

國立勤益科技大學
機械工程系在職碩士班

碩士論文

機器視覺於圓鋸片齒型檢測
之應用

**Application of Machine Vision to The Tooth Inspection of
Circular Saw Blades**

研究生：林偉超

指導教授：邱俊智

中華民國 一〇一 年 六 月

機器視覺於圓鋸片齒型檢測之應用

**Application of Machine Vision to The Tooth Inspection of
Circular Saw Blades**

研究生：林偉超
指導教授：邱俊智 博士

國立勤益科技大學

機械工程系碩士班

碩士論文

**A Thesis Submitted to
Department of Mechanical Engineering
National Chin-Yi University of Technology
in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science
June 2012
Taichung, Taiwan, Republic of China**

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 林偉超 君

所提論文 機器視覺於圓鋸片齒型檢測之應用

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

口試委員： 楊淋鏗

 陳正和

 邱俊智

指導教授： 邱俊智

系（所）主管：


中華民國 一〇一 年 六 月

誌謝

在碩士論文完成之時，要感謝深邊所有的人，每個人都是牽動著我求知、學習的因子。

感謝邱俊智老師的耐心指導，追求知識過程中給予自我發揮的空間,引導我對求知的熱情；感謝二專導師張子欽老師、二技導師廖能通老師的鼓勵，讓我再度踏入勤益就讀碩士班時倍感親切；感謝碩士班所有老師及同學讓我不僅在知識洗禮中有所收穫，並對人、事、物的見解有不同的看法；感謝同事子儀在機構上協助審查設計，使實驗得以順利進行；最後感謝妻子依婷的支持，每當我在學校晚回家提醒我注意安全，全心照顧女兒讓我在求學中無後顧之憂，也感謝女兒宥綦每當我怠惰時會拿起書本跟我提醒要讀書，雖不知妳童言童語的真實意思，但妳們都是我最愛的人與上進的動力。

機器視覺於圓鋸片齒型檢測之應用

研究生：林偉超

指導教授：邱俊智

國立勤益科技大學機械工程系碩士班

摘要

機器視覺(Machine Vision)檢測技術屬非接觸性檢測，近年來廣泛使用於各行業中，取代人眼視覺的疲勞及主觀意識的判斷，可呈現合理及一致化之結果。機器視覺的組成一般包含有 CCD 攝像機、影像擷取卡、電腦設備、光源及影像處理軟體等。本研究的目的是利用機器視覺來對鋸片相關尺寸量測，在背面打光模式下，CCD 攝像機擷取到之鋸片齒型圖像，對齒型的齒腹弧角及齒高作量測。在影像預處理中，先將影像二值化處理進行適當影像灰階值分割，為降低檢測周遭環境因素而使用 Hole filling 及 Median 濾波將干擾降低，Pattern matching 齒腹特徵作參考座標位置，確保後續齒腹弧角與齒高量測位置追隨特徵作檢測。經過影像處理後，將影像量測的 pixel 值與實際尺寸做轉換，檢測結果的實際尺寸與使用 M-V Vertex 410 自動影像測量儀檢測的尺寸做比較，來決定此架構下的檢測準確度。另外，本研究也使用類比近接量測來檢測鋸片平面度。本研究利用 LabVIEW 來開發檢測系統程式，透過鋸片齒型影像的擷取與處理，將檢測圖面與檢測數據呈現於電腦畫面上，提供操作人員進行參考。

關鍵字：機器視覺、鋸片檢測、齒腹弧角、齒高

Application of Machine Vision to The Tooth Inspection of Circular Saw Blades

Student : Wei-Chao Lin

Advisor : Dr. Chun-Chih Chiu

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

Abstract

The machine vision is a non-contact inspection technology and widely used in various professions in recent years. It presents reasonable and uniform results, and it can replace the human's unstable inspection results due to eye's fatigue and subjective judgments. A basic machine vision system contains a CCD camera, an image capture card, a computer, an illuminant source and image processing software. This research was using a machine vision system to inspect the teeth of a circular saw blade. Under the backlight illumination, the CCD camera picked up the image of the saw blade tooth, measuring the tooth abdomen radius and the tooth depth. In the image pretreatment, the binary processing was carried on to the suitable image gray scale level. The Hole filling and the Median filter were used to reduce the environment noises. To ensure the alignment of saw's tooth abdomen angle and the tooth depth, the pattern matching method was used to process the characteristics of tooth abdomen and yield the reference position. After image processing, the measured pixel value was transformed into the actual size. To verify the test results on this vision system, an automatic phantom

measuring instrument (M-V Vertex 410) was used to determine the accuracy of this vision construction. Meanwhile, a proximity sensor is used to measure the flatness of the saw blade. In the research, LabVIEW programming language was used to develop the testing software, and it captured the image of the saw blade tooth and analyzed its contour. Finally, the inspection data was shown on PC for operators' references.

Keywords: Machine vision, Sawtooth inspection, Tooth abdomen angle, Tooth depth



目錄

誌謝	I
摘要	II
ABSTRACT	III
目錄	V
圖目錄	VIII
表目錄	X
符號表	XI
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	4
1.4 論文架構	12
第二章 量測原理	14
2.1 影像處理原理	14
2.1.1 數位影像處理	14
2.1.2 二值化	15
2.1.3 Hole Filling	16
2.1.4 Median 濾波	17
2.1.5 Pattern Match	18
2.2 影像量測技術	20
2.2.1 座標系統設定	20
2.2.2 影像尺寸校正	22
2.2.3 齒腹弧角半徑 r 量測	23
2.2.4 齒高 h 量測	24
2.3 類比近接量測技術	25
2.3.1 類比信號	25
2.3.2 A/D 轉換	26
第三章 研究設備及方法	28

3.1 系統硬體架構.....	28
3.1.1 桌上型電腦.....	28
3.1.2 CCD 攝像機.....	28
3.1.3 影像擷取卡.....	35
3.1.4 光源.....	38
3.1.5 可程式邏輯控制器.....	41
3.1.6 人機介面.....	42
3.1.7 伺服馬達.....	43
3.1.8 光纖感測器.....	46
3.1.9 類比近接感測器.....	47
3.1.10 量測機構.....	48
3.1.11 量測系統整合.....	50
3.2 軟體.....	52
3.2.1 影像處理軟體.....	52
3.2.2 可程式邏輯控制器軟體.....	53
3.2.3 人機介面軟體.....	54
3.3 量測流程.....	55
第四章 實驗結果與分析.....	57
4.1 執行步驟.....	57
4.1.1 伺服馬達調諧.....	57
4.1.2 類比近接開關校正.....	59
4.1.3 機器視覺執行步驟.....	62
4.2 圓鋸鋸齒尺寸量測結果.....	70
4.3 圓鋸平面度量測結果.....	75
4.4 綜合量測結果分析.....	82
第五章 結論與未來展望.....	87
5.1 結論.....	87
5.2 未來展望.....	88
參考文獻.....	90
附錄一 LABVIEW 程式方塊圖.....	94
附錄二 PLC 程式階梯圖.....	96



圖目錄

圖 2-1	數位影像格式	15
圖 2-2	影像像素分割	15
圖 2-3	二值化閥值擷取	16
圖 2-4	Hole filling.....	17
圖 2-5	Median 濾波處理	18
圖 2-6	Pattern matching 原理	19
圖 2-7	鋸齒 Pattern matching	20
圖 2-8	座標系統設定	21
圖 2-9	影像尺寸校正	22
圖 2-10	圓鋸齒腹角半徑量測	24
圖 2-11	圓鋸齒高量測	25
圖 2-12	類比信號	26
圖 2-13	數位信號	26
圖 2-14	A/D 轉換	27
圖 2-15	類比近接距離與輸出關係	27
圖 3-1	CCD 感測原理	28
圖 3-2	畫素於感光元件陣列示意圖	29
圖 3-3	Image Sensor Size	29
圖 3-4	S-170 standard	31
圖 3-5	畫素時脈示意圖	33
圖 3-6	Teli CS8430i CCD 攝像機	34
圖 3-7	NI PCI-1411 影像擷取卡	35
圖 3-8	影像擷取卡工作原理	36
圖 3-9	NI PCI-1411 影像擷取卡連接器構造	37
圖 3-10	BNC Connector TRIG 電路配置	37
圖 3-11	高角度照明	38
圖 3-12	低角度照明	39
圖 3-13	背光照明	39
圖 3-14	同軸照明	40
圖 3-15	紅光 LED 背光板	41
圖 3-16	三菱 FX Series PLC	42

圖 3-17	Proface AST-3301B 人機介面	42
圖 3-18	伺服馬達基本控制架構	43
圖 3-19	伺服馬達控制模式示意圖	45
圖 3-20	三菱 MR J2-Super Series 伺服馬達	46
圖 3-21	光纖感測器	47
圖 3-22	類比近接開關之輸出信號與量測距離關係	47
圖 3-23	量測機構	49
圖 3-24	正時皮帶輪組	50
圖 3-25	鋸片量測硬體整合圖	51
圖 3-26	實驗軟體功能區分	52
圖 3-27	影像辨識分析架構	53
圖 3-28	PLC 規劃動作流程	54
圖 3-29	HMI 規劃功能	54
圖 3-30	實驗流程圖	56
圖 4-1	轉動機構示意圖	57
圖 4-2	電子齒輪	58
圖 4-3	伺服馬達調諧步驟	59
圖 4-4	類比近接開關與 A/D 轉換關係	60
圖 4-5	類比近接開關線性校正	62
圖 4-6	視覺選用流程	62
圖 4-7	視覺硬體推算示意圖	63
圖 4-8	未經處理初期鋸片齒型特徵影像	64
圖 4-9	實驗中二值化處理步驟	65
圖 4-10	實驗中 Hole filling 處理步驟	65
圖 4-11	實驗中 Median 濾波處理步驟	66
圖 4-12	實驗中 Pattern matching 處理步驟	67
圖 4-13	實驗中座標系統設定處理步驟	67
圖 4-14	實驗中影像校正影像	68
圖 4-15	實驗中齒腹弧角半徑 r 量測影像	69
圖 4-16	實驗中齒高 h 量測影像	69
圖 4-17	電腦螢幕顯示量測結果	70

表目錄

表 1-1	變型齒產生原因	2
表 3-1	RS-170 規範相關參數.....	32
表 3-2	Teli CS8420i specification.....	34
表 3-3	類比近接開關電氣 / 機械規格	48
表 4-1	位置控制模式相關增益參數.....	58
表 4-2	類比近接校正紀錄	61
表 4-3	實驗中影像量測結果比較	70
表 4-4	實驗中平面度量測結果-1.....	75
表 4-5	實驗中平面度量測結果-2.....	76
表 4-6	實驗中平面度量測結果-3.....	76
表 4-7	實驗中平面度量測結果-4.....	77
表 4-8	實驗中平面度量測結果-5.....	78
表 4-9	實驗中平面度量測結果-6.....	79
表 4-10	實驗中平面度量測結果-7.....	79
表 4-11	實驗中平面度量測結果-8.....	80
表 4-12	實驗中平面度量測結果-9.....	81
表 4-13	實驗中平面度量測結果-10.....	82
表 4-14	實驗中鋸齒量測準確性比較	83
表 4-15	實驗中鋸齒量測系統之標準偏差	84
表 4-16	實驗中平面度結果統計	84
表 4-17	實驗中執行時間統計	85

符號表

m_0	二值化閾值
X_N	Hole Filling中XOR處理影像
\oplus	XOR
\cap	交集
\cup	聯集
$w(i, j)$	Pattern Match參考樣板
K	Pattern Match參考樣板寬度
L	Pattern Match參考樣板長度
M_p	Pattern Match搜尋範圍寬度
N_p	Pattern Match搜尋範圍長度
$C(i, j)$	Pattern Match演算以 $w(x, y)$ 在 $M_p \times N_p$ 範圍內像素重疊的數量
$P1$	鋸齒Pattern Match搜尋區域
$P2$	鋸齒Pattern Match搜尋到與參考樣板吻合影像
C	座標系統設定之參考樣板
D	座標系統設定之參考樣板面積
(x_c, y_c)	座標系統設定之參考樣板形心座標
$Original_L$	影像校正軸左位置點
$Original_R$	影像校正軸右位置點
$Actual_L$	實際校正軸左位置點
$Actual_R$	實際校正軸右位置點

k	校正比例參數
r	齒腹弧角半徑
h	齒高
y_{top}	齒高量測垂直方向最高點座標
y_{bottom}	齒高量測垂直方向最低點座標
CA	類比近接校正實際數據
CB	類比近接校正前A/D數值
CC	類比近接校正後A/D數值
H1	待側物端影像高度
H2	CCD端成像高度
WD	CCD工作距離
FL	鏡頭焦距
EL	延伸環長度
r_A	影像測量儀測得之齒腹弧角半徑
r_B	CCD測得之齒腹弧角半徑
T	鋸齒齒號
h_A	影像測量儀測得之齒高
h_b	CCD測得之齒高
δ_r	齒腹弧角半徑 r 量測分析之差距值
δ_h	齒高 h 量測分析之差距值
Acc_r	齒腹弧角半徑 r 量測準確度
Acc_h	齒高 h 量測準確度

$\overline{S_r}$	影像量測儀測得之齒腹弧角半徑 r 標準平均值
$\overline{S_h}$	影像量測儀測得之齒高 h 標準平均值
S_{rr}	CCD量測系統齒腹弧角半徑 r 標準偏差
S_{hh}	CCD量測系統齒高 h 標準偏差
F	鋸片平面度
$Max(V)$	類比進接開關量測距離最大值
$Min(V)$	類比進接開關量測距離最小值



第一章 緒論

1.1 研究動機

在工業發展及生產能力不斷提升下，對於自動化的需求也相對提高，要在生產力及品質上兩者兼顧，就必須有可靠的檢測方法來確定產品的好壞，甚至將檢測技術投入生產線上作全面性的檢測，故檢測是對產品附屬價值的提升。

在切削加工技術中，鋸切為其中一項重要的加工法，而平面度、齒型、固定孔位置及同心度為鋸片檢測品質的參考指標，劉平[1]在垂直於圓鋸片半徑的下方埋置數個渦電流感知器，將渦電流感測之距離與輸出的物理轉換特性，利用LabVIEW收集回傳之信號來作圓鋸片的平面度視覺檢測；黃田野[2]以刀尺口垂直於圓鋸片，採自然背光模式於圓鋸片切面前方取像，以刀尺口與圓鋸片的距離及平行度間接來衡量圓鋸片平面度；趙玲[3]以視覺架構檢測圓鋸片的固定孔位置、直徑、同心度。


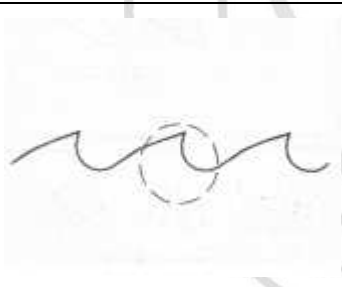
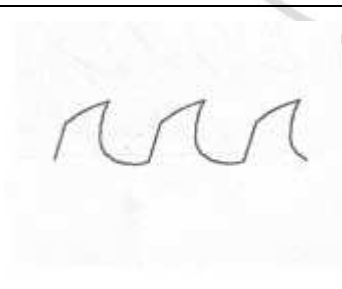
金屬圓鋸不同的齒型在對應不同裁切工件，其為依雷射切割成型後再以凸輪式鋸齒研磨機磨製而成，輕微的齒韌不良及磨耗可經由上述製程依原齒型再次研磨。但圓鋸齒數多，如有任何齒形嚴重超出尺寸標準，鋸切加工時會產生異音及切削力不平衡，切削能力降低，導致其他齒型快速損壞或圓鋸本身破裂的危險性。目前在業界針對圓鋸齒檢測依賴人眼主觀目視檢測，在於檢測無統一標準，且研磨之砂輪也會在加工圓鋸齒型時磨損，而金屬圓鋸在切削加工中屬高速裁切，如對齒型的重要尺寸忽略時易產生上述的狀況外，甚者會有嚴重的工安意外。





1.2 研究目的

上述鋸片重要指標“齒型”，無論新製品或再加工品皆須經過鋸片研磨機研磨齒型方能達成鋸切的功能性。但研磨上會有變型齒產生的疑慮，如表 1-1所示，無法達成鋸片的最佳切削狀態，甚至危險產生機率會提高，故提出以機器視覺檢測研磨後的齒型，量測該鋸片齒型的尺寸，間接可提供鋸片研磨廠商做研磨狀態判定。

表 1-1 變型齒產生原因

資料來源[39]

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂輪磨削量太多 2. 砂輪變形 3. 圓鋸片旋轉軸太鬆 4. 進給速度太快
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂輪變形 2. 進給速度太快 3. 齒深太淺
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂輪變形 2. 進給速度太慢 3. 進給不順發生顫抖，鋸片旋轉軸太緊

	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂輪變形 2. 齒深太深
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂輪厚度太厚
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂輪厚度太薄
	<ol style="list-style-type: none"> 1. 砂輪變形 2. 圓鋸片旋轉太鬆

針對齒型特徵的量測，以光學放大的特性及非接觸性的量測方式為最佳的檢測方法，因此本實驗利用幾何量測原理與機器視覺處理技術，搭配合LED背光板，以LabVIEW軟體開發簡易的鋸片檢測系統，透過檢測系統可進行鋸片齒形的齒腹弧角、齒高的量測，並將檢測數據呈現於電腦螢幕上，取代人眼視覺有疲勞或主觀意識判斷的狀況，藉此將檢測標準一致化，提高檢測齒形整體的效率；另外使用

類比量測方法來檢測鋸片平面度。整合在鋸片上重要參數的自動化檢測，以非接觸式及非破壞性檢測方式達成圓鋸之綜合尺寸檢測。

1.3 文獻回顧

本節將回顧有關於影像處理技術的相關文獻，介紹機器視覺於檢測之應用。

林瑞彰[4] 等在幾何量測原理下建構鋸片成型銑刀參數的動態量測系統，用來檢測鋸片銑刀的齒頂高度、工作高度、全齒高度、壓力角、齒距等項目。過程中量測應用的原理有二值化處理、閾值處理乃使用統計式門檻值決定法(Otsu's Method)取得，影像採 3*3 中值濾波處理，在 CCD 鏡頭下採背光照明取得影像，由於鋸片成型銑刀檢測是屬三度空間的檢測，在取像過程中不斷以伺服馬達與系統搭配補正影像量測位置，減少量測時產生的誤差。

李紹輝[5] 提到以雷射的結構光為照射光源，其檢測方式基於三角法測量原理針對待測物體上的空間座標測量值與 CCD 攝像機內成像位置的相關性來做轉換測量，因此在影像預處理方式的好壞便影響檢測的精準度，作者採用中值濾波、邊緣檢測、細化處理等方式達成，最終的影像便是待測物體上的輪廓線。對於精度提高可用更細的結構光源，但過細的結構光源會受周遭環境光源的干擾而造成光條的不連續，故光源的選用對檢測結果影響甚大。

Luosi WEI et al.[6] 提到 SMT 製程中的自動對準機的能力隨著 SMT 元件尺度越小時，其對準能力需提高外，速度也需提升。在 CCD 的畫素提高以解決取像的解

析度，影像的翹曲藉由影像的校正，將像素與實際的尺寸作校正，提高對準的能力。在檢測特徵不規格特性下，以Pattern-based的理論基礎判別特徵，對其中心點、彈性度、粒度的參數校正，使影像的亮度、對比度、對正度不會影響檢測，故其在差異大的背景環境下抗干擾的能力佳，特徵的位置、旋轉、縮放大小皆能檢出。

莊謙本[7] 等也以視覺檢測模式及雷射三角量測法組合立體視覺影像，光源上用可程式邏輯切換多層式環型發光二極體陣列來搭配取像，於SMT技術仍存在著許多缺陷，如缺件、歪斜、極性相反、錫膏短路或焊接空焊等問題，可藉由自動化視覺檢測(AOI)達成製程後端的檢測。其檢測演算法利用Histogram法建立範圍內影像的像素頻率/灰度值圖表，計算特定灰階值範圍的像素總和，以此判斷缺件或歪斜的瑕疵；白點統計法將影像二值化統計白點數量，可將極性相反及歪斜的特徵找出；正投影法以灰階值得影像設一門檻值，以門檻值作為錫焊錫橋之現象；進一步以Run-Length encoding將影像二值化後，在座標上掃描黑白交替點的位置與標準件做比較，用其來判別偏移、歪斜等特徵；使用相關係數法以影像的灰階值的平均值與變異數做為判斷的依據。

J.C.Su et al.[13] 檢測PCB板鑽孔加工製程的微鑽頭。其尺寸精小，製程中的良劣會影響SMD元件置入的難易。藉由影像預處理以濾波寬度、對比度、陡峭門檻值去定義鑽頭刀腹邊緣特徵，經參考座標將影像對正與實際單位轉換，並在一設定範圍內特徵匹配並轉向對正，刀腹影像寬度予以細分若干等份，取未加工與加工後的影像在同位置下之細分交集之長度做比對，可分析鑽頭的使用壽命及容易磨損部位，將鑽頭使用的可靠度提升。

Franci Lahajnar et al.[14] 以兩只CCD架設於工件兩側，檢查盤件具扁長物裡特徵之工件檢側面，考慮到檢側部位具相當的景深，採用Telecentric鏡頭克服影像的畸變。兩只CCD以透明矩陣點塊規校正，透過同時取像校正塊規上的點圖案的尺寸及真圓度能精準定義高度、平行度、角度上的誤差，在整體性來講，中間未取像部位為兩只CCD之距離為固定的參數，視覺檢測的影像便能視為兩張影像縫補為一張整個工件的影像來做檢測。

J.Jurkovic et al.[15] 為了檢側自動車床刀塔上的車削刀片的磨損狀況，使用雷射(Laser)光源對檢側面打光，鹵素(Halogen)光源做為輔助，以SLM (Spatial Light Modulator Grid) 及PBSC (Polarizing Beam-splitter Cube) 的光學模組將非一致性光源轉換為一致性光源，光源投射工件表面反射與CCD接收成一相對角度，取像會呈現多等間距直線光柵的線條，於檢側面平面度不足或損壞處，光柵線條變成扭曲，扭曲的情況會隨表面深度變化有所不同。

Joze Derganc et al.[16] 檢測電力機械之千瓦小時計，藉由霍夫轉換法則(Hough transform)及線性回歸之方式檢測其上培林的針狀物體的同心度以及其突出的長度。其檢測系統以步進馬達帶動培林，在工件背側以紅光LED打光，因其特徵有一定景深，故架Telecentric鏡頭克服影像變形。影像處理使用Sobel運算將邊緣特徵強調，霍夫轉換法及線性迴歸法則定義次像素的邊緣檢測。

Te-Hsiu Sun et al.[17] 針對電子接觸元件缺陷、破裂、刮傷等特徵做檢測，在

環狀角度的LED光源打光下，以3*3中值過濾器過濾隨機雜訊，依形態學將其侵蝕而獲得一較平滑的影像，最終以blob計算特徵pixel值來過篩工件的好壞。

Valtteri Heiskanen et al.[18] 液體有親水性及非親水性分別，依具其特性在微管路下會具有不同程度的動態接觸角，硬體架構以微管路內注入去離子水，拍攝去離子水流動前後的影像，做影像重疊減去交集之部位，再將影像二值化，最後依二值化影像的幾何特徵做檢測。探討到與微管路接觸點的座標以最小平方圓法及拋物線法推求接觸角，拋物線法在正背面的確認穩定度較佳，可在醫療及生物科技上的流體檢測上作應用。

Yih-Chin Chiou et al.[19] 以面掃描(Area Scan)檢測PU油封表面缺陷，內側刮環特徵配合馬達轉動以線掃描(Line Scan)克服多位置檢測應用。影像前處理有使用3*3中值濾波處理Low-pass雜訊，以Otsu定理二值化處理，進階作影像邊緣的定位，最後設定灰階門檻值及Blob值挑選良品及不良品。

賀邱偉 [20] 等檢測滾珠螺母的圓度、圓柱度、滾道跳動誤差、滾道對螺母外徑的同軸度誤差，在螺母的四周放置磁鐵塊，將數個直徑等於滾珠公稱直徑的測球吸附於滾珠溝槽內，確保測球與溝槽最底部接觸的狀態下作量測，使用中值濾波去除毛刺保持圖像輪廓，二值化影像採用直方圖統計最佳閾值，並以Canny算子定位影像邊緣，最小區域法用來找出各測球座標，多顆測球球心座標可擬合出螺母分佈圓的圓心，可以此為螺母形位公差量測上的參考基準點。

邱超[21]等在自動化組裝線以視覺系統作為裝配前軸孔的尺寸及座標位置的判定，再換算回實際工作平台的座標系，配合可程式控制器(Program Logic Controller)之運動模組趨動機械手作組裝，兼具線上檢測及加工的功能。軸孔為定位之參考基準，故在軸孔特徵處理時需以輪廓定義其圓心，相對在中值濾波處理上將有些許周邊干擾影響，搭配Robert運算將邊緣連接並細化處理，能提供後期識別上更為準確的計算依據。

近來農業機械視覺檢測在型態學處理上也有廣泛的應用，劉靜[22]等使用彩色CCD檢測芒果缺陷，實驗於不同背景及打光條件下檢測果面缺陷部位，並以面積與像素關係式標定缺陷圖像，最終以線性迴歸分析確定測量值與實際值的相關性。彩色CCD影像豐富的資訊量可分解R(Red)、G(Green)、B(Blue)三原色，灰階值比例的調整有將特徵凸顯的效果，中值濾波除噪及Sobel運算用以檢測邊緣，運用雙閥值分割可使灰階值0~255會有三個區段灰階特徵，最後以形態學上的應用將特徵以Erosion、Dilation、Opening、Closing等法則檢出，如此待驗的特徵獨立出來，可用統計方法來做更進一步的分析。

在短圓弧(角度 30° 以下)由於在特徵上取樣數不足，受到的干擾大，在圓弧測量上易受影響導致精度不良或檢測尺寸錯誤。朱嘉[23]等基於圓弧加工時以其加工治具圓心固定加工，故在檢測上也採固定圓心的檢測方式來作短圓弧的量測。影像上以二值化及邊緣提取檢測之輪廓線，檢測原理定義加工之短圓弧圓心在短圓弧結束轉為直部的水平高度上，以最小二乘法運算短圓弧上的離散採樣點到理想短圓弧的圓心的距離平方和為最小，則該理想半徑為所求的短圓弧半徑。

在幾何形狀為封閉的輪廓線圖案，其檢測不乏以輪廓的特徵作為判斷的依據，Hough轉換法是視覺檢測用於直線或線段的檢測法，其能檢查複雜的二維影像，但其具有計算儲存量、時間長、可靠性差等缺點。秦開懷[24] 等提出基於以Hough變換法的投票統計觀念下的檢測法則。影像預處理以中值濾波平滑化，採Canny運算將邊緣銳化並作輪廓細化處理，最後以Hough法投票計算幾何形狀的質心並歸納幾何圖形的形狀角，以形狀角作粗分類，進階以幾何特徵輪廓上的定義來進行形狀細分類，有效提升在多邊形上的檢測速度。

輪廓找尋在數位影像處理和圖案辨識是很重要的，大部分皆透過二值化影像處理後的資訊去定義輪廓，最常使用Run-length法則將一連串的点資料壓縮後，再以Chain code法則使用在平面上 3bit資料去作連結方向的判斷，相鄰的輪廓資料佔了2bit，此法則就不健全，在四個相鄰bit找尋法則下雖解決前法問題，但在解析度不夠或在轉角時有缺陷的情況下，圖像的連接性會較差，Mingwu Ren et al.[25] 提出八相鄰bit找尋法則，依上到下、左到右的檢測順序定義出內輪廓及外輪廓，補強了輪廓資料的連結性。

凌遠煥[26] 等對三階梯的軸套類零件影像做檢測，施以背光打光模式下，工件本身的灰度值平穩，且工件輪廓與背景灰度值變化強烈，採用Prewitt梯度算子進行工件邊緣檢測及粗定位，根據此檢測工件形狀邊緣為直線，一維灰度掃描檢測方式會比二維灰度矩陣運算速度更快，檢測完成後數據依極限誤差理論分析，將誤差量控制在兩倍方差內，超過正負兩倍方差範圍即剔除。

段瑞玲[27] 等對數種邊緣檢測算子作優劣比較，Roberts邊緣算子其定位精度高，但在雜訊抵抗能力差，Sobel及Prewitt邊緣檢測算子解決了Roberts邊緣算子在雜訊較差的特性，但也對雜訊做了平滑處理，會出現偽邊緣的特性，故在定位上精度不高，而Laplacian邊緣檢測算子為二階微分算子，在同向性上會將明、暗區分開來，偽邊緣也不會產生，缺點是在處理過程中雜訊也增強了，會產生雙像素寬的邊緣，比較適合輪廓的檢測定位，較不適合應用於邊緣檢測。在邊緣檢測上單一運算子難以滿足邊緣檢測上所有要求，故在視覺檢測上，要依待檢物特性及打光後的狀態來選定邊緣檢測或定位方式。

隨著新穎的檢測需求，視覺演算法在基礎理論下也不斷的推陳出新，熱鍛製程需將鐵材加熱到 1200°C ，Zhenyuan Jia et al. [28] 以機器視覺影像量測溫度來控管熱鍛前的形狀尺寸，但機器視覺在量測高溫物體時有所限制，因高溫時物體產生光的散射率會影響相機的取像，其光譜頻段波長會高於CCD影像處理的波長範圍，導致CCD擷取的影像資料內容無法判斷，依據黑體理論取可視範圍光譜頻段，以氬氣光源照射發熱工件表面，並加裝特殊光學模組，選擇波長450nm以上區段作量測，在黑體理論下之曲線變化便可間接掌控後面的加熱溫度。

機器視覺在動態物件的檢測及追蹤方法有以邊緣、輪廓、外觀特徵、追蹤模型等方式，皆有圖像匹配的問題導致無法精確定位，ZHAO Ding-xuan et al.[29] 提出以Trinocular Camera作雙眼視覺檢測，先指定檢測物體中的一點，再將指定點輪廓區域內的質心點計算出來，並預測下一張取像的質心點可能的位置，在實際的下一張取像裡計算輪廓及實際質心點位置，並限制預估物體的下一次檢測位置之質心位置必須在此次檢測的輪廓內，以此重複循環達成動態物體追蹤檢測。

在微放電加工中，加工程式、放電銅線、加工控制精度等原因，會影響到微放電後加工之整體準確度，陳順同[30] 等於放電加工到線上超音波清洗工件後，利用ON-LINE自動光學檢測工件的尺寸，自動補正於控制器的補正程式裡再次加工到所需的尺寸，可克服OFF-LINE的檢測再次加工影響最終尺寸等不穩定因素的發生。

農業科學裡不乏有不規格橢圓物體需檢測分析，王友俊[31] 等以Canny邊緣檢測配合高斯濾波在米粒輪廓檢測中去除雜訊與邊緣檢測中找到平衡點，伴隨著二值化處理的灰度值好比不同的距離分佈，將其轉換以位能場處理，最低位能場會落於中心，邊緣上以相似灰度值的叢聚特性，便可將米粒的輪廓在精準的重新建立。

平面顯示器為現今3C產業應用之大宗，在LCD廠對於製程良率及品質的監控尤其重要，檢測中的特點在於偏光影像的處理，因其薄膜因材質的不同會有不一樣的反射強度，以傳統側邊打光的模式會因不同材質及厚度有不同的偏光效應，因而檢測的特徵對比不易呈現。謝易辰[32] 等提出以影像式橢偏儀、光譜儀與機械視覺結合，在其具空間軸及波長軸的影像資訊，波長軸設定可在待測薄膜種類改變時，得到其最佳檢測波長資訊，獲得最佳對比度。可快速檢測LCD亮度、色度、視角、均勻性、亮暗點、面板間隙、膜層缺陷等多項特徵。

在PCB的貼片過程中，其Mark的定位是整體製程中成敗的關鍵，常用Mark的

形狀有圓形、矩形、十字架形、三角形、菱形等。故依其物理特徵便發展出其相關的視覺檢測方法有重心法、檢測四邊法、模板匹配法。模板匹配法應屬檢測速度最快的檢測方法，速度及彈性皆優於其他方法。李程鵬[33] 等使用Halcon軟件針對Mark的識別以虛擬模板功能建立與圖像特徵相同的影像，透過自動產生虛擬影像進行影像預處理，對圖像中模板輪廓做提取，再做圖像匹配的功能。柏長冰[34] 等利用模板匹配的原理，訂出虛擬匹配法，過程以實際相機的畫素比去比對Mark的實際尺寸，使用一矩形像素矩陣，去限制影像中Mark的大小與位置度，虛擬模板的像素值非固定，可依影像中Mark的像素灰度值以插值運算出來，在Mark的尺寸及背景亮度有差別時，仍可精確定位出其位置，減去了邊緣檢測的過程，速度也能有所提升。

類神經網路理論也應用在機器視覺中，Feng Duan et al.[35] 對回收啤酒罐的瓶端、瓶身、瓶底三部份的檢測，在快速檢測需求上，圖像定位以Hough 轉換或重心找尋的演算方式無法滿足定位速度，此檢測以直方圖定義之邊緣點作定位，在水平及垂直方向的邊緣交集點即視為工件的中心，低階類神經網路使用濾波及閾值處理建立良品與不良品的圖像資料庫來作初步挑選，高階類神經網路處理低階類神經網路檢測為良品之圖像，其演算法以迭代方式逐一檢查特徵區塊，比較其pixel值的差異性，並將所有特徵內之pixel加總等二類資訊處理。

1.4 論文架構

本論文總共分為六個章節，以下為各章節的介紹:

第一章 緒論

此章節介紹研究動機、目的、相關文獻回顧探討及本研究論文內容架構。

第二章 量測原理

在此章節裡，針對機器視覺在量測過程中所使用的影像處理演算法及類比檢測技術詳細介紹。

第三章 研究設備及方法

在此章節裡，介紹量測系統架構，包含機器視覺、伺服運動控制之硬體及軟體，說明硬體規格及之間的相互關係，並說明量測過程中的影像處理流程及類比量測擷取信號的時序。

第四章 實驗結果與分析

在這章節裡，將結合第二章及第三章所提到的機器視覺、類比量測及伺服運動控制等概念，依第四章的量測方法進行金屬圓鋸鋸齒之齒腹 r 角、齒高 h 及圓鋸平面度之檢測，再將所得之結果進行說明及分析。

第五章 結論與未來展望

最後對本研究做出結論，同時也對未來研究方向及可以改進加強的地方做進一步的探討與建議。

第二章 量測原理

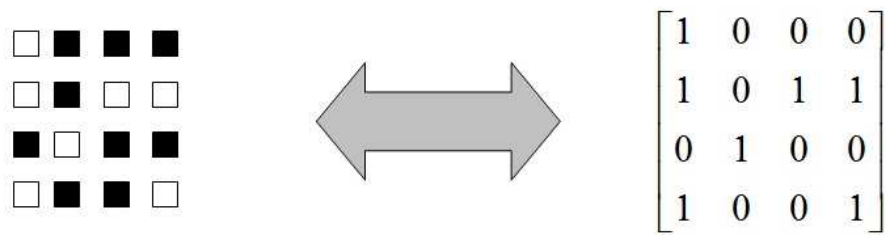
本章將探討論文所使用的數位影像處理方法，包括影像上的濾波處理雜訊及形態學(Morphology)上演算邏輯，並做座標系統與實際單位的校正，將整體處理後的鋸片齒型影像在後端檢測能快速應用。

本章也探討類比信號的處置方法，校正其資訊與實際單位的比例關係，蒐集所回饋的資訊間接達成鋸片平面度的檢測。

2.1 影像處理原理

2.1.1 數位影像處理

數位影像處理(Digital image processing，簡稱 DIP)，即是使用電腦來處理二維(2D)影像，電腦判讀影像數位化的資料「0」與「1」，影像中每一點包含著「亮度」、「顏色」與「位置」等資訊，如圖(2-1)所示。影像中每一點稱為「像素」(Pixel)，依視覺感測器的排列陣列 $m \times n$ 將影像分割成 $m \times n$ 等分，1 Pixel 即為 $\frac{1}{m \times n}$ 感測器大小，如圖(2-2)所示，取樣影像中像素總和($m \times n$)越大，代表解析度越高、影像品質越好，越能表現出更多的細節；但相對的，因為紀錄的資訊越多，檔案也就會越大。影像處理在於將此資料轉換成數據，存入電腦做後續處理。



數位影像示意圖

數位影像資料

圖 2-1 數位影像格式

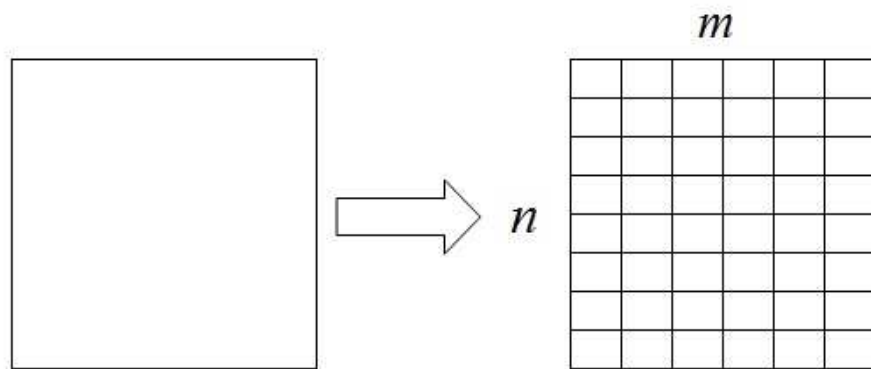


圖 2-2 影像像素分割

2.1.2 二值化

二值化(thresholding)處理是一項重要影像切割方法，其功能在將待檢測物與背景區分，於此透過二值化閾值擷取將影像二值化處理，定義如(2.1)式：

$$f_m(x, y) = \begin{cases} 255 & \text{if } f(x, y) \geq m_0 \\ 0 & \text{if } f(x, y) < m_0 \end{cases} \quad (2.1)$$

在(2.1)式中，假設在數位影像在座標值(x, y)的像素點之灰階影像為f(x, y)，其灰階值分佈於0~255之間的範圍，如圖2-3, 在灰階值分佈圖(Histogram)下，將

數位影像中的各個灰階值作統計，如果目標物與背景物在合理的打光之下取像，兩者會有明顯的灰階值差異區，設定一閾值 m_0 ，當影像中任一點灰階值大於或等於閾值時，其灰階值為255，反之，小於此值為0，此處理可將灰階影像轉換為只有黑與白的二值化影像， f_m 為二值化後的影像灰階值。

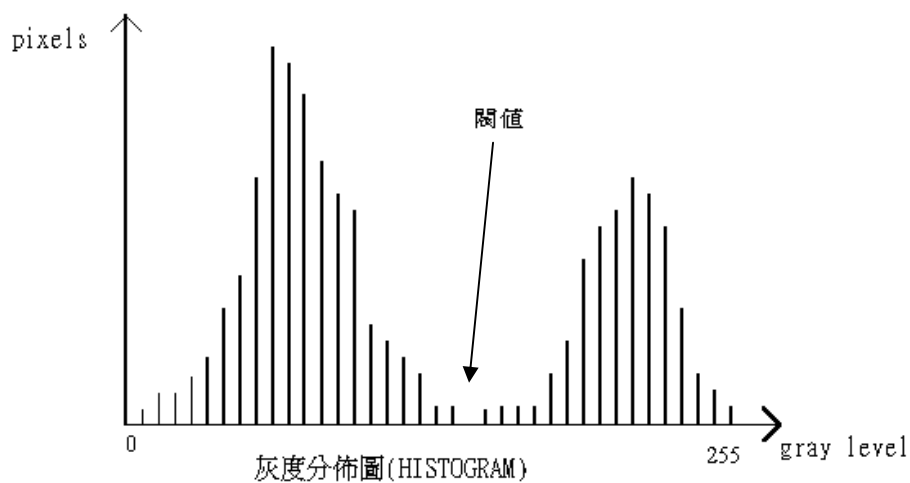


圖 2-3 二值化閾值擷取

資料來源[12]

2.1.3 Hole Filling

量測過程中，工件表面會因光源的強弱造成局部反射，利用形態學的Hole filling法則，演算規則定義如(2.2)式：

$$\begin{aligned}
 X_k &= (X_{k-1} \oplus B) \cap \bar{A} \\
 X_k &= X_N \\
 X_N &\cup A
 \end{aligned}
 \tag{2.2}$$

操作流程如圖2-4，在原始的二值化灰階影像(A)，將其作二值化反向演算(\bar{A})，假設取一四鄰邊的元素(Element)(B)，在 X_0 到 X_7 之間做異或(XOR)處理，定義如(2.3)式，最終再將處理後的影像與原始特徵做聯集運算($X_7 \cup A$)，便可將影像當中的小瑕疵予以過濾，在後續處理過程中避免不必要的干擾。

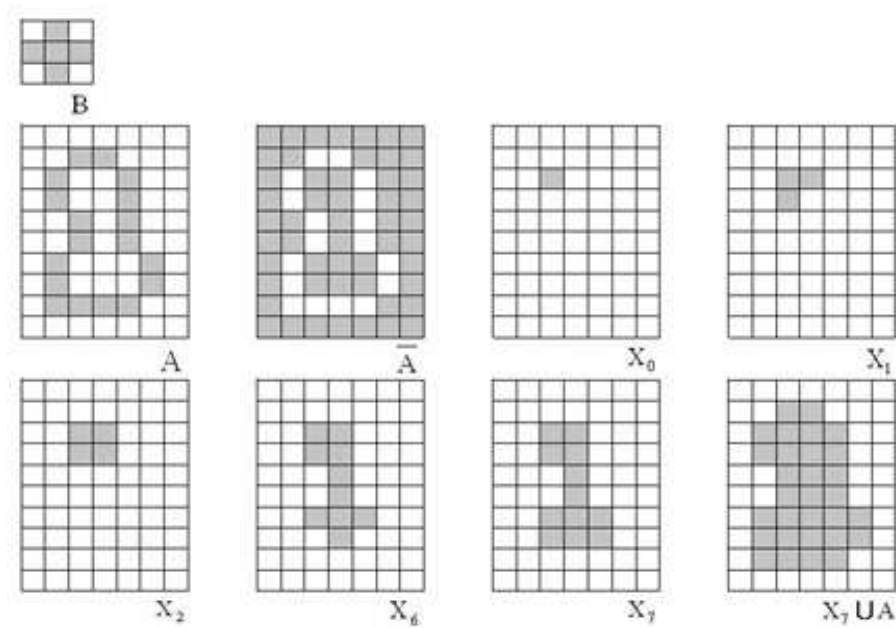


圖 2- 4 Hole filling

其中異或(XOR)處理，假設圖形影像(I)依四鄰邊的元素(B)為邏輯處理依歸，表示式如(2.3)式:

$$I \oplus B \quad (2.3)$$

2.1.4 Median 濾波

影像濾波的目的在於有效將雜訊移除，並保留影像結構與細節的部份。於此

採用Median濾波來處理影像，其為最常被使用的影像濾波器，於此使用固定3*3矩陣視窗掃描整張影像的每一個像素，再將視窗中的每一個像素值做排列，以視窗中排列過後像素值的中位數為結果輸出，並取代原來的像素值，處理示意如下(圖2-5)：

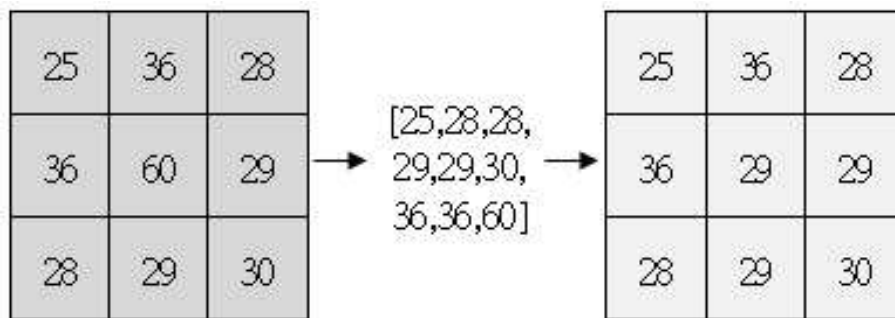


圖 2- 5 Median 濾波處理

圖2-5中3*3矩陣視窗中，原始影像為60，經Median濾波處理後，像素值由小到大重新排列，排列的中間值為29，以中間值29取代原來的像素值60，藉由中間值取代原來像素，可達到清除雜訊的功能，周圍的像素值未做改變，故能保存影像的結構與細節部份，此為Median濾波的特性。

2.1.5 Pattern Match

Pattern matching於機器視覺中可輔助灰階影像的快速定位，其原理如圖2-6，定義如(2.4)式。

在(2.4)式中，假設一尺寸 $M_p \times N_p$ 的 $f(x, y)$ 的影像裡有一尺寸 $K \times L$ 的 $w(i, j)$ 的特徵影像樣板，以左上角座標(0,0)為運算原點，在 f 內移動 w 特徵影像樣板，統計

在 x 及 y 方向的像素重疊的數量 C ， f 裡 C 最大值為影像最為吻合的地方。

$$C(x, y) = \sum_{i=0}^{K-1} \sum_{j=0}^{L-1} w(i, j) f(x+i, y+j) \quad (2.4)$$

其中

$$K \leq Mp,$$

$$L \leq Np,$$

$$x = 0, 1, \dots, Mp-1,$$

$$y = 0, 1, \dots, Np-1$$

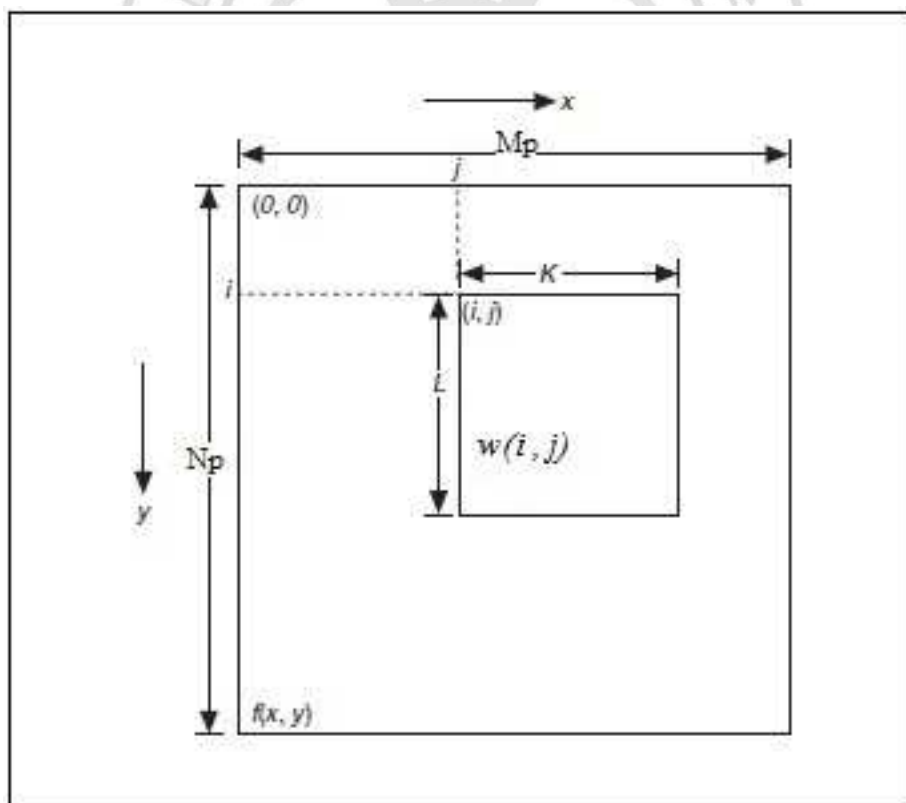


圖 2-6 Pattern matching 原理

由於在整張影像中搜尋參考樣板檢測不具效率，故將縮減圖2-6定義的M*N搜尋區域操作，如圖2-7所示，設定參考樣板，在搜尋區域P1內計算後得到如參考樣板的影像P2，藉此可大幅降低運算所需時間。

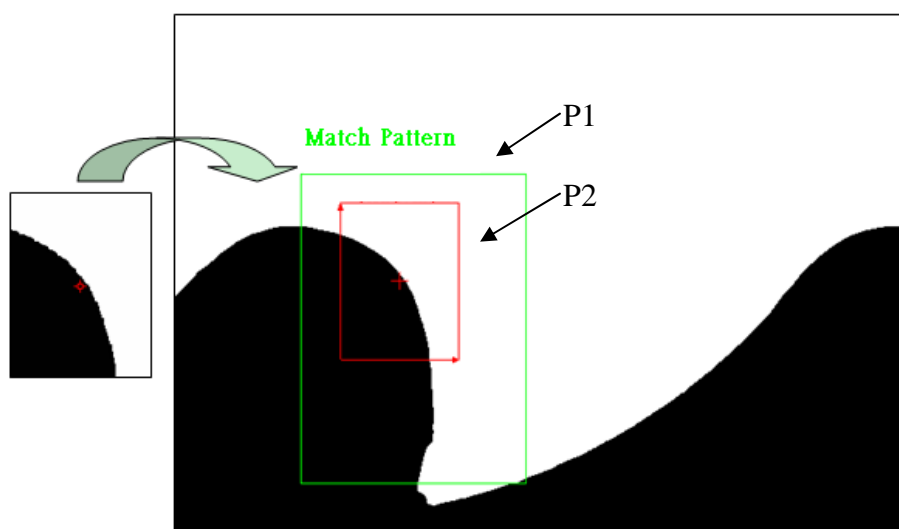


圖 2-7 鋸齒 Pattern matching

2.2 影像量測技術

2.2.1 座標系統設定

座標系統的設定對於影像量測工具的追隨相當重要，自動化檢測中，CCD攝像機擷取影像的位置及旋轉角度不盡相同，唯有將其座標系統建立，方能使後續檢測工具於可靠的位置點做量測。在影像處理過程中每個像素都會有其座標位置的資訊，利用此資訊可對影像的特徵當作參考的基準，量測結果也會更加可靠。

如圖2-8所示，於上一檢測參考樣板的中心位置設定座標系統的原點，做為鋸

齒位置的參考依據，定義如(2.5)式，參考樣板C的面積為D， (x_c, y_c) 為參考樣板形心位置，取其Pattern matching之後的參考樣板形心位置作為座標系統的參考原點，在二值化影像中能依所計算出的座標原點去做比對，再進行後續檢測，檢測工具便能追隨此座標系統彈性檢測，提升檢測可靠度。

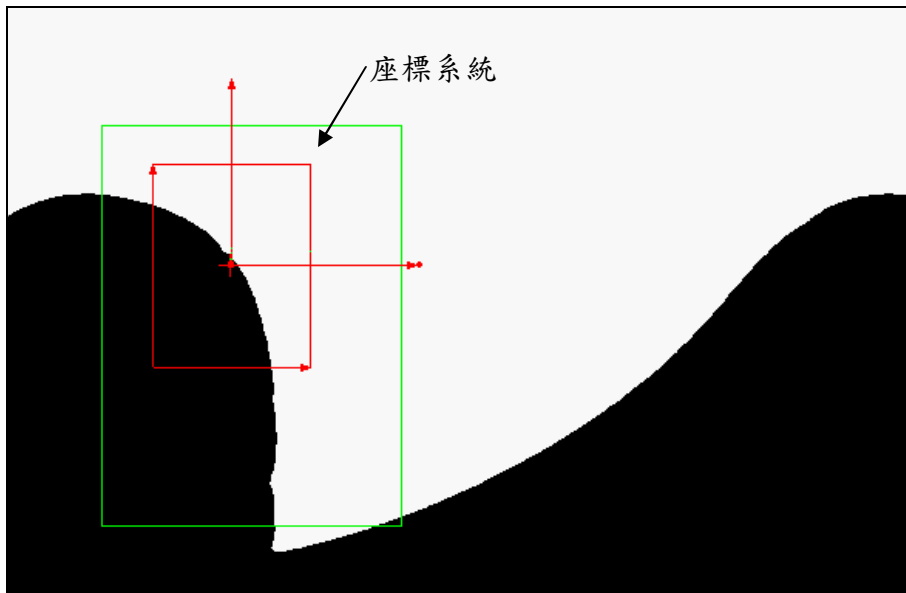


圖 2-8 座標系統設定

$$\begin{aligned}
 C &= b(i, j) \\
 D &= \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L b(i, j) \\
 x_c &= \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L j b(i, j)}{D} \\
 y_c &= \frac{\sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^L i b(i, j)}{D}
 \end{aligned} \tag{2.5}$$

2.2.2 影像尺寸校正

機器視覺中影像是以pixel值為單位，在實際量測單位是不符合使用的，有鑑於此須將影像單位與實際單位做轉換，便於將實際尺寸表達。在圖2-9中，定義(2.6)式，延續像素在影像中座標的資訊，將鋼尺放置於檢測平面上取像，依鋼尺刻度實際值與影像中的pixel值作轉換。

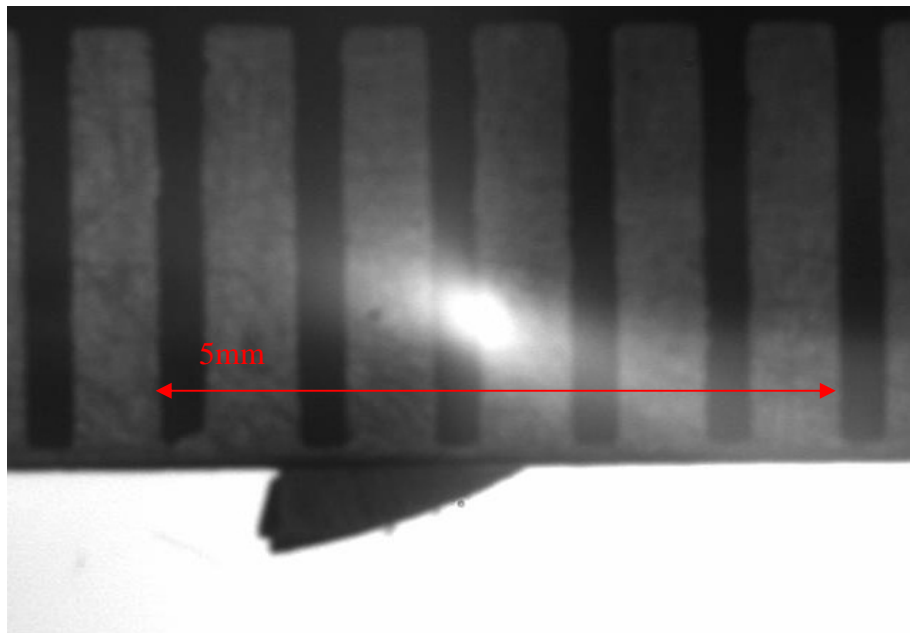


圖 2-9 影像尺寸校正

$$(\text{Original_L} - \text{Original_R}) * k = (\text{Actual_L} - \text{Actual_R}) = 5\text{mm} \quad (2.6)$$

其中

Original_L : 影像校正軸左位置點

Original_R : 影像校正軸右位置點

Actual_L : 實際校正軸左位置點

Actual_R : 實際校正軸右位置點

k : 校正比例參數

在影像與實際單位獲得校正後會得到一校正比例參數(K)，後續檢測像素值及座標上的資訊均能依據此參數的線性比例將檢測後的數據以實際單位顯示，以供最終檢測判讀。

2.2.3 齒腹弧角半徑 r 量測

依圖2-10所示，在二值化影像裡齒腹在圓弧範圍檢測區域下，邊緣強度分明的輪廓下找到m個點，所有檢測區域下的輪廓點使用最小外接圓法則計算出圓心位置，間接把齒腹弧角半徑r量測出來。其定義如(2.7)式：

$$\min_r \left\| \sum_{i=1}^m \left(\sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} - r \right)^2 \right\| \quad (2.7)$$

(2-7)式中， (x_0, y_0) 為圓心座標，所有輪廓點與圓心距離減去半徑之平方和必須為最小誤差量，來求得r。

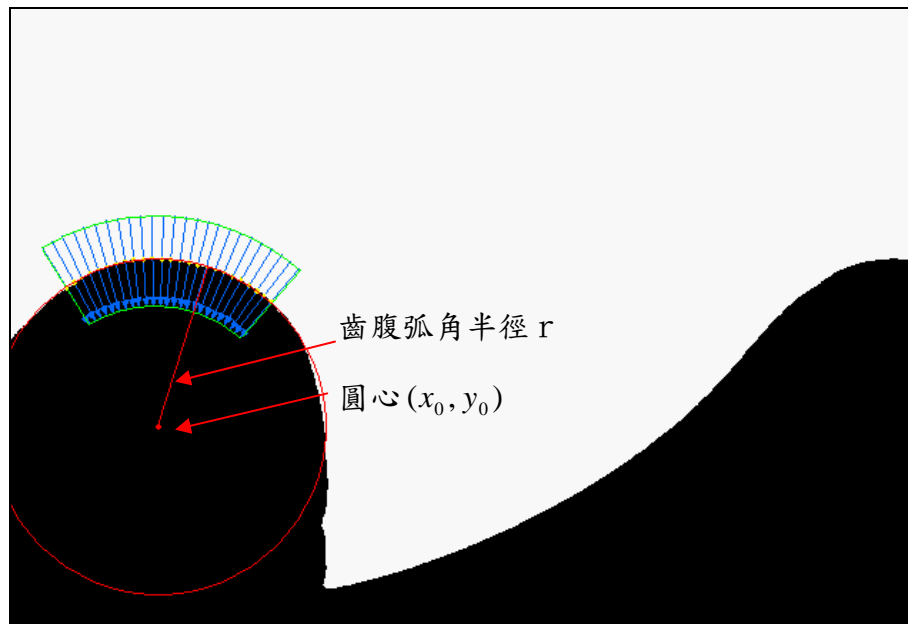


圖 2-10 圓鋸齒腹角半徑量測

2.2.4 齒高 h 量測

依圖2-11所示，二值化後的影像於高度檢測工具所設定檢測區域裡，將檢測區域等分為n等分，每等分邊緣強度分明輪廓點的垂直方向座標會計算出來，垂直方向最高點與最低點的差值便是圓鋸齒的高度。定義如(2.8)式：

$$\text{圓鋸齒高} = y_{top} - y_{bottom} \quad (2.8)$$

(2.8)式中 y_{top} 為垂直方向最高點座標， y_{bottom} 為垂直方向最低點座標。

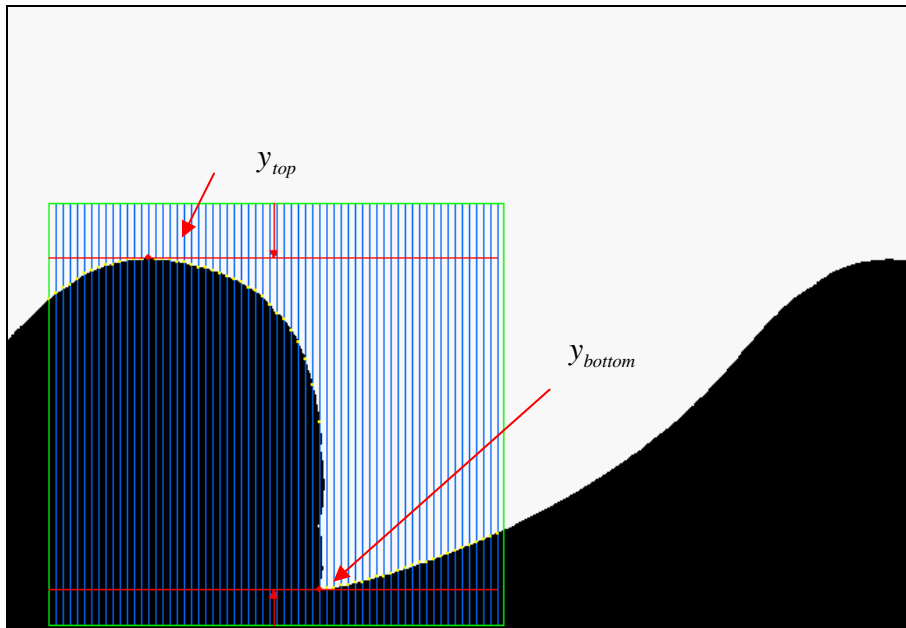


圖 2-11 圓鋸齒高量測

2.3 類比近接量測技術

2.3.1 類比信號

類比信號 (Analog signal) (圖 2-12) 是連續的波形，它利用傳輸的型態、頻率、與振幅，用來描述所傳送的資料，其為連續訊號，經過採樣規則 (固定頻率的抽樣) 對時間軸取樣之後成為離散訊號 (高位準及低位準)，即可被程式處理。

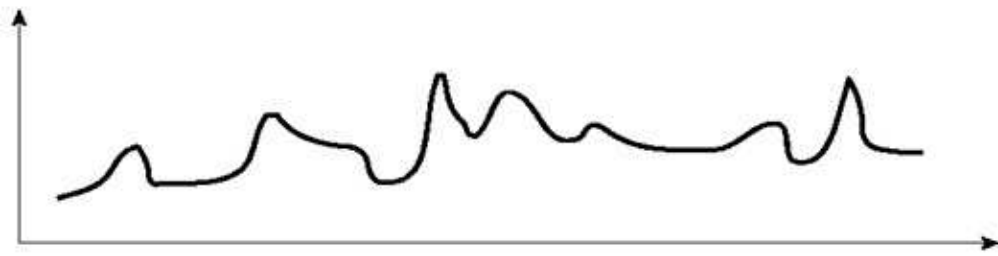


圖 2-12 類比信號

2.3.2 A/D 轉換

針對類比信號資訊內容取整數後成為數位訊號(圖 2-13)，此信號是在人為抽樣出來的在時間上的不連續訊號，以促發(Bursts)的方式來表示傳輸的內容，以信號的「ON/OFF」來表示資料為 1 或 0。當轉換成連續的電波，而數位系統首先做的就是將此連續的電波分成很多的片段，每一片段得到的電壓稱為取樣電壓，然後將取樣電壓依其大小賦予一個相對的二進制值(數碼)，這樣的處理稱為類比至數位轉換(A/D)(圖 2-14)，轉換後的數碼再經過數位處理機加以運算，運算的目的在將輸入的數碼乘以使用者要求的倍數，因此經過數值處理機運算後得到另一組數值較大的碼。

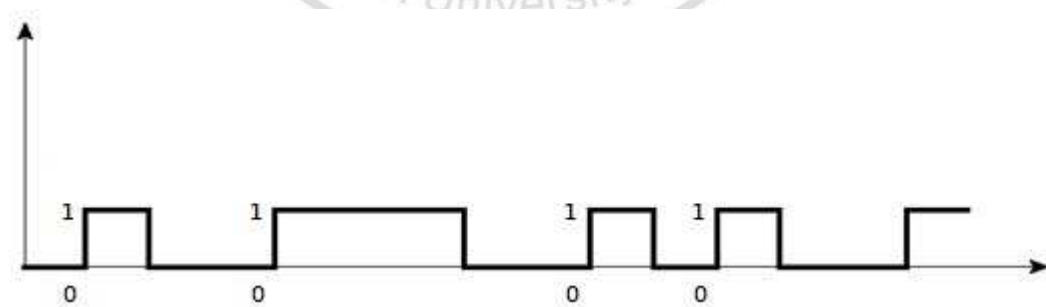


圖 2-13 數位信號

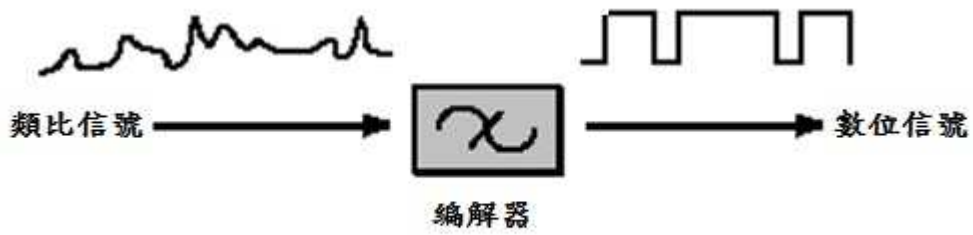


圖 2-14 A/D 轉換

類比近接開關便是在某距離範圍內具有此類比電壓(或電流)輸出特性之感測元件，且其類比電壓(或電流)與距離呈線性輸出，如圖 2-15，藉由 A/D 轉換可將線性輸出電壓(或電流)與距離的關係轉換成相對的二進制值，在控制器端便可依其回饋數值計算並顯示實際單位上供使用者直覺判斷的數值(十進制)。

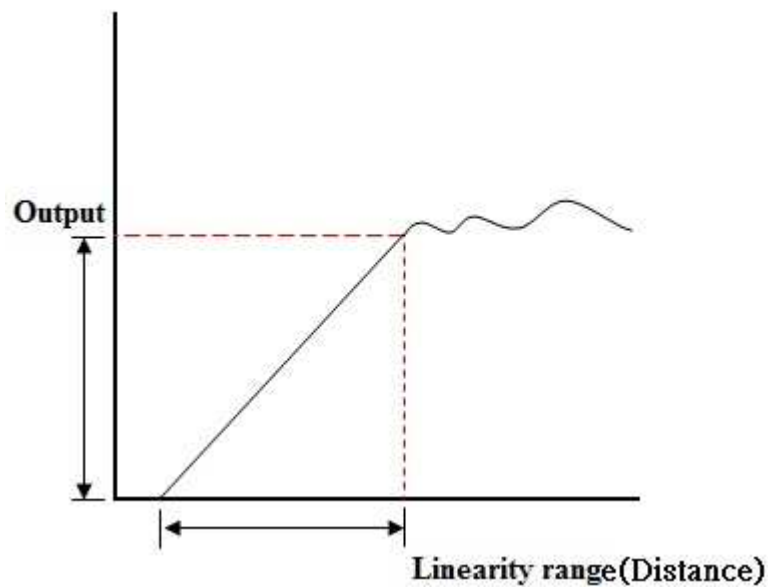


圖 2-15 類比近接距離與輸出關係

第三章 研究設備及方法

3.1 系統硬體架構

3.1.1 桌上型電腦

電腦在影像辨識過程中為一重要工具，影像在電腦中為數位資料，搭配影像處理軟體或演算法可將影像做適度的處理，供後續使用者快速篩選影像。實驗中使用 Intel Core2 1.86GHz，記憶體 2GB 規格的電腦來處理數位影像，並藉由 PCI 介面匯流排整合外部資料擷取。

3.1.2 CCD 攝像機

電荷耦合元件(Charge Coupled Device ; CCD) 是一種集成電路，它是一種半導體成像器件，具靈敏度高、抗強光、畸變小、體積小、抗震動等優點。如圖3-1所示，其上有許多排列整齊的電容(俗稱Sensor)，能感應光線的亮度的強弱，在每個電容單位上形成強弱不等的電荷，並將影像轉變成數字信號。經由外部電路的控制，串聯每個小電容能將其所帶的電荷轉給它相鄰的電容，到達最後一單位電容時，電信號傳至放大器上並將其轉換為電位，取樣其數位化信號存入記憶體內，組合成數位影像。

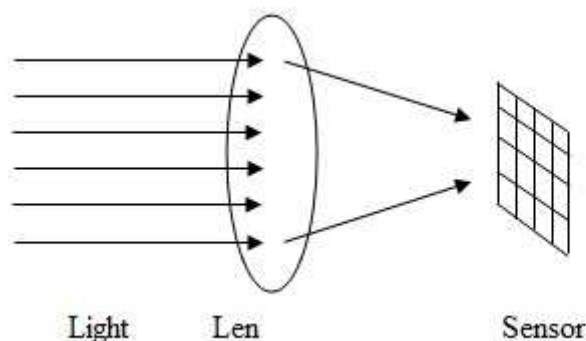


圖 3- 1 CCD 感測原理

CCD影像為畫素 (Pixel) 所構成，如圖 3-2，畫素為感光元件 (Sensor) 的陣列中的一個單位，依據製造廠商及規格的不同，畫素尺寸 (Pixel Size) 的大小介於 8~20 微米左右，畫素尺寸越小單位結構越緊湊，而解析度就越大。

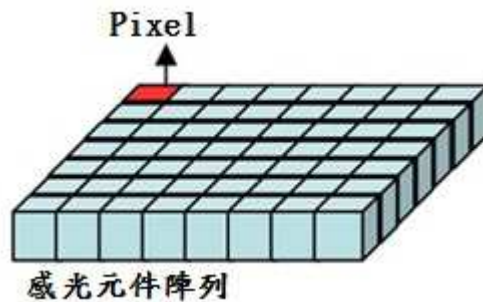


圖 3-2 畫素於感光元件陣列示意圖

CCD感光元件上可感應光線傳輸轉換為電子信號的區域尺寸稱為感光元件尺寸 (Sensor Size)，以量測對角線為尺寸依據(圖3-3)，目前於業界使用之典型尺寸為 1/4~1英吋。

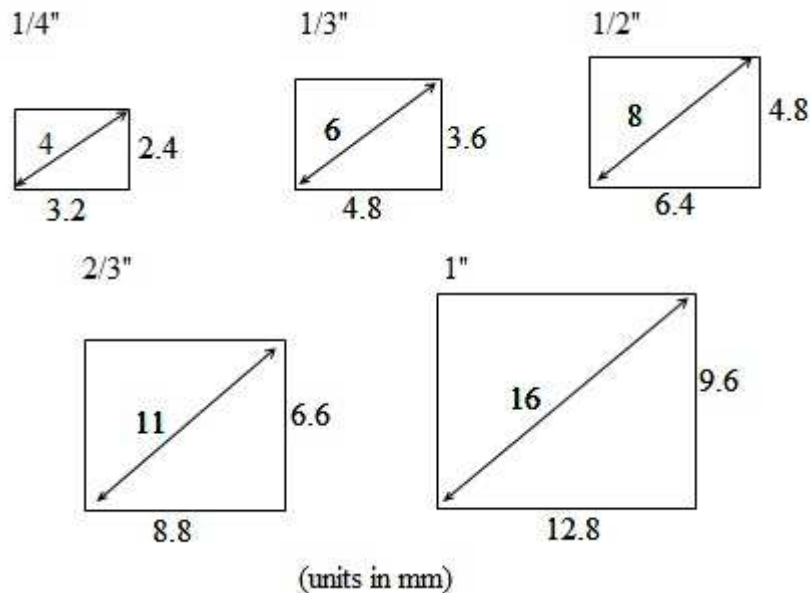


圖 3-3 Image Sensor Size

在色彩系統規範裡分為NTSC、PAL、SECAM制，前者與後兩者相異在於不同之交流電壓頻率為 60Hz 與 50Hz，影像線分別為 525 與 625 條。又因使用交流電壓頻率的不同，在使用區域被明顯的劃分。

NTSC (National Television Standard Committee)為美國國家電視視訊標準委員會的簡稱，該單位制定了俗稱美規電視視訊標準。除了美國，包括加拿大、墨西哥、日本及台灣（全世界共 31 國使用）都是使用 NTSC 標準。

NTSC 系統採用 60 Hz 的更新頻率，一張畫面通常有 525 條水平線(幀)，但實際在螢幕上看到的大約只有 487 條，每秒鐘約可以更新 29.97 張畫面，其規格寫法為 NTSC 標準影像解析度大約是 640 (H) x 480 (V) 畫素，每秒 30 張更新畫面(Frame)。

電子工業聯盟 (Electronic Industries Alliance - EIA) 是美國電子產品製造商的一個商業組織，由美國國家標準協會授權撰寫電子器件、消費電子產品、電信及網際網路安全等方面的標準。RS-170 為該單位所訂立的標準視頻信號。

RS-170 是一標準黑白 (Monochrome) 複合視頻訊號，其包含了時間及影像的資訊。RS-170 的類比訊號電壓介於 -0.286V 到 +0.714V，為 1 Volt 的振幅範圍。在黑白視頻訊號定義裡，一張畫面有 525 幀，每秒 30 Frame的更新速度下，於標準採樣範圍下掃描提供一 4:3 的數位化頻率。如圖 3-4所示，RS-170標準訊號在非交錯 (Non-interlaced) 及交錯 (Interlaced) 模式下，以 +0.054V為分隔點，此點稱為黑基準 (Black level)，以上為有效的視頻訊號，以下為掃描中所有同步的資訊，+0.714V為依參考的白基準 (White level)，RS-170訊號的飽合度 (Saturation value) 依據為黑基準與白基準參考線之間的電壓值。

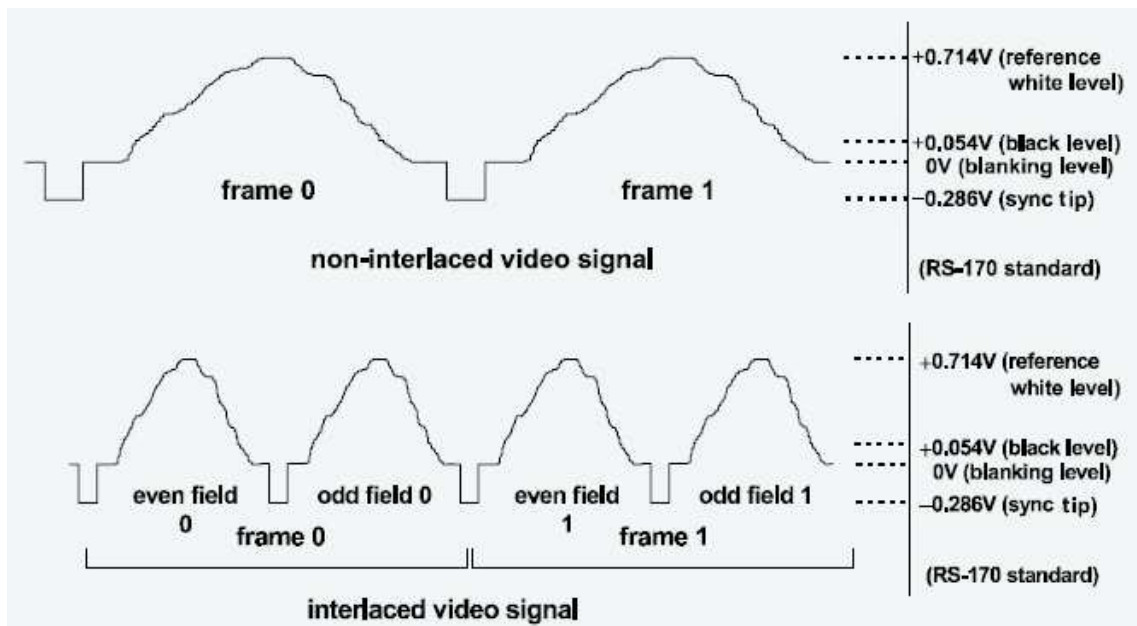


圖 3-4 S-170 standard
資料來源[38]

RS-170在非交錯與交錯的差別為交錯模式將影像分為兩個場 (Field)，不斷交錯偶數場 (Even field) 及奇數場 (Odd field) 以構成一畫面，在不同訊號模式下又衍生了三種不同型式的相機。

由於人眼視覺的更新率大約為AC照明光源60Hz的作業頻率，在每秒 30 幀 (Frame) 的更新率之下，人眼即可看到畫面呈閃爍情形。單色影像訊號的交錯式掃瞄作業則可將此現象降至最低。

以隔行掃描格式更新影像，整個顯示畫面以每秒 60 幀的速率分別更新偶數場及奇數場。輸出交錯式影像 (Interlaced image) 稱為面掃瞄 (Area scan) 相機。

如需要達到最高更新率條件，應用精確偵測或量測任何運動。為了加快取像速度，不使用上述於每幀中整合單數場與偶數場的方式，將僅由一個場組成一個幀像，其影像雖剩下一半的高度，但可達到一倍的更新率。此稱為非交錯式影像 (Non-interlaced image)，而輸出此種訊號類型的相機即稱為循序掃瞄 (Progressive

scan) 相機。

將每一次輸出一組水平影像線 (Video line) 蒐集並儲存這些影像線於快取 (On-board) 記憶體中，以預設的高度建立該影像。此方式稱為可變高度擷取 (Variable height acquisition, VHA) 模式。在此模式中，將所蒐集的影像線整合為一組完整影像，取像時輸入訊號則保持作動 (Active)。當訊號轉為非作動 (Inactive) 時，由各線段依序所組成的影像即傳輸至系統記憶體中，此功能相機稱為線掃描 (Line scan) 相機。線掃描相機往往用於環狀物件的成像作業，可將完整環狀工件表面的平展 (Flattened)。

RS-170 規範之相關參數如表3-1。

表 3- 1 RS-170 規範相關參數

影像線 / 幀的數量	525
線頻率	15.734 kHz
線持續期間	63.556 MicroSec
作動水平期間	52.66 MicroSec
作動畫素 / 線的數量	640

依參數計算下列各式

畫素時脈 (Pixel clock, PCLK) 頻率：每畫素被擷取的頻率，如圖3-5所示。

$$(640 \text{ pixels/line}) / (52.66 \times 10^{-6} \text{ sec/line}) = 12.15 \times 10^6 \text{ pixels/sec (12.15MHz)} \quad (3.1)$$

作動影像訊號加上時脈資訊的畫素線條總長度

$$63.556 \times 10^{-6} \text{ sec} * 12.15 \times 10^6 \text{ pixels/sec} = 772 \text{ pixels/line} \quad (3.2)$$

幀率 (Frame rate)：每秒更新的畫面數量

$$(15.734 \times 10^3 \text{ lines/sec}) / (525 \text{ lines/frame}) = 30 \text{ frames/sec} \quad (3.3)$$

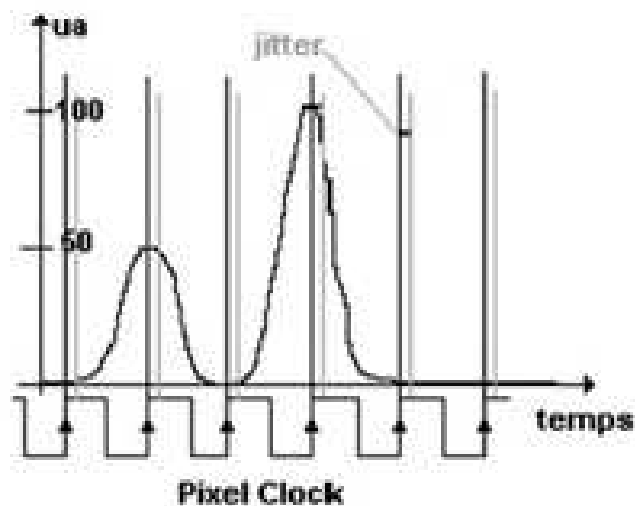


圖 3-5 畫素時脈示意圖

本研究採用Teli公司所生產，其型號為CS8420i，如圖 3-6 所示，屬類比式CCD 攝像機，其影像感測器為交線傳送式 (Interline transfer) CCD，符合 RS-170 standard 規範。



圖 3- 6 Teli CS8430i CCD 攝像機

在型式上為面掃描攝影機 (Area Scan CCD) 為 2 : 1 交錯的掃描系統(即為以兩個frame合成一張影像)，其優點是在CCD感光晶片中每一排感測元件皆在同一時間曝光，因此可同時獲得一張完整的畫面，其詳細的規格如表 3-2 所示：

表 3- 2 Teli CS8420i specification

Image sensor	Active pixel	768(H) * 494(V)
	Active image area	6.5mm(H) * 4.85mm(V)
Scanning frequencies	Horizontal drive	15.734kHz
	Vertical drive	59.94kHz
Aspect ratio		4 : 3
Video output		VS(Video + SYNC) : 1.0V

Electronic shutter	ON/OFF selectable Shutter speed
	1/60,1/100,1/250,1/500,1/1000, 1/2000,1/4000,1/10000 sec
S/N(luminance)	56dB
Power source	12VDC±10%
Lens mount	C-mount

3.1.3 影像擷取卡

影像擷取卡是從類比視訊訊號或數位視訊串流中，抓取連續之數位靜態畫面（frame）的電子裝置。此類裝置常見於電腦視覺系統中，畫格以數位的形式被擷取，而產生之數位訊號直接或經壓縮過再顯示、儲存或傳送至其他裝置。

實驗中使用美國國家儀器（NI）所生產的影像擷取卡，型號為 PCI-1411 如圖 3-7 所示，處理 CCD 攝像機的類比影像訊號轉成數位影像訊號到電腦中作影像的處理。



圖 3-7 NI PCI-1411 影像擷取卡

影像擷取卡工作原理如圖 3-8 所示。在符合影像擷取卡之外部類比影像訊號經外部觸發 (External Trigger) 輸入後，在影像解碼器 (Video Decoder) 獲得數位影像信號的轉換，並在顏色及空間處理器 (Color Space Processor) 訊號分類，連帶依查表法 (Look-up-table : LUT) 做比對，儲存影像於卡片上的同步動態隨機存取記憶體 (Synchronous Dynamic Random Access Memory, SDRAM) 內，以個人電腦介面 (Personal Computer Interface, PCI) 與電腦連結，做後續影像的處理。

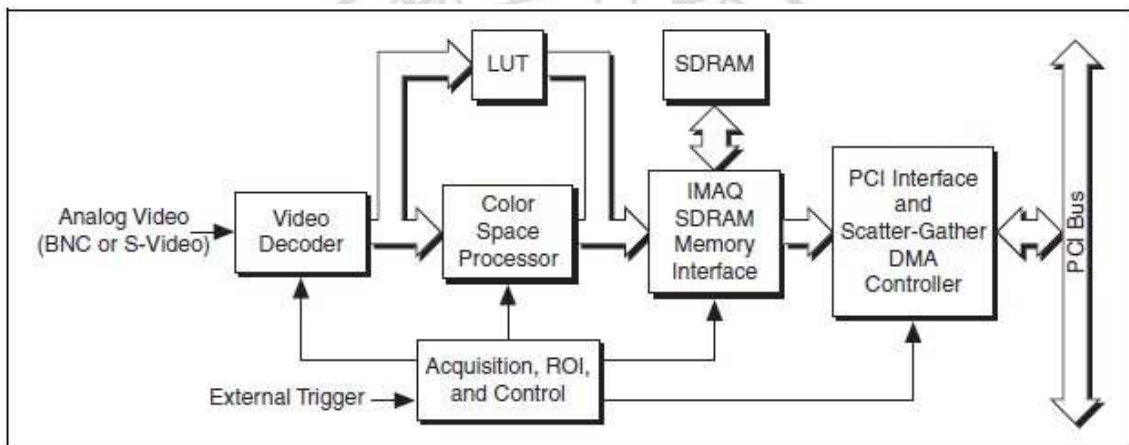


圖 3-8 影像擷取卡工作原理
資料來源[37]

在影像擷取卡連接器的構造如圖 3-9，連接埠 VIDEO 為處理複合影像輸入；連接埠 S-VIDEO 處理包含光度 (Luma) 與色度 (Chroma) 兩影像訊號輸入；連接埠 TRIG 接受外部取像信號輸入，VIDEO 與 TRIG 皆採 BNC (Bayonet Neill-Concelman) 連接器，TRIG 接受標準 5V 的 TTL (Transistor-Transistor Logic) 訊號控制，電路配置如圖 3-10。

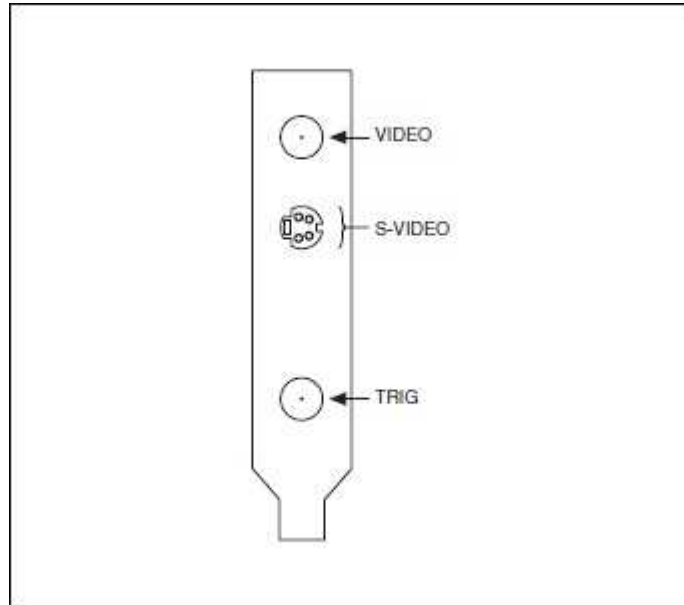


圖 3- 9 NI PCI-1411 影像擷取卡連接器構造
資料來源[37]

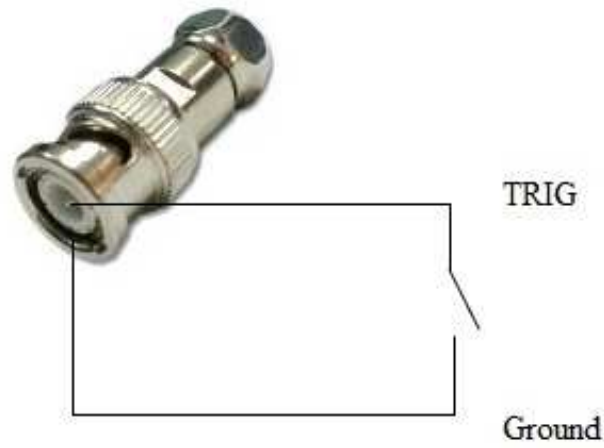


圖 3- 10 BNC Connector TRIG 電路配置

3.1.4 光源

機器視覺之檢測結果，光源照明 (Illumination) 為最大的影響因素，照明得當會可以省去後續複雜的影像判別運算，在檢測成功率、運算速度方面都有所提升。

目前市場上光源種類分為以下五種：

1. 鹵素燈 (Halogen)
2. 高週波螢光燈 (Fluorescent)
3. LED光源
4. 金屬燈泡 (Metal Halid) 或氙燈 (Xenon)
5. 雷射光源 (Laser)

依據CCD、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. 前光源 (Front Illumination)

將光源置於 CCD 與工件之間，光源照射到工件表面回傳到 CCD sensor上，如圖 3-11、圖 3-12 所示，分別為高角度照明及低角度照明，針對工件表面的紋理 (Texture) 狀況作選用。

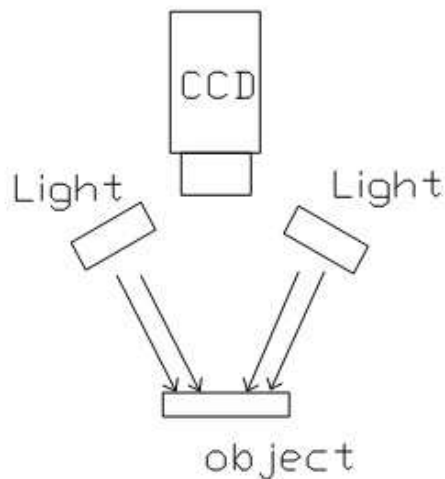


圖 3-11 高角度照明

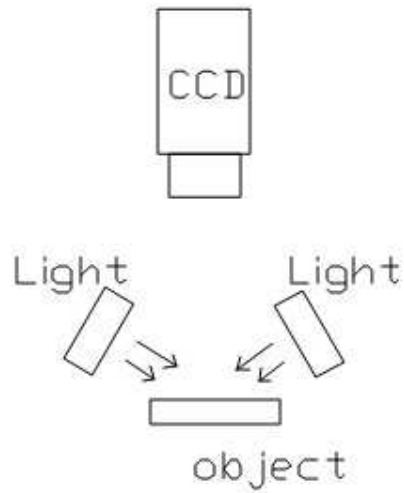


圖 3-12 低角度照明

2. 背光源 (Back Illumination)

光源置於工件背後打光，使未受遮斷之部分光源傳回 CCD sensor 上，攝影機可在前方看到產生的工件輪廓，取像上能得到較佳的對比度，如圖 3-13。

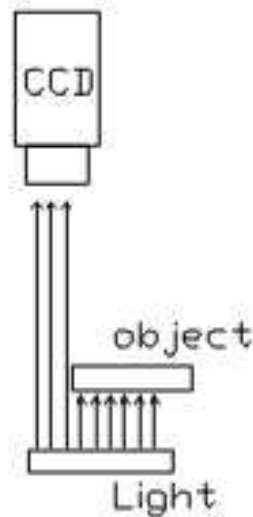


圖 3-13 背光照明

3.同軸光源 (Coaxial Illumination)

光源置於 CCD 與工件之間，經過特殊光學構造將光源平行並均勻的落至工件表面，不同於前光源會於工件表面不平整時會有陰影出現的狀況。如圖 3-14 所示，光源使用一個半透鏡以 45° 角置於攝影機前方，從鏡子的旁邊打擴散光，一半的光線會經由鏡子反射到物體上，另一半則穿過鏡子而消失掉，至於從物體反射回來的光線，一半傳回來穿過鏡子，而在攝影機上成像，另一半則穿過鏡子而消失掉。

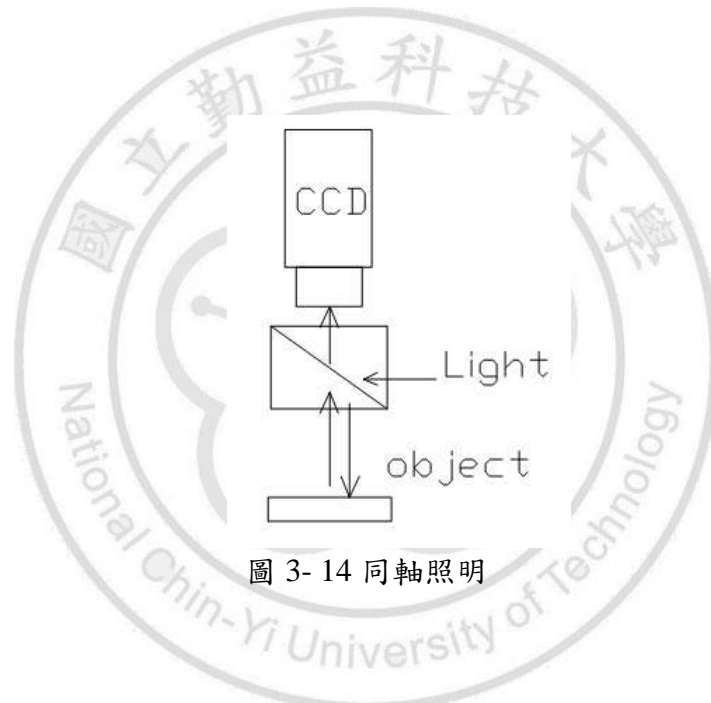


圖 3-14 同軸照明

選擇光源除了要考慮光源照明的方式外，尚需考慮光源的強度、均勻性以及光譜顏色等因素，在自動化 FA 的整合裡，穩定度及使用壽命也為選用參考要素。在光源最終選用上，無所謂一定的照明模式，只有較合適的照明模式，故光源選用上對整體機器視覺是十分重要的。

本研究為檢測齒型的外觀，以背光源的打光方式能將待測物的輪廓得到較佳的對比，選用紅光 LED 背光板 (圖 3-15)，可提供光譜穩定及符合 CCD 攝像機

的Sensor光譜反應區，並具使用壽命長、耐震的優點，具備視覺檢測合適的打光條件。

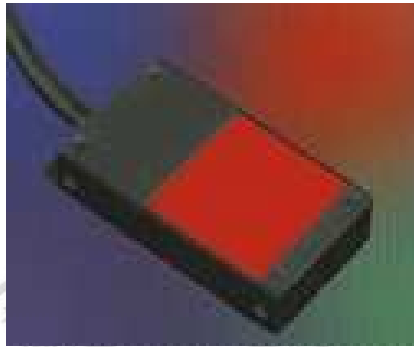


圖 3-15 紅光 LED 背光板

3.1.5 可程式邏輯控制器

可程式邏輯控制器（Programmable Logic Controller，PLC）為一種具有微處理機的數位電子設備，用於自動化控制的數位邏輯控制器，可依使用者編輯控制指令隨時載入記憶體內儲存與執行。可程式控制器組成包含CPU、記憶體、輸入輸出單元、電源模組等單元。

廣泛應用於工業控制領域，可取代成百上千的繼電器及計數器才能組成的自動化邏輯電路，經過簡易電路配置及編程邏輯程式，將可程式邏輯控制器各單元依所規劃條件動作，基本上已經代替了這些大型電路配置作業。

本研究選用三菱 FX Series PLC（如圖 3-16），規劃輸入、輸出訊號，藉以控制馬達轉動及機器視覺取像。



圖 3- 16 三菱 FX Series PLC

3.1.6 人機介面

人機介面泛指人與機械之間的介面 (Human Machine Interface, HMI)，所以在功能上簡單的區分為輸入與輸出，輸入為使用者來進行機械或設備的操作，來達成控制，輸出為機械或設備發出來的訊號，通知並顯示狀態。規劃良好的人機介面會幫助使用者更簡單、更正確、更迅速並彈性的操作機械，也能使機械發揮最大的效能。

本研究選用 Proface AST-3301B 人機介面 (圖 3-17)，配合人機介面軟體規劃達上述功能。



圖 3- 17 Proface AST-3301B 人機介面

3.1.7 伺服馬達

“伺服”(Servo)乃起源於機構的基礎，在於強調機械系統的閉迴路控制技術，隨著微處理器及積體電路的發展，伺服理論也應用於自動控制的各個領域。伺服馬達(Servo motor)為一應用伺服系統特別設計之馬達，普遍使用在工業上需精確定位的場合。

伺服馬達應用霍爾效應(Hall-effect)感測元件來偵測轉子的絕對位置以判別動作的觸發時序，將傳統機械式電刷換相(Mechanical commutation)以電子式換相(Electronic commutation)替代，解決了電刷安裝、損耗更換問題及相關的限制。

伺服馬達在控制上接收 PWM(Pulse Width Modulation:脈衝寬度調製)的信號進行速度與位置的條件運動；其也具通訊協定(Communication Protocol)的格式，可透過通訊方式直接下指令使伺服馬達動作。伺服馬達為閉迴路控制系統，在各種控制模式下，皆由編碼器與馬達產生的電流將馬達的轉速、扭矩及位置等物理量檢出(圖 3-18)，間接來達成精確控制。

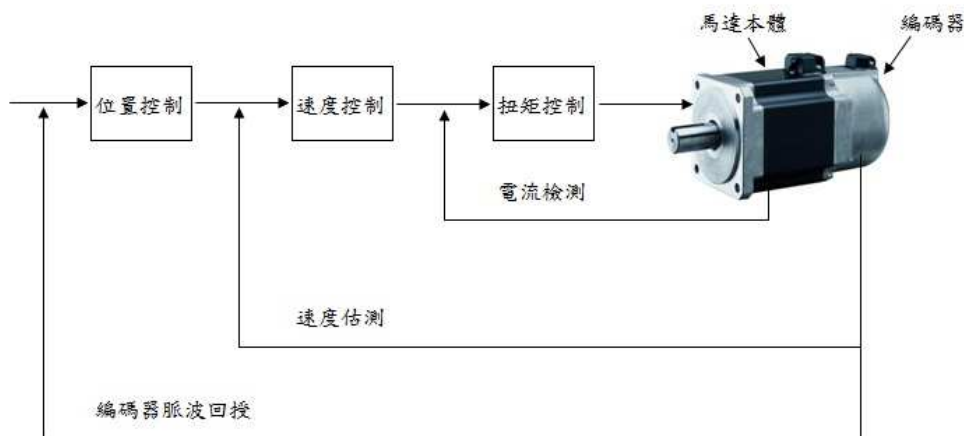


圖 3-18 伺服馬達基本控制架構

伺服控制模式，如圖 3-19 所示，包含位置控制模式、速度控制模式、轉矩控制模式。

位置控制模式是以高速脈波串控制伺服馬達速度及方向，並依其編碼器解析度分割精度。當處於急遽的脈波變化時，可藉由調整位置及速度的相關參數，來達成平穩的啟動及停止。配合增益的調整可克服機台端對馬達的負載慣性比、機械傳動剛性及對動作頻度與加工精度的要求，也具備限制扭矩輸出功能，降低急遽加減速或過載造成的主電路過載和功率元件的影響。

速度控制模式是對伺服馬達以穩態速度控制的使用模式，不同於 AC 馬達的是有較平穩的速度曲線特性，在運轉過程中，控制器會針對速度參數作閉迴路的控制，確保速度的穩定，有別於變頻器的開迴路控制；在加減速特性也較優，可在較短的時間內加速到工作速度，或短時間的動作停止。

轉矩控制模式是控制伺服馬達的輸出轉矩，限定馬達運轉轉矩上限，常使用於張力及扭矩的應用場合，搭配速度相關參數設定，可防止無負載時伺服馬達運轉速度過高的異常動作。

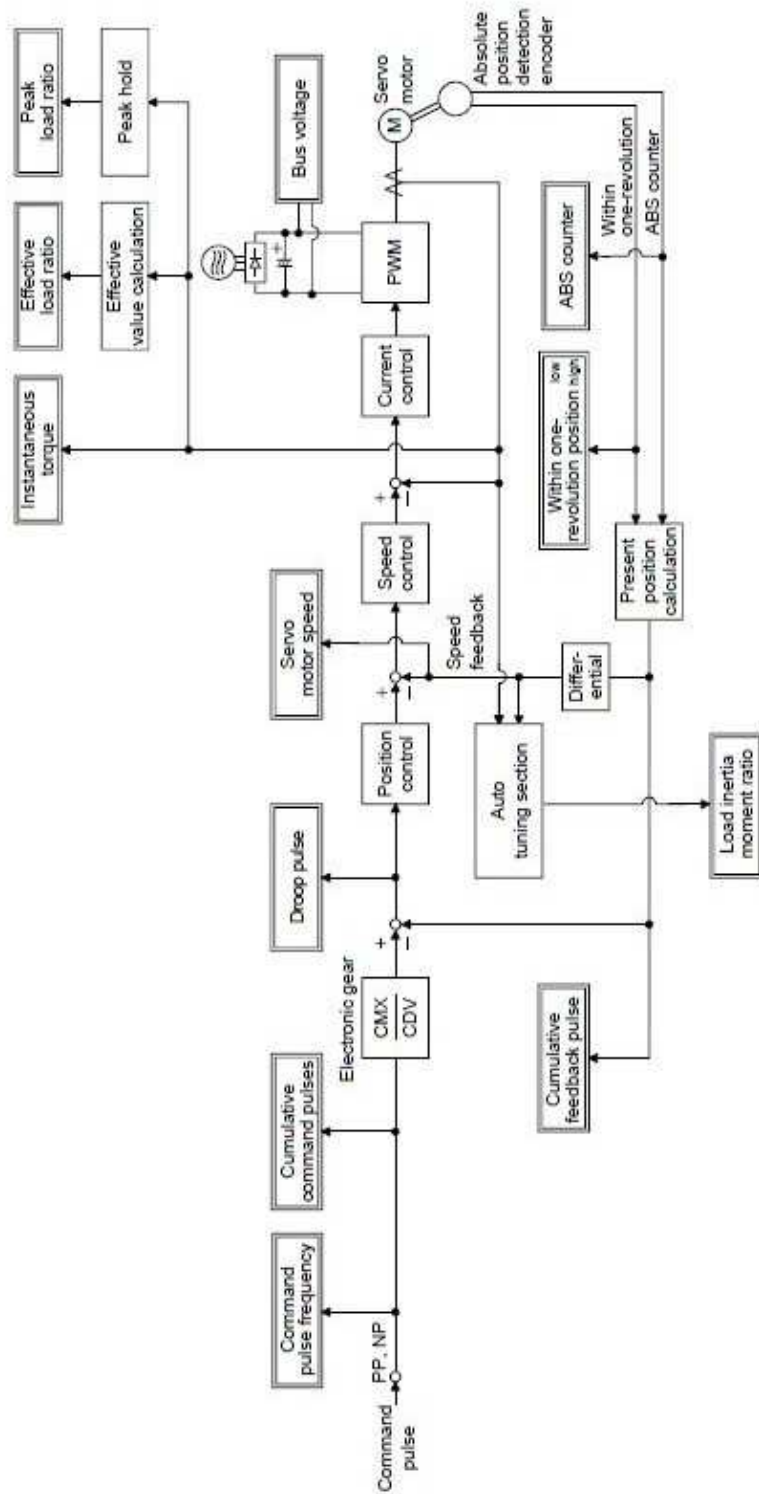


圖 3-19 伺服馬達控制模式示意圖

資料來源[36]

實驗中伺服馬達選用三菱 MR J2-Super Series 馬達，如圖 3-20，使用定位模式功能，其帶動機構作精密的定位，輔助機器視覺檢測取像。



圖 3-20 三菱 MR J2-Super Series 伺服馬達

3.1.8 光纖感測器

光纖為光導纖維的簡稱，是一種光在玻璃或塑料製成的纖維中的全反射原理傳輸的光傳導工具。通常光纖的一端的發射裝置使用發光二極體或一束雷射將光脈衝傳送至光纖，光纖的另一端的接收裝置使用光敏元件檢測脈衝。

實驗中光纖感測器使用Omron E32-D21R + Keyence FS-N11N（圖 3-21），功能為檢測待測物上特徵，輔助特徵上的第一點定位，供後續檢測定位需求作為初始點參考。

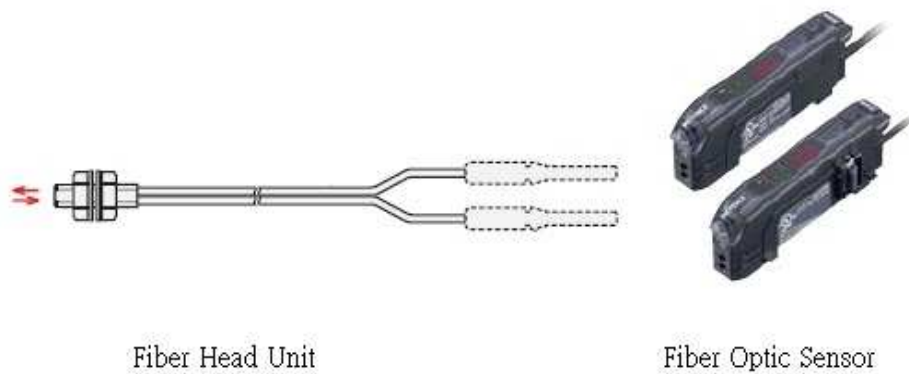


圖 3-21 光纖感測器

3.1.9 類比近接感測器

本研究選用 Balluff BAW M18ME-UAC50B-BP05 類比近接開關，其為 DC 0~10V 類比電壓輸出，如圖 3-22 所示。輸出電壓在 Min Active Range 及 Max Active Range 兩點之間呈線性輸出。電氣及機械規格如表 3-3 所示，將量測面置於其線性範圍內，藉此蒐集電壓信號換算成實際距離，以間接量測工件的平面度。

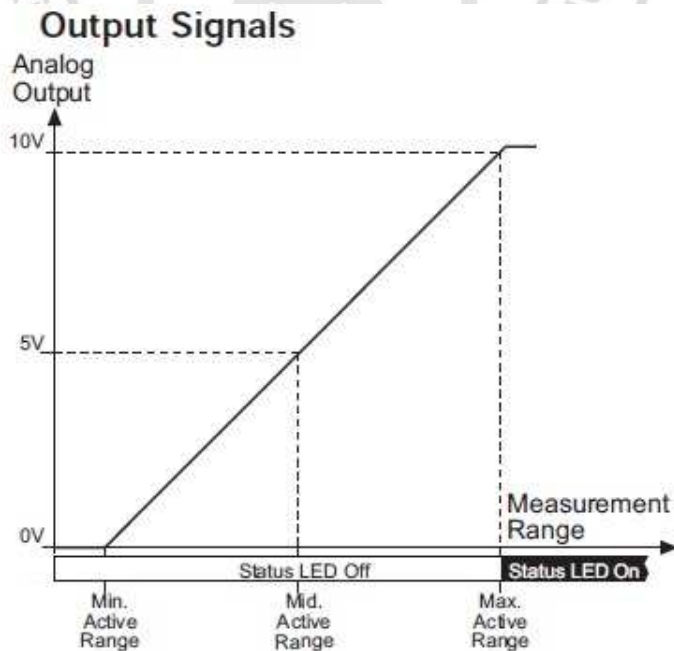


圖 3-22 類比近接開關之輸出信號與量測距離關係

表 3-3 類比近接開關電氣/機械規格

Electrical data		Mechanical data	
Rated operation voltage	DC 24V	Midpoint of linear range(se)	3mm
Output signal	0~10V	Mounting	M18/flush
Output voltage at se	5V	Working range	1~5mm
Cutoff frequency	500 Hz	Repeatability	3%
Linear range	1~5mm	Measurement velocity	40m/s
Non-linearity	±120μm	Repeat accuracy	±8.0μm

3.1.10 量測機構

量測機構總成如圖 3-23 所示，主體架構由 350mm*350mm*12mm (Lenght*Width*Height) 鋁板、60mm*60mm*150mm ((Lenght*Width*Height) 鋁擠型材料及內六角螺絲鎖固而成，在 CCD 攝像機固定座、光纖感測器固定座和伺服馬達固定座採可滑動調整設計，可依鋸片直徑大小做調整切換。

金屬鋸片於鋸片固定座上置放與其平面貼齊，以螺絲固定防止動作時慣性滑動，而鋸片固定座又以正時皮帶輪組 (圖 3-24) 帶動，正時皮帶選用圓齒型皮帶，在與正時皮帶輪接觸傳動時機構背隙降到最低。

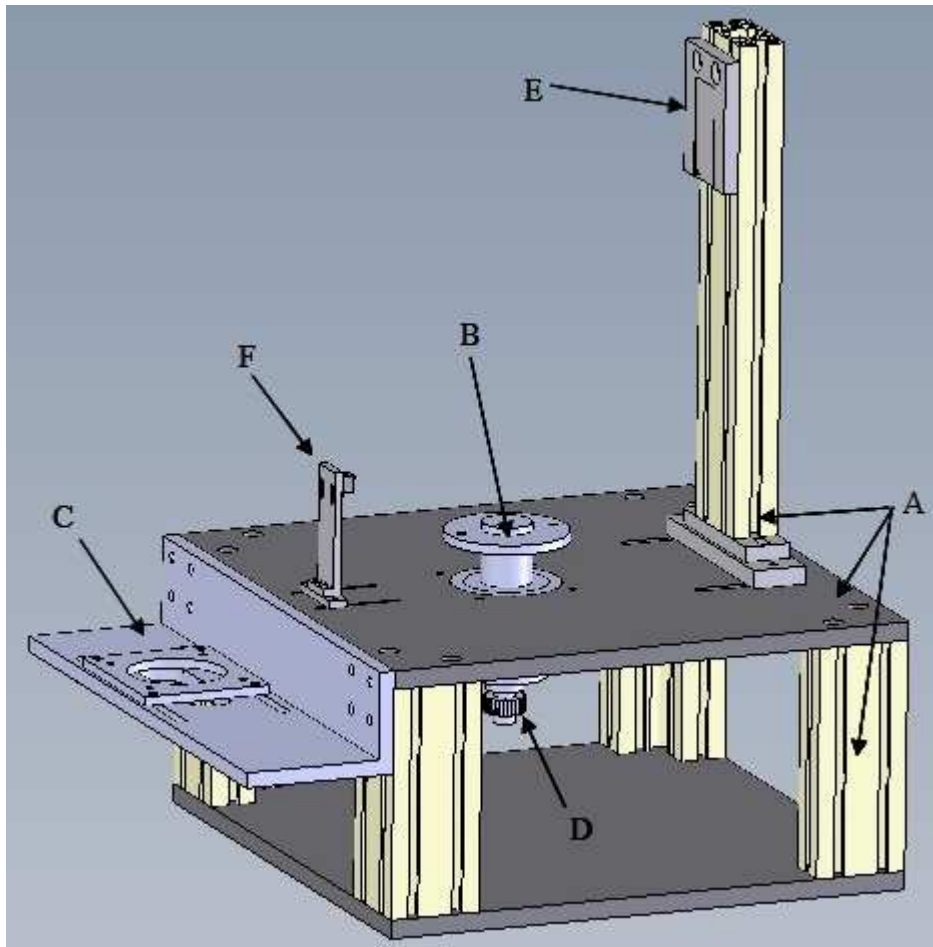


圖 3-23 量測機構

- A. 主體架構
- B. 金屬鋸片固定座
- C. 馬達固定座
- D. 正時皮帶輪
- E. CCD 攝像機固定座
- F. 光纖感測器固定座



圖 3-24 正時皮帶輪組

3.1.11 量測系統整合

鋸片量測硬體整合如圖 3-25 所示，金屬圓鋸片鎖附於鋸片固定座，鋸片固定座末端與伺服馬達軸心以正時皮帶連接傳動，鋸片能依伺服馬達所分割解析度與正時皮帶輪比例關係，達成精確定位。光纖感測器固定於光纖感測器固定座上輔助齒型定位，而類比近接開關固定於鋁擠型支架上量測平面度。鋸齒視覺量測置放 LED 背光板於鋸片底部投射光源，使 CCD 攝像機於鋸片上方以背光取像模式擷取鋸齒影像。

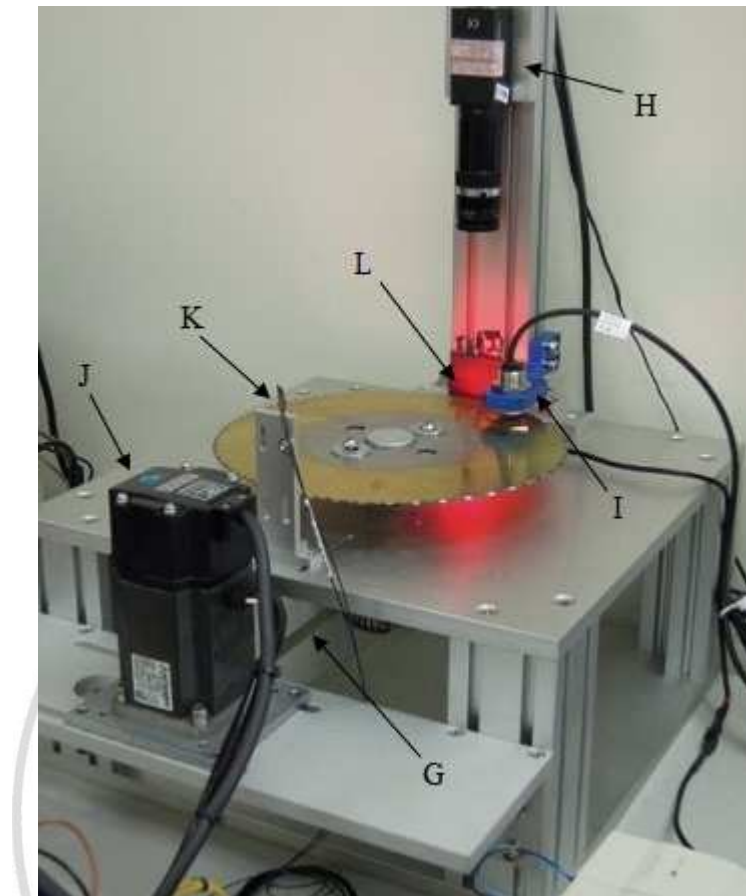


圖 3-25 鋸片量測硬體整合圖

- G. 正時皮帶
- H. CCD 攝像機
- I. 類比近接開關
- J. 伺服馬達
- K. 光纖感測器
- L. 紅色背光源

3.2 軟體

實驗中軟體分為影像處理、馬達軸及邏輯判斷、參數設定及狀態監控三部分。

如圖 3-25所示。



圖 3-26 實驗軟體功能區分

3.2.1 影像處理軟體

影像處理軟體以 LabVIEW 8.6 圖控語言撰寫，LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench，實驗室虛擬儀器工程平台) 是由美國國家儀器公司所開發的圖形化程式編譯平台。LabVIEW 屬於一高階程式語言，圖形化程式與傳統程式語言之不同點在於程式流程採用"資料流"之概念，單一圖像 (Icon) 鍵如功能區塊 (Function Block) 封包，圖形間連結整體程式架構，使得流程圖構思等於程式的撰寫。

軟體提供虛擬儀表的開發，規劃完成後可藉由人機介面控制或監控儀器，取其提供之機器視覺函式庫進行鋸片檢測視覺系統開發。影像辨識分析架構如圖 3-26所示。

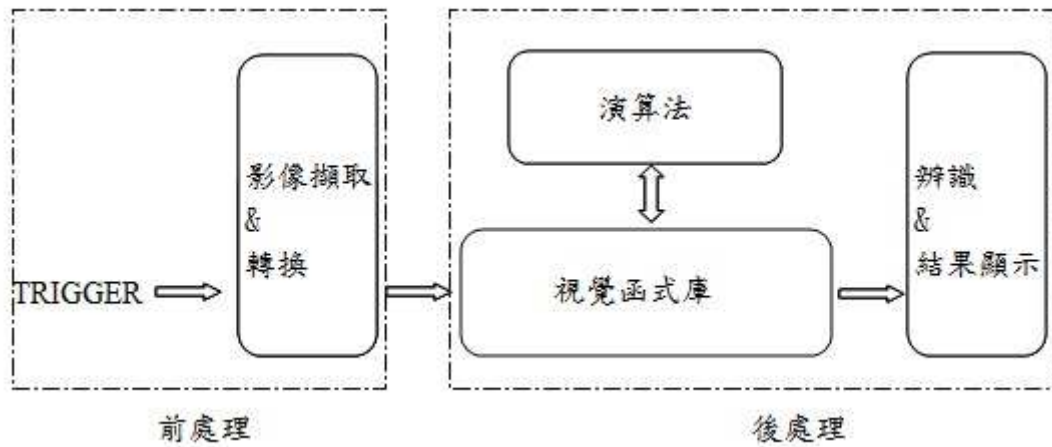


圖 3-27 影像辨識分析架構

3.2.2 可程式邏輯控制器軟體

可程式邏輯控制器軟體取決於硬體廠牌，使用三菱 GPPW-E8.45X PLC 軟體規劃伺服馬達運動、光纖感測器訊號檢知、取像觸發訊號等。規劃動作流程如圖 3-27 所示：起動伺服馬達運轉(速度一)配合光纖感測器訊號尋找齒狀特徵，找尋到特徵點後，依視覺取像位置(速度二)作取像定位；控制伺服馬達依齒數 (n) 以速度三分割角度循環定位取像及平面度量測，待完成所有齒型位置點檢測後結束。

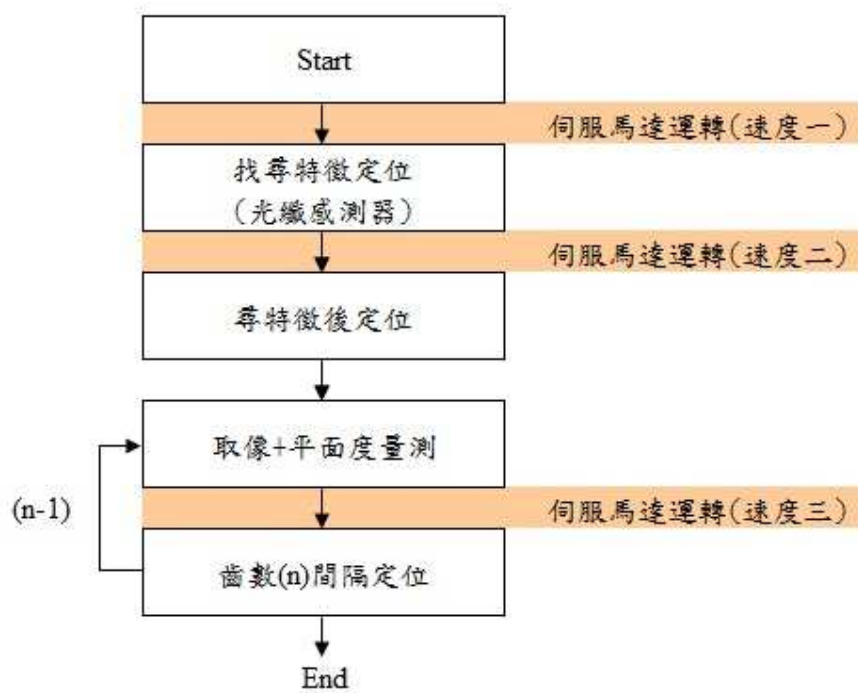


圖 3-28 PLC 規劃動作流程

3.2.3 人機介面軟體

HMI 軟體為 Proface Pro-EX 2.7 版本，藉此規劃伺服馬達的速度、定位位址、平面度數值的彈性參數設定及監控顯示(圖 3-28)。

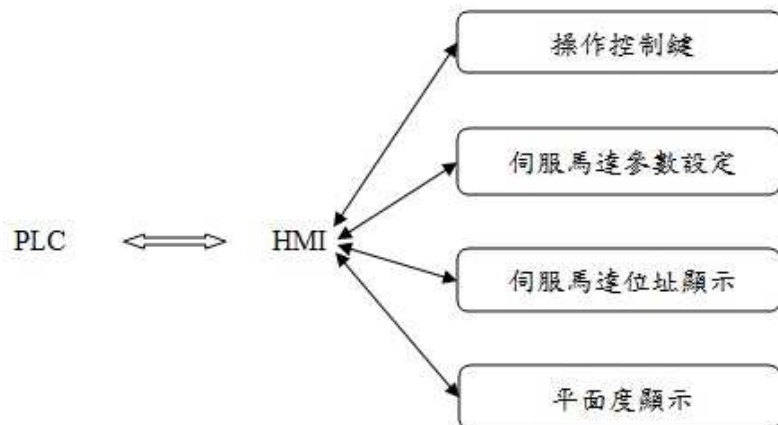


圖 3-29 HMI 規劃功能

3.3 量測流程

圖 3-29 為實驗流程圖。實驗架構在 PLC 端除了編寫動作流程程式外，還需對馬達於整體機構慣性調諧(Inertia Tuning)、校正類比近接開關線性，使馬達妥當穩定，不影響平面度量測及鋸齒取像。PC 端由 LabVIEW 程式對鋸齒特徵作檢測，將每次檢測結果顯示於電腦螢幕上。

CCD 攝像機準備階段為將光源亮度調整，使其特徵適度顯示，影像尺寸與實際比例校正所費時間微乎其微，故規劃於程式中匯入尺寸校正影像進行比對。



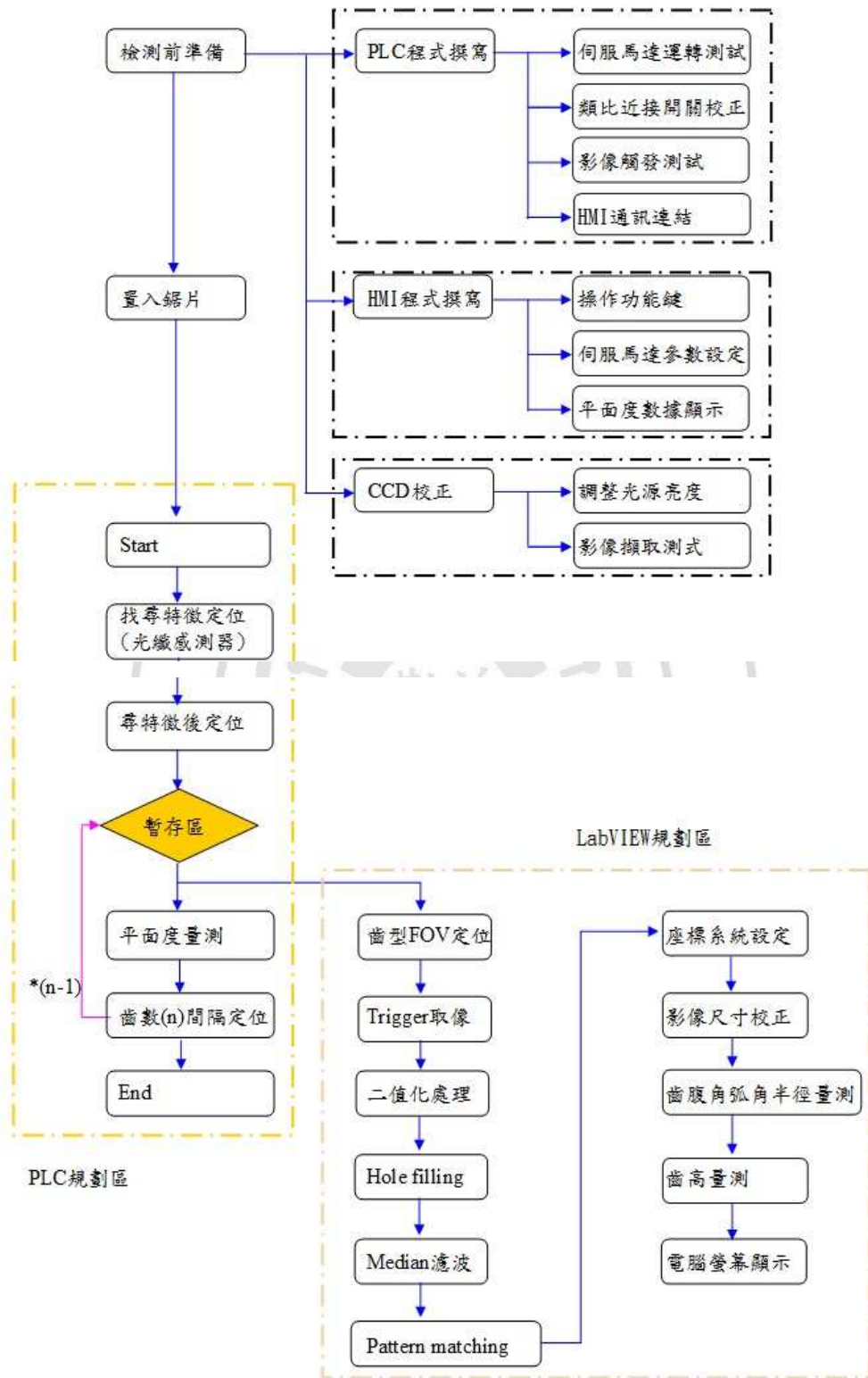


圖 3-30 實驗流程圖

第四章 實驗結果與分析

在量測原理以及系統架構的基礎下，本章將對執行步驟包含伺服馬達調諧、類比近接開關校正做介紹，最後對綜合量測結果做深入分析。

4.1 執行步驟

4.1.1 伺服馬達調諧

在檢測鋸齒為 140 齒/360° 的條件下，規劃伺服馬達解析度的最小分割角度，且一次側伺服馬達為 20 齒的皮帶輪，二次側為鋸片固定座為 28 齒的皮帶輪，如圖 4-1 所示，需設定伺服馬達的電子齒輪比（CMX：指令脈衝分子，CDV：指令脈衝分母），使控制端省去脈波數計算，也可使整定時間降低。



圖 4-1 轉動機構示意圖

脈波處理過程如圖 4-2 所示，經過電子齒輪比換算後可由偏差計數器計數脈波數量差異並予以補足脈波數，規劃從動端為 36000 pulse/rev，在計算 CMX / CDV 之比值如 (4.1) 式所示。故其從動端最小解析度如 (4.2) 式所示，在主動端控制輸出的脈波量以 (4.3) 式表示。

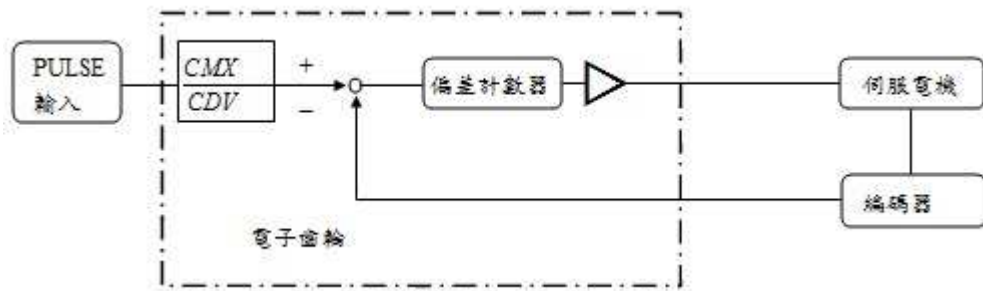


圖 4-2 電子齒輪

$$\frac{CMX}{CDV} = \frac{131072 \text{ pulse/rev}}{36000 \text{ pulse/rev}} = \frac{4096}{1125} \quad (4.1)$$

$$\text{最小解析角度} = \frac{360^\circ (\text{圓一周角度})}{36000 \text{ pulse/rev} \times 1 \text{ rev}} = 0.01^\circ / \text{pulse} \quad (4.2)$$

從動端一圈，主動端輸入脈波數

$$36000 \text{ pulse/rev} \times \frac{28}{20} = 50400 \text{ pulse} \quad (4.3)$$

由於以小帶大的皮帶輪傳動模式在二次側會有慣性產生，於伺服馬達端會因此而抖動修正，影響到定位精準度及整定時間，以手動模式調整慣性比等相關參數 (表 4-1)，可除去伺服馬達抖動及機械振動。

表 4-1 位置控制模式相關增益參數

符號	名稱
PG1	位置環增益 1
GD2	負載及伺服電機的轉動慣量比

VG2	速度環增益 2
VIC	速度積分補償

調諧步驟如圖 4-3 所示。先藉由推算負載與伺服馬達慣量比 GD2，再依序調整 VG2、VIC 等參數，分別代表伺服馬達的位置環響應速度、速度環響應速度、及靜態誤差的調整。

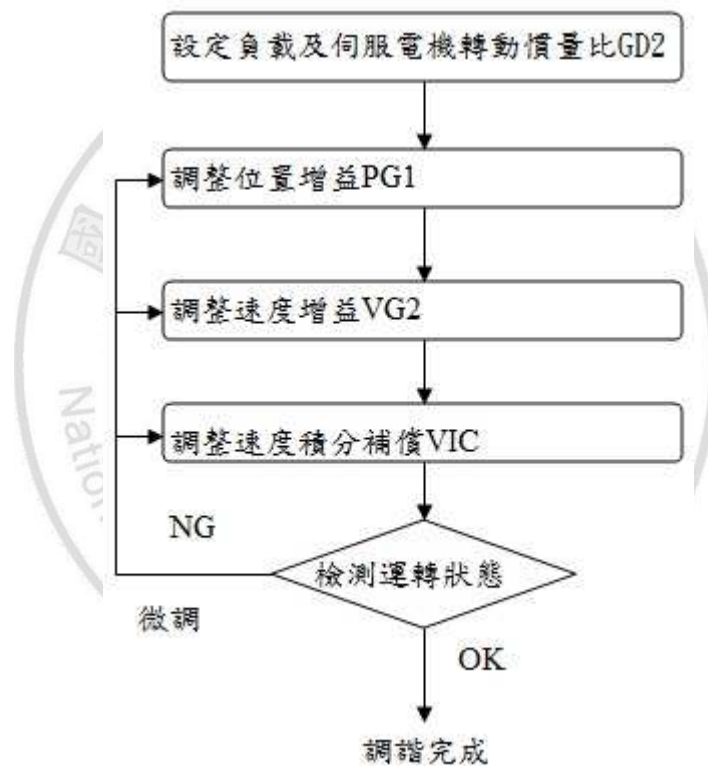


圖 4-3 伺服馬達調諧步驟

PLC 端為循序控制，當 CCD 攝像機取像及類比近接開關檢測取樣完後，伺服馬達接收 PLC 端送出之脈波循環動作。

4.1.2 類比近接開關校正

類比近接開關 0~10V 輸出，線性全距 4mm，以 PLC 12bit / 10V 之 A/D 模組轉換信號，其關係如圖 4-4。

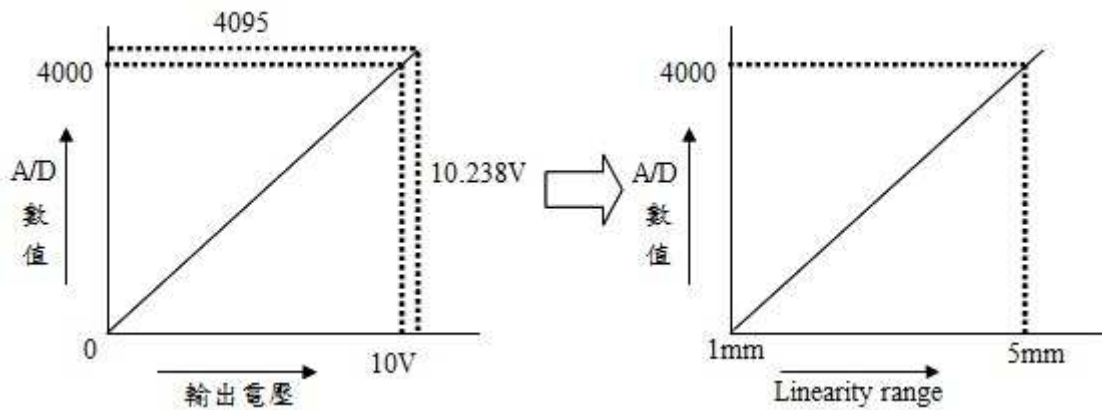


圖 4-4 類比近接開關與 A/D 轉換關係

由上圖得知最小解析度為 0.001mm / 刻度，但解析過小檢測精度過高，A/D 數據為大幅數據飄移判讀的直覺性較差，故將全解析數值縮小 1/10，則量測解析度為 0.01mm 即合乎使用。

校正步驟為將類比近接與鋸片距離移至 A/D 數值"58"處，再增加 2mm 墊片，A/D 數值為"313"，依實際數據作區段線性校正，改變線性範圍的斜率，得到最佳線性比。校正過程如表 4-2 所示。

表 4-2 類比近接校正紀錄

假設 $1 < x < 3$ (mm)

CA(mm)	x	x+2	2
CB(A/D 數值)	58	313	255
線性比($2*100/255$)			0.784314
校正斜率	0.79		
CC(A/D 數值)	45.82	247.47	201.45
線性比($2*100/201.45$)			1.00725

CA：實際數據(mm)，

CB：校正前 A/D 數值，

CC：校正後 A/D 數值($CC=CB*校正斜率$)

在校正斜率 0.79 下(圖 4-5)，得到區段內最佳的線性比，最後將 Sensor 與鋸片距離移至 A/D 數值約為"190"處，可使量測距離皆在校正之線性範圍內。

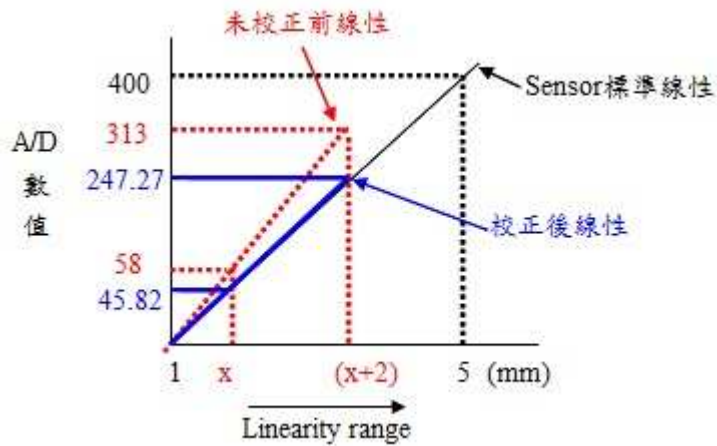


圖 4-5 類比近接開關線性校正

4.1.3 機器視覺執行步驟

設定取像的 FOV，選用 C-Mount 鏡頭搭配 CCD 攝像機取像，依設定工作距離 (Work Distance, WD) 選用其他相關硬體搭配，並計算影像最小可解析度。相關硬體規格選用流程如圖 4-6。



圖 4-6 視覺選用流程

如圖 4-7 為硬體推算的簡易示意圖，(4.4)式大略推算工作距離及鏡頭焦距

(Focal Length, FL)與延伸環長度 (Extend Length, EL) 的相關計算。

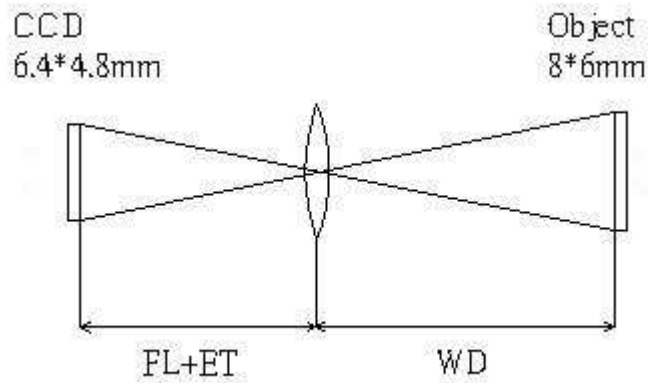


圖 4-7 視覺硬體推算示意圖

如上圖所示，可以 H1 代表待側物端影像高度，H2 代表 CCD 端成像高度，藉由以下計算相關位置及參數。

$$\frac{H1}{H2} = \frac{WD}{(FL + EL)} \quad (4.4)$$

$$H1 = 8\text{mm}, \quad H2 = 6.4\text{mm}, \quad FL = 50\text{mm}, \quad WD = 125\text{mm}$$

$$\frac{8\text{mm}}{6\text{mm}} = \frac{125\text{mm}}{(50\text{mm} + EL)}$$

$$EL = 43.75\text{mm}$$

依規格選用可選 50mm 延伸環

經由以上相關參數設定後，CCD 攝像機取得鋸片齒型輪廓影像，並套用於第二章影像處理方法中，以量測鋸片的齒腹弧角半徑及齒高的數據，可快速量測及資料數據化，其未經處理初期影像如圖(4-8)。以下為其詳細演算法執行步驟：

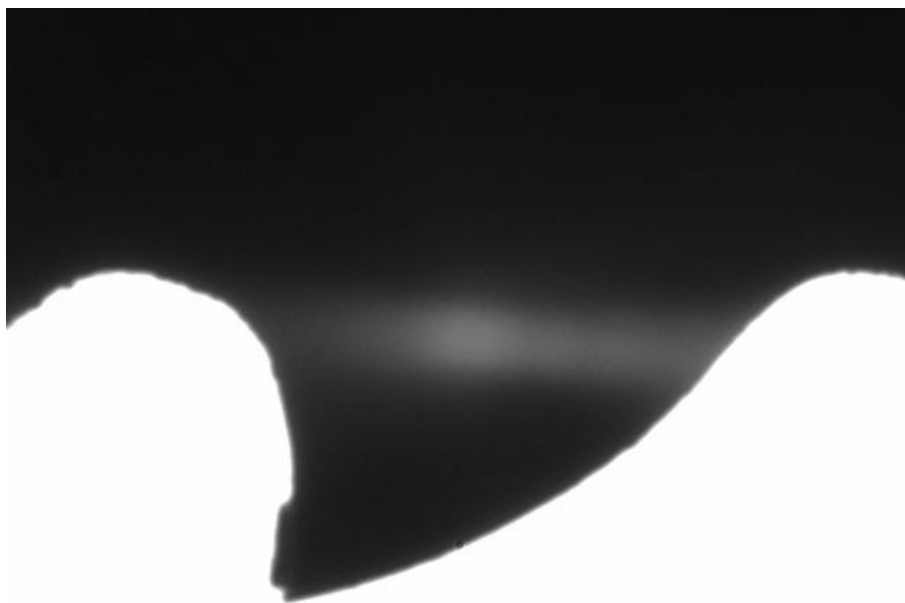


圖 4-8 未經處理初期鋸片齒型特徵影像

步驟一：二值化處理

二值化處理在將 0~255 之間的灰階影像變化，修正為只有 0 與 255 的類別，如圖 4-9 所示。原本程度不同的灰階值分佈經二值化處理，設定一門檻值作為分隔，只有全黑或全白的影像呈現，針對二值化後影像後續的處理運算將更簡化及明確。

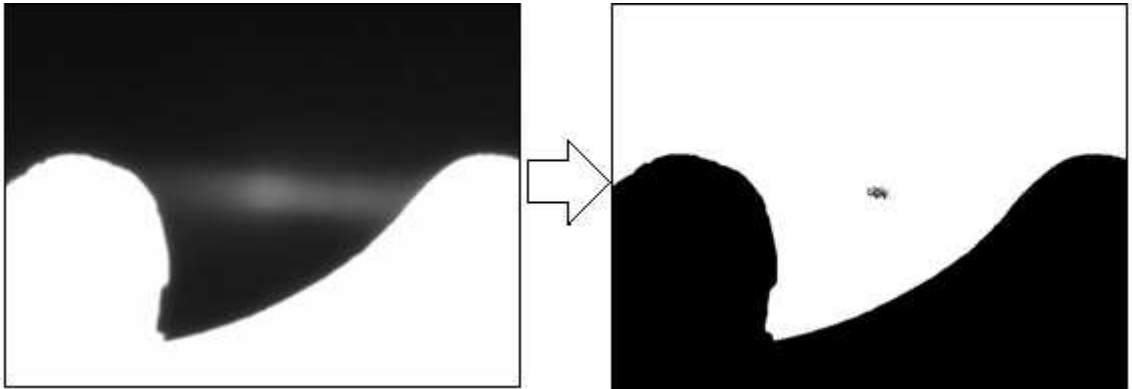


圖 4-9 實驗中二值化處理步驟

步驟二：Hole filling

承接二值化處理後影像，在鋸片齒型特徵上有一處干擾，其為在取像初期因打背光模式下，因鏡頭與鋸片表面之間反光所造成之情形。封閉輪廓特徵內的小瑕疵如同一小破洞，利用 Hole filling 的演算處理，如圖 4-10，可將條件內範圍的干擾予以填補，避免後續量測因干擾所形成的誤判。

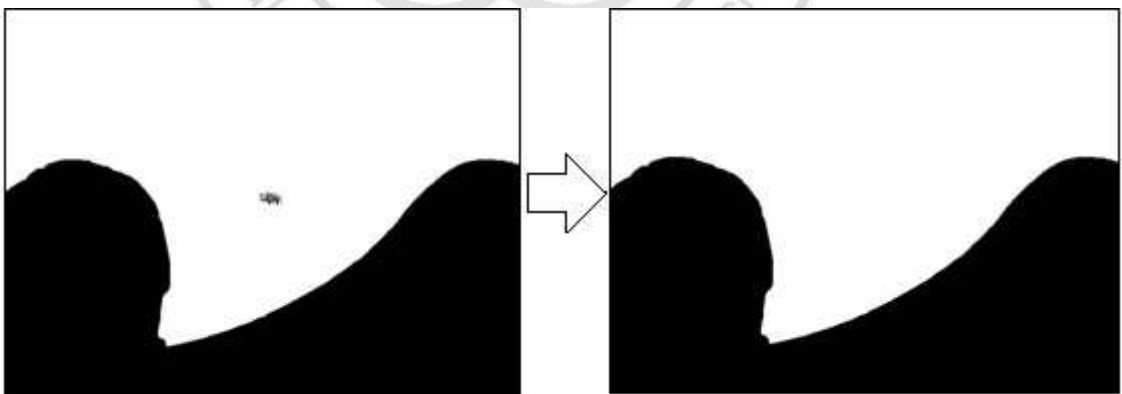


圖 4-10 實驗中 Hole filling 處理步驟

步驟三：Median濾波

於鋸片齒形輪廓的周圍也會有因打光反射亮度不同，於二值化處理後的輪廓影像的幾何特徵不夠明確，使用 Median 濾波處理的特性，設定檢測的範圍，在不影響輪廓的結構性下，對影像輪廓邊緣做有效的處理，如圖 4-11 處理過程。

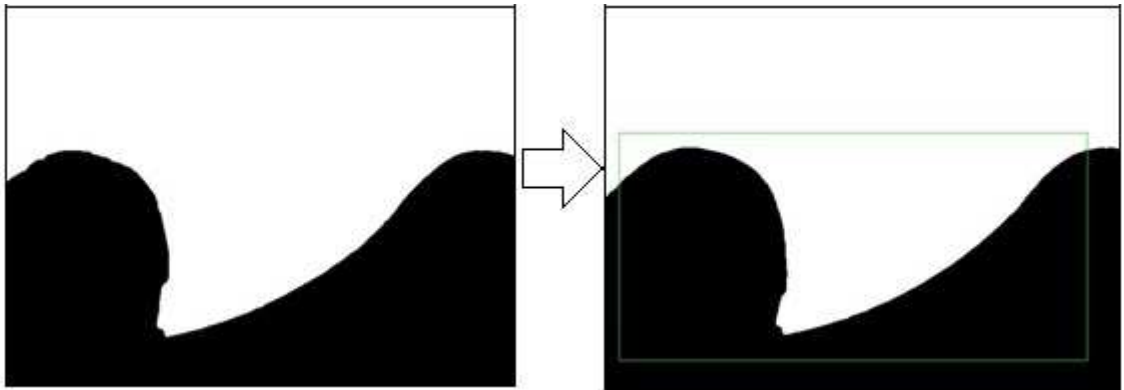


圖 4-11 實驗中 Median 濾波處理步驟

步驟四：Pattern matching

由於伺服馬達輔助了鋸片分度每一齒的定位，故可使用 Pattern matching 於某一設定區域範圍內搜尋先前設定之特徵模板，以大幅減少運算的時間。刀腹為齒型特徵中最具一致性的輪廓，在圖 4-12 中，影像畫面中固定區域裡搜尋到齒腹的特徵，其特徵需設定不具旋轉補正，在伺服馬達的搭配定位下，可提高運算的準確度。

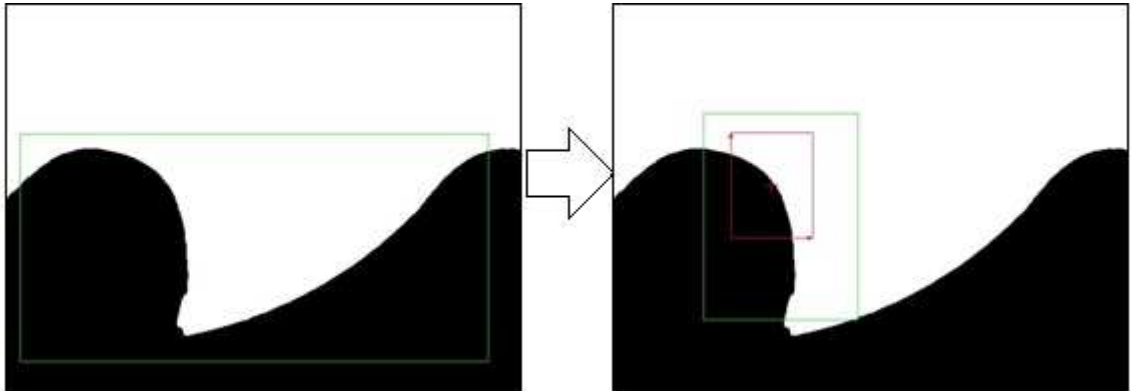


圖 4-12 實驗中 Pattern matching 處理步驟

步驟五：座標系統設定

如圖 4-13 所示。Pattern matching 處理後，以搜尋到特徵模塊之形心為基準點，設立一參考的座標系統，藉此來規範以齒腹特徵為基準下的量測。即使有特徵定位的偏移，座標系統也隨著偏移，可確保量測都是落於同一檢測基準上。

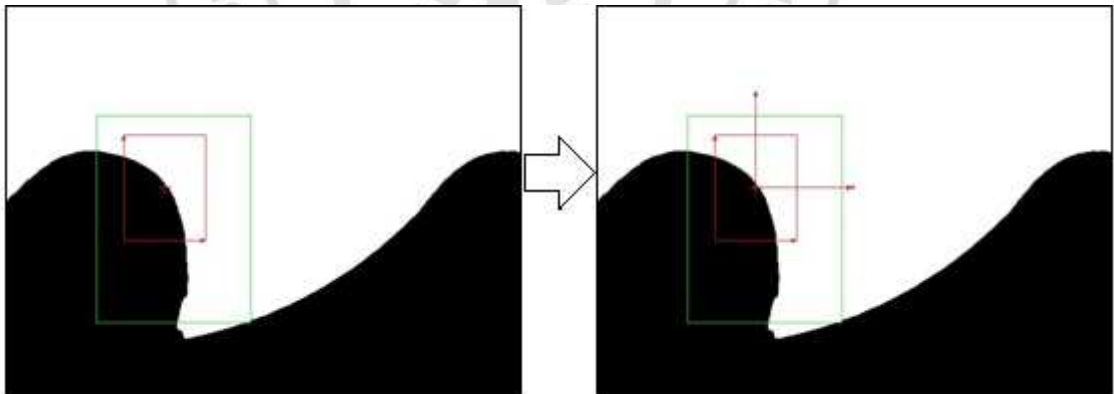


圖 4-13 實驗中座標系統設定處理步驟

步驟六：影像尺寸校正

匯入外部校正影像，如圖 4-14 所示。影像中以等比例剛尺置於鋸齒上，取

同一水平上兩點距離做影像校正，最終影像單位與實際尺寸單位上的轉換，達成使用者易於判讀之目的。

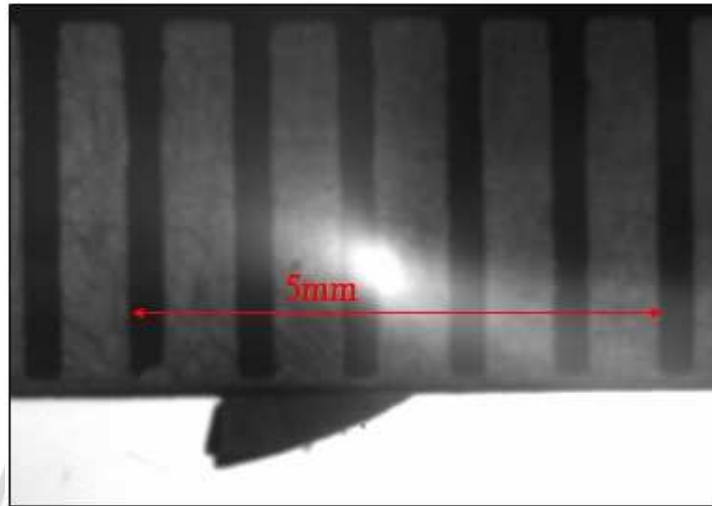


圖 4-14 實驗中影像校正影像

步驟七：齒腹弧角半徑 r 量測

在所有前處理作業完成後的影像中，設定一檢測圓弧特徵之工具，並以參考座標系統為基準位置，如圖 4-15 所示。在圓弧檢測區域範圍下，邊緣強度分明的輪廓下找到25個點，所有的輪廓點使用最小外接圓法則計算出圓心位置，間接把齒腹弧角半徑 r 量測出來。

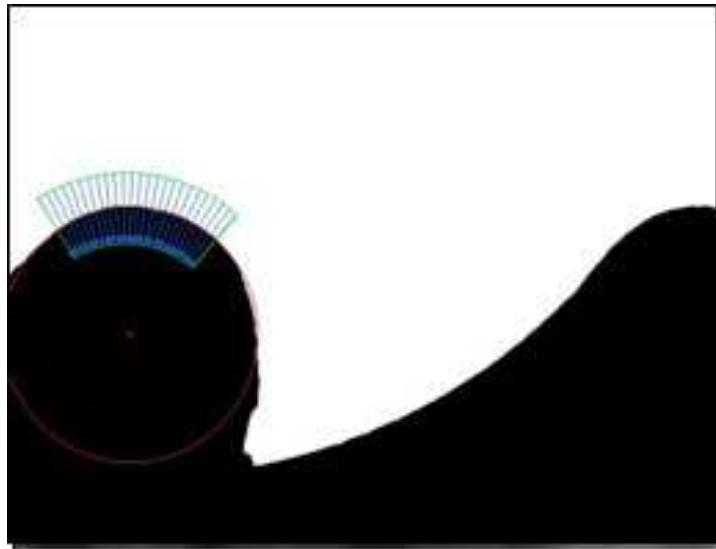


圖 4-15 實驗中齒腹弧角半徑 r 量測影像

步驟八：齒高 h 量測

與前述動作相同，如圖4-16所示。設定直線檢測工具，跟隨參考座標系統為基準位置，在設定檢測區域裡，將檢測區域等分為65等分，每等分邊緣強度分明輪廓點的垂直方向座標會計算出來，垂直方向最高點與最低點的差值便是圓鋸齒的高度。

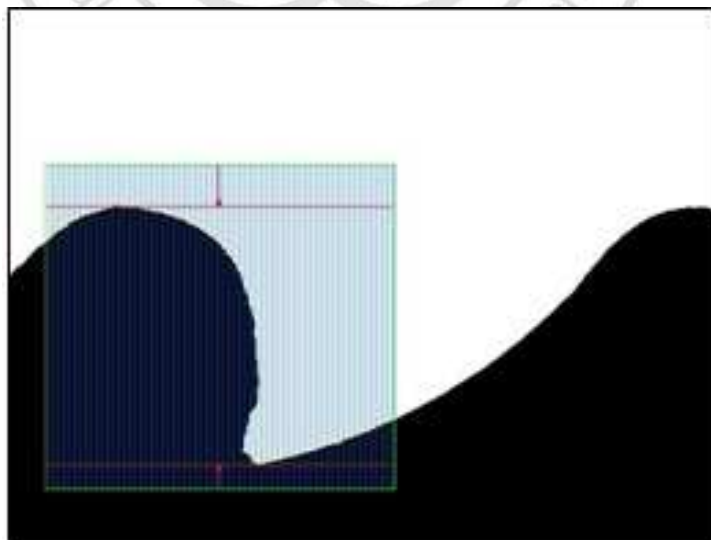


圖 4-16 實驗中齒高 h 量測影像

步驟九：電腦螢幕顯示

如圖 4-17 所示。將量測結果（實際單位尺寸）顯示於電腦螢幕上，供使用者快速判讀。

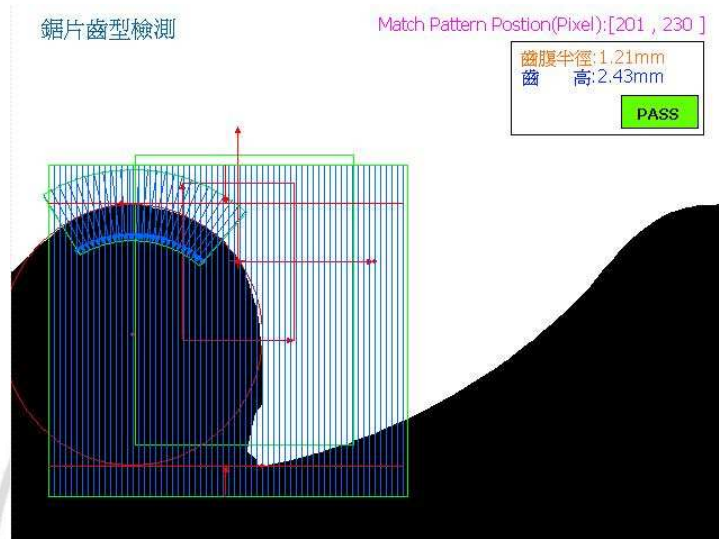


圖 4-17 電腦螢幕顯示量測結果

4.2 圓鋸鋸齒尺寸量測結果

實驗中將撰寫好的軟體於設置的硬體下執行檢測，軟體依規劃自動計算出齒腹弧角半徑及齒高尺寸。針對 140 齒圓鋸片連續量測標號 1~140 齒全部齒形。量測結果與以 Micro Vu 公司 M-V Vertex 410 自動影像測量儀所測得的數值作比較，量測結果匯整比較如表 4-3，B 數據為 CCD 上測量之尺寸，A 數據為影像測量儀驗證之尺寸。

表 4-3 實驗中影像量測結果比較

齒號(T)	r：齒腹弧角半徑(mm)			h：齒高(mm)		
	A	B	誤差量	A	B	誤差量
1	1.17	1.17	0.00	2.36	2.39	0.03

2	1.17	1.21	0.04	2.35	2.37	0.02
3	1.18	1.20	0.02	2.40	2.38	0.02
4	1.17	1.18	0.01	2.41	2.38	0.03
5	1.18	1.19	0.01	2.40	2.38	0.02
6	1.20	1.15	0.05	2.40	2.38	0.02
7	1.17	1.21	0.04	2.43	2.39	0.04
8	1.19	1.13	0.06	2.40	2.37	0.03
9	1.17	1.19	0.02	2.37	2.38	0.01
10	1.16	1.21	0.05	2.40	2.37	0.03
11	1.17	1.23	0.06	2.40	2.39	0.01
12	1.17	1.20	0.03	2.42	2.37	0.05
13	1.17	1.16	0.01	2.40	2.38	0.02
14	1.18	1.18	0.00	2.40	2.35	0.05
15	1.19	1.22	0.03	2.40	2.37	0.03
16	1.20	1.15	0.05	2.40	2.36	0.04
17	1.20	1.19	0.01	2.43	2.38	0.05
18	1.19	1.16	0.03	2.36	2.36	0.00
19	1.16	1.22	0.06	2.39	2.38	0.01
20	1.20	1.22	0.02	2.40	2.37	0.03
21	1.19	1.17	0.02	2.39	2.39	0.00
22	1.17	1.20	0.03	2.41	2.37	0.04
23	1.16	1.19	0.03	2.40	2.38	0.02
24	1.16	1.19	0.03	2.40	2.40	0.00
25	1.18	1.19	0.01	2.41	2.40	0.01
26	1.16	1.19	0.03	2.41	2.39	0.02
27	1.17	1.21	0.04	2.40	2.38	0.02
28	1.20	1.20	0.00	2.41	2.39	0.02
29	1.20	1.15	0.05	2.41	2.40	0.01
30	1.16	1.23	0.03	2.38	2.36	0.02
31	1.18	1.22	0.04	2.39	2.37	0.02
32	1.18	1.26	0.04	2.41	2.36	0.05
33	1.20	1.23	0.03	2.39	2.36	0.03
34	1.19	1.23	0.04	2.40	2.36	0.04

35	1.17	1.20	0.03	2.39	2.36	0.03
36	1.19	1.18	0.01	2.39	2.38	0.01
37	1.18	1.21	0.03	2.39	2.36	0.03
38	1.16	1.15	0.01	2.39	2.40	0.01
39	1.21	1.16	0.05	2.38	2.35	0.03
40	1.20	1.14	0.06	2.39	2.37	0.02
41	1.21	1.15	0.06	2.40	2.42	0.02
42	1.21	1.16	0.05	2.40	2.38	0.02
43	1.21	1.14	0.07	2.40	2.39	0.01
44	1.20	1.15	0.05	2.41	2.39	0.02
45	1.21	1.14	0.07	2.40	2.39	0.01
46	1.21	1.17	0.04	2.39	2.39	0.00
47	1.22	1.23	0.01	2.42	2.40	0.02
48	1.23	1.19	0.04	2.40	2.39	0.01
49	1.19	1.22	0.03	2.41	2.39	0.02
50	1.23	1.16	0.07	2.41	2.40	0.01
51	1.22	1.17	0.05	2.42	2.43	0.01
52	1.17	1.18	0.01	2.39	2.42	0.03
53	1.18	1.14	0.04	2.38	2.42	0.04
54	1.21	1.23	0.02	2.41	2.38	0.03
55	1.19	1.23	0.04	2.39	2.43	0.04
56	1.20	1.16	0.04	2.40	2.37	0.03
57	1.21	1.24	0.03	2.38	2.35	0.03
58	1.20	1.24	0.04	2.40	2.36	0.04
59	1.22	1.22	0.00	2.40	2.37	0.03
60	1.18	1.15	0.03	2.40	2.37	0.03
61	1.20	1.18	0.02	2.41	2.40	0.01
62	1.21	1.22	0.01	2.41	2.43	0.02
63	1.21	1.14	0.07	2.40	2.37	0.03
64	1.17	1.15	0.02	2.42	2.38	0.04
65	1.18	1.21	0.03	2.37	2.35	0.02
66	1.21	1.16	0.05	2.38	2.42	0.04
67	1.21	1.15	0.06	2.38	2.40	0.02

68	1.20	1.21	0.01	2.38	2.42	0.04
69	1.20	1.17	0.03	2.39	2.41	0.02
70	1.18	1.15	0.03	2.40	2.43	0.03
71	1.19	1.22	0.03	2.39	2.42	0.03
72	1.19	1.21	0.02	2.41	2.38	0.03
73	1.17	1.19	0.02	2.38	2.43	0.05
74	1.18	1.22	0.04	2.39	2.43	0.04
75	1.21	1.19	0.02	2.39	2.42	0.03
76	1.19	1.17	0.02	2.37	2.39	0.02
77	1.19	1.23	0.04	2.41	2.44	0.03
78	1.20	1.17	0.03	2.41	2.42	0.01
79	1.20	1.16	0.04	2.40	2.43	0.03
80	1.21	1.21	0.00	2.38	2.40	0.02
81	1.21	1.19	0.02	2.40	2.43	0.03
82	1.21	1.23	0.02	2.40	2.44	0.04
83	1.21	1.17	0.04	2.39	2.43	0.04
84	1.17	1.18	0.01	2.41	2.38	0.03
85	1.18	1.14	0.04	2.40	2.38	0.02
86	1.20	1.22	0.02	2.38	2.40	0.02
87	1.20	1.22	0.02	2.39	2.40	0.01
88	1.21	1.17	0.04	2.40	2.38	0.02
89	1.17	1.14	0.03	2.38	2.42	0.04
90	1.21	1.17	0.04	2.39	2.43	0.04
91	1.19	1.22	0.03	2.41	2.39	0.02
92	1.21	1.22	0.01	2.42	2.39	0.03
93	1.19	1.17	0.02	2.38	2.36	0.02
94	1.18	1.18	0.00	2.38	2.39	0.01
95	1.21	1.16	0.05	2.42	2.43	0.01
96	1.18	1.21	0.03	2.39	2.44	0.05
97	1.20	1.15	0.05	2.37	2.40	0.03
98	1.17	1.19	0.02	2.38	2.40	0.02
99	1.17	1.20	0.03	2.38	2.37	0.01
100	1.20	1.17	0.03	2.37	2.39	0.02

101	1.20	1.22	0.02	2.39	2.41	0.02
102	1.20	1.17	0.03	2.41	2.39	0.02
103	1.19	1.21	0.02	2.39	2.37	0.02
104	1.21	1.18	0.03	2.40	2.44	0.04
105	1.20	1.23	0.03	2.38	2.42	0.04
106	1.20	1.16	0.04	2.38	2.40	0.38
107	1.20	1.15	0.05	2.38	2.42	0.04
108	1.20	1.16	0.04	2.40	2.37	0.03
109	1.20	1.16	0.04	2.38	2.39	0.01
110	1.17	1.15	0.02	2.42	2.44	0.02
111	1.20	1.17	0.03	2.40	2.38	0.02
112	1.19	1.22	0.03	2.41	2.38	0.03
113	1.17	1.20	0.03	2.42	2.38	0.04
114	1.17	1.18	0.01	2.40	2.39	0.01
115	1.15	1.18	0.03	2.42	2.39	0.03
116	1.19	1.17	0.02	2.37	2.40	0.03
117	1.17	1.14	0.03	2.42	2.39	0.03
118	1.20	1.18	0.02	2.40	2.38	0.02
119	1.19	1.17	0.02	2.40	2.43	0.03
120	1.20	1.20	0.00	2.37	2.40	0.03
121	1.19	1.22	0.03	2.40	2.39	0.01
122	1.20	1.23	0.03	2.38	2.39	0.01
123	1.19	1.18	0.01	2.40	2.38	0.02
124	1.21	1.21	0.00	2.37	2.42	0.05
125	1.21	1.17	0.04	2.39	2.42	0.03
126	1.22	1.18	0.04	2.42	2.43	0.01
127	1.21	1.16	0.05	2.39	2.37	0.02
128	1.19	1.22	0.03	2.39	2.39	0.00
129	1.20	1.22	0.02	2.38	2.42	0.04
130	1.20	1.20	0.00	2.40	2.44	0.04
131	1.20	1.21	0.01	2.38	2.37	0.01
132	1.18	1.19	0.01	2.39	2.43	0.04
133	1.19	1.17	0.02	2.40	2.43	0.03

134	1.17	1.14	0.03	2.41	2.42	0.01
135	1.19	1.21	0.02	2.41	2.40	0.01
136	1.19	1.23	0.04	2.41	2.39	0.02
137	1.20	1.23	0.03	2.41	2.39	0.02
138	1.20	1.21	0.01	2.37	2.41	0.04
139	1.21	1.17	0.04	2.39	2.43	0.04
140	1.19	1.21	0.02	2.41	2.38	0.03

4.3 圓鋸平面度量測結果

實驗將類比近接開關安裝於距離鋸齒邊緣約 3 公分處，依校正時參數將 A/D 數據轉換為實際單位，連續測量 10 次，記錄量測位置(N+M)其類比近接開關與鋸片平面的距離，間接判讀鋸片平面度。數據記錄如下列各表：

表 4-4 實驗中平面度量測結果-1

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
N	量測數據 (V)(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
N=0		2.03	1.99	1.98	2.02	1.92	1.96	1.95	2.04
N=8		1.96	1.93	2.02	1.98	1.95	1.98	1.98	1.98
N=16		2.00	1.99	1.98	2.01	1.98	2.02	2.01	1.99
N=24		1.99	2.01	2.02	2.01	1.99	2.01	1.97	2.01
N=32		2.01	2.00	2.02	2.00	1.99	2.03	2.03	2.06
N=40		2.03	2.02	1.99	2.00	2.04	2.03	1.99	2.00
N=48		1.98	1.99	1.96	1.98	1.99	1.96	1.96	1.99
N=56		1.98	1.97	1.91	1.98	1.96	1.95	1.95	1.94
N=64		1.88	1.95	1.95	1.91	1.93	1.91	1.97	1.93
N=72		1.95	1.93	1.92	2.01	1.95	1.93	1.95	1.91
N=80		1.91	1.95	2.00	1.95	2.02	1.95	1.98	2.00
N=88		1.98	2.01	1.99	2.00	2.02	1.98	2.03	2.02
N=96		2.01	2.03	2.02	2.01	1.97	2.05	2.03	2.03

N=104	1.99	2.04	2.03	1.96	2.07	1.99	1.99	2.04
N=112	2.05	1.99	2.04	1.96	1.99	2.01	1.98	1.97
N=120	1.99	1.91	1.97	1.95	2.00	1.98	1.99	1.99
N=128	1.98	2.06	1.99	1.95	1.99	2.02	2.02	1.99
N=136	2.06	2.00	1.96	2.01				

表 4-5 實驗中平面度量測結果-2

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
N	量測數據 (V)(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
N=0		1.98	1.99	1.96	1.98	1.96	1.99	2.09	2.03
N=8		1.99	1.97	2.15	1.98	1.97	1.97	1.99	1.95
N=16		2.03	1.97	1.98	1.95	1.96	1.96	1.98	1.94
N=24		1.95	1.97	1.95	1.98	1.96	1.95	1.99	1.97
N=32		1.95	2.06	1.96	2.07	2.03	2.05	2.02	2.01
N=40		2.01	2.08	2.03	2.02	2.01	2.03	2.01	2.06
N=48		2.01	1.98	2.02	2.10	1.97	2.02	1.99	2.10
N=56		1.99	1.99	2.00	1.99	1.99	2.06	1.99	1.96
N=64		2.02	2.04	2.04	2.01	1.97	1.95	1.93	2.00
N=72		1.95	1.92	1.93	2.05	1.88	1.94	1.89	1.91
N=80		1.92	1.91	1.94	1.95	1.98	1.93	1.93	1.99
N=88		1.92	1.95	1.94	1.98	1.94	1.97	1.99	1.98
N=96		1.96	1.92	1.97	2.00	2.00	2.04	2.04	2.05
N=104		2.01	2.03	2.02	2.03	2.00	2.03	2.07	2.05
N=112		2.10	2.02	2.06	2.07	2.03	2.00	1.99	2.00
N=120		1.99	2.03	2.01	1.95	1.99	1.99	1.99	1.99
N=128		1.94	1.96	1.98	1.95	1.95	1.99	1.99	1.99
N=136		2.04	2.00	1.98	1.95				

表 4-6 實驗中平面度量測結果-3

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
		1	2	3	4	5	6	7	8

N	量測數據 (V)(mm)								
N=0		1.99	2.01	1.99	1.97	1.97	1.99	1.95	1.99
N=8		1.99	2.04	1.98	2.00	1.96	1.99	1.99	1.97
N=16		1.91	1.95	1.97	1.93	1.95	1.96	1.99	1.99
N=24		1.94	1.95	2.03	2.03	1.97	2.00	1.97	1.97
N=32		2.04	2.07	2.05	1.99	2.01	2.01	2.03	2.04
N=40		2.01	1.99	2.01	1.99	1.95	2.02	2.02	1.96
N=48		2.01	2.02	2.05	2.03	2.03	2.03	1.96	2.06
N=56		2.04	2.06	1.95	2.00	1.99	1.96	1.95	1.98
N=64		2.03	2.03	1.95	1.95	1.92	1.97	1.99	1.94
N=72		1.95	1.95	1.91	1.95	1.93	1.94	1.97	1.94
N=80		1.90	1.95	1.93	1.93	1.93	1.92	1.98	1.91
N=88		1.94	1.96	1.95	1.97	1.95	1.98	1.95	1.99
N=96		1.99	2.03	2.00	1.99	1.99	2.04	2.01	2.02
N=104		2.01	1.99	2.06	2.02	2.07	2.00	2.05	2.01
N=112		2.01	2.03	2.04	2.00	2.01	2.02	1.99	2.02
N=120		2.03	2.02	2.01	1.99	2.00	1.99	1.99	1.95
N=128		1.99	1.98	1.99	1.99	1.98	1.99	1.98	2.03
N=136		2.10	1.97	1.99	1.99				

表 4-7 實驗中平面度量測結果-4

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
N	量測數據 (V)(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
N=0		2.01	1.99	2.04	1.95	1.98	1.95	1.99	1.92
N=8		2.00	2.00	1.99	1.99	1.95	1.99	2.05	1.99
N=16		2.00	1.91	1.97	1.97	1.96	1.92	1.97	2.00
N=24		1.95	1.95	1.95	1.94	1.99	1.97	1.98	2.00
N=32		2.06	1.99	2.06	1.99	1.99	2.02	2.10	1.98
N=40		2.01	1.98	2.11	2.02	2.06	2.06	2.03	2.03
N=48		2.10	2.06	2.05	2.02	2.01	2.01	2.00	1.96

N=56	2.01	2.12	1.99	2.00	1.97	1.98	1.99	1.96
N=64	1.96	2.03	1.95	1.96	1.95	1.95	1.92	1.95
N=72	1.99	1.95	1.94	1.97	1.93	1.91	1.93	1.86
N=80	1.93	1.91	1.93	1.91	1.93	1.94	1.94	1.95
N=88	1.94	1.97	1.95	1.93	1.97	1.95	1.92	1.95
N=96	1.96	1.96	2.03	2.03	2.10	2.01	1.99	2.01
N=104	2.07	2.02	2.07	2.02	2.01	2.03	2.01	1.97
N=112	2.03	1.99	2.06	2.01	2.03	2.10	2.00	2.00
N=120	1.98	1.99	2.02	2.00	1.98	1.99	1.95	1.99
N=128	1.94	1.97	1.99	1.98	1.95	2.03	1.91	2.06
N=136	1.98	2.05	2.00	2.00				

表 4-8 實驗中平面度量測結果-5

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
N	量測數據 (V)(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
N=0		1.92	1.96	1.99	2.05	1.98	1.97	1.99	1.98
N=8		1.99	1.98	1.92	1.99	1.99	1.96	1.98	1.96
N=16		1.98	2.01	1.95	2.04	1.95	1.95	1.97	2.10
N=24		1.95	1.91	1.95	1.92	1.98	2.00	1.99	2.00
N=32		2.01	2.07	1.99	1.95	1.98	1.99	1.99	2.01
N=40		2.01	2.03	1.95	2.03	1.99	2.05	2.05	2.01
N=48		2.03	2.03	2.02	2.04	2.02	1.97	1.99	2.02
N=56		2.06	1.99	2.00	1.99	1.99	1.98	1.97	1.99
N=64		1.93	1.96	1.89	1.99	1.96	1.95	2.04	1.99
N=72		1.95	1.88	1.95	1.95	1.91	1.92	1.94	1.95
N=80		1.91	1.95	1.92	1.89	1.91	1.99	1.91	1.91
N=88		2.03	1.93	1.96	2.02	1.94	1.95	1.98	1.97
N=96		1.97	1.99	1.99	1.96	2.02	2.03	2.00	2.03
N=104		2.10	2.01	2.01	2.01	2.03	2.07	2.01	2.03
N=112		2.00	2.06	2.03	2.07	2.03	2.04	2.02	2.03
N=120		2.01	1.98	2.01	1.99	1.99	1.98	1.97	1.97

N=128	1.97	1.99	1.94	1.94	2.01	1.93	2.00	1.98
N=136	2.02	1.99	1.98	2.01				

表 4-9 實驗中平面度量測結果-6

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
N	量測數據 (V)(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
N=0		1.99	1.99	1.99	2.01	1.96	1.99	1.99	1.97
N=8		1.97	2.00	1.97	1.99	1.97	1.91	1.92	1.98
N=16		2.05	1.99	1.98	1.95	1.96	1.96	2.03	2.03
N=24		1.97	2.04	1.97	1.96	2.00	1.98	1.98	1.99
N=32		2.04	1.99	2.01	2.03	2.02	2.01	2.07	2.09
N=40		2.00	2.03	1.94	2.02	1.99	1.98	2.01	2.04
N=48		2.10	2.00	2.03	2.09	1.97	2.01	2.04	2.01
N=56		2.00	2.00	2.01	2.07	1.99	2.04	1.95	2.00
N=64		1.98	1.98	1.91	1.99	2.03	1.94	1.95	1.95
N=72		1.97	1.94	1.95	1.94	1.91	1.88	1.92	1.98
N=80		1.95	1.93	1.92	1.89	1.94	1.91	1.92	1.98
N=88		1.95	1.92	1.90	1.94	1.91	1.95	1.98	1.98
N=96		2.03	1.99	2.00	2.01	1.99	1.99	2.01	2.01
N=104		2.02	2.03	1.99	2.03	2.03	2.07	2.03	2.02
N=112		2.02	2.02	2.03	2.09	2.02	2.03	1.97	2.02
N=120		2.03	1.99	2.11	1.99	1.97	1.96	1.98	1.98
N=128		2.01	1.98	2.03	1.92	1.97	2.00	2.03	2.04
N=136		1.97	1.99	2.08	1.98				

表 4-10 實驗中平面度量測結果-7

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
N	量測數據 (V)(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
N=0		1.97	2.00	1.99	2.03	2.03	1.98	1.99	2.02

N=8	1.97	1.97	2.00	1.99	1.95	1.96	1.97	1.99
N=16	1.97	1.97	1.97	1.95	1.96	1.99	1.96	1.96
N=24	1.96	1.98	1.96	1.98	1.94	1.95	1.97	1.99
N=32	1.99	1.99	2.04	2.00	2.03	2.02	1.99	2.02
N=40	1.99	2.02	2.02	2.02	2.01	2.03	1.96	2.02
N=48	2.03	2.08	2.03	2.03	1.99	2.05	1.99	2.02
N=56	2.06	2.02	2.01	1.97	1.97	1.99	1.99	1.98
N=64	1.95	1.96	1.99	1.95	1.95	1.96	1.95	1.94
N=72	1.96	1.96	1.97	1.95	1.94	1.92	1.89	1.92
N=80	1.94	1.95	1.94	1.95	1.97	1.92	1.95	1.95
N=88	1.88	1.99	1.95	2.03	1.99	1.96	1.99	1.98
N=96	1.98	1.98	1.99	2.02	1.98	2.01	2.04	2.03
N=104	1.99	2.02	2.00	2.03	2.02	1.97	2.03	2.01
N=112	2.03	2.05	2.04	2.03	1.99	2.01	2.01	2.01
N=120	2.06	2.03	2.01	1.95	1.92	1.99	1.96	1.96
N=128	1.99	1.98	1.91	1.96	1.98	1.99	1.99	1.98
N=136	1.99	1.99	2.08	2.00				

表 4- 11 實驗中平面度量測結果-8

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
		1	2	3	4	5	6	7	8
N	量測數據 (V)(mm)								
N=0		1.99	1.97	1.98	1.99	2.15	1.99	1.99	1.97
N=8		1.93	1.99	1.96	2.01	1.99	1.96	1.99	1.97
N=16		1.99	1.93	2.03	1.94	1.99	1.95	1.99	1.95
N=24		1.95	1.96	1.97	1.96	2.00	1.99	1.99	2.00
N=32		2.00	1.99	1.99	2.08	2.08	2.01	1.96	1.99
N=40		2.05	1.95	2.07	2.00	2.06	2.06	1.99	1.98
N=48		2.03	2.02	2.02	2.03	2.00	1.96	2.03	1.99
N=56		1.93	2.00	2.01	1.93	1.98	1.99	1.99	1.97
N=64		1.99	2.03	1.97	1.97	2.06	1.95	1.95	2.03

N=72	1.95	1.99	1.95	1.93	1.94	1.88	1.92	1.99
N=80	1.88	1.91	1.90	1.87	1.93	2.01	1.92	1.92
N=88	1.88	2.05	1.95	1.89	1.95	1.95	2.02	1.95
N=96	1.98	2.06	2.00	2.00	2.05	1.99	2.03	1.95
N=104	2.03	2.03	1.96	2.01	2.02	2.10	2.03	2.06
N=112	2.01	2.03	2.00	1.95	2.01	2.03	1.98	2.03
N=120	1.98	1.96	2.03	1.97	1.99	2.03	1.97	1.99
N=128	1.99	2.03	1.98	1.95	1.96	1.98	1.98	1.99
N=136	2.03	1.98	1.97	1.97				

表 4-12 實驗中平面度量測結果-9

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
		1	2	3	4	5	6	7	8
N	量測數據 (V)(mm)								
N=0		1.92	1.99	1.97	1.99	1.97	2.08	1.98	1.97
N=8		1.98	1.99	2.09	1.99	1.97	1.96	1.95	1.93
N=16		1.97	1.96	1.99	1.97	2.00	1.96	1.95	1.95
N=24		1.94	1.97	1.96	1.98	1.97	1.99	1.94	1.99
N=32		1.99	2.01	2.00	2.03	2.01	2.01	1.99	2.02
N=40		2.01	2.00	1.97	2.10	2.03	2.00	2.02	2.07
N=48		2.05	2.03	2.03	2.03	2.02	2.10	2.01	2.05
N=56		2.01	2.03	2.03	2.06	1.99	1.97	1.99	1.97
N=64		2.00	1.98	1.95	1.93	2.01	2.04	1.94	1.95
N=72		1.99	1.93	1.91	1.93	1.93	1.98	1.90	1.93
N=80		1.86	1.96	1.92	1.93	1.92	1.91	1.99	1.93
N=88		1.94	1.97	1.96	1.95	1.95	1.97	2.04	1.95
N=96		1.99	2.04	1.98	1.99	1.98	1.99	2.04	2.01
N=104		2.04	2.01	1.99	2.03	2.05	2.03	2.09	2.06
N=112		2.06	2.01	2.06	2.00	2.06	2.03	2.02	2.02
N=120		2.03	2.03	2.03	1.98	2.03	1.99	1.96	1.99
N=128		1.98	1.96	1.96	1.98	1.99	2.01	1.95	2.03
N=136		1.97	1.99	2.07	1.99				

表 4- 13 實驗中平面度量測結果-10

量測位置 (N+M)=T	M	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=	M=
N	量測數據 (V)(mm)	1	2	3	4	5	6	7	8
N=0		1.95	1.99	2.00	1.99	2.01	1.99	1.99	1.95
N=8		1.99	1.99	1.99	1.92	2.00	1.95	2.07	1.96
N=16		1.96	1.97	2.02	1.95	1.91	1.99	1.95	1.99
N=24		1.95	1.91	1.95	2.00	1.96	2.03	1.93	1.99
N=32		1.99	2.01	2.01	2.01	1.99	1.96	1.99	1.99
N=40		2.00	2.05	2.01	2.00	1.96	2.00	2.03	2.03
N=48		2.06	1.97	2.02	2.03	2.03	1.96	1.97	2.01
N=56		2.03	2.00	2.03	2.02	2.06	1.96	1.96	2.04
N=64		2.01	1.98	1.95	1.98	1.98	1.97	1.95	1.95
N=72		1.95	1.95	1.88	1.94	1.91	1.95	1.91	1.96
N=80		1.91	1.92	1.93	1.99	1.95	1.94	1.94	1.93
N=88		1.93	1.94	1.95	1.93	1.98	1.98	1.95	1.98
N=96		2.04	1.95	1.99	2.00	2.04	2.01	2.00	2.00
N=104		2.01	2.03	2.01	2.03	2.03	2.03	2.02	1.97
N=112		1.99	2.03	2.02	2.03	2.03	2.03	2.00	2.00
N=120		2.01	2.00	1.99	2.00	2.03	2.03	1.97	1.97
N=128		2.04	1.99	1.97	1.93	1.99	1.99	1.95	1.97
N=136		1.99	1.99	1.96	1.99				

4.4 綜合量測結果分析

鋸齒量測數據經統計後，以實驗架構與自動影像測量儀之差距為比對驗證，齒腹弧角半徑 r 之差距值 δ_r 與齒高 h 之差距值 δ_h ，由 (4.5) 式表示，循 (4.6) 式得知其準確度分別為 Acc_r 及 Acc_h 。如表 4-14。

$$\begin{aligned} \delta_r(T) &= |r_A(T) - r_B(T)| & T = 1, 2, \dots, 140 \\ \delta_h(T) &= |h_A(T) - h_B(T)| \end{aligned} \quad (4.5)$$

$$\begin{aligned} Acc_r &= 1 - \frac{\delta_r(T)}{r_A(T)} & T = 1, 2, \dots, 140 \\ Acc_h &= 1 - \frac{\delta_h(T)}{h_A(T)} \end{aligned} \quad (4.6)$$

表 4-14 實驗中鋸齒量測準確性比較

	最大差距值	準確度平均值
齒腹弧角半徑	0.07 mm	97.45 %
齒高	0.05 mm	98.95 %

並藉由 (4.7) 式求出以影像量測儀之標準平均值 $\overline{S_r}$ 、 $\overline{S_h}$ ，進階以標準平均值帶入標準差公式 (4.8) 式，求出量測系統的標準偏差 S_{rr} 、 S_{hh} 。如表 4-15。

$$\overline{S_r} = \frac{\sum_{T=1}^N r_A(T)}{N} \quad \text{and} \quad \overline{S_h} = \frac{\sum_{T=1}^N h_A(T)}{N} \quad N=140(\text{齒}) \quad (4.7)$$

$$S_{rr} = \sqrt{\frac{\sum_{T=1}^N (r_B(T) - \overline{S_r})^2}{N-1}} \quad \text{and} \quad S_{hh} = \sqrt{\frac{\sum_{T=1}^N (h_B(T) - \overline{S_h})^2}{N-1}} \quad (4.8)$$

表4- 15實驗中鋸齒量測系統之標準偏差

	影像量測儀量測平均值	系統標準偏差
齒腹弧角半徑	1.19 mm	0.0298 mm
齒高	2.40 mm	0.0240 mm

平面度檢測上校正過後與鋸片表面距離為 V ，在統計量測數值依 (4.9) 式可求得其平面度 F 。

$$F = \text{Max}(V) - \text{Min}(V) \quad (4.9)$$

平面度 F 經量測十次統計的數值如表 4-16 所示。其平面度測量結果介於 0.19mm~0.28mm 之間，重複量測誤差在 0.09mm內，使用 0.28mm 來客觀評估此平面度量測結果。

表 4- 16 實驗中平面度結果統計

實驗	量測最大值(mm)	量測最小值(mm)	平面度 F
NO : 1	2.07	1.88	0.19
NO : 2	2.15	1.88	0,27
NO : 3	2.10	1.90	0.20
NO : 4	2.12	1.86	0.26
NO : 5	2.10	1.88	0.22
NO : 6	2.11	1.88	0.23

NO : 7	2.08	1.88	0.20
NO : 8	2.15	1.87	0.28
NO : 9	2.10	1.86	0.24
NO : 10	2.07	1.88	0.19

在量測時間上，平面度量測是跟隨影像量測觸發時序，故整體量測時間以影像處理時間為準，執行時間如表 4-17。在自動模式下，1 pcs 鋸片量測時間耗費時間為 120495.6 ms。

表 4-17 實驗中執行時間統計

步驟名稱	平均 執行時間	1pcs鋸片 執行次數	使用模組	執行時間 小計
Trigger取像	20.551ms	140times	vision	2877.14ms
二值化處理	0.125ms	140times	vision	17.5ms
Median濾波	28.848ms	140times	vision	4038.72ms
Hole filling	0.623ms	140times	vision	87.22ms
Pattern matching	3.804ms	140times	vision	532.56ms
座標系統設定	0.334ms	140times	vision	46.76ms
影像尺寸校正	0.092ms	140times	vision	12.88ms
齒腹r角半徑量測	1.461ms	140times	vision	204.54ms
齒高h量測	3.179ms	140times	vision	445.06ms
程式邏輯計算	0.546ms	140times	vision	76.44ms

結果顯示	0.863ms	140times	vision	120.82ms
伺服定位	800ms	140times	motion	112000ms
1pcs鋸片量測執行時間				120459.64ms



第五章 結論與未來展望

5.1 結論

實驗中所建立之量測系統，主要作用於機器視覺進行鋸齒特徵的量測，其影像辨識為 PC-based 的架構搭配 NI LabVIEW 軟體操作，為彈性規劃模式，並配合外部 PLC 軸控與 A/D 功能，與前項整合線上動態的量測。在不多耗損人力於檢測的條件上，快速量測鋸齒特徵尺寸及鋸片平面度，提供一致化量測、不會因人眼疲勞誤判及主觀式的檢測判讀。在加工完成階段具有量測齒形特徵與鋸片平面度的數據，不僅縮短檢驗時間，也提高鋸片的可靠度及附加價值。綜合實驗結果，歸納出以下四點結論：

1. **光源部份：**實驗照明之光源，採用 LED 紅色背光源，除了 CCD 攝像機對紅色光譜反應較佳外，LED 光源穩定頻率穩定、壽命長且背光模式可將鋸齒輪廓清楚呈現，增加影像擷取的品質及減少後段處理的複雜度。
2. **影像處理部分：**運用 Median 濾波及 Hole filling 處理運算法則，在不影響影像輪廓結構性下將邊緣干擾影響降低，填補鋸片上因反光的干擾，避免掉量測過程中的誤判。
3. **平面度部分：**利用靜態時校正感測線性範圍，配合整機動態停止後的穩態與影像部分同時處理，可減少動態檢測下如震動或動態擷取頻率等不穩定因素。
4. **系統整合部份：**電腦及人機畫面可顯式出鋸片齒型檢次結果及平面度資訊，通過邏輯上的規劃，可將結果以一直覺性的告示圖案顯示。輔助量測模組的參數可直接透過人機介面設定來改變參數，達成使用者可自行規劃動作頻率的彈性檢測系統。

5. **判別結果部份：**實驗之視覺設備依規劃解析度為 0.0125mm，在檢測重複精度上會有兩倍解析度的數值，與影像量測儀量測比對結果最大誤差分別為 0.07mm 及 0.05mm，準確度平均值分別為 97.45% 及 98.95%，此系統的標準偏差量分別為 0.0298mm 及 0.0240mm，證明此影像量測架構對鋸齒的檢測的穩定度及能力已足夠。在於平面度檢測，以此架構下客觀評估的平面度的數值為 0.28mm，對於鋸片平面度的檢測也符合作快速篩選的條件。
6. **檢測時間部份：**實驗架構下的機器視覺量測單一齒型所需時間為 0.060 s，在整合伺服馬達定位等動作做全周 140 齒的量測所需時間為 120.459 s，即可完成檢測，大幅提升檢測效率。

5.2 未來展望

為使實驗之系統更加完整，可將不同齒形鋸片以同模式做快速檢測，在此提出幾點建議以給予後續相關研究者，有更多層面思考的方向。

1. **量測平台彈性快速切換：**實驗的量測平台已有針對不同尺寸鋸片做設計上的考量，但經實驗調機過程中發現切換不易之缺點，對於此點提出設計上的建議。其一為 CCD 攝像機固定座移動以線性微調座代替現行以沉頭孔螺絲移動鎖附，在更換設置或調機時能更穩定的調整移動量；其二為鋸片固定圓盤可快速更換，因面對不同種類鋸片時，其固定孔大小及位置會不一致，設計共用固定圓盤或快速拆換可解決此問題。
2. **量測處外罩使用：**實驗中所擷取之影像是於實驗室內完成，環境條件均屬變動性較少，干擾因素不易產生，如將模組導入工廠使用，易受到環境光源的干擾導致取像品質不佳形成誤判，故建議增設與外部環境隔離之外罩將外部干擾

隔絕。

3. **提高 CCD 攝像機畫素：** 實驗所使用 CCD 攝像機畫素仍較低，如有檢測面表面紋理檢測需求時就不符使用。但在提高 CCD 攝像機畫素的同時，待檢物表面的干擾也隨之增大，故干擾處理及濾波的演算法的判斷能力也需提高。
4. **使用 Line-scan 模式 CCD 攝像機取像：** 在實驗中雖有配合運動模組上定位作量測，但為間斷動作的 Area-scan 量測模式，如在量測速度需求提高的條件下，Line-scan 為較佳的量測模式，其可在運動模組的頻率配合下以不間斷的方式將整周的齒型作量測，與現行模式不同的是在整張影像將圓周的特徵展成直線排列，於鋸片檢測可進階量測齒尖與齒尖，齒腹與齒腹相對距離，可管控到更多鋸片研磨的參數。但隨之必須對電腦升級方能快速處理影像的資料量，在光源上也需使用強光，如鹵素燈、雷射光源或其他 High power 的光源。
5. **與 CNC 鋸片自動研磨機作線上量測：** 鋸片之鋸齒乃經研磨設備加工而成，目前業界已有開發 CNC 式鋸片自動研磨機，CNC 控制器在 PC 技術上發展演進，有部分已朝 PC-Based 的架構研發，藉由 PC 與 PC 的架構整合是未來設備的趨勢，提出以此架構結合研磨機及量測系統做線上檢測補刀的功能，於加工完成時執行檢測，將不足尺寸部位再次研磨，省去拆卸再次對正加工的時間，也使產品提高了附加價值。

參考文獻

1. 劉平，施保華，2007，“基於LabVIEW的圓鋸片平面度檢測系統”，中文核心期刊，微計算機信息，測控自動化，23卷，9-1期。
2. 黃田野，2009，“基於圖像技術的木工鋸片平面度檢測技術研究”，華中科技大學，碩士論文。
3. 趙玲，劉慶民，戴偉鋒，2010，“圓鋸片幾何參數的精確視覺量測”，紅外與激光工程期刊，39卷，6期，頁1115~1119，12月。
4. 林瑞彰，王永成，2009，“鋸片成形銑刀之三維檢測系統”，tsmea產學合作成果發表，頁101~108，台北。
5. 李紹輝，2008，機械零件位置尺寸的視覺檢測，天津大學，碩士論文。
6. Luosi WEI and Zongxia JIAO, 2008, “Visual Location System for Placement Machine based on Machine Vision,” Fifth IEEE International Symposium on Embedded Computing, Vol. 41, pp. 141-146.
7. 莊謙本，洪國欽，2006，“影像視覺系統在SMD元件檢測之應用研究”，電子月刊，12卷，8期，頁212~224。
8. Carsten Steger, Markus Ulrich and Christian Wiedemann, 2011, “Machine vision algorithms and applications ISBN,” Photon-Tech Technology Team, Taichung, Taiwan.
9. 何有森，陳明飛，2004，“影像擷取技術在精密加工機控制定位之應用”，機械月刊，30卷，3期，頁92~106。
10. 蕭子健，王智昱，儲昭偉，2009，虛擬儀控程式設計LabVIEW 8X，高立圖書有限公司，台北，台灣。

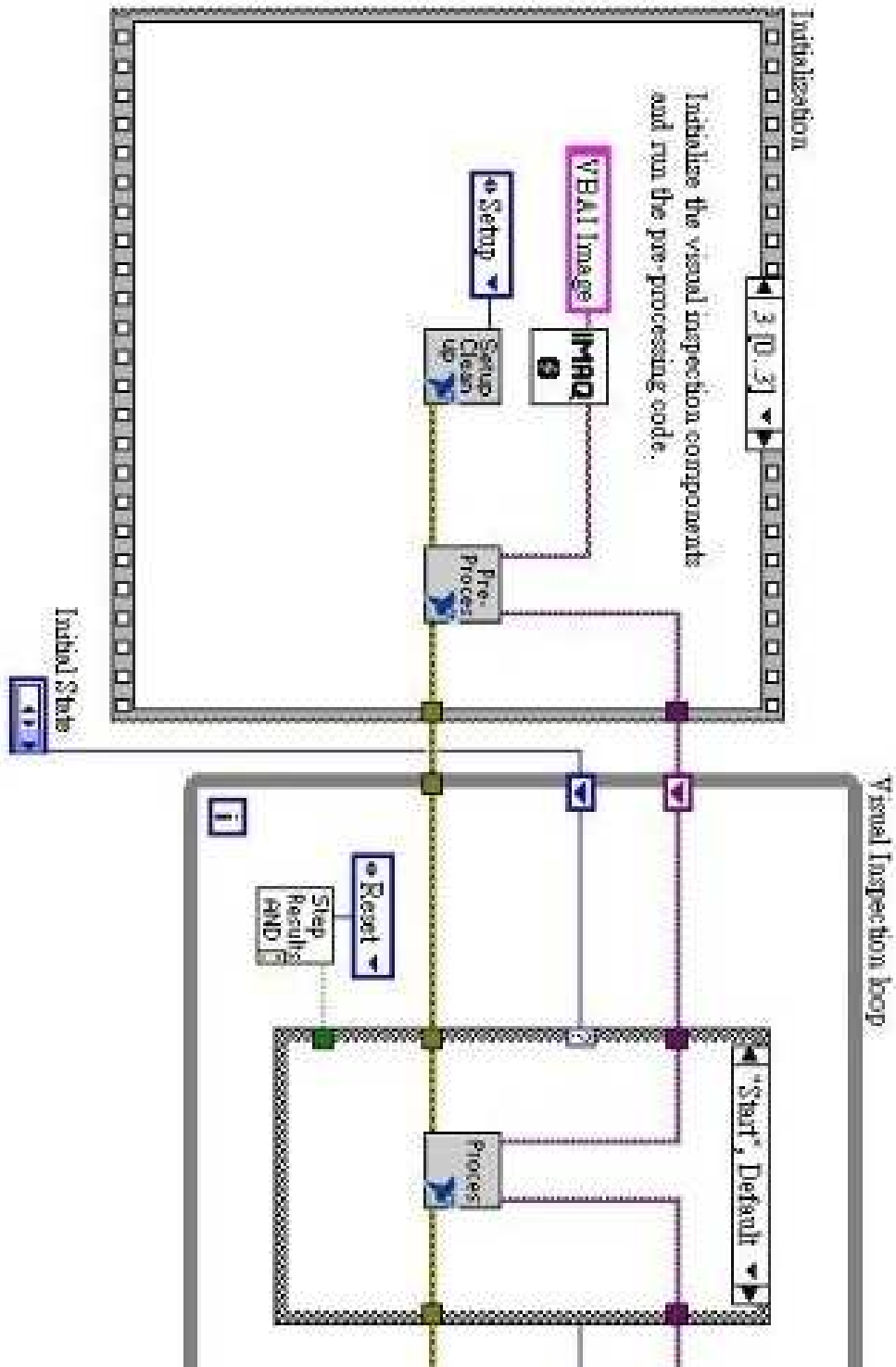
11. NI, 2007, "NI Vision for LabWindow/CVI User Manual".
12. NI, 2007, "NI Vision Concepts Manual" .
13. J.C.Su,C.K.Huang and Y.S.Tarnng, 2006, "An automated flank wear measurement of microdrills using machine vision," *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 180, pp.328-335, July.
14. Franci Lahajnar,Rok Bernard,Franjo Pernus and Stanislav Kovacic, 2002,"Machine vision system for inspecting electric plates, " Elsevier Science,Computers In Industry, Vol. 47, pp.113-122, June.
15. J.Jurkovic,M,Korosec and J.Kopac, 2005,"New approach in tool wear measuring technique using CCD vision system,"Elsevier Science,Machine tool & Manufacture,Vol.45,pp.1023-1030, January.
16. Joze Derganc,Bostjan Likar and Franjo Pernus,2003," A machine vision system for measuring the eccentricity of bearings," Elsevier Science,Computers In Industry, Vol. 50,pp.103-111,September.
17. Te-Hsiu Sun, Chun-Chieh Tseng, Min-Sheng Chen, 2010, "Electric contacts inspecting using machine vision," Elsevier Science,Image and Vision Computing, Vol. 28,pp.890-901, November.
18. Valtteri Heiskanen, Kalle Marjanen and Pasi Kallio, 2008 , "Machine Vision Based Measurement of Dynamic Contact Angles in Microchannel Flow," ScienceDirect, *Journal of Bionic Engineering* , Vol. 5, pp. 282-290.
19. Yih-Chin Chiou and Wei-chen Li, 2009, "Flaw detection of cylindrical surfaces in PU-packing by using machine vision technique," Elsevier Science, *Measurement*, Vol. 42, pp.989-1000, March.

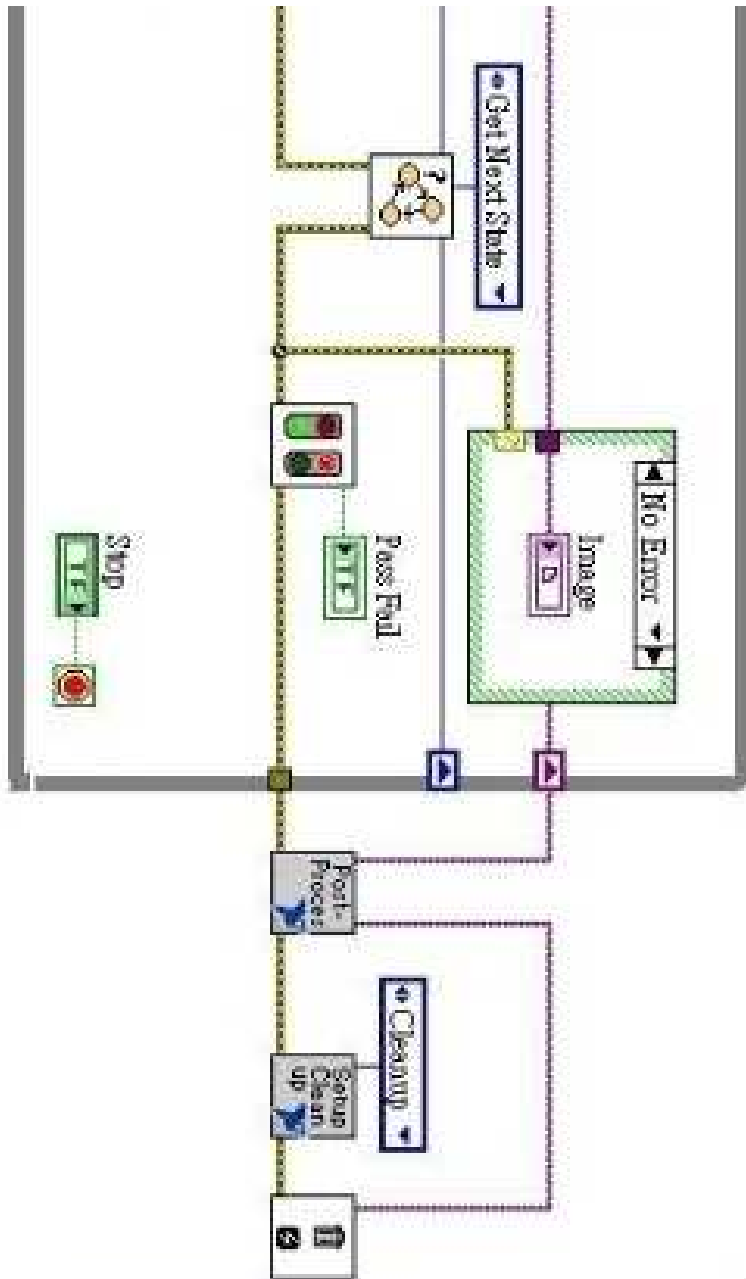
20. 賀秋偉，王龍山，劉慶民，李國發，2007，“基於計算機視覺的滾珠螺母形位誤差檢測”，農業機械學報，38卷，8期，頁159~163，八月。
21. 邱超，陳興洲，2010，“軸孔自動視覺裝配中孔系工件高精度定位檢測算法研究”，現代製造工程，儀器儀表/檢測/監控，10期，頁101~103，四月。
22. 劉靜，黃勇平，章程輝，2009，“視覺系統開發模塊在芒果果面缺陷中的應用”，食品與機械，安全與檢測，25卷，2期，頁82~85，三月。
23. 朱嘉，李醒飛，譚文斌，向紅標，陳誠，2009，“基於圓心約束最小二乘圓擬合的短圓弧測量”，光學精密工程，17卷，10期，頁2486~2492，十月。
24. 秦開懷，王海穎，鄭輯濤，2010，“一種基於Hough變換的圓和矩形的快速檢測方法”，中國圖象圖形學報，15卷，1期，頁109~115，一月。
25. Mingwu Ren, Jingyu Yang, Han Sun, 2002, “Tracing boundary contours in a binary image,” Elsevier Science, Image and Vision Computing, Vol. 20, pp.125-131.
26. 凌遠煥，徐杜，蔣永平，劉長紅，黃杰賢，2009，“基於局部區域灰度矩圖像邊緣定位方法的研究”，光學與光電技術，7卷，3期，頁60~63，六月。
27. 段瑞玲，李慶祥，李玉和，2005，“圖像邊緣檢測方法研究綜述”，光學技術，31卷，3期，頁415~419，五月。
28. Zhenyuan Jia , Bangguo Wang , Wei Liu , Yuwen Sun, 2010, “An improved image acquiring method for machine vision measurement of hot formed parts,” Elsevier Science, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 210, pp.267-271.
29. Zhao Ding-xuan, Cui Yu-sin, 2010, “Reserch on the Method of Tracking and Mesuring Moving Object Based on Machine Vision,” Computational

Intelligence and Software Engineering (CiSE) International Conference, pp.1-4,Wuhan.

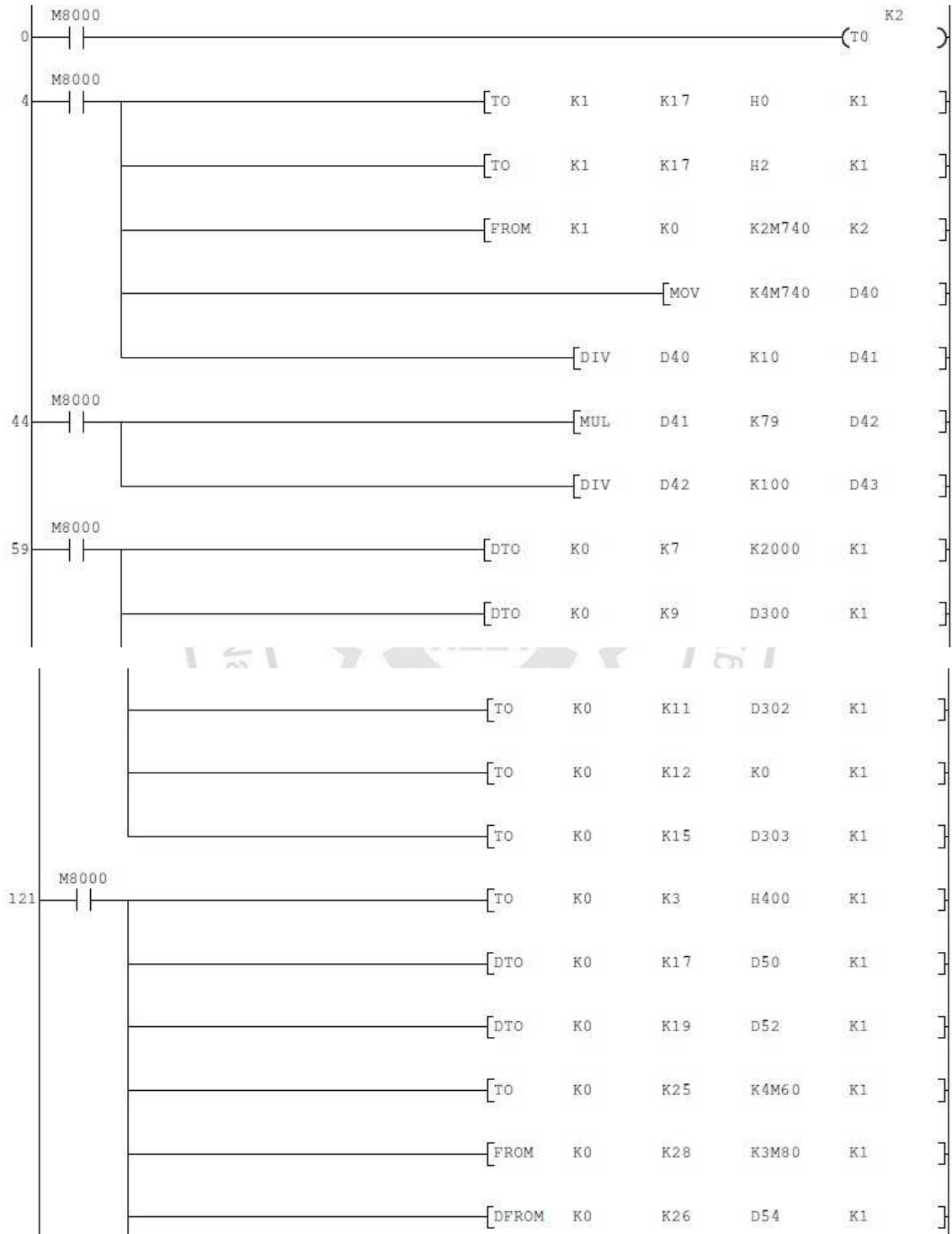
30. 陳順同，楊弘意，康智凱，2011，“自動化光學檢測應用於微放電線上補償技術研究”，先進工程學刊，6卷，1期，頁53~57，一月。
31. 王友俊，周瑞仁，2006，“MFA方法應用於影像中近似橢圓物件之分割”，農業機械月刊，15卷，1期，頁15~24，三月。
32. 謝易辰，王浩偉，吳駿逸，2007，“偏光影像檢測技術之介紹”，電機月刊，17卷，11期，頁170~173，十月。
33. 李程鵬，范彥斌，胡青春，2010，“基於HALCON的PCB光學定位點的3種識別方法及比較”，佛山科學技術學院學報，28卷，2期，頁29~33，三月。
34. 柏長冰，齊春，宋福民，楊瑩，2005，“基於虛擬匹配的PCB矩形Mark視覺快速檢測”，電子工業專用設備，123期，頁20~24，四月。
35. Feng Duan , Yao-Nan Wang , Huan-Jun Liu , Yang-Guo Li, 2007, “A machine vision inspector for beer bottle,” Elsevier Science, Artificial Intelligence, Vol. 20, pp.1013-1021, February.
36. MITSUBISHI ELECTRIC, 2003, “General-Purpose Interface Model : MR-J2S-A Servo Amplifier Instruction Manual”.
37. NI, 2007, “NI PXIPCI-1411 User Manual”.
38. Matrox, 1996, “Camera Interface Guide”.
39. “鋸片研磨機操作手冊”，易研機密機械有限公司。

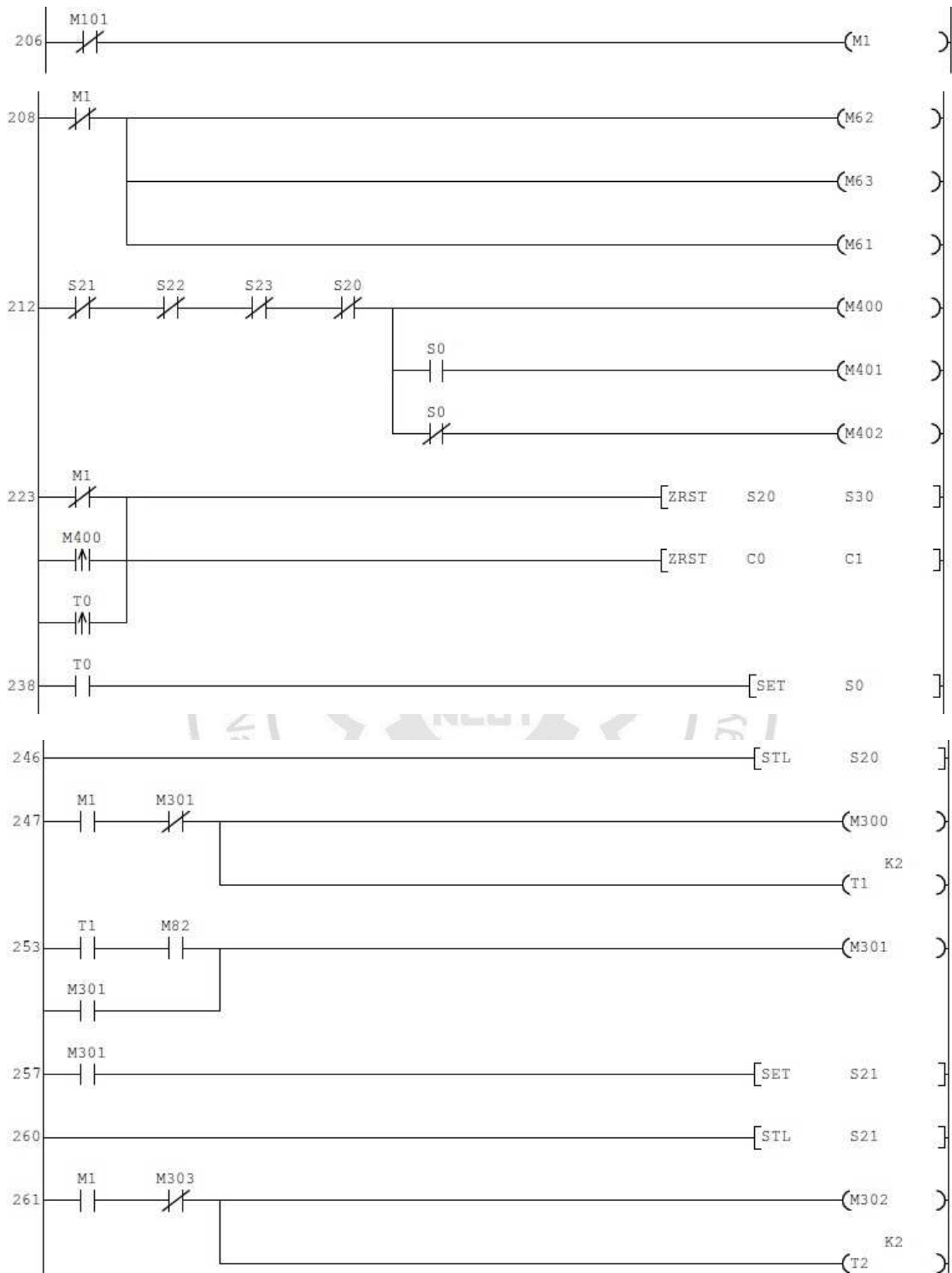
附錄一 LabVIEW 程式方塊圖

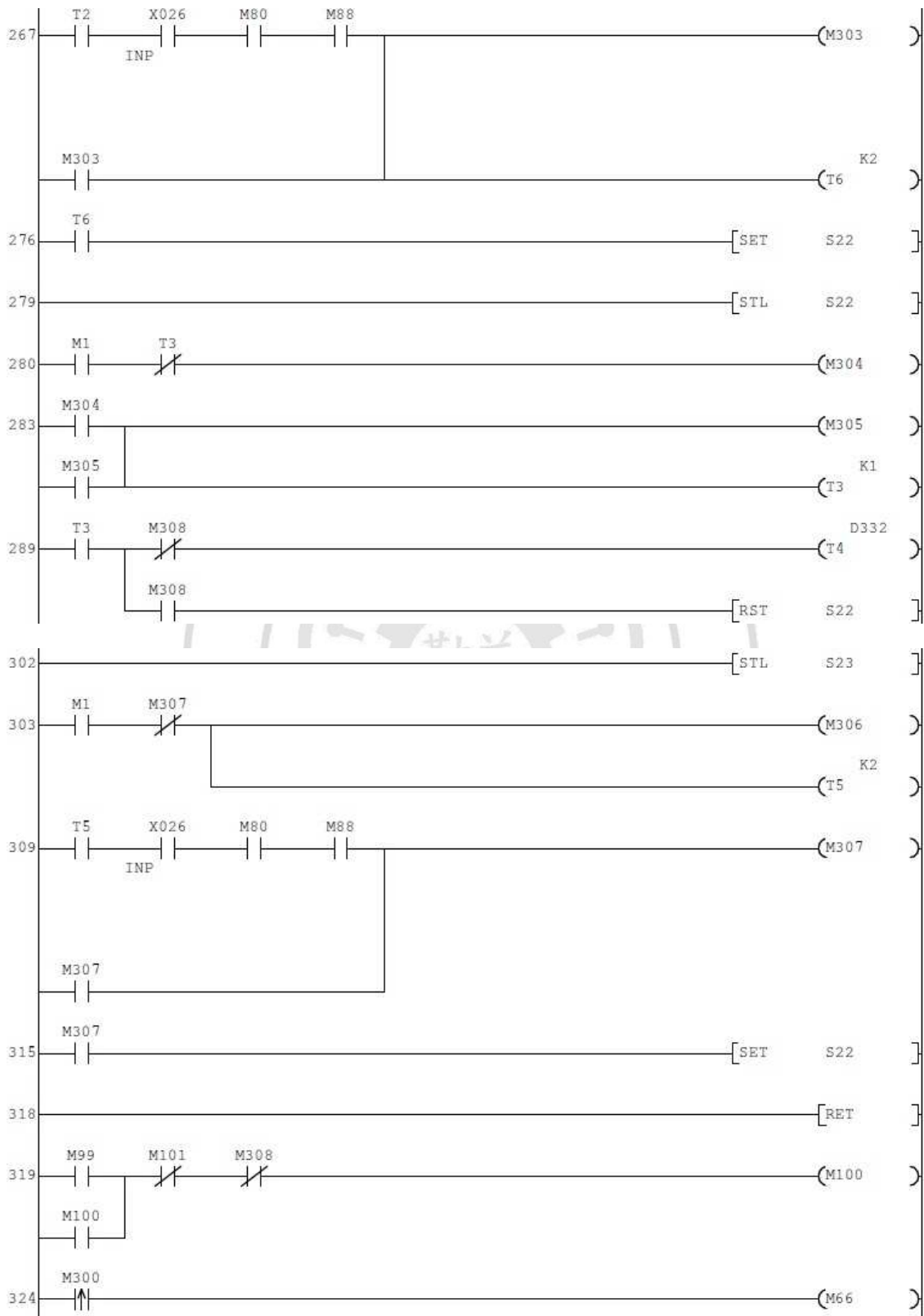


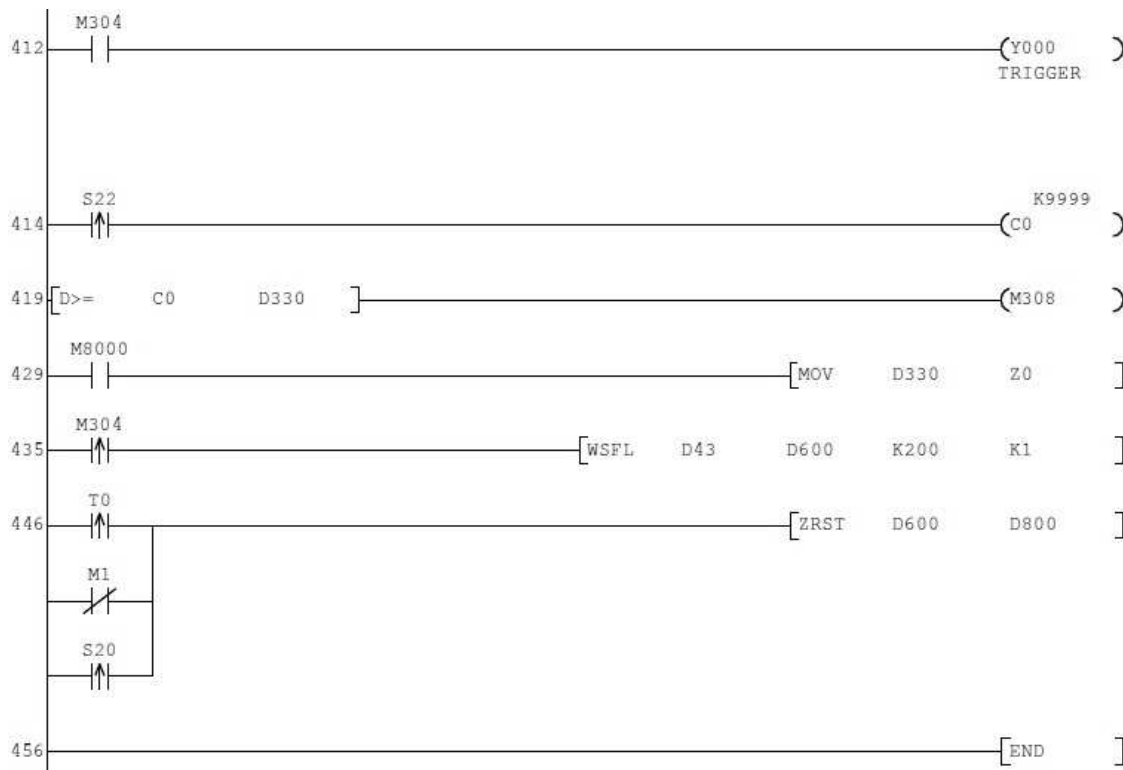


附錄二 PLC 程式階梯圖









附錄三 HMI 程式圖

鋸片齒型視覺檢測 2012/04/07
14:09:05

目前檢測齒數 尋點功能

0

OFF ON

啟動

停止

平面度資料

運轉參數

運轉速度	0	PPS
尋點速度	0	PPS
近點速度	0	PPS
加減速時間	0	ms
尋點後定位	0	pls

檢測參數

齒數	0	齒
間隔時間	0.0	Sec

TEST POS

0

GO

尋點輔助
OFF ON

JOG MODE POS

0

0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	

平面度
P1

0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	

平面度
P2

0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	
0	0	0	0	0	

平面度
P3

