

第三章 PLED 瑕疵檢測研究方法設計

PLED 為平面顯示器產品，製造商在意產品本身是否有瑕疵與面板通電後的亮度與色度是否均勻。外觀方面，除了表面刮傷瑕疵，膠寬是否符合規格也是廠商在意的因素。許多研究[1, 2]利用 CCD (Charge Coupled Device, 光電耦合元件) 作為光學檢測儀器的取像工具。CCD 有許多方面優於色彩分析儀

(Colorimeter)，然而，本研究希望利用實際的量測來證明 CCD 不但在價格、速度等條件 (如表 2.1) 上具有優勢外，其量測的結果與業界慣用的色彩分析儀具有相似的色彩與亮度分佈趨勢，可以用來作為光學檢測儀器之取像工具。

表 2.1 CCD 與 Colorimeter 的比較

| | CCD | Colorimeter |
|--------|----------------------|------------------------|
| 價格 | 低(約Colorimeter的1/10) | 高 |
| 測量範圍 | 可搭配其他鏡頭做調整 | 固定(單通道) |
| 測量速度 | 快(<0.1sec) | 慢(>1 sec) |
| 量測適用範圍 | 小區域不均勻 | 大區域不均勻(如LCD螢幕畫面左右的不均勻) |

本章分成兩大部分，第一部份為利用色彩分析儀量測 PLED 的亮度為依據，證明 CCD 當作影像分析之取像工具的可用性。第二部分著重於 PLED 面板瑕疵的檢測；瑕疵則分為發光點不均勻與膠寬不均勻。

3.1 色彩分析儀與 CCD 之量測方法

同[2]所使用的 PLED 夾具與通電設備，如下圖 3.1 所示，將通電後的 PLED 影像使用色彩分析儀量測，其量測範圍如圖 3.2 所示，所量測的色度與亮度以黑色實心圈涵蓋處為範圍，以 4x4 涵蓋範圍為例，其實際涵蓋半徑約為 0.86mm，面積約為 2.322mm²。

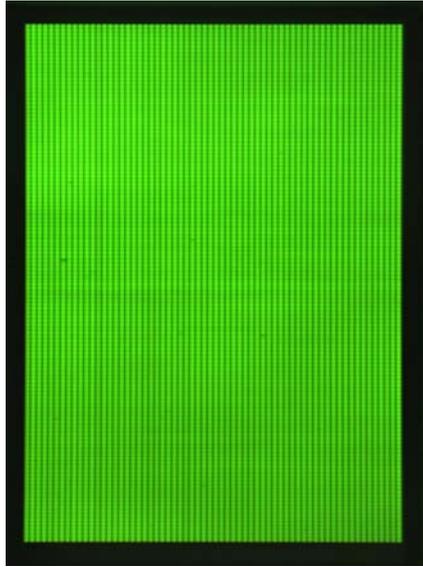


圖 3.1 PLED 通電後影像

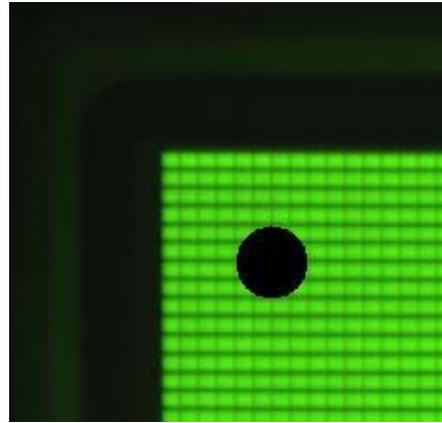


圖 3.2 色彩分析儀量測涵蓋範圍示意圖

色彩分析儀所量測出來的值包含了顏色與亮度，顏色以 XYZ 色彩空間(Color Space) 中的 X、Y 表示，亮度 (Luminance, L_v) 以 Nit (平方燭光) 為單位表示之[20]。

3.1.1 比較色彩分析儀與 CCD 的拍攝結果

PLED 片具有 128 (行) x64 (列) 個發光點。首先利用色彩分析儀以 4x4 個發光點為涵蓋範圍大小，逐點量測其亮度值，並將此值正規化至 0 至 255 的範圍內，如圖 3.3 所示：

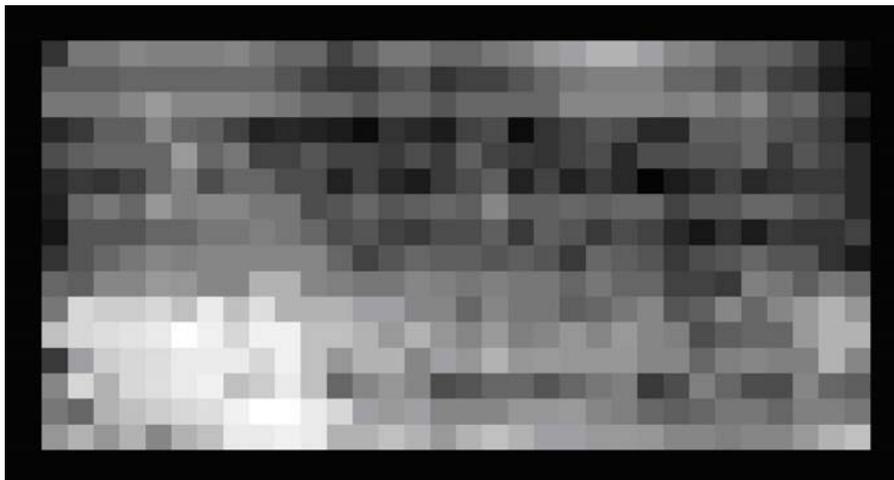


圖 3.3 以色彩分析儀測量儀得到的 PLED 面板亮度分佈示意圖

同樣的，以 CCD 拍攝 PLED 面板，計算每個子影像中之第九十百分位灰階值作

為子影像代表值作圖，得到如圖 3.4：

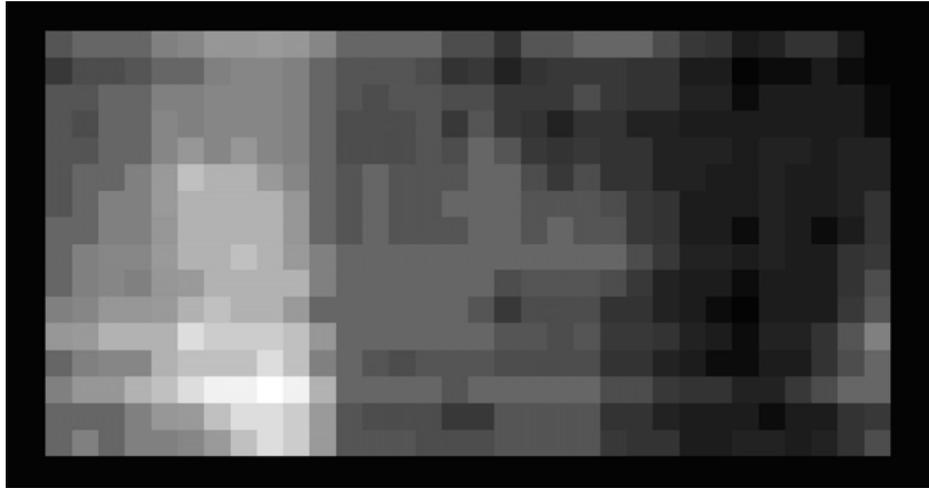


圖 3.4 以 CCD 得到的 PLED 面板亮度分佈示意圖

如預期般，兩者所拍攝出來的結果雖然在細部有差異，不過大體上有相似的亮度分佈趨勢，如本實驗樣本，都是畫面的左下方偏亮而右半部偏暗，故可選用 CCD 作為光學檢測的取像工具。



3.1.2 重複性 (Repetition) 與小幅移動 (Shift) 的量測

第二個部分，第一步先利用色彩分析儀對 PLED 面板上某一固定點重複量測 30 次，計算其變異數，觀察色彩分析儀量測的穩定性，並改變量測涵蓋範圍 (圖 3.2 的黑點涵蓋處)，觀察涵蓋範圍大小與穩定性之間的關連。

接著，為了瞭解色彩分析儀是否真正會因量測時所涵蓋的發光點 (Cell) 與間隙 (Gap) 之比例不同而有差異 (如圖 3.5 的 1 處所涵蓋的完整橫向間隙數為 1 條，2 處所涵蓋的完整橫向間隙數卻有兩條，涵蓋面積不變的情況下，其發光點與間隙的比例便有不同)。第二步將涵蓋點以順時針方向小幅度移動，如圖 3.5 所示：

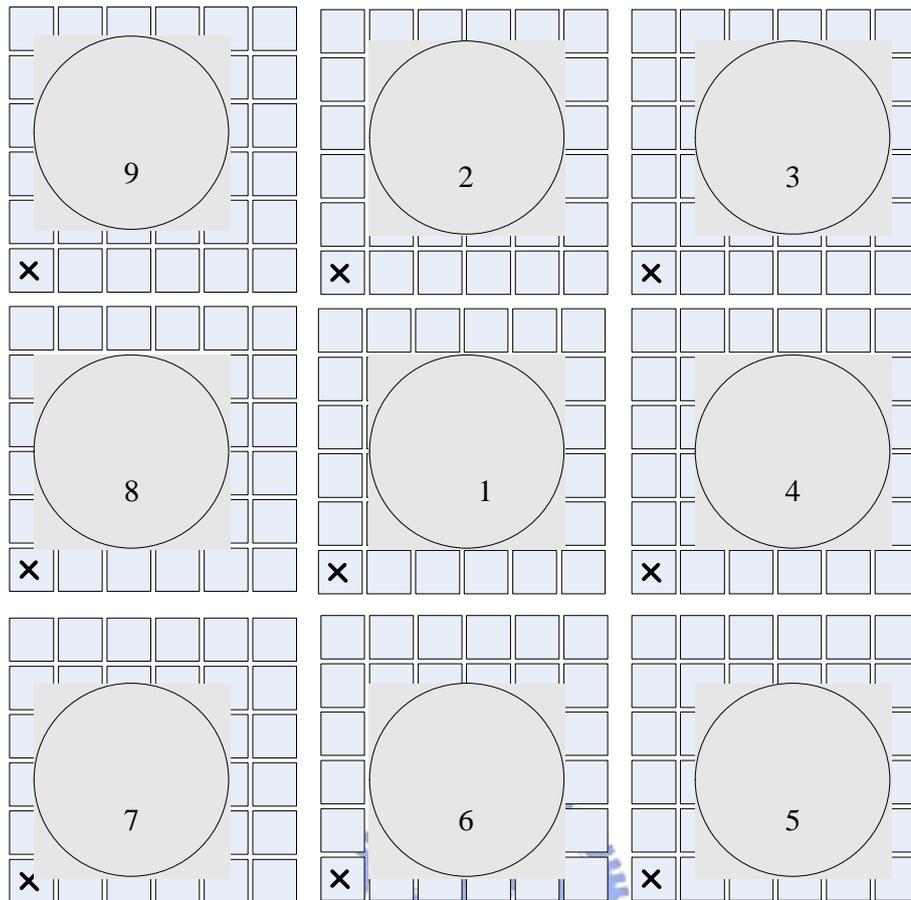


圖 3.5 小幅移動量測移動方向示意圖

改變涵蓋範圍的大小，觀察範圍大小與上述兩種量測的關係。預期當涵蓋範圍越大，兩種量測結果的變異越小。

同樣地我們利用 CCD 拍攝 PLED 面板影像重複 30 次，計算數個特定之子影像亮度值的變異數，觀察 CCD 取像的穩定性；由於 CCD 量測結果的敏感度低於色彩分析儀許多，預計每次的亮度值變異不會太大，推測 CCD 的量測結果將比色彩分析儀所量測的亮度值變異來得小。

綜合上述，可以將本節提供之量測方法表示如圖 3.6。

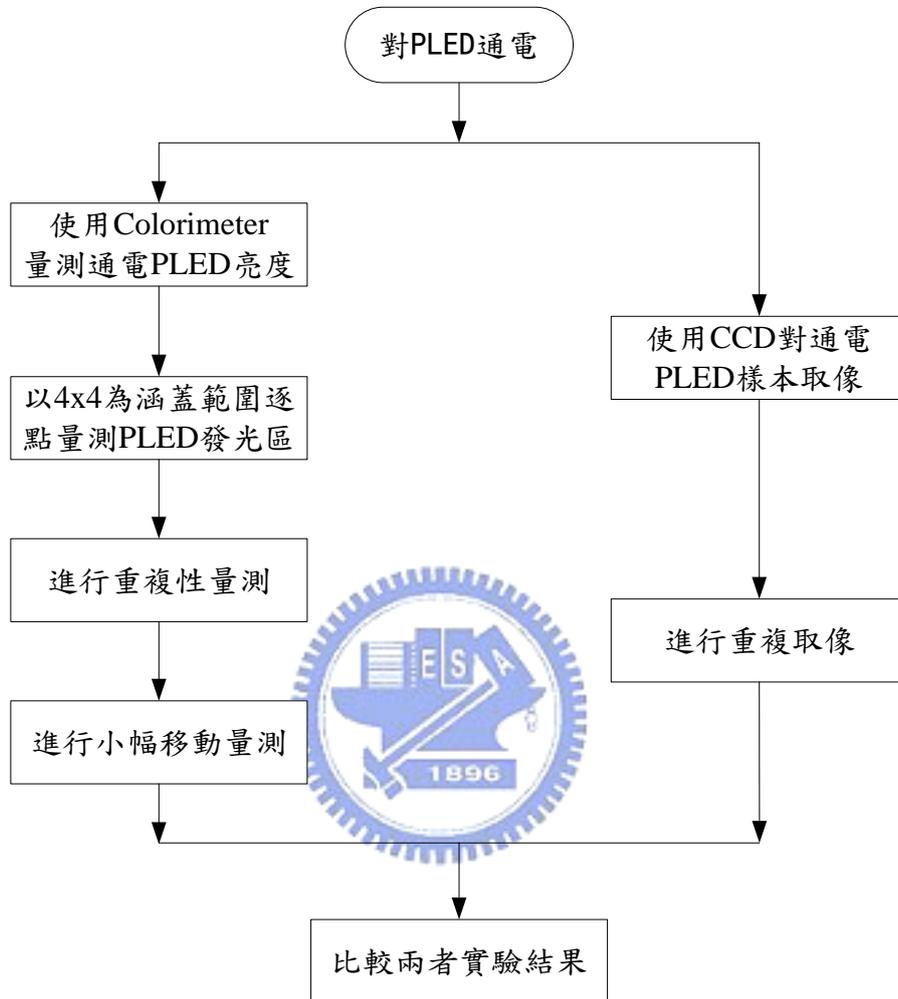


圖 3.6 色彩分析儀與 CCD 之量測方法流程圖

3.2 PLED 發光點不均勻檢測光源系統

如[2]點燈檢測的硬體架構，利用一治具放置 PLED 樣本，並通電使其發光進行取像。擷取到具不均勻瑕疵之 PLED 影像如圖 3.7 所示：

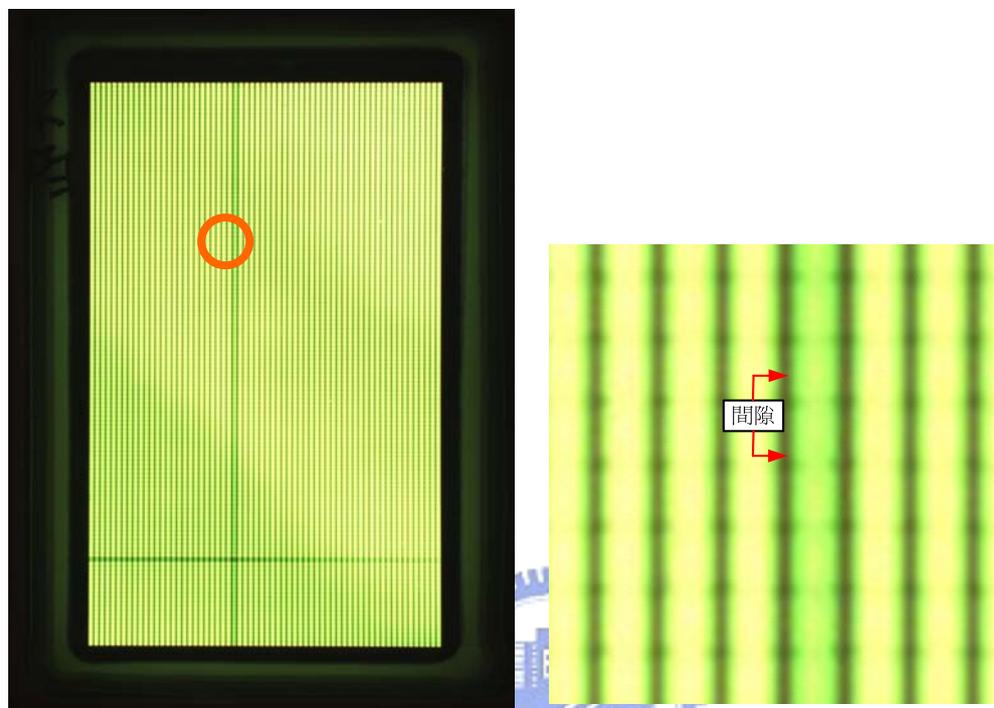


圖 3.7 PLED 通電後影像

圖 3.8 間隙示意圖 (圖 3.7 紅圈處)

同上一節，因所用 PLED 片具有 128×64 個發光點，佈滿發光點的區域稱為發光區，發光點之間較暗的線稱為間隙 (Gap)，如圖 3.7 與圖 3.8 所標示。發光點不均勻檢測包含兩個項目：

- (1) 發光點亮度不均勻
- (2) 發光點色度不均勻

本節研究目的是設計出一檢測演算法，不但能檢測出影像發光區中亮度值較低的區域 (不均勻區域)，並顯示出該不均勻區域的位置。

檢驗前，先對通電後所擷取的影像進行幾何失真校正，並且將校正後影像由 RGB 色彩空間 (Color Space) 轉換至 HSL 色彩空間。利用 HSL 色彩空間中的亮度 (Luminance) 與色調 (Hue) 分別作為檢測亮度不均勻與色度不均勻之維度。演算法方面，過去研究中[2]所提出的檢驗方式，是先將 128 (行) \times 64 (列) 個發光點分成 32 (行) \times 16 (列) 個待測區 (Block)，每個待測區內固定有 4×4 共

16 個發光點，再以待測區內的最高灰階度代表該待測區作為發光點不均勻的檢測指標。然而，本研究經實驗後確定固定的待測區尺寸不適合檢測不均勻瑕疵，原因是太小的待測區尺寸對於微小變化的偵測會過於敏感，導致變化不明顯的區域被視為不均勻瑕疵；大待測區尺寸則無法貼切的顯示不均勻的分佈情形。故本研究運用 Quadrees [23]結構，將檢驗區域設計成由大到小尺寸切割的形式，檢測結果將完整的呈現不均勻位置的分佈情形。

3.2.1 亮度不均勻檢測演算法

以圖 3.7 為例，將已轉換至 HSL 系統的 PLED 待測影像，以其中發光區域為範圍做檢測演算法所使用的待測區域。用此區域作亮度 (Luminance) 直方圖，其橫軸為亮度值 (0 至 255)，縱軸為每個亮度值的累計像素個數，結果如圖 3.9。

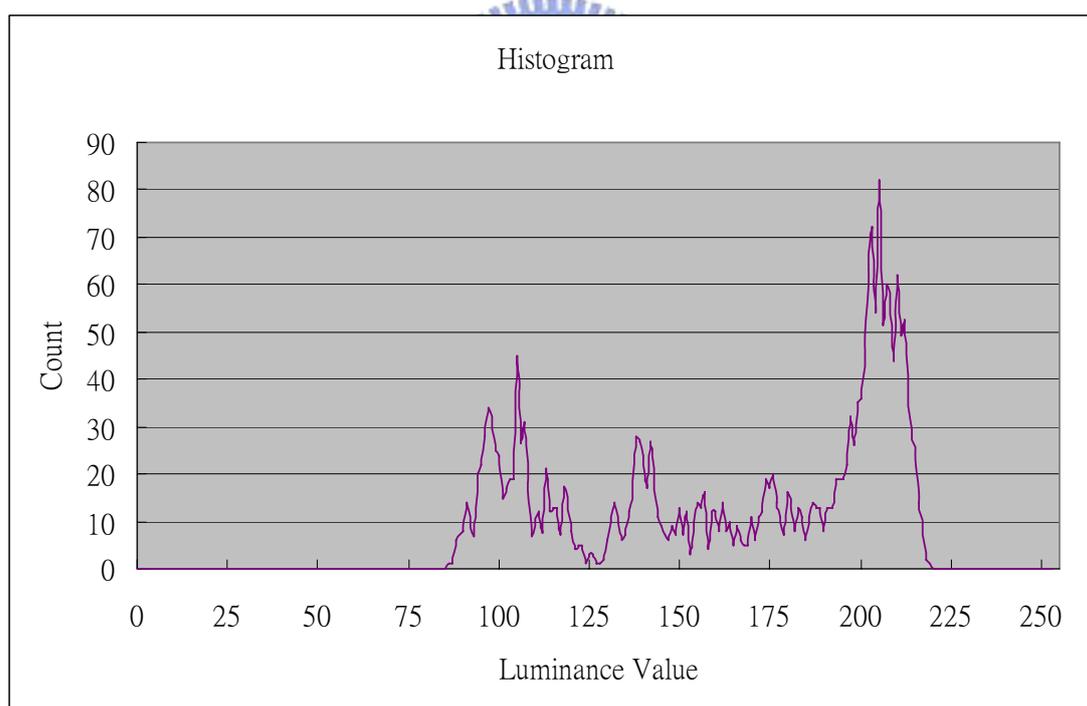


圖 3.9 PLED 樣本亮度直方圖

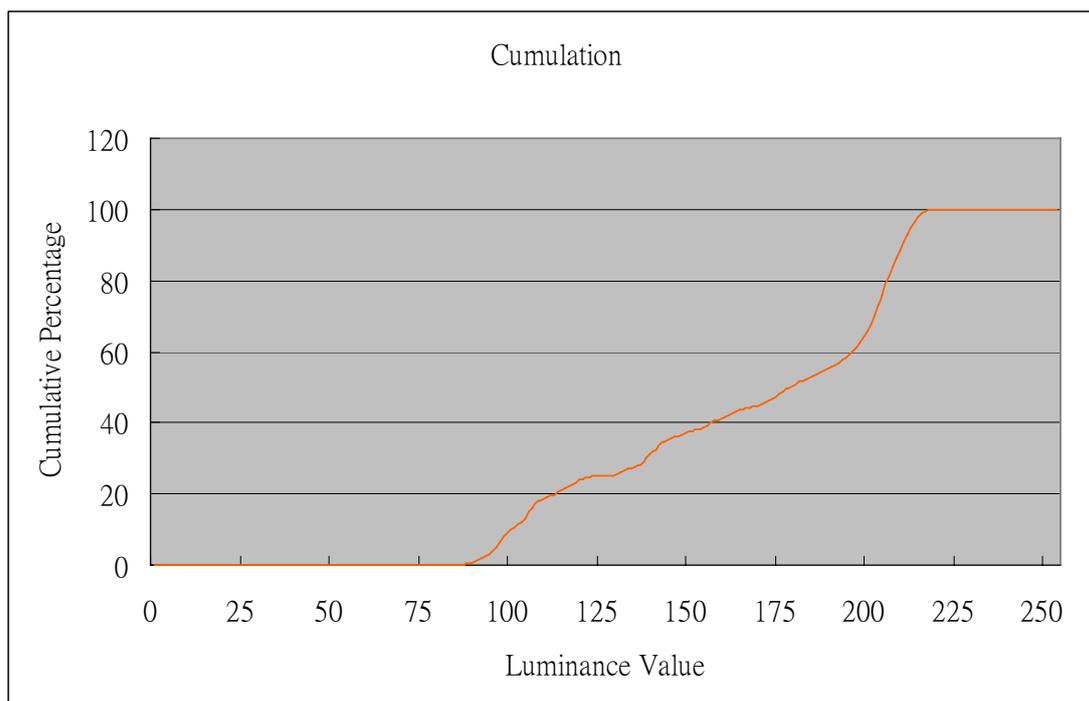


圖 3.10 PLED 樣本亮度累加分佈圖

觀察圖 3.9 之亮度直方圖分佈，可以約略分為兩個部分。第一部分是從亮度值約 85 至 130 之間，是發光區中之間隙 (Gap) 部分，屬於整個發光區最暗的部分。第二部分是約從亮度值 130 至 225，代表發光點的部分，將直方圖累加後得圖 3.10。本研究根據 PLED 亮度值分佈的特性，在待測區域中，利用最佳二值化 (Optimal thresholding) 的自動二值化方式，找出一個能分出間隙與發光點的門檻值，然後計算影像中所有大於此門檻的亮度值標準差作為待測區的指標。假設此區域的標準差超過某門檻值 α ，判斷其屬於不均勻區域，此檢測步驟稱為均勻度檢測。然而，僅經此一步驟無法確實找出不均勻發生的位置，必須在確認待測區不均勻後找出亮度偏暗區域的位置。所以，完成均勻度檢測後，再利用待測區域的平均值作為指標，比較區域與區域間的明暗程度，此步驟稱亮度檢測。倘若某個特定的待測區域之平均值，低於周圍八鄰接點 (Eight Neighborhoods) 至某個程度 β 時，判斷此區域為亮度不均勻的位置，並將結果顯示在與原待測影像相對應的位置。檢測演算法分述在第 3.2.1.1 節與第 3.2.1.2 節。

3.2.1.1 亮度均勻度檢測

首先，將 128x64 的發光區的亮度影像，對分為兩塊含有 64x64 發光點的待測區，如圖 3.11 所示。

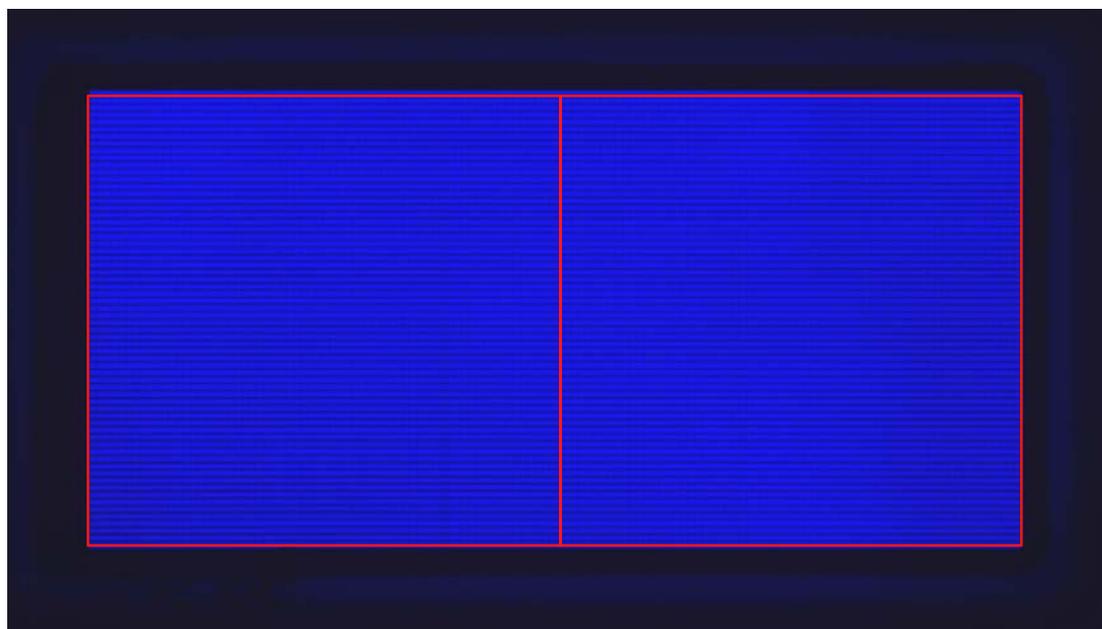


圖 3.11 亮度檢測區域示意圖

計算出兩待測區的亮度直方圖後，如上一段所述，運用最佳二值化方法找出一自動二值化門檻值。接著，本研究希望由門檻值到待測區內最高的亮度值之間的差距能越小越好，故選用此範圍的標準差作為檢測指標，倘若此標準差超過一預設的門檻值 α ，判斷其屬於不均勻區域。此一 α 可經由觀察數據與實驗選定，相關的實驗則在第四章描述。若被判斷為不均勻區域，則將此待測區再細分成四個子區域，亦即每塊 64x64 區域能被分割成四塊 32x32 子待測區，如圖 3.12 所示，此 64x64 待測區是 32x32 的母區域 (Parent)，而 32x32 待測區稱為 64x64 的子區域 (Child)；若被判斷為均勻區域，則跳過切割的步驟直接進入亮度檢測。經過切割的子區域，逐塊再進行上述的亮度均勻度檢測，直到所有的待測區都屬於均勻區域，或者是待測區被切割成 2x2 大小 (此 2x2 將被視為均勻區域)。本研究將 1x1 大小的發光點不均勻瑕疵視為暗點瑕疵，故演算法僅計算到 2x2。

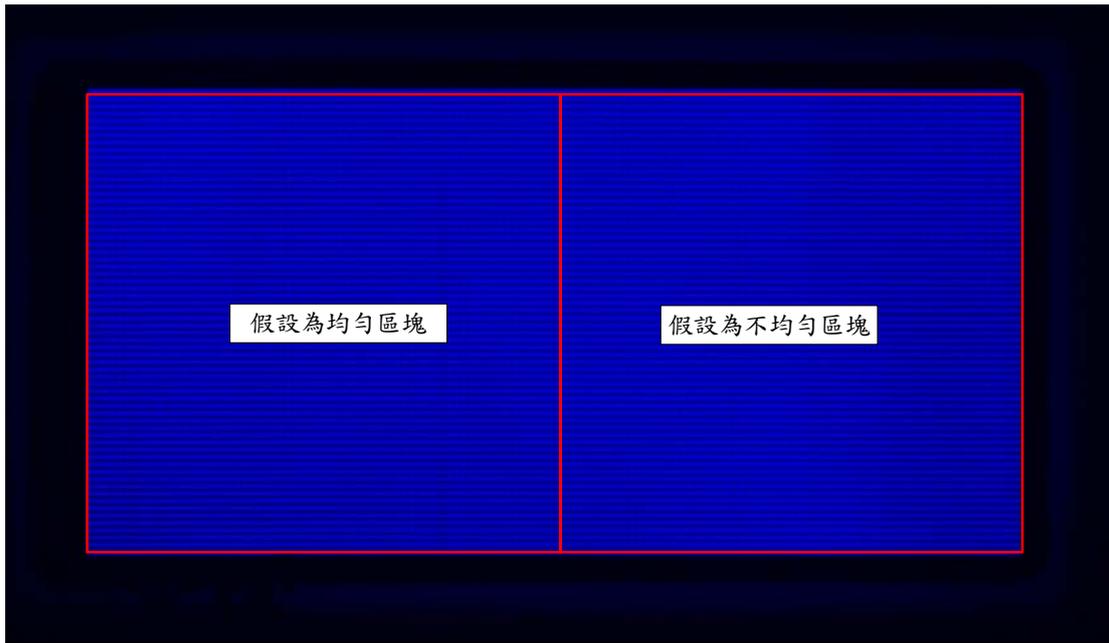


圖 3.12(a) 圖 3.11 經亮度均勻度檢測示意圖

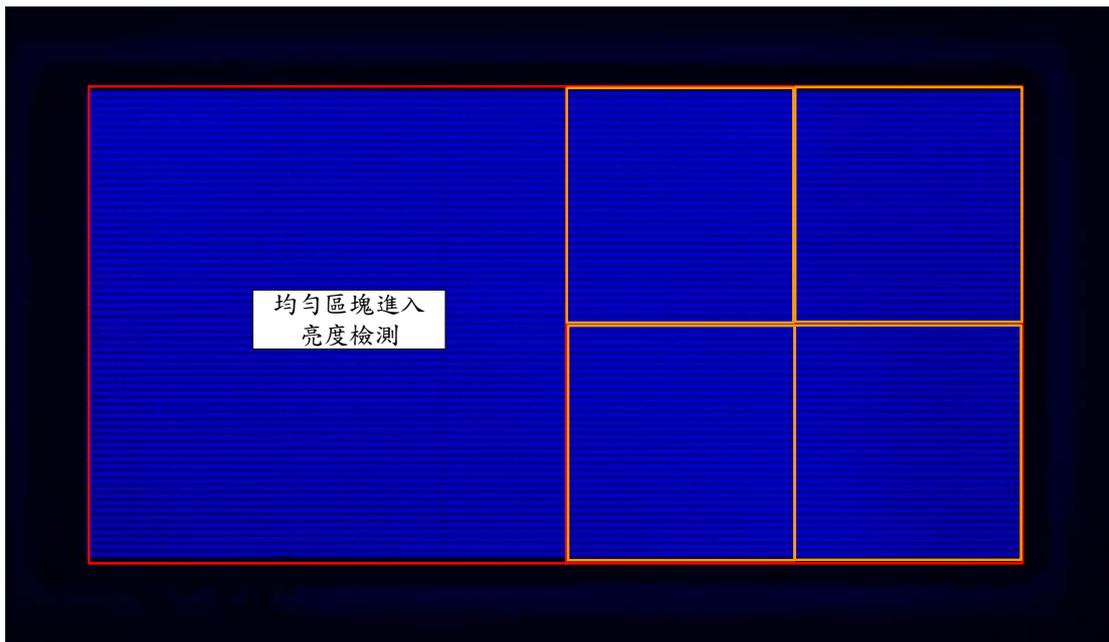


圖 3.12(b) 不均勻區塊切割成四塊新的待測區域

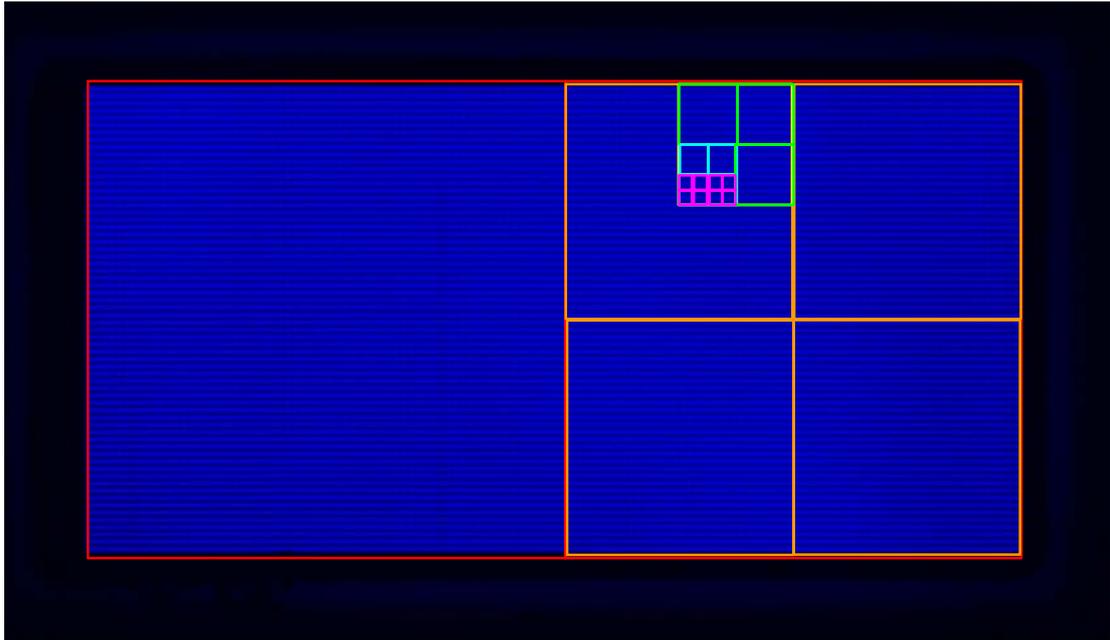


圖 3.12(c) 均勻度演算法將切割至所有區域均均勻為止（粉紅色框大小為 2x2）

圖 3.12 亮度均勻度檢測演算法切割示意圖

3.2.1.2 亮度檢測

經由第一步亮度均勻度檢測後，經判定為亮度均勻的區域，須再經第二步亮度檢測，目的是為了將比一般發光點還要暗的區域位置找出來。檢驗規則：將每一塊通過均勻度檢測的待測區平均值，與鄰近八同尺寸鄰接點之平均數相比，假設低超過一門檻值 β 時，判斷此區域存在亮度不均勻瑕疵。此 β 值一樣能透過實驗獲得，相關實驗將在第四章內描述。

綜合上述，可將亮度不均檢測演算法完整流程表示如下圖 3.13：

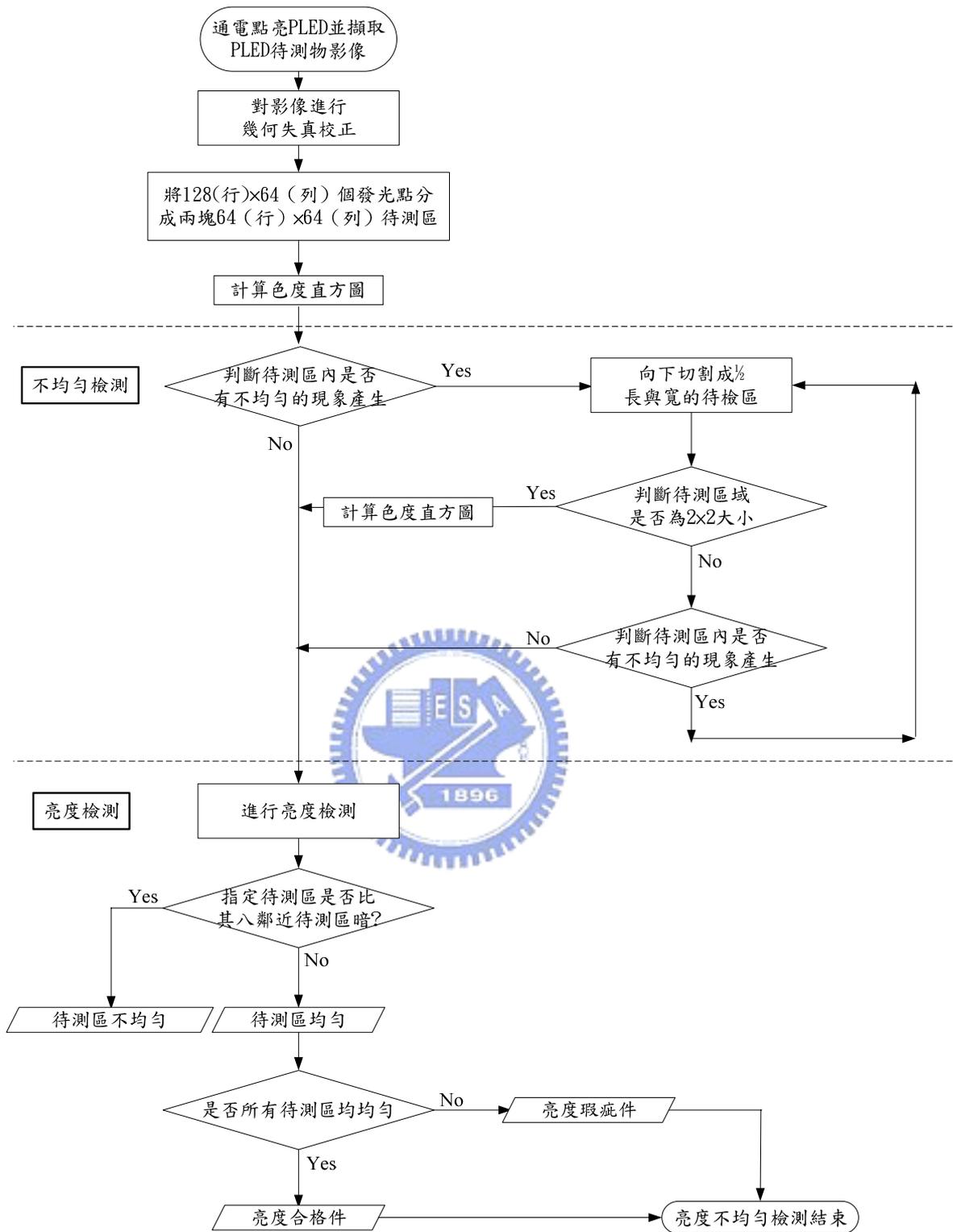


圖 3.13 亮度不均匀检测示意图

3.2.2 色度不均勻檢測演算法

如第 3.2.1 節，以圖 3.7 為例，將已轉換至 HSL 系統的 PLED 待測影像，以其中發光區域為範圍做檢測演算法所使用的待測區域。用此區域作色度 (Hue) 直方圖，其橫軸為色度值 (0 至 255)，縱軸為每個色度值的累計像素個數，結果如圖 3.14，將此直方圖累加後得到圖 3.15。

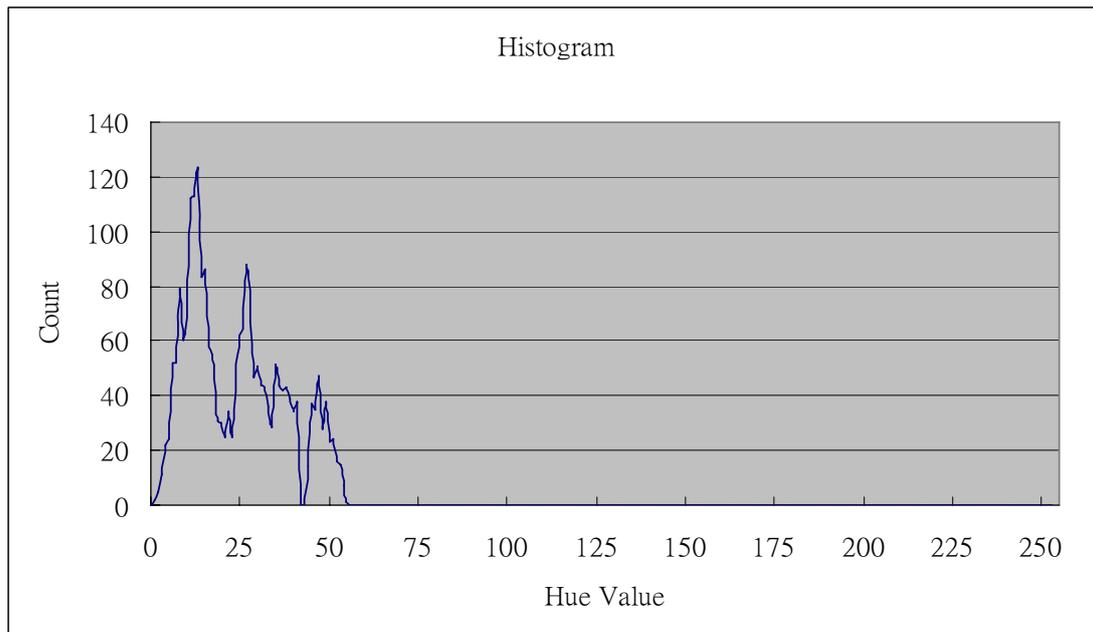


圖 3.14 PLED 樣本色度直方圖

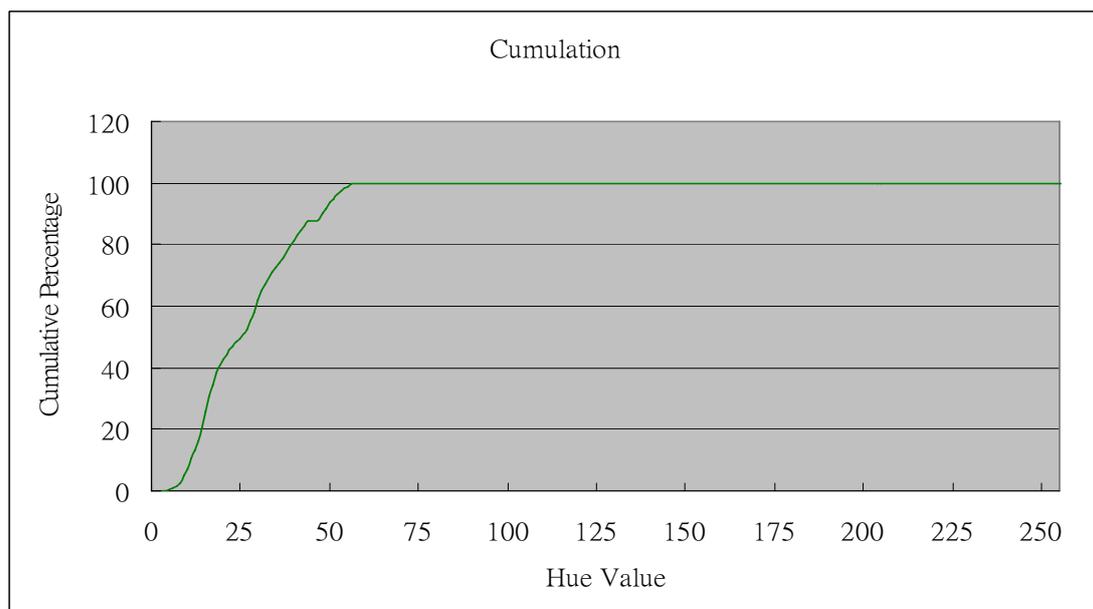


圖 3.15 PLED 樣本色度累積分佈圖

色度不均勻的檢測概念類似亮度不均勻的檢測，觀察圖 3.14 的色度直方圖，本研究希望色度分佈在直方圖的集中趨勢越高越好，亦代表色度越均勻。故同樣需要兩個步驟檢測色度不均勻，一樣先檢查色度影像中的待測區不均勻的程度，是否超過一個門檻值 α ，此步驟稱為色度的不均勻檢測；接著，再確認色度不均勻在發光區的位置，同樣是以待測區的平均值作為待測區的指標，將其與八鄰接區域相比，倘若超過某個程度 β 時，表示此區域為色度不均勻的位置，亦即假設圖 3.16 中的 a 點是 PLED 發光區的期望色彩，則當色彩偏向藍色或者紅色時的代表意義都是色度不均勻，此步驟稱為色度檢測。檢測完畢後，同亮度不均勻檢測，將結果顯示在與原待測影像相對應的位置。檢測演算法則分述於第 3.2.2.1 節與第 3.2.2.2 節。

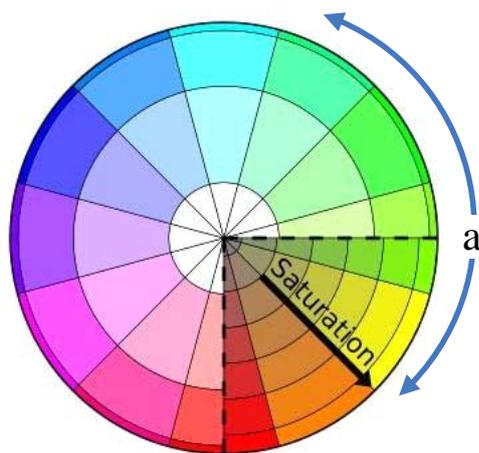


圖 3.16 色度範圍示意圖

3.2.2.1 色度均勻度檢測

首先，如第 3.2.1.1 節的亮度均勻度檢測，將 128×64 的發光區對分為兩個 64×64 的檢測區域，如下圖 3.17 所示。

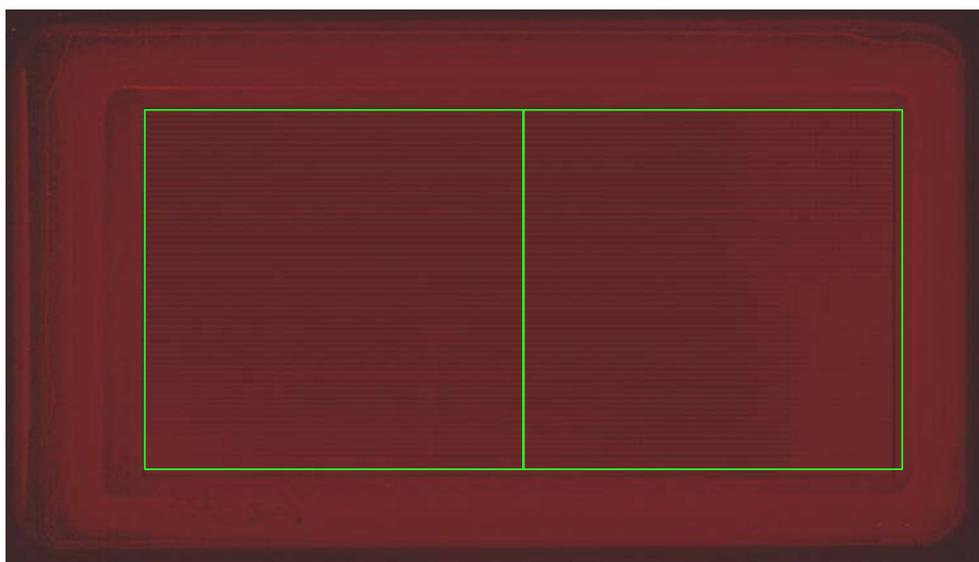


圖 3.17 色度檢測區域示意圖（影像使用 HSL 色彩空間之色度域顯示）

計算出兩個待測區的色度直方圖後，再計算其色度值的標準差，倘若此標準差超過一預設門檻值 α ，判斷其屬於色度不均勻的區域。此 α 值選定方式與亮度不均勻的參數選定方式相同。被判斷為色度不均勻的區域，也如同亮度不均勻的切割方式，再將每塊 64×64 區域分成四塊 32×32 子待測區；若被斷為均勻的區域，則跳過切割步驟進入色度檢測。經切割區域逐塊再進行上述的色度均勻度檢測，直到所有的待測區都屬於均勻區域，或者是待測區被切割成 2×2 大小（此 2×2 一樣被視為均勻區域）。

3.2.2.2 色度檢測

色度檢測概念同亮度不均勻檢測中的亮度檢測，將經均勻度檢測被判定色度均勻的區塊將進行色度檢測，將不均勻區域的位置找出來。方法是利用每塊在色度不均勻檢測中檢測出的色度均勻區塊，計算此區塊的色度平均值作檢測指標，利用此平均值與八個相同大小鄰接點之色度平均值比較，假如比這八鄰接都來得高或低過預設的門檻值 β ，判定其為色度不均勻區域。此 β 值的選定概念同亮度不均勻檢測。

綜合上述，可將色度不均檢測演算法完整流程表示如下圖 3.18：

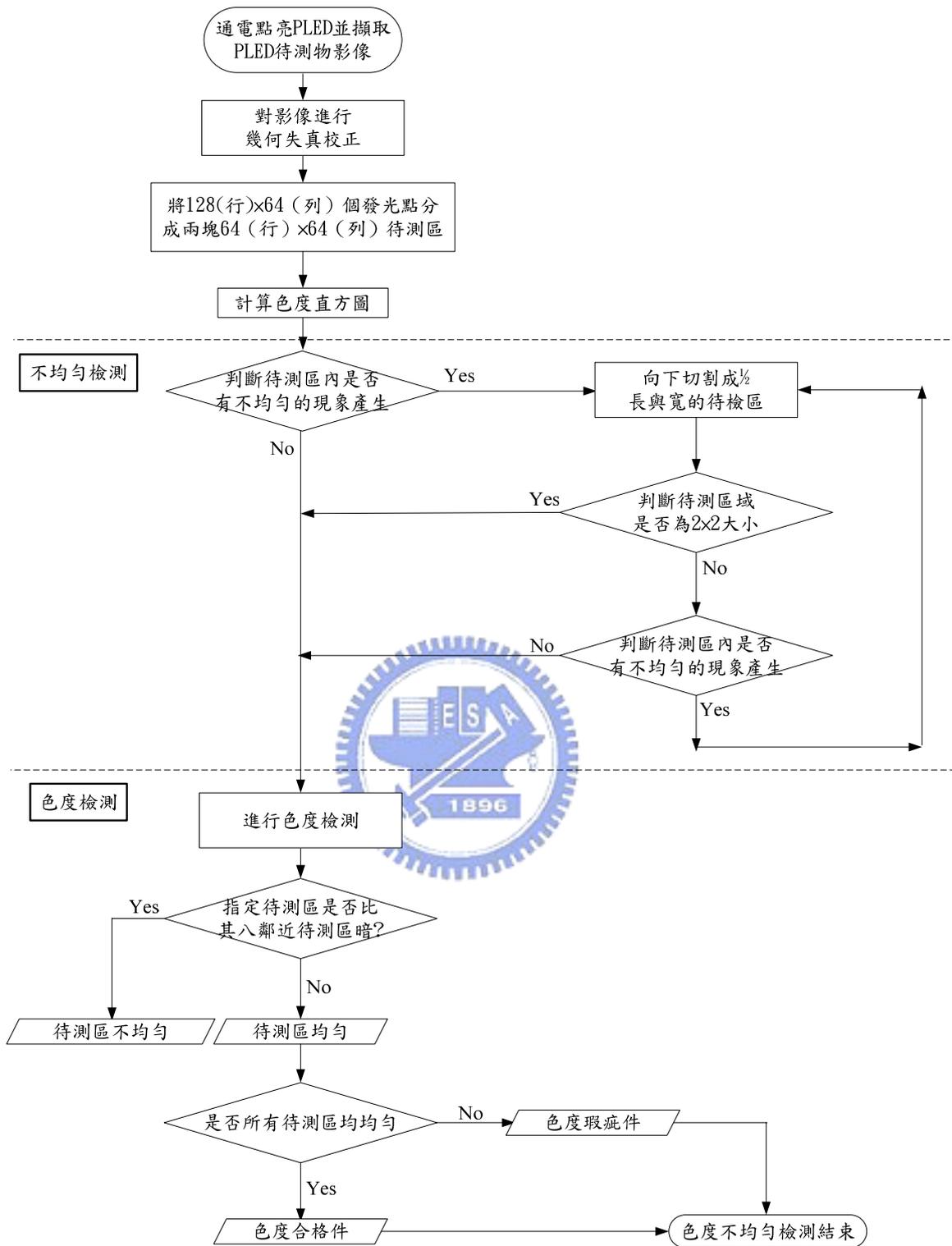


圖 3.18 色度均勻度檢驗流程圖

3.3 封膠瑕疵檢測

如[2]在檢測封膠所選用的光源及打光方式，將待測 PLED 放在 CCD 與 LED 白光光源間，可以將封膠邊緣的輪廓顯現出來，即使膠上有異物仍然能突顯異物的輪廓。此外，經實驗觀察，原本[2]使用的舊夾具底部厚度的陰影會影響背光所擷取到的影像；其次，舊夾具與光源的距離可能不是最佳工作距離，而兩者的距離是無法調整的。所以本研究進行封膠的瑕疵檢測時，不沿用[2]檢測不均匀瑕疵的舊夾具，而是另外再設計一新的夾具。使用新夾具擷取到的影像如圖 3.19 所示，該影像仍需作幾何失真校正。



圖 3.19 背光照射下所攝得之 PLED 影像

封膠位於發光區的四周，並分為四個部分，由發光區往外側依序為：白色膠寬、空心內膠、實心內膠，與最外側的外膠；內膠為乳白色不透明而外膠呈現白色透明，如圖 3.20 所示（注意空心內膠位於實心內膠的兩側）。膠寬不足瑕疵發生於實心內膠與外膠兩處；氣泡瑕疵與波浪瑕疵則發生於外膠處，如圖 3.21 所示。

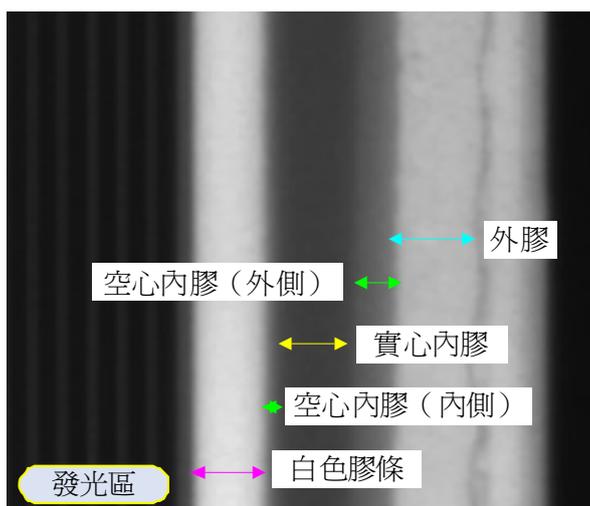


圖 3.20 膠寬定位示意圖 (圖 3.19 紅框處)

此外，外膠寬度不足的情況下有時候會有波浪形狀的瑕疵產生，如圖 3.22 所示。

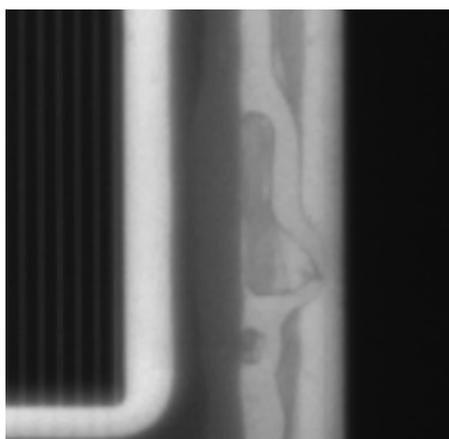


圖 3.21 氣泡瑕疵

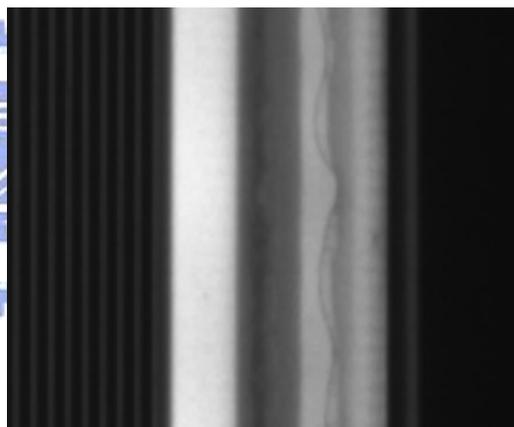


圖 3.22 波浪瑕疵

3.3.1 膠寬位置定位演算法

李氏[2]提出以 Find Stripe Method [9]，逐條（每個掃瞄帶寬度為 1 像素，移動距離也為 1 像素）計算膠寬。然而這樣的掃瞄檢測方式，容易受膠內微小的異物影響，以致計算膠寬時出現誤差。因此，本研究提出藉由增加掃瞄帶寬度與移動距離之方法，來降低微小異物對檢測演算法之影響。如圖 3.23 所示：

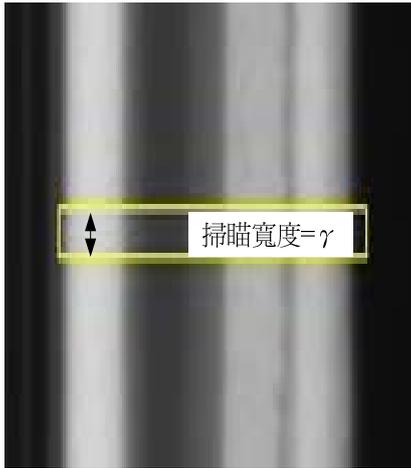


圖 3.23 掃描寬度示意圖

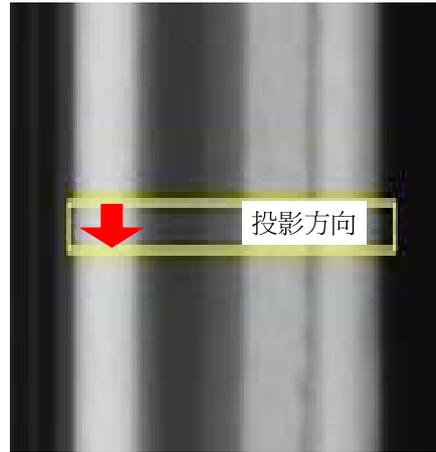


圖 3.24 投影方向示意圖

首先，觀察正常膠寬與具氣泡瑕疵的膠寬兩者之灰階度 (Gray Level) 變化，取一正常的區域與具有氣泡瑕疵的區域，對每塊掃描帶進行與演算法方向垂直的投影 (Projection)，如圖 3.24 所示，其長度由發光區邊緣向右至 PLED 玻璃蓋板邊緣。將每一個投影出來的累加灰階值除以掃描帶寬度 γ ，得到平均的投影灰階值，以下簡稱平均灰階值；每次移動的距離也為 γ ，而 γ 值的選取將在第四章討論。圖 3.26 為圖 3.25 中每一膠寬位置上所得到的平均灰階值之分佈圖，圖 3.27 為平均灰階值之橫軸相鄰兩灰階值的差異分佈圖，此資訊有助於邊界變化的判斷 [19]，圖 3.26 與圖 3.27 的縱軸代表平均灰階值，橫軸代表與掃描起始點的橫向距離，單位為像素。

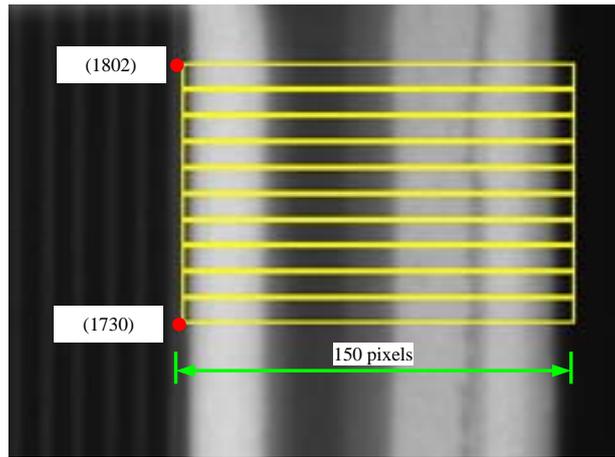


圖 3.25 平均灰階值分佈圖起始位置與結束位置

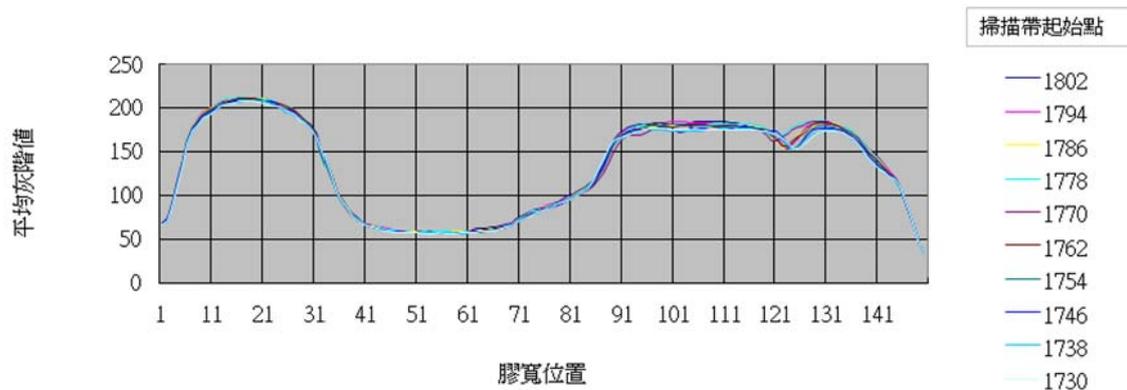


圖 3.26 正常區域平均灰階值分佈圖 (座標位置同圖 3.25)

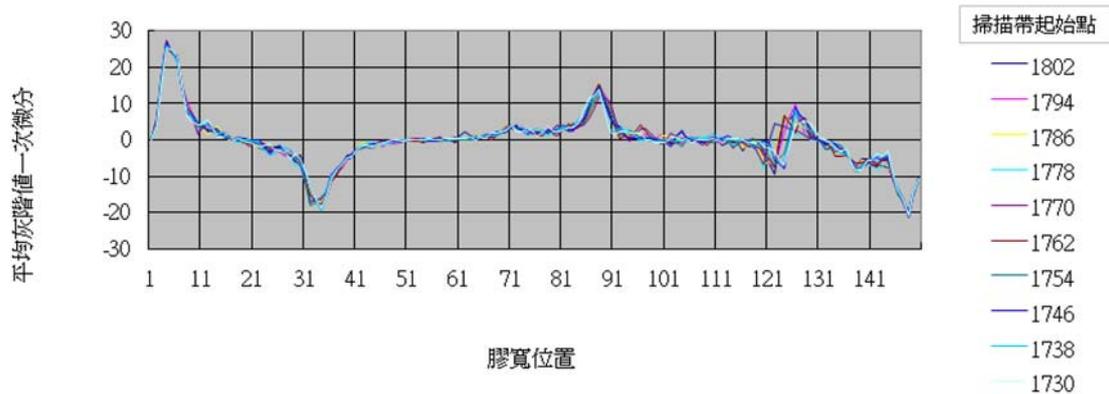


圖 3.27 正常區域相鄰兩平均灰階值之差異分佈圖 (座標位置同圖 3.25)

觀察圖 3.25 的平均灰階值變化，並對應其分佈圖 (圖 3.26 與圖 3.27)，找出圖 3.25 每個掃描帶內，由發光區至外膠外側的平均灰階值變化規則 (在圖 3.25 的方向為由左到右)。觀察圖 3.26，其橫軸的第 1 到第 11 像素的圖形分佈，表示

掃描帶內的白色膠條平均灰階值明顯高於發光區邊緣，對照圖 3.27 橫軸第 1 到第 11 像素，凸向上的圖形分佈表示此位置的平均灰階值由低到高變化且此範圍存在邊緣，此邊緣即為發光區與白色膠條的連接處；圖 3.26 橫軸第 31 到第 41 像素的圖形分佈，表示掃描帶內的白色膠條平均灰階值高於內側空心內膠與實心內膠，對照圖 3.27 橫軸第 31 到第 41 像素，凹向下的圖形分佈表示此位置平均灰階值的由高到低變化，由於內側空心內膠寬度非常窄，所以此範圍包含了白色膠條與內側空心內膠、內側空心內膠與實心內膠兩個位置的連接處；圖 3.26 橫軸第 65 到第 75 像素的圖形分佈，表示掃描帶內的外側空心內膠的平均灰階值略高於實心內膠，對照圖 3.27 橫軸第 65 到第 75 像素，微微凸向上的圖形分佈表示平均灰階值的變化幅度較小，且此範圍存在邊緣，此邊緣即為實心內膠與外側空心內膠的連接處；圖 3.26 橫軸第 81 到第 91 像素的圖形分佈，表示掃描帶內的外膠平均灰階值明顯高於外側空心內膠，對照圖 3.27 橫軸第 81 到第 91 像素的圖形分佈，凸向上的圖形分佈表示平均灰階值由高到低變化且此範圍存在邊緣，此邊緣即為外側空心內膠與外膠的連接處；最後，圖 3.26 橫軸第 122 到 125 像素的凹陷處，表示掃描帶內的外膠外側平均灰階值變化小幅度由高到低再由低到高，以此變化處作為外膠外側的邊緣。

利用這些不同位置的封膠平均灰階值的變化，找出內膠與外膠的邊緣，其步驟整理如下：

- Step 1. 發光區與白色膠條連接處：依照圖 3.20 與圖 3.26，由發光區向右移，其平均值上升至一程度 δ 時，判斷此變化處是發光區與白色膠條的交界
- Step 2. 白色膠條與內側空心內膠連接處：依照圖 3.20 與圖 3.26，由白色膠寬向右推，其平均灰階值下降至一程度 δ 時，判斷此變化處是白色膠寬與封膠左側空心內膠的連接處。
- Step 3. 外側空心內膠與外膠連接處：依照圖 3.20 與圖 3.26，由外側空心內膠向右推，其平均灰階值上升至某一程度 δ 時，判斷此變化處是空心內膠與外膠連接處。

由於並非所有的樣本都存在實心內膠，如圖 3.28 所示。為了檢測實心內膠寬度是否符合產品規格，要判斷實心內膠是否存在，並且找出實心內膠兩側與空心內膠的連接處，方法如下：

Step 4. 本研究設計一演算法找出實心內膠的兩側，以圖 3.29 做說明，圖中的兩條黃線間（左邊的黃線代表 Step2 中找出的白色膠條與內側空心內膠連接處，右邊的黃線則代表 Step3 外側空心內膠與外膠連接處），由左至右先找出平均灰階值下降至某一程度 ε 之像素點，再找出平均灰階值上升至某一程度 ε 之像素點，此兩點即為實心內膠與內、外空心內膠的連接處（注意所有選取的檢測門檻 δ 均大於 ε ）。

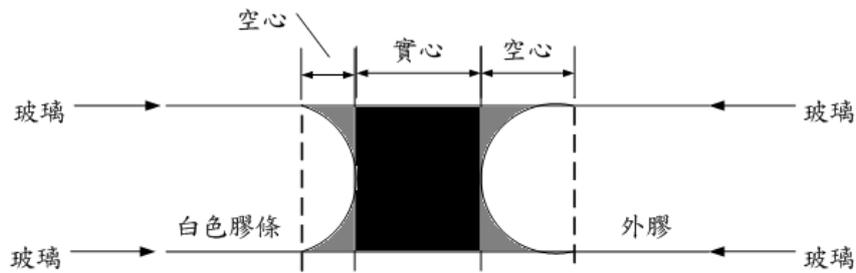


圖 3.28(a) 正常封膠內膠的剖面圖

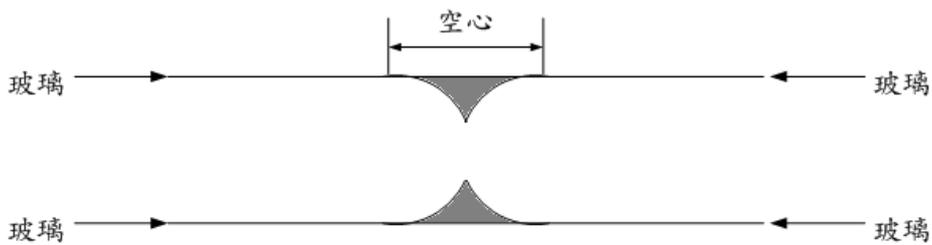


圖 3.28(b) 封膠僅有空心內膠的剖面圖

圖 3.28 內膠剖面示意圖

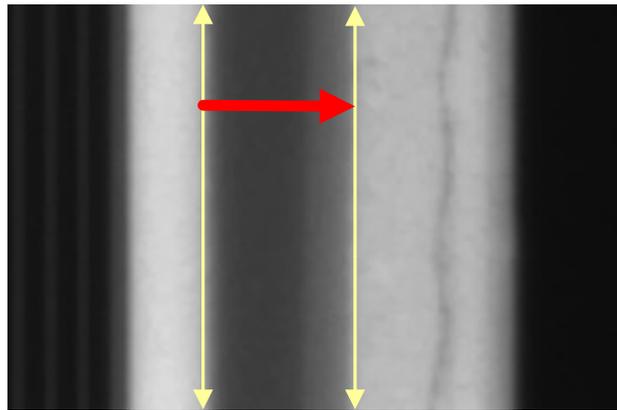


圖 3.29 內膠實心邊緣定位演算法示意圖

找尋外膠外側邊緣時，觀察圖 3.26，已知其邊緣約落在橫軸上的第 122 至 125 像素，訂定一門檻值，只要兩相鄰平均灰階值之差異值超過此門檻，判斷此處為外膠外側邊緣。至此，所有不同位置的封膠連接處將全部被定位出來。

3.3.2 檢測封膠瑕疵

本演算法所有待檢測的缺陷包括：

1. 內膠寬不足瑕疵
2. 外膠寬不足瑕疵（含外膠邊緣波浪瑕疵）
3. 外膠氣泡瑕疵
4. 封膠轉角處膠寬不足瑕疵

各類瑕疵之檢測方法分述如下。

3.3.2.1 內膠寬不足瑕疵檢測

將實心內膠寬度求出後，根據樣本供應廠商所提供之規格資料，只要實心內膠寬度小於產品所需規格，即判斷此樣本含有內膠寬不足瑕疵。以白色線條直接顯示於圖中。

3.3.2.2 外膠寬不足瑕疵檢測

同內膠寬不足，外膠寬度等於外膠最外圍的位置減去空心外膠外側的位置，求出寬度值後若小於產品所需規格，即判斷此樣本含有外膠寬不足瑕疵。此外，當外膠邊緣前後差異超過某門檻時，判斷此處具有波浪瑕疵。不足的瑕疵一樣以白色線條直接顯示於圖中，波浪狀瑕疵則是以粉紅色線條顯示於圖中。

3.3.2.3 外膠寬具氣泡狀瑕疵檢測

觀察氣泡瑕疵的平均灰階值分佈圖(圖 3.30)，注意橫軸第 81 至第 90 像素，當起點在圖上座標 $(x, y) = (294, 1180)$ 時，此時膠寬分佈正常，所以圖 3.30 中的藍線與正常膠寬分佈圖形相似(參考圖 3.26)。從起點第 $(x, y) = (304, 1180)$ 之後，進入氣泡瑕疵範圍，觀察圖 3.30 的第 101 至 110 像素，平均灰階值有小幅攀升的趨勢；對照圖 3.31，第 101 至 110 像素處為一波峰，表示比起由空心內膠到外膠邊緣中的其他區域的平均灰階值，變化幅度來得大。本研究將此變化作為判斷是否具有氣泡瑕疵之依據。

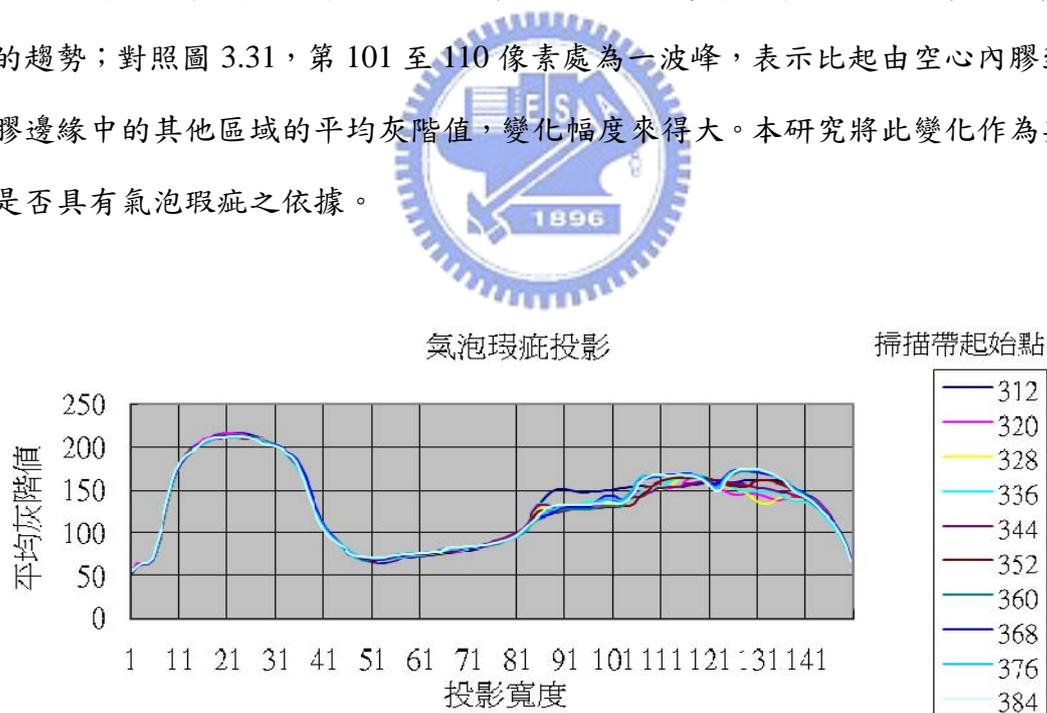


圖 3.30 氣泡瑕疵平均灰階值分佈圖

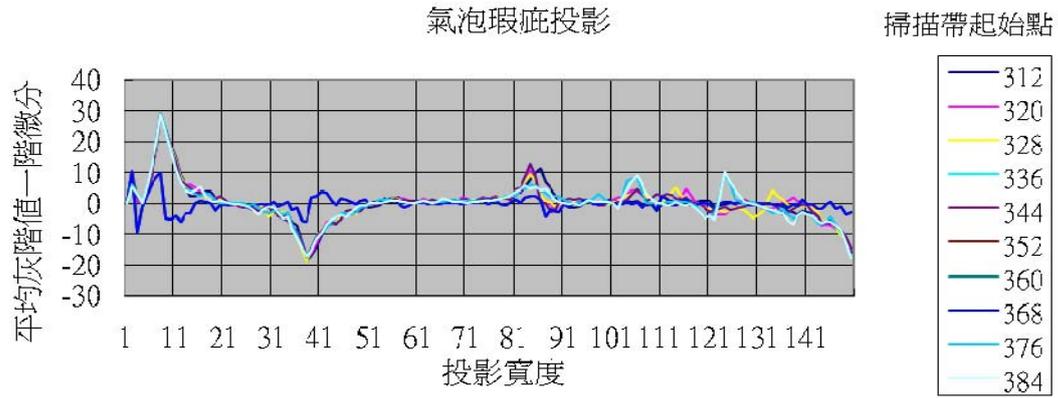


圖 3.31 氣泡瑕疵相鄰兩平均灰階值之差異分佈圖

檢測結果列舉如下圖 3.32

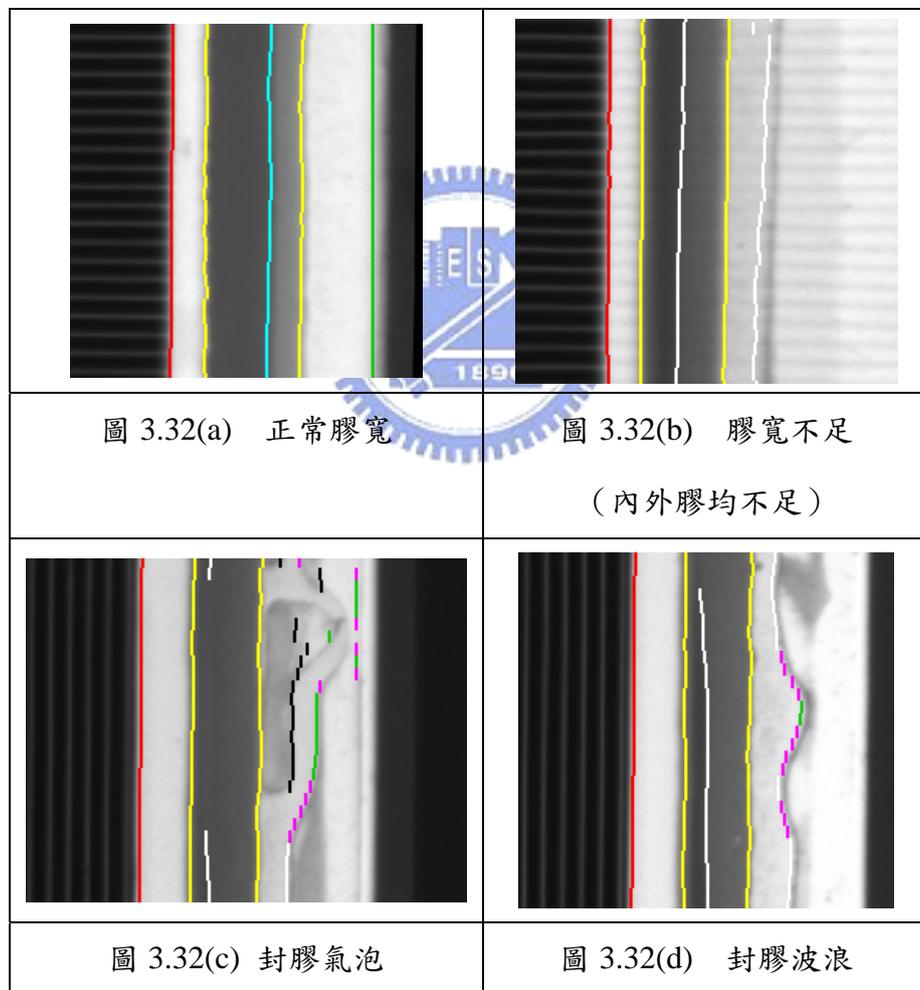


圖 3.32 膠寬瑕疵分類圖示

3.3.2.4 轉角膠寬不足瑕疵檢測

轉角膠寬不足判斷法則與上述內、外膠寬度不足判斷法則相同，唯一不同處在進行膠寬不足判斷前，必須將轉角影像轉換成與上述檢測封膠方法相似的直條封膠影像再行檢測。轉換時以半徑 200 像素掃 90 度為範圍，以圖 3.33 為例，圖中 O 點為旋轉中心，每旋轉 θ 度即掃瞄一次，掃瞄線如 OA 所示，所有的掃瞄線合併成一張直條封膠影像，如圖 3.34 所示。

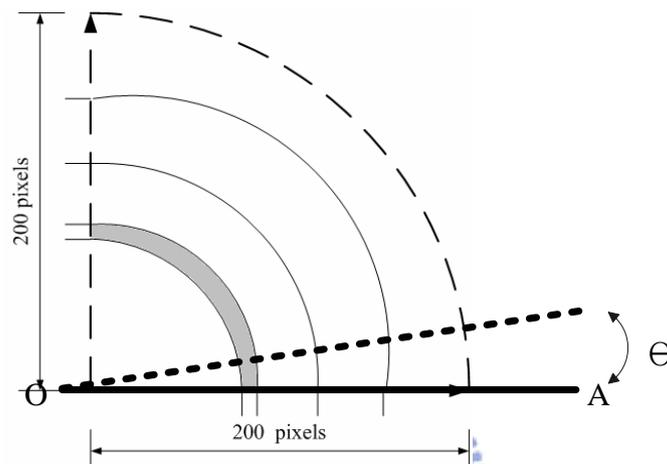


圖 3.33 轉角轉換示意圖

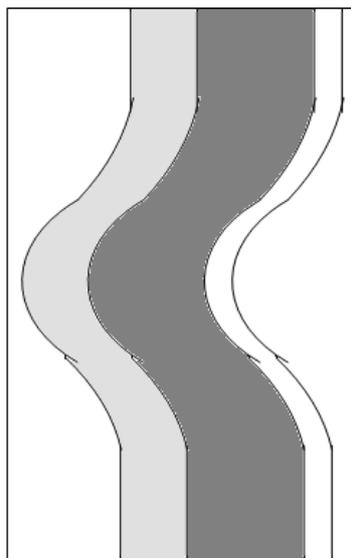


圖 3.34 轉角轉換結果示意圖

綜合上述，膠寬檢測演算法可以如圖 3.35 所示：

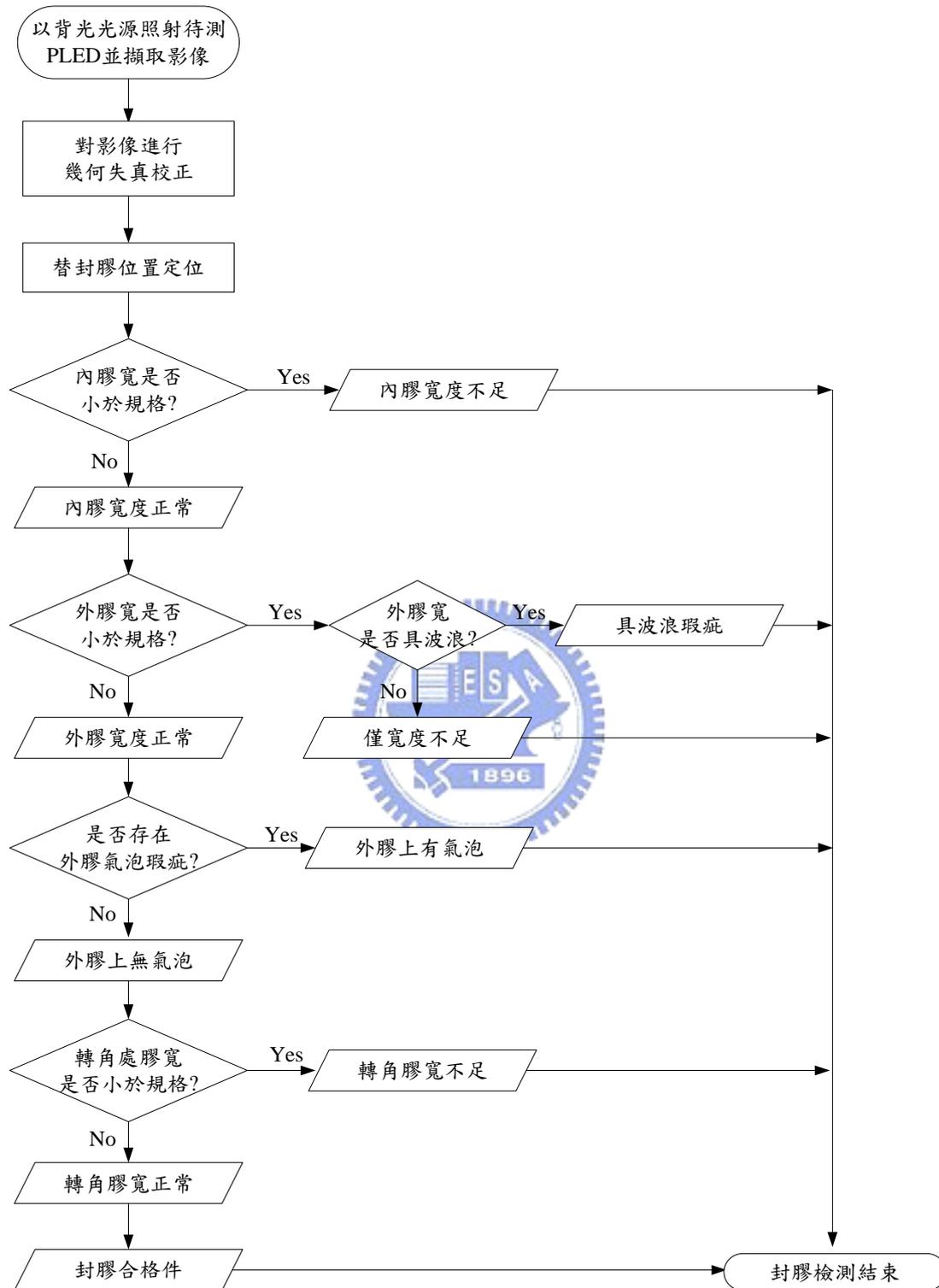


圖 3.35 膠寬檢測流程示意圖