

國立勤益科技大學
機械工程系在職碩士班
碩士論文

機器視覺於鏟花承斑檢測之應用

Application of Machine Vision for The
Inspection of Bearing of Scraped Surfaces

指導教授：陳正和 博士

研究生：莊朝盛

中華民國 一〇一 年 六 月

國立勤益科技大學
研究所碩士班
論文口試委員會審定書

本校 機械工程系 碩士班 莊朝盛 君

所提論文 機器視覺於鑄花承斑檢測之應用

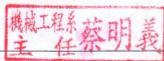
合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員：邱偉冠

楊琳鏗

陳正和

指導教授：陳正和

系(所)主管：

中華民國 一〇一 年 六 月

誌謝

因著對機械的熱愛，讓我如願的進入勤益機械工程研究所就讀，在兩年的求學過程中，謝謝所有曾經教導過我的師長們，以及我最親愛的同學，謝謝您們豐富了我的求學生涯。

在求學的過程中，感謝許多師長們的指導與鼓勵，尤其是恩師陳正和教授對我的指導與支持，促使此論文的誕生；並感謝口試委員教授對我的建議與鼓勵，使初探學海的我收益匪淺、獲益良多。

謝謝大立機械的董事長白玲美女士，及最愛護我的總經理莊大立先生，因為總經理的支持，我才能努力的完成求學的夢想，謝謝周文濱專員協助日文文獻翻譯。

謝謝我最愛的老婆瓊慧，還有兩個小寶貝欣儒和友乾，總是鼓勵著我要堅持下去，因為你們的支持，讓我得以無後顧之憂的徜徉在學術的殿堂裡，謝謝你們的一路相伴，有你們真好。

懷著感恩的心完成學業的一段旅程，感謝我的良師益友與家人，在這段日子裡的付出與支持。瓊慧、欣儒和友乾，我愛你們！

有愛相隨，夢想起飛！

朝盛

2012.06.10

機器視覺於鏟花承斑檢測之應用

研究生：莊朝盛

指導教授：陳正和

國立勤益科技大學機械工程系碩士班

摘要

我國為世界前五大工具機與零組件出口國，面對其他新興國家的競爭，唯有提升產業技能才能確保我國的產業競爭力。鏟花技術（Scraping）為深化精密機械產業向上提升的基礎技術之一，目前國內在鏟花工件的檢測方法，為人力目視或經驗法則來檢測鏟花接觸面情況而決定鏟花品質，這也使得鏟花工件的品質無法標準化與有效的提升，更讓許多鏟花紋路的研究無法進行。本研究之目的在於進行工件於鏟配後，表面承斑分佈的數目與面積的比例分配計算量測的一套視覺檢測系統之開發，取代原有使用之人工檢測方式，其原理是利用彩色 CMOS 攝影機擷取影像，透過影像分析的技術，辨識待測工件表面的灰階值，再利用影像分割技術將所得到的資料加以分析過濾，以能快速與有效地檢測工件表面承斑染色外形，並準確計算出工件表面上承斑分佈的數目與面積比例。

關鍵字：鏟花技術、機器視覺、自動檢測

Application of Machine Vision for The Inspection of Bearing of Scraped Surfaces

Student : Chao-Sheng Chuang

Advisor : Cheng-Ho Chen

**Department of Mechanical Engineering, National Chin-Yi
University of Technology**

Abstract

Taiwan is one of the world's top five machine tools and components exporters, faced with competition from other emerging countries, the only way to ensure our competitiveness is to upgrade industrial techniques. Scraping is one of the fundamental techniques of mechanical industries. Currently, the inspection of scraped surfaces is done by human eyes based on experience rules. This prevents the standardization and improvement of scraped work pieces inspection. Studies on scraping patterns are also difficult to conduct. The purpose of this thesis is to develop a machine vision inspection system which automatically calculate the number of bearing marks and the percentage of bearing areas. It uses a CMOS color camera to capture the surface images. The images are analyzed through image processing methods. The gray level values of the work piece surfaces are identified. Image segmentation techniques are then used to analyzed the data to effectively identify the scraping marks and calculate the number of the marks and the percentage of bearing areas accurately.

Keywords: Scraping , Machine Vision , Automatic Inspection

目錄

誌謝.....	I
中文摘要	II
英文摘要.....	III
目錄.....	IV
圖目錄.....	VIII
表目錄.....	XII
第一章 緒論	1
1.1 研究動機	1
1.2 研究目的	1
1.3 文獻回顧	2
1.3.1 鏟花技術回顧	2
1.3.2 視覺檢測技術回顧	6
1.4 論文架構	10
第二章 鏟花技術與原理	11
2.1 鏟花的目的	12
2.1.1 提升精度的鏟花需求	13
2.1.2 摩擦力的鏟花需求	13
2.1.3 美觀的鏟花需求	14
2.2 基準平板的製作原理	16
2.2.1 彎曲變形	16
2.2.2 扭曲變形	17

2.2.3 水平儀檢測	17
2.3 承斑檢測	19
2.4 油袋形狀	21
2.5 鏟花刀片結構	23
2.5.1 刀刃傾角	23
2.6 油袋功能的邏輯	25
2.7 承斑評定方式	26
第三章 機器視覺原理與研究設備	28
3.1 機器視覺的定義	28
3.2 硬體架構	29
3.3 CMOS 攝影機	29
3.3.1 CMOS 構造原理	30
3.3.2 實驗相機型式	32
3.4 光學鏡頭	33
3.4.1 針孔成像原理	33
3.4.2 厚透鏡原理	34
3.4.3 鏡頭相關參數	37
3.4.4 實驗鏡頭型式	37
3.5 照明與光源	40
3.5.1 光源的類型	40
3.5.2 照明架設方式	41
3.6 軟體	43
第四章 影像處理與分析	45

4.1 影像組成的基本概念	45
4.1.1 影像座標	45
4.1.2 影像組成	46
4.1.3 影像色彩類型	47
4.2 灰階直方圖	50
4.3 彩色影像原理	51
4.3.1 色彩基礎	51
4.3.2 R、G、B 彩色模型	52
4.3.3 全彩影像處理基本原理	53
4.3.4 色彩轉換分離	54
4.4 閾值分割	55
4.4.1 閾值二值化	56
4.4.2 雙重閾值	57
4.4.3 最佳閾值的選擇	59
4.5 二值化影像形態學處理	59
4.5.1 侵蝕(Erosion)	60
4.5.2 膨脹(Dilation)	61
4.5.3 開運算(Opening)	61
4.5.4 閉運算(Closing)	62
4.5.5 孔洞填補(Hole filling)	63
4.6 提取連通區域	64
4.7 特徵分析	65
4.7.1 面積篩選	66

第五章 檢測實驗與結果	67
5.1 CMOS 攝影機校正.....	67
5.1.1 鏡頭畸變校正	67
5.1.2 尺寸校正	68
5.2 鍍花面檢測實驗流程.....	70
5.2.1 R、G、B 色彩頻道分離	71
5.2.2 閾值分割	72
5.2.3 形態學處理	74
5.2.4 特徵分析與計算	75
5.3 不同磨合介質的檢測.....	76
5.3.1 影像平滑化	77
5.4 不同照明的檢測.....	81
5.5 不同磨合方式的檢測.....	87
5.5.1 紅接觸的檢測實驗	87
5.5.2 檢測實驗的統計方法.....	87
5.5.3 黑接觸的檢測實驗.....	92
第六章 結論與未來展望	95
6.1 結論	95
6.2 未來展望	96
參考文獻	97
附錄 A 相機規格	102
附錄 B 原始程式	103

圖目錄

圖 1-1	鏟花研磨機構	3
圖 1-2	儀器量測差異性示意圖	3
圖 1-3	不同光源二值化影像比較圖	4
圖 1-4	刀刃傾角的變化圖	4
圖 1-5	油袋長、寬、深比	5
圖 1-6	Hotelling 轉換法與旋轉法比較圖	7
圖 1-7	照明強度分佈圖	8
圖 2-1	鏟花作業	11
圖 2-2	路徑矯正的示意圖	12
圖 2-3	精度矯正	14
圖 2-4	應力消除	15
圖 2-5	彎曲變形的平板組合方式	16
圖 2-6	扭曲變形的平板組合方式	17
圖 2-7	水平儀量測彎曲變形的示意圖	18
圖 2-8	水平儀量測扭曲變形的示意圖	18
圖 2-9	紅接觸的磨合方式	19
圖 2-10	黑接觸的磨合方式	20
圖 2-11	三角油袋路徑圖	21
圖 2-12	長方形油袋路徑圖	22
圖 2-13	半月形油袋路徑圖	22
圖 2-14	鏟花刀片的幾何形狀圖	23
圖 2-15	鏟削基本形式	24

圖 2-16	鏟花刀施力圖	24
圖 2-17	傾角變化圖	25
圖 2-18	油袋功能的邏輯圖	26
圖 3-1	鏟花檢測系統硬體架構	30
圖 3-2	PPS 模式構造	31
圖 3-3	APS 模式構造	31
圖 3-4	CMOS 彩色攝影機	33
圖 3-5	針孔成像示意圖	34
圖 3-6	薄凸透鏡成像示意圖	35
圖 3-7	厚透鏡成像示意圖	35
圖 3-8	鏡頭參數示意圖	38
圖 3-9	鏡頭尺寸圖	38
圖 3-10	光源的類型	41
圖 3-11	上照式	42
圖 3-12	背照式	42
圖 3-13	側照式	43
圖 3-14	HALCON 應用示意圖	44
圖 4-1	影像座標	45
圖 4-2	數位影像示意圖	47
圖 4-3	影像色彩類型	49
圖 4-4	灰階統計直方圖	50
圖 4-5	RGB 彩色模型	52
圖 4-6	黃青紫二次色	53

圖 4-7	RGB 頻道影像.....	56
圖 4-8	閾值二值化	57
圖 4-9	雙重閾值二值化	58
圖 4-10	結構元素形狀	60
圖 4-11	侵蝕運算	60
圖 4-12	膨脹運算	61
圖 4-13	開運算	62
圖 4-14	閉運算	63
圖 4-15	為孔洞填補運算	64
圖 4-16	像素網格上連通性的定義	65
圖 4-17	面積篩選	66
圖 5-1	鏡頭畸變圖	67
圖 5-2	較正結果	68
圖 5-3	影像尺寸校正	69
圖 5-4	鏟花面檢測流程圖	70
圖 5-5	鏟花承斑樣本	70
圖 5-6	分別從原始影像分離的三張不同頻道的灰階影像	71
圖 5-7	R、G、B 單一頻道的灰階直方圖.....	72
圖 5-8	B-channel 閾值 0 至 48 所提取的最佳分析影像	73
圖 5-9	(a)座標(129,807)為中心放大 50 倍的影像；(b) Filling 運算後的影像.....	74
圖 5-10	(a)座標(525,547)為中心放大 50 倍的影像；(b) Opinging 運算後的影像...	74

圖 5-11	運用視覺系統與影像演算法，運算後的結果	75
圖 5-12	藍丹磨合的樣本影像	76
圖 5-13	藍丹承斑影像分離的三張不同頻道的灰階影像	77
圖 5-14	單一頻道的灰階直方圖	79
圖 5-15	G-channel 二值化影像	79
圖 5-16	G-channel 平滑濾波後二值化影像	80
圖 5-17	藍丹承斑檢測結果	80
圖 5-18	不同光源與照明所擷取的影像	82
圖 5-19	分別對應圖 5-18 四張影像，所統計的灰階直方圖.....	84
圖 5-20	為圖 5-18 四張影像的檢測結果.....	86
圖 5-21	以紅接觸方式不同磨合路徑與不同份量顯色劑的檢測結果	89
圖 5-22	以紅接觸方式施加不同重量的檢測結果	90
圖 5-23	以黑接觸方式應用不同路徑與施加不同重量的檢測結果	93

表目錄

表 3-1	CCD 與 CMOS 優劣比較表	32
表 3-2	鏡頭光學規格	39
表 5-1	檢測結果統計表	86
表 5-2	以紅接觸方式不同磨合路徑與不同份量顯色劑的檢測結果統計表	91
表 5-3	以紅接觸方式施加不同重量的的檢測結果統計表	91
表 5-4	採取不同路徑與施加不同重量並以黑接觸方式磨合的檢測結果統計	94



第一章 緒論

1.1 研究動機

鏟花技術(Scraping)為深化精密機械產業向上提升的基礎技術之一，鏟花是一項純人工的雕刻技術，此項技藝是以鏟花刀對工件表面做極微量的鏟、刮來矯正機械組裝後，兩個組合件之間微量的配合誤差與角度誤差，與製造滑動件內具有油袋的滑動面，目前國內在鏟花工件的檢測方法，為人力目視或經驗法則，來檢測鏟花接觸面情況而決定鏟花品質，這也使得鏟花工件的品質無法標準化與有效的提升，更讓許多鏟花紋路的研究無法進行。機器視覺(Machine vision)檢測屬於非接觸性的檢測技術，CMOS 照像機系統是一種原理簡單、經濟有效之光學設備，更重要是它的體積短小，在任何角度都可擷取出合適的特徵，利用電腦程式做分析比對，並提供一致化的數據與合理化的結果，取代人眼主觀意識的判斷。

1.2 研究目的

鏟配技術為機台組裝精度與產品耐用程度優劣的決定性技術之一，但目前卻沒有一套檢測儀器可供檢測。目前我國工具機廠的鏟花作業大部分屬於「外包」，沒有檢測標準儀器就無法督導外包廠商，本文所提出的鏟花承斑點數與面積計算是應用機器視覺來擷取工件於鏟配後的表面特徵，經過影像前處理技術，將影像量測到之灰階值進一步做影像分割，再透過程式分析計算出點數分佈的數目與面積的分配比例，希望提供一個簡易而精確的檢測方法，降低鏟花人為因素的誤差值，進而達到機器的最大效能化。

1.3 文獻回顧

本文將影像處理技術運用於工具機的傳統產業上，其技術層面分別涉及工具機鏟花技術與機器視覺檢測技術兩大領域，故本章節之相關文獻回顧，將分為兩個部分，分別為鏟花技術回顧以及視覺檢測技術回顧。

1.3.1 鏟花技術回顧

耐心與經驗是一個鏟花工匠成功的不二法則，為了達到精度的要求，鏟花工匠必需不斷重覆執行「鏟」和「配」的兩個基本動行，為了克服工作環境空間的需求，鏟花工匠需要長時間運用高費力的身體姿勢，其工作性質非常單調，且需要極大的體力和精力，所以一個優秀的鏟花工匠必需經過長時間的訓練與培養。有鑑於此，自動鏟花機的開發，已成為目前鏟花技術發展的趨勢，其中承斑的量測技術是自動鏟花機一項關鍵技術，有了量測資訊，才能使機器具備視覺的功能，判斷從何處下刀。

1986年日本學者 Yoshimi 等人[1]，就利用 CCD line sensor 檢測鏟花工件的承斑，此篇文章是利用染色劑將工件染色，使用基準平板去磨合，使待鏟工件表面上的承斑(高點)色彩被抹去，然後取像演算，建構出表面資料，判斷何處需要被刮除的資訊，其自動化鏟花工程的鏟花機構，如圖 1-1 所示，主要是一個研磨機構，應用彈性砂輪並於砂輪上方裝上檢測器，檢測砂輪因研削抵抗力使砂輪轉速產生變化的資訊，進而控制驅動氣壓缸上昇下降而達到間歇性的鏟花效果，並且利用電氣式 micro meter 掃描工件承斑與 CCD line sensor 所檢測的資訊做比較，所得的資訊，如圖 1-2 所示，並指出兩種儀器檢測結果的差異性，CCD line sensor 的檢測

為線掃描，檢測時機構只移動一個軸向，電氣式 micro meter 的檢測為點接觸，檢測時機構需移動二個軸向，所以 CCD line sensor 比較不會受到機構誤差的影響，但接觸式電氣式 micro meter 會受機構精度影響。

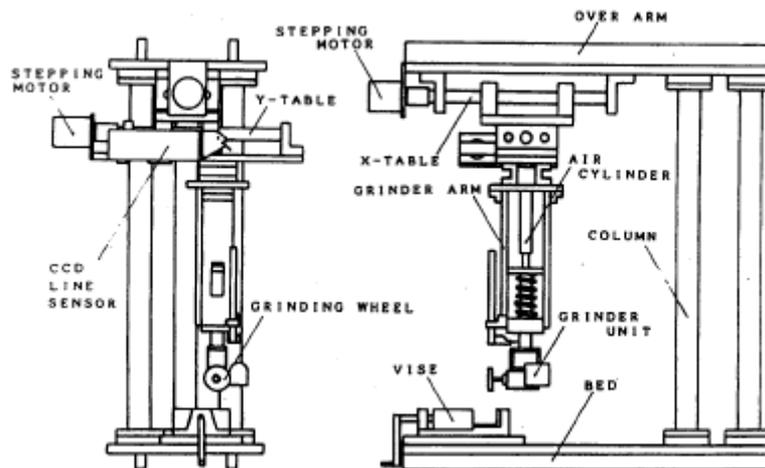


圖 1-1 鏟花研磨機構

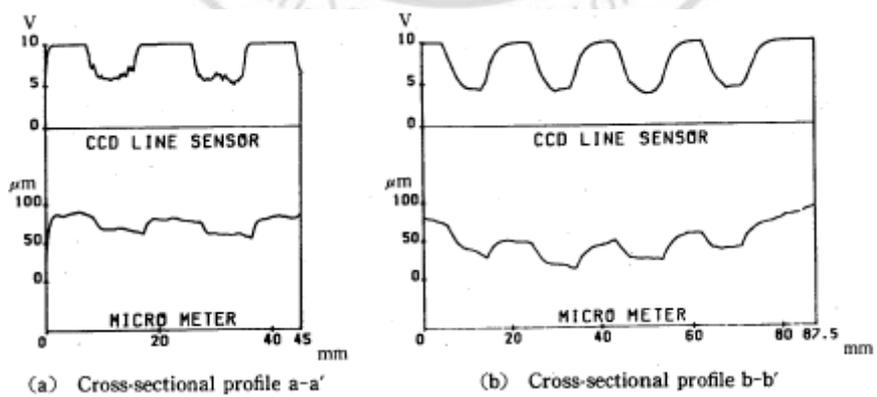


圖 1-2 儀器量測差異性示意圖

學者堤博貴等人[2]在 1996 年，使用 CCD 拍攝使用黑接觸方式磨合的承斑，使用影像處理技術的形態學來作運算，標示出承斑位置，做為自動鏟花機構移動的資訊，並且說明光源對於取像後二值化的影響，如圖 1-3 所示。

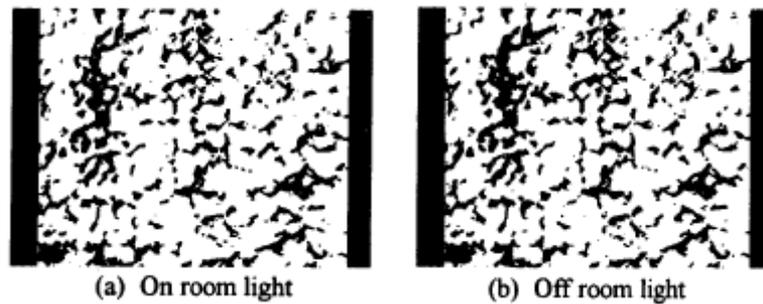


圖 1-3 不同光源二值化影像比較圖

同年學者堤博貴等人[3]又再度發表可仿效人工鏟花路徑的自動鏟花機構，圖 1-4 為鏟花加工時刀刃傾角的變化圖。

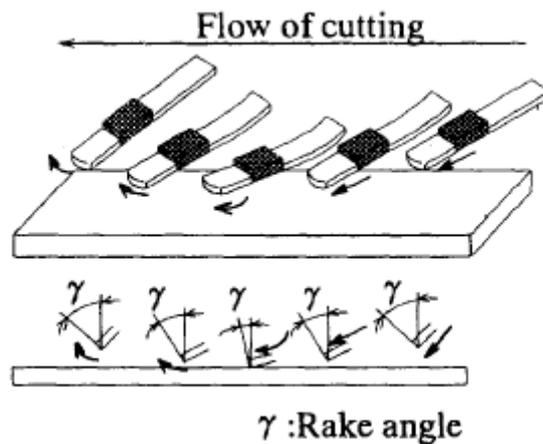


圖 1-4 刀刃傾角的變化圖

學者堤博貴等人[4]於2005年，發表自動鏟花機構的試作機，並提出油袋長、寬、深比的概念，如圖1-5所示。

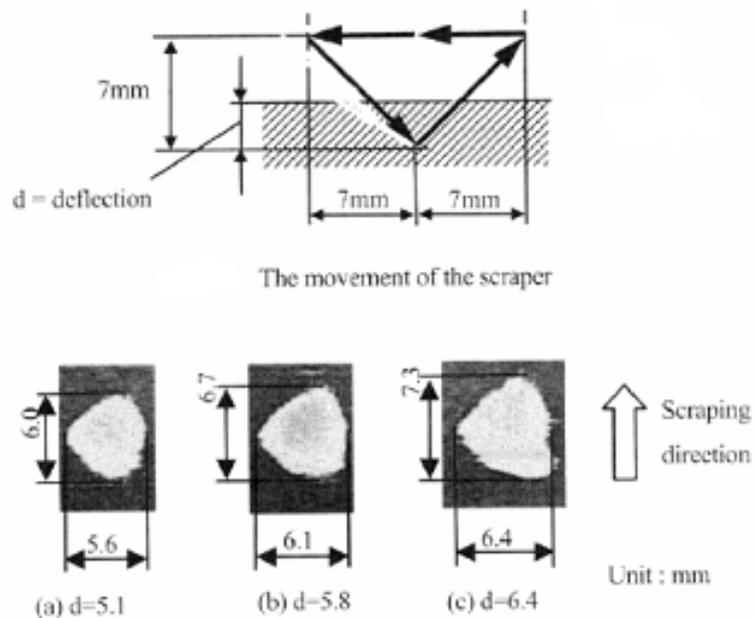


圖 1-5 油袋長、寬、深比

學者覺文郁等人[5]於2009年，運用雷射位移計架設於具備可程式化的雙軸載台，將雷射光束投射於鏟花工件表面做掃描動作，量測鏟花工件表面的高度變化，並收集記錄資料再以程式語言介面做數值分析，由軟體繪製出三維與二維半圖示，建構出鏟花工件表面形貌，所得到之原始數值加以處理後，做為自動鏟花機構鏟平的資訊。

周睿程[6]於2009年，使用CMOS彩色攝影機擷取承斑形狀，利用Borland C++ Builder 6 來建構演算法與介面。在影像前處理技術，使用Canny尋邊法與形態學。油袋深度量測使用一般商業化的DVD 讀取頭，此系統包含一套雷射探頭模組及XY 移動平台，DVD 讀取頭可由失焦訊號(FES)表示一點的高度變化，而影像擷取設備則可清楚看見工件表面的溝槽輪廓，其中更換DVD 前方聚焦用物鏡，可適用量測範圍有300 μ m, 30 μ m, 15 μ m 和 4 μ m，而藉由量測出的鏟花表面結果，可標示出不合格或是不適當的位置，也可對凹坑深度作量測，可提供一種改善鏟花表面性質的量測方法。

1.3.2 視覺檢測技術回顧

在競爭激烈的現今工商時代裡，提高產品的良率與品質才能提升產品的可靠度，其中檢測是非常重要的一項環節，檢測自動化是產業界的重要趨勢。機器視覺系統運用先進的影像處理技術，能夠持續地工作並快速的檢驗產品，是產業中有效的檢測工具。

在早年農產品自動化檢測更運用許多影像處理技術，學者李芳繁[7]於1990年，應用黑白電視攝影機並以背光的照明方式擷取影像，使用二值化處理技術將檸檬與背景分離，計算影象所含黑色像素值乘以面積像素解析度量測檸檬投影面積。使用間隙追蹤法尋找邊界上的點，再總和邊界相鄰像素間之點距離以取得檸檬投影之邊界長度。計算檸檬影像之質心，分別以 Hotelling 轉換法與旋轉法計算出檸檬之長度、寬度，並比較這兩種方法的差異性，如圖 1-6 所示，最後探討各方法其相互間的優劣關係，作為檸檬分級之參考。



圖 1-6 Hotelling 轉換法與旋轉法比較圖

學者萬一怒等人[8]在 1998 年利用影像處理對糙米品質進行檢測與分級，分別統計分析 R、G、B 灰階值並製訂標準差，應用影像分割技術先將重疊之米粒予以分開，利用間隙追蹤法確定米粒的範圍後，再進行幾何特徵之量測，如面積、周長、長寬比等，最後應用決策邊界計算決定分類值。

學者劉瓊瑛等人[9]在 2009 年利用中值法進行背景建模，選用背景差分法對稻米動態圖像進行目標分割，提取了運動狀態下稻米圖像特徵，包括面積、粒型（米粒長寬之比）、顏色等特徵。

楊清富等人[10]在 1994 年將小蕃茄置於自行設計的打光室內，打光室內牆塗上白色的漆料，利用反射和漫射的原理使光照更均勻。圖 1-7 為實驗後以 SERFER 分析軟體繪製的照明強度分佈圖，說明打光室的設計可以形成一個均勻的照明面。並在小蕃茄下面以黑色絨布做襯底，使用彩色 CCD 攝影機擷取影像，取像後背景為黑色其灰度值為 0，灰度值大於 0 均視為蕃茄的影像，再分別利用紅、綠、

藍的影像位元面求出 R、G、B 的平均值，使用轉換公式轉換到 HSI 表色系統及 YiQ 表色系統，並進行分析比較，其結果顯示彩色電腦影像處理技術分析小番茄的顏色，其選用的表色系統對結果有顯著的影響，其中 HSI 表色系統中的 H 模式為最佳，YiQ 表色系統中 Q 模式次之，RGB 表色系統中 G 模式則最差。

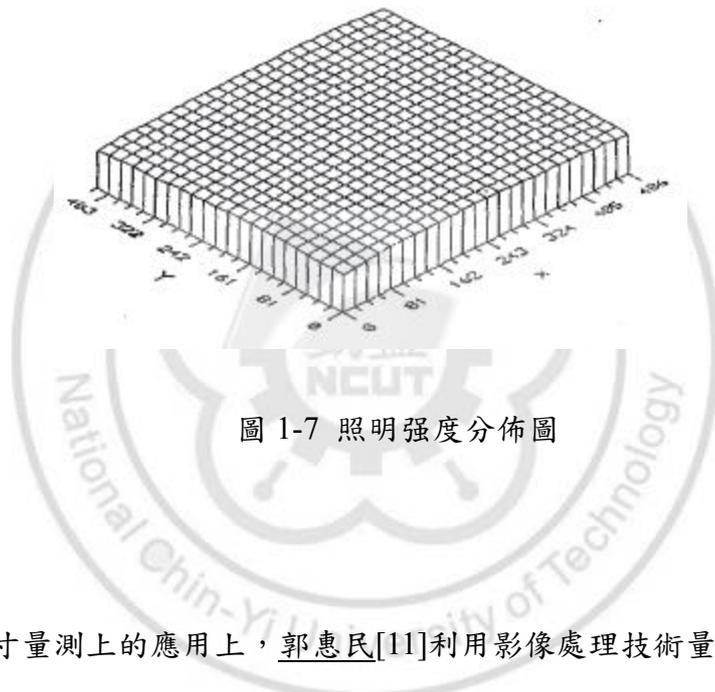


圖 1-7 照明强度分佈圖

在幾何尺寸量測上的應用上，郭惠民[11]利用影像處理技術量測長度、交角、小孔直徑與圓心位置等幾何形狀的尺寸。影像處理步驟包括影像擷取、二值化、邊緣偵測、影像侵蝕處理、及影像膨脹處理。其中量測的幾何形狀包括：圓的圓心、三角形的三個邊與三個角、正方形的四個邊與四個角及六邊形的六個邊與六個角。該研究的量測結果與光學投影機量測值比較，長度誤差大約在 -0.78%~0.8%，角度誤差大約 -0.8%~1.08%，準確度可達 0.05mm。

王宏慶[12] 利用影像處理技術針對不同孔徑大小的加工平面進行量測。量測項目包含尺寸量測、穿透量測和髒污的瑕疵量測。影像處理步驟包括透過 CCD 攝影機取得影像後，把原始影像二值化，使用中值濾波器濾除雜訊，再利用邊緣檢測和樣本比對的方法完成各種量測。利用 Labview 圖控式程式來整合影像處理和運動控制，最後將瑕疵的孔洞利用運動控制卡去驅動馬達移動至指定位置作清孔的動作。

Liao 等人[13] 於 1999 年提出了一種新的座標測量機 CMM。運用視覺系統完成自動化工件的初始對準定位。該系統採用一個固定位置的相機檢測到探頭的位置和工件可隨意放置在測量台上。其方法稱為相對定位與模塊匹配，其研究主要是為了消除手動操作，透過 CCD 監控，開發工件的自動定位系統，應用於數控三次元座標測量機，用來降低設置時間，提高定位精度。

在其他的應用方面，Guifang 等人[14] 運用影像處理技術量測鑽頭長，寬，面積的形狀信息，作為檢查 PCB 微型鑽頭模式分類應用。Dworkin 等人[15] 運用 CCD 相機和紅外線濾波器擷取熱成型件的影像，使用影像處理技術監測熱工件的尺寸，並於控制中即時的被處理。Andrew 等人[16] 將機器視覺應用於微型刀具的成像和磨損分析。Hazra 等人[17] 應用視覺系統擷取鑽尖的三個剪影圖像檢查修磨後鑽尖的幾何形狀。Makki 等人[18] 應用機器視覺和圖像處理技術在線量測刀具偏擺和磨損。

1.4 論文架構

本論文總共分為六個章節，並在以下作各章節的簡單介紹：

第一章 緒論

此章節介紹研究動機、目的、相關文獻探討及本論文內容架構。

第二章 鑿花技術與原理

在此章節中，介紹鑿花技術與相關原理說明。

第三章 機器視覺原理與研究設備

在此章節中，分別對機器視覺系統架構與研究設備

第四章 影像處理與分析

說明檢測系統相關應用的影像處理技術原理

第五章 實驗結果與分析

將詳述影像處理檢測技術方法，針對檢測系統所獲得之數據(值)結果進行說明及分析。

第六章 結論和未來展望

針對本研究實驗的分析結果做個總結，同時對未來可以改進的地方及加強的部份做進一步探討及建議。

第二章鏟花技術與原理

工具機是工業製造的基礎生產設備，又稱為「工作母機」。近年來，由於人們生活水準和消費意識的提高，因此產品製造廠的設計工程師為了提升其產品的耐久性與擴大市場的佔有率，需不斷提升其產品零件的精度與產品組裝的品質，才能生產高穩定性且高精密精度的工具機，以因應市場的需求。

精密機械於生產組裝過程中，常因某些因素造成機械產生幾何誤差(Geometric deviations)以及運動誤差(Kinematic deviations)，這些因素包括機械材料與機械結構、關鍵性零組件與組裝技術、控制單元與切削技術等。雖然現代的工程師可以憑藉各種力學原理的計算與材料元素的分析數據，來了解零件組裝的機械性質與結構材料受環境外力影響的物理特性，透過合理的公差設計加以控制前述眾多因素所產生的誤差，然而這些方法只能防止和控制機台精度的劣化，因此在精密組裝的過程中，有幾項關鍵性的技術可以減少加工誤差與組裝誤差進而提升機台精度，鏟花技術如圖 2-1 所示，便是其中一項不可或缺的關鍵性技術[19]。

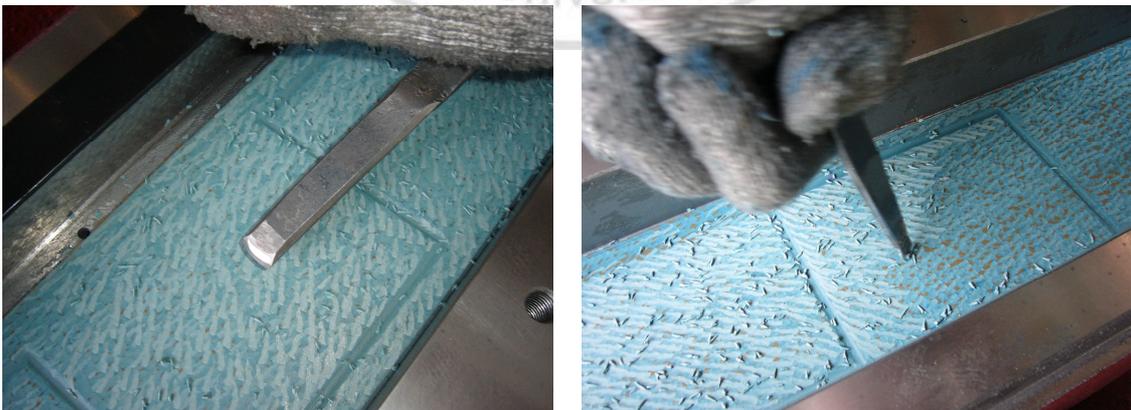


圖 2-1 鏟花作業

2.1 鏟花的目的

工具機是工業的基礎加工設備，理論上依照工具機「母性原則」來推論，原母體機器所加工生產的零件精度，不會超過原母體機器結構的幾何誤差精度，所以要製造與組裝高精度的精密機械時，就必須使用超越原本設備精度的工具機。然而在實際加工的運用上，工程師卻有許多的方法可以讓原本幾何精度不良的工具機，生產出高精度的零件，圖 2-2 為路徑矯正的示意圖，其中圖 2-2 (a) 為工程師所規劃的 NC 程式加工路徑，目的是銑削出一個正方形的工件，但因設備幾何精度不良所生產出直角度誤差的工件；圖 2-2 (b) 為工程師依據設備幾何誤差，重新計算規劃加工路徑後，所生產出直角度合乎要求的工件。

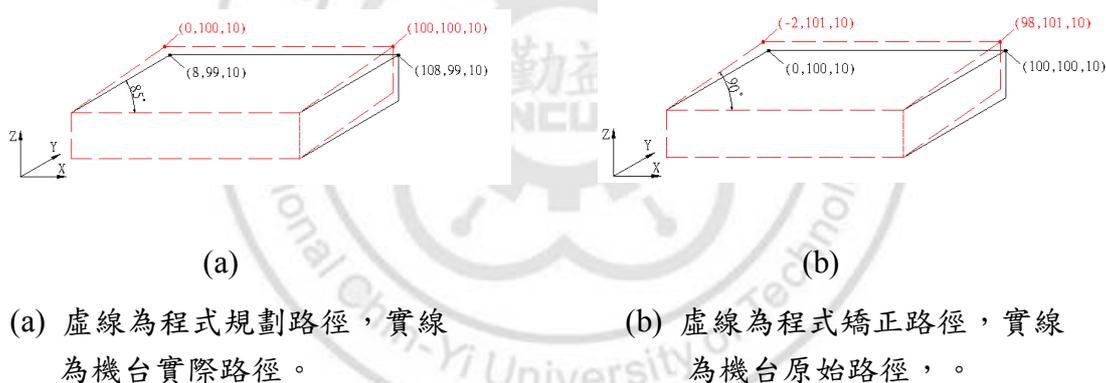


圖 2-2 路徑矯正的示意圖

就這個案例來說，最後矯正精度的方法是人為智慧的努力，因此技術的突破須從人為的努力開始。鏟花技術是一項純人工的雕刻技術，此項工藝是精密組裝技術上一道「精修」的加工流程。鏟花的目的是運用人類的肢體動作對於鏟花刀操控的協調性、纖細度與柔軟度來矯正機器組合後微量的幾何誤差與製造傳動系統良好的潤滑效果，並將工具機製造層級提升為高品級的工具機[20]。

一般工具機的鏟花作業大部分在於兩個配合件的接觸面，只有少部分在於組件的表面，配合件的接觸面可以分為固定面對固定面與導軌對滑動面，不同的接觸面則有不同的鏟花需求與特性。

2.1.1 提升精度的鏟花需求

固定組件鏟配和滑動組件鏟配其精度提升的目的是相同，一般鑄件主體與零件在加工過程中，常常會因為母體機械精度的不良、冶具夾持、加工熱變形或於存放與搬運過程中的環境變化、外力影響導致幾何外形的變化而產生精度不良，而一般精密機械在進行精密組裝時，也會因為組件的累計誤差與角度距離的放大效果而導至組裝精度的不良。雖然研磨可以達到好的表面精度，精密機械加工所生產製造的零件其幾何精度也合乎品管的要求，但是在組裝後可能因為上述的原因，至使機器的幾何精度無法滿足精密機器的要求，因此必須依靠現場鏟配的技術來完成組件組合後幾何精度的要求。圖 2-3 為應用鏟花技術矯正組件組合後，幾何精度的誤差。圖 2-4 為應用鏟花技術消除組件組合後，因平面度不良所產生的內應力。

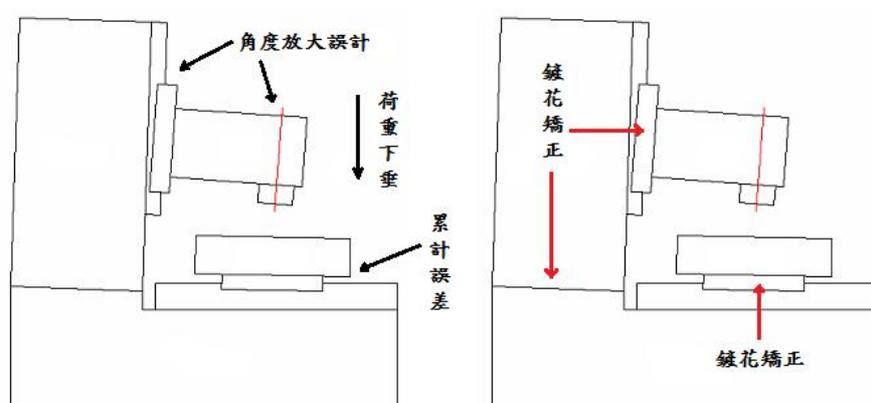
2.1.2 摩擦力的鏟花需求

固定組件鏟花和滑動組件鏟花在摩擦力的目的截然不同。例如：C 型結構的立式銑床其立柱與底座是重要的結構組件，為了精度要求，底座的接觸面會施以研磨加工，在研磨面進行鏟花加工，可以製造高摩擦係數，增加與立柱結合的力道。滑動組件鏟花目的在於油袋的建立，在硬軌的進給系統上必須靠潤滑油來減少摩擦，而鏟花加工製造的凹凸面而形成油袋，儲存潤滑油進而產生油膜，達到潤滑

的效果。

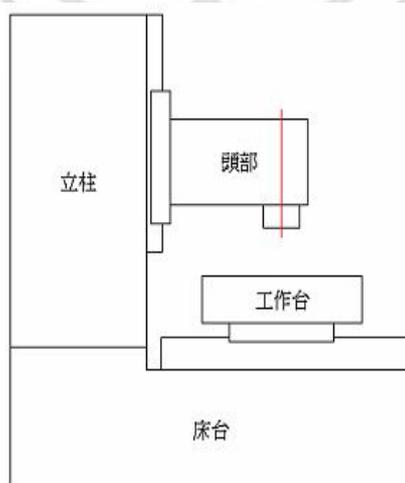
2.1.3 美觀的鏟花需求

主要在於某些組件表面，例如工作台表面，利用鏟花加工的手法，製造整齊美麗鏟斑，來提高工作台的美觀。



(a) 組件組合後各種組合誤差

(b) 鏟花矯正



(c) 鏟花矯正後滿足精密機器的精度要求

圖 2-3 精度矯正

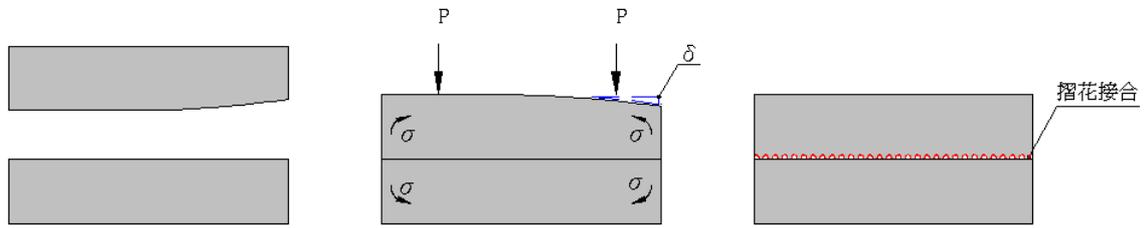


圖 2-4 應力消除



2.2 基準平板的製作原理

工具機重要的結構鑄件，大部分都必需經過表面熱處理後再做研磨加工，這些大型結構鑄件在加工與組裝過程中，會經歷數次的搬運與存放，其中環境與外力的改變，會使原本精度精密的結構鑄件產生形變，而形變的主要型式可分為彎曲變形與扭曲變形，在鑄配過程中這兩種變形，常會造成鑄花工匠對於精度的誤判，誤判的原因可以從基準平板的製作原理來了解。

2.2.1 彎曲變形

傳統基準平板的製作是利用三塊平板，相互磨合鑄配而形成。如圖 2-5 所示：假設 a 為凹變形的基準平板，以 a 為基準平板對 b 和 c 做鑄配加工，會得到 b 和 c 兩塊凸形的基準平板，b 和 c 再做一次磨合，依照其鑄斑分佈的況狀判斷其變形量，然後三塊平板相互鑄配加工，直到三塊平板的鑄斑分佈均勻。如果只用二塊平板相互鑄配加工，可能得到一凸一凹的平板。

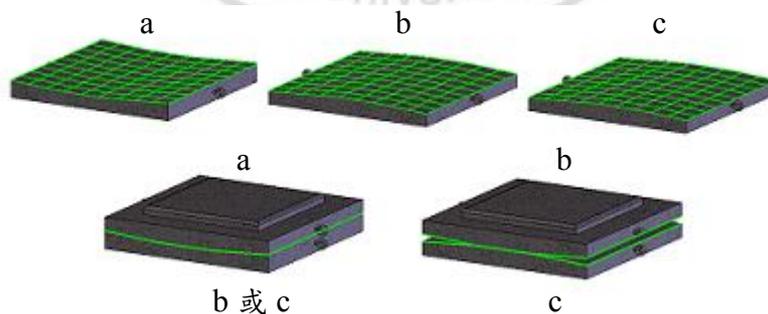


圖 2-5 彎曲變形的平板組合方式

2.2.2 扭曲變形

如圖 2-6 所示：假設 a 為扭曲變形的基準平板，以 a 為基準平板對 b 和 c 做鏟配加工，會得到 b 和 c 兩塊相同扭曲變形的基準平板，其中 a、b、c 皆為相同變形量的扭曲平板，如果匹配的角度不變，三者無論如何組合都可以得均勻的鏟斑分佈，如果將其中一塊旋轉 90 度再進行匹配，就可以判斷其扭曲的變形量。

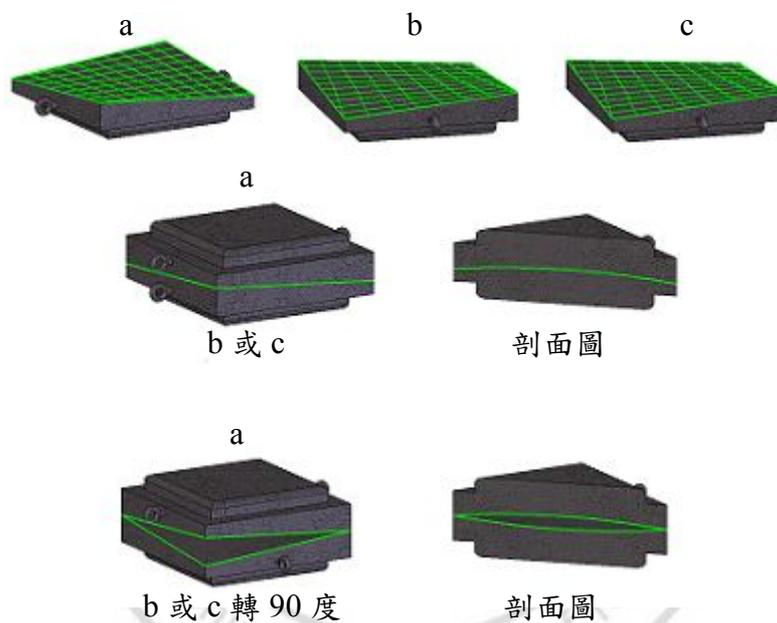


圖 2-6 扭曲變形的平板組合方式

2.2.3 水平儀檢測

上述基準平板的製作原理，可以了解利用鏟配方式取得真平面的過程，需要三塊平板不斷旋轉 90 度與交叉匹配磨合，但實際機台組裝的鏟配加工，不會有第三個組件可供交叉匹配磨合，所以兩個結構鑄件相互鏟配加工時，其基準鑄件產

生彎曲變形與扭曲變形時，就會造成鍍花工匠的誤判。量測彎曲變形與扭曲變形最直接、最簡單方法是使用水平儀量測。圖 2-7 為水平儀量測鞍座彎曲變形的示意圖，其中水平方向的水平儀會隨著高度的改變而變化，在理想狀況垂直方向的水平儀是不會變化。圖 2-8 為水平儀量測鞍座扭曲變形的示意圖，其中垂直方向的水平儀會隨著高度的改變而變化，在理想狀況水平方向的水平儀是不會變化[21]。

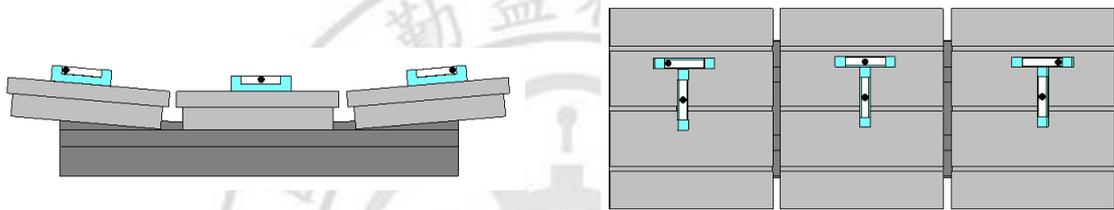


圖 2-7 水平儀量測彎曲變形的示意圖

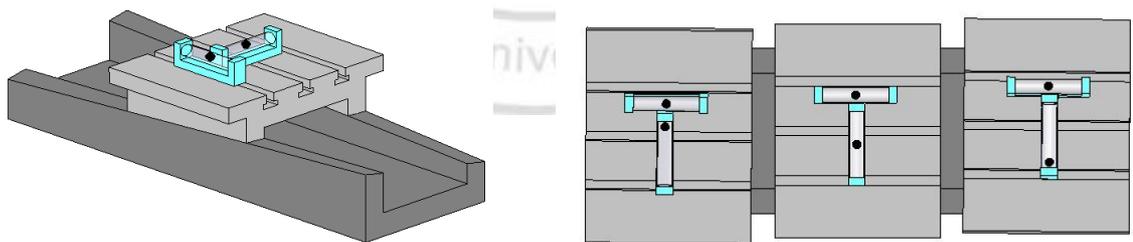


圖 2-8 水平儀量測扭曲變形的示意圖

2.3 承斑檢測

鏟花面好壞的判斷在於承斑分佈的情況，承斑為磨合面的接觸點，也稱為高點。承斑的凸顯必需藉由顯色劑等介質的傳遞，主要的傳遞方式有下列兩種(介質以紅丹為例)：

1. 紅接觸：將平台塗以紅丹，藉由工件和平台的接觸，紅丹由平台傳遞至工件表面之高點，主要是應用於鏟配初期的粗鏟。圖 2-9 為紅接觸的磨合方式，鏟花作業所使用的顯色劑等介質，可視為有顏色的油膜，油膜屬於流體，當作用力施加於介質上，介質會向承斑周圍的區域傳遞，造成承斑面積擴大而失真。

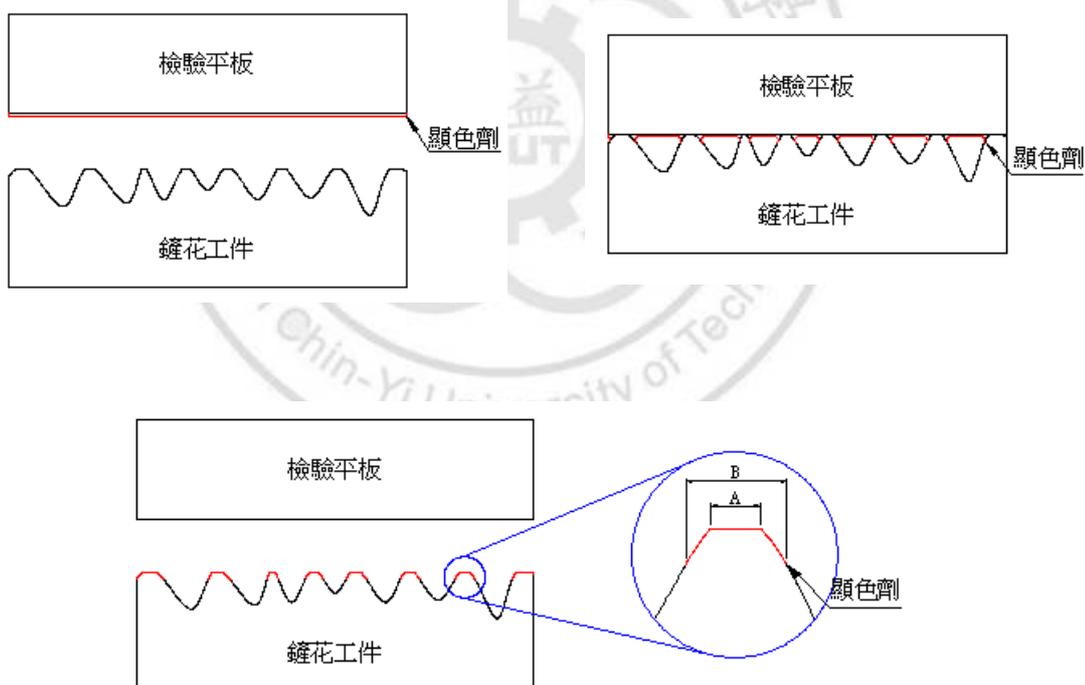


圖 2-9 紅接觸的磨合方式

2. 黑接觸：將工件塗以紅丹，藉由工件和平台的接觸，紅丹由工件表面之高點傳遞至平台，工件上之高點因紅丹被摩擦掉而呈黑、亮之承斑，主要是應用於鏜配的精鏜。圖 2-10 為黑接觸的磨合方式，其磨合的方式可以得到比較真實的承斑面積。

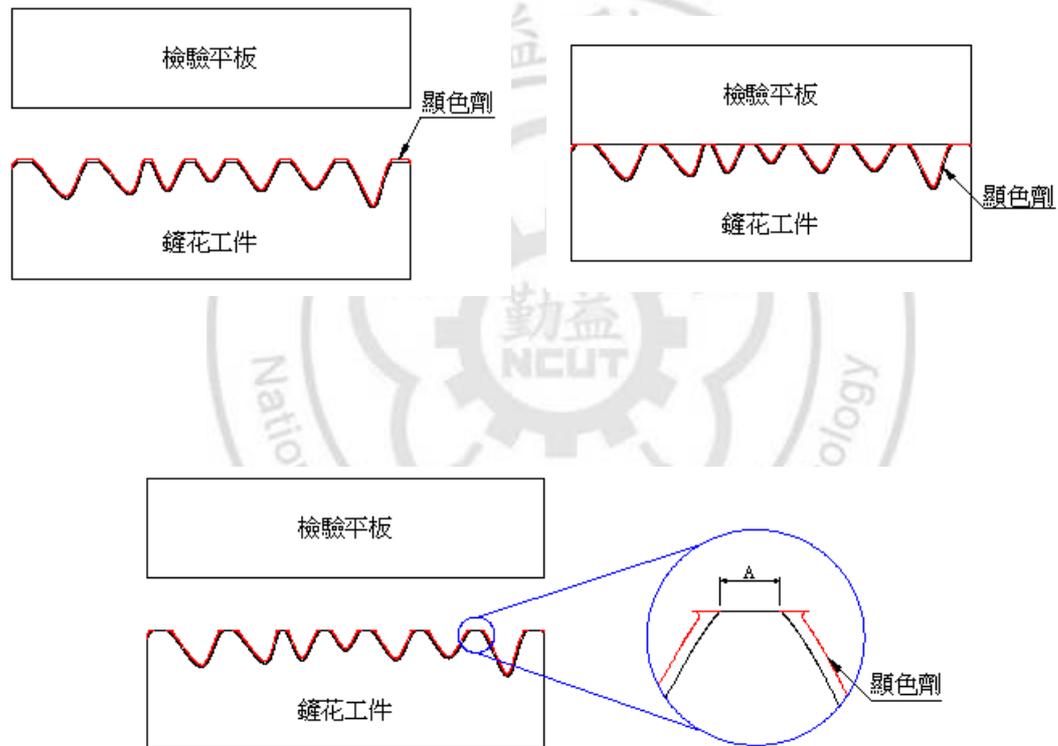


圖 2-10 黑接觸的磨合方式

2.4 油袋形狀

油袋的形狀會影響承斑的形狀，主要和鑿花工匠下刀的方式與路徑有關，下列是三種油袋形狀的說明：

1. 三角油袋：鑿花工匠著重於腰力，在下刀出尾時，手臂會往上提，會形成挑的動作，所鑿出的形狀會是一個三角形，這種形狀的鑿花方式，油袋不會起毛邊，在人體工學理論上比較費力，如圖 2-11 所示。

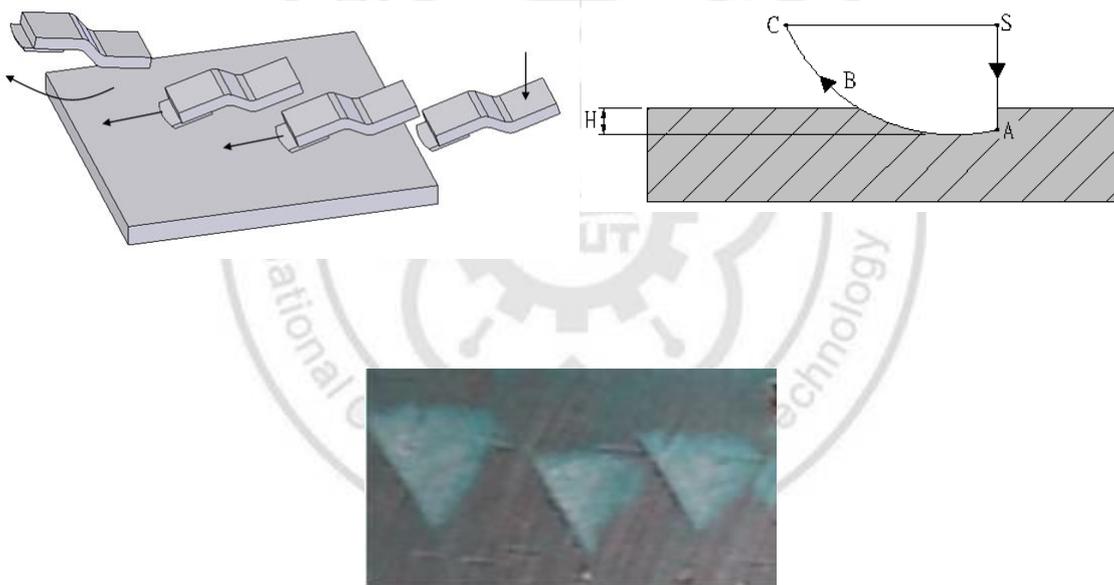


圖 2-11 三角油袋路徑圖

2. 長方形油袋：鑿花工匠用身體推，在下刀出尾時，並沒有挑的動作，而是身體往後退，所以所鑿出的形狀會是一個長方形，這種形狀的鑿花方式，油袋會起毛邊，在人體工學理論上比較省力，如圖 2-12 所示。

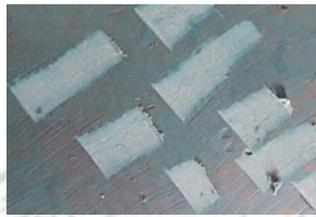
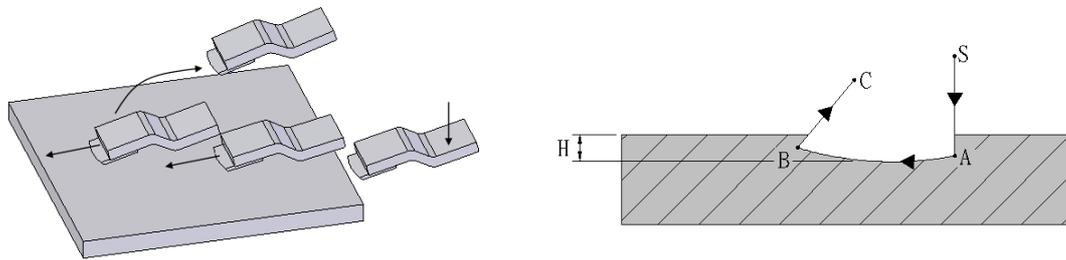


圖 2-12 長方形油袋路徑圖

3. 半月形油袋：為目前所認定最好的油袋路徑，其形狀使油膜的建立更加均勻，高點有最佳的強度[22]。如圖 2-13 所示。

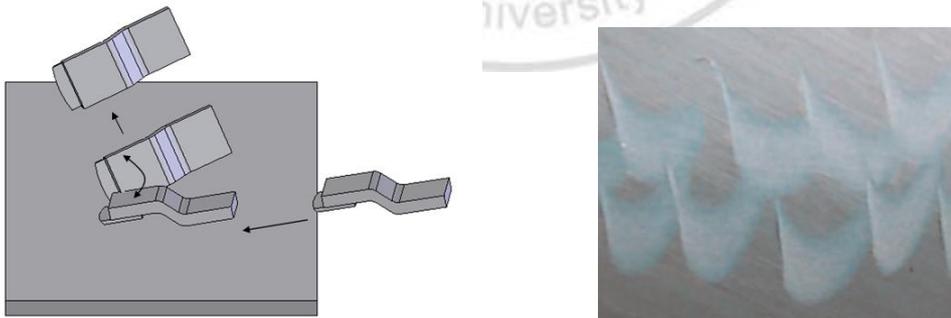


圖 2-13 半月形油袋路徑圖

2.5 鏟花刀片結構

鏟花刀所使用的刀片材料以碳化鎢(WC) 為主，圖 2-14 為刀片的幾何形狀圖。

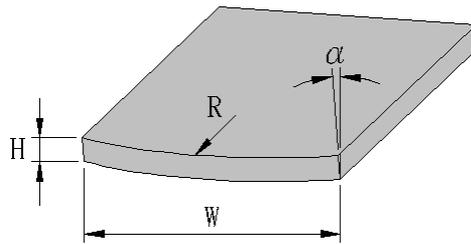


圖 2-14 鏟花刀片的幾何形狀圖

圖中 H 為刀片厚度， R 為刀片半徑， W 為刀片寬度， α 為刀刃傾角。正確的刀片半徑與刀刃傾角在粗鏟加工與精鏟加工會有所不同，鏟花工匠所使用的鏟花刀半徑約 250mm 至 400mm，精鏟使用小半徑，粗鏟使用大半徑。

2.5.1 刀刃傾角

刀刃傾角關係著切削力的大小，鏟花加工屬於微量加工，鏟花工匠會將刀刃磨成負傾角，因為正傾角的切削力過大會造成深切，且力道不易控制。圖 2-15 為鏟削基本形式，圖中 α 為刀刃負傾角(Rake angle)， t 為切削深度， t_c 為切屑厚度， ϕ 為剪斷角， \overline{AB} 為剪斷面，其中刀刃負傾角 α 越大， ϕ 剪斷角會越小， \overline{AB} 剪斷面會增大，切削阻力也會增大[23]，一般來說，鏟花工匠都會將刀刃負傾角控制在負 15 度至負 30 度。

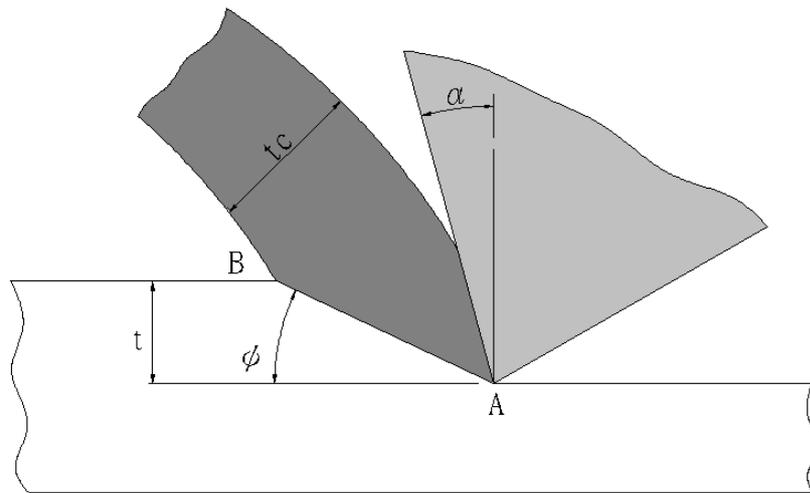


圖 2-15 鏟削基本形式

鏟花刀上的刃傾角，經研磨後是一個固定值，但一個有經驗的鏟花工匠，在鏟花過程中是可以隨時控制刀刃傾角的大小，圖 2-16 為鏟花刀施力圖，圖中鏟花工匠的腰部會施以推力，左手壓，右手控制左右與提刀的力道。圖 2-17 說明了鏟花工匠左手下壓的力道，可以造成刀柄不同程度的變曲，而改變負傾角的大小。

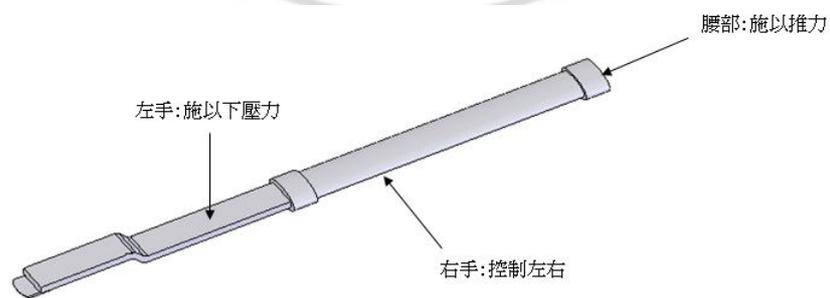


圖 2-16 鏟花刀施力圖

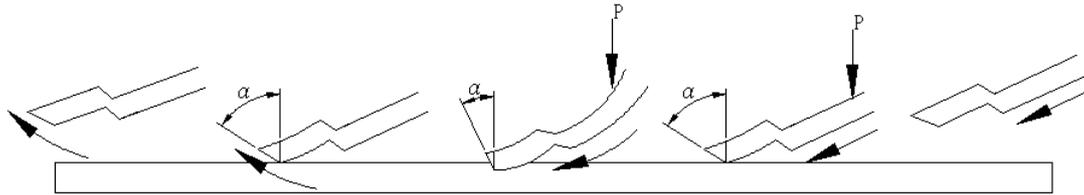
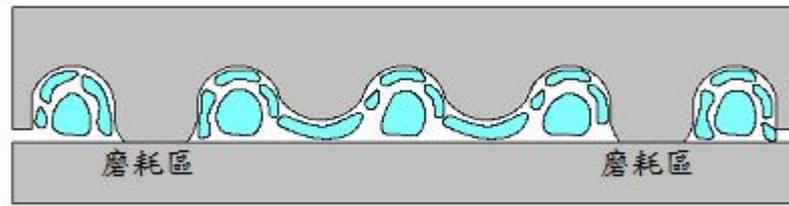


圖 2-17 傾角變化圖

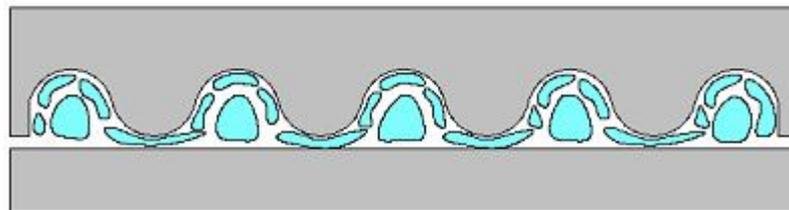
2.6 油袋功能的邏輯

當一個作用力作用於流體上，流體無法抗拒力的作用，流體開始產生形變並傳遞作用力，當作用力傳遞完成，形變就會停止，這是流體力學的基本概念。舉一個例子來說，輪胎的胎紋其中一項功能是排水，當車輛高速行駛於路面的水坑上，輪胎承載的重量會作用於水面上，水是流體，水開始產生形變並傳遞作用力，當水形變的速度來不及傳遞作用力時，水就會在路面與輪胎間形成水膜，改變摩擦係數，造成輪胎打滑。

油袋的功能邏輯類似胎紋的反向原理，油袋的功能在於儲存提供油膜形成的潤滑油，鏟花手法所鏟刮出的坑洞，其高點與低點間的坡度，形成一個非常好的流動路線，當滑動件移動時，潤滑油被高點從油袋刮出形成油膜，又被擠壓回油袋儲存起來，而能持續的在滑軌上形成一層油膜，讓滑動件浮在油膜上，如圖 2-18 所示。



(a)不規則承斑油膜分佈



(b)均勻承斑油膜分佈

圖 2-18 油袋功能的邏輯圖

2.7 承斑評定方式

文獻中陳正達[24]分析產業使用之鏟花方式、幾何指標以及滑動摩擦之特性，作為設計表面紋理的依據，採用單位面積之凸點數(PPI)與單位面積凸點所佔面積百分比(POP)為指標，並設計及架設滑動摩擦力量測系統，將加工檢測後之滑塊於乾摩擦與潤滑條件下量測不同運動速度及負荷情況下之摩擦特性。

- PPI (Points per square inch) 每平方英吋的高點數
- POP (Percentage of points) 每平方英吋的接觸率
- HOP (Height of point) 高點的高度
- DOS (Depth of surrounding) 周圍低點的深度

鑄花承斑評定基準，如上列幾項。但一直以來業界並沒有任何一套檢測儀器可供使用，承斑評定方式都是依賴檢測人員的感官，本文所提出的理念和方式是希望提供一個簡易而精確的方法，降低鑄花人為因素的誤差值，進而達到機器的最大效能化。



第三章 機器視覺原理與研究設備

視覺使得人類可以擷取周圍環境的影像，透過人類腦部的分析可以感知與理解周邊環境的資訊，而這些資訊經過神經系統的傳達，驅動人類肢體動作去執行各種決策任務。機器視覺(Machine Vision)是以各種光學機器模仿人類視覺的光學識別系統，它利用各種成像元件和電腦軟硬體，來擷取影像和分析解釋影像的內容，透過訊號的傳輸，進而控制各種機器元件去完成各種任務。機器視覺研究至今，雖然仍未具有人類視覺判斷處理的智慧，但是對於可控制環境之下的明確工作任務,機器視覺卻能一天 24 小時持續性的效率，並非常正確的執行人類所規劃的任務。

3.1 機器視覺的定義

美國製造工程師協會(SME)機器視覺分會和美國機器人工業協會(RIA)自動化視覺分會，對於機器視覺的定義是：「Machine vision is the use of devices for optical non-contact sensing to automatically receive and interpret an image of a real scene in order to obtain information and/or control machines or processes」。其內容意義為：機器視覺是使用非接觸感測的光學設備，能自動地獲取和解釋一個影像的真正的場景，以取得到資訊和(或)控制機器或者過程[25]。由上述的定義可以了解機器視覺有 3 個主要環節，包括影像擷取、影像處理分析和自動控制。其說明如下：

1. 影像擷取：機器視覺系統的基礎，即為圖像採集，主要是硬體設備的應用，包括照明與光源、攝影機與鏡頭、電腦與影像擷集卡...等等，其目的是採集到滿足分

析要求的圖像品質。

2.影像處理分析：機器視覺系統的核心，主要是軟體設計應用，包括影像處理演算法與程式設計，其目的是按照規劃任務的功能需求，對採集到的圖像進行分析處理，然後輸出結果。

3.自動控制：即輸出與輸入控制，主要是根據影像處理與分析的結果，輸出信號驅動週邊相關的傳動機構與機械元件，也包括控制機器視覺系統本身，完成任務的功能需求。

本文所提出的鏟花檢測系統，主要是應用機器視覺中影像擷取和影像處理分析的領域。

3.2 硬體架構

鏟花檢測系統，其硬體設備的主要架構包含：個人電腦(PC)、CMOS 彩色攝影機、光源照明等組合而成。如圖 3-1 所示。取像模組概分為：1. CMOS 彩色攝影機；2.光學鏡頭；3.光源。

3.3 CMOS 攝影機

CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor)的發展比 CCD(Charge Couple Device)晚了約 10 年，且初期在影像品質、畫素容量方面與 CCD 有相當差距，所以在傳統觀念中，CCD 代表著高解析度，而 CMOS 由於雜訊的問題，一直與對畫質要求不高的電子產品聯繫在一起。但由於次微米半導體製程技術的發展，使得 CMOS 的性能均能與 CCD 相比擬。在商業上，一些新興的影像產品對於電源消耗與體積的要求，使得 CMOS 逐漸取代了 CCD[26]。

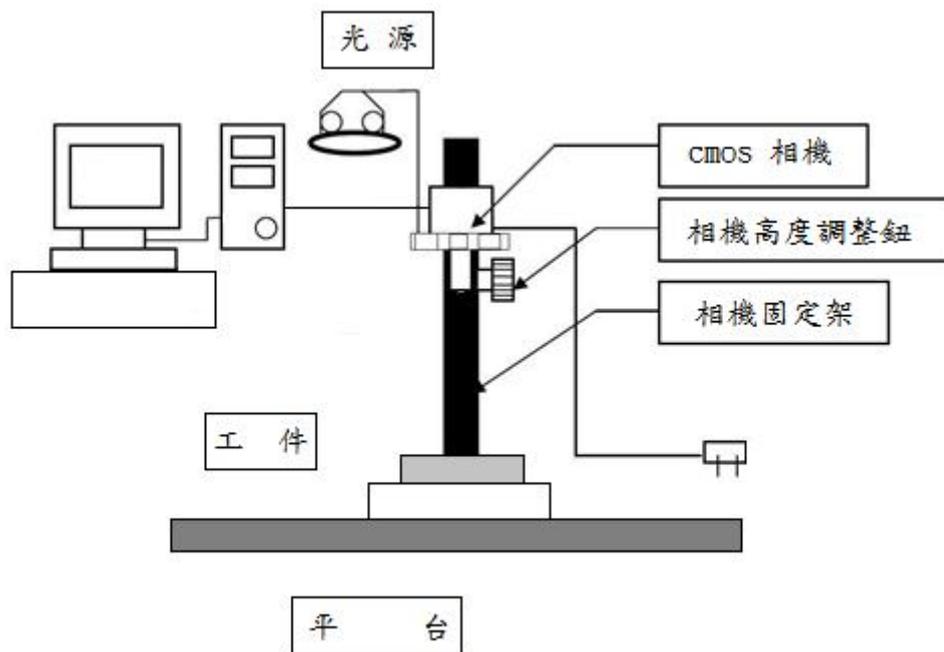


圖 3-1 鑷花檢測系統硬體架構

3.3.1 CMOS 構造原理

影像感測器的性能指標在於像素陣列的功能模塊，按照像素陣列單元結構的不同，可以將像素單元分為：無源像素單元 PPS (Passive pixel schematic)，有源像素單元 APS (Active pixel schematic)和數位式像素單元 DPS(Digital Pixel Sensor)。主要的差別，在於電路的設計，其中 PPS 是 CMOS 早期的電路設計，是由單個電晶體構成成列的選擇開關，如圖 3-2 所示，其容易產生雜訊，使影像品質不佳。而 APS 的電路是由二個或二個以上的電晶體構成具有放大功能的放大器，如圖 3-3 所示，解決了隨機雜訊的問題，為目前大部分產品所用的電路設計型式。

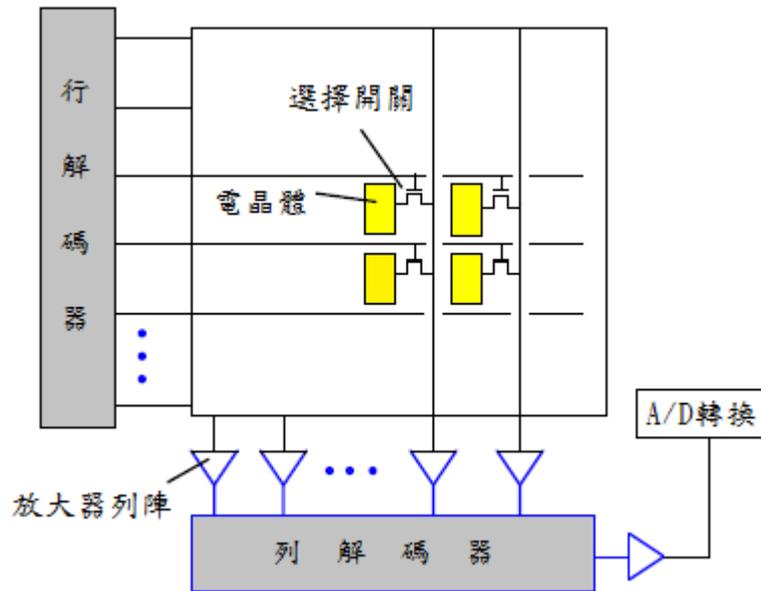


圖 3-2 PPS 模式構造

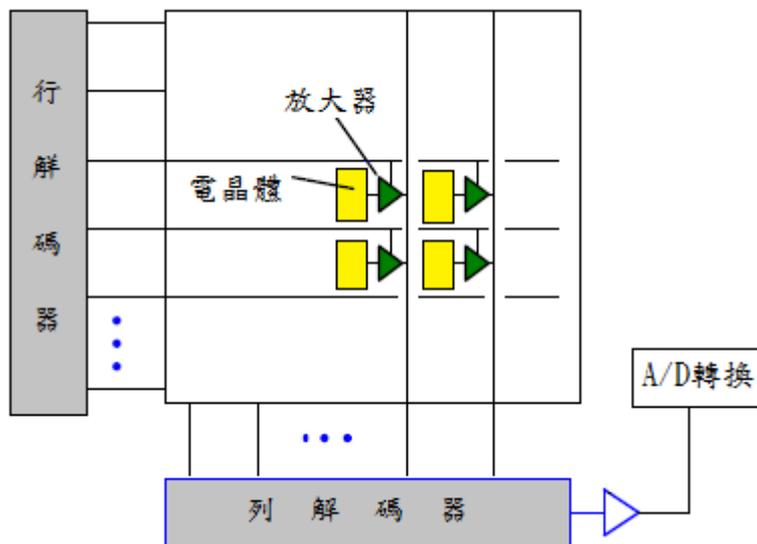


圖 3-3 APS 模式構造

3.3.2 實驗相機型式

表 3-1 為 CCD 與 COMS 的優劣比較表，從表中可以了解 CCD 在取像品質上優於 CMOS，但在價格與能耗上 COMS 占了絕對的優勢，同時 CMOS 傳感器的高度集成化減小了系統的複雜性，可以根據需要將多種功能集成在一塊芯片上，單芯片就可以完成 CCD 攝影機全部電學功能[27]。

在本研究中，所採用的 CMOS 彩色攝影機是由德國 iDS 公司所生產，其型號為 ICDA-UI-5240CP-C-HQ，如圖 3-4 所示，為面掃瞄型式。

表 3-1 CCD 與 CMOS 優劣比較表

項目	CCD 感測器	CMOS 感測器
設計	單一感光器	感光器連結放大器
靈敏度	高	低
成本	高	低
解析度	高	低
雜訊比	低	高
耗能比	高	低
反應速度	慢	快
IPA(個別畫素定址)	無	有
製造機具	特殊訂製機台	可共用



圖 3-4 CMOS 彩色攝影機

3.4 光學鏡頭

鏡頭相當於人眼的晶狀體，如果沒有鏡頭，那麼攝影機就無法輸出清晰的圖像，相機搭配時需考慮鏡頭的規格，影像擷取尺寸的大小取決於鏡頭的放大能力，所以在選擇鏡頭規格時，必需了解一些成像的基本概念。

3.4.1 針孔成像原理

用一個帶有針孔的遮板擋在螢幕與物體之間，針孔就如投影中心，螢幕上就會形成物體的倒像，這種現象說明了光線直線傳播的性質，也是針孔成像的基本原理。如圖 3-5 所示：

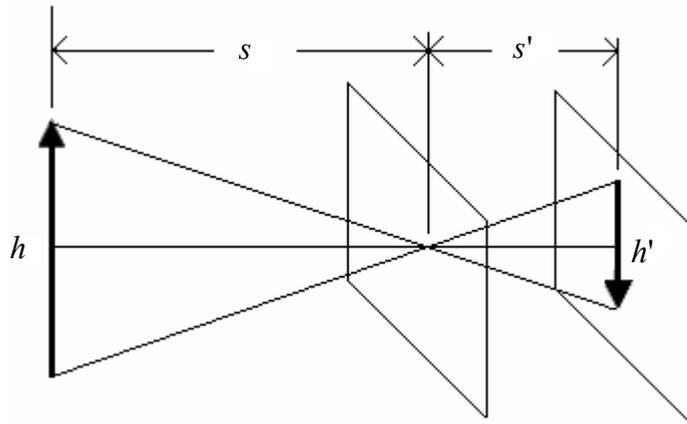


圖 3-5 針孔成像示意圖

其中 h 為物體高度， h' 為物體投影成像高度， s 為物體到投影中心的距離， s' 為投影成像平面到投影中心的距離，由幾何學可以推算出成像高度 h' ，如式(3-1)所示。從式中可以了解 h' 和 s 成反比，當移動遮板改變距離 s 時，成像高度 h' 就會改變。

$$\frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} \quad (3-1)$$

3.4.2 厚透鏡原理

攝影鏡頭一般在高斯透鏡原理上適用於厚透鏡的成像規律，因為攝影鏡頭大部分是由幾組透鏡所組成，每組透鏡可以是單片透鏡，也可以由兩片以上單片透鏡相互膠合而成，因此於攝影鏡頭的透鏡沿光軸的厚度較大，所以不宜再依據薄透鏡成像原理，圖 3-6 為薄凸透鏡成像原理，圖 3-7 為厚透鏡成像原理。

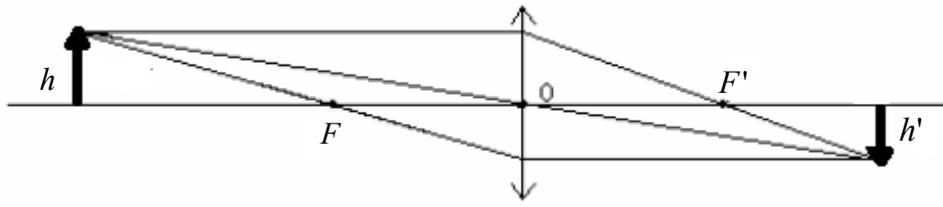


圖 3-6 薄凸透鏡成像示意圖

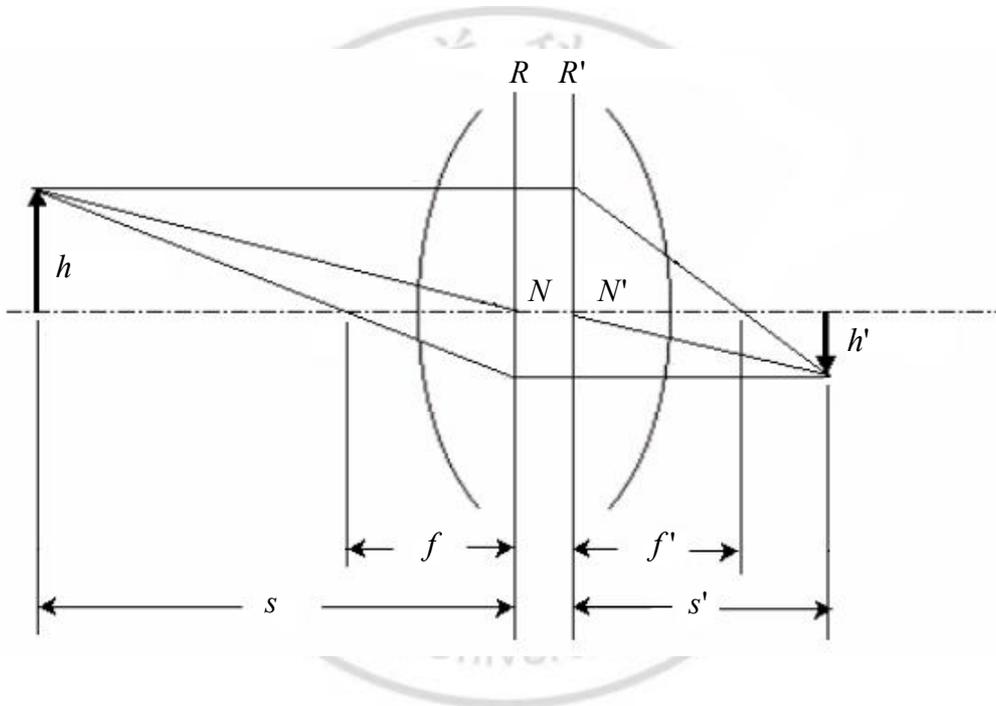


圖 3-7 厚透鏡成像示意圖

其中虛線為光軸， h 為被測物高度， h' 為成像高度， R 與 R' 分別為前後透鏡垂直光軸的主平面， s 為被測物到 R 平面的距離， s' 為成像到 R' 平面的距離， F 為物側焦點， F' 為像側焦點， f 為物側焦距， f' 為像側焦距，如果透鏡兩側的介質

一樣，節點 N 和 N' 會落在兩個主平面與光軸的交點。與針孔成像原理一樣可導出公式(3-1)，設 m 為放大率，其放大率定義式為(3-2)。

$$m = \frac{h'}{h} = \frac{s'}{s} \quad (3-2)$$

利用光軸上下兩個相似三角形在物側可得：

$$\frac{h'}{h} = \frac{f}{s-f} \quad (3-3)$$

在像側可得：

$$\frac{h'}{h} = \frac{s'-f'}{f'} \quad (3-4)$$

所(3-3)等於(3-4)

$$\frac{f}{s-f} = \frac{s'-f'}{f'} \quad (3-5)$$

因為透鏡兩側的介質一樣(空氣)，可令 $f = -f'$ 代入(3-5) 可推得：

$$\frac{1}{s'} - \frac{1}{s} = \frac{1}{f'} \quad (3-6)$$

攝影時光學系統位於空氣介質之中，所以影像為實像，可以將數據以絕對值形式表示，可推得：

$$\frac{1}{s'} + \frac{1}{s} = \frac{1}{f} \quad (3-7)$$

公式(3-7)為成像的基本公式，應用此基本公式，可推得光學系統成像的各種情況。

3.4.3 鏡頭相關參數

攝影機需考量其鏡頭(Lens)本身或光學上相關的參數，例如：光學倍率、工作距離、觀測範圍、景深，以下將介紹有關於鏡頭參數，其鏡頭參數示意圖如圖 3-8 所示，其說明如下：

1. 觀測範圍(Field of View ; FOV)：最後透過攝影機，在螢幕上成像大小。
2. 解析度(Resolution)：在光學上，各種不同所能解析之最小實際單位。
3. 工作距離(Working Distance)： 鏡頭前緣至實際距離，即物距。
4. 景深(Depth of Field ; DOF)：鏡頭針對同一物體，可以清楚成像的距離範圍。

3.4.4 實驗鏡頭型式

本研究中，所採用的鏡頭是由德國 iDS 公司所生產，其型號為 ICL-IDS-25 For 百萬畫素用的鏡頭，尺寸圖如圖 3-9 所示，其詳細規格如表 3-2 所示：

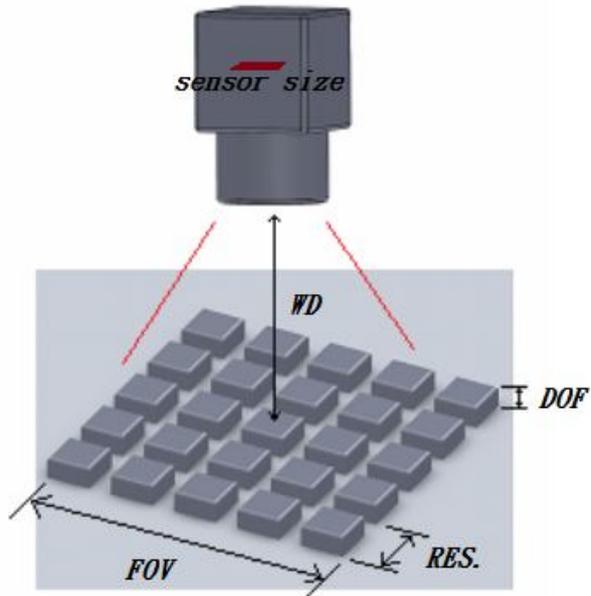


圖 3-8 鏡頭參數示意圖

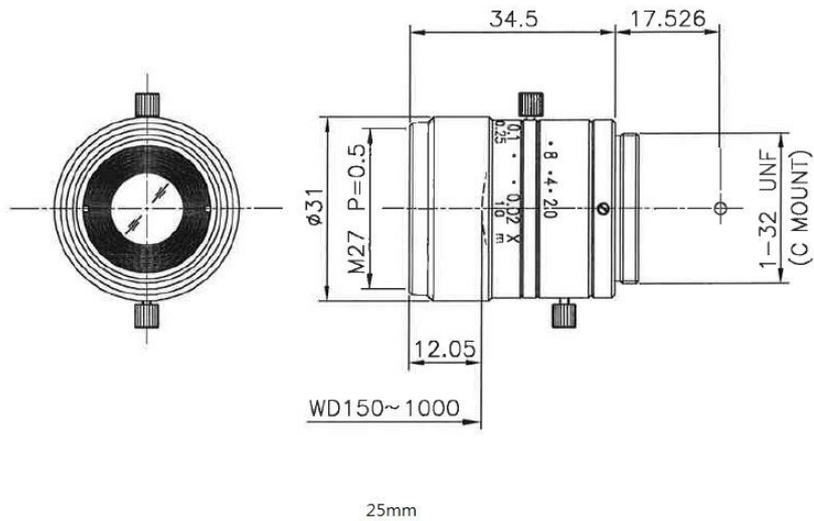


圖 3-9 鏡頭尺寸圖

表 3.2 ICL-IDS-25 鏡頭光學規格

焦點距離	25.503 mm		
倍率	0.28x	0.106x	0.052x
WD	100 mm	250 mm	500 mm
無限 F 值	2.0		
有限 F 值	2.68	2.31	2.2
像側 NA	0.187	0.216	0.227
物體側 NA	0.052	0.023	0.012
攝影距離	150 mm 至 1 mm		
像測分析能	7.1 μ	5.9 μ	5.6 μ
物體測分析能	25.4 μ	56 μ	108 μ

資料來源：新亞洲儀器公司, 2011

3.5 照明與光源

照明與光源是影響視覺量測的重要因素，想要得到理想影像品質可介由改善系統照明來取得，選擇適合的光源種類與照明架設方式，可以提高待測物體影像的正確性，降低影像擷取後產生圖像失真而造成誤判之情況，照明設計主要目的是要得到一張最佳特徵品質的圖像，讓目標所需的特徵從待測物體影像中凸顯出來，簡化影像處理工作，提高檢測精確度[28]

3.5.1 光源的類型

機器視覺中常用的光源有下列幾項，如圖 3-10 所示：

1. 白熾燈泡 (Incandescent lamps)：是一種透過通電，利用電阻把鎢絲加熱使其產生熱輻射而發光，其色溫為 3000~3400K 的連續光譜。主要缺點是消耗能量中的 90%轉化成無用的熱能，只少於 10%的能量會成為光，所以發熱嚴重。
2. 氙燈 (Xenon lamps)：是一種在石英燈泡殼內充上氙氣，利用氙氣放電而發光，其色溫為 5500~12000K 的亮光，可做成每秒 200 多次的閃光燈與連續發光的短弧氙燈與長弧氙燈。主要缺點是供電複雜且昂貴。
3. 螢光燈 (Fluorescent lamps)：是一種使用電力在氬或氖氣中激發水銀蒸氣，發出短波紫外線，紫外線被磷質吸收後，磷會發出可見的光，其色溫為 3000~6000K 的閃爍的光源，為目前最普遍的光源。
4. LED 燈 (Light-Emitting Diode)：是一種能發光的半導體電子元件，光線的波長、顏色跟其所採用的半導體物料種類與故意滲入的元素雜質有關。具有效率高、壽命長、不易破損、開關速度高、高可靠性等傳統光源不及的優點，為目前機器視覺應用最多的一種光源。



(a) 白熾燈泡



(b) 氙燈



(c) 螢光燈



(d) LED 燈

圖 3-10 光源的類型

3.5.2 照明架設方式

照明架設方式需考慮下列幾點：

- 光源的光度、入射角與被照物的距離

- 被測物體本身的材質對光的反射特性
- 環境周圍的光源對被測物的影響
- 鏡頭的取像位置與光源之間的夾角

一般常見的光源照明的方式，依據鏡頭、待檢物體與光源之間的幾何相關位置，可分區成三種形式：

1. 上照式(Upper Lighting)：光源與鏡頭皆在物體同一側，利用光線反射強度的不同，能夠獲得物體表面特徵及檢測紋理形狀的影像，如鑲幣面額辨識、電子元件外形、光學字元辨識等等，為一般較常見的照明方式，如圖3-11所示。

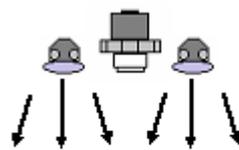


圖3-11 上照式

2. 背照式(Back Lighting)：光源與鏡頭在物體的不同側，將光源置於物體背面，而鏡頭置於物體正面取像，可獲得對比強烈的物體輪廓線與外形，並可簡化影像的複雜性，可做為物體尺寸檢測、外形比對，如圖3-12所示，



圖3-12 背照式

3. 側照式(Side Lighting):光源放在物體的側面,光源的照射方向與物體平面平行,凸顯待檢物體之幾何性質,當檢測物體之缺陷與輪廓時,採用側照式,如圖3-13所示。

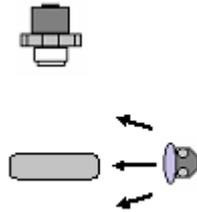


圖3-13 側照式

3.6 軟體

軟體是採用德國MVtec公司的影像處理軟體HALCON,它發源自學術界,有別於市面一般的商用套裝軟體,由一千多個各自獨立的函數,以及底層的資料管理核心構成。其中包含了各類濾波,色彩以及幾何,數學轉換,型態學計算分析,校正,分類辨識,形狀搜尋等等基本的幾何以及影像計算功能,由於這些功能大多並非針對特定工作設計的,因此只要用得到影像處理的地方,就可以用HALCON強大的計算分析能力來完成工作。應用範圍幾乎沒有限制,涵蓋醫學,遙感探測,監控,到工業上的各類自動化檢測[29]。圖3-14 為HALCON於機器視覺上的相關應用[30]。

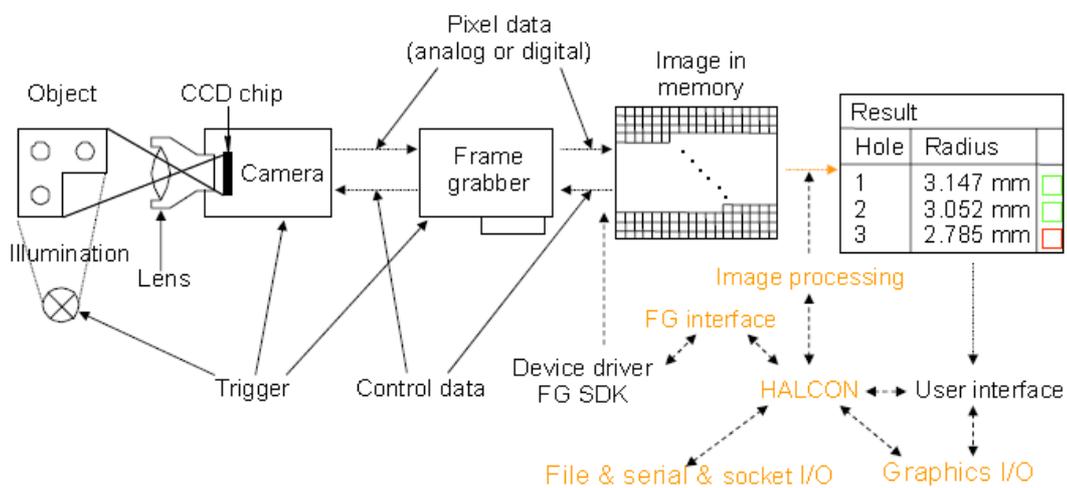


圖3-14 HALCON應用示意圖



第四章 影像處理與分析

影像處理(Image processing)與影像分析(Image analysis)是機器視覺中的核心部分[31]。影像處理的目的是運用影像處理軟體所提供的功能，將影像幾何位置、顏色、灰階度、空間頻率等等的參數轉換，增強所需目標物的特徵，同時抑制非目標物。圖像分析的目的運用影像分析軟體所提供的功能，對於所需目標物識別、比對、統計與計算。

4.1 影像組成的基本概念

4.1.1 影像座標

攝影機鏡頭取像系統和實際物體是一個投影關係，可以使用右手座標系統的針孔成像原理(pin-hole system)定義相互之間的關係，圖 4-1 為一個成像系統的座標關係，可分為相機座標系統、影像座標系統和影像平面座標系統[32]。影像座標系統是運用列(row)、行(column)的矩陣概念，也是軟體處理所使用的座標系統。

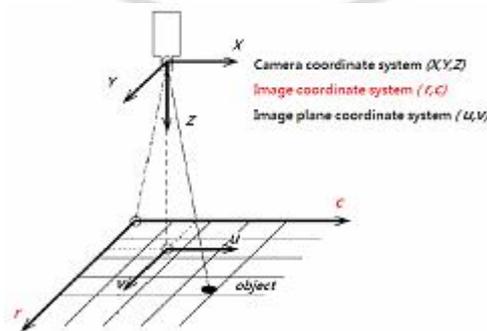


圖 4-1 影像座標

4.1.2 影像組成

一張影像圖片經取樣(Sampling)與量化(Quantization)的處理之後，即成為數位影像(Digital Image)，數位影像是由許多不同色彩資訊的圖像元素(Picture element)所組成，這些圖像元素就如同許多細微的小格點，組成影像最小的單位，簡稱像素(Pixel)或是畫素也被稱為點(Dot)。

以數學的描述方式，一張數位影像為一個二維函數 $f(x, y)$ ，可當成一個 $m \times n$ 階的二維矩陣，此張數位影像矩陣表示如(4-1)式：

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) \cdots \cdots f(0,n-1) \\ f(1,0) & f(1,1) \cdots \cdots f(1,n-1) \\ \vdots & \\ \vdots & \\ f(m-1,0) & f(m-1,1) \cdots f(m-1,n-1) \end{bmatrix} \quad (4-1)$$

其中像素位置 (r, c) 處的灰階值 g 可定義為(4-2)式：

$$g = f(r, c) \quad (4-2)$$

所以數位影像所有的像素都擁有一個明確的座標位置和顏色資訊，透過這些包含個別顏色資訊的像素去排列組合後，我們就可以得到一張影像圖片。圖 4-2 為一解析度 $640 \times 480 \times 8\text{bits}$ ，有 256 灰階之數位影像的示意圖，行與列的指定可決定影像中某一點的位置，而矩陣中相對應此位置的值即代表此點之灰階值。

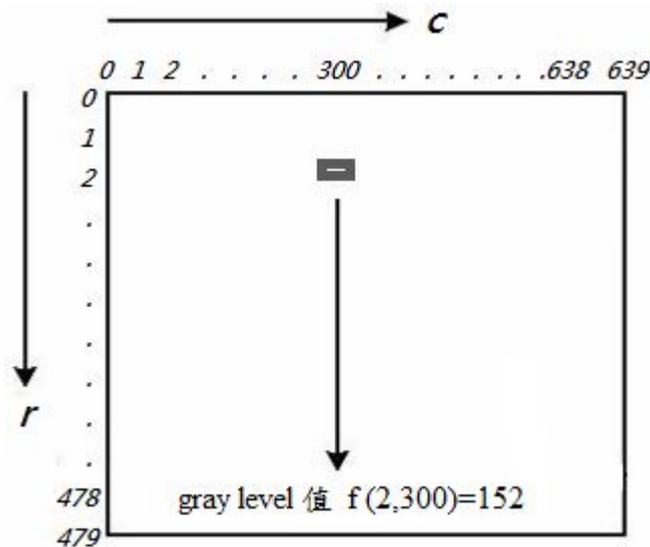


圖 4-2 數位影像示意圖

4.1.3 影像色彩類型

影像色彩類型是指數位影像中每一個像素所組成的顏色資訊，也就是數位影像圖檔中所擁有色彩數目的多寡，影像色彩類型是影像處理中非常重要的基本概念，因為我們必需透過各種色彩類型的顏色資訊來做分析統計，下列對五種不同影像色彩類型做說明：

1. 黑白模式(1 位元影像)的數位影像是以 1 bit(1 bit 為 2 的 1 次方，即 2 個組合)的資料空間來表示像素點的顏色資訊，所以每個像素點只有黑色或白色，這些像素點經過排列組合後，就可以得到一張由純黑色與純白色兩種顏色所組成的數位影像圖片。在影像處理中可以藉由二值化的技術將各種類型的影像轉換成黑白模式的數位影像。如圖 4-3 (a) 所示。

2. 256 灰階模式 (8 位元灰階影像) 的數位影像是以 8 bits (8 bits 為 2 的 8 次方, 即 256 個組合) 的資料空間來表示像素點的色彩資訊, 這類型的影像每個像素點除了純黑和純白之外, 還會依照黑到白的亮度變化, 進而形成 256 種變化。黑白攝影機所擷取的影像就是 256 灰階模式的影像, 也可以透過影像處理技術將各種彩色類型的影像轉換成 256 灰階模式的影像。如圖 4-3 (b) 所示。
3. 16 色彩色模式(4 位元影像) 的數位影像是屬於索引式色彩, 每個像素點以 4 bits (4 bits 為 2 的 4 次方, 即 16 個組合) 的資料空間來表示色彩資訊, 每個像素點都搭配著一個 16 色的色盤, 在索引式色彩中, 每個像素點並不是記錄著顏色的亮度、色彩等資訊, 而是儲存顏色在色盤中的編號, 由於影像最多只能表現出 16 種顏色 所以影像所呈現的品質較差。如圖 4-3 (c) 所示。
4. 256 色彩色模式(8 位元影像) 的數位影像也是一種索引式色彩, 每個像素點以 8 bits (8 bits 為 2 的 8 次方, 即 256 個組合) 的資料空間來表示色彩資訊, 一共可以顯示 256 種顏色。某此圖片為了減少檔案資料量, 就會使用 256 色模式來呈現。如圖 4-3 (d) 所示。
5. RGB 全彩模式的數位影像, 每個像素都由 R(Red)、G(Green)、B(Blue)三原色混合而成, 而 R、G、B 又分別佔 8 個 bit 的空間, 所以每個像素點以 24 bits (24 bits 為 2 的 8 次方, 即 16777216 個組合) 的資料空間來表示色彩資訊。全彩影像在色彩的表現上非常豐富、完整, 所以在影像處理技術上, 全彩影像可以提供非常完整的資訊來做分析, 所以漸漸成為影像處理所採用的主要顏色模式。如圖 4-3 (e) 所示。



(a) 黑白模式



(b) 256 灰階模式



(c) 16 色彩色模式



(d) 256 色彩色模式



(e) RGB 全彩模式

圖 4-3 影像色彩類型

4.2 灰階直方圖

灰階直方圖(Histogram)是灰階值的二維圖，它表示圖像中具有每種灰階值的像素個數或圖像中每種灰階值出現的概率。灰階直方圖的橫座標是灰階值，縱座標是該灰階值的像素個數或出現的概率。用 N 表示一張影像的像素點總數， n_i 為影像中灰階值為 i 的像素點總數， H_i 為該灰階值出現的概率，則灰階直方圖在圖像區域的離散函數為(4-3)式：

$$H_i = \frac{n_i}{N} \quad (4-3)$$

灰階直方圖是影像處理中，最基本的統計工具，直方圖統計了影像中所有灰階值的信息，藉由灰階值分佈的形態可以提供影像的特徵與閾值的選擇。圖 4-4 繪出了在圖 4-3 (b) 中所示影像的灰階直方圖。

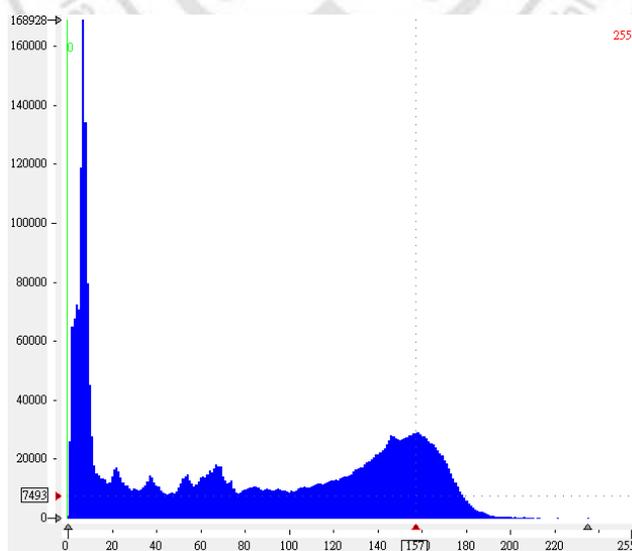


圖 4-4 灰階統計直方圖

4.3 彩色影像原理

過去許多視覺系統運用者對於彩色影像並沒有比較特殊的使用，因為黑白攝影機有較好的訊號雜訊比(S/N Ratio)、對光靈敏度較強且人類眼睛對黑、白灰階影像的空間差異，感覺上比較明顯，對於程式的撰寫與測試比較容易，同時可以節省更多處理運算時間。但對於特徵色澤多且灰階度相差極微的影像，就可以運用彩色攝影機來擷取彩色影像，而擷取影像可以對被測物，產生更多有效資訊，提供我們精確的閾值計算來分離所需的分析特徵[33][34]。由於本研究拍攝數位影像所用的彩色相機是採用 RGB 模式，所以下列章節是針對彩色的基本定義，並介紹本研究所使用的彩色模型。

4.3.1 色彩基礎

在電磁能譜(electromagnetic spectrum)中，可見光涵蓋的波長範圍大約是從 400nm~700nm 之間，人類對於可見光中不同波長的光波信號，透過視覺器官進行混合，所產生的一種知覺現象即為彩色。彩色模式建立的目的是能將人眼所見的知覺現象，以數學模式予以量化，便於以某種標準來指定彩色，藉以提供各種數值化之應用。基本上人眼是以紅、綠和藍為 3 個基本顏色，對於任何一種特定色彩，是藉由 3 個基本顏色不同強度比例混合而成，所需的紅、綠和藍的量稱為三色激勵值(tristimulus)以 X, Y, Z 表示，一個色彩可以用其三色度係數(trichromatic coefficients)表示[35]，其係數為(4-4)式：

$$x = \frac{X}{X + Y + Z} \quad (4-4-1)$$

$$y = \frac{Y}{X+Y+Z} \quad (4-4-2)$$

$$z = \frac{Z}{X+Y+Z} \quad (4-4-3)$$

$$x + y + z = 1 \quad (4-4-4)$$

其中 $z = 1 - (x + y)$ ，所以用 x, y 就可表示一個顏色。

4.3.2 R、G、B 彩色模型

一般來說人類的視覺系統，會將不同份量的紅 (red)、綠 (green)、藍 (blue) 混合起來而組成色彩，因此紅、綠、藍又稱為三原色，一張完整的彩色影像可以視為由三原色 R、G、B 分別對應的三個獨立的影像平面所組成，RGB 彩色模型是結構最簡單的彩色模型。如圖 4-5 所示，模型中每種色彩是用紅、綠、藍的分量來表現，RGB 彩色模型是建立在標準化直角座標系的基礎上的一個立方體，座標軸的原點 $(0, 0, 0)$ 為黑色，相對原點最遠的頂點 $(1, 1, 1)$ 代表白色，RGB 三個值分別在三個座標軸上的頂點。

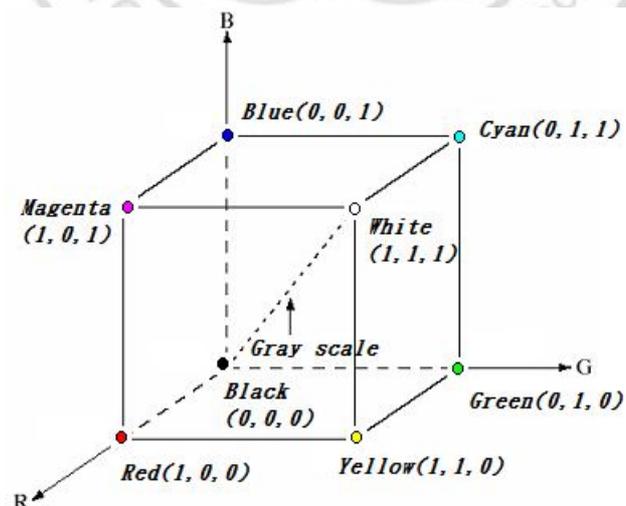


圖 4-5 RGB 彩色模型

由圖 4-6 中可以知道，紅色與綠色相加會得到黃色；藍色與綠色相加會得到青色；藍色與紅色相加會得到紫色，因此將紅、綠、藍任二原色混合後得到的是第二次色，由於拍攝數位影像所用的彩色相機大多數採用 RGB 模式，所以 RGB 彩色模型在影像處理中是一種重要的模型[36]。

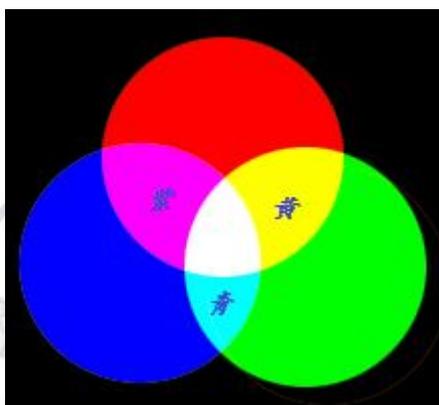


圖 4-6 黃青紫二次色

4.3.3 全彩影像處理基本原理

本研究前面章節所介紹的理論提及全彩模式的數位影像，每個像素都由 R(Red)、G(Green)、B(Blue)三原色混合而成，而全彩影像處理基本原理是在不同色彩模式下對色彩進行處理，主要的方法可分為兩類：

1. 對彩色影像的每個影像平面進行處理，在 RGB 系統中每一個色彩點可以解釋為在 RGB 座標系統上從原點到該點的向量[37]，其定義如(4-5)所示：

假設 c 為 RGB 座標系統上的一個向量

$$c = \begin{bmatrix} c_R \\ c_G \\ c_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (4-5)$$

2. 直接對色彩的像素點進行處理，假設 $f(x,y)$ 為圖片中彩色影像的任一像素值，其定義如(4-6)所示：

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f_R(x,y) \\ f_G(x,y) \\ f_B(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(x,y) \\ G(x,y) \\ B(x,y) \end{bmatrix} \quad (4-6)$$

4.3.4 色彩轉換分離

本研究初期是利用單色 CCD 做為影像擷取的硬體工具，但樣本經多次鑄配後，由於表面深淺的關係，造成色澤有極大的變化，在低點仍存有許多深色區塊，經二值化後，所提取的特徵，與原始影像做比對，會有極大的差異。後來採用彩色 CMOS 照相機擷取彩色影像，透過色彩轉換分離技術將彩色影像分離成 R、G、B 三個頻道的影像，其轉換的定義式如(4-7)所示：

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (4-7)$$

$f(x,y)$ 是一張彩色影像， $g(x,y)$ 是經由轉換的或是經處理的彩色輸出影像，而 T 是運算子。

$$s_i = T_i(r_1, r_2, \dots, r_n), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4-8)$$

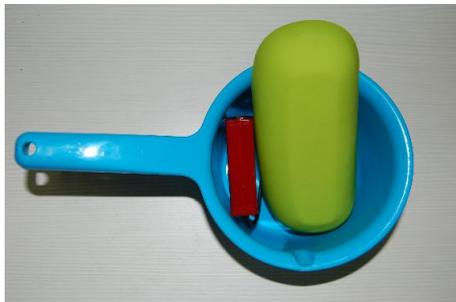
s_i 代表彩色轉換後影像 $g(x, y)$ 色彩值的變數， r_n 代表原始彩色影像 $f(x, y)$ 的任何一點 (x, y) 色彩值的變數， n 是彩色頻道的數目 (RGB 為三個頻道 $n=3$)， T_i 是作用於 r_n 的一組轉換函數。

圖 4-7 說明了一張彩色影像內的三個不同色彩的物體，分別在三個不同頻道凸顯其色彩特徵，圖 4-7 (a) 顯示一張淡藍色的水瓢裝著紅色小方盒和接近黃綠色 (灰階值 R123, G214, B21) 眼鏡盒的高解析度彩色影像，圖 4-7 (b) R-channel 其淡藍色的水瓢為趨近灰階值 0 的灰黑色，圖 4-7 (c) G-channel 其紅色小方盒為趨近灰階值 0 的灰黑色，圖 4-7 (d) B-channel 其黃綠色眼鏡盒的灰階值介於淡藍色的水瓢和紅色小方盒之間。

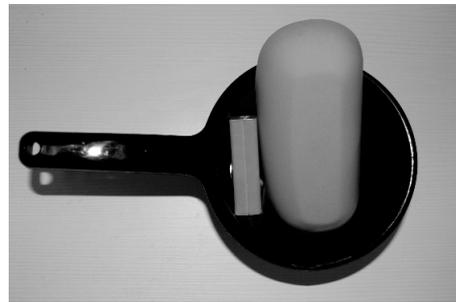
4.4 閾值分割

影像分割的目的，是將影像中的目標物與背景劃分成不相交的區域，可以簡化圖像的表示形式，使得圖像更容易理解和分析，主要的應用原理是對影像中感興趣的區域 (Region of interest 簡稱 ROI) 的每個像素加以標示，使其具有某種共同特性。主要的方式有下列幾種：

1. 閾值分割方式：將各像素點依照灰階值的大小，劃分出區域。
2. 邊緣偵測方式：利用區域邊緣像素灰階值變化劇烈，劃分出區域邊緣。
3. 邊界追蹤方式：確認邊界起始點，遵循一定方向搜索，直到回到起始點，形成區域邊界。



(a) 原始影像



(b) R-channel



(c) G-channel



(d) B-channel

圖 4-7 RGB 頻道影像

其中閾值分割是影像分割最簡單的算法，在文獻中舒紅平等人[38]討論了在對圖像進行分割時的一維、二維灰度直方圖分割方法，並對最優閾值灰度分割方法的原理進行了探討，本研究採取閾值分割作為影像分割的方法，下列章節對於閾值分割基本原理和幾種方法提出說明。

4.4.1 閾值二值化

閾值分割的原理建立在統計學的基本理論上，主要是根據影像的灰階值特性進行統計與分類，閾值(threshold value)的取得可以透過各種統計分析的演算法，計

算出最佳的閾值數。閾值二值化(Binary Thresholding)是將影像的灰階值使用一個閾值來區隔，將灰階值大於閾值的所有像素點的灰階值設為 255，灰階值小於閾值的所有像素點的灰階值則設為 0 (反之亦然)，如圖 4-8 所示。影像被分成兩種灰階值就會得到一張黑白模式(1 位元影像)的二值化影像。假設一張影像 $f(x,y)$ ，其最小灰階值 g_{\min} ，最大灰階值 g_{\max} ，設 T 為閾值，且 $g_{\min} \leq T \leq g_{\max}$ ，二值化輸出影像 $g(x,y)$ 其定義式如(4-9)所示。

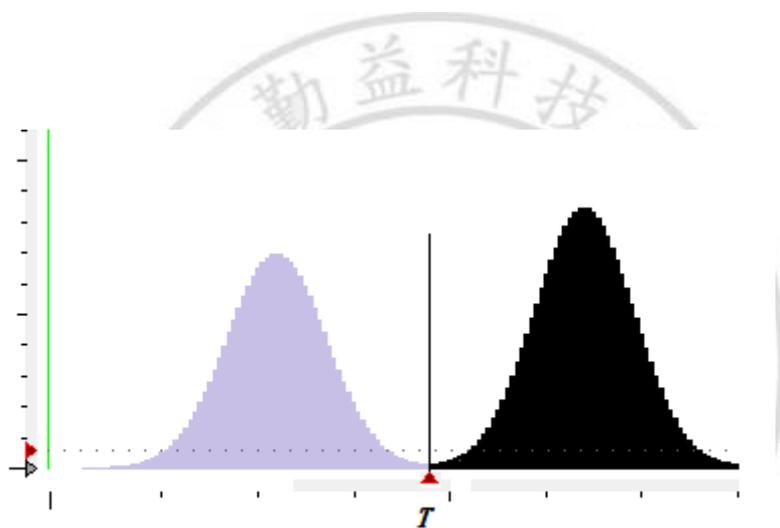


圖 4-8 閾值二值化

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & , f(x,y) \geq T \\ 0 & , f(x,y) < T \end{cases} \quad (4-9)$$

4.4.2 雙重閾值

在某些情形下雙重閾值二值化，提供另外一種非常簡易方便的影像分割方法，圖 4-9 (a) 為一張圖片包含三個不同灰階值的幾何形狀，每一個幾何形狀都是單一的灰階值，其理想的灰階統計直方圖會是四條直線，代表三個幾何形狀和背景。

圖 4-9 (b) 是將原始灰階直方圖平滑化處理，其中四個峯波代表三個幾何形狀和背景。

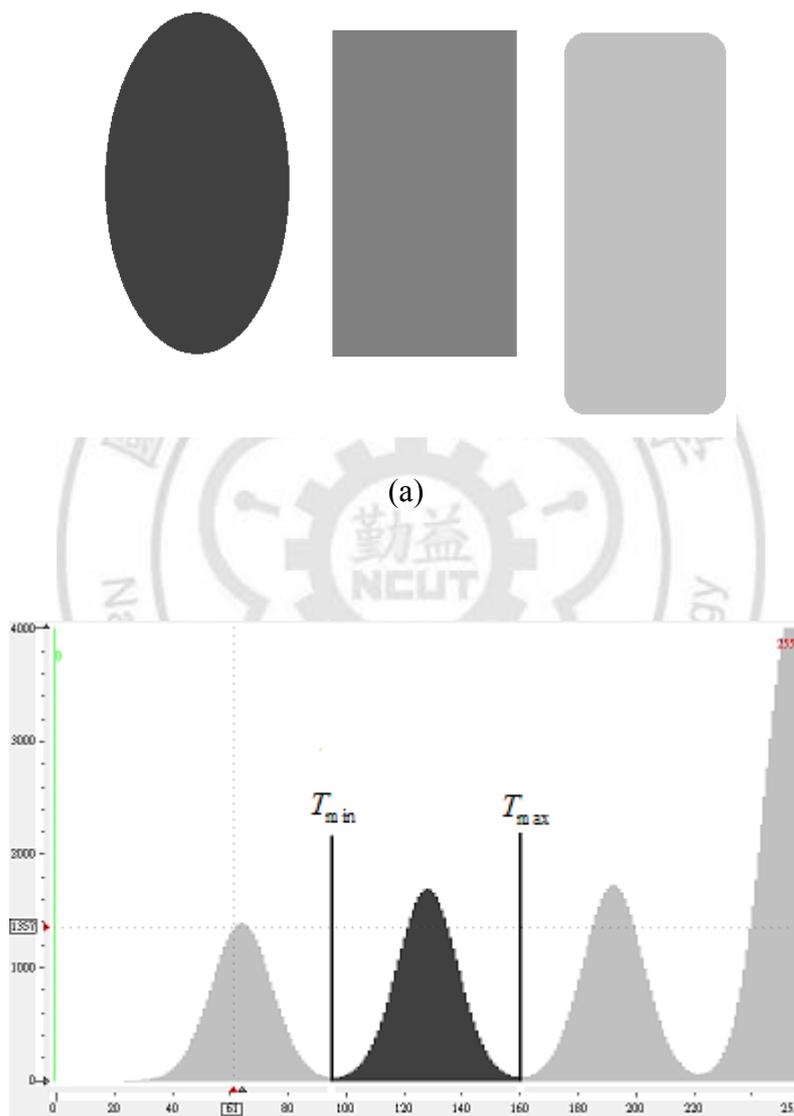


圖 4-9 雙重閾值二值化

假設 ROI 為長方形，其灰階值介於另兩個幾何形狀和背景之間，雙重閾值提供非常好的方式將其分離，主要的定義式如(4-10)所示。

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & , T_{\min} \leq f(x,y) \leq T_{\max} \\ 0 & , T_{\min} > f(x,y) \& T_{\max} < f(x,y) \end{cases} \quad (4-10)$$

其中 T_{\min} 為最小閾值， T_{\max} 為最大閾值，原始影像 $f(x,y)$ ，二值化輸出影像 $g(x,y)$

4.4.3 最佳閾值的選擇

由實驗過程得知，每一種二值化法的處理效果不盡相同，自動二值化法之優劣並無絕對的評估標準，只要能夠將所要求的物體確實的從背景凸顯出來，就是一個理想的二值化法。

4.5 二值化影像形態學處理

形態學的基本概念建立在集合論的基礎上，本研究運用形態學所提供的一些方法，調整二值化後影像 ROI 的形狀，去雜訊與描述影像特徵，主要有下列幾項基本運算侵蝕(Erosion)、膨脹(Dilation)、開運算(Opening)、閉運算(Closing) 與孔洞填補(Hole filling)。形態學的基本運算是由影像與另一個小點集合 B 的集合關係定義，B 代表一個局部原點 O 的鄰域，又稱為結構元素(Structuring element)，形態學運算後 ROI 的形狀會受所選取的結構元素形狀及原點位置影響，圖 4-10 為典型的結構元素形狀，一般會使用對稱型態，其中在某些應用上，原點可以不屬於結構元素[39]。下列章節將對於形態學的基本定義和原理提出說明。

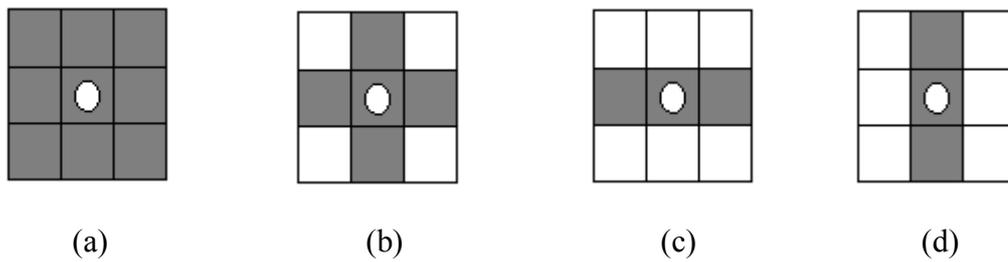


圖 4-10 結構元素形狀

4.5.1 侵蝕(Erosion)

侵蝕運算的目的，是希望將物體的邊緣結構往內收縮，使細長狹窄的部分被截斷並去除小雜點。設 R 為目標區域， B 為結構元素， \ominus 為侵蝕運算符號， t 為平移的位移量，其定義式為(4-11)式：

$$R \ominus B = \{ t | (B)_t \subseteq R \} \quad (4-11)$$

圖 4-11 為侵蝕運算方式，每當結構元素從目標區域找到與結構元素相同的圖像時，就會將目標區域與結構元素原點重合的像素點標示出來，而所有被標示出來的像素點的集合，就是運算結果。

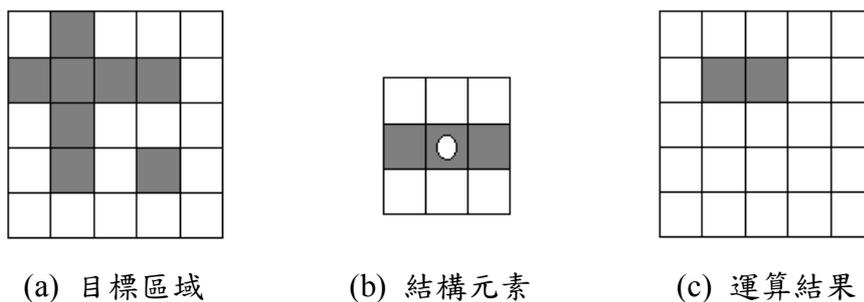


圖 4-11 侵蝕運算

4.5.2 膨脹(Dilation)

膨脹運算的目的，是希望將物體的邊緣結構往外擴張，使目標物輪廓較為平滑且合併相鄰的小雜點。設 R 為目標區域， B 為結構元素， B^\vee 為 B 的反射集合(如果結構元素為對稱型態，則兩者相等)， \oplus 為侵蝕運算符號， t 為平移的位移量，其定義式為(4-12)式：

$$R \oplus B = \{t | (B^\vee)_t \cap R \neq \Phi\} \quad (4-12)$$

圖 4-12 為膨脹運算方式，每當結構元素的原點與目標區域的每一個像素點重合時，只要不屬於目標區域但屬於與結構元素重合的像素點(背景)，就會被標示出來，而所有被標示出來的像素點與區域目標像素點的集合，就是運算結果。

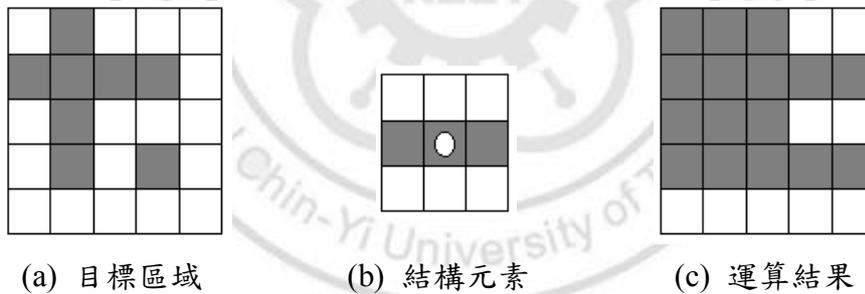


圖 4-12 膨脹運算

4.5.3 開運算(Opening)

開運算是使用同一個結構元素，對目標區域先做侵蝕運算，再進行膨脹運算。設 R 為目標區域， B 為結構元素， \circ 為開運算符號。其定義式為(4-13)式：

$$R \circ B = (R \ominus B) \oplus B \quad (4-13)$$

圖 4-13 為開運算的運算方式，目標區域先被結構元素侵蝕，所以目標區域中的狹窄的部分會被截斷，之後的結果再做膨脹運算。開運算的目的是希望將影像的輪廓平滑化，切除狹窄連接線尋找原本獨立的小區域，同時去除一些不需要的小凸起與小點。

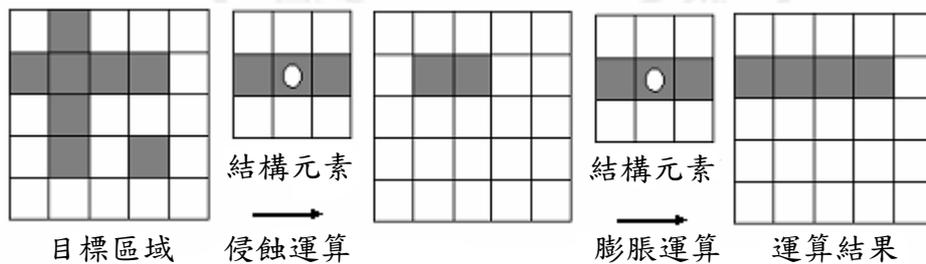


圖 4-13 開運算

4.5.4 閉運算(Closing)

閉運算是使用同一個結構元素，對目標區域先做膨脹運算，再進行侵蝕運算。設 R 為目標區域， B 為結構元素， \bullet 為閉運算符號。其定義式為(4-14)式：

$$R \bullet B = (R \oplus B) \ominus B \quad (4-14)$$

圖 4-14 為閉運算的運算方式，目標區域先被結構元素膨脹，所以目標區域相鄰的小點會被融合，之後的結果再做侵蝕運算。閉運算的目的是希望將影像的輪廓平滑化，連接原本獨立的小區域，填補細小空洞。

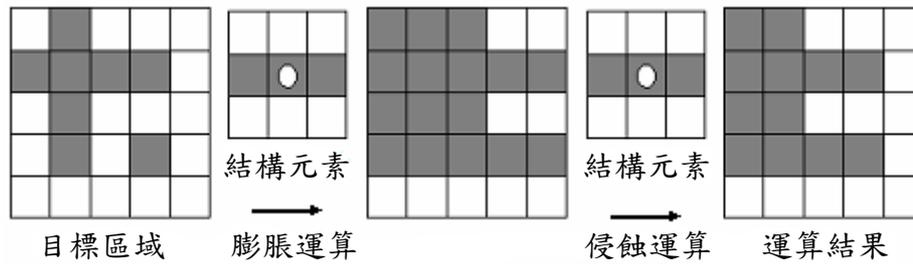


圖 4-14 閉運算

4.5.5 孔洞填補(Hole filling)

由於樣本表面感光粒子不均勻、相機取像時光電轉換所產生的雜訊或檢測算法的缺陷，經過二值化的圖像中往往存在孔洞，這些孔洞破壞目標物的檢測效果，孔洞填補運算的目的就是填補區域目標的孔洞。設 R 為目標區域， B 為結構元素， \bar{R} 為目標區域內不屬於 1 的像素點。圖 4-15 為孔洞填補運算方式。其定義式為(4-15)式：

$$r = (r_{x-1} \oplus B) \cap \bar{R} \quad x = 1, 2, 3, \dots \quad (4-15)$$

令 $r_0 = P$

$r \cup R$

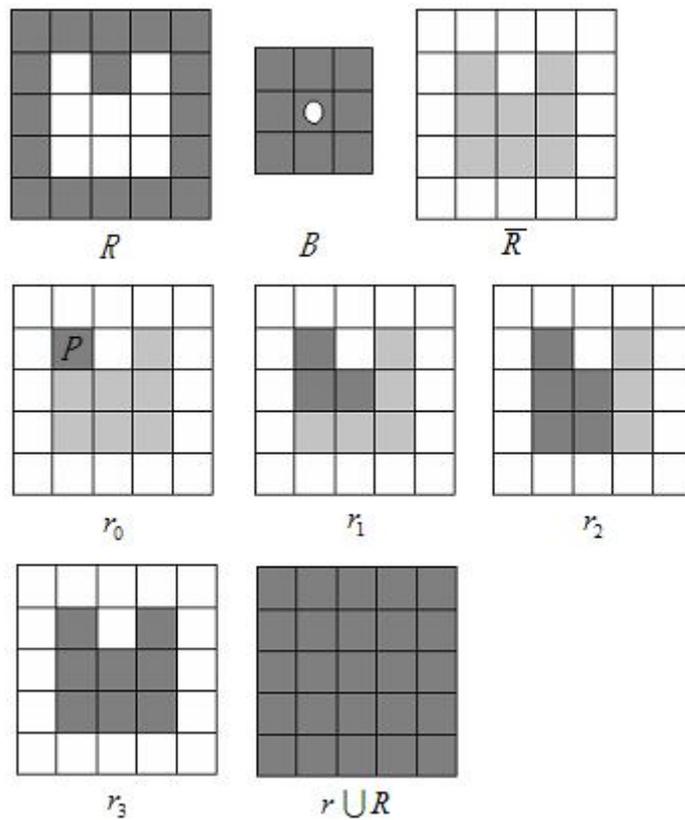


圖 4-15 孔洞填補運算

4.6 提取連通區域

連通區域的提取是影像分析的前置步驟，經過提取連通區域後的影像可以分析區域特徵，例如面積計算、長度判斷、求取質心等等。

影像分割後所得到的區域，包含多個彼此獨立的 ROI，這些 ROI 是一些相互連通的像素集合所組成，在連通(Connected)之集合中，任兩個像素間有一條相連路徑，其路徑可由像素間之連通性來決定，在一個像素網格上常用之連通性有兩種。圖 4-16 (a) 為四連通(Four-Connectivity)，其像素間有共同的邊緣，所以與其

上、下、左、右的像素相連。圖 4-16 (b) 為八連通(Eight-Connectivity)，為四連通的擴展，除了上、下、左、右的像素外，還加上對角連線上的像素，故有八個像素與其相連。

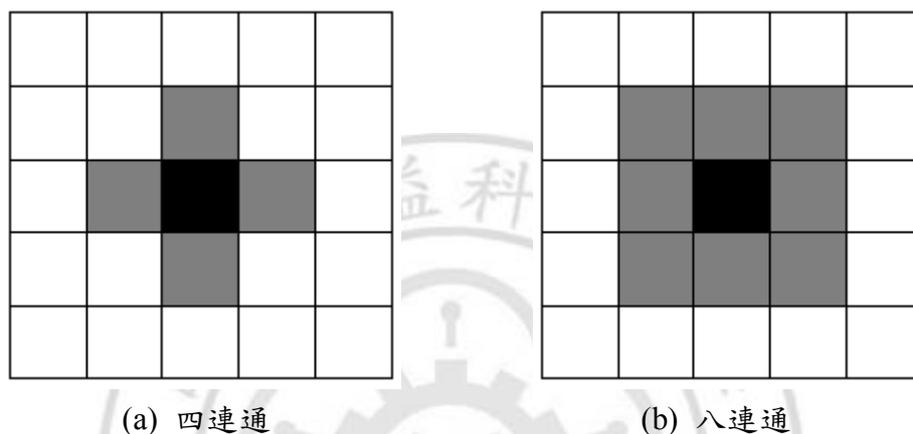


圖 4-16 像素網格上連通性的定義

4.7 特徵分析

本文主要的特徵分析是求取承斑的質心，再將質心個數總和後取得承斑數量。再統計區域目標像素點的總數取得承斑面積。設區域目標 $f(x,y)$ ，像素點的總數 N ，質心座標 \bar{x}, \bar{y} ，其面積計算的定義式為(4-16)式：

$$N = \sum_{x=1}^r \sum_{y=1}^c f(x,y) \quad (4-16)$$

其質心座標的定義式為(4-17)式：

$$\bar{x} = \frac{\sum_{r=1}^N x_r}{N}, \quad \bar{y} = \frac{\sum_{c=1}^N y_c}{N} \quad (4-17)$$

4.7.1 面積篩選

面積篩選的演算和二值化演算相類似，就是給一個定值(T)來篩選和分類不同面積的目標物做為後續的統計數據。其中利用面積篩選來過濾小雜點，是目前濾波方式最簡易的方法，又稱為面積過濾 (Size filtering)[40]。如圖4-15所示，其中目標物 R1 的面積是8個像素，R2 的面積是10個像素，R3 的面積是4個像素，R4 的面積是2個像素，R5 的面積是1個像素，設T值為7，可以將小於7個像素的目標物濾除。本研究運用上述的方法，分類鏟斑和過濾小雜點。

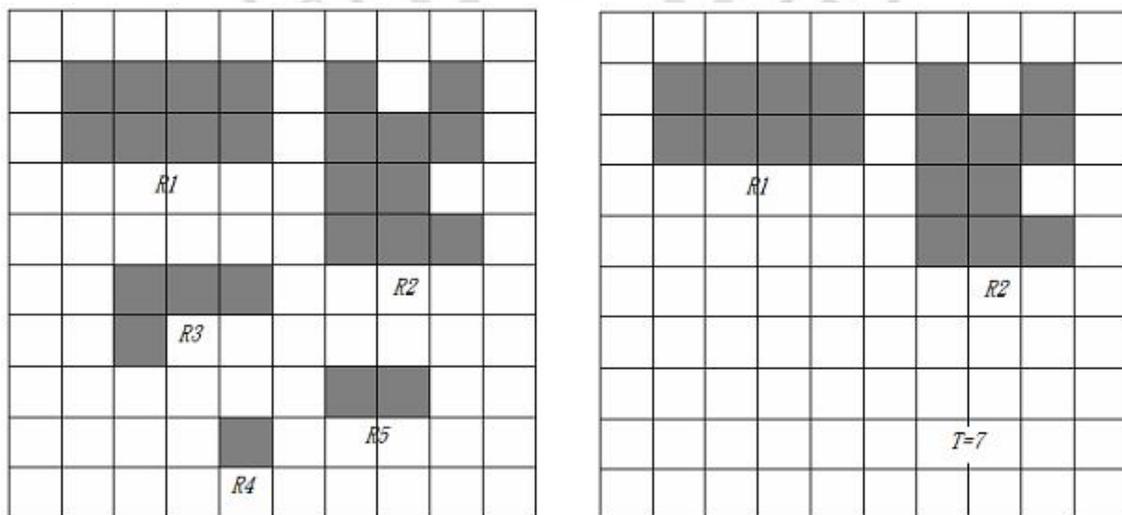


圖 4-17 面積篩選

第五章 檢測實驗與結果

5.1 CMOS 攝影機校正

5.1.1 鏡頭畸變校正

鏡頭畸變實際上是光學透鏡固有的透視失真，鏡頭都存在有畸變(Distortion)的現象，實物中的直線在經過鏡頭的呈像之後，會因鏡頭中透鏡物理性能以及鏡片結構引起彎曲，因而產生了變形。如果直線是朝內向光軸彎曲，稱之為枕狀畸變(Pincushion Distortion)；如果直線是朝外向光軸膨脹，稱之為桶狀畸變(Barrel Distortion)。圖 5-1 所示畸變圖中， k 為畸變係數，其中 $k > 0$ 表示產生枕狀畸變， $k < 0$ 表示產生桶狀畸變。畸變校正定義式如(5-2) 式。圖 5-2 為校正結果。

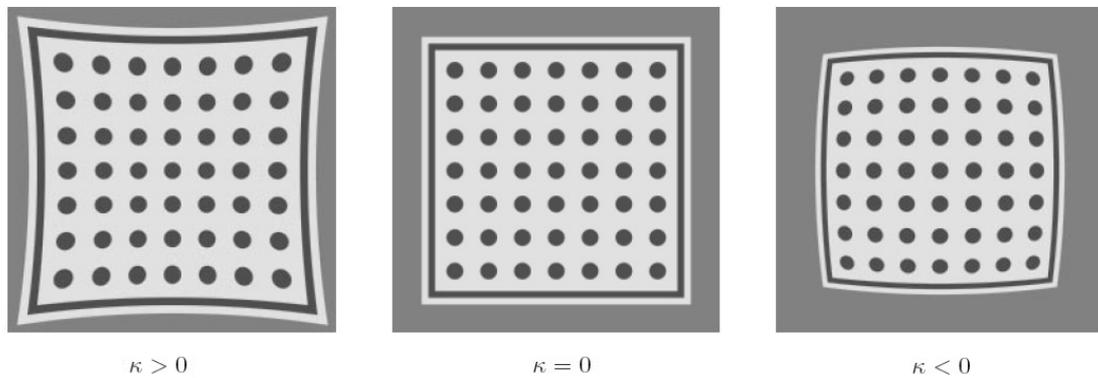


圖 5-1 鏡頭畸變圖

設 r_x 、 r_y 分別為影像橫向與縱向的畸變量； k 為畸變係數； $(x$ 、 $y)$ 分別為影像橫向與縱向的實際座標值，則一階形式的徑向畸變定義式，如(5-1)式：

$$r_x = kx(x^2 + y^2), \quad r_y = ky(x^2 + y^2) \quad (5-1)$$

設 (x', y') 為影像理想座標，則可得定義式(5-2)：

$$\begin{cases} x' = x + r_x = x[1 + k(x^2 + y^2)] \\ y' = y + r_y = y[1 + k(x^2 + y^2)] \end{cases} \quad (5-2)$$

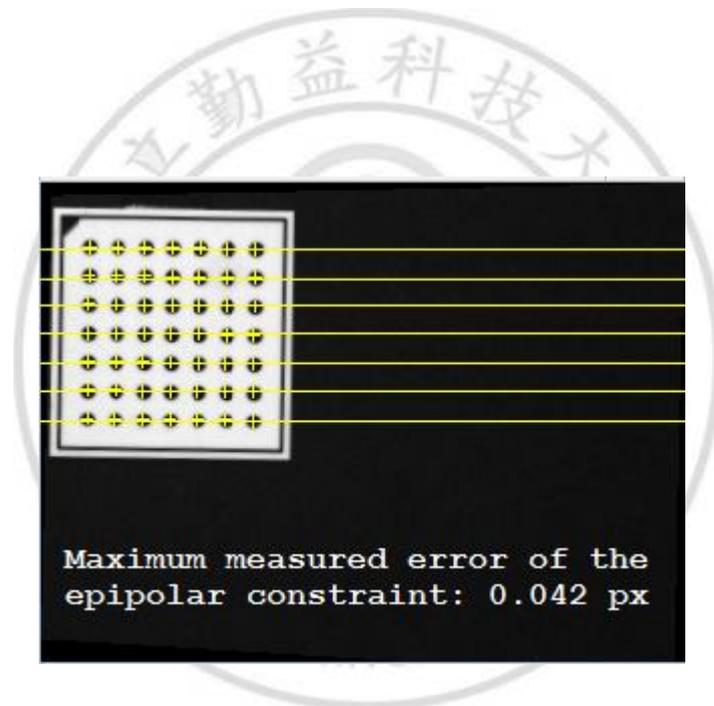


圖 5-2 校正結果

5.1.2 尺寸校正

機器視覺中影像是以 Pixel 值為單位，不同於實際量測單位，所以須將像素單位與實際單位轉換校正，便於取得實際尺寸。文獻中 Shih 等人[41]於 1996 年提出

利用兩組平行運動，以追尋參考校準物體的特徵點之運動軌跡，透過運動軌跡的焦點，求得相機內部參數，主要是應用於動態尺寸校正。而 Lenz 等人[42]提出利用已知形狀與尺寸的參考校正板，進行相機尺寸校正。本研究依實驗適用性將依照參考校正板方式校正，如圖 5-3 所示，將一塊 30 mm *30 mm的校正片放置於檢測平臺上，依照實際量測之像素值與較正片的實際尺寸做比例轉算，便可取得像素單位與實際單位的比值，定義式如(5-3) 式。

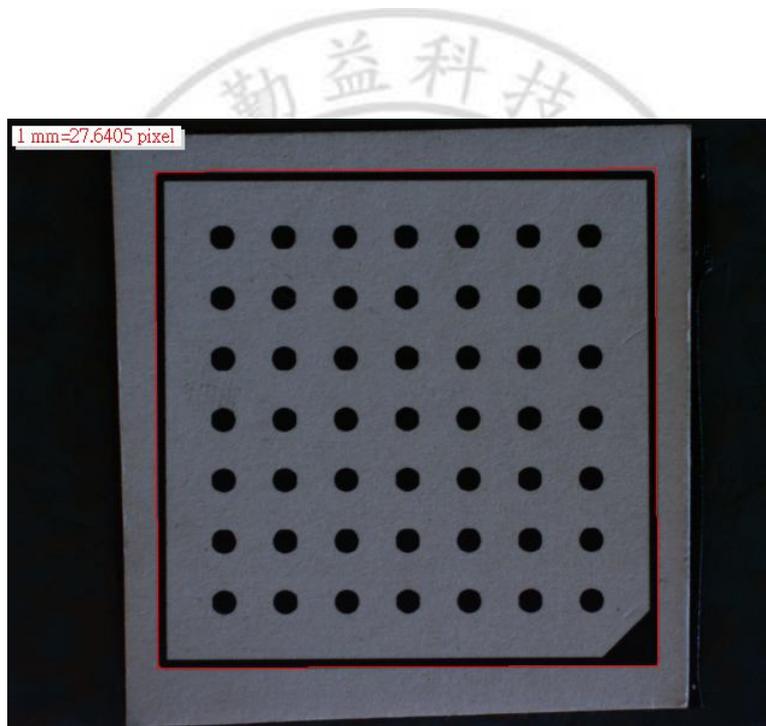


圖 5-3 影像尺寸校正

$$\text{比例係數} = \frac{\text{校正片實際尺寸(mm)}}{\text{實際量測之像素值(pixel)}} \quad (5-3)$$

5.2 鏟花面檢測實驗流程

本演算法主要目的是計算鏟花工件表面上承斑的分佈面積與數量，其流程圖如圖 5-4 所示。檢測實驗使用的介質為紅丹，磨合方式採用紅接觸，其方法是將紅丹塗抹於基準平板上，並將鏟花工件置於上方進行磨合，使紅丹沾染於工件上相對的高點，形成接近紅橘色的承斑，透過程式由 PC 端觸發訊號，使 CMOS 進行影像擷取並將各規劃區域所拍攝到之影像結果進行辨識、判斷與計算。圖 5-5 為攝影機擷取的鏟花承斑樣本。

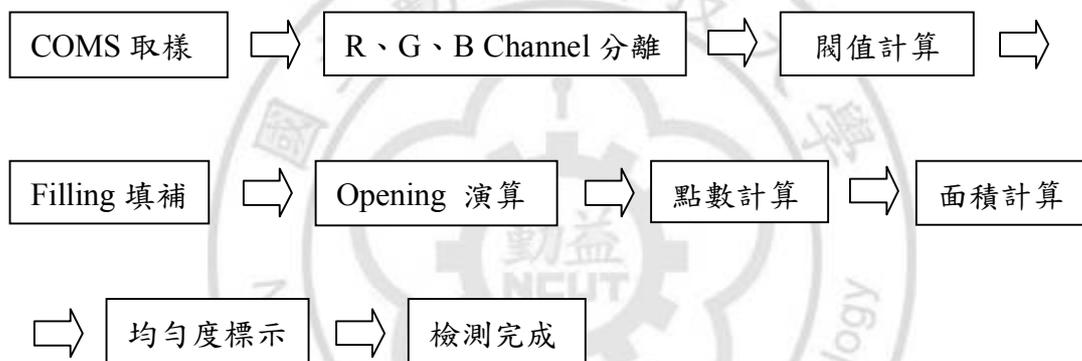


圖 5-4 鏟花面檢測流程圖



圖 5-5 鏟花承斑樣本

5.2.1 R、G、B 色彩頻道分離

黑白影像為單一頻道影像，彩色影像包含 R、G、B 三個頻道影像，其灰階值分佈複雜，在影像處理與分析計算也比較困難，將彩色影像依照 R、G、B 的灰階值分離出三張不同區域的單一頻道影像，可依據其不同灰階特徵，提取所需的分析特徵。圖 5-6 為原始影像圖 5-5 所提取 R、G、B 三個不同頻道的影像，可以明顯的觀察到承斑於 R-channel 是趨近灰階值 255 的灰白色，而在 B-channel 是趨近灰階值 0 的灰黑色。

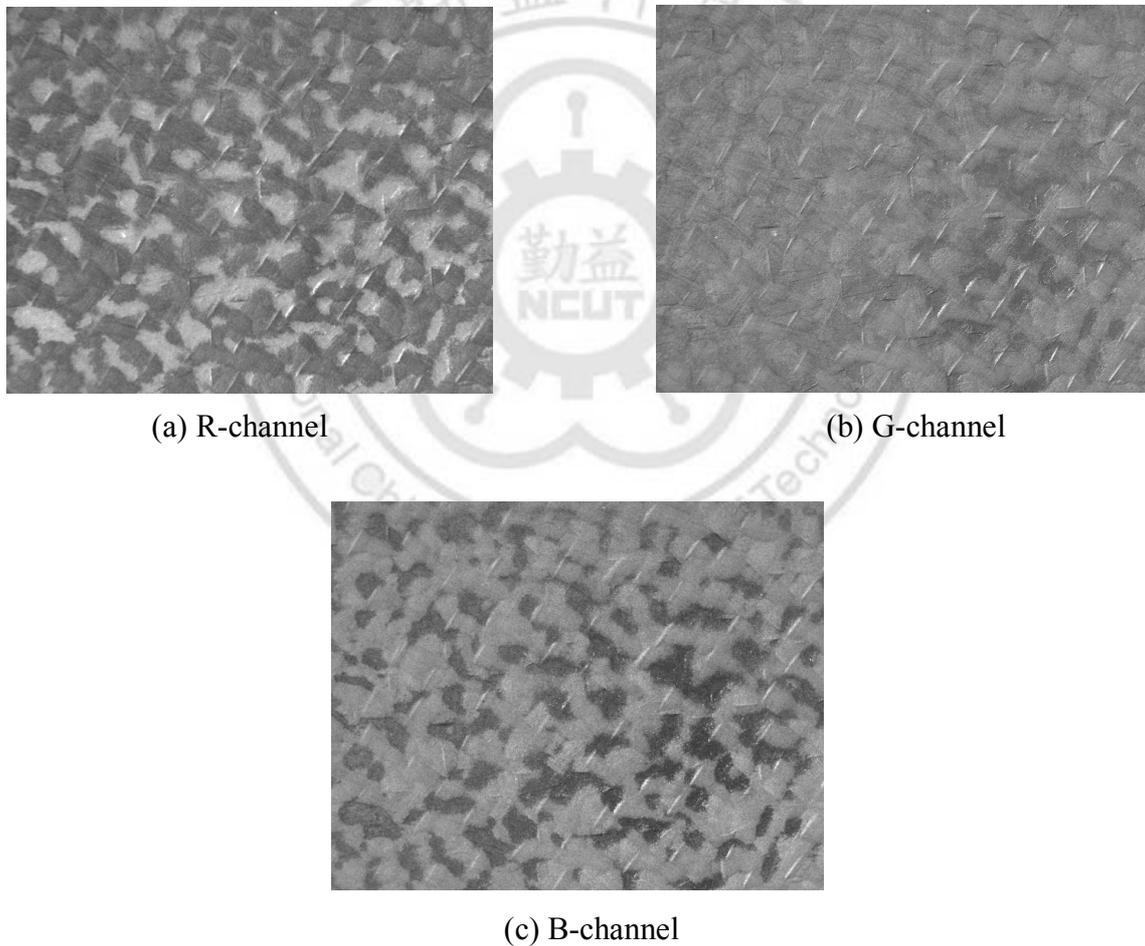
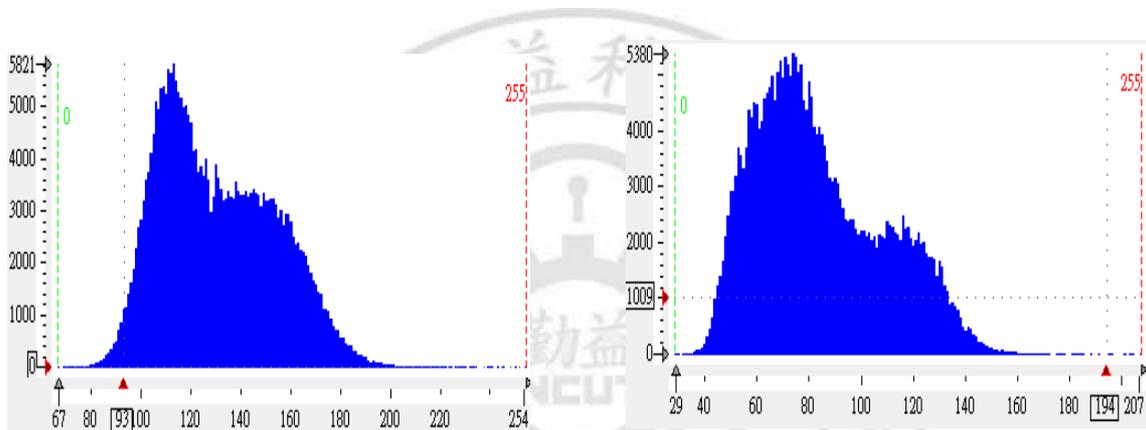


圖 5-6 分別從原始影像分離的三張不同頻道的灰階影像

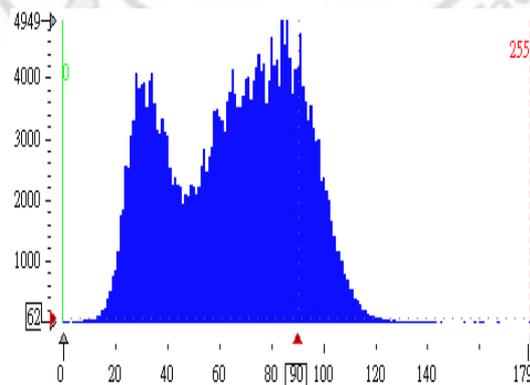
5.2.2 閾值分割

閾值分割是圖像分割最簡單的算法，圖 5-7 分別從 R、G、B 三個 channel 中計算出三個灰階直方圖。每張直方圖都有二個波峯，分別代表背景(油袋)與承斑，其中最佳閾值選擇為對應直方圖中兩個波峯間的最小值，並分別對三個 channel 的影像做閾值分割，分割後的影像與原始影像做比對，取最佳 channel 的影像做為分析特徵的依據，其結果如圖 5-8 所示。



(a) R-channel 灰階直方圖

(b) G-channel 灰階直方圖



(c) B-channel 灰階直方圖

圖 5-7 R、G、B 單一頻道的灰階直方圖

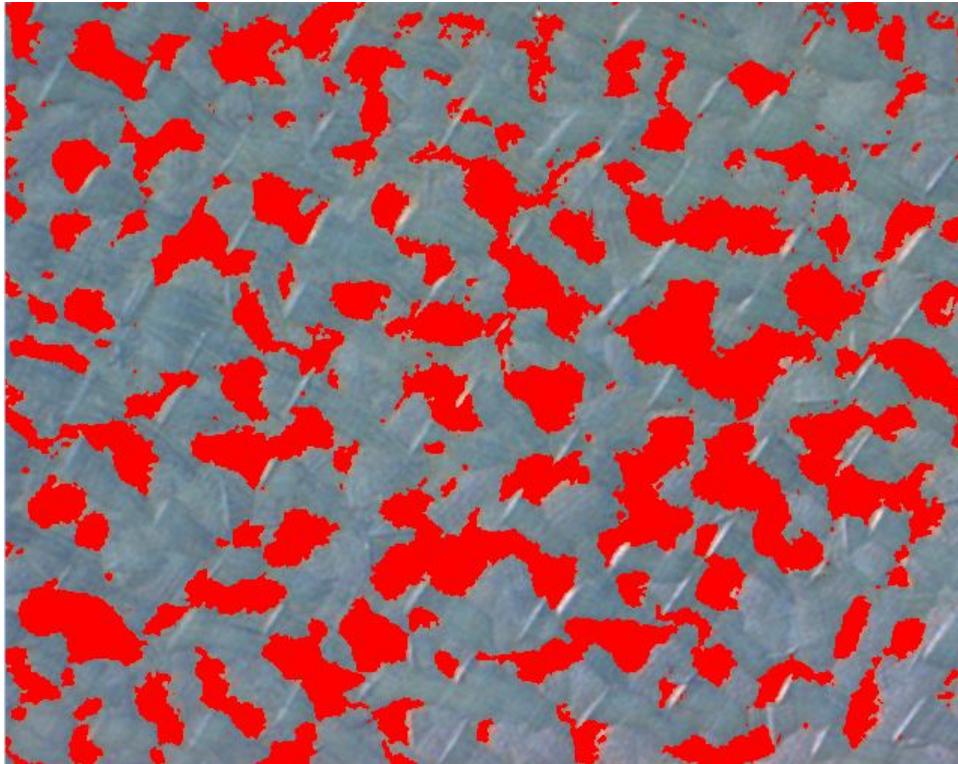


圖 5-8 B-channel 閾值 0 至 48 所提取的最佳分析影像

5.2.3 形態學處理

形態學是一門影像處理與分析科學，其基本概念建立在集合論的基礎上，它提供了一些特別有用的方法，能夠調整與描述影像特徵的形狀，影像在連通區域提取後，仍會有許多雜訊，必需利用形態學處理技術將區域特徵內的坑洞填補 (Filling) 如圖 5-9 所述。並運用開運算(Opening) 如圖 5-10 所述，將特徵邊緣的小突塊分離，並平滑邊緣，以利爾後的面積篩選可將微小區塊剔除。



圖 5-9 (a)座標(129,807) 為中心放大 50 倍的影像；(b) Filling 運算後的影像



圖 5-10 (a) 座標(525,547) 為中心放大 50 倍的影像；(b) Opinging 運算後的影像

5.2.4 特徵分析與計算

本文主要的特徵分析是求取承斑的總數，PPI (Points per square inch)為一平方英寸承斑所統計的數目，與承斑面積與總面積的比例 POP (Percentage of points) ，檢測結果如圖 5-11 所示。PPI 與 POP 呈現於影像左上角，白線所框選的區域為一平方英寸的面積，其中 PPI 為承斑質心位於白線區域內的個數總和，POP 為檢測區域總面積與檢測區域內承斑總面積的百分比。

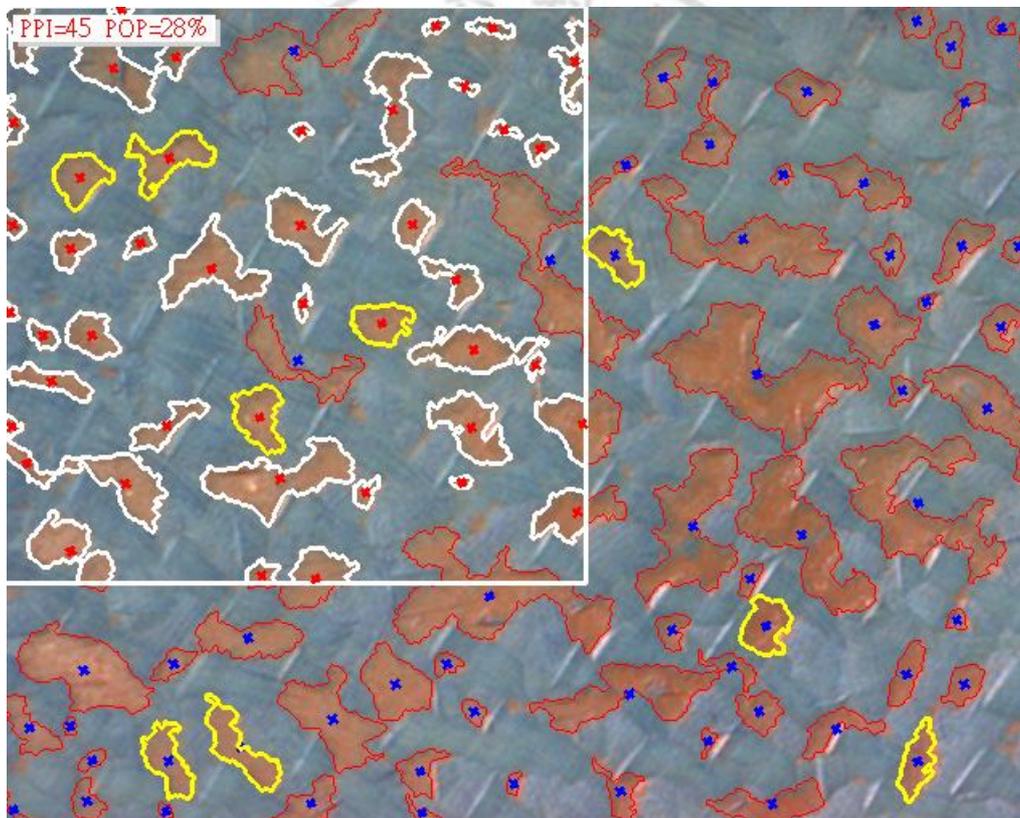


圖 5-11 運用視覺系統與影像演算法，運算後的結果

5.3 不同磨合介質的檢測

在一般工廠內鏟花工匠所使用的磨合介質，會有兩種顏色，一種是橘紅色的紅丹，一種是純藍的藍丹，藍丹在人眼的判斷比較不明亮，所以不會有突起的感覺，所以鏟花工匠會使用藍丹做最後的檢測介質，下列的實驗為藍丹承斑的檢驗，程式主要的不同在於 R、G、B 三個 channel 中灰階直方圖的判斷選擇。圖 5-12 為擷取的樣本影像。圖 5-13 為 R、G、B 三個 channel 所分離的影像，其中 G-channel 有非常好的對比影像。



圖 5-12 藍丹磨合的樣本影像

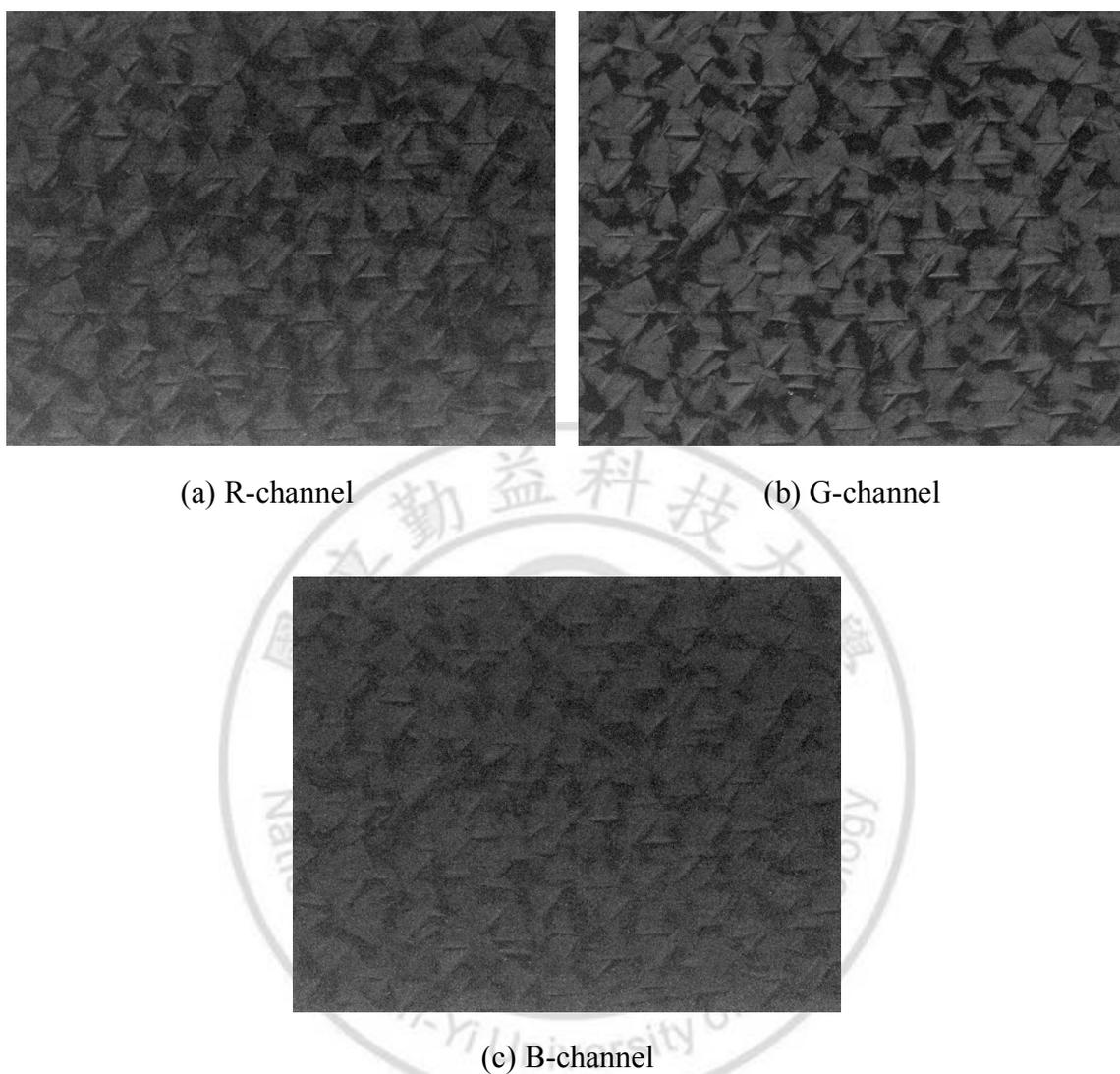


圖 5-13 藍丹承斑影像分離的三張不同頻道的灰階影像

5.3.1 影像平滑化

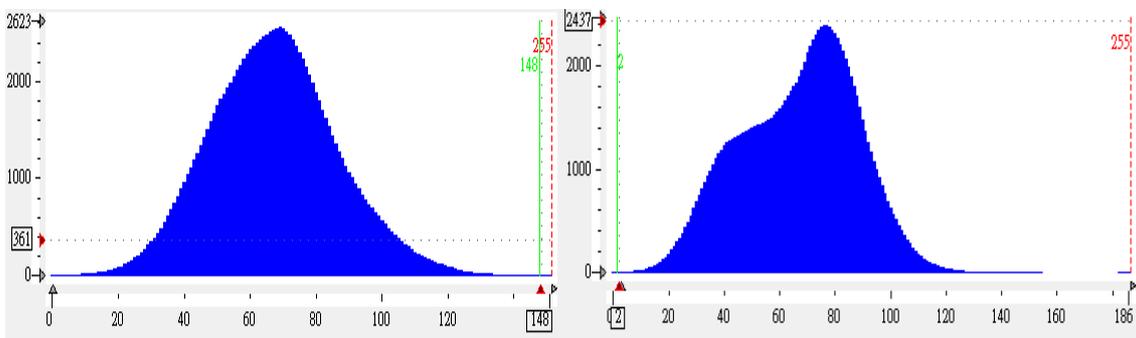
由於樣本表面感光粒子不均勻、相機取像時光電轉換所產生的雜訊，往往使得影像產生不必要的雜訊。平滑化是在影像檢測之前先對影像進行濾波，使影像模糊化以消除影像中高頻的雜訊。本文採取掩膜法平滑樣本影像，其中 $S_{x,y}$ 為彩

色影像中 (x,y) 為中心區域的一組座標，該區域中 R,G,B 向量的平均值。定義如 (5-4) 式：

$$C(x,y) = \begin{bmatrix} \frac{1}{K} \sum_{(x,y) \in S_{x,y}} R(x,y) \\ \frac{1}{K} \sum_{(x,y) \in S_{x,y}} G(x,y) \\ \frac{1}{K} \sum_{(x,y) \in S_{x,y}} B(x,y) \end{bmatrix} \quad (5-4)$$

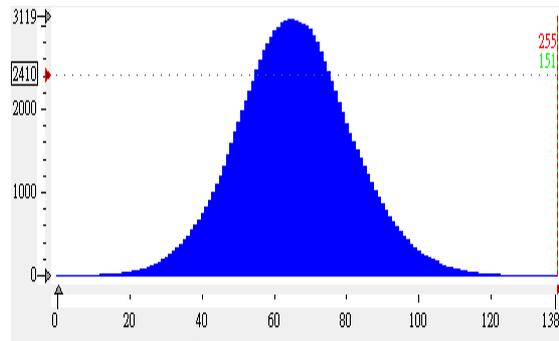
其中 K 為區域中臨近像素的常量，代表平滑所使用模板區域的大小，其值都是對臨近影像執行區域平均所獲得，在彩色向量空間中，對各模板區域執行均值處理，即可得平滑效果，參數 K 值的大小會影響平滑效果，本次實驗參數 K 值的設定為 2。

圖 5-14 分別從 R 、 G 、 B 三個 channel 中計算出三個灰階直方圖，由於背景顏色和目標物的灰階值並沒有過大的落差，所以沒有兩個明顯的波峯，透過手動調整選取 G -channel 直方圖 0 至 55 的閾值，二值化後的影像，如圖 5-15 所示。



(a) R-channel 灰階直方圖

(b) G-channel 灰階直方圖



(c) B-channel 灰階直方圖

圖 5-14 單一頻道的灰階直方圖

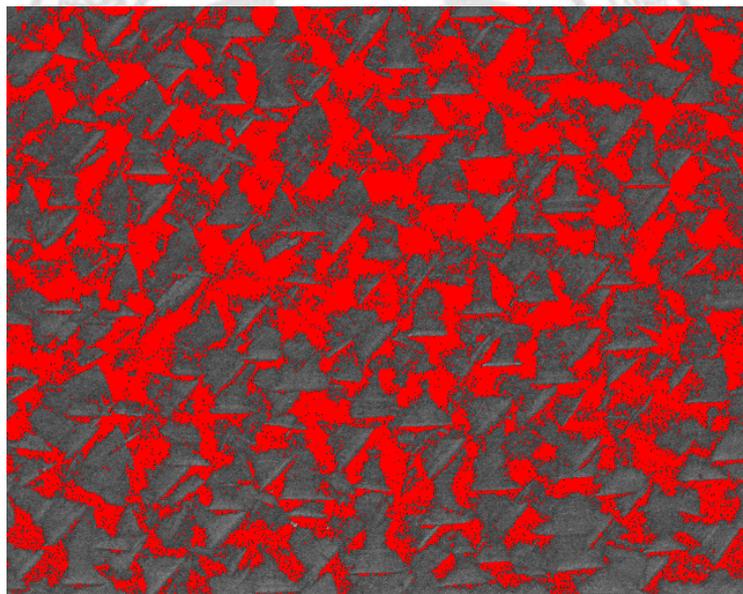


圖 5-15 G-channel 二值化影像

從圖 5-15 可看出影像有過多的雜訊，圖 5-16 為影像平滑化濾波後所得的二值化影像，其雜訊明顯減少，圖 5-17 為檢測結果。

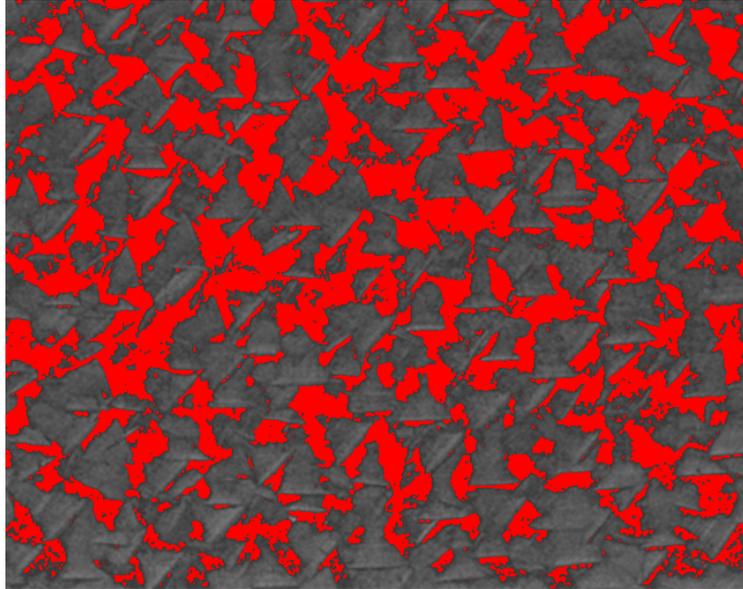


圖 5-16 G-channel 平滑濾波後二值化影像

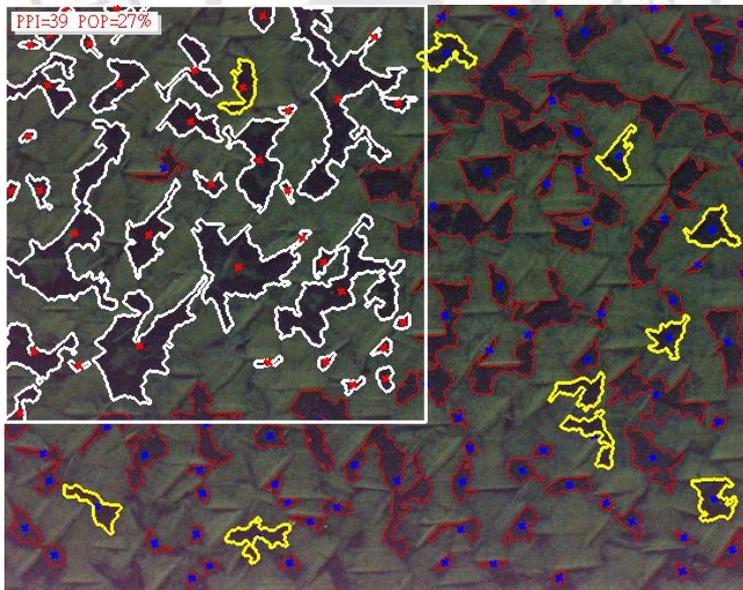


圖 5-17 藍丹承斑檢測結果

5.4 不同照明的檢測

本研究將照明實驗列為一項重要的測試項目，主要是因應鍍花工作環境的檢測需求，圖 5-18 (a)為室內不開燈所擷取的影像；(b)為使用白色螢光檯燈採 45 度角側向照明所擷取的影像；(c)為使用紅色環形 LED 採 45 度角側向照明所擷取的影像；(d)為使用藍色棒形 LED 採 45 度角側向照明所擷取的影像；(e)和(f)分別為使用白色螢光檯燈與藍色棒形 LED 採正向照明所擷取的影像。其中正向照明由於工件本身材質與油膜反光的關係，造成影像曝光而無法取像分析。藍色棒形 LED 採 45 度角側向照明的方式，影像特徵的對比度最佳，紅色環形 LED 最差。

圖 5-19(a)(b)(c)(d)分別對應圖 5-18 (a)(b)(c)(d)四張影像所統計出四個最佳灰階直方圖，其中圖 5-19(d)藍色棒形 LED 擷取的影像於 B-channel 閾值 0 至 96 可得最佳波型的直方圖。

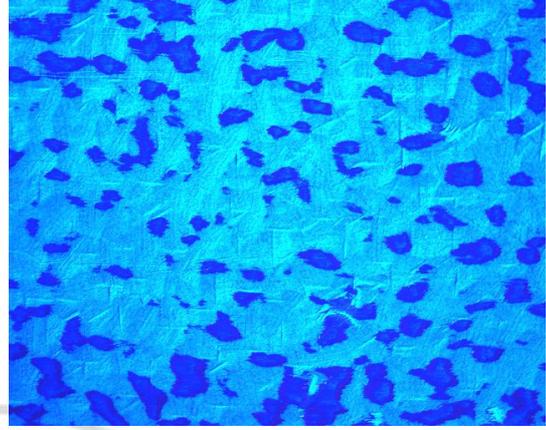
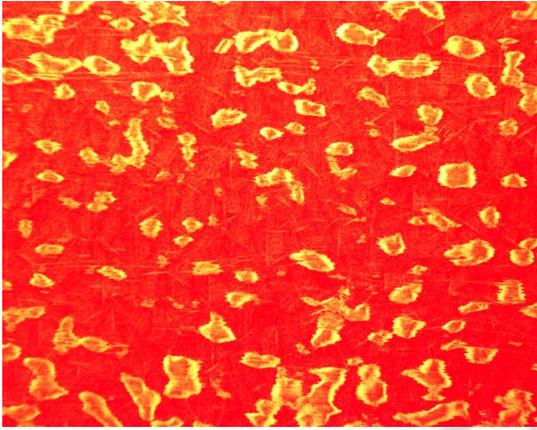
圖 5-20 為圖 5-18 四張影像的檢測結果。表 5-1 為檢測結果的統計表，四種不同照明環境，皆可透過 R、G、B 三種頻道的選擇，而取得最佳的分析結果，其中 PPI 的最大差異為 2 點，POP 的最大差異為 2%。



(a) 室內不開燈

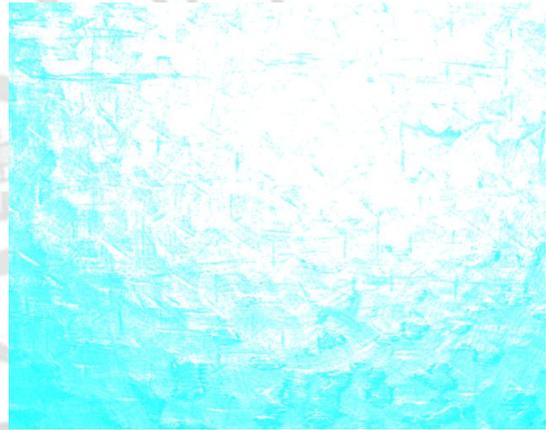


(b) 白色螢光檯燈採 45 度角側向照明



(c) 紅色環形 LED 採 45 度角側向照明

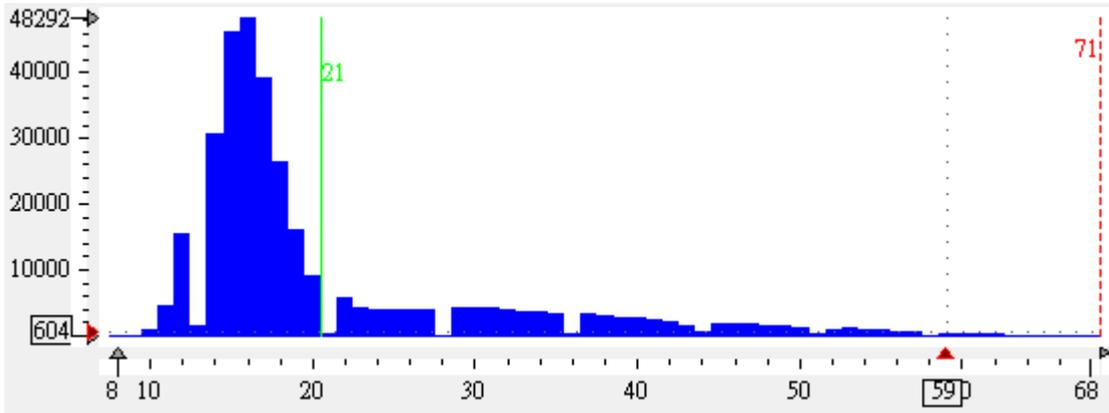
(d) 藍色棒形 LED 採 45 度角側向照明



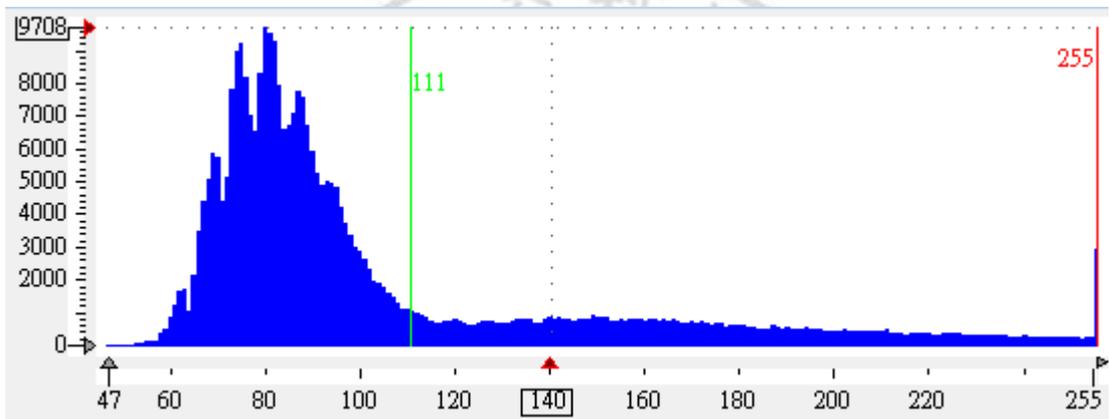
(e) 白色螢光檯燈採正向照明

(f) 藍色棒形 LED 採正向照明

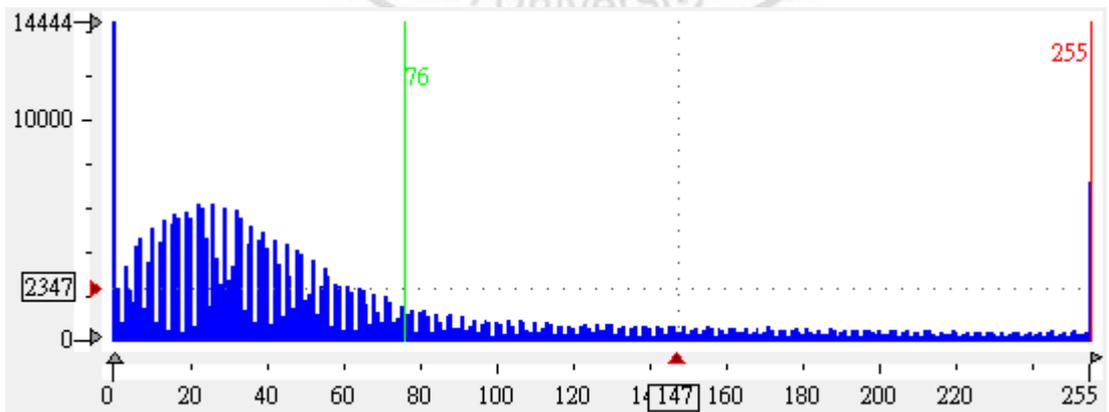
圖 5-18 不同光源與照明所擷取的影像



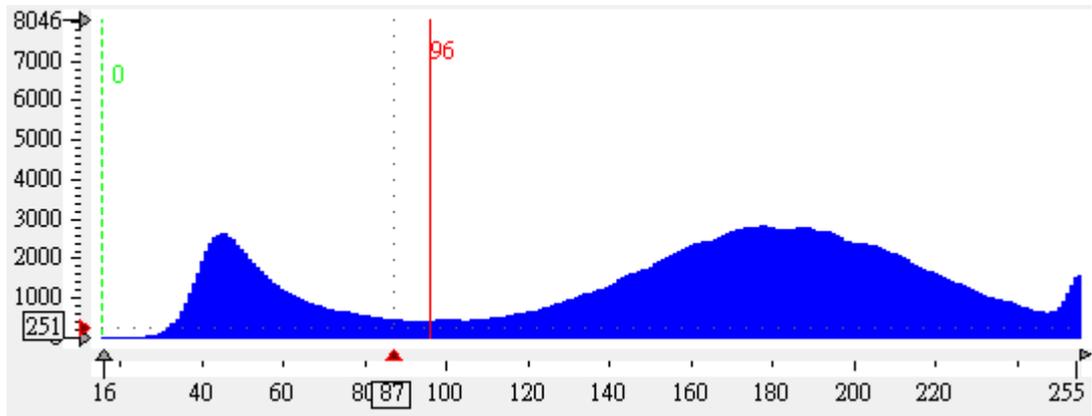
(a) 室內不開燈 R-channel 所統計的灰階直方圖



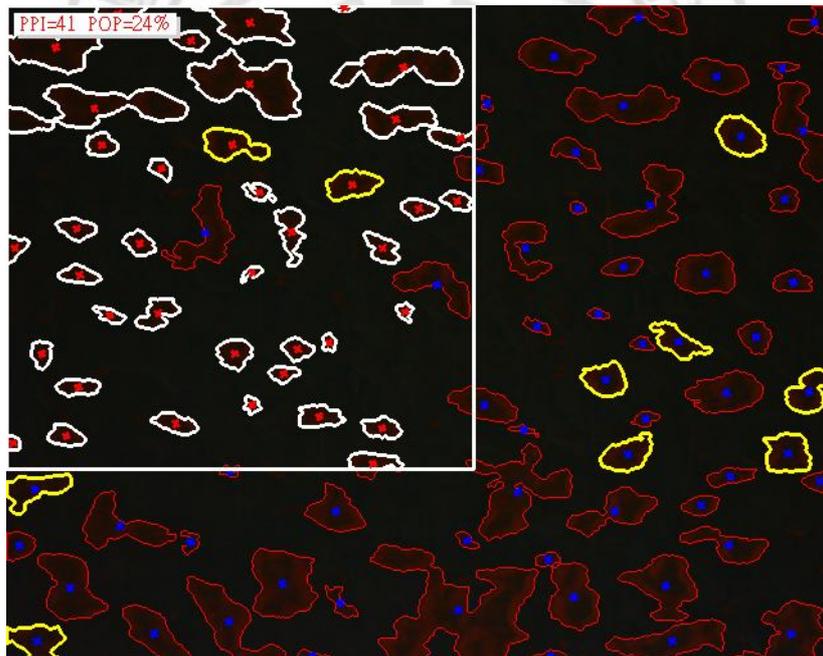
(b) 室內不開燈 R-channel 所統計的灰階直方圖



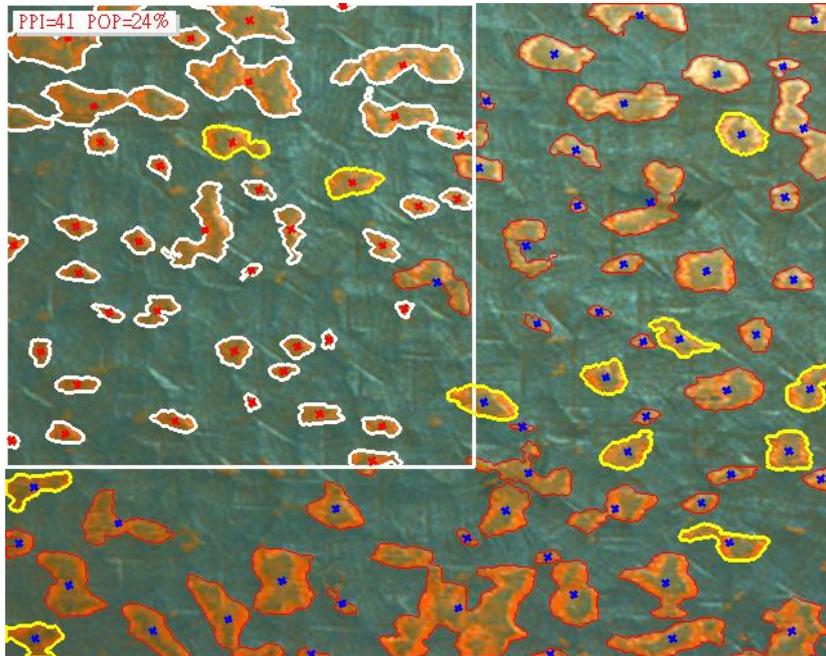
(c) 室內不開燈 G-channel 所統計的灰階直方圖



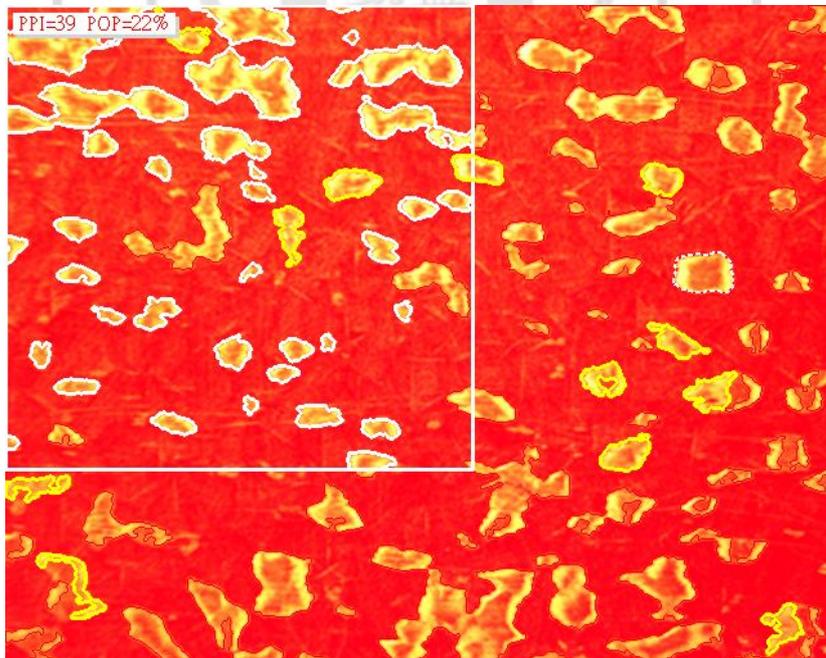
(d) 採用圖 5-18(d) R-channel 所統計的灰階直方圖
圖 5-19 分別對應不同照明方式，所統計的灰階直方圖



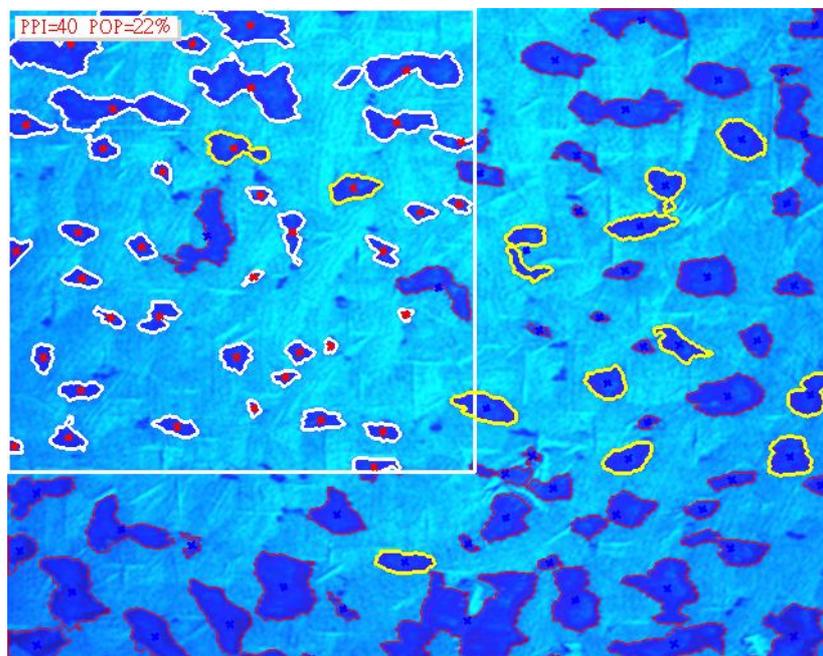
(a) 為圖 5-18(a) 檢測結果



(b) 為圖 5-18(b) 檢測結果



(c) 為圖 5-18(c) 檢測結果



(d) 為圖 5-18(d) 檢測結果

圖 5-20 為圖 5-18 四張影像的檢測結果

表 5-1 檢測結果統計表

光源	架設角度	PPI	POP
室內正常光	無	41	24%
白色螢光檯燈	正上方	無法分析	無法分析
白色螢光檯燈	右側 45 度	41	24%
紅色環形 LED	正上方	無法分析	無法分析
紅色環形 LED	右側 45 度	39	22%
藍色棒形 LED	正上方	無法分析	無法分析
藍色棒形 LED	右側 45 度	40	22%

5.5 不同磨合方式的檢測

鑄花承斑的形成方式，是以人工磨合，藉由顯色劑的傳遞而形成，下列的實驗主要是探討人工磨合誤差的主要影響因素。

5.5.1 紅接觸的檢測實驗

圖 5-21 是以紅接觸磨合方式，應用不同磨合路徑與不同份量顯色劑的檢測結果。其中圖 5-21(a) 為磨合路徑採前後移動的檢測結果；圖 5-21(b) 為磨合路徑採前後移動，並增加二倍顯色劑份量的檢測結果；圖 5-21(c) 為磨合路徑採左右移動的檢測結果；圖 5-21(d) 為磨合路徑採左右移動，並增加二倍顯色劑份量的檢測結果；圖 5-21(e) 為磨合路徑採順時鐘移動的檢測結果；圖 5-21(f) 為磨合路徑採順時鐘移動，並增加二倍顯色劑份量的檢測結果。表 5-2 為檢測結果統計表。

圖 5-22 為施加不同重量的檢測結果。其中圖 5-22(a) 為不施加任何重量的檢測結果；圖 5-22(b) 為施加重量 500 公克的檢測結果；圖 5-22(c) 為施加重量 1000 公克的檢測結果；圖 5-22(d) 為施加重量 1500 公克的檢測結果；圖 5-22(e) 為施加重量 2000 公克的檢測結果；圖 5-22(f) 為施加重量 2500 公克的檢測結果。表 5-3 為檢測結果統計表。

5.5.2 檢測實驗的統計方法

本文檢測實驗的統計方法，是採取絕對偏差來比對各個樣本間的差異性，並應用平均偏差來比對各組樣本的差異性，絕對偏差是將所測各個樣本資料與已知的標準值做比對，如無已知的標準值，一般把多次測量的平均值作為標準值。所以絕對偏差也可以是指某一次測量值與平均值的差異。定義如 (5-5) 式：

$$d_i = |x_i - \bar{x}| \quad (5-5)$$

其中 d_i 表示絕對偏差； x_i 表示各個樣本測定值； \bar{x} 表示所有樣本測定算術平均值。

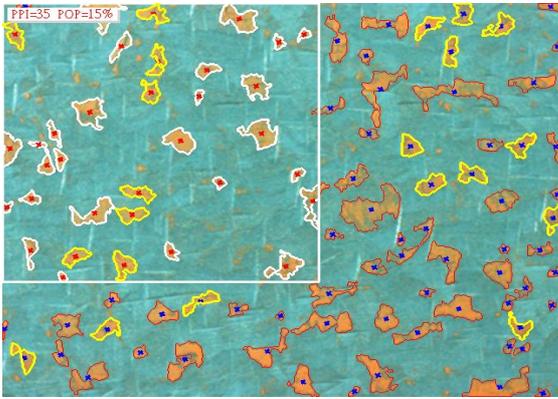
平均偏差是代表一組測量值中任意數值的偏差值，表示多次測量的總體偏離程度。所以平均偏差不計正負。定義如 (5-6) 式：

$$\bar{d} = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n} \quad (5-6)$$

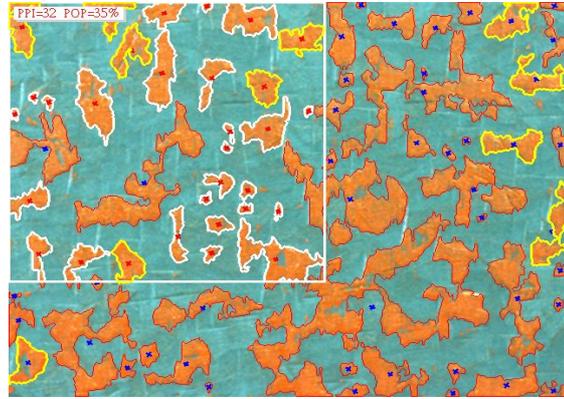
其中 \bar{d} 表示平均偏差； x_i 表示各個樣本測定值； n 表示樣本測量次數； \bar{x} 表示所有樣本測定算術平均值； $|x_i - \bar{x}|$ 表示單項測定結果與平均值的絕對偏差

表 5-2 檢測結果統計表的數據顯示，順時鐘移動並增加二倍顯色劑份量的檢測結果，有 PPI 最大絕對偏差值 12.2，POP 最大絕對偏差值 16%。整組 PPI 的平均偏差值為 4.8，POP 的平均偏差值為 9%。顯示磨合路徑與顯色劑份量對於紅接觸磨合方式準確性有極大的關係。

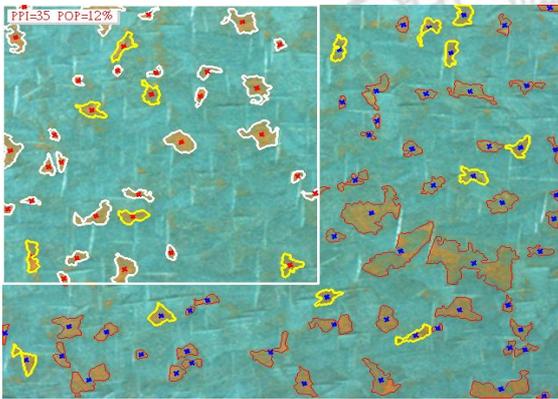
從表 5-2 重量試驗檢測結果統計表的數據顯示，整組 PPI 的平均偏差值為 2.8，POP 的平均偏差值為 1.2%。顯示重量大小對於紅接觸磨合方式準確性的關係較小。



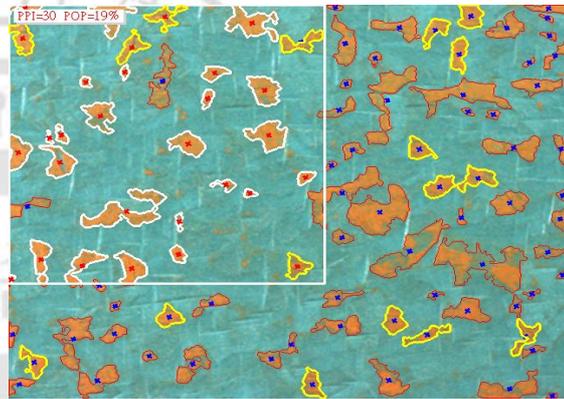
(a)前後磨合



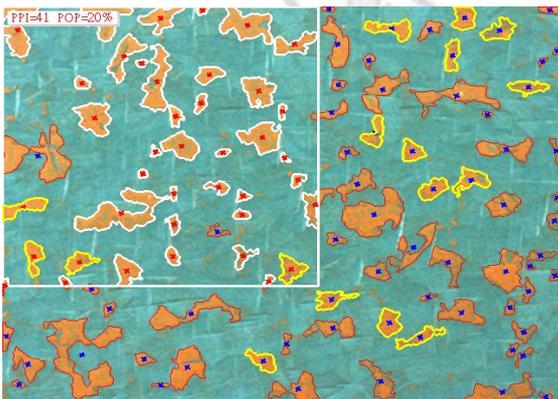
(b)前後磨合增加 2 倍顯色劑份量



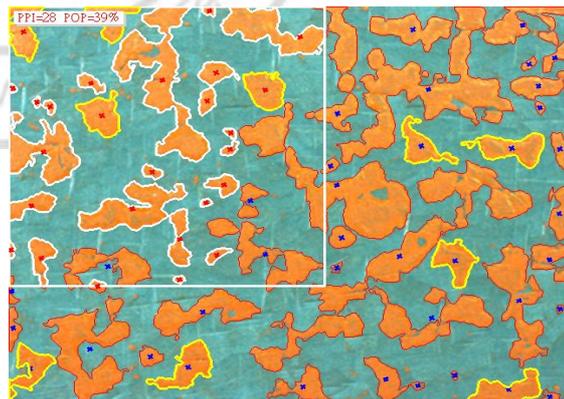
(c)左右磨合



(d)左右磨合增加 2 倍顯色劑量

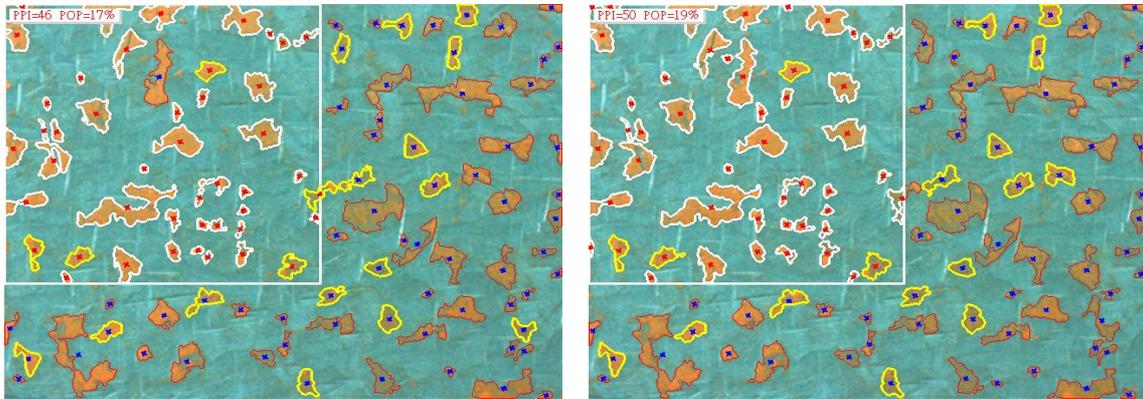


(e)順時鐘磨合



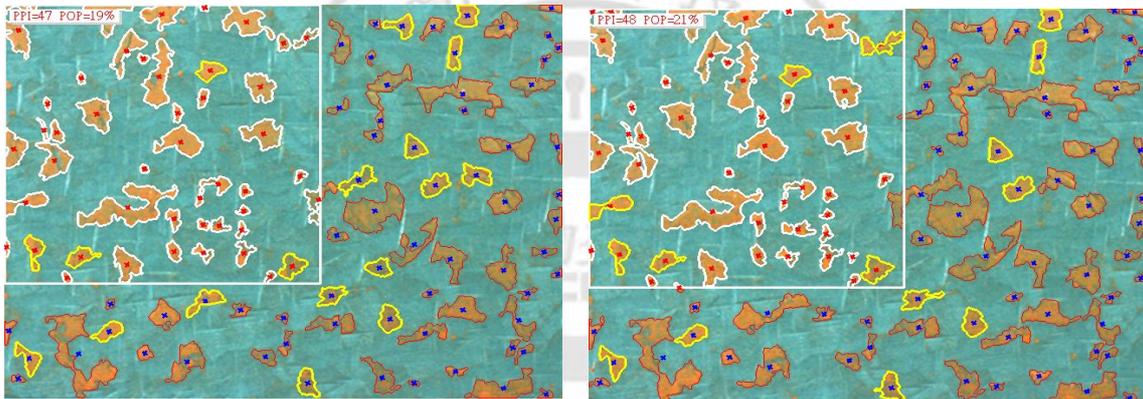
(f)順時鐘磨合增加 2 倍顯色劑份量

圖 5-21 以紅接觸方式不同磨合路徑與不同份量顯色劑的檢測結果



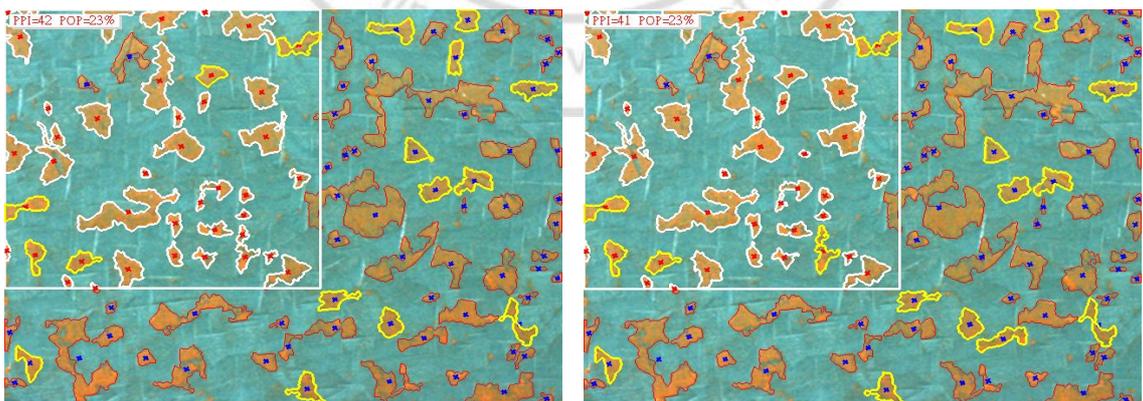
(a) 不施加任何重量

(b) 施加重量 500 公克



(c) 施加重量 1000 公克

(d) 施加重量 1500 公克



(e) 施加重量 2000 公克

(f) 施加重量 2500 公克

圖 5-22 以紅接觸方式施加不同重量的的檢測結果

表 5-2 以紅接觸方式不同磨合路徑與不同份量顯色劑的檢測結果統計表

磨合路徑	顯色劑份量	PPI	絕對偏差	平均偏差	POP	絕對偏差	平均偏差
前後移動	正常	35	2.8	4.8	15%	8%	9%
前後移動	二倍	32	0.2		35%	12%	
左右移動	正常	35	2.8		12%	11%	
左右移動	二倍	30	2.2		19%	4%	
順時鐘移動	正常	41	8.8		20%	3%	
順時鐘移動	二倍	20	12.2		39%	16%	

表 5-3 以紅接觸方式施加不同重量的的檢測結果統計表

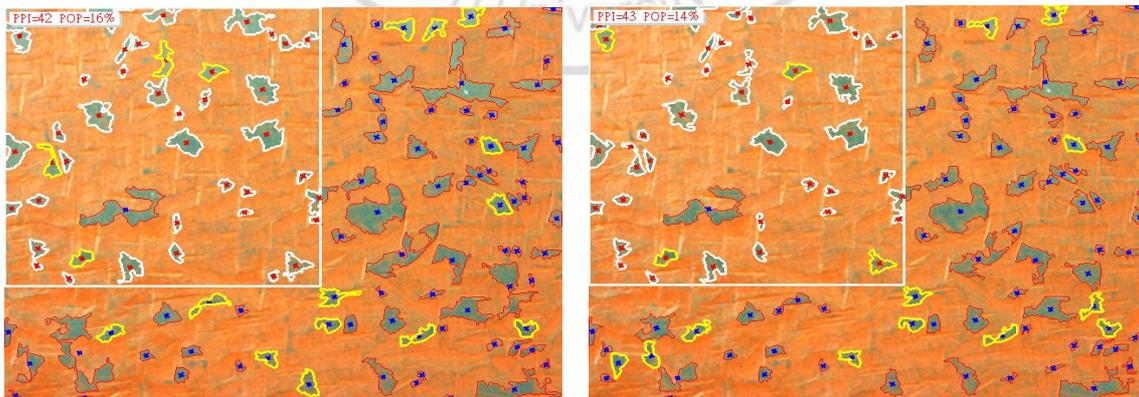
磨合路徑	施加重量(g)	PPI	絕對偏差	平均偏差	POP	絕對偏差	平均偏差
前後移動	無	46	0.3	2.8	17%	3%	1.2%
前後移動	500	50	4.3		19%	1%	
前後移動	1000	47	1.3		19%	1%	
前後移動	1500	48	2.3		21%	0	
前後移動	2000	42	3.7		23%	3%	
前後移動	2500	41	4.7		23%	3%	

5.5.3 黑接觸的檢測實驗

由於黑接觸的磨合方式，其鍍花工件為全面染色，沒有顯色劑份量的問題，下列的實驗是針對磨合路徑與施加重量的方式做檢測。

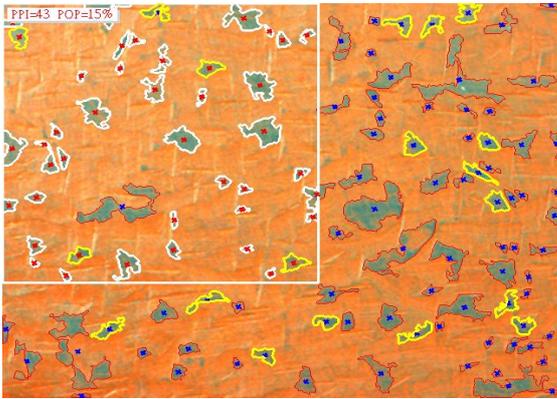
圖 5-23 是以黑接觸方式，應用不同路徑與施加不同重量的檢測結果，其中圖 5-23(a) 為磨合路徑採取前後移動的檢測結果；圖 5-23(b) 為磨合路徑採取左右移動的檢測結果；圖 5-23(c) 為磨合路徑採取順時鐘移動的檢測結果；圖 5-23(d) 為磨合路徑採前後移動，並增加 500 公克重量的檢測結果；圖 5-23(e) 為磨合路徑採前後移動，並增加 1000 公克重量的檢測結果；圖 5-23(f) 為磨合路徑採前後移動，並增加 1500 公克重量的檢測結果；圖 5-23(g) 為磨合路徑採前後移動，並增加 2000 公克重量的檢測結果；圖 5-23(h) 為磨合路徑採前後移動，並增加 2500 公克重量的檢測結果。表 5-4 為檢測結果統計表。

其中表 5-4 檢測結果統計表的數據顯示，整組 PPI 的平均偏差值為 0.7，POP 的平均偏差值為 0.4%。顯示黑接觸磨合方式幾乎不受磨合路徑、顯色劑份量與施加重量的影響。

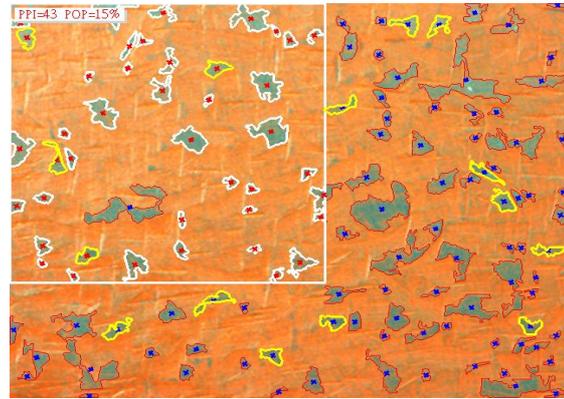


(a) 前後磨合

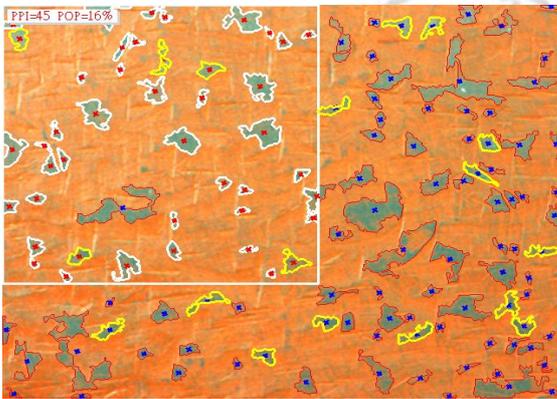
(b) 左右磨合



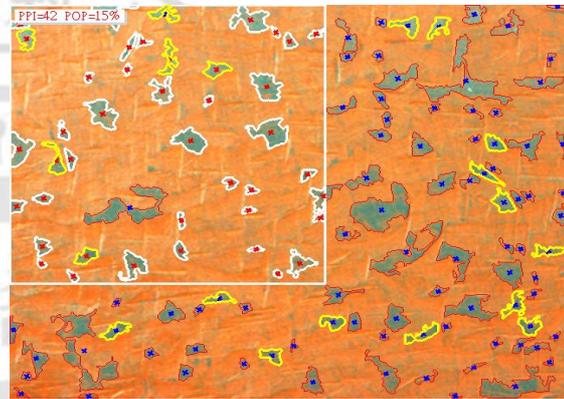
(c) 順時鐘磨合



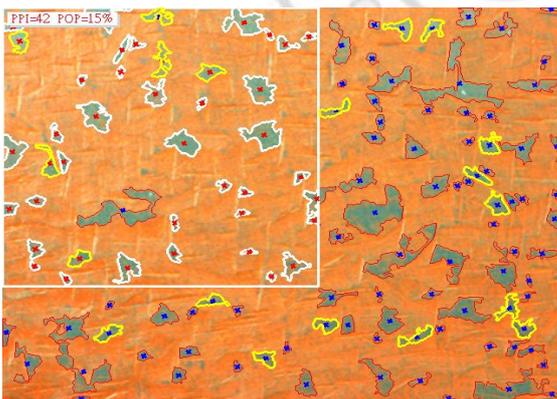
(d) 前後磨合並施加重量 500 公克



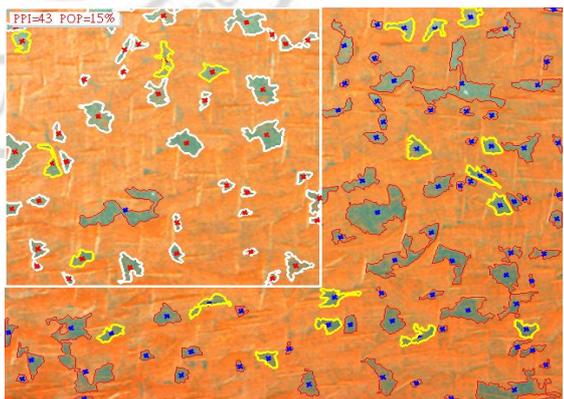
(e) 前後磨合並施加重量 1000 公克



(f) 前後磨合並施加重量 1500 公克



(g) 施加重量 2000 公克

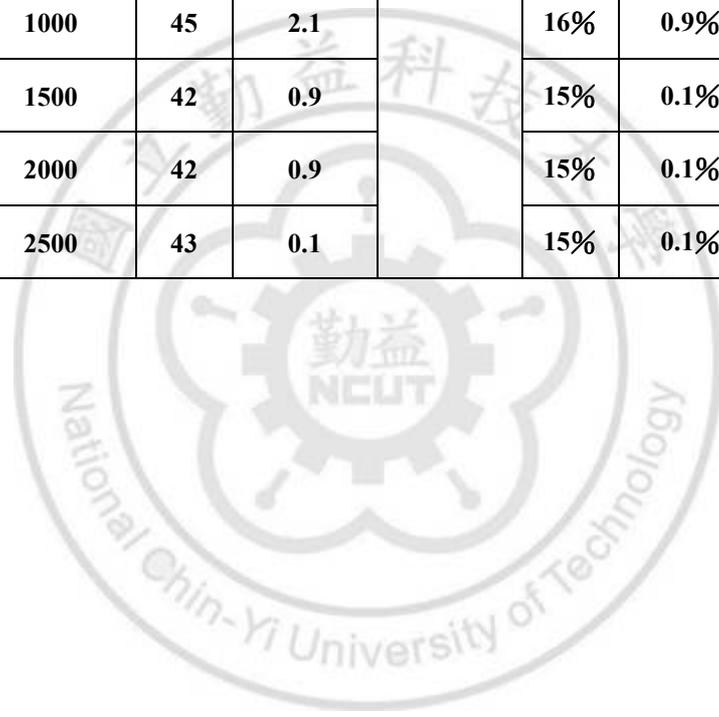


(h) 施加重量 2500 公克

圖 5-23 以黑接觸方式應用不同路徑與施加不同重量的的檢測結果

表 5-4 採取不同路徑與施加不同重量並以黑接觸方式磨合的檢測結果統計表

磨合路徑	施加重量(g)	PPI	絕對偏差	平均偏差	POP	絕對偏差	平均偏差
前後移動	無	42	0.9	0.7	16%	0.9%	0.4%
左右移動	無	43	0.1		14%	1.1%	
順時鐘移動	無	43	0.1		15%	0.1%	
前後移動	500	43	0.1		15%	0.1%	
前後移動	1000	45	2.1		16%	0.9%	
前後移動	1500	42	0.9		15%	0.1%	
前後移動	2000	42	0.9		15%	0.1%	
前後移動	2500	43	0.1		15%	0.1%	



第六章 結論與未來展望

6.1 結論

在本研究中利用機器視覺技術，發展出一套適用於鏟花工件表面承斑檢測之系統，有別於目前國內工具機廠應用人力目視或經驗法則來檢測鏟花接觸面情況而決定品質的籠統作法，此種對於 PPI 及 POP 的檢測方法，可提供標準化與可靠性的檢測數據，並有效的提升檢測品質。

在紅丹的檢測實驗中對於 R、G、B channel 的選擇，一般而言會選擇 R-channel 作為分析依據，因為目標特徵比較接近紅色，但分析結果，反而在 B-channel 得到較精確的結果，主要在於刀痕的反光，這些白光在 R-channel 會被計算成特徵值，而造成誤差。

在照明實驗中可得知，對於鐵氟龍(turtice)作為耐磨滑片的鏟花工件，以藍色光源可取得最佳對比度的分析影像。在普通螢光檯燈方面，又以裝有光學設計反射板的防眩光檯燈，最可防止工作表面反光。其中在各種光源取像分析，只要擷取的影像沒有曝光，皆可透過影像處理技術及程式撰寫的技巧，取得分析結果。

對於磨合方式的實驗，可以清楚的了解紅接觸磨合方式的準確性與鏟花工匠的經驗與習慣有極大的關係，而黑接觸磨合方式幾乎不受磨合路徑、顯色劑份量與施加重量的影響。

6.2 未來展望

透過本文所敘述的結論，可以了解不同的環境光源，皆可應用不同的取像手法及程式編寫，取得所需的分析結果，但在自動化檢測中，這些方法顯然是不足的。穩定且可受控制的環境，是機器視覺應用於自動化檢測的一項關鍵因素，所以檢測光罩的製作，可以提供鑄花檢測穩定的照明環境，進而可以大量在工作場所取像分析，同時在取得一定數量的樣本數，可以透過統計製程管制(SPC)的分析手法計算其標準差來評論每個鑄花工匠的優劣。



參考文獻

- [1] T. Yoshimi, S. Masafumi, Y. Tetsuya and C. Masahiro, 1968, "The Recognition of Bearings by Means of a CCD Line Sensor and the Automation of Scraping Works" NII-Electronic Library Service, Vol. 71, pp. 93-98。
- [2] 堤博貴, 久曾神煌, 中村輝幸, 1996, "当たり面認識装置を含む自動きさげ盤の開発(第1報) : CCDカメラを用いた黒当たり面の認識", 精密工學會誌, vol. 62, pp. 219-223。
- [3] 堤博貴, 久曾神煌, 中村輝幸, 1996, "当たり面認識装置を含む自動きさげ盤の開発(第2報) : きさげモーション機構の開発", 精密工學會誌, vol. 62, pp. 554-558。
- [4] 堤博貴, 山田隆太, 久曾神煌, 中村輝幸, 2005, "当たり面認識装置を含む自動きさげ盤の開発(第3報) : 自動きさげ盤の構成", 精密工學會誌, vol. 71, pp. 358-362。
- [5] 覺文郁, 王泓澍, 陳博韋, 江明冀, 陳嘉宏, 蔡偉成, 張維中, 邱國慶, 2009, "鏟花工件檢測裝置與技術開發", 中國機械工程學會第二十六屆全國學術研討會論文集, 論文編號: D09-016。
- [6] 周睿程, 2009, 一種對於鏟花工件表面輪廓的光學量測法, 臺灣大學, 碩士論文。
- [7] 李芳繁, 1990, "以影像處理量測檸檬之幾何性質", 農業工程學報, 第36卷, 第3期, pp. 36-42。
- [8] 萬一怒, 溫惠雯, 1998, "糙米品質自動檢測分級系統(二)檢測系統之研製", 農業機械學刊, 第7卷, 第2期, pp. 13-27。

- [9] 劉瓔瑛，丁為民、沈明霞，2009，“基於背景差分法的稻米動態圖像檢測識別”，浙江農業學報，pp403~406。
- [10] 楊清富，李芳繁，1994，“應用機器視覺進行番茄顏色分級之研究”，農業機械學刊，第3卷，第1期， pp. 15-29。
- [11] 郭惠民，2004，“全自動影像量測系統之研製”，聖約翰科技大學，聖約翰學報，第23期。
- [12] 王宏慶，2010，以機器視覺檢測精密加工表面孔徑之研究，國立彰化師範大學電子工程學系，碩士論文。
- [13] J.B. Liao M.H. Wu R.W. Baines，1999，“A coordinate measuring machine vision system”，*Computers in Industry* 38，pp 239–248。
- [14] Guifang Duan，Yen-Wei Chen，Takeshi Sakekawa，2008，“Automatic Optical Inspection of Micro Drill Bit in Printed Circuit Board Manufacturing Based on Pattern Classification”，*IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference Victoria，Vancouver Island*，pp 279-283。
- [15] S.B. Dworkin，T.J. Nye，2006，“Image processing for machine vision measurement of hot formed parts”，*Journal of Materials Processing Technology* 174，pp. 1-6。
- [16] Andrew Otieno，Chandhana Pedapati，Xiaonan Wan，2006，“Haiyan Zhang，Imaging and Wear Analysis of Micro-tools Using Machine Vision”，*IJME – INTERTECH Conference*。
- [17] Lakshman Hazra，Hideo Kato，Takayoshi Kiryu，Yoshiyuki Hashimoto，Takaharu Kuroda，Yoshihiro Tsuchiya，Itaru Sakuma，2002，“Inspection of reground

drill point geometry using three silhouette images” , Journal of Materials Processing Technology 127 pp.169–173 , 235-243 。

[18] H. Makki R. K. Heinemann S. Hinduja O. O. Owodunni , 2009 , “Online determination of tool run-out and wear using machine vision and image processing techniques” , IPROMS 2009 5th , Virtual Conference 。

[19] PMC 技術通報 , 2010 , “精密組裝概論” , 精密機械研究發展中心 , 第 196 期 , pp,1-7 。

[20] Richard King , 2009 , 手動及電動機械鏟花技術訓練講義 , 財團法人精密機械研發發展中心 。

[21] 范光照 , 張郭益 , 2009 , 精密量測 , 高立圖書有限公司 。

[22] Wayne R. Moore , 1982 , 機械準確性的基礎 , 孫葆銓 , 孫樂南譯 , 適齊企業有限公司 。

[23] 徐明堅 , 2001 , 最新切削加工技術 , 復漢出版社 。

[24] 陳正達 , 2011 , 滑動面表面紋理之摩擦特性探討 , 中興大學機械工程學系 , 碩士論文 。

[25] 雷文華 , 2006 , “機器視覺發展概述” , 應用光學 , 第 26 卷 , 第 5 期 。

[26] 葉德川 , 2001 , “深具潛力的 CMOS 影像感測器” , 光電產業與技術情報 。

[27] 金湘亮 , 陳傑 , 仇玉林 , 2002 , “基於 CMOS 工藝的圖像傳感技術研究與進展” , 半導體技術 , 第 27 卷 , 第 8 期 , pp5-8 。

[28] 曾祥忠 , 2006 , “圖像採集技術” , 應用光學 , 第 27 卷 , 第 6 期 。

[29] <http://www.idsvision.com.tw/ids/halcon.php> , 新亞洲儀器 。

- [30] HALCON 訓練手冊，機器視覺概觀，新亞洲儀器。
- [31] 朱虹，2007，“圖像處理與分析 機器視覺的核心”，應用光學，第 28 卷，第 1 期
- [32] HALCON 初階教育訓練教材，機器視覺概觀，新亞洲儀器。
- [33] 蔡玉慧，1998，以彩色資訊協助影像特徵之萃取，國立成功大學測量工程研究所，碩士論文。
- [34] 陳建文，2002，彩色影像邊緣線萃取之研究，國立成功大學測量工程研究所，碩士論文。
- [35] 王橋鴻，2005，在不同色彩空間座標以區域為基礎做彩色影像分割，交通大學電機與控制工程學系，碩士論文。
- [36] 劉海波，沈晶，郭聳，2010，Visual C++ 數字圖像處理技術詳解，機械工業出版社。
- [37] Silvano Di Zenzo，1986，“A Note on the Gradient of a Multi-Image”，Computer Vision, Graphics and Image Processing，vol. 53，pp.116-125。
- [38] 舒紅平，蔣建民，2003，“基於灰度最優閾值的圖像分割方法及應用”，重慶工商大學學報，第 20 卷，第 4 期，pp. 80-83。
- [39] Carsten Steger，Markus Ulrich，Cristian Wiedemann，2008，機器視覺算法與應用，楊少榮，吳迪靖，段德山譯，清華大學出版社。
- [40] Rydell J, Knutsson H, Borga M, 2006, “On rotational invariance in adaptive spatial filtering of fMRI data”, NeuroImage，Volume 30，Issue 1，pp. 144-150。
- [41] Sheng-Wen Shih，Yi-Ping Hung，Wei-song Lin，1996，“Accuracy analysis on the estimation of camera parameters for active vision systems”，IEEE Pattern

Recognition , pp. 935-939 .

[42] Lenz, R.K. , Tsai, R.Y. , 1988 , “Techniques for calibration of the scale factor and image center for high accuracy 3-D machine vision metrology“ , IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence , pp. 713-720 .



附錄 A 相機規格

Spezifikation

Die Leistungsmerkmale auf einen Blick

Interface	GigE
Objektivanschluss	C-Mount
Sensor Technologie	CMOS (e2v)
Modellbezeichnung Farbe	UI-5240CP-C
Modellbezeichnung Mono	UI-5240CP-M
Auflösung (h x v)	1280 x 1024
Farbtiefe	10bit (10bit ADC)
Auflösungskategorie/Pixelklasse	1.3 Megapixel
optisches Sensorformat	1/1.8"
Shuttersystem	Global
max. fps im Freerun Modus	50 fps
Belichtungszeit im Freerun Modus	9µs - 2000ms
Belichtungszeit im Trigger Modus	9µs - 2000ms
AOI Modi	horizontal + vertikal
Binning Modi	horizontal + vertikal
Subsampling Modi	---
I/O - Strobe	1
I/O - Trigger	1
I/O - RS-232	-
I/O - GPIO	-
I/O - I2C	-
HDR (High Dynamic Range)	-
Sensor Bezeichnung (m/c)	EV76C560BB / EV76C560BC
Pixelpitch in µm	5.30
Optische Fläche	6.784 x 5.427 mm
Schutzklassen	IP30
Abmessungen H/B/T	29.00 mm, 29.00 mm, 41.00 mm
Gewicht	55.00 g
Spannungsversorgung	PoE + ext. 12 - 24 V

附錄 B 原始程式

* Image Acquisition 01: Code generated by Image Acquisition 01

```
open_framegrabber ('uEye', 1, 1, 0, 0, 0, 0, 'default', 8, 'default', -1, 'false', 'default', '1', 0,  
-1, AcqHandle)
```

```
grab_image_start (AcqHandle, -1)
```

```
* while (true)
```

```
    grab_image_async (Image, AcqHandle, -1)
```

```
    bin_threshold (Image, Region)
```

```
    connection (Region, ConnectedRegions)
```

```
    select_shape (ConnectedRegions, SelectedRegions, 'width', 'and', 700, 1000)
```

```
    smallest_rectangle2 (SelectedRegions, Row, Column, Phi, Length1, Length2)
```

```
        gen_rectangle2 (Rectangle, Row, Column, Phi, Length1, Length2)
```

```
    dev_display (Image)
```

```
        dev_set_draw ('margin')
```

```
        dev_display (Rectangle)
```

```
    Leight:=(Length1+Length2)/30
```

```
    Leight3:=Leight*25.4
```

```
    disp_message (3600, '1 mm='+Leight+' pixel', 'image', 12, 12, 'red', 'true')
```

```
* Image Acquisition 01: Do something
```

```
* endwhile
```

```
close_framegrabber (AcqHandle)
```

```

stop ()

dev_clear_window ()

* Image Acquisition 01: Code generated by Image Acquisition 01

open_framegrabber ('uEye', 1, 1, 0, 0, 0, 0, 'default', 8, 'default', -1, 'false', 'default', '1', 0,
-1, AcqHandle)

grab_image_start (AcqHandle, -1)

grab_image_async (Image, AcqHandle, -1)

* Image Acquisition 01: Do something

close_framegrabber (AcqHandle)

smooth_image (Image, ImageSmooth1, 'deriche2', 0.5)

decompose3 (ImageSmooth1, Image1, Image2, Image3)

* decompose4 (Image, Image1, Image2, Image3, Image4)

compose3 (Image1, Image2, Image3, MultiChannelImage)

* bin_threshold (Image1, Region2)

threshold (Image1, Region, 48,174)

* threshold (Image1, Region, 146, 255)

fill_up (Region, RegionFillUp)

opening_circle (RegionFillUp, RegionOpening, 2.5)

connection (RegionOpening, ConnectedRegions)

select_shape (ConnectedRegions, SelectedRegions, 'area', 'and', 300, 99999)

count_obj (SelectedRegions, Number)

area_center (SelectedRegions, Area, Row, Column)

tuple_sum (Area, Sum)

```

```

* get_domain (MultiChannellImage, Domain)
area_center (Image1, Area1, Row1, Column1)
Area1:=real(Area1)
Sum:=real(Sum)
tuple_div (Sum, Area1, Quot)
tuple_mean (Area, Mean)
tuple_div (Area, Mean, Quot1)
index:=[]
for i := 0 to |Area|-1 by 1
    tuple_select (Quot1, i, Selected)
    if (0.8 <Selected and Selected<1.2)
        tuple_concat (index, i, index)
    endif
endfor
select_obj (SelectedRegions, ObjectSelected, index+1)
obj_diff (SelectedRegions, ObjectSelected, ObjectsDiff)
* moments_region_2nd (SelectedRegions, M11, M20, M02, Ia, Ib)
* elliptic_axis (SelectedRegions, Ra, Rb, Phi)
* convexity (SelectedRegions, Convexity)
* compactness (SelectedRegions, Compactness)
* roundness (SelectedRegions, Distance, Sigma, Roundness, Sides)
* cooc_feature_image (SelectedRegions, Image3, 6, 0, Energy, Homogeneity,
Homogeneity, Contrast)

```

```

* entropy_gray (SelectedRegions, Image3, Entropy, Anisotropy)
gen_rectangle1 (Rectangle, 0, 0, Leight3, Leight3)
intersection (Rectangle, SelectedRegions, RegionIntersection)
connection (RegionIntersection, ConnectedRegions1)
gen_empty_region (Dest)
RowConcat:=[]
ColumnConcat:=[]
for j := 0 to |Row|-1 by 1
select_region_point (ConnectedRegions1, DestRegions, Row[j], Column[j])
concat_obj (Dest, DestRegions, Dest)
count_obj (DestRegions, Number2)
    if (Number2=1)
        tuple_concat (RowConcat, Row[j], RowConcat)
        tuple_concat (ColumnConcat, Column[j], ColumnConcat)
    endif
endfor
count_obj (Dest, Number1)
dev_set_draw ('margin')
dev_display (MultiChannellImage)
dev_set_color ('red')
dev_display (ObjectsDiff)
dev_set_color ('blue')
dev_set_line_width (3)

```

```
disp_cross (3600, Row, Column, 10, 1)
dev_set_color ('white')
dev_display (Rectangle)
dev_display (Dest)
dev_set_color ('red')
disp_cross (3600, RowConcat, ColumnConcat, 10, 1)
dev_set_color ('yellow')
dev_display (ObjectSelected)
disp_message (3600, 'PPI='+Number1+' POP='+int(Quot*100)+'%', 'image', 12, 12,
'red', 'true')
* for i := 1 to |Area| by 1
*     disp_message (3600, Area[i-1], 'image', Row[i-1], Column[i-1], 'white', 'false')
* endfor
```

