

玻璃面板檢測之影像處理軟體開發技術轉移 執行成果報告

執行系所：電機系

計畫主持人：吳明芳

聯絡電話：0912994102

E-mail：wumifa@mail.ksu.edu.tw

計畫名稱：玻璃面板檢測之影像處理軟體開發技術轉移

計畫編號：102-N-270-COM-P-703

執行期間：102年9月1日~103年8月31日

中華民國 103 年 10 月 23 日

1. 研究計畫背景及目的

1-1 背景及目的

機器視覺檢測亦稱為自動化光學檢測(Automatic Optical Inspection, AOI)主要用於工廠作業生產線上針對於零件與產品品質所檢視。近年來由於版導體與電腦、電子、再生能源產業蓬勃發展，造成自動化光學檢測技術需求大幅提昇，尤其當半導體晶片與電子通信產品內部之線路愈見細微，無法再依賴人類肉眼之檢測時，製造業者深刻瞭解產業存活與成功的關鍵是降低成本、提昇生產力品質，因此必須重新檢視、設計製造程序，又其中以AOI檢測系統成為重視品質管理的高科技產品生產環境中不可缺少的設備之一。全世界有很大部分的LCD面板是在台灣生產製造的，因此針對生產設備的需求日益升高，再者因為生產設備的改進，在TFT-LCD產業中的熱門趨勢已經顯示出在螢幕尺寸與密度都持續加大中。這使得快速、高產出率已經是管理成本費用中所需考慮到的基本要素，因此加速產出數量就是LCD產業所要面臨的最大挑戰。無瑕疵LCD生產設備是TFT-LCD面板製造過程相當重要的一環，為了確保大量生產的LCD面板的品質，自動化錯誤偵測絕對是不可或缺的元素。在製造過程中有一些重要因素將會影響到最終產出產品的品質，而最終目標是要產出「百分百完美」的螢幕供銷售。因此，在每一面板完成後就能進行快速與高正確性的視覺檢查將是產出完美產品的重要關鍵。自動化光學檢測系統就是要能快速且正確地偵測出瑕疵並加以分類。

隨著面板產業的蓬勃發展，對於品質上的要求提昇，相對於檢測技術上的需求也日漸提高，早期工業界採用的檢測方式通常是透過人工以肉眼和經驗去檢驗，不僅缺乏效率且擁有極高的錯誤率，產生以下問題發生：

- 受限於人眼的最小可辨識能力，人工檢測在精度上有所不足。
- 人工檢測費時，增加元件暴露在外的時間，使面板易受環境落塵影響。
- 人工檢測受限於成本及檢測速度，只能達到抽檢，無法達到全檢。
- 檢測人員認定變異性大，易受主觀影響。
- 由於瑕疵規格逼近人眼極限，且檢測人員必須長時間注視光源，容易因疲累等因素產生誤判。

因此，經由人工檢測後的品質上較難達到穩定上的需求，而任何一類瑕疵發生將使得最後的產品不能達到良品的要求，如果透過機器視覺即早發現瑕疵，則可以確保最後產品的品質及避免後端製程之材料浪費，偵測出瑕疵位置後進一步擷取瑕疵特徵並進行分類，此分類資訊將

可有助於製程的改進。

近年來AOI系統逐漸被大量使用於面板工業檢測中，並且隨著機器視覺(Machine Vision)產業不斷創新與成長，也為了迎合機器視覺成為提高製程良率不可或缺之重要技術，各種影像視覺檢測及分析技術應用於AOI中的研究與發展自當為勢所趨，所以本子計畫研究的目的是在於運用及發展各類影像視覺檢測技術於AOI系統中，以準確檢測出各項瑕疵種類及完成瑕疵的分類。

1-2 文獻回顧

過去已有許多研究人員在瑕疵檢測上投入多方面的心力。其中在國際上的研究有K.NAKASHIMA [1]把LCD之彩色濾光面板瑕疵可分為兩大部分，一種為巨觀性瑕疵(Macro-Defect)，另一種為微觀性瑕疵(Micro-Defect)，其中巨觀又分類為IRO-MURA、SIMI、IRO-ZURE 三種型式，IRO-MURA的意思為顏色非均一性，SIMI意思為在Color Filter上的色斑，IRO-ZURE則代表液晶分子排列錯誤或沒有排列在一直線上，至於微觀上也把它分為六種如Black Matrix Pattern、Defect Black Matrix Hole、Siro-Nuke、Particle、Grain、Hole in ITO film。Chi-Jie Lu及Du-Ming Tsai[2]提出獨立分量分析(Independent Component Analysis, ICA)法於TFT-LCD面板的破格(anomalies)瑕疵檢測，過程中，首先利用ICA於無瑕疵面板影像並建構出完全混合矩陣(de-mixing matrix)，代表無瑕疵面板的整體結構圖樣(global structural pattern)，當與有瑕疵面板的完全混合矩陣比對後，便可消除正常無瑕疵的區域，進而檢測出破格瑕疵之處，然其缺點為對於受測影像的垂直移動較為敏感，且無法保留瑕疵區域大小及形狀資訊。Yuan-Shyi Peter Chiu及Hong-Dar Lin [3]使用基於霍特林(Hotelling)統計的一種混合趨近(hybrid approach)方式，並結合了螞蟻群聚方法(ant colony method)及類神經網路模型(neural network model)來自動檢測LCD面板的顯示瑕疵，過程中，首先利用多價值性的霍特林統計法來整合色彩模型(color models)的不同座標，以及建構一個霍特林差距圖(Hotelling distance diagram)來表示可能有瑕疵區域的色彩變動程度，然後使用一個結合電腦視覺技術的螞蟻群聚演算法就可以從霍特林差距圖中準確辨識出不尋常的瑕疵區，最後再用遞回傳遞(back propagation)的類神經網路模型從霍特林差距值中來偵測出輕微色彩變異的瑕疵區域。Yi-Hung Liu等[4]以內核FCM為基礎(kernel FCM-based)的模糊支撐向量資料描述(fuzzy support vector data description, F-SVDD)團(ensemble)來進行TFT-LCD陣列的瑕疵辨識，在F-SVDD團中，所有成員(members)的最佳數量及每一成員的元素(elements)可以使用KFCM(partitioning-entropy-based kernel fuzzy c-means)演算法來決定，並藉此達成LCD的瑕疵偵測。Shu-Kai S. Fan 及 Yu-Chiang Chuang [5]提出以回歸

診斷(regression diagnostics)為基礎的自動Mura瑕疵檢測法，此法使用預測誤差的平方和(prediction error sum of squares)殘值及一影像估測程序(image estimation procedure, PRESS)，來進行TFT-LCD的Mura瑕疵檢測，過程中先經由一線性模型來估測輸入影像的灰階資料，再計算出PRESS殘值後過濾出Mura區域。Su-Hwan Kim等[6]使用光學相干斷層掃描(optical coherence tomography, OCT)對LCD面板進行非破壞性的瑕疵檢測，此方法經由OCT可以取得LCD面板的x光斷層照片(tomograms)及其二維影像，再以這些影像為基礎建構出LCD面板的三維影像及其三維形狀(three-dimensional shape)，並可確認出LCD面板內部發生瑕疵的垂直位置，此方法的好處在於不論是平坦或彎曲的面板皆可輕易檢測出其內部瑕疵，但其缺點在於需要一套昂貴的OCT系統，同時也要處理x光輻射的問題。

在國內有關LCD面板瑕疵檢測的研究中，曾彥馨[7]利用傅立葉轉換將空間灰階影像週期性特徵有效地呈現於傅立葉頻譜影像中特性，在由傅立葉頻譜中找出TFT-LCD面板上信號、閘線與薄膜電晶體，三種紋路結構的頻率，再利用反傅立葉轉換將其影像還原，分類處理上採用型態學中的閉合運算方式，在低解析及高解析度偵測下，對瑕疵的特徵進行分類，其後對影像進行標記與面積計算。陳普中[8]使用二維統計法中的鄰近灰階相依矩陣(NGLDM)取代灰階共生矩陣(GLCM)，加快紋理分析的速度來，檢測布匹或人造織品等具有明顯紋理結構材料的瑕疵。楊榮華[9]利用灰階係數法及灰階共變異矩陣法所產生之相似度，進行比較分析檢測印刷電路板、液晶顯示器面板、晶圓與印刷字元。邱振洋[10]利用共面性演算法做IC接腳的檢測，並使用領域分割(Segmentation)及Correlation影像處理原理訓練匹配與XOR運算，做IC印碼的檢測。陳璋琪[11]應用小波理論用來檢測印刷電路板的瑕疵；曾彥馨[12]使用傅立葉轉換(Fourier transform)及反傅立葉轉換的技術，配合濾除頻譜中TFT面板垂直水平紋路之頻率元素，與保留瑕疵能量在頻譜中所貢獻最多的區域，將TFT面板規律紋路加以濾除並且保留瑕疵特徵，再經過統計管制界線法凸顯瑕疵達到檢測瑕疵之目的。鄭光宏[13]利用影像比對方式做影像相減、最小矩形法將字元切割與細線化檢測並透過特徵值找尋、與RBF類神經網路抗雜訊特性，來分別檢測超薄型表面載式電桿器表面瑕疵、印刷字元與銅線顏色。周志賢[14]次像素插值法中的傅立葉正反轉換、線性內插法及立方內插法提高直接比對法對印刷電路板缺陷檢測之可行性。楊程翔[15]之分位數散佈圖之相似度指標於印刷電路板的瑕疵檢測，提出分位數演算法應用於圖形比對，能有效地將二維灰階資訊轉為一維分位數資訊使得資料處理量可以大幅降低，並有效降低影像因位移或些許製程變異所造成之誤判，正確地偵測影像中異常的瑕疵區域，並使用分位數卡方值之p-value為相似度指標，有效區分影像中正常與異

常區域。許智超[16]使用時域訊號統計量-均方根(Root Mean Square、RMS)值與峰態(Kurtosis)值、快速傅立葉轉換(FFT)、雙通道分析和1/3八音度分析等訊號處理方法，並應用NI公司的LabVIEW程式，來分辨正常引擎與瑕疵引擎。林宸生[17]使用斷開、閉合、膨脹、侵蝕及空間迴旋運算等數位影像處理技術，並加入基因演算法，透過基因演算競爭方式選擇法進行淘汰，來檢測高速TFT LCD之瑕疵。歐陽衡[18]亦使用數位影像處理技術，對封裝積體電路(IC)之外接引腳和膠體外觀分析，以判斷其外觀形狀是否符合製造規格。許哲榮[19]使用影像分割法結合倒傳遞類神經網路，改善瑕疵影像漏失的情況並將檢測結果予以分類，以漏失率與分類正確率來評估與現有技術上的檢測效果。陳彥宏[20]應用彩色機械視覺來檢測BGA基板表面瑕疵，以顏色特徵、幾何形狀以及設計法則來分辨BGA瑕疵的種類，在分類上利用幾何特徵來辨識瑕疵的種類分別為針孔、刮傷與異物，內容主要分為兩大部分，第一部分經由色度校正作簡易的色度計，第二部分建立一套快速BGA基板自動化檢測，使用二階及三階校正矩陣的分法進行色度校正，再利用回歸分析的方式，去得到校正矩陣的參數值。

2. 研究方法

完整的自動化光學檢測系統之組成包含機械結構系統、人機介面系統、控制系統、影像視覺檢測系統、以及光學分析系統等五大部分，如圖15所示。其中影像視覺檢測系統目的在於實現玻璃面板取像、影像處理與瑕疵之判別，為本分項計畫之研究重點，它是由照明系統、取像系統、影像處理及分析系統等三部分所組成，其研究方法及原理將分別於2-1至2-3節描述。

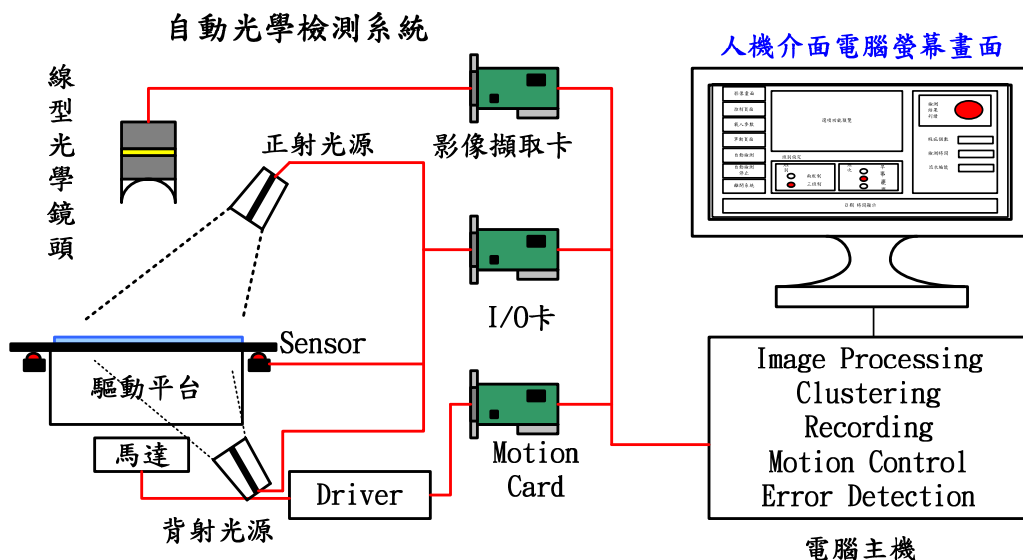


圖 15 自動化光學檢測系統架構圖

2-1 照明系統

整個影像視覺系統中，取像的品質固然重要，但缺乏適當的光源，將使成像分析失去可信度，所以有效強化檢測物與背景之差異性將是必要的工作項之一。隨著配置不同光源對於成像的品質也會有所不同，在此整理不同光源之特性比較如表13。本研究光源之選擇將依計畫進行中的實際情況加以評估選用。

表 13 不同光源之特性比較

光源類別	光源之特性
日光燈	獲得較好對比度，但會有閃爍問題
紅外線	清楚顯示影像細節
雷射與 X 光	降低系統複雜度
鹵素燈	提供比鎢絲燈、日光燈、及 LED 更高之亮度
LED 燈	壽命較長，電壓穩定、具有高速閃光能力
氙燈	適運用高速產線，但不適於持續性照明
環境光源	容易造成影像分析時不必要之雜訊分佈

我們可依據待測元件的表面受光特性選擇不同的光源配置及其架設型態，就光源配置部分而言，可以分成前照式(Front Lighting)、背照式(Back Lighting)、及側照式(Side Lighting) 如圖16。前照式為利用物體表面之反射性，是一般業界最常見之用法，將光源與影像感測器配置於待測樣品的同一側，相當於明場照明之效果，前照式的角度依待測物件之特性有各種不同的選擇，可再細分為反射式照明及散射式照明，反射式照明利用光源發出之束直接從物體表面反射至光學鏡頭，影像感測器中之感知元件能得到最大的光量，但相對地，感知器對於物體表面的角度變化會相當敏感；散設式照明則利用多數物體表面皆將光線反射至各個不同角度之特性，故感知元件感應到散射的光線而非反射的光線。背照式則是將光源配置於待測物之後方，此時影像感測器僅能接收待測物件輪廓以外之光線，相對地能夠偵測待測物件所在位置及其輪廓，相當於暗場照明的效果，利於瑕疵大小的判斷；而側照式則是將利用光源照射待測物件之側面，藉由物件表面之高低起伏產生散射，此一配置可將

物件表面之幾何起伏增強，相對地容易有將瑕疵放大的效果。本研究所要評估的光源種類及聚光裝置，主要衡量兩項鑑別度指標：擷取瑕疵影像為可鑑別之種類數目及精確程度。

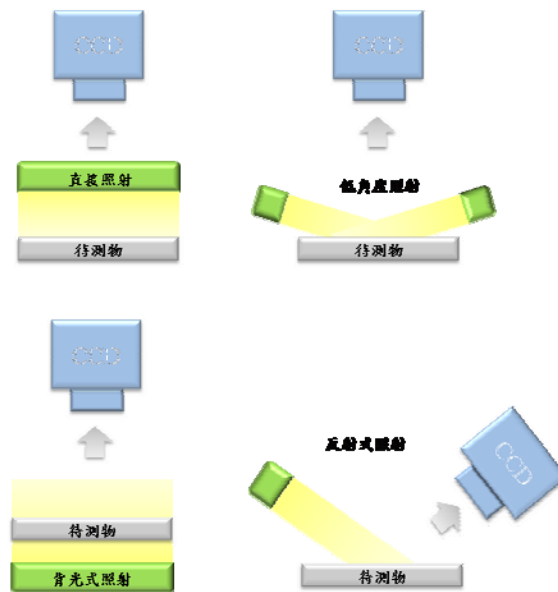


圖 16 前照式、背照式、及側照式

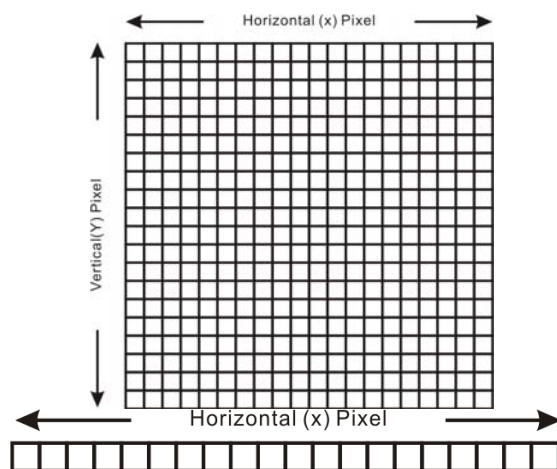
2-2 取像系統

一般成像系統為鏡頭、影像感測器、及影像擷取卡所組成，利用鏡頭將影像聚焦後投射於影像感測器上，經感測器中的感測元件陣列將影像解析成為眾多畫素後，透過影像擷取卡暫存其各自的類比電壓訊號，將其數位化及輸出至顯示器顯像。

在自動化檢測上，一個量測物品質的清晰與否，鏡頭扮演著相當重要的影響，因為鏡頭決定了成像系統的放大倍率、景深(Depth of Focus)、景寬(Field of view)、工作距離(Working distance)、及影像強度，而為了能夠整面成像並消除像差，光學鏡頭通常由多層鏡片所組成，鏡頭的品質也依價格不同等級的區分相差極大。而不同功能性之鏡頭如一般鏡頭、Marco鏡頭、變焦鏡頭、及望遠鏡頭等，皆有其特殊之應用。

現今市面上最為廣泛應用於AOI系統之影像感測器為CCD(Charge Couple Device)，而依感測元件形狀之分佈又可分為線型(Linear)及面型(Area)兩類，如圖17。表14所列为面型CCD與線型CCD詳細的特性比較。由於Line-scan模式的取像頻率相當高，待測物體可做快速的線性移動即可擷取影像，可加快檢測效率，因此本研究分項計畫：玻璃面板取像、影像處理與瑕疵判別之研究，於第一年研究工作中選擇Line-scan模式取

像。在攝影機解析度上，則選用4K即可拍攝到所需的瑕疵資訊。



(a)面型 CCD 感測器結構圖

(b)線型 CCD 感測器結構圖

圖 17 面型 CCD 與線型 CCD 的感測器結構圖

表 14 面型 CCD 與線型 CCD 的特性比較表

	面型 CCD		線型 CCD
感測器種類	(交錯式) Interlace 一般用於靜態 取像檢測	(漸近式) Progressive 一般用於靜態 取像檢測	以一條一條掃描組合影像 適合於高速及高度大面積 的檢測體掃描
搭配光源	依待測物表面及動態型式 決定光源(常用為 LED 燈)		(一般為穩定線性光源) 如鹵素燈
取像方式	搭配光源曝光即可		需與高精密的馬達控制或 光源進行配合同步觸發取 像
取像速度	以 frame(張)為單位表示 (每秒擷取影像張數 一般為 30 fps)		以 line rate 為單位表示每秒 掃描的速度，一般為 14KHz~60KHz (依感測解析度而定)

解析度	水平像素×垂直像素數目 如:640×480、1024×1024 通常與影像感測器的大小及 鏡頭倍率有關	單線畫像素數目，每像素的 尺寸大小有 7μm、10μm 等， 而解析度常見的有如： 2K(2048)、4K (4096)、 6K(6144)、8K(8192)等
應用	適合於低速面積較小的物體 檢測(如 BAG·IC 等瑕疵檢測)	適合於快速、高精度及大面 積的物體檢測(如大面積 ITO 玻璃、TFT 面板等表面 瑕疵檢測)

2-3 影像處理及分析系統

本計畫預計發展自動化玻璃面板瑕疵檢測系統關鍵技術，玻璃面板製造完成後，必須檢測其外觀瑕疵，包括刮傷、指痕、針孔、印刷刮傷、毛屑及亮暗點等瑕疵，如7所示。

這些瑕疵類別在現場外觀檢測中發生率最高，而外觀瑕疵目前多倚賴人工檢測，這些瑕疵十分微小，使用人工檢測，不但費時且易誤判，任何一類瑕疵發生將使得最後的產品不能達到良品的要求，如果透過機器視覺即早發現瑕疵，則可以確保最後產品的品質。本計畫擬定的自動化玻璃面板瑕疵檢測系統之玻璃面板尺寸規格與檢測瑕疵種類如表15所示，外觀瑕疵技術規格如表16所示。

表 15 玻璃面板瑕疵檢測系統之玻璃面板尺寸規格與檢測瑕疵種類

檢測面板尺寸	瑕疵種類	
	真瑕疵	準瑕疵
最大長×寬×厚 528(mm)×320(mm) ×0.6(mm)	亮暗點 針孔 刮傷 微電弧斑點 鍍膜剝離 色澤不均	粉塵 水漬 手套指印

表 16 外觀瑕疵技術規格(蘋果電腦玻璃面板訂定規格)

亮暗點		缺陷 $\leq 0.02\text{mm}^2$ ，不限制數量 (允許)
		$0.02\text{mm}^2 < \text{缺陷} < 0.3\text{mm}^2$ ，且符合規格之缺陷與缺陷間之距離大於10 mm，每片玻璃之缺陷數少於10點 (允許)
		缺陷 $\geq 0.3\text{mm}^2$ (不允許)
刮傷	明亮(Air side)	不論大小，一律不准有
	明亮(Tin side)	不論大小，一律不准有
	暗淡	缺陷 $< 2.0 \text{mm}^2$ ，且缺陷與缺陷間之距離大於100 mm (允許)
		缺陷 $\geq 2.0 \text{mm}^2$ (不允許)
針孔		缺陷 $\leq 0.04\text{mm}^2$ ，不限制數量 (允許)
		缺陷 $> 0.04\text{mm}^2$ (不允許)
微電弧斑點		不論大小，一律不准有
鍍膜剝離		不論大小，一律不准有
色澤不均		不論大小，一律不准有

為了能快速且正確檢測出上述瑕疵，本分項計畫：玻璃面板取像、影像處理與瑕疵判別之研究，於第一年的主要研究內容為：面板取像及數位影像處理功能之研發，完成影像之前處理，並計算出瑕疵影像之實際大小與所在位置。軟體架構流程如圖18所示。擷取的玻璃面板影像通常在四周圍少許會涵蓋面板之外的非目標區域，因此需訂定ROI(Region of interesting)的範圍，以遮蔽非目標區域。在影像前處理部分，為了移除雜訊，因此發展低通濾波去除雜訊，雖然低通濾波將影像平滑化，稍微降低瑕疵的能量，但可大為降低因雜訊所造成的誤判情形。除此之外，考慮到環境光的影響，玻璃面板表面的光線可能不均勻，因此使用直方圖等化(Histogram Equalization)技術來平衡光線。隨後以二值化處理來找出瑕疵區域，二值化處理主要的目的是為了分離影像中的物件與背景，並藉此檢測出瑕疵區塊。由於同一瑕疵區域(本體瑕疵)在二值化處理後，有可能被斷開成距離非常近的相鄰小瑕疵區塊，或者本體瑕疵內部會連結得不夠緊密，因此本計畫擬發展形態學的閉合運算技術，將屬於同一本體瑕疵的區域盡可能完整呈現，以利擷取瑕疵特徵。每一本體瑕疵區域完整呈現後，本計畫接著擬利用連接元區域標定技術，將每一瑕疵區域內的資訊記錄下來，以便於計算其長寬、面積大小及位置等特徵，並建立出瑕疵特徵表，以利本分項計畫之第二年研究(準瑕疵分類功能之研發，完成兩道Line scan雙鏡頭取像檢測技術開發)的進行。上述各

流程之影像處理技術及方法詳述如下：

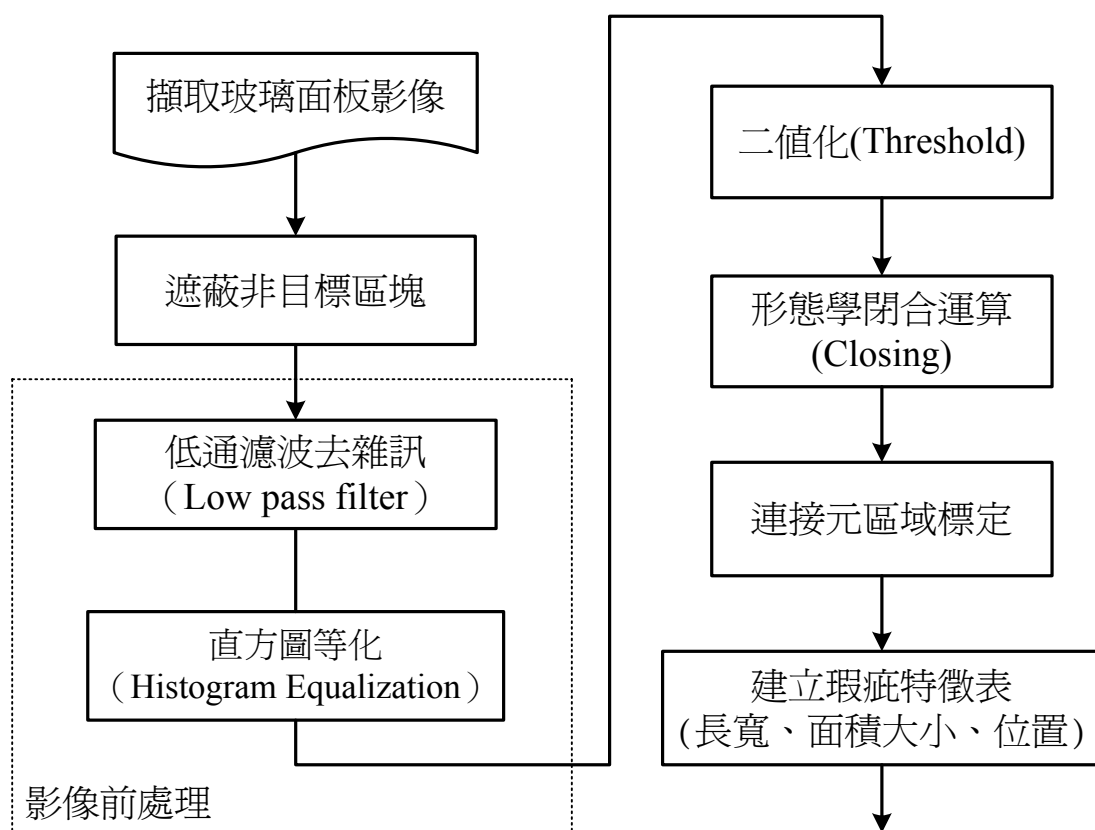


圖18 影像處理之軟體架構流程圖

(1)低通濾波(Low-pass Filter)

低通濾波器主要用來消除影像上高頻變化的部分，可使影像的變化較為均勻，並降低雜訊的能量。本計畫擬參酌均化濾波及高斯濾波等二種最常用的低通濾波技術，並將深入分析比較這兩種低通濾波技術的優缺點及其適用性。

● 均化濾波(Smoothing filter)[21][22]

常用之均化濾波器遮罩如圖19所示，由於其運算方式為遮罩範圍內平均灰階值，所以能消除對比強烈的雜點，強化低頻的部分，其副作用即使影像模糊，所使用的遮罩越大，其模糊的效果越大。

1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9
1/9	1/9	1/9

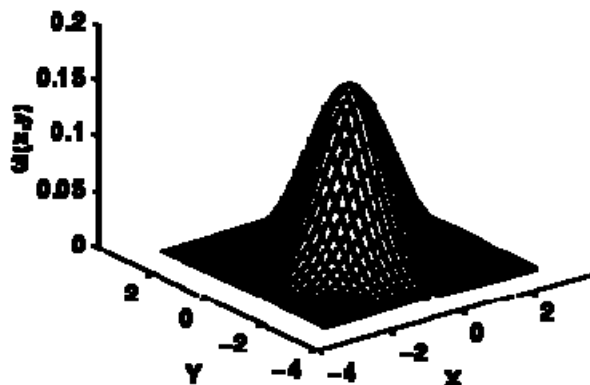
	1/8	
1/8	1/2	1/8
	1/8	

1/16	1/8	1/16
1/8	1/4	1/8
1/16	1/8	1/16

圖19 常用的均化濾波遮罩

● 高斯濾波(Gaussian smoothing)[27]

高斯濾波是一種影像處理方法，經常用於模糊影像及去除影像中雜訊，主要概念類似一個低頻濾波器，意即去除一張影像中高頻的訊號(如雜訊)而達到使影像更平滑的效果。高斯模糊是將影像套用於等向的二維高斯函數，圖20(a)為二維空間中，Gaussian 在 $\mu=(0, 0)$ 及 $\sigma=1$ 時的分布，由於影像是以離散的像素儲存在電腦中，因此利用一個離散矩陣來估計此高斯函數，如圖20(b)所示，再將整張影像對此矩陣做迴旋積分而達到去除雜訊的目的。



$$\frac{1}{273}$$

1	4	7	4	1
4	16	28	16	4
7	28	41	28	7
4	16	28	16	4
1	4	7	4	1

(a)

(b)

圖20 Gaussian Model示意圖

為了使去除雜訊的結果更為客觀，我們套用3x3、5x5、7x7、9x9及11x11的矩陣去做旋轉積分，發現矩陣若太大，則運算的時間長，且將欲檢測的瑕疵也被模糊化；若矩陣太小，則高頻雜訊無法如預期去除，無法降低檢測的過程中的誤判率，因此最後本計畫將採用5x5的高斯矩陣做為最後的折衷辦法。

(2)直方圖強化(Histogram Equalization)

實際實驗的操作過程中，環境因素不同或擴散膜擴散光線不均勻會造成所擷取影像的對比及明暗程度不一制；換句話說，低對比度影像可導源於低的照明、影像感應器的動態範圍不夠，或甚至是在影像取得期間透鏡光圈的錯誤設定，而高對比度的影像可能因為曝光時間過長、光圈設定太大或光源強度過於強烈等等。直方圖等化的想法就是在於增加待處理影像中灰階的動態分布，本於這個觀念，我們注意到在暗的影像中，直方圖的成分集中於灰階度低（暗）的一邊；同理，明亮影像的直方圖成份傾向於灰階度高的一邊，而一個對比度低的影像的直方圖將是狹窄且集中於灰階度的中間，因此我們利用直方圖等化來將影像的直方圖成分對應到涵蓋較寬廣範圍的灰階刻度，以達到平衡影像對比度的效果。

直方圖強化之主要目的在於希望強化後的影像能達到全動態範圍且灰度值分佈均勻。其主要的方式為計算影像上所有灰度值的分佈量，並令其均勻的分佈於0~255之間。根據機率論的變數變換定理，取任意機率函數的分佈函數為變數變換公式，能將機率函數轉換為在(0,1)間的平均分配機率密度函數[22]。設原機率密度函數為 $p(f)$ ，則其分布函數為：

$$T(f) = \int_0^f p(x)dx \quad 0 \leq x \leq 1 \quad (1)$$

讓 $s=T(f)$ 表示轉換後的灰度變數，則

$$p(x) = p(f) \frac{df}{ds} = p(f) \frac{1}{p(f)} = 1 \quad (2)$$

因此變數 s 的機率分佈為均勻分佈。由前方所推導的公式可知直方圖強化函數可表示如下：

$$s = T(f) = \int_0^f p(x)dx \quad (3)$$

由(3)式得到的 s 還是無法得到正確的灰度值，因為計算出來的值並不一定在此有限能階上，因此需要將 s 重新量化。由於 s 為一累加機率，其最大值為1，會落於最高灰階值上，因此新灰階值是由 s 乘以最高灰階值來得到。綜合以上所述，直方圖強化的演算步驟如下所述：

步驟1 求算原影像色階分佈 f 的機率密度函數 $p(f)$:

$$p(f) = \frac{\text{原影像灰階值出現次數}}{\text{整張影像總像素數}} \quad (4)$$

步驟2 計算累加機率 ($s = \int p(f)df$) :

$$\begin{cases} s_0 = p(0) \\ s_i = p(i) + s_{i-1} \end{cases} \quad (5)$$

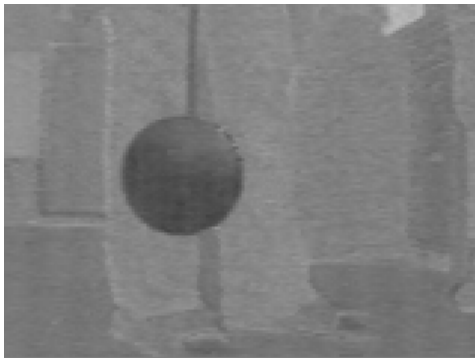
其中 $i=1, 2, \dots$, 到最高灰階值 f_{\max} , 例如8位元影像灰階時 $f_{\max} = 255$ 。

步驟3 計算新影像的灰階分佈值 g :

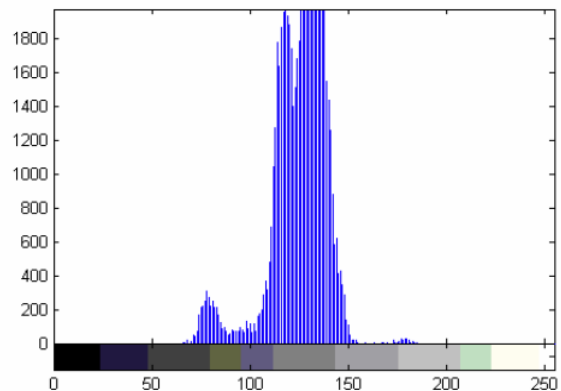
$$g_i = \text{累加機率 } s_i \times f_{\max} \quad (6)$$

其中 g_i 表示原影像灰階 i 經強化後的新灰階值。

若以實際影像為例，圖21(a)顯示了類似有暗點的面板局部影像，其灰階值直方統計如圖21(b)所示，將此影像經直方圖強化後結果如圖22(a)，且強化後的直方圖如圖22(b)所示。比較圖21(a)及圖22(a)發現，影像中的暗點變得更為明顯；再比較圖21(b)及圖22(b)得知，強化後的影像灰階值分佈變為全範圍(0~255)的分佈狀態，因此改善了影像的對比狀況。

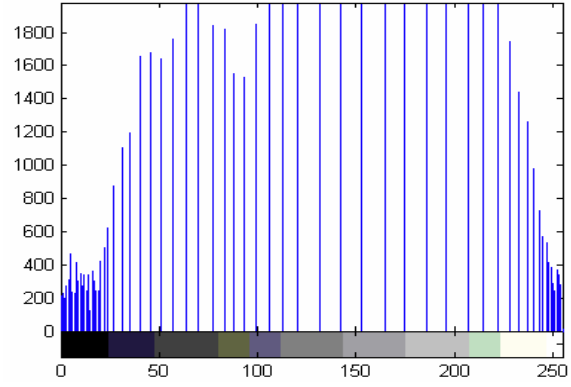
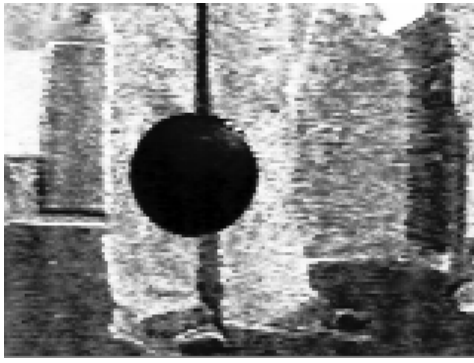


(a) 有暗點的灰階影像



(b) 圖21(a)的直方統計圖

圖21 未經直方圖強化的影像及其直方圖



(a) 經強化後的灰階影像

(b) 圖22(a)的直方統計圖

圖22 經直方圖強化的影像及其直方圖

(3)二值化(Thresholding)

二值化處理主要的目的是為了分離影像中的物件與背景，在灰階值 0~255 範圍中，透過臨界值(Threshold Value)判定，將影像簡化為二值影像資訊，以減少後續處理之複雜度。典型的二值化是採用全域門檻值(Global Threshold)，利用統計理論計算整張影像的灰階值找出門檻值後，用計算後得到的門檻值套用於整張影像。但光源的均勻度與待測物紋理都會影響到擷取到影像的灰階分布，若使用單一門閥值判斷來進行整張影像的二值化處理，顯然不大合適。本計畫擬參酌可自動局部動態閥值設定的適應性二值化(Adaptive thresholding)及Otsu等二種最常用的二值化技術，並將深入分析比較這兩種二值化技術的優缺點及其適用性。

● 適應性二值化[22]

適應性二值化的概念，乃個別計算出每一像素的門檻值(Local threshold)，依照該像素鄰居($n \times m$ pixels)之灰階分布，計算出該像素二值化門檻值。玻璃背景的擷取影像灰階值是屬於一個範圍，瑕疵的存在會比周圍背景灰階值略高，故設定玻璃背景的灰階變化應落在平均周圍灰階值上下略為變動，所以本計畫你將參酌之適應性二值化，其門檻值等於周圍灰階平均值加上一補償值 T_c ，計算公式如下：

$$\begin{cases} g_m(x, y) = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} f(x - \frac{n-1}{2} + i, y - \frac{m-1}{2} + j) \\ T_{xy} = g_m(x, y) + T_c \\ g(x, y) = \begin{cases} 255 & f(x, y) > T_{xy} \\ 0 & f(x, y) \leq T_{xy} \end{cases} \end{cases} \quad (7)$$

其中 $f(x,y)$ 是輸入影像中座標 (x,y) 的像素灰階值， $g_m(x,y)$ 為 $f(x,y)$ 與其周圍鄰居的平均灰階值， n 、 m 是周圍鄰居影像的長寬， T_{xy} 是二值化閾值， $g(x,y)$ 是二值化後輸出影像座標 (x,y) 的像素灰階值。

● Otsu二值化[24]

Otsu 的這個方法在許多應用上時常被提起，主要是在二值化的過程中，這個方法可以自動找到一個局部動態的臨界值，讓不同的群組分開。Otsu二值化的方法如下：

令影像的大小為 $N \times N$ ，影像灰階值的範圍為 I 個色階，而灰階值 $i \in [0, I-1]$ 在影像中出現的次數為 n_i ，則灰階值 i 的機率可表示為：

$$p(i) = \frac{n_i}{N} \quad (8)$$

假設群組 C_1 、 C_2 內的像素個數比率分別為 W_1 、 W_2 ，其中 $W_1 + W_2 = 1$ ，則可以算出 C_1 、 C_2 的機率分別為

$$\begin{aligned} W_1 = \Pr(C_1) &= \sum_{i=0}^T P(i) \\ W_2 = \Pr(C_2) &= \sum_{i=T+1}^{I-1} P(i) \end{aligned} \quad (9)$$

利用計算出來的機率，可進一步算出 C_1 、 C_2 的期望值為

$$\begin{aligned} u_1 &= \sum_{i=0}^T \frac{p(i)}{W_1} \times i \\ u_2 &= \sum_{i=T+1}^{I-1} \frac{p(i)}{W_2} \times i \end{aligned} \quad (10)$$

Otsu假設任一門檻值 T 可將影像內所有像素分成兩個群體 C_1 、 C_2 ，然後提出兩個條件，第一個條件為 T 必須讓 C_1 、 C_2 之間的變異數(Variance)為最大。

$$\begin{aligned} \sigma_{B1}^2 &= \sum_{i=0}^T (i - u_2)^2 \cdot \frac{P(i)}{W_1} \\ \sigma_{B2}^2 &= \sum_{i=T+1}^{I-1} (i - u_1)^2 \cdot \frac{P(i)}{W_2} \end{aligned} \quad (11)$$

其意義在於將兩個群組分的最開；第二個條件是 C_1 、 C_2 內部變異數之和為最小，目的是希望群組之間的灰階值差異最小。

$$\sigma_1^2 = \sum_{i=0}^T (i - u_1)^2 \frac{P(i)}{W_1}$$

$$\sigma_2^2 = \sum_{i=T+1}^{I-1} (i - u_2)^2 \frac{P(i)}{W_2}$$
(12)

經由上述的計算，就可以得到 C_1 、 C_2 群組內的變異數和

$$\sigma_w^2 = W_1 \sigma_1^2 + W_2 \sigma_2^2$$
(13)

Otsu又將兩種變異量整合為total variance為

$$\sigma_t^2 = \frac{\sigma_w^2}{\sigma^2}$$
(14)

最後將影像內所有的灰階值都代入 σ_t^2 ，找出最小的 σ_t^2 作為門檻值 T 。

(4)形態學閉合運算

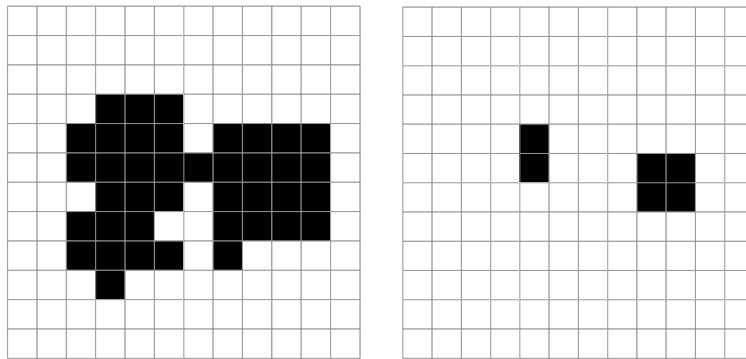
本計畫擬發展形態學之閉合運算技術的目的在於能讓同一本體瑕疵的區域盡可能完整呈現，以利瑕疵特徵的擷取。形態學的運算[25]主要為膨脹與侵蝕，根據先後使用順序的不同，又可分為斷開(Opening)運算及閉合(Closing)運算。斷開運算是先經侵蝕再膨脹運算，其用途為將較細小狹長的地方截斷分離；閉合運算則是先膨脹後再侵蝕運算，其用途為填補小凹洞使得輪廓較為完整平滑。本計畫在形態學運算中所使用的遮罩為 3×3 ，如圖23所示，膨脹之運算式如(15)式所示，其中 \cup 代表OR運算；侵蝕之運算式如(16)式所，中 \cap 代表AND運算。圖24所示為斷開運算的過程及結果；圖25所示為閉合運算的過程及結果。

$$P = P1 \cup P2 \cup P3 \cup P4 \cup P5 \cup P6 \cup P7 \cup P8$$
(15)

$$P = P1 \cap P2 \cap P3 \cap P4 \cap P5 \cap P6 \cap P7 \cap P8$$
(16)

P8	P1	P2
P7	P	P3
P6	P5	P4

圖 23 3×3 遮罩

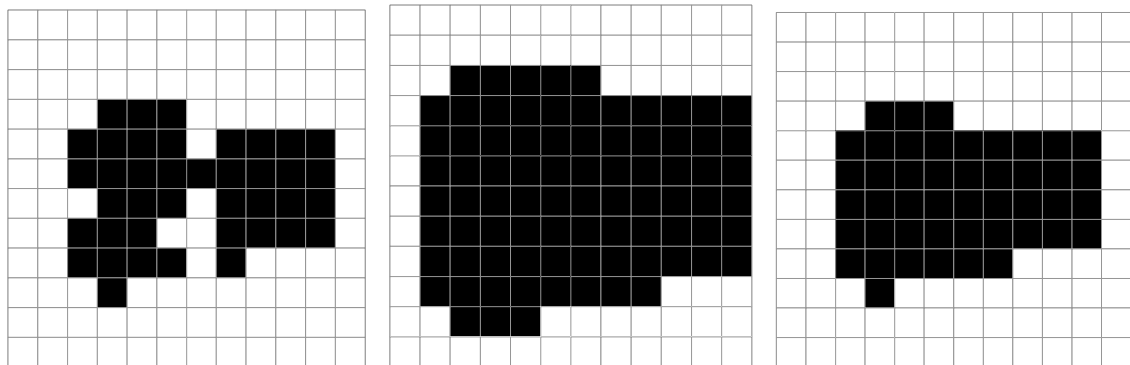


(a) 原始圖

(b) 圖(a)經過侵蝕後

(c) 圖(b)經過膨脹後

圖 24 斷開運算示意圖



(a) 原始圖

(b) 圖(a)經過膨脹後

(c) 圖(b)經過侵蝕後

圖 25 閉合運算示意圖

(5) 連接元區域標定[21]

連接元區域標定的主要目的，是將一影像中屬於同一瑕疵區塊相連的像素標定出來，完成標定的同時也可獲得該瑕疵物件之大

小、位置、範圍、長度及寬度等特徵。

在演算法的程序上分回歸演算法以及漸進演算法，在同區域檢查上分為四方向關聯性檢查及八方向關聯性檢查。而計畫所使用的為八方向關聯性檢查的漸進演算法作為內容物標籤，並將每個分割物獨立到新的影像中。圖 26 為連接元區域標定的流程圖。實際的作法為由左上角開始掃描要標記的二值影像，當像素值為 1 的時候則依次檢查其上、下、左、右、右上、右下、左下、左上，8 個方向是否有為 1 的點，若有則將其坐標紀錄下來，並將其值設為 0，之後依序遞迴的去檢查剛剛所紀錄下來的點，其八鄰邊方向是否也有 1 的點存在，若有也將其坐標紀錄下來，並將其值設為 0，持續整個遞迴檢查，直到周圍再也找不到有 1 的點出現為止，即可找出第一個群組的物件。依此類推當整張影像都掃描遞迴完，就可以統計出在影像中所有瑕疵物件的面積、高、寬、座標資訊[26]。

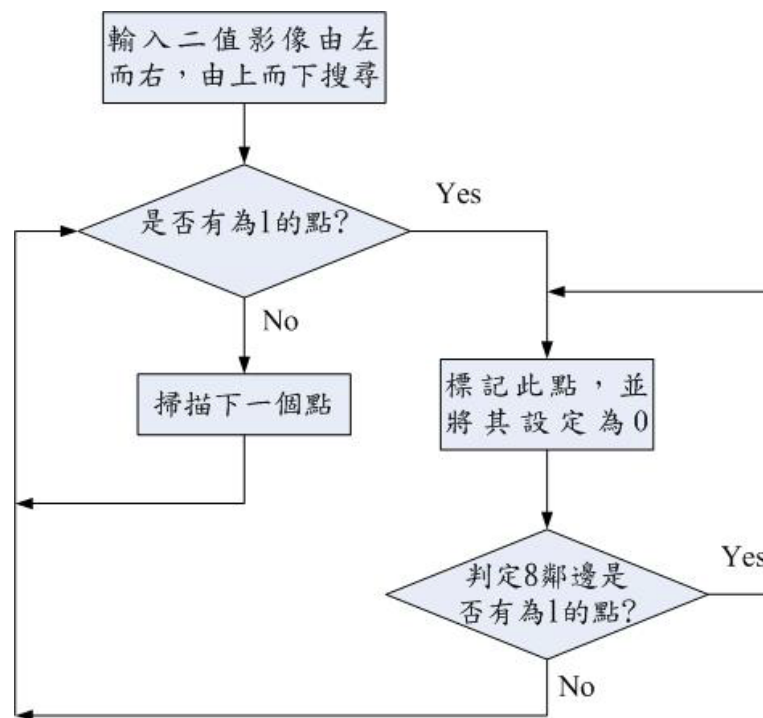


圖 26 連接元區域標定流程

依據上述連接元區域標定流程的概念，其演算步驟如下所述：

- (1)從左至右、由上至下搜尋整張影像畫面為 1 的像素點，標記此點並將原影中此點設為 0，並設此點為遮罩中心。
- (2)依據圖 27 所示的區域標定遮罩，照數字順序搜尋遮罩中心座標鄰邊為 1 的像素點，找到後刪除此點並將此點座標設為新遮罩中心，如

遇鄰邊都為 0 時回到上一個中心點，重複(2)之動作直至所有紀錄過的中心點之鄰邊全為 0 為止。

(3)當所搜尋之鄰邊全為 0 代表一個區塊已經紀錄完成，將上述所紀錄下的像素設為同一區塊並標定其區域。

(4)重覆(1)之動作並紀錄為新區塊，直至整張影像無像素點為止。

圖 28 所示為連接元區域標定的處理順序，可發現在同一區塊內所有點都可以標記到。

6	7	8
5	C	1
4	3	2

圖 27 區域標定遮罩

					1	2			
			26	27	28	3			
			24	25	21	20	4		
			23	22	17	18	19	5	6
	1			14	15	16	7		
8	2				13	8			
6	7	3			12	9			
5	4			11	10				

圖 28 區域標處理順序

此外，本分項計畫亦將針對色澤不均(Mura)的瑕疵區塊作深入的探討及分析，並提出合適的檢測演算法。在這方面，本計畫擬參酌小區域灰階均值差異法及影像標準偏差法等二種常用的色澤不均檢測技術，並將深入分析及比較這兩種 Mura 檢測技術的優缺點及其適用性。

● 小區域灰階均值差異法[21][22]

小區域灰階均值差異法的概念，乃將一張影像劃分為 $m \times n$ 個小區域，計算出所有小區域的灰階均值後，比較各個小區域間的灰階均值差異性。一般而言，在無 Mura 瑕疵的面板影像中，扣除其他瑕疵點後，則各小區域間的灰階均值差異性非常小；但在有 Mura 瑕疵的面板影像中，各小區域間的灰階均值差異性就會較為顯著。因此，我們可利用 Mura 瑕疵影像的灰階均值差異特性，來檢測 Mura 瑕疵。其演算步驟如下所述：

步驟 1 將影像劃分為 $m \times n$ 個小區域。

步驟 2 排除其他瑕疵點後，計算所有小區域的灰階平均值。

步驟 3 計算各個小區域間的平均灰階差異值。

步驟 4 找出最大的平均灰階差異值 P_{\max} ，並依實際經驗設定平均灰階差異閾值 P_T 。

步驟 5 若 $P_{\max} > P_T$ ，則表示面板有 Mura 瑕疵存在。

● 影像標準偏差法[21][22]

影像標準偏差的大小可以瞭解影像中灰階分散的程度(對比高低)，其數學表示為： $v_x = \sqrt{\sum_{x=\min}^{\max} (x - \bar{x})^2 p(x)}$ ，其中 \bar{x} 為影像平均值， $p(x)$ 為影像灰階的機率函數。雖然 Mura 瑕疵為低對比區域，但其灰階分佈與正常無瑕疵區域的灰階分佈存在著些微的差異。一般而言，有 Mura 瑕疵的影像扣除其他非 Mura 瑕疵點後，其灰階分散的程度與正常無瑕疵影像相較之下較為廣泛，因此我們可利用此一特性來檢測 Mura 瑕疵的存在與否。

參考文獻

- [1] K. NAKASHIMA, “Hybrid inspection system for LCD color filter panels”, Proceedings of IEEE Tenth International Conference on Instrumentation and Measurement Technology, Hamamatsu, pp 689-692, 1994.
- [2] Chi-Jie Lu and Du-Ming Tsai, “Independent component analysis-based defect detection in patterned liquid crystal display surfaces”, Image and Vision Computing, Vol. 26, pp 955-970, 2008.
- [3] Yuan-Shyi Peter Chiu and Hong-Dar Lin, “A hybrid approach based on Hotelling statistics for automated visual inspection of display blemishes in LCD panels”, Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp 12332–12339, 2009.
- [4] Yi-Hung Liu, Szu-Hsien Lin, Yi-Ling Hsueh and Ming-Jiu Lee, “Automatic target defect identification for TFT-LCD array process inspection using kernel FCM-based fuzzy SVDD ensemble”, Expert Systems with Applications, Vol. 36, pp 1978–1998, 2009.
- [5] Shu-Kai S. Fan and Yu-Chiang Chuang, “Automatic detection of Mura defect in TFT-LCD based on regression diagnostics”, Pattern Recognition Letters, Vol. 31, pp. 2397–2404, 2010.
- [6] Su-Hwan Kim, Jee-Hyun Kim and Shin-Won Kang, “Nondestructive defect inspection for LCDs using optical coherence tomography”, Displays, Vol. 32, pp 325–329, 2011.
- [7] 曾彥馨, “應用機器視覺於TFT面板之表面瑕疵檢測與分類”, 私立元

- 智大學工業工程與管理研究所,2003。
- [8] 陳普中,“紋理分析於瑕疵定位及影像檢索之研究”,碩士論文,國立台灣科技大學電機工程學系,2005。
- [9] 楊榮華,“應用灰階共變異矩陣之多重指標於瑕疵檢測”,碩士論文,私立元智大學工業工程與管理研究所,2002。
- [10] 邱振洋,“應用電腦視覺於IC瑕疵檢測之研究”,碩士論文,國立雲林科技大學工業工程與管理研究所,2000。
- [11] 陳璋琪,“應用小波理論於印刷電路板缺點之檢測”,碩士論文,國立成功大學電機工程學系,2003。
- [12] 曾彥馨,“應用機械視覺於TFT面板之表面瑕疵檢測與分類”,碩士論文,私立元智大學工業工程與管理研究所,2003。
- [13] 鄭光宏,“應用影像視覺於超薄型表面載式電感器之線上自動檢測”,碩士論文,大葉大學機電自動化研究所,2004。
- [14] 周志賢,“應用次像素插值方法改善印刷電路板缺陷直接檢測之可行性評估”,碩士論文,國立清華大學動力機械工程學系設計製造組,2004。
- [15] 楊程翔,“應用分位數散佈圖之相似度指標於瑕疵檢測”,碩士論文,私立元智大學工業工程與管理研究所,2003。
- [16] 許智超,“訊號處理對偵測引擎瑕疵之研究”,碩士論文,國立成功大學系統及船舶機電工程學系,2005。
- [17] 林宸生,“高速TFT LCD瑕疵檢測系統”,碩士論文,逢甲大學自動控制工程學系,2005。
- [18] 歐陽衡,“機械視覺用在封裝IC外觀瑕疵檢測之研究”,碩士論文,國立成功大學工程科學系,2007。
- [19] 許哲榮,“應用影像分割法結合倒傳遞類神經網路於印刷電路板之自動光學檢驗”,碩士論文,大同大學機械工程研究所,2007。
- [20] 陳彥宏,“彩色機械視覺於表面瑕疵檢測之研究”,國立台灣大學機械工程所,2003。
- [21] 廖紹綱,數位影像處理”,普林斯頓國際有限公司,2008年。
- [22] 連國珍,數位影像處理,儒林出版,2008年。
- [23] Michael Seul, Lawrence O’Gorman and Michael J. Sammon, “Practical Algorithms for Image Analysis,” Cambridge University, New York,pp. 51-55, 2000.

- [24] D. Y. Xue, V. Gupta, “An improved threshold selection method for image segmentation,” Electrical and Computer Engineering, pp.531-534, 1993。
- [25] R.C.Gonzalez and R.E.Woods , Digital Image Processing , 2nd Edition, 2002.
- [26] Ramesh Jain, Rangachar Kasturi, and Brian G. Suhmunck, “Machine Vision”, McGRAW-HILL, 1995.
- [27] 劉震昌，數位影像處理，高利圖書公司，2010年9月。