

第四章、眼睛偵測

本章將介紹眼睛偵測的工作，包括萃取眼睛帶、篩選眼睛候選者和擷取眼睛區塊等三個部分，其流程如圖 4.1 所示，而三個部分的詳細內容分別於以下各小節解說。

4.1 萃取眼睛帶

在上一步驟中偵測到近似臉部輪廓的橢圓形後，接下來須依據人臉的比例去找出眼睛的範圍，稱為眼睛帶。駕駛者的眼睛部分必定位在眼睛帶內，因此，系統可以縮小範圍偵測影像中駕駛者的眼睛位置，不僅運作時間降低，準確率也提升。觀察不同人臉的比例規劃眼睛帶的位置，是由橢圓中心往上找一個扁長矩形，其寬度為駕駛者臉部的臉寬，也就是短軸的 2 倍，優點為在駕駛者小幅度轉動頭部時，眼睛部分仍會在此範圍內。而眼睛帶的高度希望在於人類的眉毛與鼻子之間的距離，大約是橢圓長軸的 0.54 倍，於是由原始影像擷取眼睛帶的位置如圖 4.2 所示。

4.2 篩選眼睛候選者

擷取出眼睛帶後，我們觀察眼睛的顏色與膚色的顏色差異很大，所以偵測眼睛帶中的非膚色區塊，希望從中擷取出眼睛部分。因為使用 U' 與 Cb 偵測非膚色時（膚色值範圍為 $U'=[0\ 254]$ 與 $Cb=[77\ 127]$ ），眼睛部分的眼白或是眼睛中間的反光部分可能偵測為膚色，所以偵測出的眼睛區塊會不完整，因此，使用 Cr 和 Cb 來偵測眼睛帶中非膚色值的像點（膚色值範圍為 $Cr=[133\ 173]$ 與 $Cb=[77\ 127]$ ），並且用 connected component 方法

找出連結區塊，實驗如圖 4.2.(b)。

因為眼睛帶中的非膚色區塊除了包括眼睛部分外，也可能包括頭髮、鼻孔、眉毛等非膚色部分，連強光照射在臉上的反光部分，也會形成非膚色區塊，如圖 4.3.(c)所示。為了篩選出可能為眼睛的區塊，首先去除眼睛帶邊界上的區塊，如此可以去除因頭髮部分造成的非膚色區塊。接著利用面積的特徵篩選剩下的非膚色區塊，因為一個眼睛區塊的寬度小於眼睛帶寬度的一半，高度也小於眼睛帶高度的一半，而且，眼睛區塊的寬度除以高度大於 1.29，因此可以去除鼻孔及反光部分的非膚色區塊。到此步驟，剩下要去除的非膚色區塊為面積類似眼睛區塊的反光部分，於是利用顏色的特徵，去除黑色像點數少於兩個的非膚色區塊。此時篩選出的眼睛候選者幾乎就是駕駛者的眼睛部分，但是還是有可能包含眉毛部分，如圖 4.3.(d)所示，於是我們希望在下一步驟就能由眼睛候選者分類出眉毛與眼睛區塊。

4.3 擷取眼睛區塊

經由觀察可知眼睛與眉毛有不同的特徵：眼睛因為包含眼白與眼珠，於是會呈現兩端為白色而中間為黑色的分佈，而眉毛卻沒有。因此可擷取區塊的水平中線，由左至右依其像點的亮度值繪出 histogram 圖如圖 4.4.(f)所示，此亮度值曲線令為 $F(x)$ ， x 為中線的水平座標位置，單位為一個像點，長度為由 1 至區塊的寬度。由此圖 4.4 便可以發現，若為眼睛區塊的亮度值曲線，會呈現兩個高峰的特徵，然而眉毛區塊的卻沒有，如圖 4.4.(g)。所以為了由眼睛候選者中偵測出真正的眼睛區塊，我們使用兩個高斯曲線

(mixture of two-Gaussian [Nak79])， $G(x)$ ，來模擬出每個候選者區塊的 $F(x)$ ，並且由 $G(x)$ 與 $F(x)$ 的資訊判斷出眼睛區塊。

現在介紹 $G(x)$ 的數學式如下所示：

$$G(x) = G_1(x) + G_2(x) \quad (4.1)$$

為了要算出 $G_1(x)$ 與 $G_2(x)$ ，得先找出 $F(x)$ 中亮度值最低的點，令為 x_m ，接著在 x_m 左半邊找出亮度值的平均值，令為 μ_1 ，在 x_m 右半邊找出亮度值的平均值，令為 μ_2 ，接著分別算出左右半邊的變異數，令為 σ_1 與 σ_2 。套用兩個高斯函式的公式後[Nak79]，即可得呈現兩個高峰的高斯曲線，如圖 4.6.(b)、(d)。

得到候選者區塊中線的 $F(x)$ 與 $G(x)$ 後，因為真正眼睛區塊的 $F(x)$ 與 $G(x)$ 很相似，由其是兩個高峰的最高點都很接近，其落差會比眉毛區塊的小。於是我們以此差異值區分眉毛與眼睛區塊，計算公式如下：

$$D_1 = \frac{|g_1 - f_1|}{1.0 + |f_1 - F(x_m)|} < 0.3, \quad D_2 = \frac{|g_2 - f_2|}{1.0 + |f_2 - F(x_m)|} < 0.3 \quad (4.2)$$

其中 $f_1 = \text{Max}\{F(1), F(2), F(3), \dots, F(x_m)\}$ ， $f_2 = \text{Max}\{F(x_m), F(x_m + 1), F(x_m + 2), \dots, F(N)\}$ 分別屬於 $F(x)$ 左半邊和右半邊的最高值，而 $g_1 = \text{Max}\{G(1), G(2), G(3), \dots, G(x_m)\}$ ，屬於 $G(x)$ 左半邊的最高值， $g_2 = \text{Max}\{G(x_m), G(x_m + 1), G(x_m + 2), \dots, G(N)\}$ ，屬於 $G(x)$ 右半邊的最高值， N 代表曲線寬度。 $|g_1 - f_1|$ 得到 $F(x)$ 與 $G(x)$ 左半邊的最高點的落差值， $|g_2 - f_2|$ 則得到右半邊的落差值。因為影像中光線變化大，落差值也會跟著變更，所以我們需將落差值正規化，也就是將 $|g_1 - f_1|$ 與 $|g_2 - f_2|$ 分別除以 $F(x)$ 中左半邊與右半邊最高值與最低值的差。其中分母中加上 1.0，是為了防止除以零的狀況發生。於是正規化後分別得到 D_1 與 D_2 ，若是同時

小於 0.3，則判斷此眼睛候選者為眼睛區塊，如圖 4.7.(b)所示。

藉由上述特徵辨別眼睛與眉毛後，仍會遭遇一些困難，因為眼珠左右轉動和光線的變化可能使上述特徵消失，也可能因為擷取的眉毛區塊正好有眼睛區塊的特徵，而被判定成眼睛，所以可利用數張的連續影像來提高偵測眼睛的準確性。設定每個眼睛候選者擁有一個信心值，當眼睛候選者利用上述特徵判斷為眼睛時，則信心值加一。等到下一張影像判斷眼睛候選者為眼睛區塊時，系統會先用位置比對此眼睛區塊屬於前一張影像中的哪個眼睛區塊，再累加其信心值。當一個眼睛區塊的信心值累積至五，則此區塊可判定為眼睛。

不過因為車子的震動或是駕駛者轉頭的速度快時，影像中的眼睛區塊可能無法以位置比對歸類為前一張影像的某個眼睛區塊，於是判斷為眼睛的區塊可能超過兩個以上；而且可能因位置相似於前一張影像中的眉毛區塊，歸類為此眉毛區塊並累加其信心值，使得眉毛區塊的信心值也會累積至五。由於人類成雙的眼睛位在相同的水平線上，並且相隔約一個眼睛的寬度，而眼睛與眉毛亦相隔一個眼睛的高度，可由此準確地判斷出兩個眼睛區塊。所以在第二個眼睛區塊的信心值累積到五時，判斷第一個與第二個眼睛區塊在水平方向上的距離，若為第一個眼睛區塊的寬度以內，而且在垂直方向上為第一個眼睛區塊的高度以內，則判斷為同一個眼睛區塊並且合併。合併的眼睛區塊其信心值為兩個信心值的總合，其位置也更新為第二個眼睛區塊的位置。若兩個眼睛區塊不符合上述判斷條件，再判斷兩個眼睛區塊是否為在相同垂直線上，若是則位在上方的區塊為眉毛區塊，則將其刪除掉。皆不符合上述條件的才是真正駕駛者另一邊的眼睛區塊，於是系

統偵測出真正位於兩邊的眼睛區塊才視同偵測到駕駛者的眼睛，偵測結果如圖 4.7 所示。

我們的方法可以在不同場景、不同光線及不同駕駛者的影像中成功偵測出眼睛位置，結

果如圖 4.8 所示。

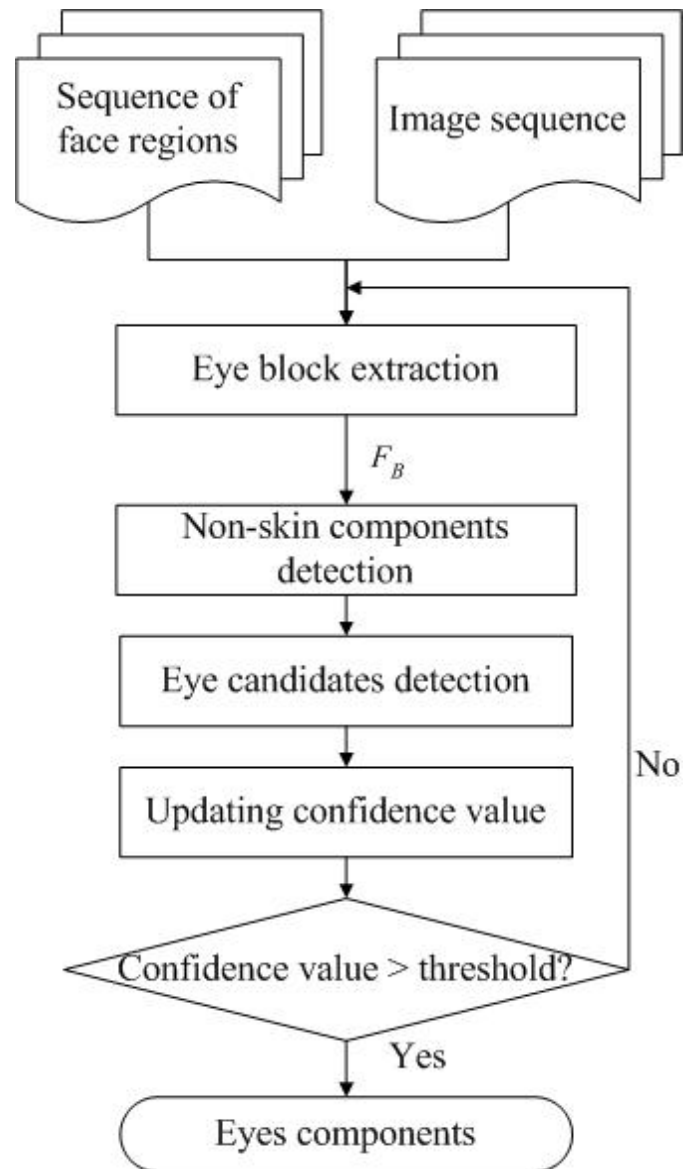


圖 4.1 眼睛偵測的流程圖。

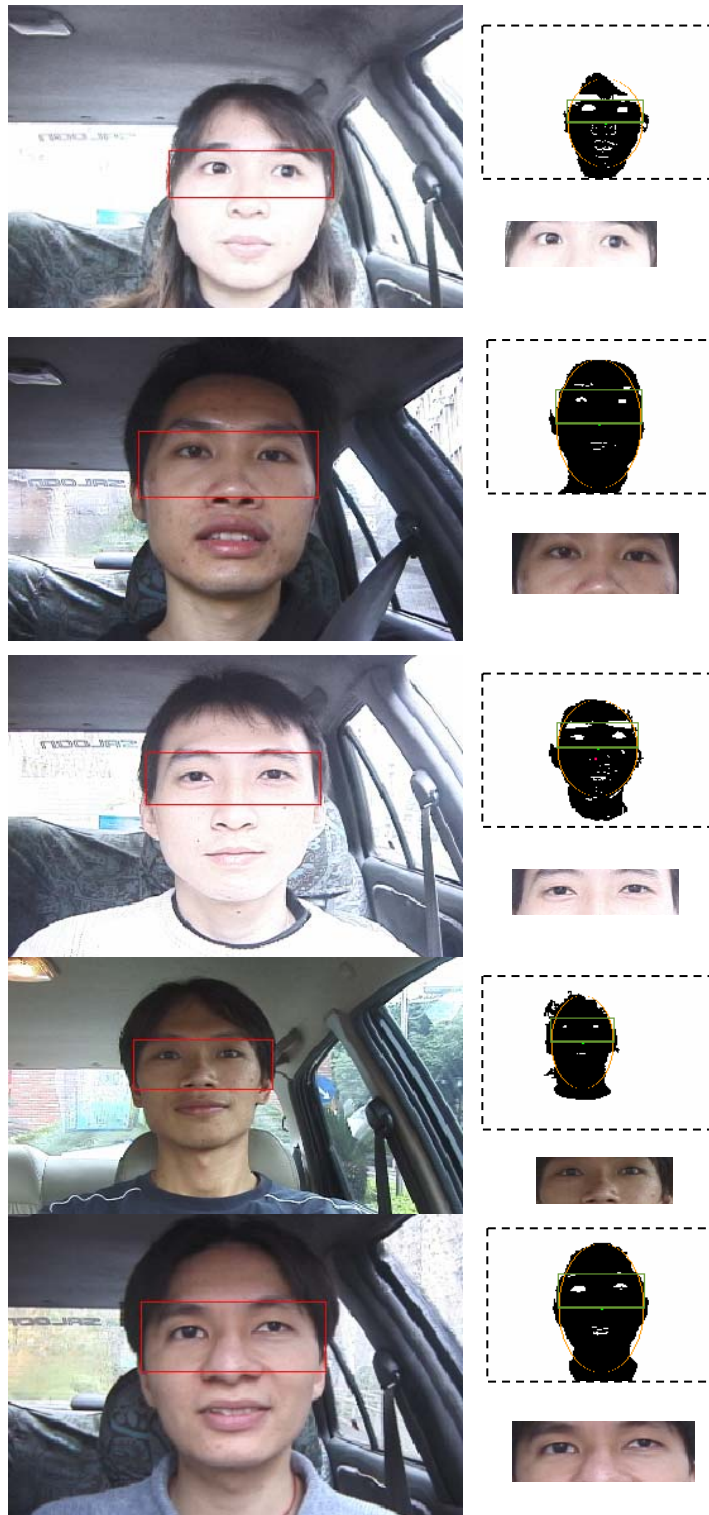


圖 4.2 擷取駕駛者的眼睛帶。左邊一行為輸入影像，由已知的橢圓形（在影像的右上方）依人臉與眼睛的比例擷取出眼睛帶。

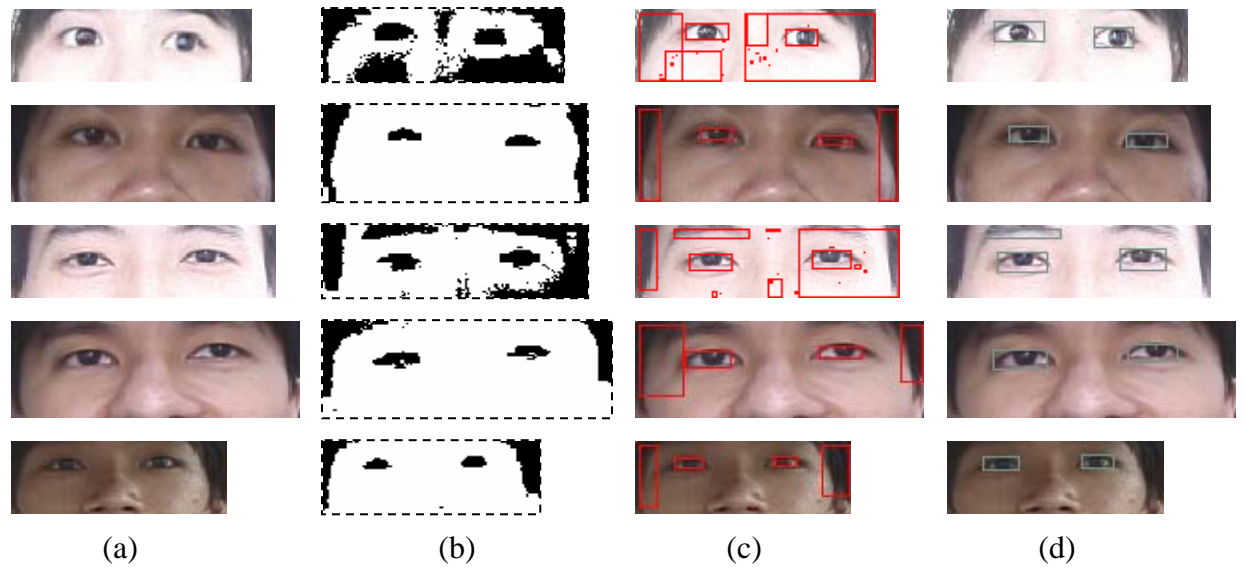


圖 4.3 眼睛帶中偵測非膚色區塊。(a)不同駕駛者的眼睛帶；(b)偵測眼睛帶的非膚色區塊；(c)偵測非膚色區塊的最大寬度與高度，使用矩形標示出來，明顯含有頭髮、眉毛、鼻孔或是反光部分形成的非膚色區塊；(d)成功使用一些特徵篩選剩下眼睛與眉毛兩種區塊。

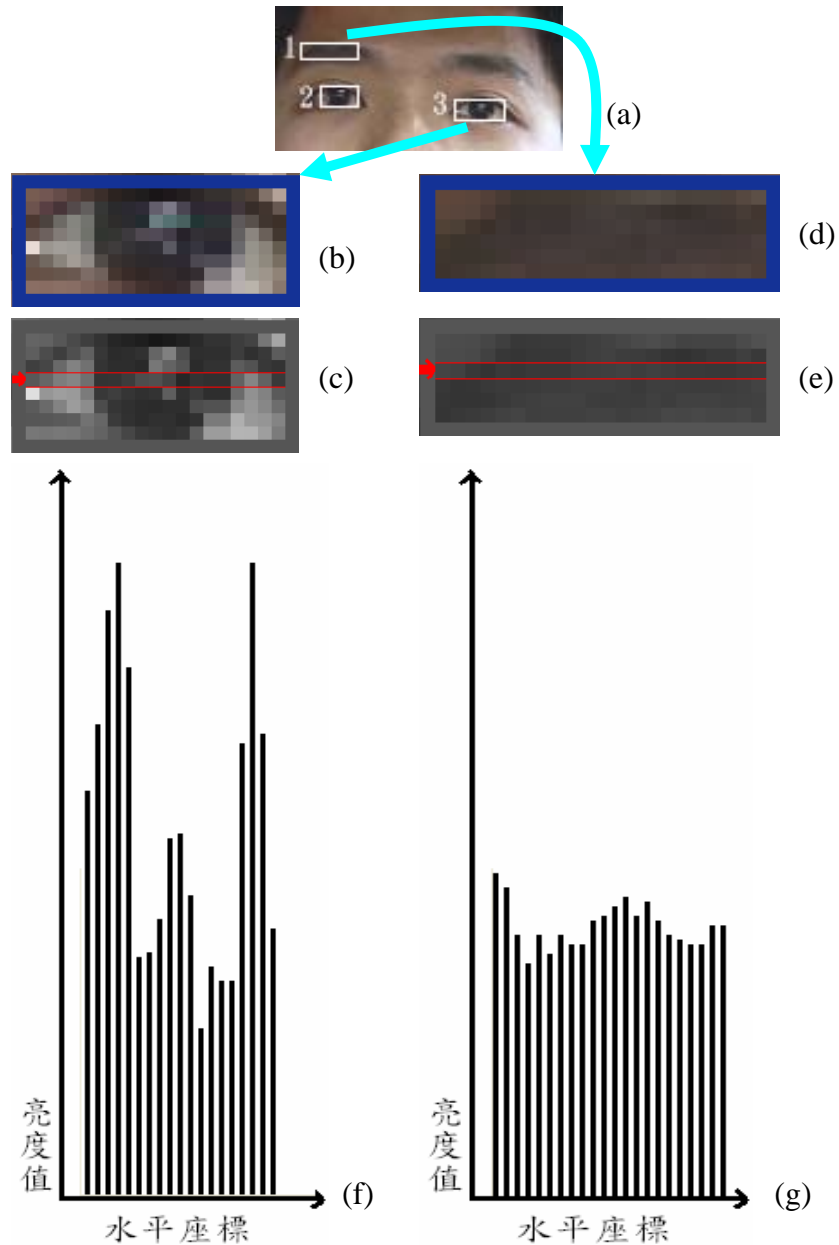


圖 4.4 眼睛與眉毛不同的特徵。(a)擷取影像中的眼睛帶，包括 3 個非膚色區塊，1 號為眉毛部分，2 和 3 號為眼睛部分，分別以矩形表示；(b)與(d)分別取自(a)中第 3 號與第 1 號非膚色區塊；(c)與(e)分別為(b)與(d)圖的亮度值，並在中間取一條中線；(f)與(g)分別計算(c)與(e)中線的亮度值曲線。

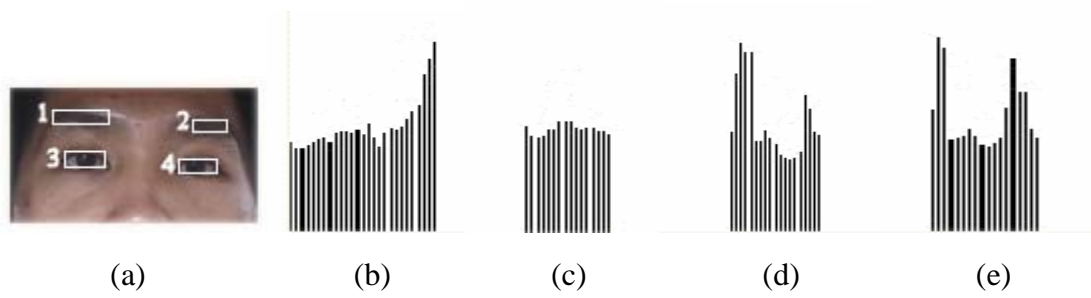


圖 4.5 眼睛與眉毛不同的曲線。(a)擷取出的眼睛帶，偵測出四個眼睛候選者，分別編號為 1、2、3 和 4，其中 1 與 2 皆為眉毛部分，3 與 4 皆為眼睛部分；(b)為 1 號眼睛候選者的中線亮度值曲線，僅有一個高峰；(c) 為 2 號眼睛候選者的中線亮度值曲線，沒有高峰；(c)和(d)分別為 3 號與 4 號眼睛候選者的中線亮度值曲線，皆呈現兩個高峰。

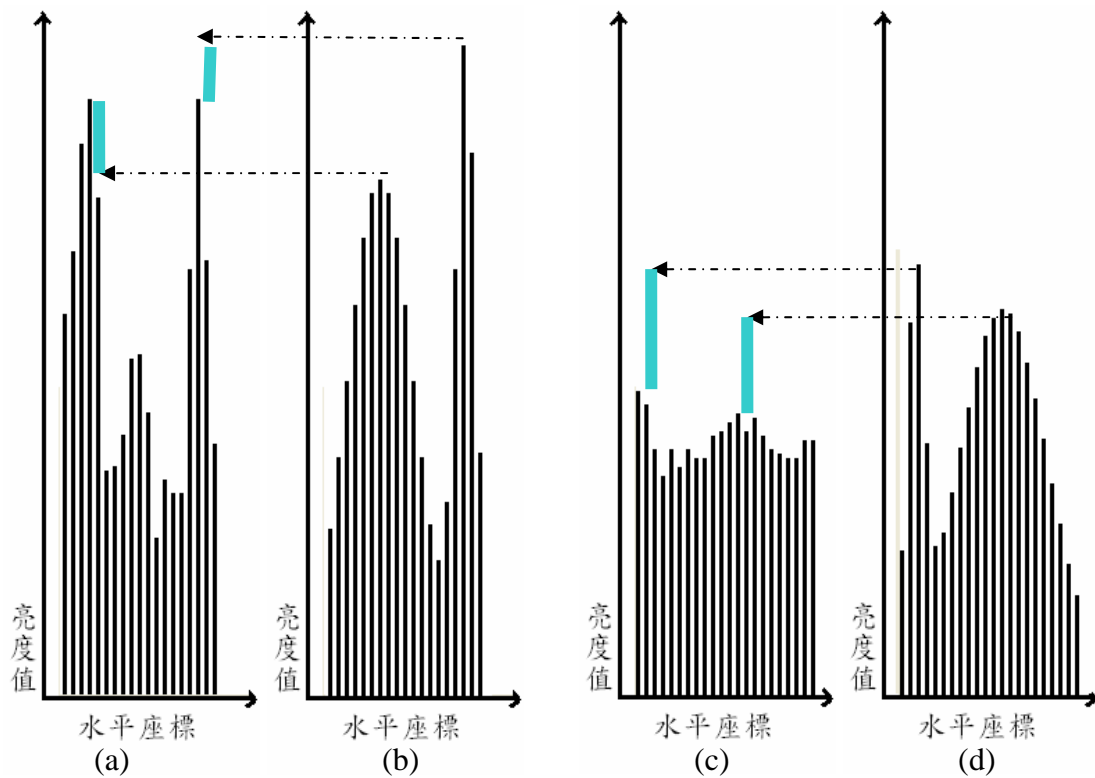


圖 4.6 亮度值曲線套用兩個高斯函式。(a)圖為眼睛中線的亮度值曲線；(b)為(a)曲線套用兩個高斯的曲線；(c)圖為眉毛中線的亮度值曲線；(d)為(c)曲線套用兩個高斯的曲線。其中(a)和(c)的箭頭各指向高斯曲線的兩個最高點，可看出眉毛的亮度值曲線與最高點的高度落差較大，由此來判別分類眉毛與眼睛部分。

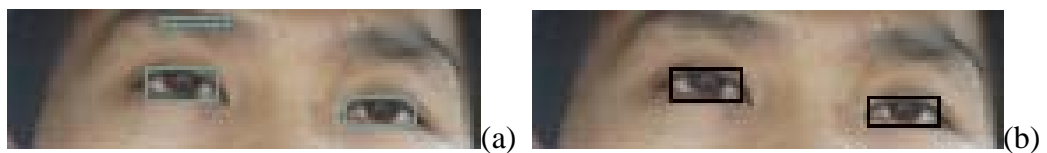


圖 4.7 辨別眉毛與眼睛。(a)眼睛候選者有三個，包含一個眉毛區塊和兩個眼睛區塊，以淺色矩形框出；(b)以眼睛中線亮度值曲線的特徵來判斷出眼睛區塊，已深色矩形框出。

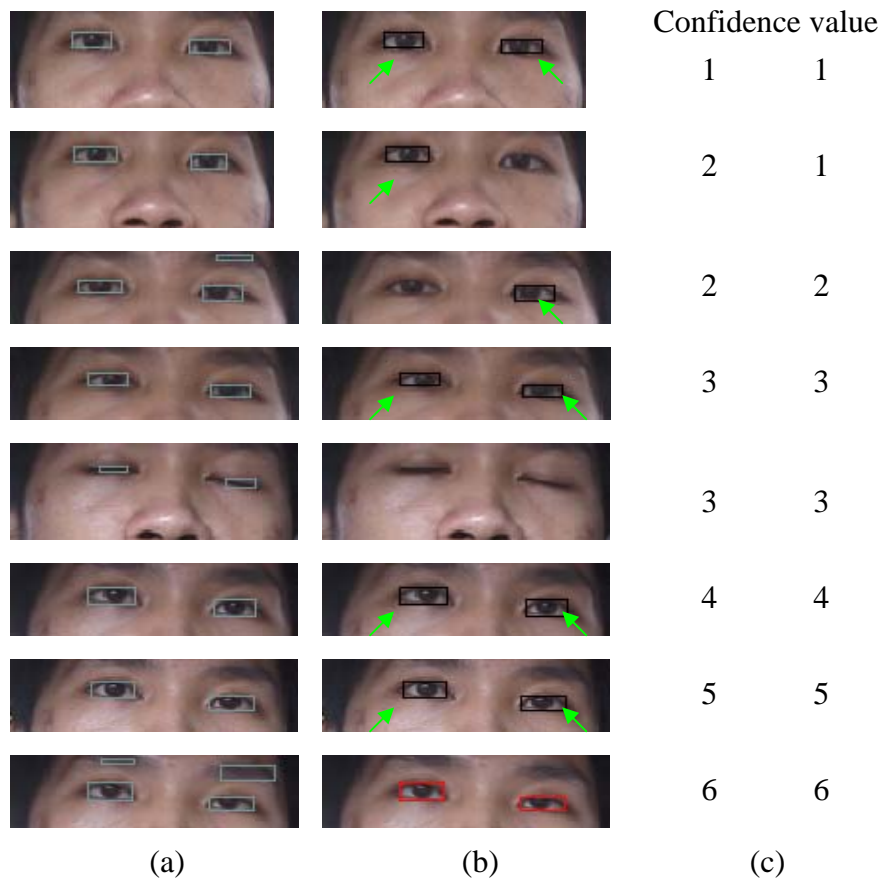


圖 4.8 信心值的累積。(a)矩形為眼睛候選者，包含眼睛或是眉毛部分；(b)為利用高斯曲線的特徵將眼睛部分偵測出來，使用黑色矩形框出，經過數張影像的眼睛偵測，判定為正確的眼睛位置於最後一張影像以紅色矩形框出；(c)顯示各眼睛候選者的信心值。



圖 4.9 在不同場景、不同光線與不同駕駛者的影像中偵測到成雙的眼睛，分別使用兩個小長方形框住。