方向的平行光，代表多個準直儀。中心採行新的概念[1]，運用一個準直儀，投射出多個方向的平行光，作為量測系統的多點目標。如此於無窮遠物的量測情況下，只需一個電動滑軌即可進行多點測量，大幅縮小其量測時間。

本文提出以單軸複數刀口演算法進行視訊鏡頭品質量測方法。該方法包含準直儀、測試成像圖案、單軸馬達、待測鏡頭及攝影機。該量測方法係利用準直儀產生光源，將光源照射特殊光學組件，移動單軸馬達對待測鏡頭進行對焦量測，由攝影機取像得到成像於軸上及離軸之五個刀口測試圖案。最後，讀取成像圖案資料並傳給電腦，利用數位影像處理方式將成像圖案由刀口演算法處理，求出物理上的光學解析調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)量測值，可避免量測誤差、快速進行量測並可與鏡頭設計做物理對應。以下將就系統架構、實驗方法分析及實驗結果做探討之。

貳、系統架構

圖 1 為視訊 MTF 機台實驗架構示意圖，係利用準直儀產生光源，將光源照射特殊光學組件，移動單軸馬達對待測鏡頭進行對焦量測，由攝影機取像得到成像於軸上及離軸之五個刀口測試圖案。最後，讀取成像圖案資料並傳給電腦，利用數位影像處理方式將成像圖案由刀口演算法處理，求出物理上的光學解析調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)量測值，本方法可

2010 MATLAB & Simulink Tech Forum and Expo

避免量測誤差並可與鏡頭設計做物理對應。

圖 2(a)-(c)，為光學組件結構圖，圖 2(a)為光學組件結構之俯視圖，圖 2(b)(c)為光學組件結構之側視圖。本系統利用準直儀裝置產生光源，並將光源照射光學組件為一個穿透鏡及多個鍍膜的反射鏡，其中，穿透鏡用於產生軸上刀口測試圖案，鍍膜的反射鏡用於產生離軸刀口測試圖案。穿過待測鏡頭成像多個複數刀口測試圖案，利用移動單軸移動裝置對焦點於取像裝置上。多個鍍膜的反射鏡可以改變離軸上的光源入射角度，讀取成像圖案資料並傳給個人電腦做訊號處理。

圖 3 為本研究開發的視訊 MTF 機台實體照片圖，係將準直儀、測試成像圖案、單軸馬達、待測鏡頭及攝影機整合為一視訊鏡頭品質量測系統。主要利用數位影像處理方式將成像圖案由複數刀口(multi-Knife edge)演算法處理，再求出物理上的光學解析調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)。整個實驗模組置放於視訊機台內部，外面設計機殼包裝，具有 ON/OFF 開關及緊急開關。

圖 4 為自行撰寫之視訊鏡頭品質量測軟體人機介面程式，讓使用者即時看到所擷取出的影像畫面。對本研究核心技術「刀口演算法」進行測試，應用 MATLAB 軟體開發環境之 Image Processing Toolbox 及 Signal Processing Toolbox，建構快速光學鏡頭 MTF 特性檢測系統核心技術。人機介面視窗的左上角設置有一「即時影像顯示區」，將攝影機擷取的影像即時顯示。以單軸複數刀口演算法進行視訊鏡頭品質量測，可得到一條軸上 MTF 量測曲線及五條離軸 MTF 量測曲線顯示於左下角的人機介面視窗，並可由右上角的人機介面視窗觀測此五條軸上及離軸的 MTF 量測曲線數據。另外，右下角的人機介面視窗為顯示本系統對焦情形得到的曲線。

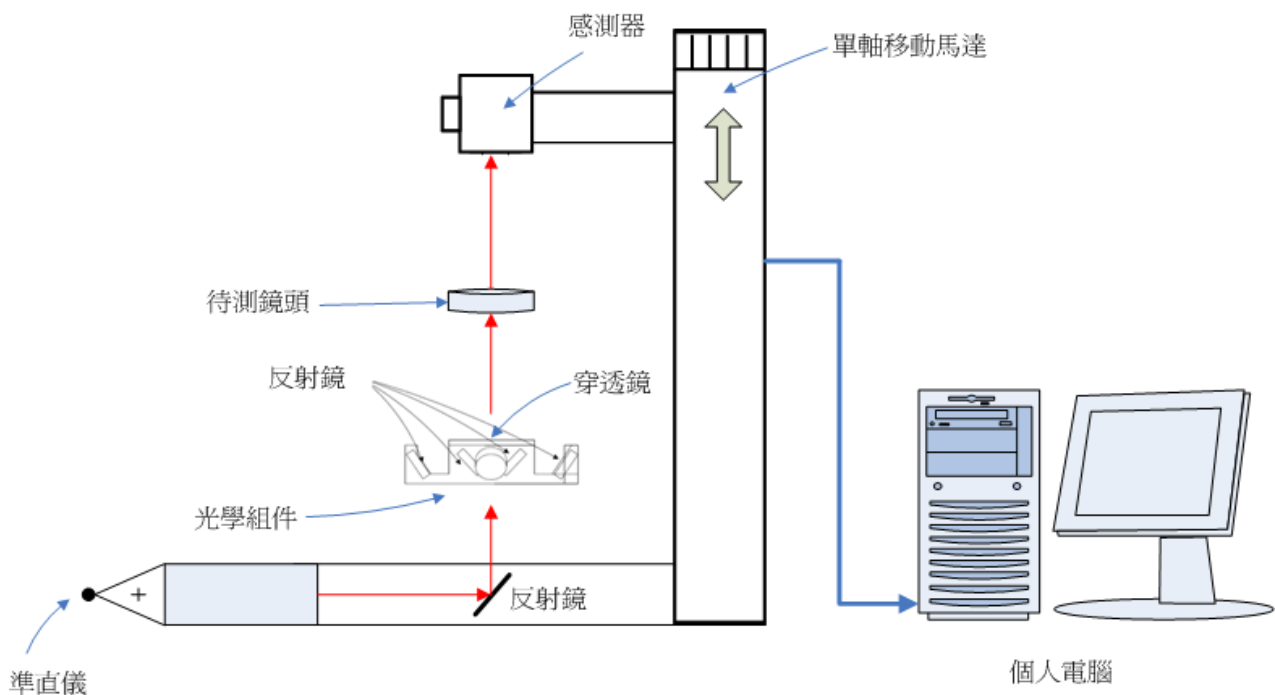


圖 1. 視訊 MTF 機台系統架構圖

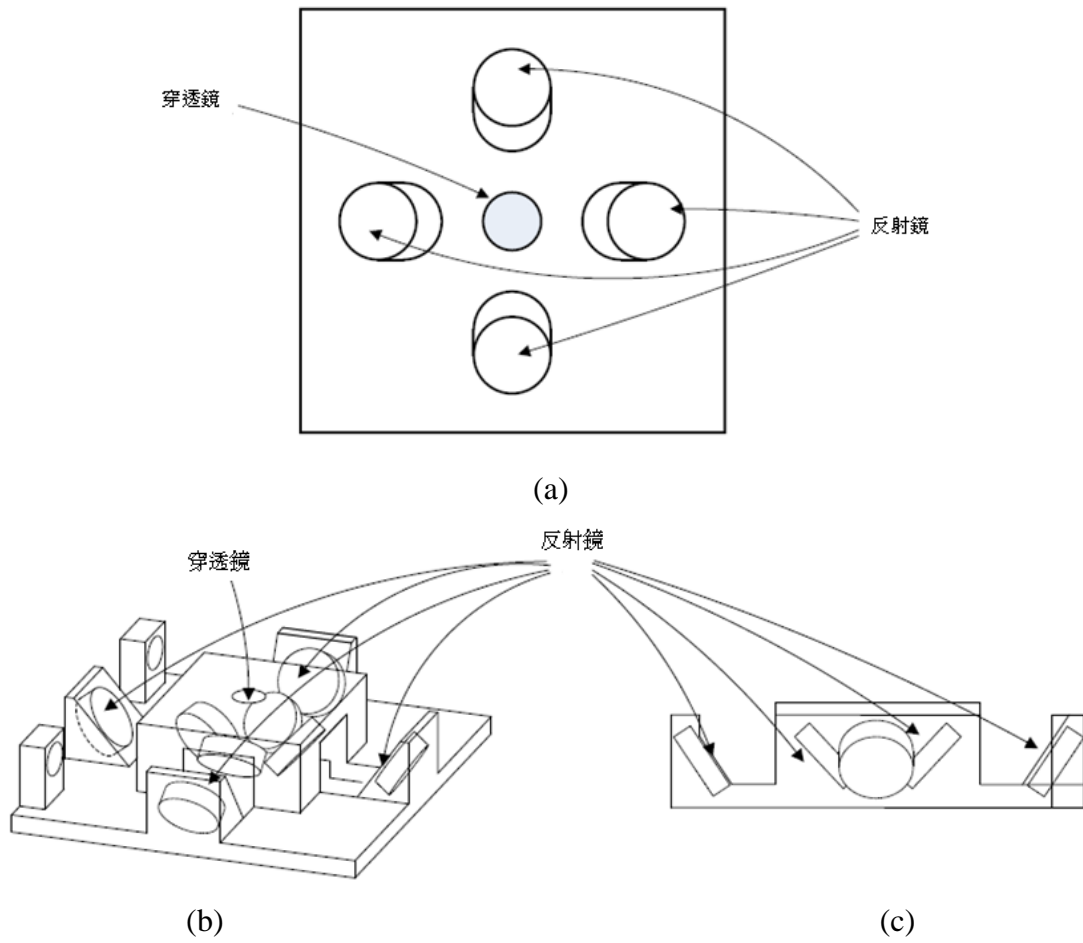


圖 2. 光學組件結構圖



圖 3. 視訊 MTF 機台實體照片圖

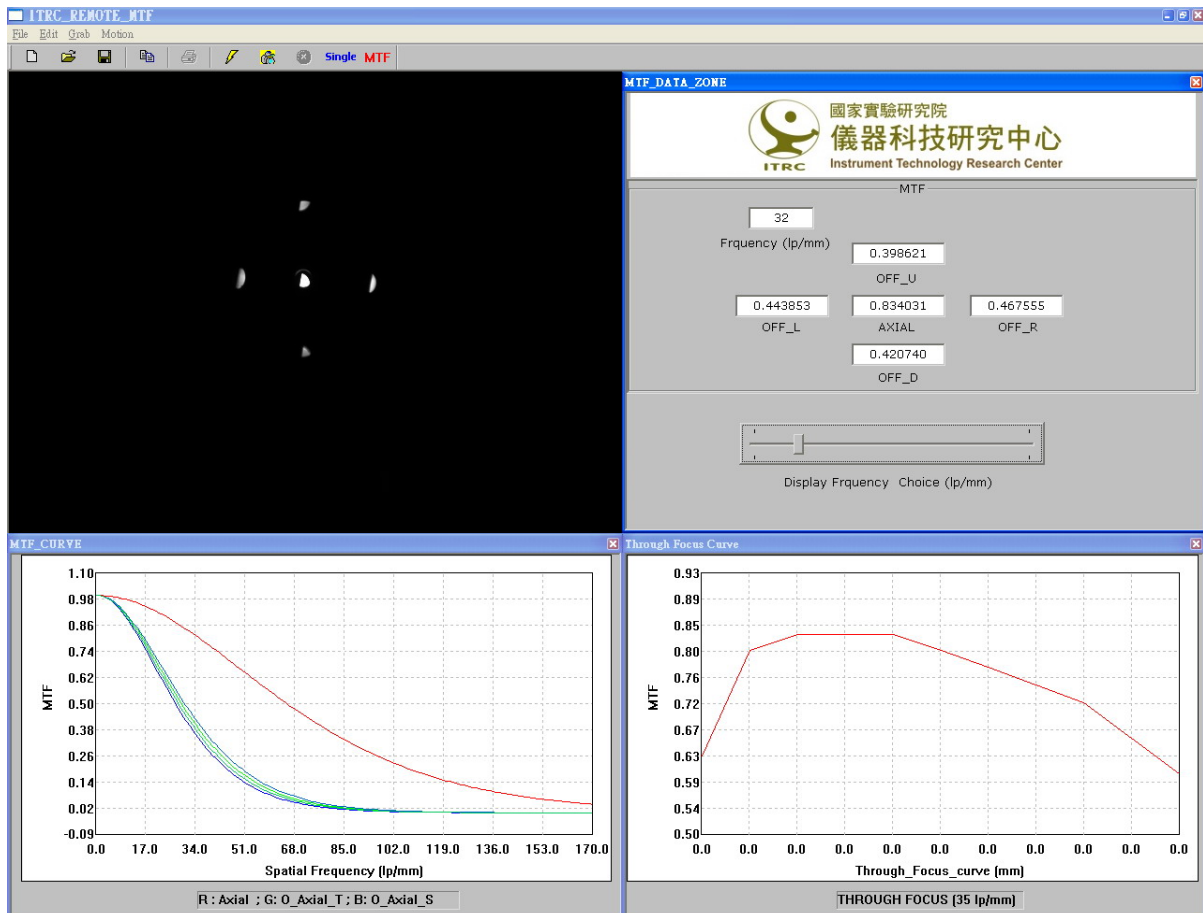


圖 4. 軟體人機介面程式

參、實驗方法分析

圖 5 為系統處理流程圖，係由單一取得的刀口 ROI 影像畫面，經過單一刀口演算法處理，再求出物理上的光學解析調制轉換函數 (Modulation Transfer Function, MTF) 計算量測。本系統設定一個軸上及四個離軸之五個 ROI 影像畫面，並將多個複數刀口 ROI 影像對焦點，讀取成像圖案資料並傳給個人電腦處理。經由內插運算組成邊緣函數、曲線擬合、微分運算、線函數及 FFT 傅氏轉換運算。最後，利用數位影像處理方式將成像圖案由多個複數刀口 (Multi-knife Edge) 演算法處理，再求出物理上的光學調制轉換函數 (Modulation Transfer Function, MTF) 計算量測。

圖 6 為複數刀口影像成像圖案，攝影機可同時擷取待測鏡頭軸上及離軸之成像畫面。圖 6(a) 表示系統可設定包含一個軸上及四個離軸之五個 ROI 影像畫面。其中，ROI 影像畫面可針對水平取樣區域及垂直取樣區域做處理。圖 6(b) 為針對一 ROI 影像畫面，取得多條水平方向線內插運算邊緣函數曲線，由微分處理得到線函數。最後，透過 FFT 傅氏轉換運算得到一 MTF 曲線波形圖。

圖 7(a)-(c)，為刀口演算法計算過程示意圖 [4]，此刀口影像成像圖案為取得 4 條水平方向線，其內插運算組成邊緣函數，透過微分處理，得到線函數。並經由 FFT 傅氏轉換運算，得到 MTF 曲線。同理之，本系統所提出的單軸複數刀口演算法，其運算過程為取得成像圖案得到五個對焦點，分別針對軸上及離軸之對焦點擷取一 ROI 區域處理水平取樣區域。根據刀口影像的邊緣資訊，微分處理得到線函數，經由 FFT 傅氏轉換運算，可同時得到軸上及離軸對焦點的 MTF 曲線波形圖，以利進行鏡頭品質量測數據比較。

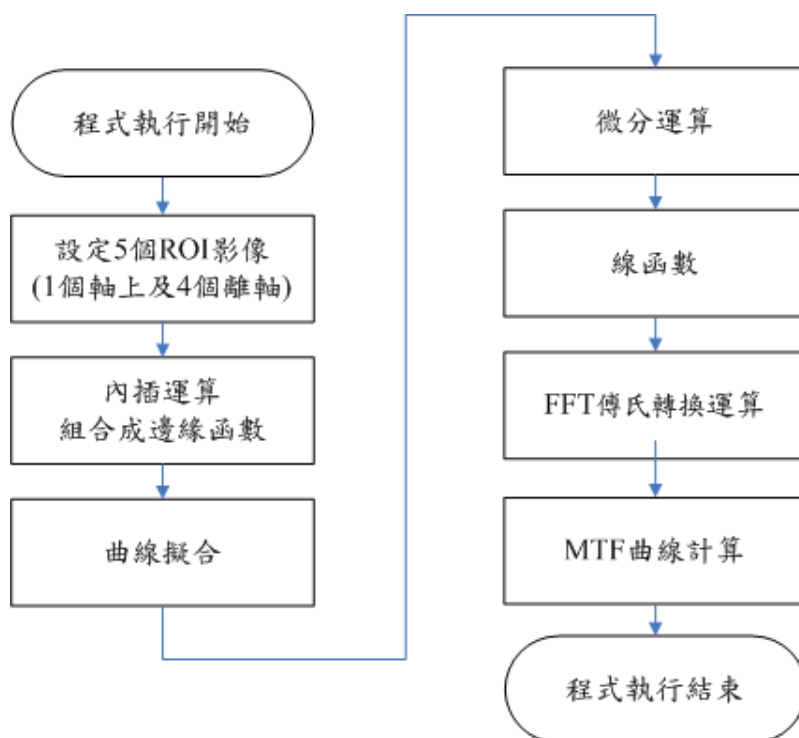


圖 5：系統處理流程圖

一、ROI 影像處理[3]

為了避免影像計算量過大，搜尋區域的設定須恰到好處。在輸入刀口影像成像圖案的影像平面上建立一個相對位置固定的搜尋區域(Region of Interest, ROI)，即檢測刀口影像成像可能在影像平面出現的範圍。擷取矩形視窗影像，設定四點座標值來表示這個矩形 ROI 視窗，產生一個只含 ROI 的原始影像，並將 ROI 檢測區中的刀口影像成像擷取出來。藉由本研發系統可同時量測軸上及離軸之視訊鏡頭品質，需要分別就此五條 MTF 曲線進行量測。

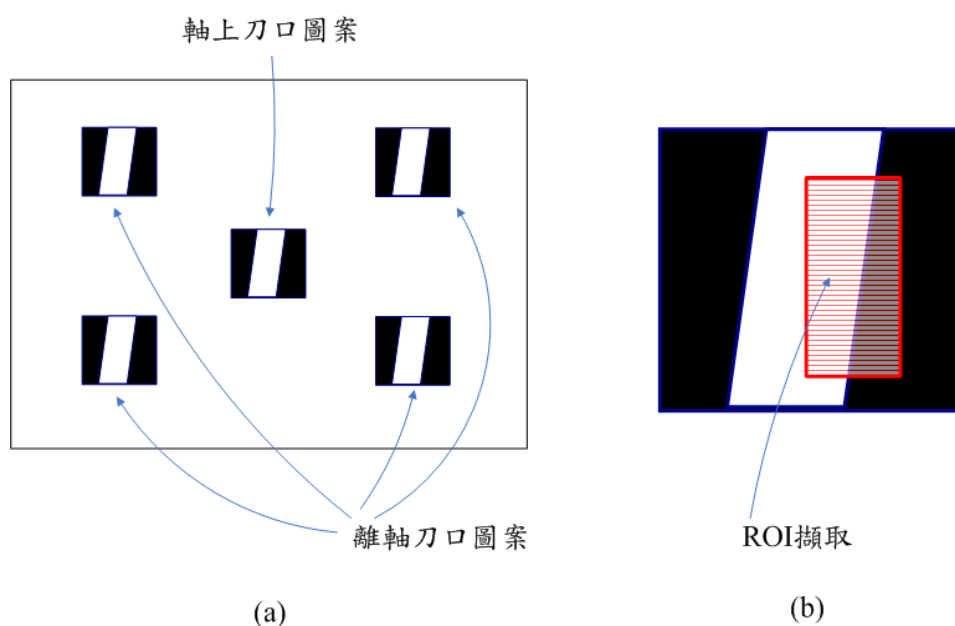
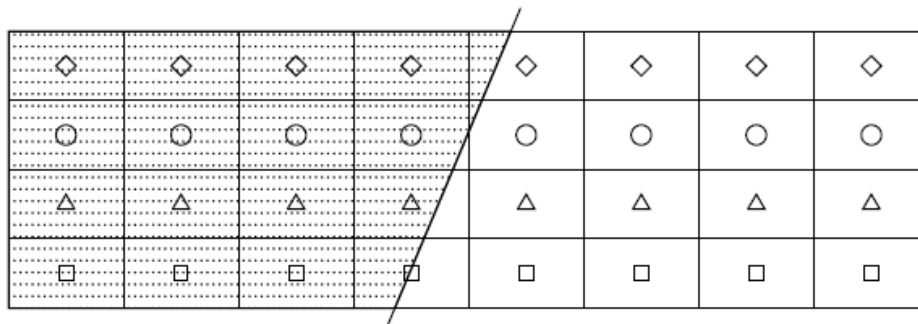
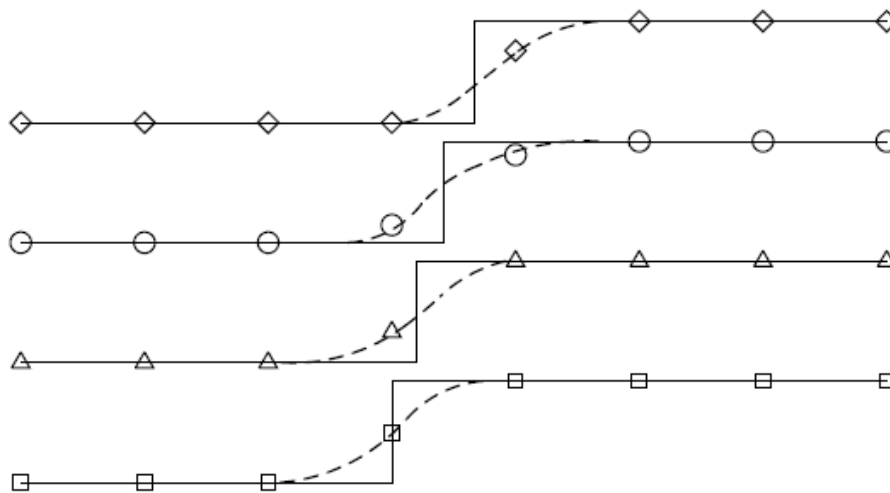


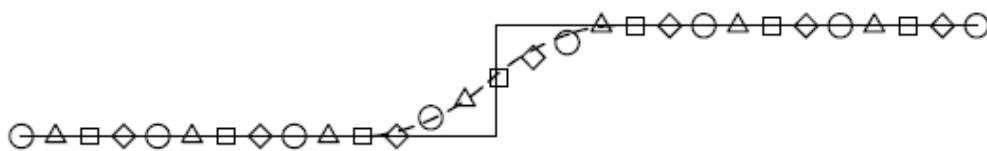
圖 6：複數刀口影像成像圖案



(a)



(b)



(c)

圖 7. 刀口演算法計算過程示意圖

二、刀口演算法(Knife Edge method)

圖 8 為刀口演算法計算示意圖[4]，取得刀口影像成像圖案，設定一 ROI 區域依水平方向，內插運算組成邊緣函數。透過微分處理，得到線函數，並經由 FFT 傅氏轉換運算，得到 MTF 曲線。同理之，本系統所提出的單軸複數刀口演算法，其運算過程為取得成像圖案得到五個對焦點，分別針對軸上及離軸之對焦點擷取一處理水平取樣區域。根據刀口影像的邊緣資訊，微分處理得到線函數，經由 FFT 傅氏轉換運算，可同時得到軸上及離軸對焦點的 MTF 曲線波形圖，以利進行鏡頭品質測數據比較。

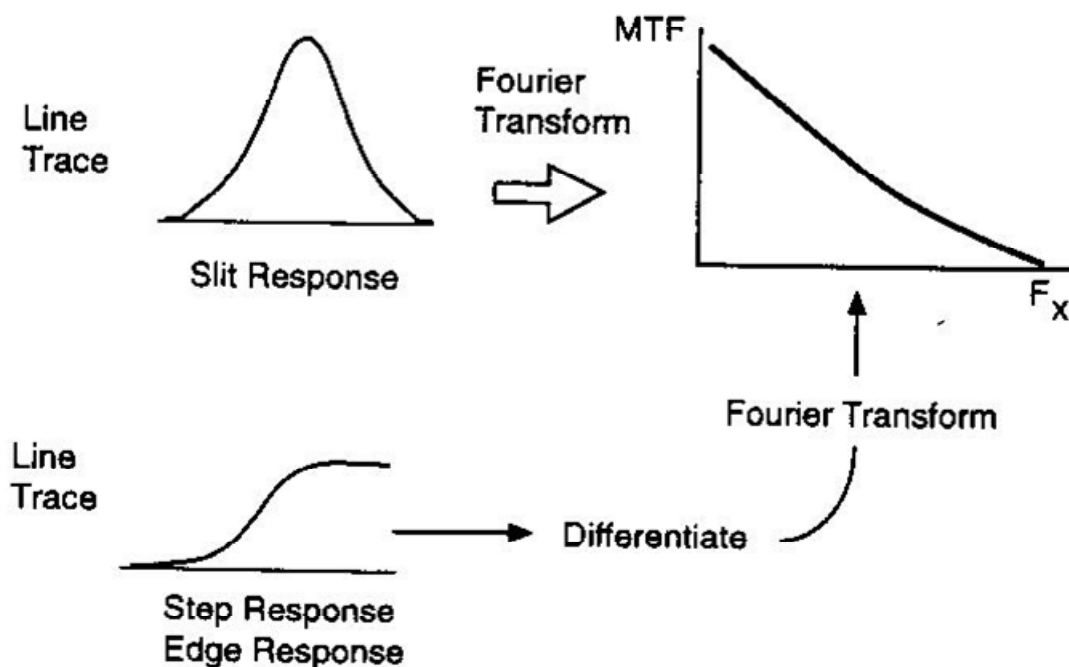


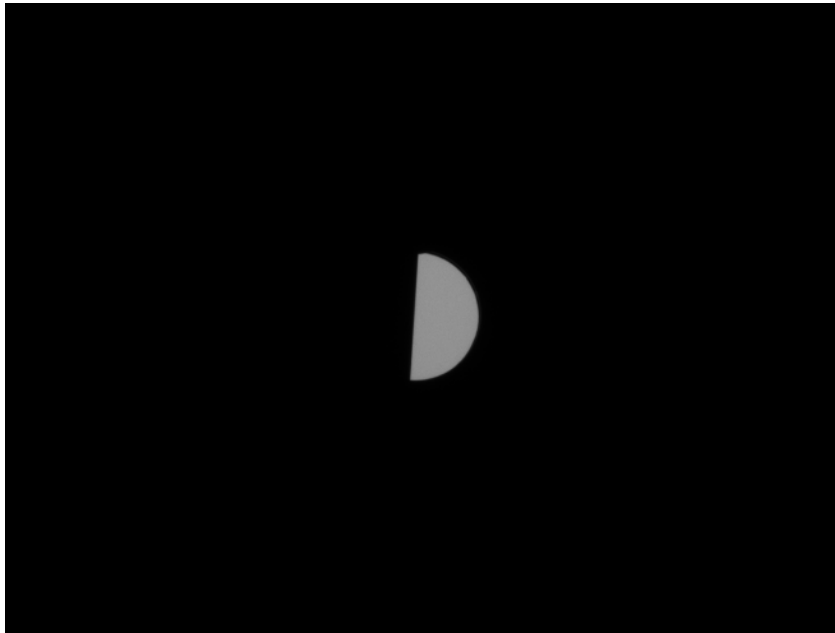
圖 8. 刀口演算法計算示意圖

肆、實驗結果

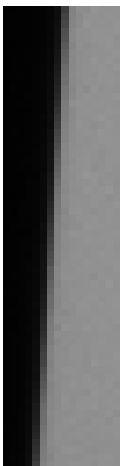
本系統工作方式為利用準直儀產生光源，將光源照射特殊光學組件。首先，移動單軸馬達對待測鏡頭進行對焦量測，經由攝影機取像得到成像於軸上及離軸之五個刀口測試圖案。最後，讀取成像圖案資料並傳給電腦，利用數位影像處理方式將成像圖案由刀口演算法處理，求出物理上的光學調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)量測值，本方法可避免量測誤差並可與鏡頭設計做物理對應。以下將分別就刀口演算法測試結果及視訊鏡頭品質量測實驗結果探討之。

一、刀口演算法測試結果

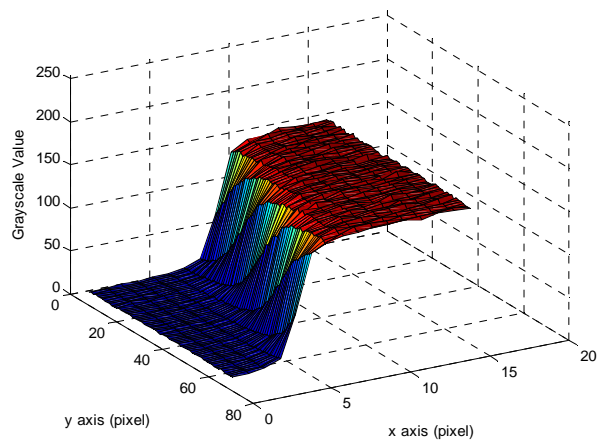
圖 9 為刀口演算法測試結果，係將有限距離光源、攝影機、待測鏡頭、成像圖案、刀口演算法及電腦。由實驗積分球產生光源，刀口測試圖案經由投射之後由待測鏡頭聚焦於影像感測器上，讀取成像圖案資料並傳給電腦處理。最後，利用數位影像處理方式將成像圖案由刀口(Knife edge)演算法處理，再求出光學調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)。圖 9(a)為攝影機取得的原始刀口影像畫面，經由 MATLAB 軟體開發環境 Image Processing Toolbox 之 ROI 影像處理後可得到圖 9(b)的刀口 ROI 影像畫面。圖 9(c)為 3D 空間的刀口 ROI 影像畫面，有利於刀口影像觀測。此刀口影像畫面為取得水平方向邊緣線輪廓，其應用 MATLAB 軟體開發環境 Signal Processing Toolbox 之內插運算組合成邊緣函數。計算此刀口影像後，可得到如圖 9(d)所示。然而，從圖 9(d)得知此曲線存在不少雜訊，造成系統量測試誤差產生。為了解決此問題，設計一曲線擬合函數並正規化此曲線，處理後如圖 9(e)所示。經由微分處理，得到線函數如圖 9(f)所示。最後，經由 FFT 傅氏轉換運算，得到 MTF 曲線，並將成像圖案由刀口(Knife Edge)演算法處理，求出物理上的光學調制轉換函數(Modulation Transfer Function, MTF)，計算量測值並顯示於圖 9(g)中。



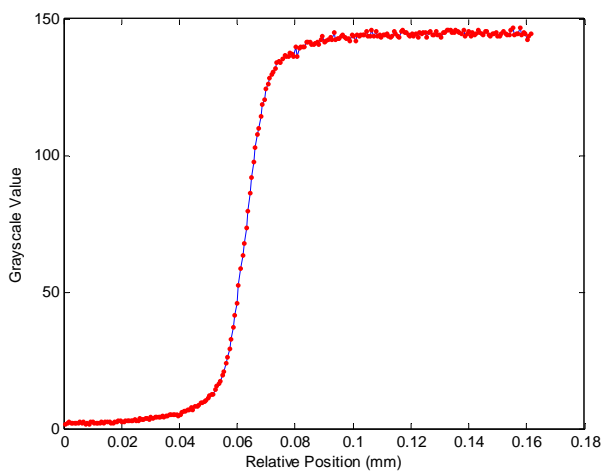
(a)



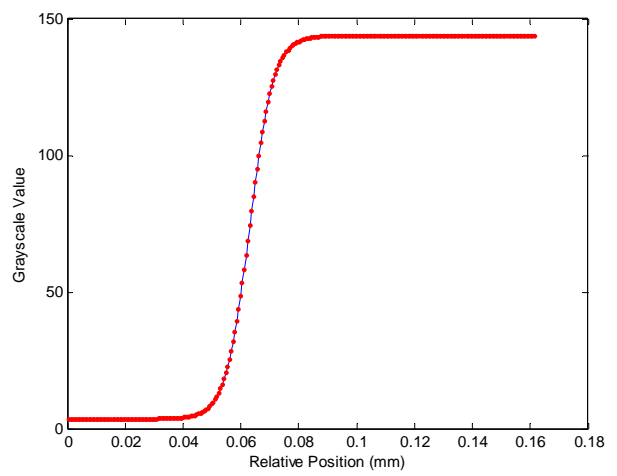
(b)



(c)



(d)



(e)

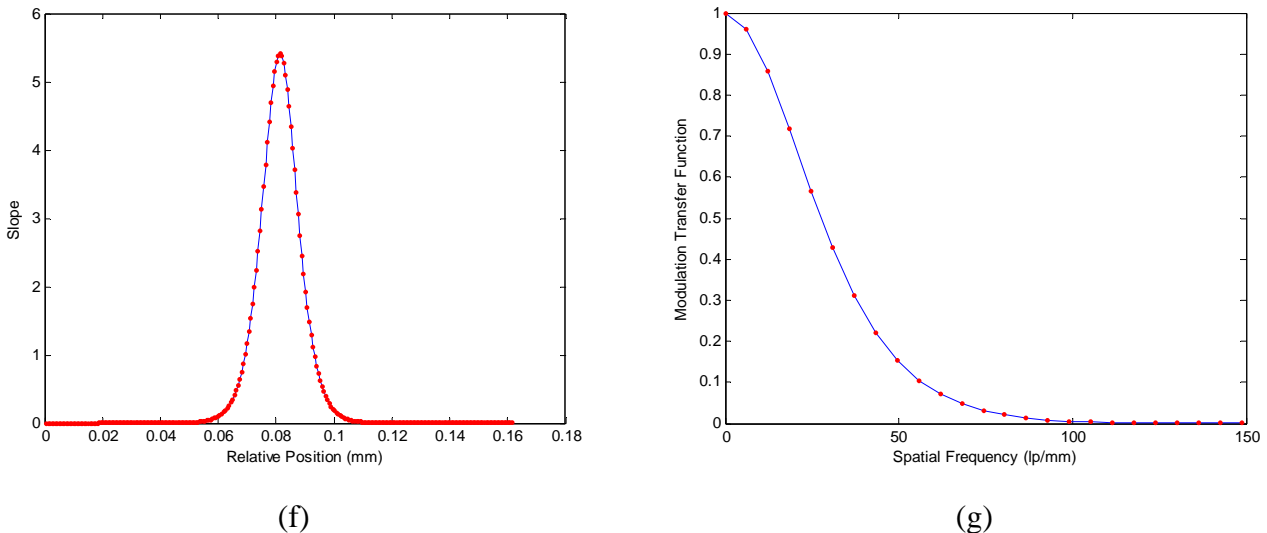
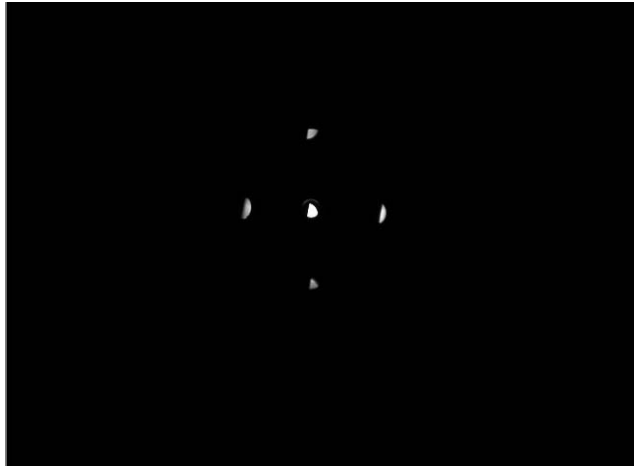


圖 9. 單一刀口演算法測試實驗結果

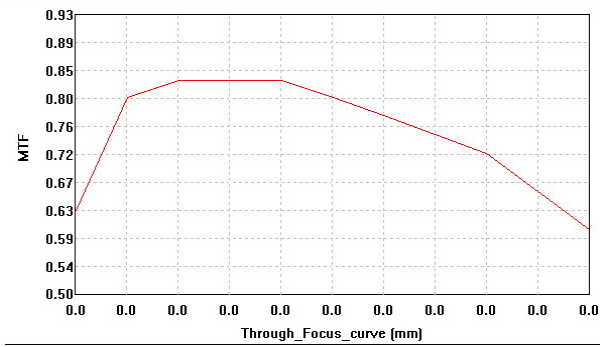
二、視訊鏡頭品質測實驗結果

圖 10 為本系統之視訊鏡頭品質測實驗結果，係將攝影機擷取待測鏡頭軸上及離軸之成像畫面，利用複數刀口演算法以得到 MTF 曲線。圖 10(a)為攝影機取像得到成像於軸上及離軸之五個刀口測試圖案的原始影像，可設定包含一個軸上及四個離軸之五個 ROI 影像畫面。其中，ROI 影像畫面可針對水平取樣區域及垂直取樣區域做處理。針對一 ROI 影像畫面，取得多條水平方向邊緣線輪廓，其內插運算組成邊緣函數。經由微分處理得到線函數，及 FFT 傅氏轉換運算得到 MTF 曲線。最後，可同時得到軸上及離軸對焦點的 MTF 曲線波形圖。圖 10(b)為移動單軸馬達對待測鏡頭進行對焦量測過程，量測的自動對焦曲線圖(Through Focus)。最後，讀取成像圖案資料並傳給電腦，利用數位影像處理方式將成像圖案由複數刀口演算法處理，求出五條軸上及離軸之 MTF 量測值，本方法可避免量測誤差並可與鏡頭設計做物理對應。

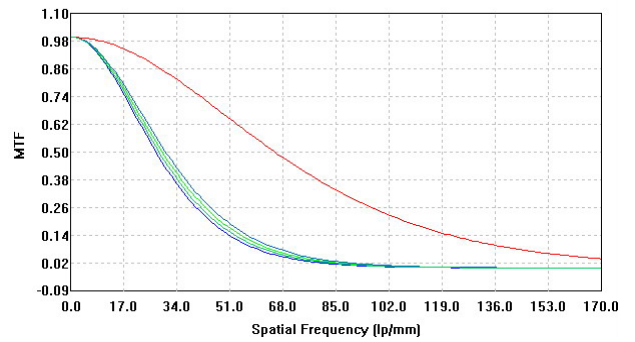
圖 11(a)為鏡頭品質測試用圖案，於均勻光下拍攝圖卡中影像，拍攝時對正藍色框，將影像充滿藍色框內容(圖 12(a)(b))。其中，圖 12(a)為手機相機拍攝的影像，圖 12(b)為單眼相機拍攝的影像，滑鼠左鍵按「即時感興趣區域測試畫面一」，即跳出影像可供選用(圖 12(c))。圖 12(d)為應用 MATLAB 人機介面之鏡頭品質測試結果，滑鼠左鍵按工作列中「開啟檔案一」，執行鏡頭視力檢查程式(圖 12(c))，選取資料夾及待測相機圖案，按下「開啟」即可選用待測試的圖案。滑鼠左鍵按「即時感興趣區域測試畫面一」，即跳出影像可供選用。選取圖中紅色矩形視窗黑白相間位置影像(如圖 11(b))，程式即自動顯示鏡頭視力檢查曲線一(圖 12(d)左上圖)。滑鼠左鍵按工作列中「開啟檔案二」，可選取不同相機拍攝的圖案以進行比較。滑鼠左鍵按「即時感興趣區域測試畫面一」，即跳出影像可供選用。選取圖中紅色矩形視窗黑白相間位置影像(如圖 11(b))，程式即自動顯示鏡頭視力檢查曲線二(圖 12(d)左下圖)。量測「鏡頭視力檢查曲線一」或「鏡頭視力檢查曲線二」之量測數值愈高代表鏡頭視力檢查愈好。最後，藉由本程式可以發現「鏡頭視力檢查曲線二」之量測數值較「鏡頭視力檢查曲線一」之量測數值較佳。



(a)

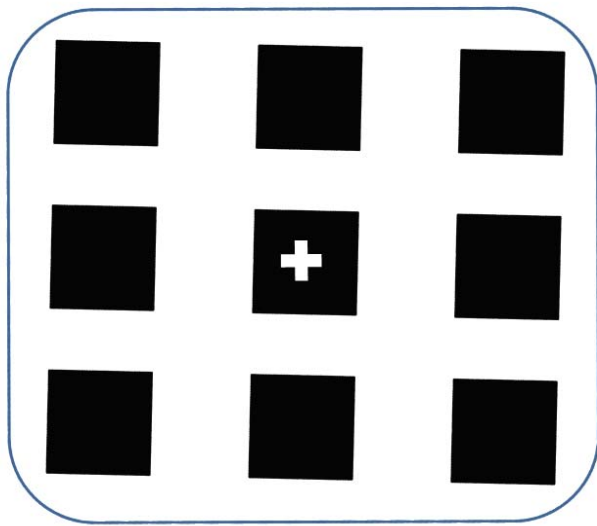


(b)

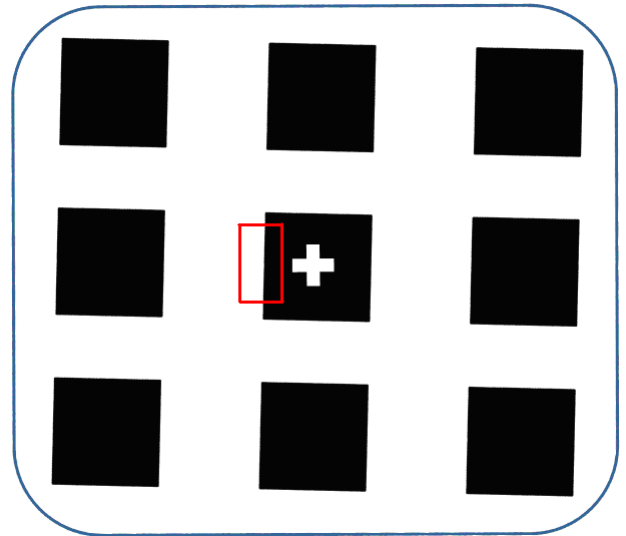


(c)

圖 10. 單軸複數刀口實驗結果



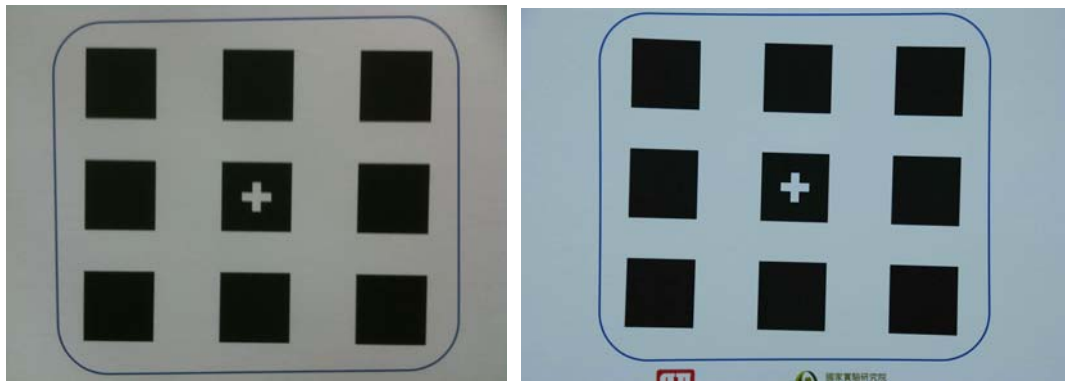
(a)



(b)

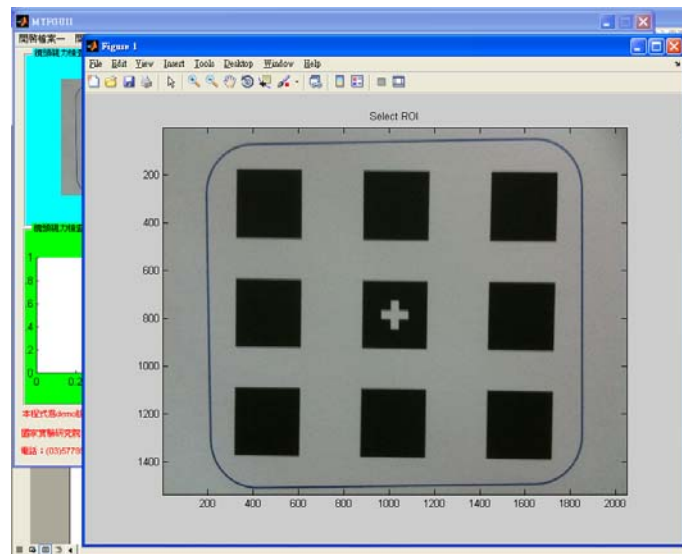
圖 11. 鏡頭品質測試用圖案

2010 MATLAB & Simulink Tech Forum and Expo

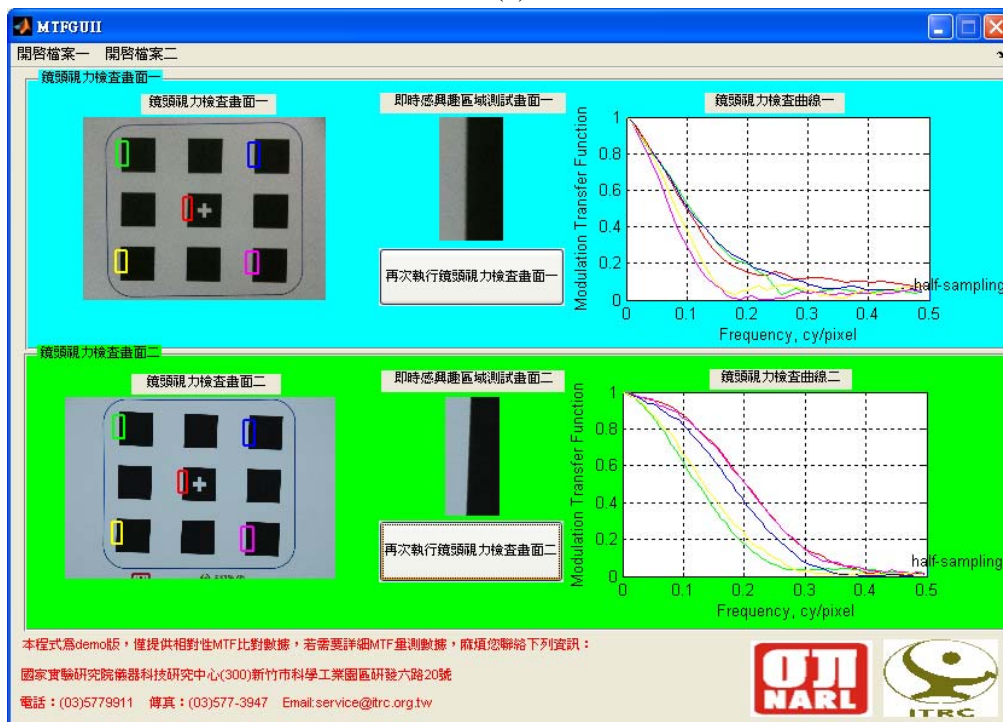


(a)

(b)



(c)



(d)

圖 12. 應用 MATLAB 人機介面之鏡頭品質測試結果

2010 MATLAB & Simulink Tech Forum and Expo

伍、研究成果

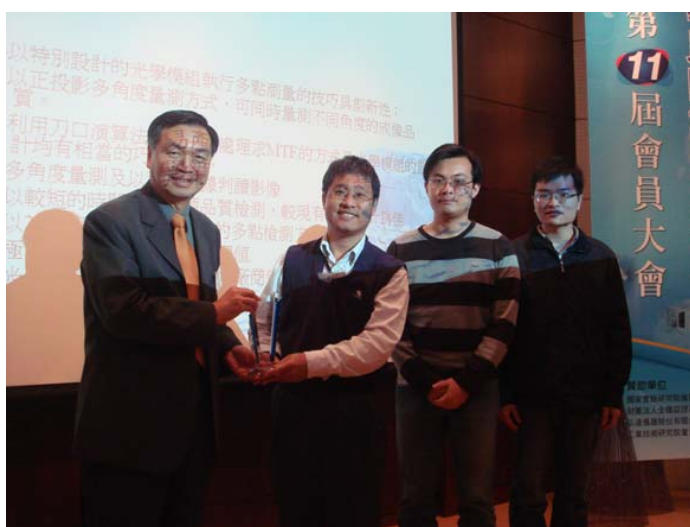
快速鏡頭 MTF 量測機台為全球首套正投影多點同時量測機台，已獲專利證書[1]；其優點為快速量測、機台輕量化及成本低，符合產學研界之需求。MTF 儀是本院儀科中心整合多年光機電系統基礎，針對手機鏡頭所研發的檢測機台，運用一個準直儀，透過專利設計之光學模組，投射出多個方向的平行光，做為量測系統的多點目標。因此，於無窮遠物的量測情況下，只需一個單軸馬達即可進行多點測量。其關鍵技術是利用數位影像方式，將成像圖案由刀口演算法處理，同時求出軸上及離軸之光學調制轉換函數量測值，可大幅縮短量測時間，有助於建立光學鏡頭相關量測儀器開發技術。應用 MATLAB 軟體開發環境之 Image Processing Toolbox 及 Signal Processing Toolbox，協助本研究建構快速光學鏡頭 MTF 特性檢測系統核心技術，以下為 MTF 量測機台相關研究成果。

一、榮獲 2009 第六屆計量科技研發創意獎：

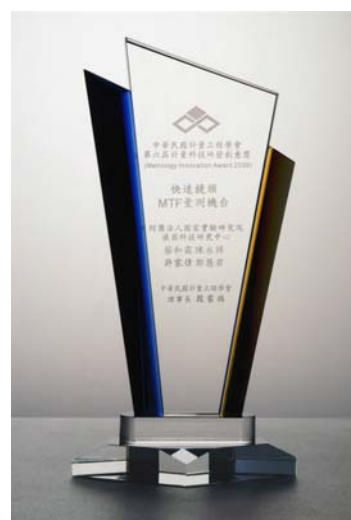
由本院儀科中心 MTF（光學調制轉換函數）儀研發團隊所發展之「快速鏡頭 MTF 量測機台」，本年度獲得中華民國計量工程學會--2009 第六屆計量科技研發創意獎。表 1 為計量科技研發創意獎評語，圖 13 為第六屆計量科技研發創意獎獎牌。

表 1. 計量科技研發創意獎評語

新穎性	1. 以特別的設計光學模組，執行多點測量的技巧，具創意性。 2. 以投影多角度量測方式，可同時量測不同角度的成像品質。
技巧性	1. 利用演算法結合影像處理機 MTF 的方式，及光學模組的設計，均有相當巧妙的構思。 2. 多角度量測及以科學數據判讀影像。
特殊性	1. 本作品可以較短的時間完成鏡頭品質檢測，較現有其他設計為佳。 2. 可以 2 秒鐘取代以往 5~6 分鐘的多點檢測方式。
發展潛力	1. 本作品極易產品化，有產業應用價值。 2. 光學鏡頭檢測平台成台只需其他廠商的儀器 30~40%。



(a)



(b)

圖 13. 第六屆計量科技研發創意獎獎牌

二、國研院儀科中心光學鏡頭檢測平台成果發表會：

書同文，車同軌。光學成像系統涵蓋手機，數位相機，數位攝影機及投影機等產業，產值達數十億元。若能制定鏡頭品質量測標準，對於產業品質管制將大有助益，透過標準化的程序，統一鏡頭品質量測的數據，可以降低產品允收的爭議。儀科中心有鑑於此，已依國際量測規範建立功能廣泛的鏡頭品質量測平台，除可代為測量數據外，亦建立量測機台，可於用戶端間使用，也可以依據客戶需求，量身訂作量測機台，歡迎各界洽詢。本中心提供鏡頭視力檢查示範程式，歡迎下載。此鏡頭視力檢查示範程式係利用 MATLAB 圖形化介面(GUI)建置視覺化操作人機介面軟體，提供相對性 MTF 比較數據。此檢測系統優點為架構簡單及操作容易，可快速進行 MTF 多點測量比對影像品質。

三、「單軸複數刀口演算法之MTF量測裝置」新型專利：

圖 14 為一種單軸複數刀口演算法之 MTF 量測裝置代表圖，其包含一準直儀光源、一單軸移動裝置、一取像裝置、一光學組件、一成像圖案、一複數刀口演算法、一訊號處理裝置以及一顯示裝置。該量測裝置利用準直儀(collimator)裝置產生光源，並將光源照射光學組件為 1 個穿透鏡及多個鍍膜的反射鏡，利用單軸移動裝置成像複數刀口測試圖案於取像裝置上。多個鍍膜的反射鏡可以改變離軸上的光源入射角度，讀取成像圖案資料並傳給訊號處理裝置，訊號處理裝置將影像資料顯示於顯示裝置。最後，利用數位影像處理方式將成像圖案由複數刀口(multi-Knife edge)演算法處理，再求出物理上的光學解析調制轉換函數(Modulation Transfer Function,MTF)。

本創作目的在於設計一光學組件，其包含一個穿透鏡及多個鍍膜的反射鏡，穿過待測鏡頭成像多個複數刀口測試圖案，利用移動單軸移動裝置成像於取像裝置上。多個鍍膜的反射鏡可以改變離軸上的光源入射角度，讀取成像圖案資料並傳給訊號處理裝置，將影像資料顯示於顯示裝置。最後，利用數位影像處理方式將成像圖案由複數刀口(multi-knife edge)演算法處理。該光學組件具有拍攝多點量測、單軸移動及功能簡便之功能，此種方式並未見諸於文獻上。

本創作之另一目的在於可一次拍攝多點對焦點改進單一對焦點缺失。亦不需要對鏡頭進行微掃描提高解析度，以及過度依賴移動裝置控制移動精準度。無限遠物的情況比較複雜，用於投射圖樣的準直儀只投射單一方向的光，對於無窮遠物而言，多點量測代表多個方向的平行光，代表多個準直儀。本創作運用一個準直儀，投射出多個方向的平行光，作為量測系統的多點目標。如此於無窮遠物的量測情況下，只需移動裝置即可進行多點測量，大幅縮小其量測時間。

此外對於產業進行鏡頭 MTF 量測上，使用者只需要對多個複數刀口測試圖案進行單軸移動對焦，即可達到具有快速及精準量測功能。

可達成上述目的之本創作的目的在於提供一種如圖三為本創作所提出的一種單軸複數刀口演算法之 MTF 量測裝置。利用準直儀(collimator)裝置產生光源，並將光源照射光學組件為一個穿透鏡及多個鍍膜的反射鏡，利用單軸移動裝置成像複數刀口測試圖案於取像裝置上。如圖四所示，其多個鍍膜的反射鏡可以改變離軸上的光源入射角度，讀取成像圖案資料並傳給訊號處理裝置，訊號處理裝置將影像資料顯示於顯示裝置。最後，利用數位影像處理方式將成像圖案由複數刀口(multi-knife edge)演算法處理，再求出物理上的光學解析調制轉換函數(Modulation Transfer Function,MTF)。

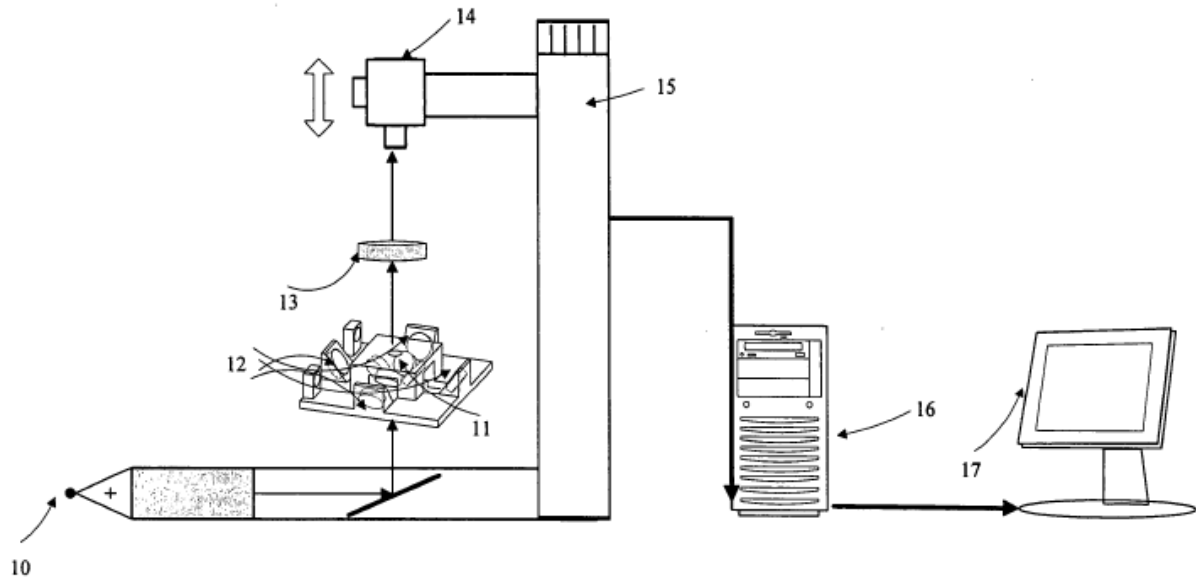


圖 14. 一種單軸複數刀口演算法之 MTF 量測裝置代表圖

陸、結論

藉由使用 MATLAB 軟體開發環境，讓國家實驗研究院儀器科技研究中心快速成功地達到驗證構想目的，其系統整合技術使客戶用的更滿意。本文亦成功應用 MATLAB 軟體開發環境建構快速光學鏡頭 MTF 特性檢測系統，在有限距離的情況，只需製作一個含有多個圖樣的標靶並將其投射至預定位置即可。無限遠物的情況比較複雜，用於投射圖樣的準直儀只投射單一方向的光，對於無窮遠物而言，多點量測代表多個方向的平行光，代表多個準直儀。本文所採行新的概念，運用一個準直儀，透過專利設計之光學模組[1]，投射出多個方向的平行光，作為量測系統的多點目標。如此於無窮遠物的量測情況下，只需一個單軸馬達即可進行多點測量。其關鍵技術利用數位影像處理方式將成像圖案由刀口演算法處理，同時求出軸上及離軸之物理上的光學調制轉換函數量測值，可大幅縮短計算時間，有助於建立光學鏡頭相關量測儀器開發技術。

參考文獻

- [1] 蔡和霖、陳永祥、江偉傑及許家偉，「單軸複數刀口演算法之 MTF 量測裝置」，申請人：財團法人國家實驗研究院，專利類型：新型專利，專利證號：M374065。
- [2] Sidney, F.R. (1996). Applied Photographic Optics: Lenses & Optical Systems for Photography, Film, Video & Electronic Imaging. *Butterworth-Heinemann*.
- [3] Rafael, C.G., and Richard, E.W. (2002). Digital Image Processing. *Prentice Hall, second edition*.
- [4] Holst, G.C. (1998). Testing and Evaluation of Infrared Imaging Systems. *SPIE-International Society for Optical Engine, 2nd edition*.