

1. 前言與研究目的

目前之隱形眼鏡主要可分為軟式及硬式二種，其中硬式隱形眼鏡由於必需與角膜角度一致且價格較為高昂，因此使用者在配戴上的顧慮較多。而軟式隱形眼鏡由於彈性較佳能服貼於角膜且價格相對硬式隱形眼鏡便宜，因此佔有較大的消費市場。軟式隱形眼鏡又可分為長戴式、雙週拋棄式與每日拋棄式三種，雙週拋棄式及每日拋棄式由於含水率較高、厚度較薄，配戴舒適性較長戴式高出許多。每日拋棄式之衛生條件最高，又不需任何保養動作，是最受到消費者喜愛的拋棄式隱形眼鏡。

拋棄式隱形眼鏡雖然有許多優點，但目前市面產品多為進口品牌如嬌生、博士倫、視康等，每日平均之使用成本仍較長戴式高出許多。近年來國內廠商逐漸能掌握生產隱形眼鏡之關鍵技術，其價格較進口產品低廉且其品質也能與國外大廠同步，因此國內廠商的市場佔有率正在不斷提高之中。隱形眼鏡除了高分子材料基材、模具旋轉成形、修邊等生產技術外，由於產品對消費者的眼睛健康有直接的影響，因此生產過程中的品質檢驗及管制工作也特別重要。本研究計畫之目的，在針對隱形眼鏡生產及包裝過程中需要檢驗的部分，發展自動光學檢測機台，取代生產線上傳統之人工檢測，以確保產品的品質以提高產品市場競爭力，期望能為國內之隱形眼鏡廠商創造更多的競爭優勢。

2. 文獻探討

本計畫藉由機器視覺之技術，針對隱形眼鏡生產及包裝過程中需要檢驗的部分進行檢測。目前運用在隱形眼鏡瑕疵檢測的商用機台大都來自國外，價格極為昂貴，雖然功能繁多，但難以客製化，且介面對作業員操作不易。在學術論文方面，目前仍未見 AOI 技術應用於隱形眼鏡生產及瑕疵檢測的相關文獻，因此本計畫將討論目前現行檢測方法及相關專利說明書[1-5]、視覺系統架構、影像前處理方法及自動光學檢測應用於其他檢測物之文獻[6-9]，建構本研究。

2.1 隱形眼鏡的結構及名稱

隱形眼鏡，作為如普通眼鏡一樣的矯正視力用的光學器具，卻比由鏡架、鏡片組合成的普通眼鏡單純，只有薄薄的鏡片，而這鏡片直接與本計畫的靈魂之窗—眼睛接觸，正因如此，隱形眼鏡之品質好壞非常重要。以下介紹典型隱形眼鏡之各部構造及相關名稱或專業術語（圖 1）。

眼球前方是凸圓形的角膜，而隱形眼鏡是與角膜接觸的鏡片，故隱形眼鏡的片形必須配合角膜的造型，方能使人眼配戴舒適，所以隱形眼鏡的鏡片是屬於前凸後凹的新月形。

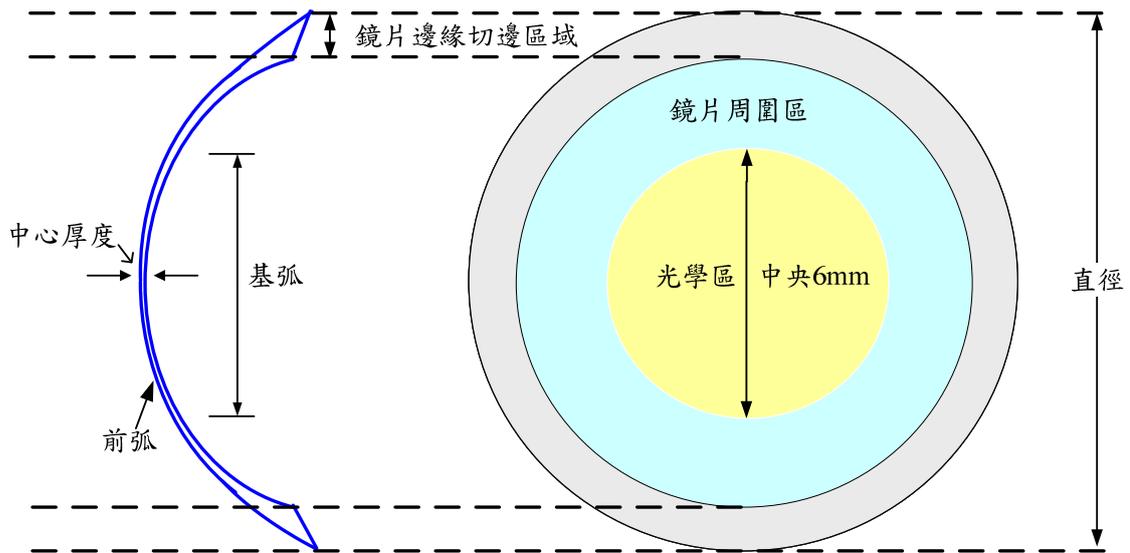


圖 1：典型隱形眼鏡結構和名稱[9]

光學區 (Optic Zone)：

光學區指的是鏡片的光學部分，含有矯正屈光力 (The Refractive Power)，位於鏡片的中心區。

鏡片直徑 (Lens Diameter)：

隱形眼鏡的鏡片直徑即隱形眼鏡的尺寸，又稱弦直徑 (Chord Diameter)，是從鏡片的一個邊緣到相對的一個邊緣的寬度。

中心厚度 (The Central Thickness)：

隱形眼鏡的中心厚度係指鏡片幾何中心處 (The Geometric Center) 的前表面與後表面間的距離。

前弧 (Front Curve)：前弧是鏡片前面的曲線；它的範圍相對於基弧來的大。

基弧 (Base Curve)：

基弧是鏡片後面中央部分的弧度，又稱後中央弧 (The Central Posterior Curve)，或稱主基弧 (The Primary Base Curve)。基弧以鏡片背面的曲率半徑代表，在處方裝配隱形眼鏡時，如無特殊情況，它應和眼角膜前的曲率半徑一致。在鏡片設計上，基弧是與眼角的光學區相合的。基弧可以用兩種不同的量度表示：

- (1) 曲率半徑 (Radius of Curvature, R)，單位為 mm。
- (2) 聚焦力 F (Focal Power)，其單位為焦度 (Diopters, D)。

切邊區域 (Cut Edge)：

鏡片會因邊緣尖銳而刺激眼角膜，故製鏡完後利用鑽石刀修邊將尖銳邊角去除。

周圍區 (Peripheral Zone)：光學區至鏡切面。

2.2 現行檢測方法

由於材料、設備、方法、操作等因素，使得每一批生產出來的鏡片都有些不良品，而這些不良品依外觀和成因又分為許多種類。Epstein[4]等人將隱形眼鏡鏡片的瑕疵種類分為：cuts、edges、scratches、tears 和 chips。

目前國內隱形眼鏡生產大都採人工全檢（包括分度），優點是上市產品不良率低，缺點是需人力多，檢測速度有限；其它國外大廠（e.g. 嬌生）所採用的方式為電腦全檢輔以人工抽檢，優點是產能大，缺點是上市產品不良率較高。

3. 研究方法

目前的隱形眼鏡生產流程中，在修邊之後、人工裝填及包裝之前，均有必要設置檢測單元，以確保隱形眼鏡的產品與包裝的品質。各檢測項目的說明與相關的研究方法，分述如下：

3.1. 包裝機缺片檢測(8Cups，2x4 個塑膠容器杯)

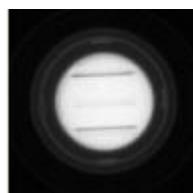
3.1.1. 硬體架構

人工裝填完鏡片之塑膠容器杯（人工裝填完入庫之後，到要包裝出貨之時間常超過六小時以上，故此時隱形眼鏡為乾片），最後要包裝出貨時，以真空吸盤將塑膠容器杯移動至鋁合金載板上後，經過注水機注入生理食鹽水，再移入高週波機與鋁箔貼合，成為市售之拋棄式隱形眼鏡包裝出貨。

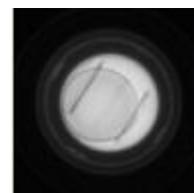
在真空吸盤移動塑膠容器杯的過程中，有可能因為壓縮空氣的壓力不夠穩定而發生塑膠容器杯掉落（圖 2(a)），或是將塑膠容器杯中原有的隱形眼鏡鏡片吸走的情況（圖 2(b)）。因此在與鋁箔貼合之前，必須有檢測人員確認鋁合金載具上的塑膠容器杯數量是否正確，以及每個塑膠容器杯中的隱形眼鏡是否存在（圖 2(c)）。



(a) 缺塑膠容器杯



(b) 缺隱形眼鏡鏡片



(c) 正常（有杯有鏡片）

圖 2：鋁合金載具上的塑膠容器杯可能之情形

包裝機缺片檢測可安裝在注水機之前，對鋁合金載板上預設的塑膠容器杯位置進行檢測。在無塑膠容器杯，或有塑膠容器杯但杯中沒有隱形眼鏡鏡片的異常現象發生時，對包裝線的程式控制器提出警示。

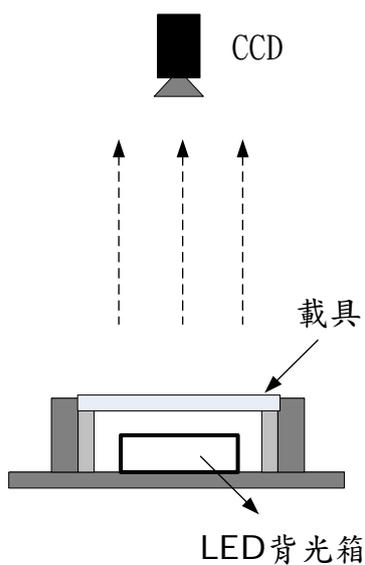
塑膠容器杯底部有三條突起立體長條狀設計（圖 3），目的是為了讓鏡片不

會黏在杯底，使一般消費者較容易從杯中夾取隱形眼鏡，但此突起物之影像也會增加系統判別上的困難度。



圖 3：塑膠容器杯

為了配合工廠生產線及隱形眼鏡乾片不透光的特性，本研究檢測系統如圖 4 所示，將使用白光（發光二極體）背照式光源（圖 5）。

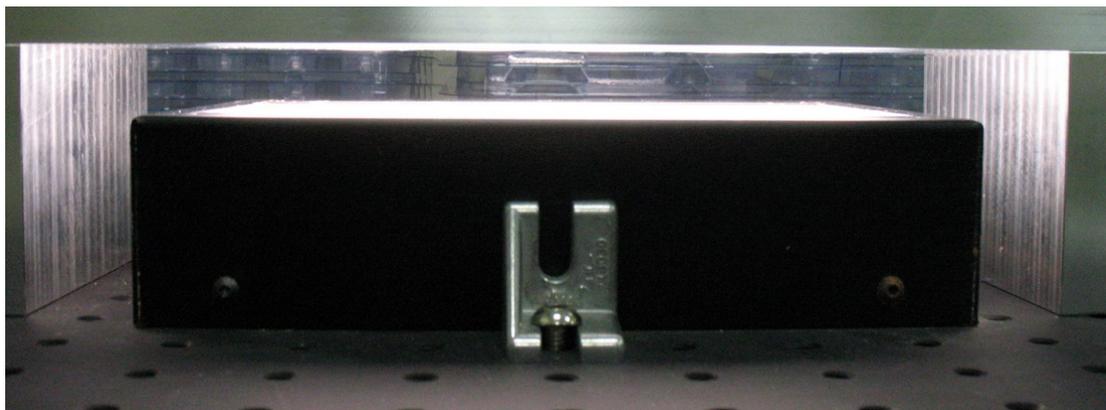


(a) 硬體架構示意圖



(b) 檢測系統原型

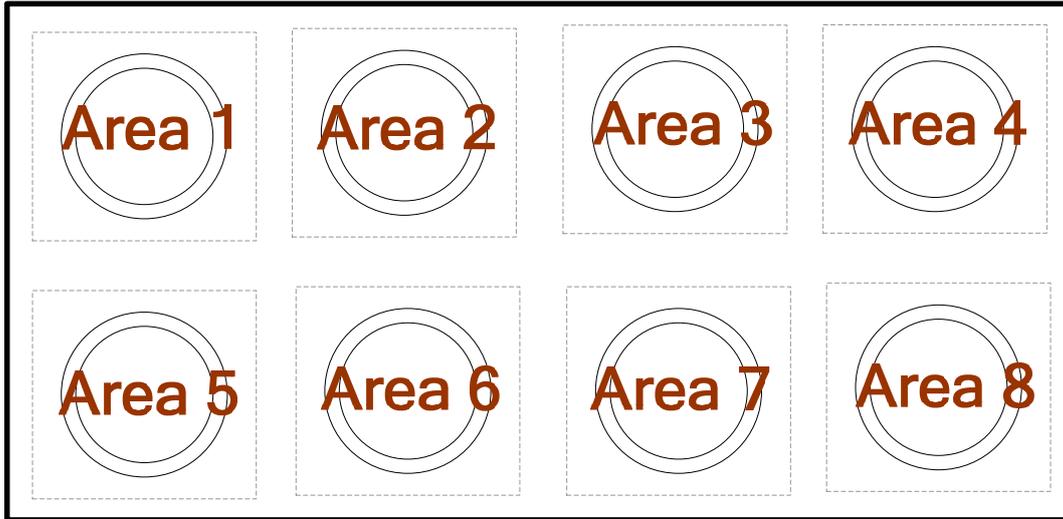
圖 4：包裝機缺片檢測系統取像設計



(a) LED 背照式燈源側視圖



(b) LED 背照式燈源俯視圖



(c) 鋁合金載具上 8 個放置塑膠容杯的位置示意圖

圖 5：LED 背照式燈源與子影像區域配置

3.1.2. 軟體檢測演算法

包裝機缺片檢測演算法之流程可表示如圖 6 所示。本檢測方法主要以一灰階臨界值將待測影像區分為目標物與背景，達到影像內涵容易區分的目的。此處隱形眼鏡為乾片，透光度較低，背景為塑膠容器杯，透光度較高。灰階臨界值係經由缺片塑膠容器杯訓練而設定。

針對影像中背景灰階度不均的現象，一般以自動閾值 (auto-thresholding) 方法來處理會得到較佳的效果。而其中又以 Otsu[10]與固定百分率法(P-Tile)[11]最常被使用。本研究將採用固定百分率法。

灰階臨界值訓練步驟：

- Step 1. 自動調整 CCD 攝影機曝光時間，調整完畢後影像之最大灰階值 (Global maximum gray value) 固定在 250 左右。
- Step 2. 在 Area 1、Area 2、Area 3、Area 4、Area 5、Area 6、Area 7、Area 8 放置空塑膠容器杯，偵測出每個子區域的最大灰階值(Local maximum gray value.)。
- Step 3. 抓取 30 次，計算每個子區域內最大灰階值的平均值。
- Step 4. 將上述步驟取得的平均值 $\times 0.9$ 做為各子區域的灰階臨界值。

設定子區域影像灰階臨界值之後，針對每個子區域塑膠容器杯內的圓形區域計算其亮點面積 (灰階度為 255 的像素數目)，作為判斷塑膠容器杯中有無隱形眼鏡之依據，根據鋁合金載板上的塑膠容器杯可能之情形，訓練並計算以下三種情況下之亮點面積：

- (a) 缺塑膠容器杯情況下，隨機擷取 30 次影像，計算二值化後每個子區域的亮

點面積，取其平均值 \bar{A}_{a_i} , $i=1,2,\dots,8$ 。

(b) 缺隱形眼鏡情況下，隨機擷取 30 次影像，計算二值化後每個子區域的亮點面積，取其平均值 \bar{A}_{b_i} , $i=1,2,\dots,8$ 。

(c) 正常有杯有鏡片情況下，隨機擷取 30 次影像，計算二值化後每個子區域的亮點面積，取其平均值 \bar{A}_{c_i} , $i=1,2,\dots,8$ 。

三種情況下亮點面積訓練完成後，訂定以下二個亮點面積閾值：

(1) 亮點面積閾值上界： $\frac{\bar{A}_{a_i} + \bar{A}_{b_i}}{2}$, $i=1,2,\dots,8$ ，用來判別有無放置塑膠容器杯。

若大於上界，顯示缺塑膠容器杯。

(2) 亮點面積閾值下界： $\frac{\bar{A}_{b_i} + \bar{A}_{c_i}}{2}$, $i=1,2,\dots,8$ ，用來判別塑膠容器杯中有無放置鏡片。

若小於上界、但大於下界，顯示缺隱形眼鏡鏡片；若小於下界，顯示正常有杯有鏡片。

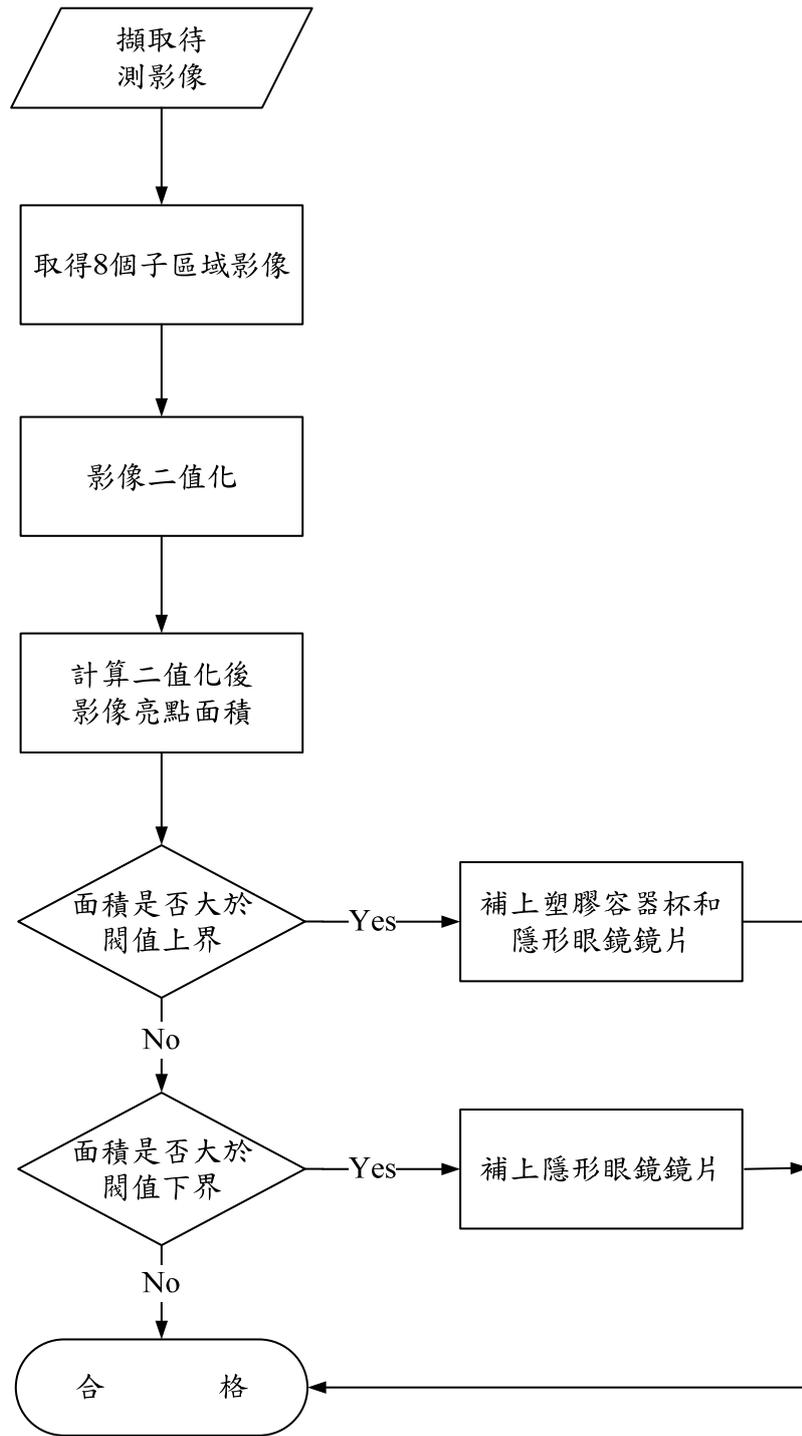


圖 6：包裝機缺片檢測演算法流程圖

3.2. 人工裝填線缺片檢測 (32Cups, 4x8 個塑膠容器杯)

在人工裝填站中，塑膠容器杯是由透明的真空成型托盤（圖 9）所承載，每個托盤上共有 32 個塑膠容器杯（4x8）。可在人工裝填作業完成之後，以自動檢測機台對裝填完成的塑膠容器杯進行檢驗，確保所有的塑膠容器杯內都有隱形眼鏡鏡片。

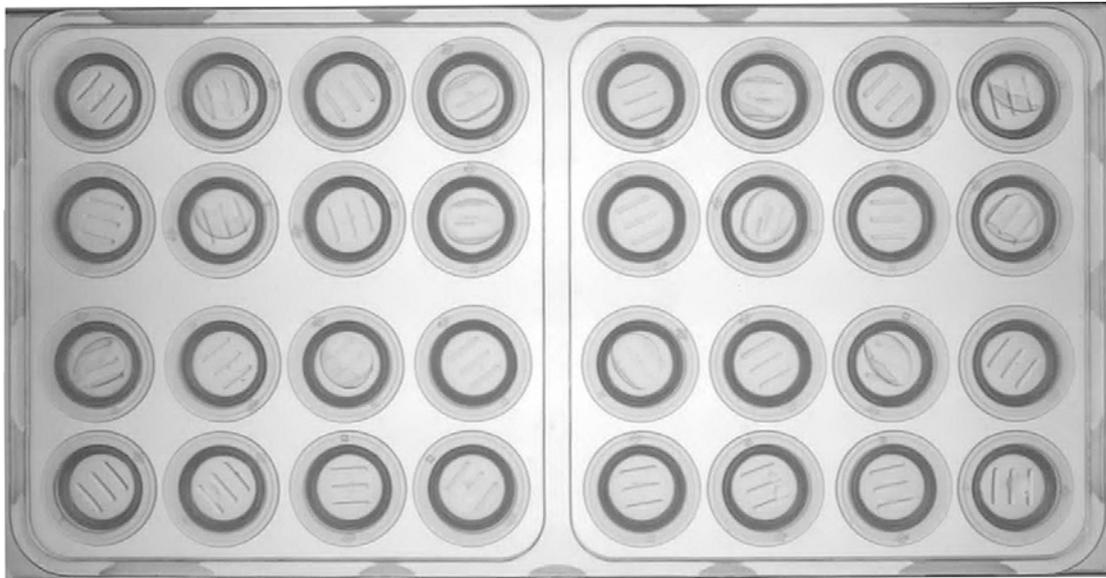
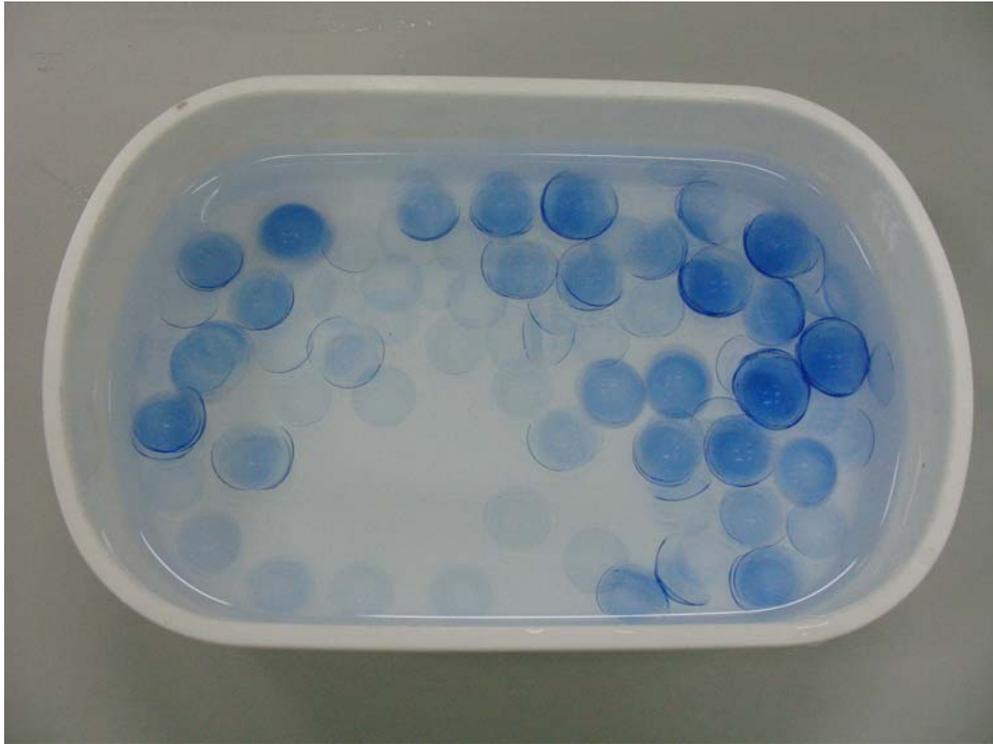
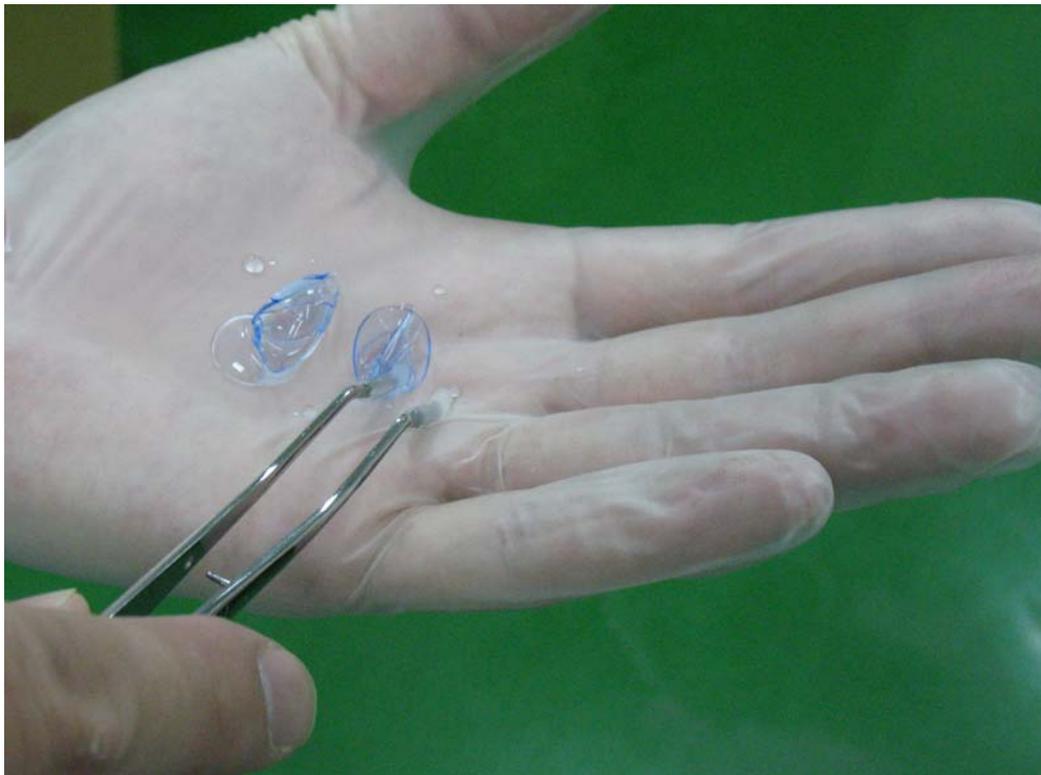


圖 9：透明真空成型托盤

作業員從食鹽水中夾取鏡片至透明托盤，此時放置於塑膠容器杯中之隱形眼鏡為溼片（如圖 10(a)），折射率與水接近，同時透光率較高，因此僅少部分邊緣特徵較為突顯，無法以乾片檢測中所使用的二值化後的亮點面積作為判斷的依據。人工裝填作業員夾取鏡片程序如圖 10(b)~(c)。



(a) 滅菌完存放於食鹽水中之鏡片



(b) 作業員在手掌中分離黏在一起的鏡片



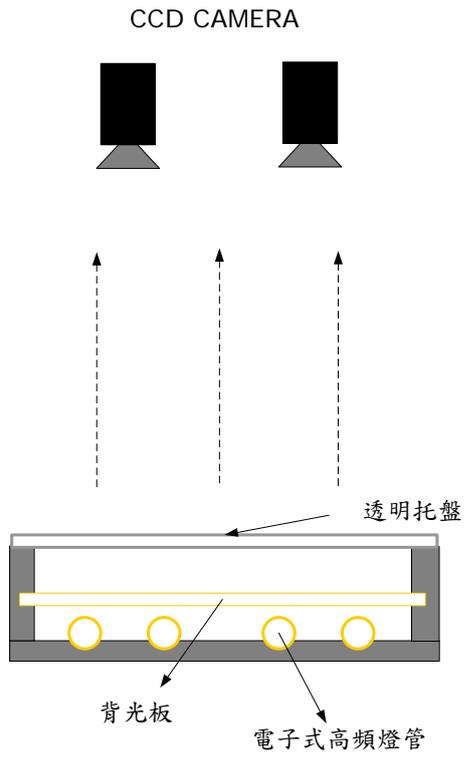
(c) 將鏡片放置於透明托盤

圖 10：人工裝填線作業員夾取鏡片過程

另外，以背照式光源突顯隱形眼鏡鏡片時，塑膠容器杯底部的三個立體長條圖案也同時被突顯，如果仍以對乾片檢測設定的方法進行檢測，立體長條的影像特徵將使鏡片不易被有效檢測出。因此本研究對人工裝填線缺片之檢測方法詳述如下。

3.2.1. 硬體架構

32Cups 透明托盤面積比 8Cups 鋁合金載具大上許多，托盤左右各可放置 16 (4x4) 個塑膠容器杯，本研究使用 2 台 CCD 攝影機分別針對左右各 16 個塑膠容器杯檢測缺片 (因透明托盤左右對稱，故以下內容為透明托盤的一半，共 16Cups 做為探討)，系統架構如圖(a)~(b)所示，背光源使用電子式高頻背光板。透明托盤左右各可放置 16 (4x4) 個塑膠容器杯，如**錯誤! 找不到參照來源。**所示，



(a) 硬體架構示意圖



(b) 檢測系統原型



(c) 透明托盤右半邊 16Cups (4x4) 示意圖

圖 11：人工裝填線缺片檢測系統取像設計

3.2.2. 軟體架構

人工裝填線缺片檢測演算法之流程可表示如圖 12。

本計畫希望找到一個灰階臨界值，將塑膠容器杯中鏡片的邊緣特徵突顯出來（圖 13(a)）。首先觀察缺片塑膠容器杯的 Histogram 分佈（圖 13(b)），其像素的灰階值介於 128~255 之間，大致可分為左右二群，缺片情形下 Histogram 分佈的右群可找到灰階值眾數，找到眾數之後向左陸續可以找到多個波谷（Local minimum），嘗試以這幾個波谷的灰階值做為臨界值，經實驗後發現（圖 13(c)~(f)）在找到眾數之後，再向左第四個波谷的灰階值當做臨界值，其二值化結果會得到較穩定的圓形區域亮點面積（灰階值為 255 之像素），即圓形區域內幾乎沒有黑點存在。

接著，當利用缺片塑膠容器杯訓練出本計畫所需之灰階臨界值之後，對有鏡片塑膠容器杯做測試，其鏡片邊緣資訊同樣地可突顯出來（如圖 14），且圓形區域亮點面積會偏小。

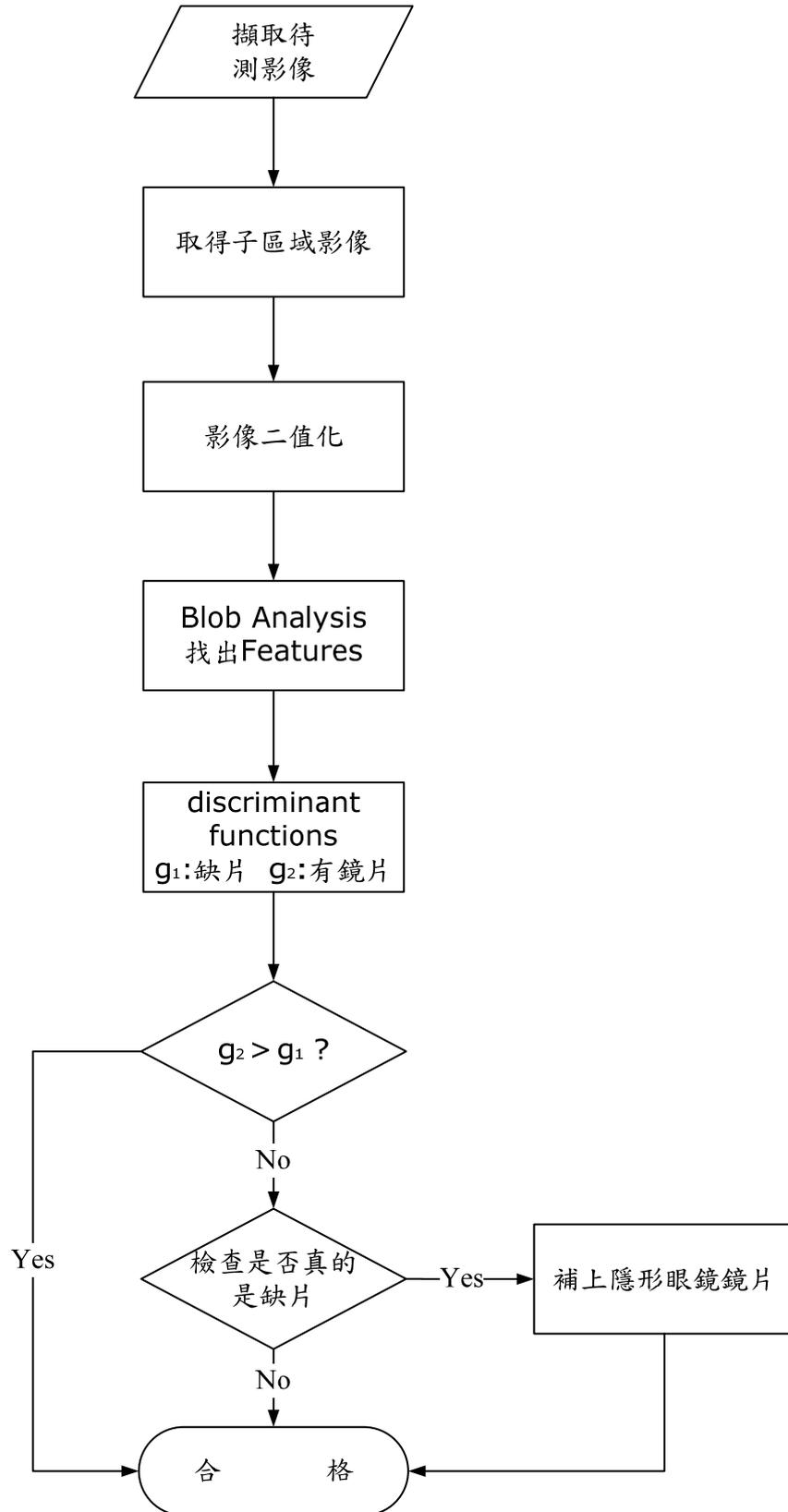
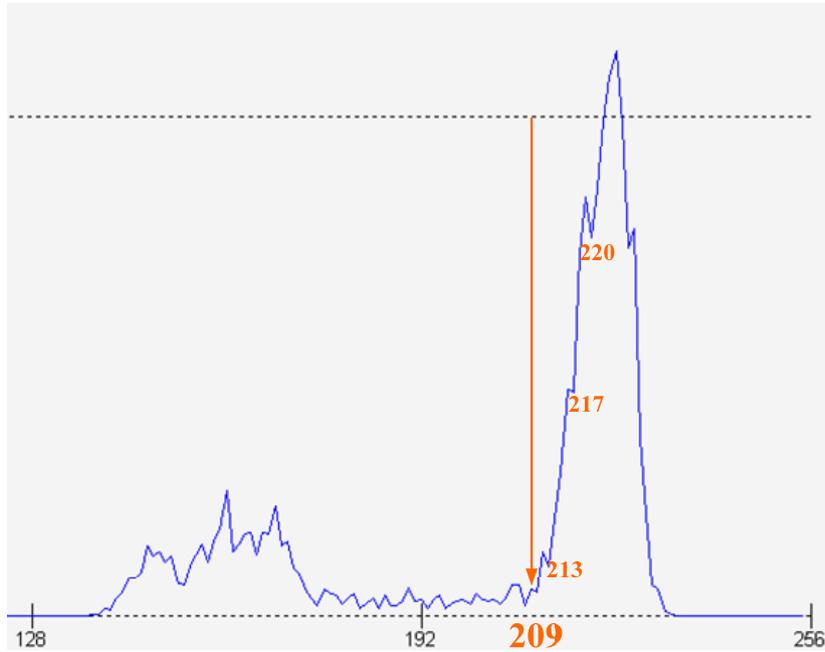


圖 12：人工填裝線缺片檢測演算法流程圖



(a) 缺片塑膠容器杯



(b) 上圖 (a) 紅色圓形區域內 Histogram 分佈



(c) 灰階值 220 二值化之結果，亮點面積 3999



(d) 灰階值 217 二值化之結果，亮點面積 5615



(e) 灰階值 213 二值化之結果，亮點面積 6876

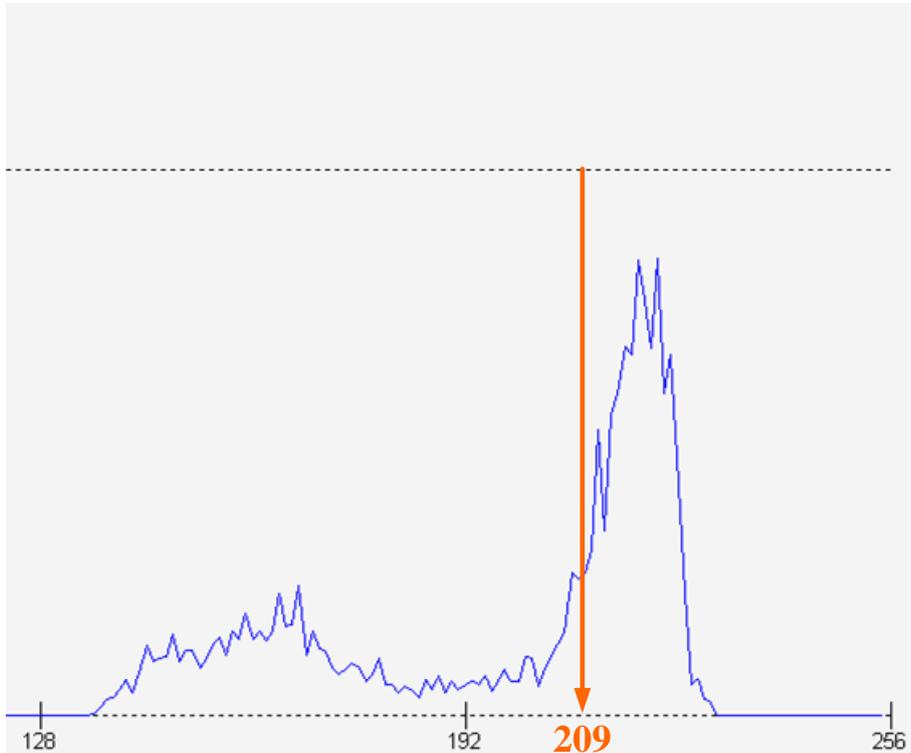


(f) 灰階值 209 二值化之結果，亮點面積 7023

圖 13：缺片塑膠容器杯二值化選取結果



(a) 有鏡片塑膠容器杯



(b) 上圖 (a) 紅色圓形區域內 Histogram 分佈



(c) 灰階值 209 二值化之結果，亮點面積 4335

圖 14：有鏡片塑膠容器杯二值化選取結果

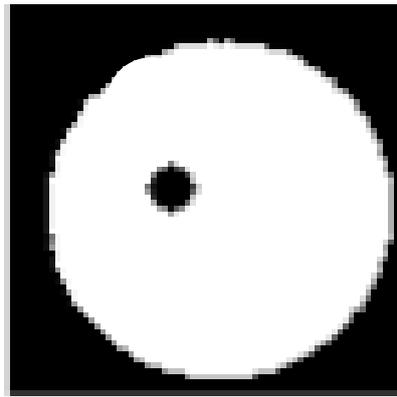
灰階臨界值訓練計算步驟：

- Step 1. 自動調整 CCD 攝影機曝光時間，調整完畢後影像之最大灰階值 (Global maximum gray value) 固定在 250 左右。
- Step 2. 在 Area 1 到 Area 16 放置空塑膠容器杯，偵測出每個子區域的灰階值眾數，並向左找到第四個波谷。
- Step 3. 抓取 30 次，取其平均值做為各子區域的灰階臨界值。

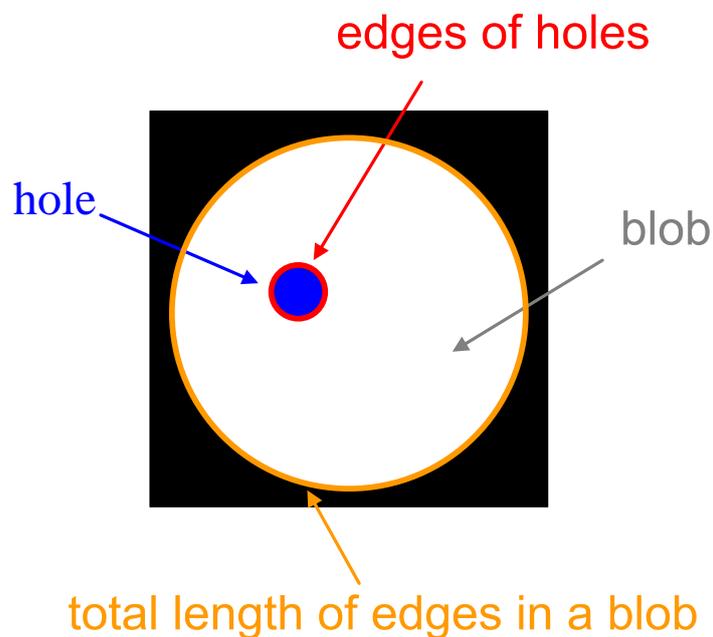
3.2.3. Blob Analysis

在人工裝填線因放置於塑膠容器杯中之鏡片為溼片透光率較高，僅少部份鏡片邊緣資訊可突顯出來。故二值化後，缺鏡片和有鏡片的亮點面積差異並沒有非常大，所以如果只利用亮點面積此一特徵做為閾值來判別是否有鏡片放置在塑膠容器杯中，並不是一個很可靠的指標，因此本計畫再利用 Blob Analysis 找出第二個特徵，以提高辨識率。

此處將利用 Blob 的周長 (Perimeter) 做為第二特徵，Blob 的周長其定義為：Blob 所有邊長之和，包含 Blob 中所有 holes 的邊長，如圖所示。



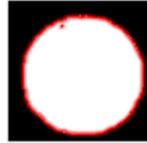
(a) 帶有雜點的塑膠容器杯二值化結果放大圖



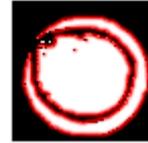
(b) Blob Analysis 示意圖

圖 15：Blob Analysis 周長特徵萃取示意圖

根據本計畫所找的第二個特徵，Blob 的周長，在缺鏡片情形下，二值化後的塑膠容器杯是一個幾乎沒有雜點的圓形區域，所得到 Blob 周長會比較穩定；而在有鏡片情形下，鏡片邊緣資訊在二值化後會被突顯出來，則 Blob Analysis 會得到很多 Blob 內部 holes 的邊長，故有鏡片的 Blob 周長會大上許多，如圖所示。



(a) 缺鏡片 Blob 周長：318



(b) 有鏡片 Blob 周長：1223

圖 16：Blob Analysis 周長（紅色區域）特徵萃取結果（單位：pixel）

3.2.4. Bayesian Classification for Normal Distributions

在特徵選取結束後，待測影像被抽象化為特徵與重要性數字的關係，於是就可以套用到一般的機器學習與分類技術上，其中貝氏分類器（Bayesian Classifier, BC）是一個簡單且實用的分類方法[13]。貝氏分類器是使用機率理論的概念來分類的方法，分別計算某一特徵出現在各個類別中的條件機率，從其中最高機率的類別選定作為該物件的類別。其計算公式如下：

$$P(\omega_i | \bar{x}) = \frac{P(\bar{x} | \omega_i)P(\omega_i)}{P(\bar{x})} \quad (1)$$

其中： $P(\omega_i)$ 表示物件類別發生機率；

$P(\bar{x})$ 表示某一物件出現的特徵值集合的機率；

$P(\bar{x} | \omega_i)$ 代表一條件機率，在類別 ω_i 情形下 \bar{x} 發生的機率。

$P(\omega_i)$ 可從事前訓練資料估計而得；而在計算 $P(\omega_i | \bar{x})$ 時 $P(\bar{x})$ 可被忽略，因為在 \bar{x} 中的各個特徵是彼此獨立。 $P(\bar{x} | \omega_i)$ 的估計有很多不同的方法，一般在實務上最常碰到的機率密度函數為 Gaussian or normal density function.

$$p(\bar{x} | \omega_i) = N(\bar{\mu}_i, \Sigma_i) = \frac{1}{(2\pi)^{d/2} |\Sigma_i|^{1/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} (\bar{x} - \bar{\mu}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\bar{x} - \bar{\mu}_i)\right) \quad (2)$$

d : number of features

mean: $\bar{\mu}_i = E[\bar{x}]$

covariance matrix: $\Sigma_i = E[(\bar{x} - \bar{\mu}_i)(\bar{x} - \bar{\mu}_i)^T]$

for $\bar{x} \in \omega_i$

Discriminant functions for normal density：對上式（2）取 log 簡化如下

$$g_i(\bar{x}) = \frac{-1}{2} (\bar{x} - \bar{\mu}_i)^T \Sigma_i^{-1} (\bar{x} - \bar{\mu}_i) - \frac{d}{2} \ln 2\pi - \frac{1}{2} |\Sigma_i| + \ln P(\omega_i) \quad (3)$$

If $g_1 > g_2$ then $\bar{x} \in \omega_1$ Else $\bar{x} \in \omega_2$

本研究利用上述 Bayes Classification Rule，經事前訓練得到各類別之參數

μ_i 、 Σ_i ，去判別人工裝填線中的透明托盤是否有缺片發生。

3.2.5. 對於塑膠容器杯中鏡片水份過多的處理

作業員從食鹽水中取出鏡片，在手掌心中做分離之後，放置到透明托盤塑膠容器杯中，可能會不小心讓鏡片含水量太多，如此將使鏡片之透光率極高，經二值化之後，將無法突顯出鏡片邊緣，則形成的圓形區域亮點面積和所得到 Blob 周長二個特徵在經由 Discriminant functions 判別歸類時，會被認定為缺鏡片之情形，形成誤判（假警報，將有鏡片誤判為缺鏡片），如圖 17 所示。

為了防止過高的誤判情形，本研究設計了第二階段的檢測，即經由 Discriminant functions 歸類成缺鏡片情形的區域，再給予另一個灰階臨界值，去確認是否塑膠容器杯中真的缺鏡片。

灰階臨界值訓練計算步驟：

Step 1. 自動調整 CCD 攝影機曝光時間，調整完畢後影像之最大灰階值（Global maximum gray value）固定在 250 左右。

Step 2. 在 Area 1 到 Area 16 放置空塑膠容器杯，偵測出每個子區域的灰階值眾數。

Step 3. 訓練 30 筆求其平均值，做為檢查是否真的缺鏡片的灰階臨界值。

如果是鏡片含水太多情形下，透光率極高，經由此灰階臨界值二值化後結果亮點面積會偏高。故針對缺鏡片塑膠容器杯亮點面積訓練，得一可用來確認是否真的缺鏡片之二值化門檻值。

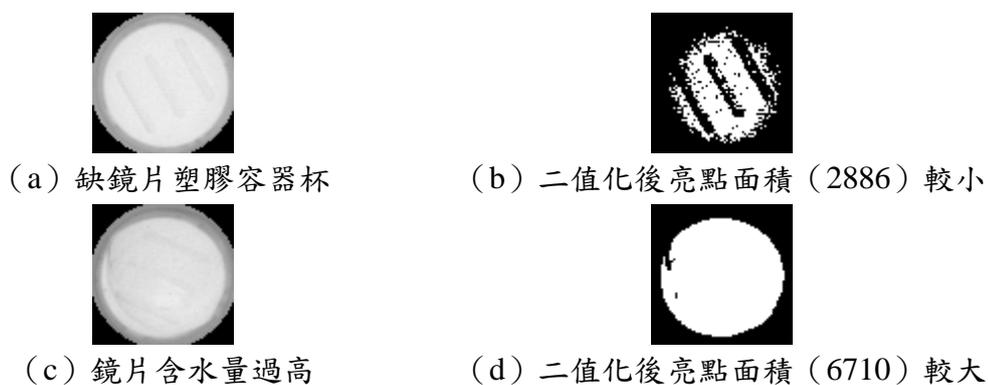


圖 17：確認是否真的缺鏡片

4. 實驗結果

本章將說明整個系統所使用之設備、相關參數設定、以及各個項目檢測結果說明。章節安排如下：4.1 包裝機缺片檢測說明；4.2 人工裝填線缺片檢測說明。

4.1. 包裝機缺片檢測說明(8Cups，2x4 個塑膠容器杯)

根據 3.1 節所提出之系統架構，建構本檢測系統之軟硬體。

4.1.1. 系統架構

- 個人電腦：使用 CPU 為 AMD 2.0 GHz 個人電腦、記憶體為 512MB SDRAM、顯示卡為 ATI-X300 VGA Chip。
- CCD 攝影機：Guppy F-033B ASG (8bit Monochrome，1/3" type Sony Progressive Scan CCD，7.4 μm \times 7.4 μm Cell Size，IEEE 1394 interface)。輸出的解析度為 640pixels \times 480pixels。
- 鏡頭：FUJINON HF25HA-1B 25mm 定焦。
- 光源系統：白色 LED 背光箱。
- 影像處理函式庫：MIL(Matrox Imaging Library)5.0、ActiveMIL 5.0 版 函式庫。
- 程式語言：Visual Basic 6.0，配合影像處理函式庫，撰寫檢測系統之程式。

4.1.2. 包裝機缺片檢測系統整合實驗(8Cups，2x4 個塑膠容器杯)

以下實驗均以第三章之研究方法構成，利用所發展設計之(1)取像模組、(2)灰階臨界值(其值如表 1)、(3)亮點面積門檻值，針對包裝機線上有無缺片做檢測實驗。

表 1：灰階臨界值

1st Area	2nd Area	3rd Area	4th Area
206	219	223	206
5th Area	6th Area	7th Area	8th Area
200	218	222	207

表 2：各種情形下之亮點面積平均值

(a) 缺塑膠容器杯亮點面積平均值

1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area
3371	3568	3571	3423	3341	3522	3528	3329

(b) 缺鏡片塑膠容器杯亮點面積平均值

1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area
1925	2131	2084	2032	2023	2113	2212	1950

(c) 有鏡片膠容器杯亮點面積平均值

1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area
415	312	399	199	298	584	450	336

由表 2 可以看出缺塑膠容器杯、缺鏡片、有鏡片三種不同情形下的亮點面積差異甚大（亮點面積差距 > 1000 以上）。故依據 3.1 節所述，亮點面積閾值設定如表 3：

表 3：面積閾值之設定

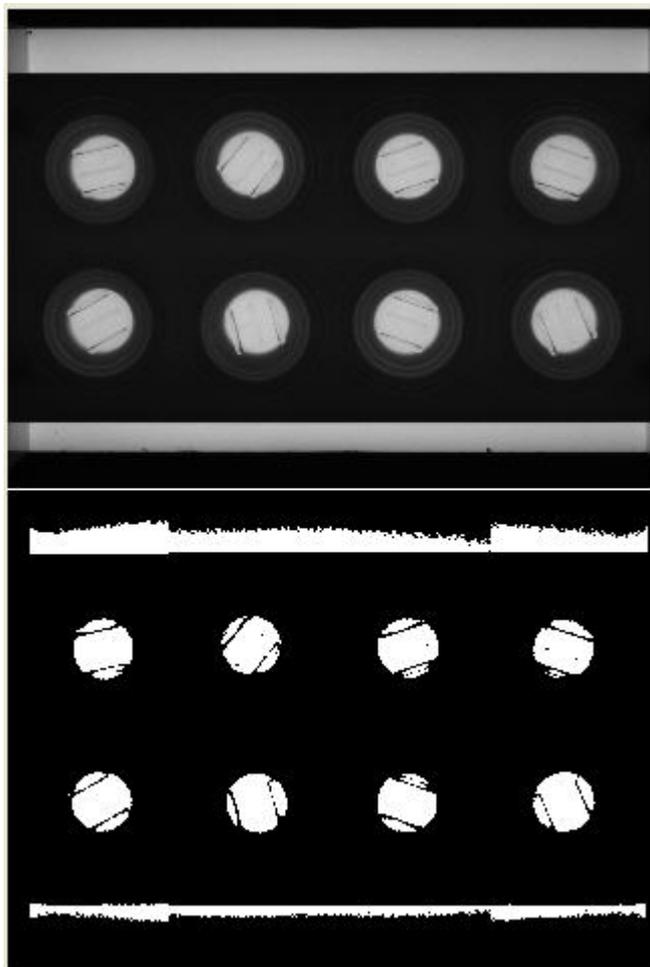
(a) 亮點面積閾值上界

1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area
2648	2849	2827	2727	2682	2817.5	2870	2639

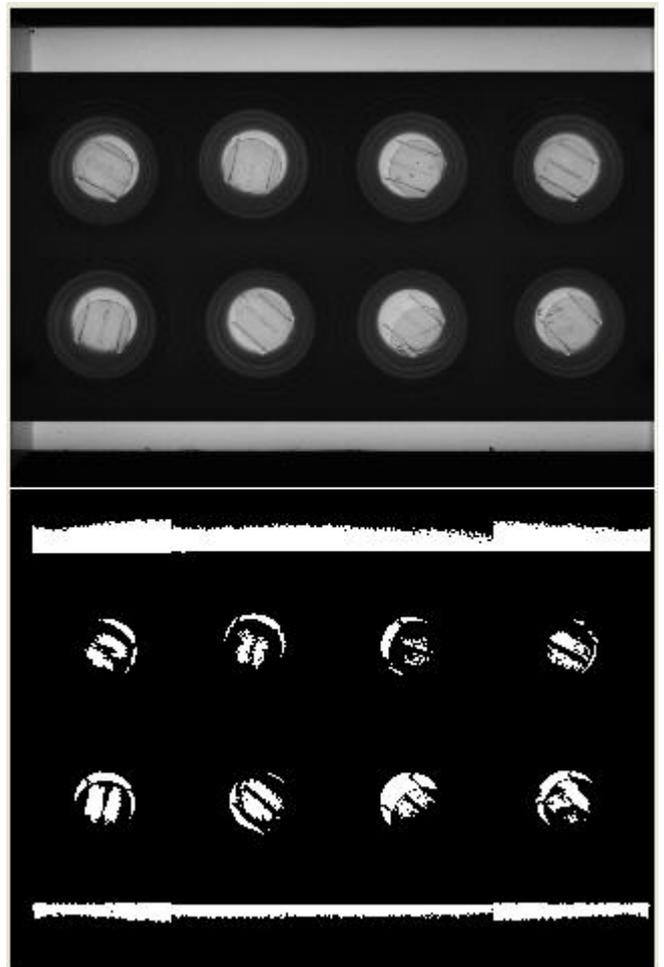
(b) 亮點面積閾值下界

1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area
1170	1221	1242	1115	1161	1348	1331	1143

圖為利用本研究實驗訓練出之灰階臨界值對缺鏡片及有鏡片情形之二值化結果。程式介面如圖所示。



(a) 缺鏡片塑膠容器杯



(b) 有鏡片塑膠容器杯

圖 18：利用所訓練之灰階臨界值二值化結果

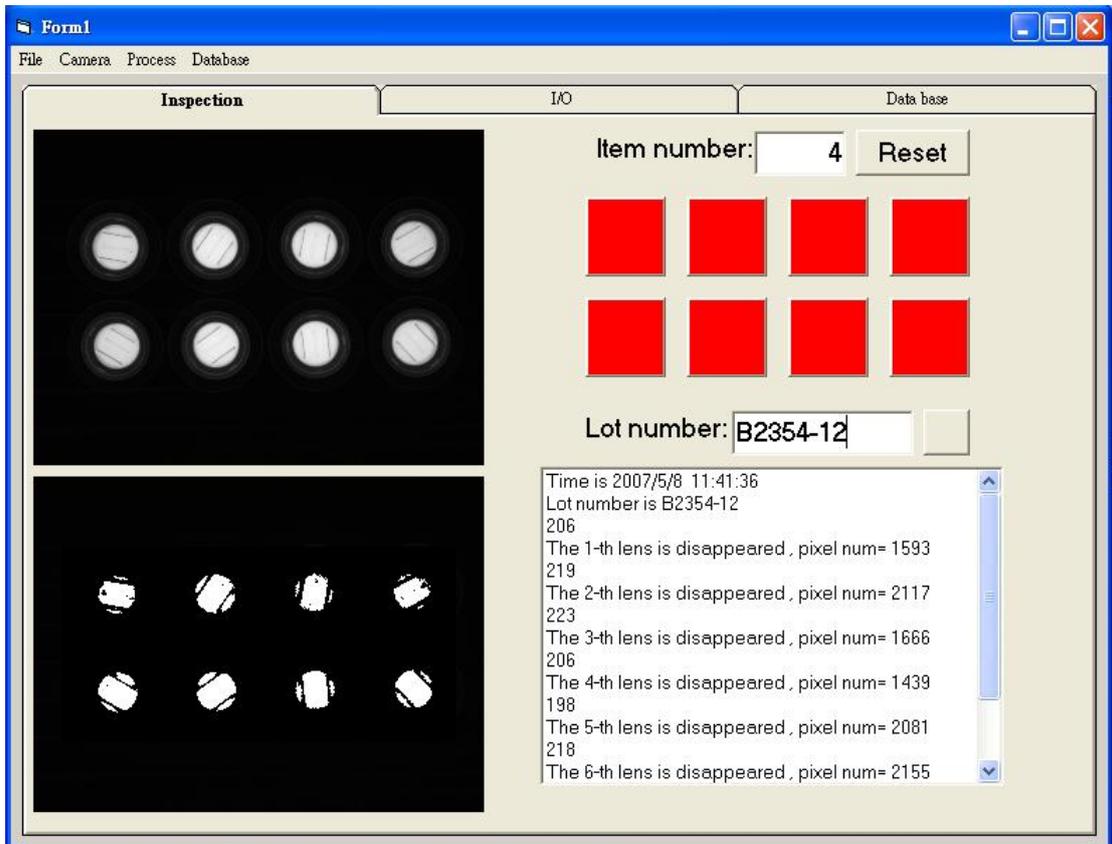
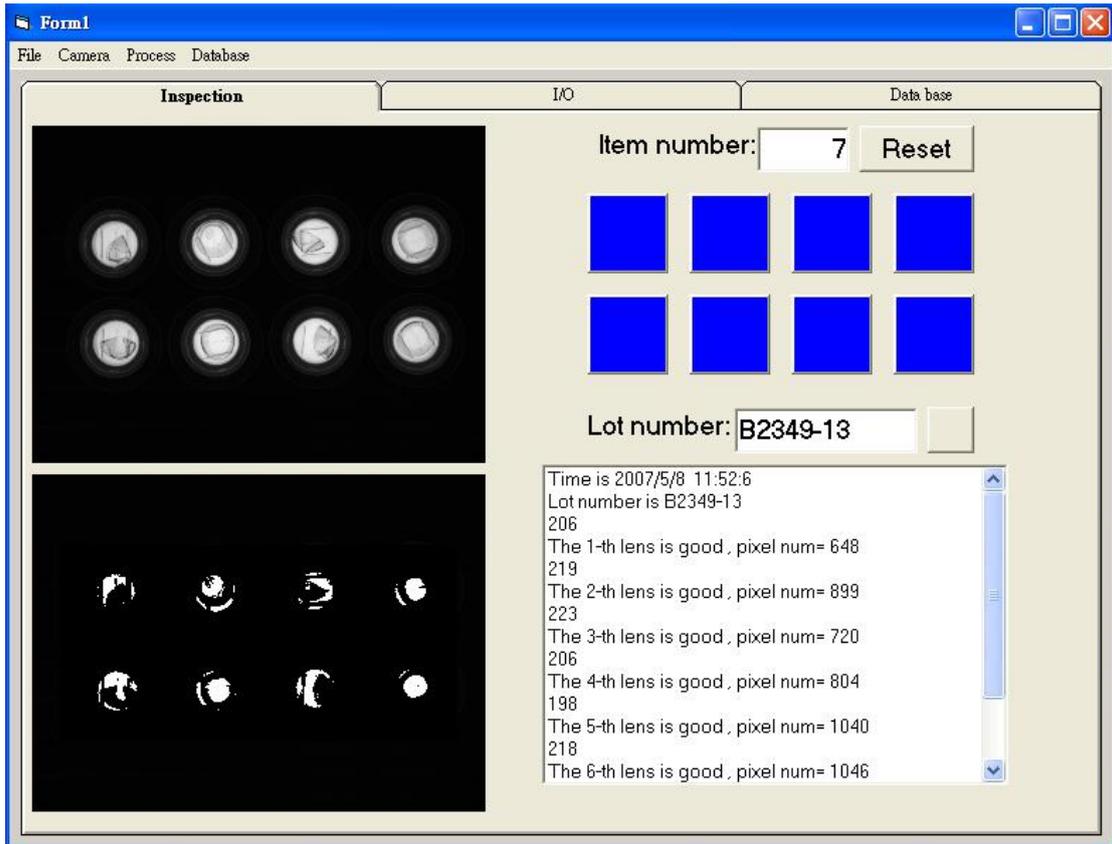


圖 19：包裝機缺片檢測檢驗程式介面

(1) 對缺鏡片塑膠容器杯做測試 (表 4): 30 次, 錯誤次數: 0, 錯誤率: 0%

表 4: 缺鏡片塑膠容器杯測試結果

Count Number	1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area	Result
1	1933	2145	2095	2059	2050	2149	2247	1969	12345678no lens
2	1897	2121	2079	2010	2022	2091	2196	1927	12345678no lens
3	1896	2101	2053	1994	2011	2097	2196	1939	12345678no lens
4	1934	2125	2113	2038	2011	2115	2237	1968	12345678no lens
5	1927	2135	2105	2022	2038	2108	2232	1988	12345678no lens
6	1896	2107	2054	1994	2015	2082	2179	1922	12345678no lens
7	1881	2090	2074	2004	2004	2117	2204	1950	12345678no lens
8	1922	2140	2101	2032	2052	2144	2233	1970	12345678no lens
9	1918	2121	2114	2045	2058	2129	2229	1962	12345678no lens
10	1928	2129	2109	2043	2066	2132	2229	1965	12345678no lens
11	1962	2140	2102	2053	2048	2153	2230	2001	12345678no lens
12	1912	2124	2101	2043	2003	2108	2219	1959	12345678no lens
13	1908	2135	2077	2009	2044	2126	2225	1946	12345678no lens
14	1915	2116	2094	2023	2033	2106	2215	1939	12345678no lens
15	1927	2153	2105	2043	2036	2139	2235	1965	12345678no lens
16	1915	2117	2045	1996	1994	2086	2204	1920	12345678no lens
17	1904	2107	2089	2041	2008	2136	2202	1972	12345678no lens
18	1951	2145	2099	2044	2038	2098	2235	1938	12345678no lens
19	1937	2163	2110	2051	2046	2125	2237	1985	12345678no lens
20	1926	2139	2087	2034	2004	2132	2219	1954	12345678no lens
21	1933	2128	2083	2013	2033	2099	2199	1943	12345678no lens
22	1932	2140	2101	2056	2032	2143	2243	1963	12345678no lens
23	1898	2103	2066	1991	1998	2099	2205	1930	12345678no lens
24	1939	2150	2089	2038	2049	2110	2227	1982	12345678no lens
25	1922	2131	2107	2032	2040	2124	2224	1953	12345678no lens
26	1916	2121	2090	2031	2005	2102	2215	1930	12345678no lens
27	1923	2114	2088	2041	2011	2128	2225	1943	12345678no lens
28	1886	2098	2051	1995	1999	2071	2200	1908	12345678no lens
29	1884	2109	2034	1993	1972	2078	2158	1905	12345678no lens
30	1876	2106	2079	2015	2028	2120	2214	1930	12345678no lens

(2) 對有鏡片塑膠容器杯做測試 (表 5): 30 次, 錯誤次數: 0, 錯誤率: 0%

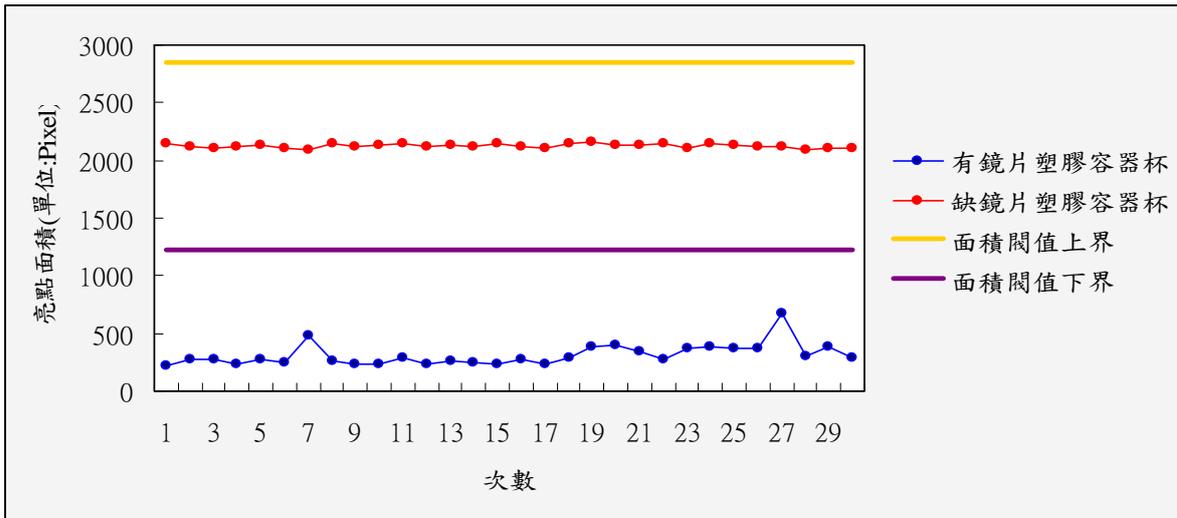
表 5: 有鏡片塑膠容器杯測試結果

Count Number	1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area	Result
1	379	225	379	229	47	469	398	252	OK
2	391	276	438	235	201	594	489	411	OK
3	307	280	469	172	28	594	286	372	OK
4	269	236	331	217	345	566	332	227	OK
5	415	281	405	293	251	651	468	424	OK
6	202	245	296	244	74	595	311	286	OK
7	353	485	342	86	270	409	370	373	OK
8	515	257	398	251	361	704	396	323	OK
9	314	237	425	254	364	610	398	195	OK
10	411	229	410	264	374	597	594	334	OK
11	541	288	391	207	297	518	496	415	OK
12	425	232	283	244	301	532	509	331	OK
13	437	260	386	162	146	499	415	407	OK
14	561	254	359	99	367	575	530	402	OK
15	564	231	452	193	276	546	440	401	OK
16	566	270	376	64	405	629	549	372	OK
17	381	240	348	226	323	556	462	184	OK
18	495	294	394	171	421	607	524	349	OK
19	331	389	402	180	262	563	487	388	OK
20	360	393	383	129	413	557	538	302	OK
21	638	338	391	204	374	662	520	152	OK
22	469	271	481	311	248	647	532	339	OK
23	511	366	337	177	393	593	422	393	OK
24	542	390	460	343	480	587	530	409	OK
25	330	365	418	280	225	528	383	227	OK
26	477	378	473	145	428	617	394	397	OK
27	285	673	433	164	395	703	522	431	OK
28	291	300	354	190	276	619	441	360	OK
29	373	381	490	45	303	568	331	416	OK

Count Number	1 st Area	2 nd Area	3 rd Area	4 th Area	5 th Area	6 th Area	7 th Area	8 th Area	Result
30	285	295	380	85	393	587	407	351	OK

以 Area 2 為例，如表 6 所示，可以看出經由實驗訓練所得之亮點面積閾值上、下界，可以有效地將有鏡片和缺鏡片之情形區別出來。

表 6：8 Cups 的 Area 2 面積閾值上、下界



4.2. 人工裝填線缺片檢測說明(32Cups，4x8 個塑膠容器杯)

根據 3.2 節所提出之系統架構，建構本檢測系統之軟硬體。

4.2.1. 系統架構

- 個人電腦：使用 CPU 為 AMD 2.0GHz 個人電腦、記憶體為 512MB SDRAM、顯示卡為 ATI-X300 VGA Chip。
- CCD 攝影機：Guppy F-080B ASG × 2 (8bit Monochrome, 1/3" type Sony Progressive Scan CCD, 4.65 μm × 4.65 μm Cell Size, IEEE 1394 interface)。輸出的解析度為 1024pixels × 768pixels。
- 鏡頭：FUJINON HF25HA-1B 25mm 定焦。
- 光源系統：電子式高頻背光板。
- 影像處理函式庫：MIL (Matrox Imaging Library) 5.0、ActiveMIL 5.0 版 函式庫。
- 程式語言：Visual Basic 6.0，配合影像處理函式庫，撰寫檢測系統之程式。

4.2.2. 人工裝填線缺片檢測系統整合實驗(16Cups, 4x4 個塑膠容器杯)

以下實驗均以第三章之研究方法構成，利用所發展設計之 (1) 取像模組、(2) 灰階臨界值(其值如表 7)、(3) 貝氏分類器，針對人工裝填線上有無缺片做為檢測對像。

表 7：灰階臨界值

1stArea	2ndArea	3rdArea	4thArea
190.8	195.4	193.2	191.3
5thArea	6thArea	7thArea	8thArea
195.5	199.5	198.8	197.7
9thArea	10thArea	11thArea	12thArea
194.5	200.2	197.1	193.6
13thArea	14thArea	15thArea	16thArea
188.9	194.4	192.6	188.0

4.2.2.1. 貝氏分類器參數之訓練

- 取 10 張皆為缺鏡片塑膠容器杯之影像，則共有 $10 \times 16 = 160$ 個樣本。

Discriminant function $g1$ (缺鏡片塑膠容器杯)：

$$\text{mean: } \bar{\mu}_1 = \begin{bmatrix} 7103.5 \\ 327.5 \end{bmatrix} \quad \text{covariance matrix: } \Sigma_1 = \begin{bmatrix} 850702 & -1285 \\ -1285 & 23430 \end{bmatrix}$$

- 取 10 張皆為有鏡片塑膠容器杯之影像，則共有 $10 \times 16 = 160$ 個樣本。

Discriminant function $g2$ (有鏡片塑膠容器杯)：

$$\text{mean: } \bar{\mu}_2 = \begin{bmatrix} 4678.1 \\ 1451.4 \end{bmatrix} \quad \text{covariance matrix: } \Sigma_2 = \begin{bmatrix} 184850000 & -8637500 \\ -8637500 & 13333333 \end{bmatrix}$$

經由訓練缺鏡片樣本 (ω_1) 及有鏡片樣本 (ω_2)，則如圖所示，呈現二個類別的分佈。將待測影像之特徵 \bar{x} 代入 $g1$ 和 $g2$ ，If $g1 > g2$ then $\bar{x} \in \omega_1$ Else $\bar{x} \in \omega_2$ 。

4.2.2.2. 測試結果

程式介面如圖所示。

(1) 對缺鏡片塑膠容器杯做測試：30 次，錯誤次數：0，錯誤率：0%

(2) 對有鏡片塑膠容器杯做測試：30 次，錯誤次數：0，錯誤率：0%

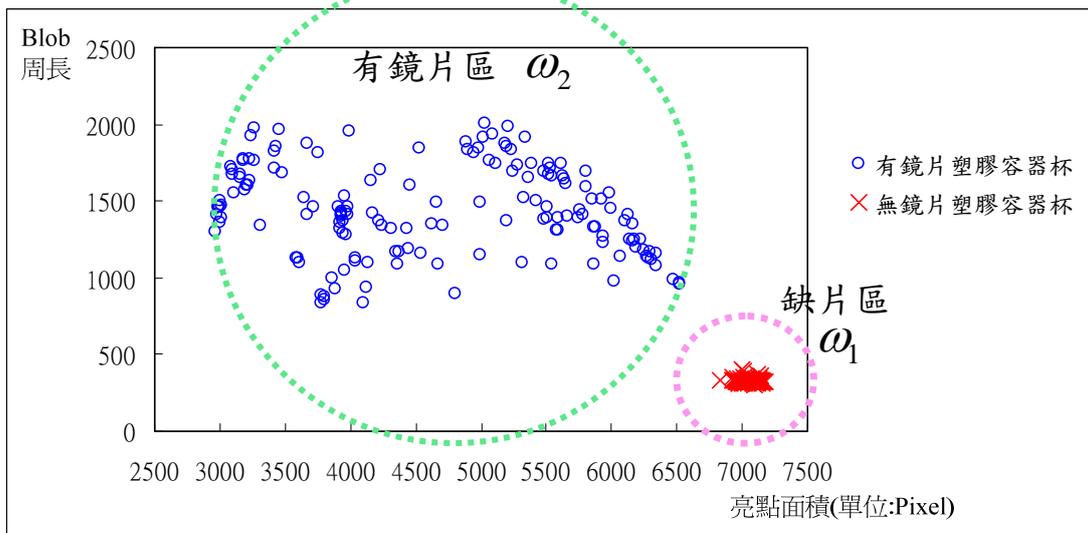


圖 20：貝氏分類器樣本訓練分佈圖

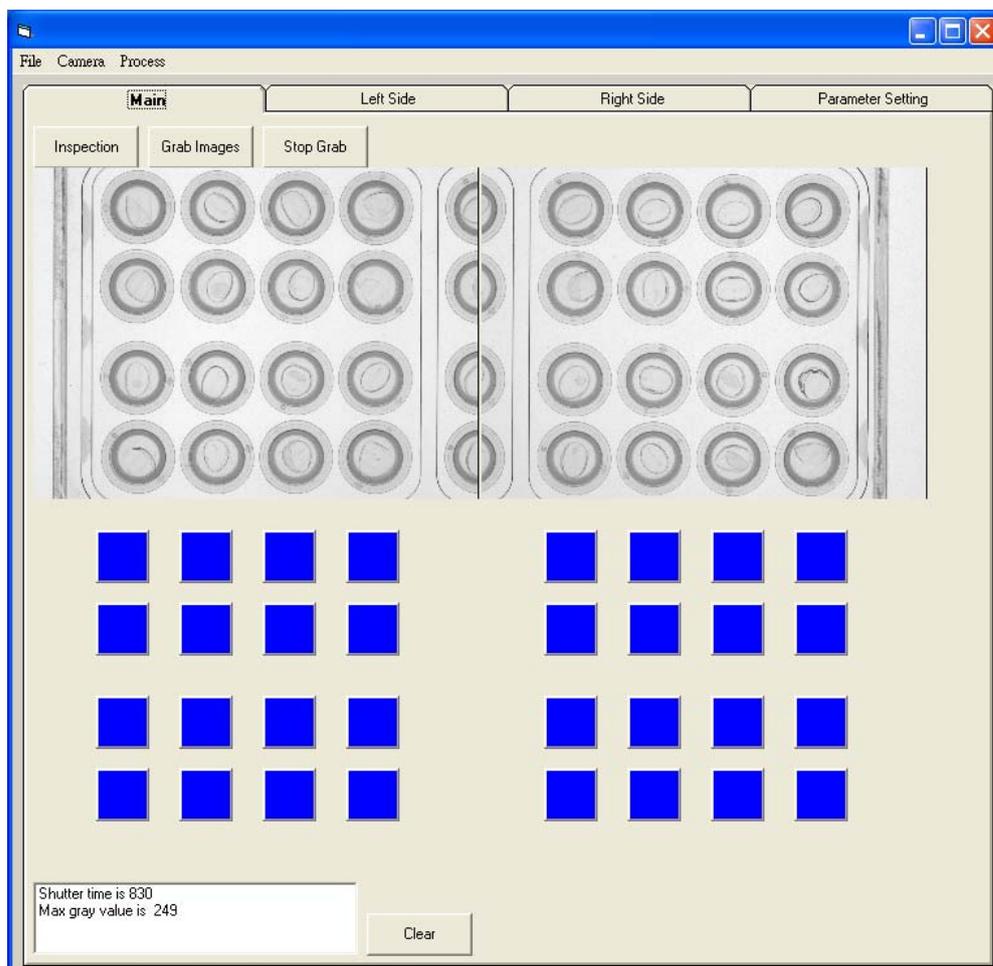


圖 21：人工裝填線缺片檢測程式介面

5. 結論

本研究針對隱形眼鏡生產及包裝過程中需要檢驗的部分，設計開發出自動光學檢測系統，主要分為包裝機缺片檢測（8Cups, 2x4 個塑膠容器杯）、人工裝填線缺片檢測（32Cups, 4x8 個塑膠容器杯）。包裝機缺片檢測、及人工裝填線缺片檢測經由本研究實驗所得之光源系統、取像裝置、光源工作距離、和檢測演算法，其正確率皆可達至 100%。且硬體建置上並不複雜，成本相當低廉，對於隱形眼鏡生產線上缺片檢測可達到快速、穩定、準確的效果。

參考文獻

- [1] R. J. Edwards, J. A. Ebel, B. P. Gundersen, T. C. Ravn, "Ophthalmic Lens Inspection System and Method," U.S. Patent No. 5, 745, 230, 1998.
- [2] H. E. Rhody, B. C. Leung, and D. H. Xu, "Automatic Inspection System," U.S. Patent No. 6, 047, 082, 2000.
- [3] D. F. Ross and T. P. Newton, "Missing Lens Detection System and Method," U.S. Patent No. 6, 246, 062 B1, 2001.
- [4] S. L. Epstein and R. G. Gore, "Inspection System for Optical Components," U.S. Patent No. 6, 614, 516 B2, 2003.
- [5] A. J. Dispenza, J. Ebel, K. Giles and M. F. Widman, "Method and System for Inspecting Optical Devices," U.S. Patent No. 6, 882, 411 B2, 2005.
- [6] 陳維昱，"CRT 玻璃幕面瑕疵自動視覺檢測系統"，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2003
- [7] 陳宗達，"CMOS 玻璃蓋片自動光學檢測機台之設計及開發"，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2005。
- [8] 李孟坤，"高分子有機發光二極體瑕疵自動光學檢測系統"，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2005。
- [9] 張國政，"CMOS Sensor 自動光學檢測機台之設計及開發"，國立交通大學工業工程與管理學系碩士論文，2006。
- [10] 王滿堂，"隱形眼鏡學上、下冊"，藝軒圖書出版社，2005。
- [11] N. Otsu, "Threshold Selection Method from Gray Level Histograms," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, SMC-9, pp.62-66, 1979.
- [12] A. Lenhart and H. Hulsing, "Particle-detection on Glass Substrates and Thin

Film Magnetic Storage Disks,” IEEE transactions on Magnetics, Vol. 26, Issue 1, pp.138-140, 1990.

[13] R. O. Duda, P. E. Hart and D. G. Stork, Pattern Classification, Wiley Interscience, pp.21-44, 2001.