

機器視覺應用於車載鏡頭鏡片表面瑕疵之檢測

陳昭雄* 梁世承 呂至翔 簡伯丞

大葉大學機械與自動化工程學系

515006 彰化縣大村鄉學府路 168 號

*chao@mail.dyu.edu.tw

摘要

本文主要針對車載鏡頭的塑膠鏡片利用影像處理技術做表面瑕疵的自動檢測，塑膠鏡片在製程中容易產生刮痕、污垢、氣孔等的瑕疵，這些瑕疵很難用人工目視檢測出來。首先，建立機械視覺的實驗平台，包括個人電腦、Basler Gige 乙太網路、遠心鏡頭、CCD 照相機、LED 環形燈光和定電流調光器。然後發展影像處理方法以檢測鏡片瑕疵。在影像定位方面，本文利用模板匹配和二維計量演算法以找出鏡片所在的位置。在瑕疵檢測方面，先以高斯拉普拉斯濾波器強化瑕疵的邊緣形狀，以動態閾值二值化分割出瑕疵的影像。再以形態學的膨脹和侵蝕法連接破碎瑕疵圖像，以斷開與連通域的方法標示瑕疵的位置，然後透過特徵篩選對瑕疵面積大小進行計算。最後，透過實際的塑膠鏡片的檢測實驗來驗證本文所提方法的有效性，瑕疵辨識成功率可達 97%。

關鍵詞：車載鏡頭，機器視覺，影像處理，瑕疵檢測

The Application of Machine Vision to Improve the Surface Defect Detection of Vehicle Camera Lens

CHAO-SHIUNG CHEN*, SHE-CHENG LIANG, ZHI-XIANG LU and BO-CHENG JIAN

Department of Mechanical and Automation Engineering, Da-Yeh University

No. 168 University Rd., Dacun, Changhua, Taiwan, 515006, R. O. C.

*chao@mail.dyu.edu.tw

ABSTRACT

This paper examines the image processing technology to automatically detect surface defects happening to the vehicle plastic lens. Defects usually happen during the lens manufacturing process such as scratches, dirt, and pores, and these defects are difficult to detect manually. To deal with these issues, firstly, an experimental platform is established for machine vision, including a personal computer, Basler Gige Ethernet, telecentric lens, CCD camera, LED ring light and constant current dimmable driver. Image processing methods are then developed to detect lens defects. Secondly, template matching and 2D metrology algorithms are used to position the lens. Thirdly, Gaussian Laplacian filter is used to enhance the defect edge, and then dynamic binarization is used to segment the defect. Fourthly, the defect image is connected by morphological expansion and erosion method.

Fifthly, the location of the defect is marked by opening and closing method, and the size of the defect area is calculated through feature extraction. Finally, the effectiveness of the method proposed in this paper is verified through the actual plastic lens detection experiment, and the defect identification success rate is up to 97%.

Key Words: vehicle camera lens, machine vision, image processing, effect detection

一、前言

近年來，全球主要開發國家對汽車駕駛人、乘客的行車安全日益重視，將車輛安全系統配備和先進駕駛輔助系統（ADAS）列為新車出廠的標準配備。而車用攝影機為汽車智能化的關鍵核心元件。未來隨著智慧汽車市場不斷提升，車載鏡頭的需求也越來越多，運用的範圍也越多元化，從倒車影像、環車影像這類純影像顯示，到近期自動駕駛系統搭載雷達或光達（LIDAR）鏡頭，車用鏡頭使用越來越多，功能性也越來越好。車載鏡頭結構為多個鏡片混和組裝而成，而鏡片又分為玻璃鏡片與塑膠鏡片兩種，在製程上，塑膠鏡片是射出成型，而玻璃鏡片是依靠研磨與非球面成型的技術製造而成。塑膠鏡片具備材料成本低、重量輕、較高的耐衝擊性、不易破裂、生產流程簡單、較易製作等優點，相比玻璃鏡片的製作製程簡單許多，但在塑膠鏡片生產中常會出現表面瑕疵品，例如沾污、刮痕、氣孔等，而影響產品的品質。而依靠人工目視檢測，為達到全檢需要非常多的人力，且人工檢測會因疲倦造成檢測的疏失，也需休息輪流作業。因此，發展機械視覺的自動檢測系統，以取代人工檢測，是極待發展的技術。

機器視覺系統是一套高解析的影像處理系統包含光源、CCD、鏡頭等，有效的擷取圖像與影像處理，包含形態學、二值化、濾除雜訊、特徵辨識等等都是相對重要的技術。吳志凌 [2] 利用 Sobel 法增強隱形眼鏡鏡片影像的邊點，再利用 Blob 分析法將目標區域的雜點去除以方便找出瑕疵。許佳蓉 [3] 提出用 Tensorflow 卷積神經網路（Convolution neural network, CNN），辨識手機鏡頭塑膠鏡片表面瑕疵，瑕疵分類成 6 項種類。柳長志 [4] 論文中以影像處理為基礎藉由 CCD 掃描以及正背光源來取像，進行玻璃面板瑕疵特徵的辨識。張峻睿 [5] 將隱形眼鏡的光學區分區，再分區對鏡片進行瑕疵檢測。蔡傳暉 [6] 利用 Canny 邊緣檢測運算法找尋隱形眼鏡輪廓再分別使用 Sobel 運算和牛頓環檢測進行鏡片瑕疵檢測。Kuo 等人 [13] 在圖像處理使用 Retinex 圖像增強算法進行表面亮度值計算，用以解決非球面透鏡圖像有環

狀光暈的問題。Lin 等人 [15] 應用塊狀離散餘弦變換、多變量 Hotelling T2 統計法和灰色聚類技術，對 LED 鏡片曲面的影像缺陷進行自動檢測。Lin 等人 [16] 開發了一個非接觸式陣列鏡頭檢測系統，用 CCD 相機捕捉微陣列鏡頭圖像，並進行圖像處理以獲得鏡頭半徑和中心位置。Tang 等人 [21] 提出了一種改進的 YOLOv5-C3CA-SPPF 網絡模型來檢測鏡片表面和內部的缺陷，解決了串聯運算和邊緣檢測的特徵融合技術無法識別鏡頭中低對比度和多尺度目標的問題。王泓翔 [1] 利用連通物件標記（Connected-Component Labeling）標註皮革表面的瑕疵位置，再透過 YOLO 演算法進行瑕疵分類。Tsai 等人 [22] 提出了一種興趣區域（ROI）方法來清楚地檢測水稻飛蟲蟲（RPHs），在 HSV 空間獲得矩形 ROI 並進行顏色分析，減少影像處理執行時的光線干擾。Anupama 等人 [7] 提出使用閾值和二值化增強打印圖像的技巧，對非接觸的指紋進行提取。Narayanan 和 Kasthuri [19] 對退化古史文獻圖像進行二值化，使用局部圖像對比度組合方法克服劣化因素。

在影像辨識方法方面，Lin 等人 [14] 採用模糊理論、邊緣比率和漸進分析法來識別邊緣位置，使系統能夠準確地識別被檢物體的長度。Mitra 等人 [18] 對邊緣檢測方法進行比較，對於低計算時間和更好的輪廓提取進行探討。Bao 等人 [9] 提出基於多步驟匹配策略的改進型模板匹配算法，即在圖像實例上從左到右、從上到下進行模板重疊，並通過相關係數計算匹配程度，從而實現了對缺陷的辨識。Ding [12] 提出改善高斯平滑後導致特徵點減少的缺點，使用拉普拉斯可以增強邊緣的特性。Mallick 等人 [17] 探討基於布穀鳥搜索算法的高斯拉普拉斯濾波器優化，用於圖像分割的複雜邊緣採集。Azam 和 Bouguila [8] 對大量數據分析實驗，採用高斯拉普拉斯分布的單純貝氏（Native Bayes）分類器在小波域進行分類。Ramesha 等人 [20] 初始影像以閾值處理後，對圖像以鄰近像素點連接性進行標記，再以面積過濾較小斑點，達成雷達圖像中心點定位。Cho 等人 [11] 使用均值濾波器，去除高頻雜訊再使用侵蝕和標記算法，使得缺陷變為清晰。Bazin 等人 [10] 在感興趣區域應用 5X5 遮罩的改良型坎尼

(Canny) 邊緣檢測演算法進行影像特徵表面檢測。

本文針對車載鏡頭的塑膠鏡片進行表面瑕疵檢測，主要以個人電腦結合機器視覺做影像處理，硬體設備有個人電腦、遠心鏡頭、Basler 相機、LED 環形光和定電流調光器等。檢測方法主要以影像處理為主，透過 CCD 擷取鏡片影像，並且發展影像處理技術，包括影像定位，高斯拉普拉斯濾波、二值化、膨脹與侵蝕處理、瑕疵面積計算、瑕疵辨識等。鏡片瑕疵可分成裂痕、霧狀和污垢，透過各種軟、硬體的實驗、應用於實際的鏡片瑕疵檢測，以驗證本文所提方法的可行性。

二、車載鏡頭鏡片檢測硬體實驗系統

本文的實驗硬體系統架構如圖 1 所示，包含個人電腦、Basler Cable Gige 乙太網路電線、遠心鏡頭、Basler 相機、LED 環形燈和定電流調光器。透過 CCD 擷取鏡片影像傳輸到電腦做後續的影像檢測，電腦與 CCD 的通訊界面為乙太網路，且透過 RJ-45 網路線提供 CCD 穩定電源。各個單元的規格及功能說明如下：

1. 個人電腦：配備為 Intel (R) Core (TM) i5-10400 @ 2.90GHZ 2.90GHZ 的 CPU，作業系統為 Microsoft Windows 10，安裝記憶體為 16.0GB，GPU 為 NVIDIA GeForce GTX1650，執行取像、影像處理和鏡片瑕疵檢測。
2. Basler Cable GigE 乙太網路：通過 Basler Gige 接口，處理數據傳輸含控制任務，並提供電力給相機。電纜長度 10 米，為 RJ-45 乙太網路介面，如圖 2 所示。GigE 乙太網路為一種與 Gigabit 乙太網相機傳輸影像資料的連接方法，具備有簡單、傳輸速度快、成本低、可以遠端網路連接等優點。
3. CCD 攝像機：型號為 acA1280-60gm - Basler ace，用於工作平台擷取影像後，儲存於個人電腦，以利後續進行影像處理時使用。感測器尺寸 $6.8\text{mm} \times 5.4\text{mm}$ ，像素尺寸 $5.3\text{mm} \times 5.3\text{mm}$ ， $1280\text{px} \times 1024\text{px}$ (100 萬像素解析度大小)，幀率為每秒 60 張，最大影像圈 $1/1.8$ ，單色。如圖 3 所示。
4. 遠心鏡頭：型號為 0.8X、65mm WD CompactTL™ vis 版，工作距離為 65mm，放大倍率為 0.8x，光圈為 $f/14.9$ 。如圖 4 所示。用於檢測微小鏡片使用，遠心鏡頭高影像解析度、超寬景深與低畸變。

5. LED 環形光：型號為 RL-1643，由高亮度 LED 陣列特殊設計而成的光源，獲得均勻穩定的照射區域，如圖 5 所示。提供 AOI 自動檢測平台的光源。
6. 定電流調光器：型號為 PC24R4C，4 通道，輸入電壓為 AC110~240，輸出為 DC 24V，如圖 6 所示。控制方式為手動 VR 調整，主要提供環形光電源和調整 LED 燈光亮度。

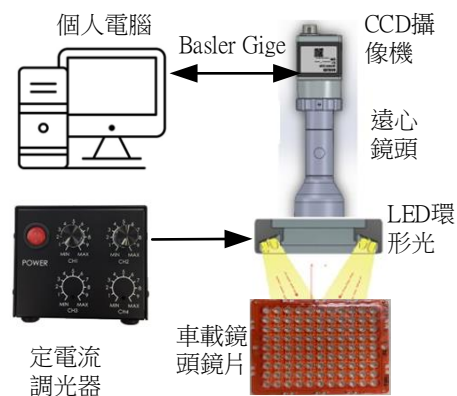


圖 1. 實驗硬體系統架構



圖 2. Basler Cable GigE 乙太網路電線



圖 3. Basler ace



圖 4. 遠心鏡頭



圖 5. LED 環形光



圖 6. 定電流調光器

三、車載鏡頭鏡片種類和檢驗方式

先進駕駛輔助系統（ADAS）幫助車輛了解所處環境，提供視野輔助的角色，車用鏡頭可以提供影像給電腦回饋，輔助汽車駕駛行駛安全，如駕駛艙中抬頭顯示器、車尾停車輔助系統、車頭主動車距控制巡航系統和側身 360 度環頸系統。如今隨著車用鏡頭與互聯網發展，汽車的安全與主動式介入控制會越來越成熟。

（一）車載鏡頭鏡片種類

車載鏡頭是由玻璃鏡片與塑膠鏡片混和結構所組成，如圖 7 所示，透過反射、準直、折射、聚焦，最後在 CCD 上成像，獲取影像。車用光學鏡片，應用玻璃研磨加工製成鏡片稱為光學玻璃鏡片，而由高分子材料射出成形製成的鏡片稱為光學塑膠鏡片。而非球面鏡片比球面鏡片具有消除線條失真、色差、像差的優點，可有效提高成像的品質，又可以大幅降低鏡頭鏡片的數目，成為車載鏡頭的主流。非球面玻璃鏡片，如圖 8 所示，製造方法可分為兩種：一是傳統研磨拋光製成，另一種是精密玻璃模造製成。而傳統研磨拋光相較精密玻璃模造製程，加工時程較長、量產性產量與形狀精度不易掌握，且量產良率較低、成本也較高。相比之下模造成型可以有效縮短製程，傳統研磨拋光較適合運用在少量多樣化的產品，而玻璃模造再進行大批量產時較為符合生產成效。

塑膠鏡片為高分子材料，常見為使用 PMMA 和 PC 材料，兩者都是非結晶塑膠，壓克力（PMMA）是目前最優良的高分子透明材料，透光率高達 92%，比玻璃的透光度高，密度比玻璃低，機械强度高抗拉伸和抗衝擊的能力比普通玻璃高 7~18 倍。聚碳酸酯（PC）材料，譽為透明金屬，剛硬又具韌性，高衝擊強度，耐熱高，成形收縮率低，尺寸安定性良好，是屬於熱塑性材料。熱塑性塑膠就是加熱即溶、軟化，將固態的塑膠粒子溶化後再注入模具等待成品冷卻固化。熱塑性塑膠鏡片表面耐磨力和抗化學侵蝕能力比玻璃鏡片差，表面容易有刮痕，但可透過表面鍍膜方式改善此缺點。

（二）現有車載鏡片檢驗方式

鏡頭鏡片的組裝有三種技術類型，全塑膠鏡頭、塑膠加玻璃混和鏡頭和全玻璃鏡頭，全塑膠鏡頭應用在一般手機鏡頭上，因全塑膠手機鏡頭技術成熟、重量輕、成本低，但全塑膠鏡頭現階段只能支援到 3 倍光學變焦。塑膠加玻璃混合型鏡頭廣泛應用在高階手機、車載、安控、無人機等光學變焦可支援 5~10 倍，全玻璃鏡頭應用在專業相機、車載、天文望遠鏡、醫療儀器上，光學變焦支援數 10 倍以上。

鏡頭的鏡片因製程加工不良或污染關係，容易在鏡片表面產生一些瑕疵，這些瑕疵包括細小污點、細微裂痕和油汙。現有車載鏡片，機械視覺鏡片瑕疵檢測系統，如圖 9 所示。藉由機械手臂從輸送帶中，將鏡頭放在兩軸線性馬達的位子上，並利用驅動器作定位，讓 CCD 順利擷取影像，並使用影像處理軟體對鏡頭進行瑕疵檢測。透過 2 軸控制平台、軸控卡與電腦配合人機介面操作機台，達到生產線鏡片瑕疵自



圖 7. 鏡頭結構組成

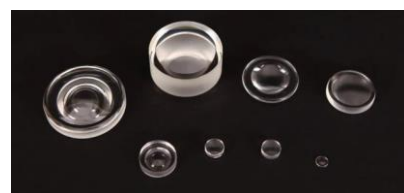


圖 8. 非球面玻璃鏡片

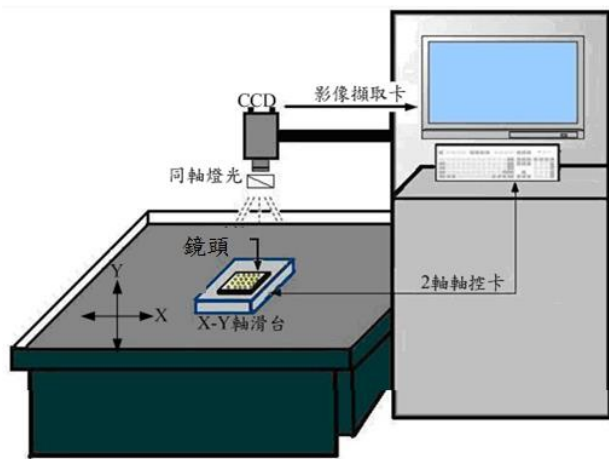


圖 9. 機械視覺鏡片瑕疵檢測系統

動檢測。但是現有的影像檢測系統的成功率偏低，檢測出來的不良品還需人工利用顯微鏡目視檢測，以確定是否為真正不良品，這樣還是會造成生產線人力負擔。

(三) 車載鏡頭鏡片規格

車載鏡頭一般使用混和型鏡片，鏡頭結構組成為：鏡筒 (Barrel)、鏡片組 (P/G)、鏡片保護層 (墊圈)、濾光片、鏡座 (Holder)，通常攝像頭用的鏡片有 1P、2P、1G1P、2G2P、2G3P、4G、5G 等。透鏡越多，成本越高，成像效果越出色。透鏡有兩類，中間厚邊緣薄的叫凸透鏡，中間薄邊緣厚的叫凹透鏡。本文實驗使用的是廠商提供的塑膠光學鏡片成品凸透鏡，鏡片的直徑是 5.4mm、厚度 1mm、非球面鏡面寬度 4.3mm，如圖 10 所示。透過 CCD 和遠心鏡頭拍攝的實際鏡片，如圖 11 所示，檢測時會先將鏡片整齊成列的放置在載盤上，如圖 12 所示，然後依序對鏡片取像，進行影像處理程序。

四、鏡片瑕疵影像檢驗流程

本文塑膠鏡片表面瑕疵影像檢測系統，透過 CCD 相機和遠心鏡頭擷取鏡片影像，然後發展影像處理程式，包括影像定位、影像濾波、動態閾值二值化、影像形態學和瑕疵檢測。最後找出鏡片瑕疵位置，並計算瑕疵的長寬與面積，圖 13 為本文鏡片瑕疵的影像處理流程，詳細說明如下。

(一) 影像定位

塑膠鏡片放在載盤的位置不夠精確，會有上、下、左、右小位置偏移。因此鏡片在影像擷取後需做位置定位，以供後續在感興趣區域做瑕疵檢測。在邊緣偵測中 Sobel 演算法對雜訊的容忍度較高，且可以偵測邊緣的方向性。塑膠鏡片的外圍形狀為圓形，圖 14 為利用 Sobel 演算法找尋鏡片位

置的結果。圖 14 (a) 為鏡片原始影像，圖 14 (b) 經 Sobel 算子處理後的影像邊緣特徵變的明顯，圖 14 (c) 從影像的中心點向外搜尋鏡片邊緣點，圖 14 (d) 最後擷取出鏡片的原始影像。

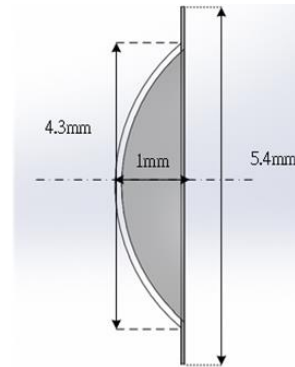


圖 10. 非球面塑膠光學鏡片尺寸



圖 11. 用遠心鏡頭取像的放大塑膠鏡片影像



圖 12. 在載具上的鏡片

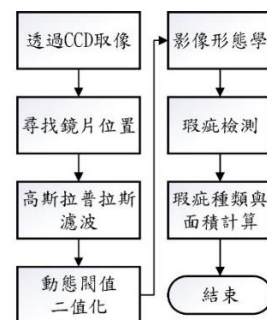


圖 13. 鏡片瑕疵的影像處理流程圖

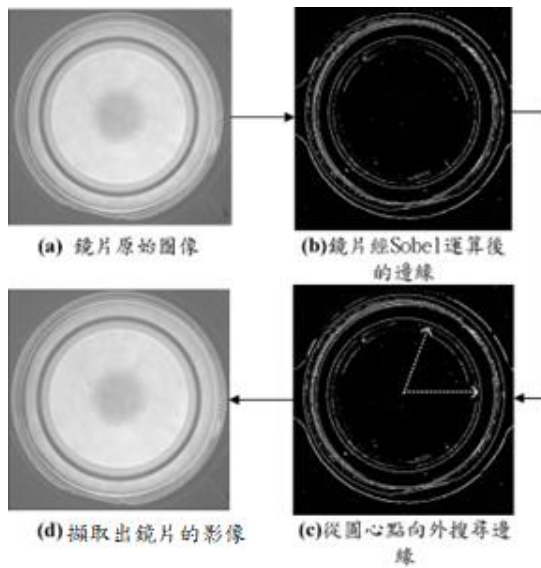


圖 14. Sobel 運算區域檢測

使用 Sobel 算子的邊緣偵測，雖然簡單容易，但是，當有瑕疵接近鏡片邊緣時，會造成邊緣誤判情形，本文另提出形狀模板匹配和二維計量演算法來找尋鏡片位置。形狀模板匹配法，先繪製要匹配的模板，模板的形狀和大小繪製完畢便不再改變，在查找模板的過程中，只會改變模板的方向和位置等來匹配目標圖像中的圖像。這個方法查找速度很快，但是當目標圖像中與模板對應的圖像存在比例放大縮小等，所以須配合二維計量演算法輔助模板能精確地定位影像中鏡片的位置。本文形狀模板匹配方法的處理步驟如圖 15 所示，第一步利用 ROI 先建立一個圓形模板，設定圓形模板大小的參數，第二步透過模板匹配，以圓形模板透過剛性仿射變換找尋鏡片影像中最相似圓形模板的區域，第三步圈住整個圓形模板的區域，為了更精確取得鏡片的邊緣輪廓，再對目前前圈住的區域做二維計量運算。二維計量演算法，為在圈住的影像區域找尋所定義的幾何形狀的邊界，便能得到最佳的圓形資訊。圖 16 為二維計量測演算法的流程，首先創建計量的圓形模型，再指定要執行計量圖像的最小邊緣，將待計量的圖像加入計量模型，而找到圖像的多個邊界點，再使用 RANSAC 算法擬合出最佳的圖像形狀，最後獲取圖像形狀邊界點的所有座標。

本文實際鏡片影像定位的處理流程如圖 17，圖 17 (a) 為擷取的鏡片原始圖像，圖 17 (b) 為創建出的圓形模板，圖 17(c) 針對鏡片的原始影像以圓形模板做仿射變換匹配，圖 17 (d) 將找到的二維計量演算法要處理的 ROI 區域轉換成尋找的區域，圖 17 (e) 以計量模型加入圖像找尋鏡片影

像的邊界點，圖 17 (f) 應用測量依照圖像指定大小量測最小邊緣，圖 17 (g) 獲取邊緣量測結果，圖 17 (h) 輸出圖像。

(二) 鏡片瑕疵檢測

經過影像定位後已精確的找出鏡片在圖像的位置，接著要找出鏡片的區域內是否有瑕疵。圖 18 為本文車載鏡片的影像處理瑕疵檢測流程，分別說明如下：

1. 拉普拉斯邊緣強化濾波器

良好的鏡片表面是非常平緩光滑，如果出現污垢或是破裂的瑕疵，取像後的鏡片表面影像會出現不連續的灰階點。為了強化瑕疵所在的位置點，先採用拉普拉斯濾波器將圖像銳利化，以突出鏡片圖像中的缺陷瑕疵的位置。拉普拉斯濾波器是一種二階導數的運算子：

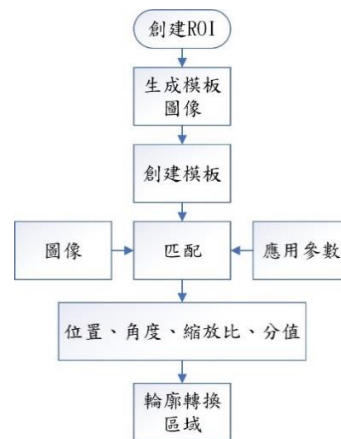


圖 15. 形狀模板匹配法的流程

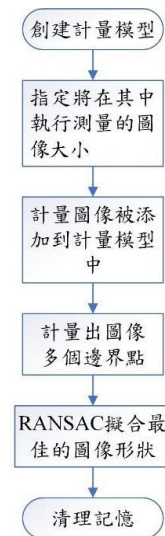


圖 16. 二維計量演算法的流程圖

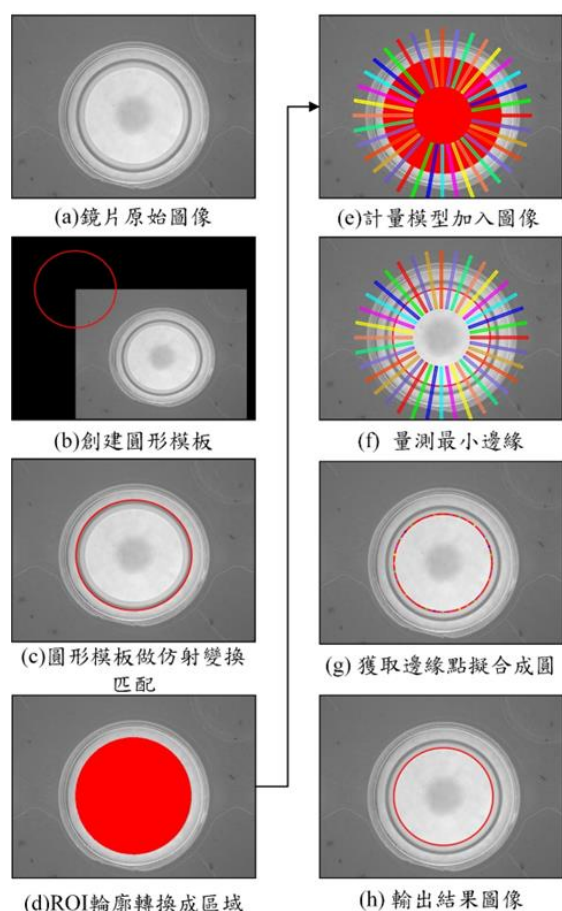


圖 17. 鏡片影像的定位流程

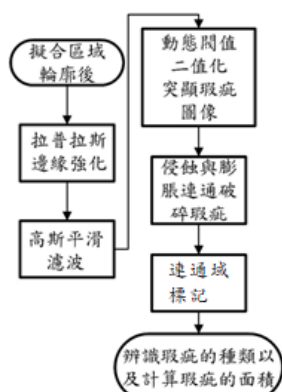


圖 18. 本文車載鏡頭的影像處理瑕疵檢測流程

$$\nabla^2 f = [f(x+1, y) + f(x-1, y) + f(x, y+1) + f(x, y-1)] - 4f(x, y) \quad (1)$$

其二維 3×3 的遮罩如下：

0	1	0
1	-4	1
0	1	0

拉普拉斯濾波器具有旋轉不變性，可以滿足不同方向的瑕疵圖像邊緣銳化的要求。

2. 高斯平滑濾波器

利用高斯平滑濾波器濾除鏡片圖像內的雜訊，使得圖像較為平滑，以降低拉普拉斯濾波器操作圖像時對於影像雜訊的敏感度。高斯濾波是一種線性濾波器，利用二維高斯函數的分佈方式來對圖像進行平滑化。其遮罩如下：

$$\frac{1}{16} \times \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

3. 動態閾值二值化

二值化是將影像轉換為黑白兩色，可設定門檻值，當超過門檻值時就設定為白色，若低於門檻值設定為黑色。鏡片影像經過拉普拉斯濾波器和高斯濾波器處理後已經可以突顯瑕疵的影像，此影像被定義為原始影像，再將此影像通過均值濾波以得到一新的參考影像，本文採用動態閾值分割法，可以根據圖像特徵進行二值化。動態閾值二值化的演算法說明如下：先選定一個閾值調節值 $Offset$ ，此值設定原始影像與參考影像灰度值偏差的可接受範圍。令 g_o [Origimage] 和 g_t [ReferImag] 分別代表原始圖像和參考圖像，則產生以下亮模式或暗模式關係式：

(1) 閾值演算選擇亮模式：原始圖像素點中灰度值大於等於參考圖相對像素點灰度值加上 $offset$ 的像素點則為瑕疵像素點，即

$$\text{IF } g_o \geq g_t + \text{offset, then } g_o = 1 \quad (2)$$

(2) 閾值演算選擇暗模式：原始圖像素點中灰度值小於等於參考圖相對像素點灰度值減掉 $offset$ 的像素點則為瑕疵像素點，即

$$\text{IF } g_o \leq g_t - \text{offset, then } g_o = 1 \quad (3)$$

圖 19 為 3D 的動態閾值二值化的處理流程，其中 x 軸和 y 軸座標為影像像素點的位置，而 z 軸為灰度值，圖 19 (a) 為原始圖像，圖 19 (b) 為經過高斯拉普拉斯後瑕疵邊緣位置被突出的圖像，圖 19 (c) 為經由均值濾波的參考圖像，圖 19 (d) 為動態閾值分割後的瑕疵位置。

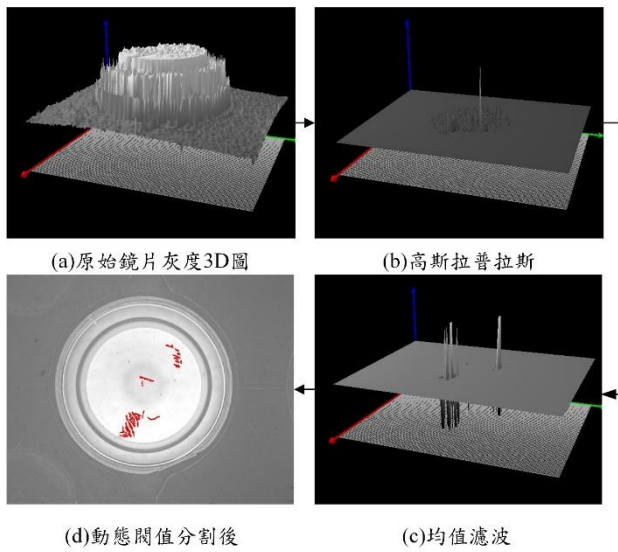


圖 19. 動態閾值二值化的處理流程

4. 侵蝕與膨脹

經動態閾值演算法後，此時已可以顯現影像中的瑕疵，但是這些瑕疵點，有的斷斷續續不連通，有的是由雜訊所造成的，因此接著進行影像形態學處理。形態學方法是一種非線性濾波方法，它以圖像的形態特徵為對象，能同時簡化圖像數據和保持圖像的形狀特徵，形態學的運算子主要包含了膨脹與侵蝕。膨脹是將與物體接觸的所有背景點合併到該物體中，使邊界向外擴張，可以用來填補像素點區域中的空洞。膨脹的演算法，運用3*3的遮罩，掃描圖像的每一個像素點，用結構元素去覆蓋二值圖像。如圖20所示，利用遮罩（圖20 (b)）對每個像素點（圖20 (a)）進行卷積膨脹，而得到圖20 (c)的膨脹後像素。而侵蝕是一種消除邊界像素點，使邊界向內部收縮的過程，可以用來消除小且無意義的像素點。如圖21所示，利用遮罩21 (b)對每個像素點21 (a)進行卷積消除，而得到圖21 (c)的侵蝕後像素。

5. 連通區域標記

影像經由膨脹與侵蝕處理後，可以將瑕疵給分割出來，再進行連通域標記可以將鏡片區域內的各種瑕疵幾何形狀分割成一個個單獨的連通區域。本文連通區域標記方法分為兩個步驟以8相鄰結構搜尋，第一步驟由左上(0,0)位置開始搜尋判別是否有孤立點，有孤立點將孤立點設與背景相同灰階值，若不是孤立點設為第二步驟搜尋的起始點；第二步驟由第一步驟所記錄的第一個起始點開始搜尋鏡片邊界點像素座標，搜尋順序是以右、下、左、上、右下、右上、左下、左上之順序開始搜尋並記錄像素點座標存在資料庫中。以8相鄰結構等方法去搜尋邊界像素點，求其構成連續

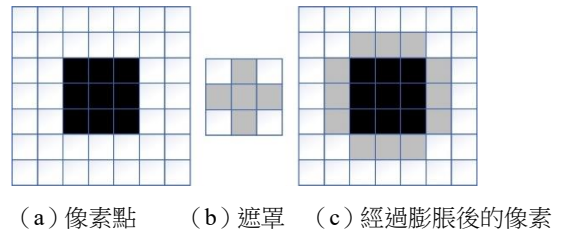


圖20. 膨脹遮罩

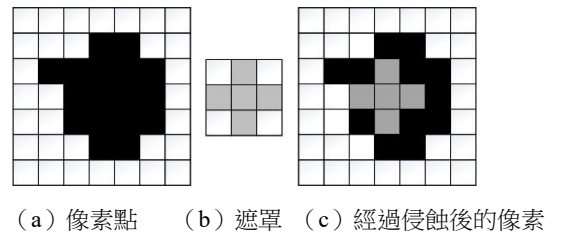


圖21. 侵蝕遮罩

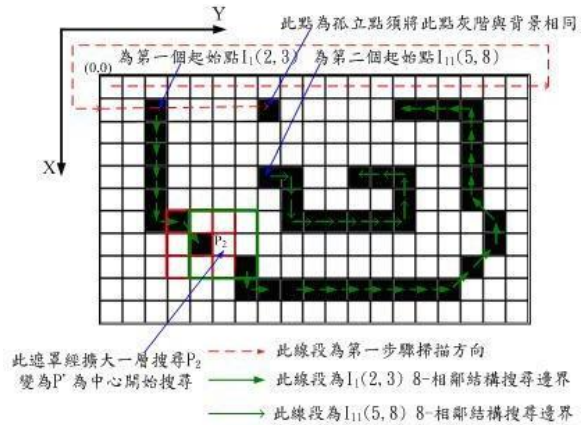


圖 22. 連通區域標記搜尋

線段如圖 22 所示。

6. 影像瑕疵的辨識

光學鏡片的表面瑕疵為鏡片在射出成形加工過程在表面存在的刮痕、污垢、氣孔等缺陷，不同的瑕疵各有不同的表面特徵，而瑕疵所在像素點的灰度值在燈光照射下會比較大，與背景的像素點有一定區別，因此，可以被檢測出來。鏡片影像瑕疵的辨識，須從影像中透過連通區域標記找出瑕疵位置，再進行特徵辨識。提取特徵的方式有辨別面積和輪廓的總長度。點狀瑕疵利用像素大小面積篩選比對，面積低於最小值不被採納為瑕疵。線條狀的瑕疵是利用瑕疵面積的大小再配合輪廓的總長度進行辨識。圖 23 為鏡片瑕疵的種類，圖 23 (a) 為提取面積篩選大小的點狀瑕疵，圖 23 (b) 為面積篩選配合輪廓總長度的線狀瑕疵。

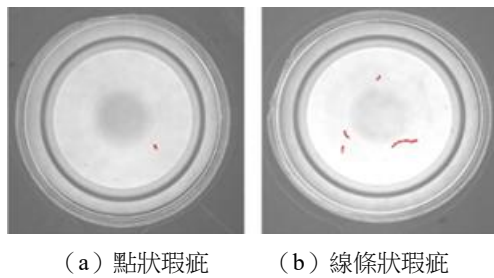


圖 23. 鏡片的瑕疵種類

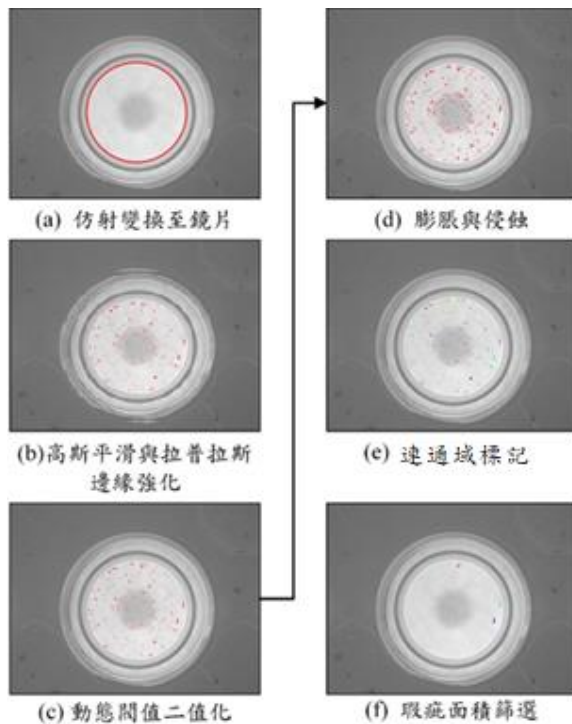


圖 24. 鏡面瑕疵檢測圖像流程

圖 24 為鏡片瑕疵檢測的圖像流程，圖 24 (a) 仿射變換後的 ROI 輪廓，圖 24 (b) 將區域進行高斯平滑與拉普拉斯邊緣強化，圖 24 (c) 圖像動態閾值二值化，圖 24 (d) 對像素點進行膨脹與侵蝕，圖 24 (e) 將像素點進行區域分割，圖 24 (f) 瑕疵種類辨識與計算瑕疵面積。

五、實驗與結果

本節運用上述所設計的鏡片瑕疵檢測流程，進行實際的塑膠鏡片表面檢測實驗，由車載鏡頭製造廠商提供 114 個良品與不良品的鏡片進行檢測測試。圖 25 為本文的實驗平台照片，包含 intel i5-10400 的個人電腦、Basler acA1280 的 CCD 工業相機、0.8*65mm WD CompactTL™ 的遠心鏡頭、RL-1643 的白色環形燈光和 DC24V Max 的定電流調光器。透過 HDevelop 的軟體平台撰寫影像處理程式。首先將 114

個塑膠鏡片依序排列在載盤上，再將載盤放在遠心鏡頭下方，以定電流調光器調整環形燈光的適當光度，讓視覺影像定焦而得到清晰的影像。個人電腦與 CCD 照相機間透過快速的 Gigabit Ethernet (1000Mbit/s) 傳輸鏡頭影像資料。檢測的塑膠鏡片中有刮痕、污垢、氣孔等瑕疵，為主要檢測目標。大的瑕疵影像可以用肉眼檢測出來，但是大部分的瑕疵面積過小或是對比不高，肉眼很難察覺，只有透過影像處理才能偵測。鏡片檢測範圍在圓形區域內，運用機器視覺非接觸式檢測擷取影像後，影像處理可以將灰度值高的缺陷特徵標示和顯示出來，並把缺陷數量標示在輸出介面上。經過第四節所介紹的模板匹配、二維計量量測做鏡片區域定位，再經影像處理和特徵篩檢後，圖 26、圖 27 和圖 28 分別為刮痕瑕疵、污垢瑕疵和氣孔點狀瑕疵的檢測結果。

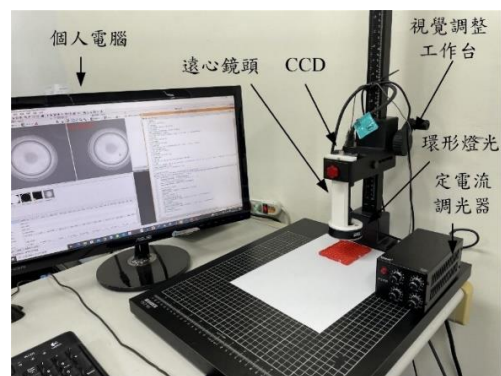


圖 25. 實驗平台設備

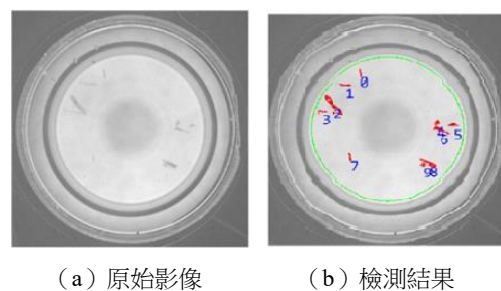


圖 26. 刮痕瑕疵的檢測結果

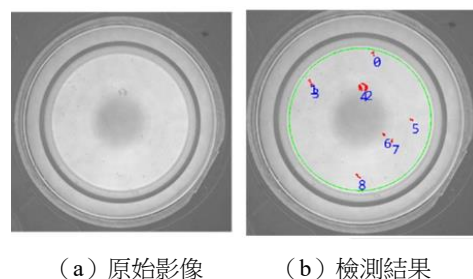
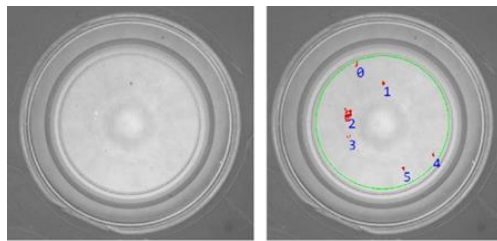


圖 27. 污垢瑕疵的檢測結果



(a) 原始影像 (b) 檢測結果

圖 28. 氣孔點狀瑕疵的檢測結果

本實驗檢測共有 114 個塑膠鏡片，其中為良品有 7 個，表面有瑕疵不良品為 107 個。經本文所提電腦視覺影像處理圖像演算法判定為 4 個良品，110 個為不良品，其中將三個良品辨識為不良品，主要是因影像受燈光干擾產生陰影所致。通過機器視覺檢測，可以檢測出肉眼無法看出的瑕疵。單張檢測時間都小於 0.02 秒內，準確率達到 97%。

六、結論

本文建立機械視覺的實驗平台，包括個人電腦、Basler Gige 乙太網路、遠心鏡頭、CCD 照相機、Led 環形燈光定電流調光器。CCD 配合遠心鏡頭檢測解析度可達 0.0682mm/Pixel。發展影像處理方法以檢測鏡片瑕疵，以模板匹配和二維計量演算法可以精確找出影像中鏡片的所在位置。然後利用高斯拉普拉斯濾波器、動態閾值二值化、形態學的膨脹和侵蝕等方法分割出瑕疵影像。最後，透過連通域標記的方法標示出瑕疵的位置。本文所發展的方法可以準確辨識出鏡片的刮痕、污垢、氣孔等瑕疵。最後，針對實際 114 個塑膠鏡片做實驗，對於瑕疵的辨識率達 97%。驗證其有效性，可以實際導入塑膠鏡片的製程，取代人工檢測，達到自動化檢測的目的。

參考文獻

1. 王泓翔 (民 108)，應用機器視覺與深度學習於皮革表面瑕疵檢測，國立台北科技大學工業工程與管理系碩士論文。
2. 吳志玲 (民 96)，隱形眼鏡自動光學檢測之設計與開發，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文。
3. 許佳蓉 (民 108)，手機鏡頭塑膠鏡片表面瑕疵分類，國立台北科技大學自動化科技研究所碩士學位論文。
4. 柳長志 (民 104)，玻璃面板瑕疵之影像檢測，崑山科技

大學電機工程系碩士論文。

5. 張峻睿 (民 108)，隱形眼鏡乾片圖紋瑕疵檢測系統，國立雲林科技大學電機工程系碩士論文。
6. 蔡傳暉 (民 102)，應用機器視覺於隱形眼鏡瑕疵檢測之研究，華梵大學機電工程學系碩士論文。
7. Anupama, S., S. N. Prajwalasimha and H. Swapna (2018) Finger print image enhancement using thresholding and binarization techniques. 2018 Second International Conference on Inventive Communication and Computational Technologies (ICICCT), 899-901.
8. Azam, M. and N. Bouguila (2019) Texture image categorization in wavelet domain via naive bayes classifier based on Laplace and generalized gaussian distribution. 2019 IEEE 20th International Conference on Information Reuse and Integration for Data Science (IRI). 143-150.
9. Bao, N., Y. Fan, A. Simeone, T. Li and Z. Luo (2021) Defect detection system for smartphone front camera based on improved template matching algorithm. *Procedia CIRP*, 103, 268-273.
10. Bazin, A. I., T. Cole, B. Kett and M. S. Nixon (2006) An automated system for contact lens inspection. ISVC 2006, LNCS 4291, 141-150.
11. Cho, C. S., B. M. Chung and M. J. Park (2005) Development of real-time vision-based fabric inspection system. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 52(4), 1073-1079.
12. Ding, Z. J., Y. Zhang, A. Q. Yang and D. Li (2012) Image matching of gaussian blurred image based on sift algorithm. 2012 International Conference on Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICWAMTIP), 121-124.
13. Kuo, C. F. J., W. C. Lo, Y. R. Huang, H. Y. Tsai, C. L. Lee and H. C. Wu (2017) Automated defect inspection system for CMOS image sensor with micro multi-layer non-spherical lens module. *Journal of Manufacturing Systems*, 45, 248-259.
14. Lin, C. S., G. H. Loh, C. L. Tien, T. C. Lin and Y. C. Chiou (2013) Automatic optical inspection system for the micro-lens of optical connector with fuzzy ratio analysis. *Optik - International Journal for Light and Electron Optics*, 124(17), 3085-3090.
15. Lin, C. S., G. H. Loh, S. H. Fu, S. W. Yang, H. K. Chang and M. S. Yeh (2010) An automatic evaluation method for

- the surface profile of a microlens array using an optical interferometric microscope. *Measurement Science and Technology*, 21(10), 105304.
16. Lin, H. D., Y. S. Peter Chiu and S. Y. Hsu (2011) A visual inspection system for quality control of optical lenses. *International Journal of the Physical Sciences*, 6(11), 2701-2709.
 17. Mallick, A., S. Roy and S. S. Chaudhuri (2014) Optimization of Laplace of gaussian (log) filter for enhanced edge detection: a new approach. 2014 International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication(CIEC), 658-661.
 18. Mitra, A., S. Roy and S. K. Setua (2014) Morphologically contour extraction of decisive objects from image. 2014 First International Conference on Automation, Control, Energy and Systems (ACES), 1-5.
 19. Narayanan, V. S. and N. Kasthuri (2018) Performance evaluation of image binarization technique for recognition of ancient historical documents. 2018 International Conference on Intelligent Computing and Communication for Smart World (I2C2SW), 231-235.
 20. Ramesha, M. S., B. Sridhara, N. Anughna, A. B, Anne Gowda and P. T. Veeresh (2020) Centroiding and connected component labeling for radar images using image processing algorithms. 2020 International Conference on Smart Technologies in Computing, Electrical and Electronics (ICSTCEE), 50-54.
 21. Tang, H. Y., S. Liang, D. Yao and Y. G. Qiao (2023) A visual defect detection for optics lens based on the YOLOv5 - C3CA-SPPF network model. *Optics Express*, 31(2), 2628-2643.
 22. Tsai, T. H., T. Y. Lee and P. H. Chen (2017) The ROI of rice planthopper by image processing. 2017 International Conference on Applied System Innovation (ICASI), 126-129.
- 收件：112.07.10 修正：112.07.31 接受 112.08.28