

國立交通大學

多媒體工程研究所

碩士論文

使用臉部訊息輔助自動化膚色偵測

Automatic skin detection using face information

研究生：洪詩祐

指導教授：王才沛 教授

中華民國九十八年二月

使用臉部訊息輔助自動化膚色偵測

Automatic skin detection using face information

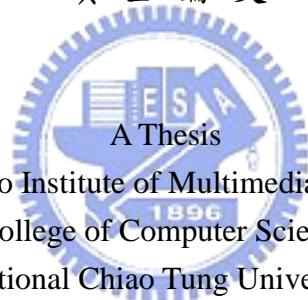
研究生：洪詩祐

Student : Shih-You Hung

指導教授：王才沛

Advisor : Tsaipei Wang

國立交通大學  
多媒體工程研究所  
碩士論文



A Thesis

Submitted to Institute of Multimedia Engineering

College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master

in

Computer Science

February 2008

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年二月

# 使用臉部訊息輔助自動化膚色偵測

學生：洪詩祐

指導教授：王才沛

國立交通大學多媒體工程研究所

## 摘 要

膚色偵測被用於許多的影像處理技術，像是臉部偵測或是姿勢偵測等等。由於膚色會隨著不同光源環境以及不同種族而有所變化，造成使用膚色偵測準確性會降低，因此有許多利用前處理像是曝光修正、白平衡或是膚色再偵測等等的技術用來提高偵測效果，然而自動化的調整結果不一定理想，原因在於推測正確顏色需要夠多的資訊，而自動化調整無法得到哪些是正確的訊息。

本篇論文爲了避免受到光源影響採用非色彩部份的資訊來輔助偵測。主要方法是用顏色作爲膚色偵測的基礎，亮度作爲去除非膚色的部份的方法，加上使用臉部偵測用來尋找臉部位置。將辨認出真正人臉的顏色取出，利用臉部的顏色來推斷出整體的膚色，進而提高偵測率。實驗結果將針對各個種族分析使用亮度的優缺點以及有臉部偵測的差別性和色彩修正的差別性。

# **Automatic skin detection using face information**

**Student : Shih-You Hung**

**Advisor : Dr. Tsaipei Wang**

**Institutes of Multimedia Engineering  
National Chiao Tung University**

## **Abstract**

Skin detection was used in many image processing technologies, such as face detection or gesture recognition and so on. Due to the skin color will be changed by in different light environments and in different races, the skin detection rate will be decreased, so there are many technologies to increase the efficient, such as preprocessing which is like white balance, color correction and etc. , or adaptive skin detection. However, automatic adjusted results may not be correct. The reason is that the correct color needs enough information. The adjustment can not be automated which is the right information.

In this paper, in order to avoid the effects of light, uses achromatic feature to increase the skin detection rate. The main method is used color to be the basis, luminance as a way to remove noise, coupled with using face detection to find the location of face. Identifying the true human face color, and uses the face color information to detect skin, it will improve skin detection rates. The experimental results will be used for analysis of all races as well as the advantages and disadvantages of brightness and to detect the difference between the face and color differences of the amendment.

## 誌謝

感謝這 2 年多以來一直指導我的 王才沛老師，因為有了他的指導與建議，讓我學到了很多新的事物，同時也藉由光寶的計畫來發展出這篇論文的基本架構，進而完善這篇論文。

感謝實驗室的各個同學，有了你們的陪伴以及交換意見，讓我學到了許多東西。另外感謝我的口試委員陳祝嵩老師以及莊仁輝老師，有了你們的指導與批評，讓我的論文能夠完善，並且有了未來可以加強的方向

最後感謝我的家人，有了家人的支持，讓我在學校能夠專心的研究，不用爲了生活的事物所煩惱，讓我有足夠的時間完成了這篇論文，十分的感謝。



# 目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	iii
誌謝.....	iv
目錄.....	v
圖目錄.....	vi
表目錄.....	vii
一、 介紹.....	1
二、 文獻探討.....	3
三、 膚色偵測.....	7
3.1 顏色空間.....	8
3.2 基於顏色的膚色偵測.....	10
3.3 臉部輔助膚色偵測.....	12
3.3.1 脸部偵測.....	13
3.3.2 取出脸部顏色.....	14
3.3.3 亮度處理.....	20
3.3.4 色偏修正.....	20
四、 實驗結果.....	25
4.1 實驗資料.....	25
4.2 對不同人種之照片作膚色偵測之結果.....	27
4.2.1 亞洲人.....	29
4.2.2 白種人.....	29
4.2.3 黑人.....	30
4.2.4 方法總結.....	31
4.3 脸部偵測率的影響.....	32
五、 結論與未來展望.....	35
5.1 結論.....	35
5.2 未來展望.....	35
參考文獻.....	37

## 圖目錄

圖 1：Fritsch 等人[8]的臉部特徵取得方式.....	5
圖 2：膚色偵測流程圖.....	7
圖 3：HSV 和 YCbCr 顏色空間的高斯模型產生的 ROC Curve.....	10
圖 4：膚色偵測比較.....	12
圖 5：偵測失敗的照片的例子.....	13
圖 6：取出臉部顏色流程圖.....	13
圖 7：臉部截取圖.....	15
圖 8：Fuzzy C Mean 流程圖.....	17
圖 9：Possibilistic C Mean 流程圖.....	17
圖 10：處理 2 組以上通過限定值的流程圖.....	19
圖 11：取樣過程以及結果.....	19
圖 12：Gray world Algorithm 流程圖.....	23
圖 13：2 人以上之膚色機率合併.....	24
圖 14：原圖及對照圖.....	25
圖 15：各人種分布圖.....	26
圖 16：亞洲人 ROC curve.....	29
圖 17：白人整體的 ROC curve.....	30
圖 18：黑人整體的 ROC curve.....	31
圖 19：亞洲人針對有偵測到臉部圖片的 ROC curve.....	33
圖 20：白人針對有偵測到臉部圖片的 ROC curve.....	33
圖 21：黑人針對有偵測到臉部圖片的 ROC curve.....	34

## 表目錄

表 1：YCbCr、Normalized RGB 和 HSV 平均值 .....	8
表 2：ROC curve 各顏色空間所佔的區域值 .....	8
表 3：圖片像素可能情況.....	9
表 4：使用高斯模型後取出最佳切點.....	10
表 5：各人種的 YCbCr 平均值和變異數.....	26
表 6：方法分類.....	28
表 7：方法 A 到 D 對應各種族在 ROC curve 的區域值 .....	31
表 8：臉部偵測機率 .....	32
表 9：有無偵測到臉部資訊圖片的 ROC curve 區域值.....	34





# 一、 介紹

在高科技的社會中，人機互動或是人臉辨識以及肢體語言等等的技術被廣泛用於各類軟體中，像是 PlayStation 2 的 Eye Toy 便是利用人體動作來玩的一種遊戲，或是使用虛擬鍵盤等等的技術。

對於這些技術而言，膚色偵測技術是一個蠻重要的前處理步驟，利用膚色偵測可以判斷人體落於何種位置，並藉此判斷動作是常見到的方法。除此之外，膚色偵測技術對於一般圖片處理來說也是十分重要的技術，像是紅眼去除可以利用皮膚找出大概範圍，再利用顏色以及大小來判別是否為紅眼；另外膚色修正需要找到所有的皮膚，針對皮膚顏色再做改變；而曝光修正可以藉由膚色來判定顏色需要的改變量；所以對於膚色偵測的準確性愈高，其他技術便可以有更高的效率。

對於膚色偵測而言，由 Kakumanu [1]可知主要有五種因素影響膚色偵測的結果：



- 亮度

由於環境光線像是位於室內室外或是天氣陰晴等等皆會影響到膚色的呈現，因此如何去除亮度的影響對於膚色偵測來說是一個重要的課題。

- 相機因素

每家公司所生產的相機其敏感度以及調整皆不相同，因此造成在同一環境下產生的圖片仍會有所差異，因此對於膚色偵測來說也會造成一定誤差。

- 人種

各人種的膚色在 RGB 顏色空間來說並不一樣，像是亞洲人便是黃色皮膚而非洲人是黑色皮膚，這些都會造成在辨認時的困難度。

- 個人特徵

每個人種都大概歸於一種膚色，像是非洲人就是近似於黑色，而白種人則是白色，但仍會受到黑色素或是年齡等等影響，而造成膚色不盡相同。

- 其他

在膚色偵測時，除了以上幾點，另外還有背景顏色接近膚色，或是受到眼鏡干擾，以及髮色或髮型等，皆會影響到偵測的準確度。

在本篇論文中主要分成幾個部份，章節二是探討膚色偵測的方法，像是前處理、顏色空間、偵測方法等等，章節三是針對本篇所使用的偵測方法做詳細的描述，章節四是將實驗結果說明並且比較，而章節五則是結論以及未來可以發展的方向。



## 二、 文獻探討

膚色偵測在過去十幾年中發展出許多技術，從靜態只針對顏色到動態偵測以及加上手部或臉部等特徵做處理，同時也提升了不少準確度。從大部分的文獻中，膚色偵測的方法主要分成以下幾個步驟：

- 前處理

由於環境光線會影響到顏色的呈現，因此對於膚色採樣來說是一件非常困難的問題，雖然膚色在特定的顏色空間是在固定的範圍，但這前提是指顏色都是在正常光線下。爲了處理不良圖片，一般使用曝光修正或是白平衡等等的技術來修正失真的照片，如Kovac 等人 [2]便是使用Gray World Algorithm。在恢復到原來顏色後再重新採樣，可有效提高偵測率。然而對於自動化調整來說，這些技術無法精確地調整圖片，因爲自動化處理都是假定在某些條件下所設計，像是在日光下或是室內等等，而當圖片不符合所設計的環境時則會造成負面效果。所以一般只在建立訓練資料庫時手動使用，或是簡單的微調以避免因過度調整而造成惡化。

- 顏色空間

採用何種顏色空間對於膚色偵測而言是一個重要的要素。各種顏色空間基本可從 RGB 顏色空間使用線性或非線性轉換得出，採用何種空間主要是看何種顏色空間能有效降低膚色跟非膚色的重疊性，由 Yang 等人 [3]得知環境光線對膚色造成的影像很大，爲了避免這問題，一般都是忽略光線的影響，因此能夠將亮度獨立出來的顏色空間便常被人採用，如: Phung 等人 [4]、Park 等人 [5]使用的 YCbCr，Zhu 等人 [6]的 HSV，Barone 和 Caetano [7]、Fritsch 等人[8]的 normalized RGB 等。

- 偵測方法

在決定顏色空間後，最主要的問題就是如何分開膚色跟非膚色的方法，每個研究者都有不同的方法去處理此類問題，以下是幾個比較常見的方法：

限定固定範圍:這方法是限定固定的顏色範圍，這方法的好處是能夠快速的確認是否為膚色，像是 Phung 等人 [4]在訓練樣本時便先限定 Cb、Cr 的範圍以快速得到可靠的樣本。

直方圖(Histogram):這方法是將每種顏色是膚色或非膚色的比例算出，再利用貝氏最大化相似度解出是否為膚色的機率。優點是只需要 2 個對照表就可以輕鬆運算，缺點則是需要針對各顏色計算其非膚色以及膚色的機率，需要較大的時間以及硬碟容量。 Brand 和 Mason [9]是在 RGB 顏色空間中使用 R/B 跟 G/B 作為分類，減少了對照表的計算量，但對於亮度變化的掌握率便比較差。Kawulok[10]也是使用直方圖，再加上使用一些後處理方式以提高偵測率，在後面會提到。

高斯模型或高斯混合模型:將屬於膚色的平均值以及共變異數(covariance)算出，再利用馬氏距離(Mahalanobis distance)推算各顏色是否為膚色的機率，這方法的好處是需要儲存的空間比較少。Phung 等人[4]便是使用 YCbCr 顏色空間。先將 Y 區分成 3 等分之後再使用[Y Cb Cr]代入公式分別算出其機率，最後採用最小的馬氏距離做為其顏色的代表。優點是將亮度列為考量，但若是受到黃光或是其他顏色光線影響的照片，則偵測率會直線下滑。Barone 和 Caetano[7]則是以 normalized RGB 中的 R 跟 G 作為特徵。缺點是光線一樣會對此方法造成問題。Zhu 等人 [6]是使用 HSV，利用[H S]作為特徵，並使用其他方法輔助偵測，之後會再詳談。Park 等人[5]則是使用 YCbCr，單純使用[Cb Cr]作為特徵。缺點環境光線仍影響很大。

- 後處理

在自動膚色偵測中，由於環境光線會影響到膚色的變化，所以除了使用前處理改善外，另外就是使用後處理來改善，主要分成針對膚色再處理[6][8][10]，以及針對偵測到的膚色區塊作切割[11]。

膚色再處理:主要是先偵測出圖片中屬於膚色的區塊，利用圖片中已知膚色的資訊再重新偵測膚色，Zhu 等人[6]便是利用原有圖片的所偵測到的膚色作為基礎，再利用高斯混合模型(Gaussian mixture model)去求得新的平均值以及共變異數，然後再利用新的平均值以及共變異數重新運算。這方法由於是使用圖片中的資訊，所以準確率會比一般要來得好，但問題是如何得到正確的膚色，一旦開始所偵測的膚色是錯誤的，則會使得之後的處理一樣是錯誤的。Fritsch 等人[8]是利用偵測到的區塊再使用臉部偵測來確定臉部位置，利用得到確定的臉部位置後再利用這臉部位置所得到的資訊重新偵測膚色，但若膚色偵測沒有得到正確資訊時則無法正確預估；Kawulok[10]則是利用臉部偵測來得到臉部的顏色，基本是利用所偵測到的臉部位置，使用雙眼之間距離  $d$  來算出梯形範圍(圖 1)，利用這一範圍空間來判斷臉部位置的顏色。缺點是在當臉部偵測錯誤時無法有效判斷是否為正確膚色，容易造成誤判。

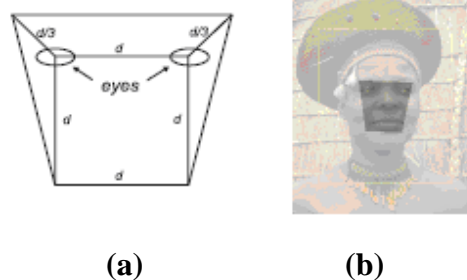


圖 1：Fritsch 等人[8]的臉部位徵取得方式，  
(a)為取樣範圍的樣本，(b)為實際取樣的圖片

膚色區塊切割:這是將以得到的膚色區塊再利用其他的影像處理技術作處理以得到重新切割好的膚色區塊。像 Phung 等人[11]是利用 Sobel edge detector 來輔助切割膚色區塊，但當邊界不夠明顯時則無法有效使用。

針對以上膚色偵測的方法，對一般偵測方法[4][5][7]來說，環境光線會改變膚色的呈現，因而降低偵測率，所以利用圖片中的資訊或是前處理是十分重要的，因此我採用類似[6][8][10]的方法，藉由人臉的資訊來重新調整膚色的平均值以及共變異數，增加膚色偵測的準確性，同時也利用亮度修正來降低偵測錯誤。



### 三、 膚色偵測

針對膚色偵測而言，本篇論文是針對亮度以及人種作處理，主要的流程如圖 2 所示，利用這些順序以得到自動化膚色偵測的區塊。

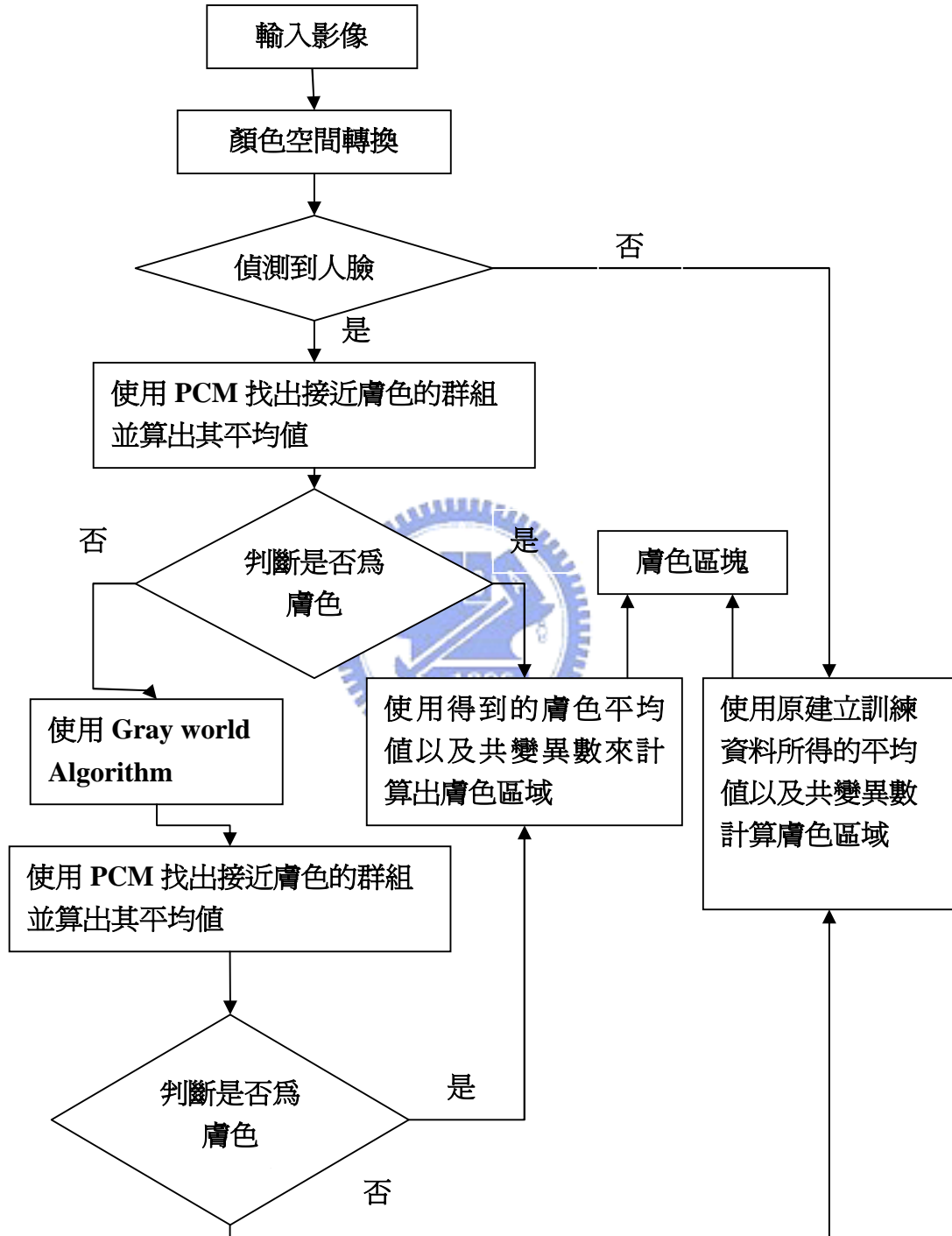


圖 2：膚色偵測流程圖

### 3.1 顏色空間

顏色空間對於本篇論文來說是一個重要的課題。由於顏色會隨著環境光線所影響，因此膚色也會受到光線影響而改變顏色，為了避免光線影響到膚色的呈現，所以採用能夠獨立分出亮度跟色調的顏色空間。在這裡我使用了三種顏色空間，分別是 YCbCr 顏色空間以及 HSV 顏色空間，還有 normalized RGB 顏色空間。

對於不同種族來說，每個種族在 RGB 顏色空間呈現的顏色並不相同，像是黑人跟白人的膚色在一個偏黑一個偏白，為了避免偵測錯誤，所以對於不同種族分別使用上述的三種顏色空間作訓練，以得到較佳的成果。

各種族在經過採樣訓練後產生不同的平均值，如表 1 所呈現，其中 NR、NG、NB 是 normalized RGB 的縮寫，亞為亞洲人，白為白人，黑為黑人，其中 Y 範圍為 16 到 235 的整數，Cb 跟 Cr 為 16 到 240 的整數，normalized RGB 分別為 0 到 255 的整數，HSV 分別為 0 到 1 的小數。

表 1：YCbCr、Normalized RGB 和 HSV 平均值

種族	Y	Cb	Cr	NR	NG	NB	H	S	V
亞	148.35	111.88	148.09	107.46	80.89	66.66	0.39	0.36	0.73
白	140.34	113.17	149.03	108.98	79.46	67.57	0.38	0.37	0.70
黑	96.27	111.82	148.05	122.83	77.92	54.28	0.39	0.54	0.49

從各種族的訓練資料中取出平均值以及標準差，再利用高斯模型產生各顏色空間判別膚色像素的方法，並利用 ROC curve 所產生的範圍評估成果(表 2)。

表 2: ROC curve 各顏色空間所佔的區域值

種族	YCbCr	Normalized RGB	HSV
亞洲人	0.897	0.856	0.905
白種人	0.900	0.894	0.916
黑人	0.893	0.857	0.906



由於膚色偵測計算後呈現的是各像素為膚色的機率，為了區分膚色與非膚色的像素，必須利用限定值(threshold)來確定該點是否為膚色，又使用限定值後會產生 4 種情況(表 3)，其中提高 True positive(TP)以及降低 False positive(FP)是主要的目標。為了得到好的限定值以及判斷哪種方法較好，因此使用了 ROC curve 來呈現每個限定值所產生的 True positive rate 以及 False positive rate。由[12]可知使用 ROC curve 的區域可以分辨何種方法較好。另外由 Hilden 和 Glasziou[13]可知使用 Youden's index 可以找出最佳的節點 (cut-off point)，也就是最佳的限定值，而其運算式為

$$\text{Youdens index} = \text{TP} + (1 - \text{FP}) - 1 \quad (1)$$

表 3：圖片像素可能情況

	實際為膚色	實際為非膚色
偵測判斷為膚色	膚色且被偵測到 (True positive)	非膚色但被偵測到 (False positive)
偵測判斷不是膚色	膚色但未被偵測到 (True negative)	非膚色且未被偵測到 (False negative)

最後我們採用的是 YCbCr 顏色空間，其主要的原因是因為 JPEG 以及 MPEG 2 皆是採用此顏色空間，因此在使用時不需要額外的轉換，而且針對不同人種所訓練出的結果發覺在 Cb-Cr 空間時無論是黑人和白種人以及黃種人皆是落於差不多的範圍，對於不同人種偵測時不必針對不同的人種分成 3 種使用的平均值。除此之外跟 HSV 的表現不會相差很多。圖 3 是 YCbCr 以及 HSV 是使用高斯模型針對所有人種一起做運算，然後以 ROC curve 呈現其結果。利用圖 3 取出最佳切點將結果寫入表 4，表 4 中 TPR 為 True positive rate，FPR 為 False positive rate。由表 2 可知使用 YCbCr 高斯模型所產生的結果跟 HSV 比較，區域值只少於 0.01 左右。而在表 4 可知針對所有人種時，各以最佳節點做為限定值，YCbCr 的 TP 雖小於 HSV，但其 FP 也是少於 HSV，所以依然相差不大。

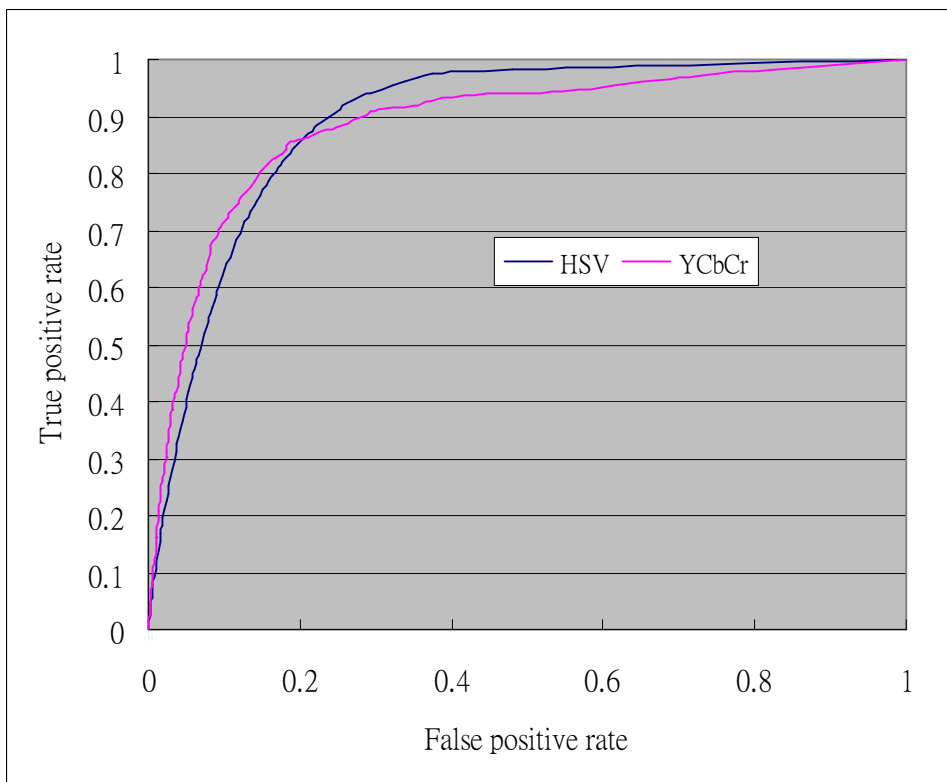


圖 3：HSV 和 YCbCr 顏色空間的高斯模型產生的 ROC Curve

表 4：使用高斯模型後取出最佳切點

顏色空間	最佳切點 (cut-off point)	TPR	FPR	Youden' s index
YCbCr	0.16	0.85	0.16	0.69
HSV	0.13	0.90	0.24	0.66

### 3.2 基於顏色的膚色偵測

在選擇完顏色空間後，最主要的問題便是要如何將膚色跟非膚色的顏色分開。在這採用 Gaussian model 作為偵測的方法，主要是因為對於此方法來說只需要計算出膚色平均值  $\bar{\mu}$  以及共變異數  $\Sigma$ ，便可以用來計算出膚色的比例，對於儲存空間的要求較小，同時也可以快速的運算出結果。

其主要使用的方程式如下：定義顏色特徵以  $\vec{x}$  代表，因為不希望使用亮度作為特徵，所以  $\vec{x}$  是表示  $[\text{Cb Cr}]^T$ 。首先是從訓練資料中確定為膚色像素的  $\vec{x}$ ，使用

$$\vec{\mu} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \vec{x}_j \quad \Sigma = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (\vec{x}_j - \vec{\mu})(\vec{x}_j - \vec{\mu})^T \quad (2)$$

算出  $\vec{\mu}$  跟  $\Sigma$ ，其中  $\vec{\mu}$  為平均值， $\Sigma$  為共變異數(covariance)。

代入高斯機率分布(Gaussian probability distribution function)

$$p_{chrom}(\vec{x}) = \exp\left(-\frac{1}{2}(\vec{x} - \vec{\mu})^T \Sigma^{-1}(\vec{x} - \vec{\mu})\right) \quad (3)$$

算出其為膚色的機率。

對於這樣截取出的膚色來說，由於只是以訓練資料取出的膚色平均作處理，加上並沒有亮度作為特徵，所以一般只能截取出約 85% 的膚色區塊(表 4 的 TP)，又因為沒有針對亮度作處理，對在亮度(Y)十分低的顏色來說，即使  $p_{chrom}(\vec{x})$  較大，其顏色通常不是膚色的顏色，因此為了去除掉這些顏色，我們加入亮度的限制來降低錯誤偵測的比例。我們的方法

$$p_{skin}(\vec{c}) = p_{Chrom}(\vec{x}) \times T(Y) \quad (4),$$

其中  $p_{Chrom}(\vec{x})$  是表示利用[Cb Cr]代入公式(2)所算出的機率， $T(Y)$  則為亮度的機率，其公式為

$$T(Y) = \begin{cases} 0 & \text{if } Y \leq 64 \\ 1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5),$$

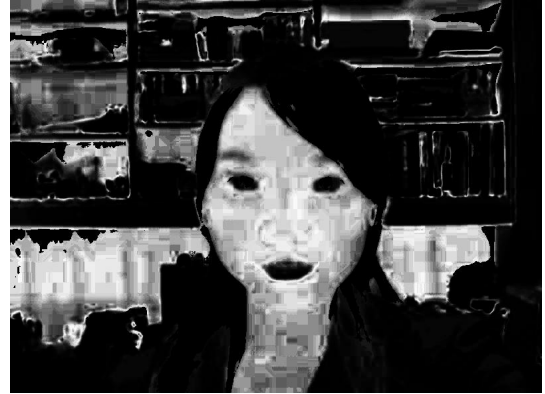
主要用來確認避免將低亮度的像素視為膚色， $\vec{c}$  則是表示[Y Cb Cr]。舉例來說如圖 4，其中圖 4(a)為原圖，圖 4(b)是使用公式(3)所產生的圖，圖 4(c)是使用公式(4)產生的圖，由(b)跟(c)的比較可以知道亮度可以消除一些低亮度非膚色的背景。



(a)



(b)



(c)

圖 4：膚色偵測比較，(a)原圖，(b)使用公式(3)產生的圖，(c)使用公式(4)產生的圖

### 3.3 臉部輔助膚色偵測



照片容易受到光源或是雜訊所影響而造成圖片中的膚色與實際的膚色不一樣，因此在偵測時無法抓到正確膚色。如圖 5 是這樣一個例子，其中圖 5(a)為原圖，圖 5(b)為使用公式(4)產生的膚色機率圖，由於圖片本身有色偏，所以造成偵測錯誤。爲了避免此類問題產生，可以使用色彩校正，但是色彩校正在全自動的情況下，其校正結果未必良好。因此我們採用另外一種方式，利用空間上的特徵來輔助偵測，對於照片來說一般將人放入照片中一定都會有臉部，因此藉由照片中人臉的顏色來區分膚色可以有效降低偵測錯誤的比例，這作法的動機與[8][10]類似，但爲了減少造成[8][10]中的方法失敗的狀況(如初步膚色偵測的錯誤或臉部偵測的錯誤)對結果的影響。我們的方法和[8][10]有所不同，將在以下敘明。



(a)



(b)

圖 5：偵測失敗的照片的例子，(a)為原圖，(b)為公式(4)所產生膚色機率圖 對於臉部輔助偵測來說，其流程圖如下

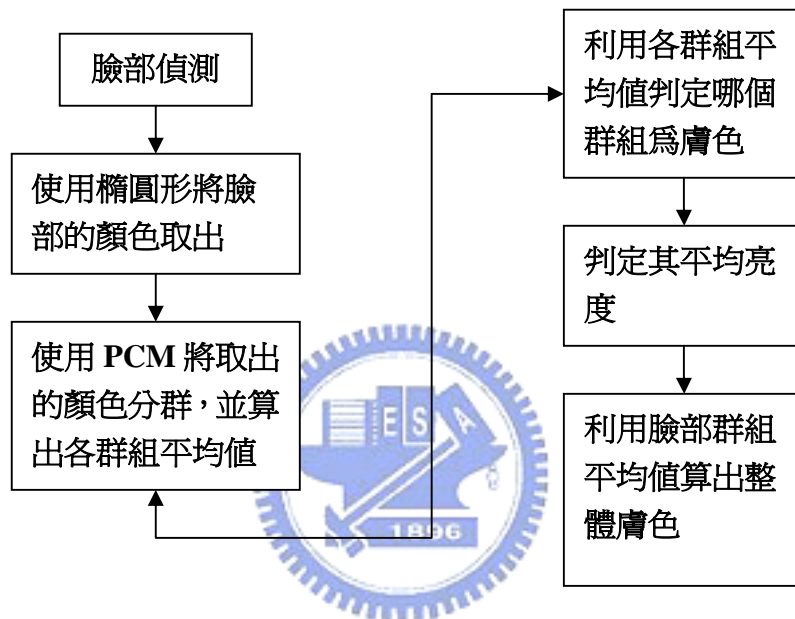


圖 6：取出臉部顏色流程圖

### 3.3.1 臉部偵測

由於目的是針對膚色做偵測，所以對於一般臉部偵測不考慮使用膚色區塊作為前處理，同時不以顏色作為臉部偵測的特徵是為了避免當有光線影響或是其他因素時，使用膚色區塊再去偵測臉部則會找不到正確位置。因此我們只考慮使用空間的特徵作為偵測的基礎。Viola 和 Jones[14]建立了一個使用 Haar 特徵做為分類的方法，利用縮放這些特徵來比對臉部的特徵，藉由特徵的位置來判別是否為臉部，由於特徵計算只需要短暫的時間，因此能有效率的偵測臉部位置。而 Lienhart 等人藉由此方法進而發展了更強的演算方法[15]，他們在原有的 Haar 特徵架

構上加入了旋轉 45 度的 Haar 特徵，這方法不只提高了正確性同時也十分有效率，再來他使用決策樹取代一長串的分類器，增加了不少效能。

Lienhart 等人的方法在網路上目前有 OpenCV( Open Source Computer Vision Library)可以提供下載[16]，且被用於臉部偵測以及其他物件的辨識系統上。為了方便起見，本論文使用 OpenCV 內建的臉部 Haar 特徵系統作為臉部偵測的依據。

### 3.3.2 取出臉部顏色

當臉部偵測找到照片人臉位置時，會有個問題需要去解決，那就是找到的位置到底是不是臉部。以目前技術來說，無法完全的確定偵測到的位置一定是臉部，有時能會偵測到雜物，因此如何判別是否為臉部位置是一個重要的工作。將臉部膚色取出則是另一個問題，如[10]利用圖 1 的方法取出臉部顏色，但其缺點也十分明顯，一旦臉部位置錯誤則會降低偵測率。因此我針對的問題是如何判別找到的位置是否為正確的臉部，以及正確的取出臉部的膚色。

Sowmya 等人[17]利用 Fuzzy Clustering 技術可以將圖片依照顏色分割成不同的部分。利用此技術可以將不同顏色的群組分開，藉由此技術加上我在之後所利用的判別是否為臉部膚色的方法，可以有效的取出臉部的顏色。針對使用的方法，最初採用的是 Fuzzy c mean (FCM)，但對於 FCM 來說，如圖 7(d)，膚色很容易分成好幾個群組，為了避免這類過度分割的問題，我們使用的是 Possibilistic C Mean(PCM)，它可以將近似的群組結合在一起，如圖 7(e)，如此只需要確定哪一個群組接近膚色就足夠了。

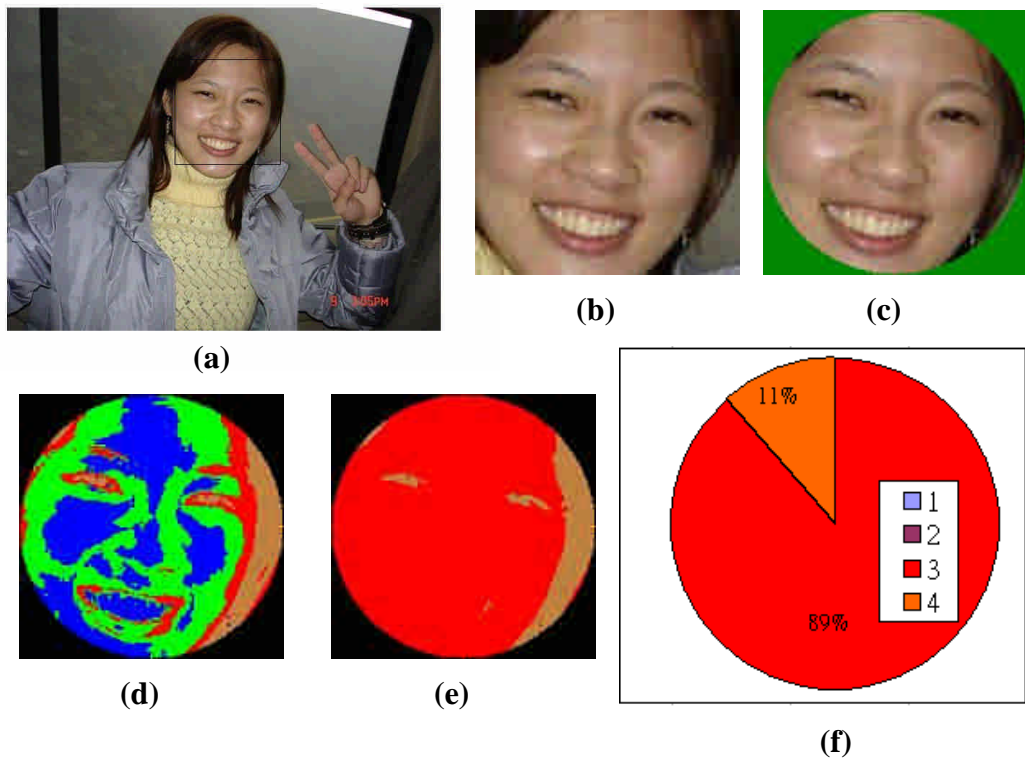


圖 7：臉部截取圖，(a)為原圖，(b)為偵測到的臉部區塊，(c)是利用橢圓取出的區塊，(d)是 FCM 處理過後的結果，(e)則是 PCM 處理後的結果，(f)是(e)圖中各群組所佔整個橢圓區塊的比例

我們利用 Krishnapuram 和 Keller[18]提出的 PCM 的流程來區分群組。PCM 使用的特徵一樣為 YCbCr 顏色空間的顏色，首先將 3.3.1 取得的臉部以橢圓型方式取出重要部分，如圖 7(b)與 6(c)，主要是因為在一般臉部可視為橢圓形。當偵測出位置時利用橢圓形能夠去除較多不必要的雜訊。

首先算出 FCM(圖 8 第一項)的  $u$  以及  $c$  值，其流程如圖 8，其中  $u$  為 relationship，算法為

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left( \frac{\|(\bar{x}_i - \bar{c}_j) * \bar{w}\|}{\|(\bar{x}_i - \bar{c}_k) * \bar{w}\|} \right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (6)$$

$c$  為群組代表(prototype)，算法為

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m \cdot \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (7),$$

k 表示遞迴次數， $U=[u_{ij}]$ ， $\varepsilon$  為一限定值，判斷何時跳離迴圈，另外為

了避免亮度對於分組影響太大，所以使用權重( $\bar{w}=[0.3 \ 1 \ 1]^T$ )降低亮度的比例。由圖 7(d)可知，FCM 對於顏色分配來說，容易將膚色分成過多的群組。在結束 FCM 後再繼續 PCM 流程(圖 9)，使用 FCM 所算出的 u 值和 c 值算出

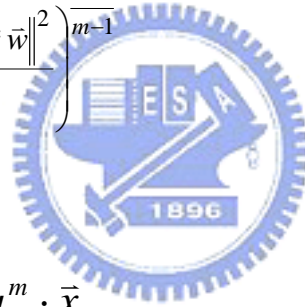
$$\eta_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m \cdot \left\| (\bar{x}_i - \bar{c}_j) * \bar{w} \right\|^2}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (8),$$

$\eta_j$  為第 j 組使用的 scale parameter，PCM 中 u 跟 c 的算法也加入降低亮度的比例，u 的算法為

$$u_{ij} = \frac{1}{1 + \left( \frac{\left\| (\bar{x}_i - \bar{c}_j) * \bar{w} \right\|^2}{\eta_j} \right)^{\frac{1}{m-1}}} \quad (9),$$

而 c 的算法為

$$c_j = \frac{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m \cdot \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^n u_{ij}^m} \quad (10)。$$





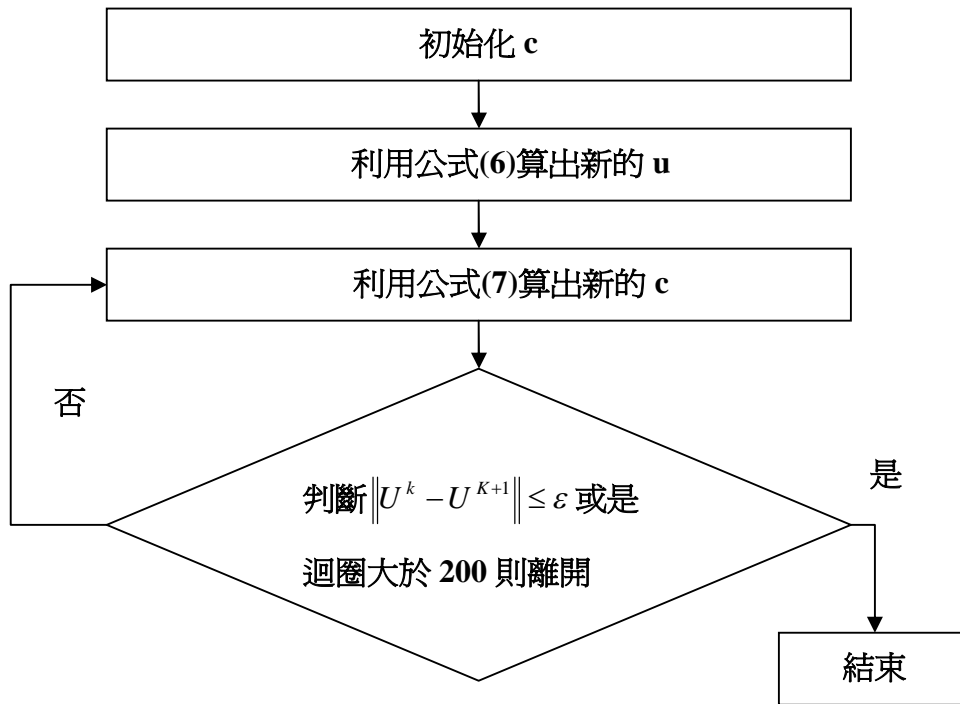


圖 8：Fuzzy C Mean 流程圖

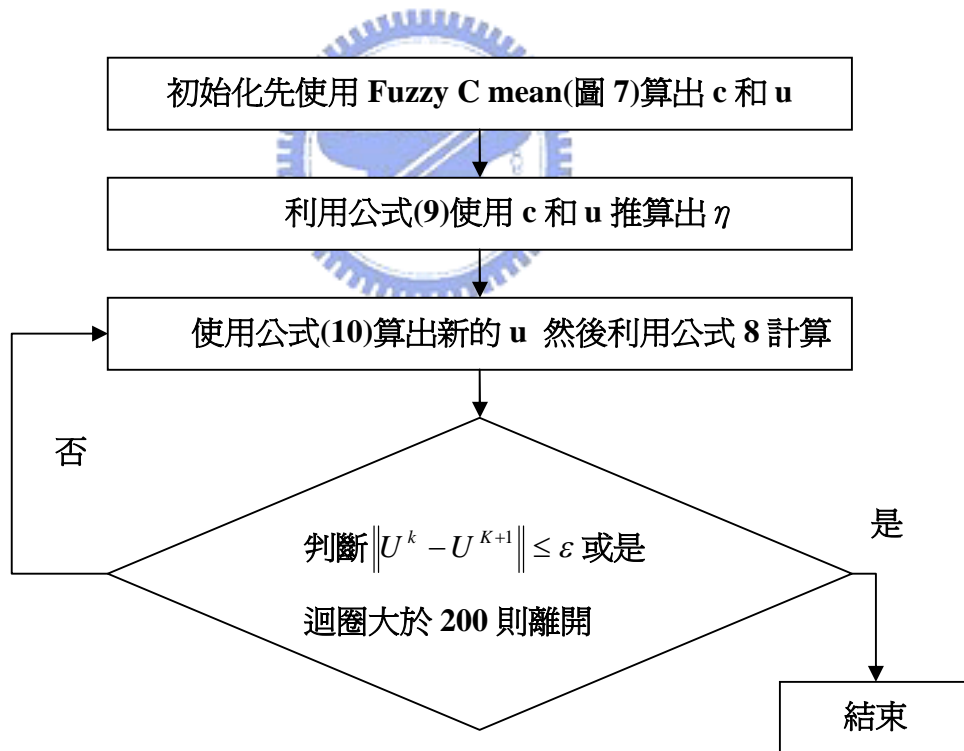


圖 9：Possibilistic C Mean 流程圖

當 PCM 處理完成後，對於各群組分別算出其平均值。為了辨認是否為膚色，首先是考慮所佔的面積，假如是臉部群組，其所佔的面積至

少會大於整體面積的 1/5(如圖 7(e)(f)所示),藉由此可以去除掉一些雜訊所帶來的群組,接著算出其  $dist$ , 算式為

$$dist_i = \left\| (\bar{u}_j - \bar{m}_i) \cdot \bar{w} \right\|^2 \quad (11),$$

其中  $\bar{m}_i$  表  $i$  的平均值, 而  $i$  表兩種組合(亞洲人跟白種人的混合以及黑人),  $j$  則是表示各群組,  $\bar{w}$  則是加權值, 用以減低亮度的影響性。 $dist$  之所以不使用 Mahalanobis distance 的原因主要是因為單純使用 [Cb Cr] 對於判斷頭髮等群組時, 因為有些髮色的 [Cb Cr] 平均值為膚色的機率較高, 容易造成誤判, 加上群組雖然利用 PCM 分群, 但多少會加入眼白或是嘴唇的部份, 所以其平均值多少會有所偏向。將各群組  $dist$  算出後, 首先是將  $dist$  太大的群組去除, 使用

$$dist_a \leq \theta_a \text{ or } dist_b \leq \theta_b \quad (12)$$

來判斷, 其中  $a$  表示亞洲人跟白種人的混合  $b$  表示黑人,  $\theta$  是限定值。分成 2 種的原因在於亞洲人跟白種人較類似, 而黑人與其他 2 種的亮度差距較大。當符合公式(12)後則確定其是膚色。當有 2 個群組以上符合公式(12)時利用圖 10 的流程圖, 首先互相比對  $a$  和  $b$  的  $dist$ , 比較的此值的原因是因為愈小齊為膚色機率愈大。當其中一個小於暫定組別時再比較  $a$  和  $b$  的  $dist$  的相加, 比較的此值的原因是因為  $a$  和  $b$  的差別是在亮度, 所以這 2 個值基本不會相差太多, 愈小的愈像膚色。若又小於暫定值時則決定此組別為新的暫定值。當所有比較完後就由暫定值的組別視為膚色組別。

利用上述的方式可以得到臉部膚色的群組, 接下來將此群組的所有像素算出其平均值, 而共變異數(covariance) 則採用 3.2 訓練資料的數值, 原因是臉部顏色的變化量較小, 在偵測其他部位時無法有效的算出, 因此使用原本的共變異數以增加偵測範圍。接下來即可利用此平均值與共變異數於公式(3)求出膚色的機率。如圖 11, 圖 11(a)為原圖, 圖

11(b)是用 3.3.1 偵測到的臉部，圖 11(c)則是利用 PCM 加上公式(12)所決定的臉部膚色，圖 11(d)為利用圖 11(c)的資訊後代入公式(3)所得的膚色機率。

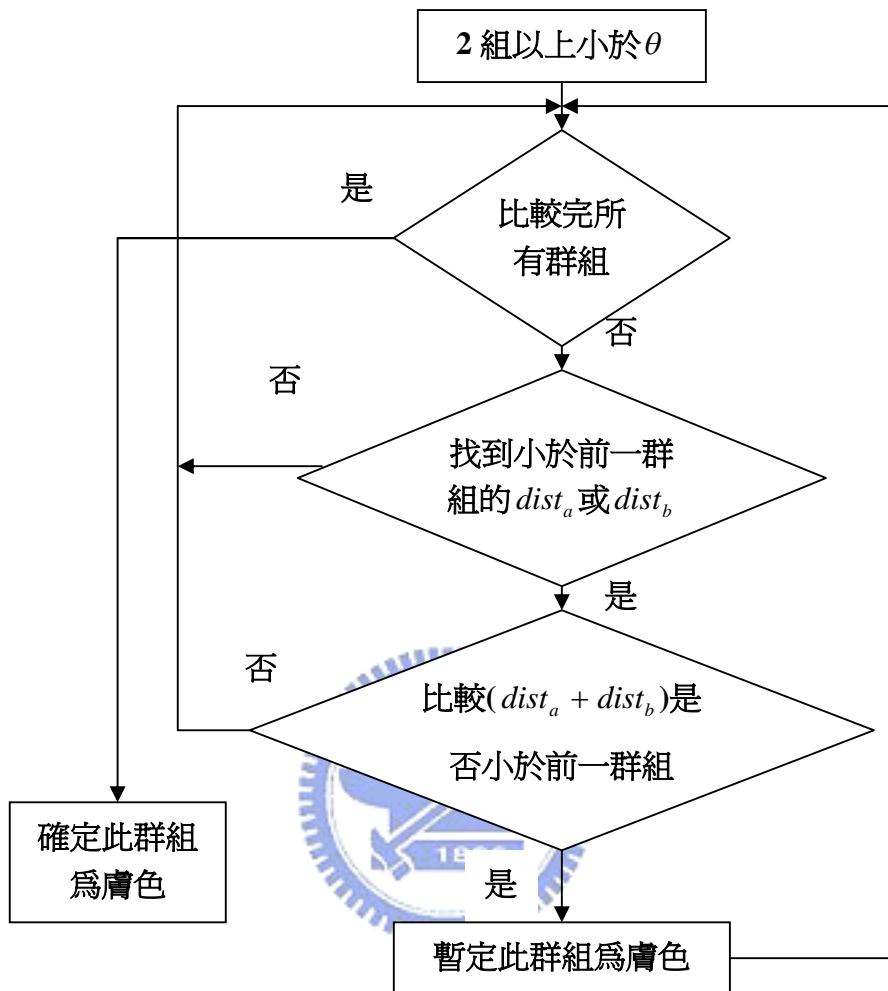


圖 10：處理 2 組以上通過限定值的流程圖

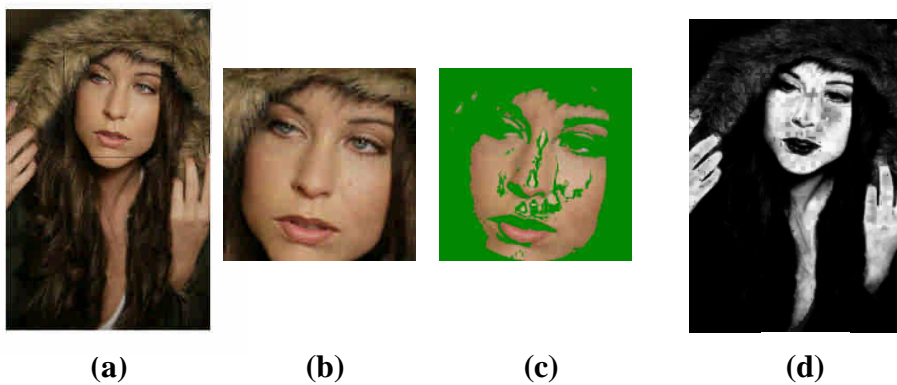


圖 11：取樣過程以及結果，(a)原圖，(b)偵測後臉部位置，(c)PCM 處理

後取得的臉部膚色，(d)膚色機率圖

### 3.3.3 亮度處理

對膚色區域的亮度限制若只使用公式(4)所給的限制，對於偵測來說，彈性較小，當照片較暗時則會造成一些膚色像素因為亮度低所以機率被下降。所以對於亮度採用

$$T(Y) = 0.9 * T_{local}(Y) + 0.1 * T_{global}(Y) \quad (13)$$

去作處理，以避免低亮度的膚色其機率被降低，其中 $T(Y)$ 表示是新產生的亮度限制， $T_{global}(Y)$ 是使用 3.2 的公式(5)，而 $T_{local}(Y)$ 的算法是

$$T_{local}(Y) = \exp\left(-\frac{1}{2}(Y - \mu_y)^T (\sigma^2)^{-1}(Y - \mu_y)\right) \quad (14),$$

其中 $\mu_y$ 是 $Y$ 在膚色群組中的平均值， $\sigma$ 則是採用 3.2 訓練資料的數值，使用之前訓練的變異數是因為臉部亮度在同一群組變化不大，對於其他部位偵測時較容易因為範圍較小而偵測不到。最後在得到亮度機率後再加上 3.3.2 利用公式(3)所得機率，代入公式(4)得到新的膚色機率。

此外由黑人的平均值(表 1)可知黑人的亮度較暗，就算採用公式(13)仍然不足夠，為了避免採用的亮度將圖片中屬於黑人膚色的機率降低，所以利用取出臉部膚色的平均亮度作為門檻值，當其低於 100 時視其為黑人種族，只使用 3.3.2 所得到的平均值代入公式(3)作偵測，如此一來可以避免因為使用亮度限制而將像素中屬於黑人膚色的機率降低。而當大於 100 時則採用公式(13)所產生的亮度機率限制代入公式(4)作處理。

### 3.3.4 色偏修正

圖片有時會因為環境光線而造成色彩錯誤，又因為當臉部顏色平均值偏離 3.2 訓練資料所得出的膚色平均值的太多則會視為非臉部膚色，

因此無法利用臉部膚色來作處理。爲了避免此類情形發生，所以當圖片判定所有 PCM 所產生的群組皆非臉部膚色時會使用 Gasparini 和 Schettini[19]所使用的 Gray World Algorithm 來修正整張圖的顏色。Gray World Algorithm(GWA)的公式爲

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_R & 0 & 0 \\ 0 & K_G & 0 \\ 0 & 0 & K_B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

$$\begin{aligned} K_R &= Gray / avgR \\ K_G &= Gray / avgG \\ K_B &= Gray / avgB \end{aligned} \quad (15),$$

$$Gray = \frac{avgR + avgG + avgB}{3}$$

其中 avgR、avgG、avgB 分別爲圖片在 RGB 顏色空間中 R 的平均值，G 的平均值以及 B 的平均值， $R' G' B'$  爲修正後的 RGB 值。GWA 對於多色彩的圖可以有效的修正，但在單一色調則容易出錯，不過因爲一般照片而言不會是單一色調，所以在此不做額外的討論。不在一開始使用此演算法的原因是因爲使用後圖片容易修正過頭。

當使用 GWA 修正之後，我們會再重新偵測臉部膚色，若仍未偵測到臉部膚色則此區塊應爲偵測錯誤的臉部位置，改用 3.2 所使用訓練資料的數值代入公式(4)來處理。圖 12 便是有使用 GWA 去找出正確的臉部膚色的圖片，圖 12(a)是一張有色偏的原圖，圖 12(b)爲 3.3.1 取出的臉部，圖 12(c)則是 PCM 分類的結果，但因爲沒有找到膚色的群組，所以使用了 GWA 去修正圖片，圖 12(d)便是修正後的圖片，圖 12(e)則是經過 PCM 後分類的結果，圖 12(f)則是選擇的群組，圖 12(g)則是用 3.3.2 所算出的膚色機率。

照片時常常會遇到大於 2 人以上的照片，因此在偵測的時候如何將不同種族的膚色區塊一起取出便是一件很大的問題。爲了避免疏忽掉任

何一人的膚色區塊，所以當大於 2 人以上臉部被偵測出時，每張臉都會各自算出其所產生的膚色機率。合併方法則是採用計算各像素最大值

$$S(x, y) = \max(S_1(x, y), S_2(x, y), \dots) \quad (16),$$

其中  $S(x, y)$  為圖片中在  $(x, y)$  座標上為膚色可能性的機率，範圍為 0~1， $S_i(x, y)$  為第  $i$  張臉產生的膚色機率。由於像素所算出的值愈大則為膚色的可能性愈大，因此使用公式(16)來合併出像素可能為膚色的可能性。如圖 13，藉由圖 13(b)的人臉使用 3.3.3 的方法算出圖 13(d)，然後圖 13(c)的人臉使用 3.3.3 的方法算出圖 13(e)，最後利用公式(16)將圖 13(d)跟(e)利用公式(16)合併成圖 13(f)。



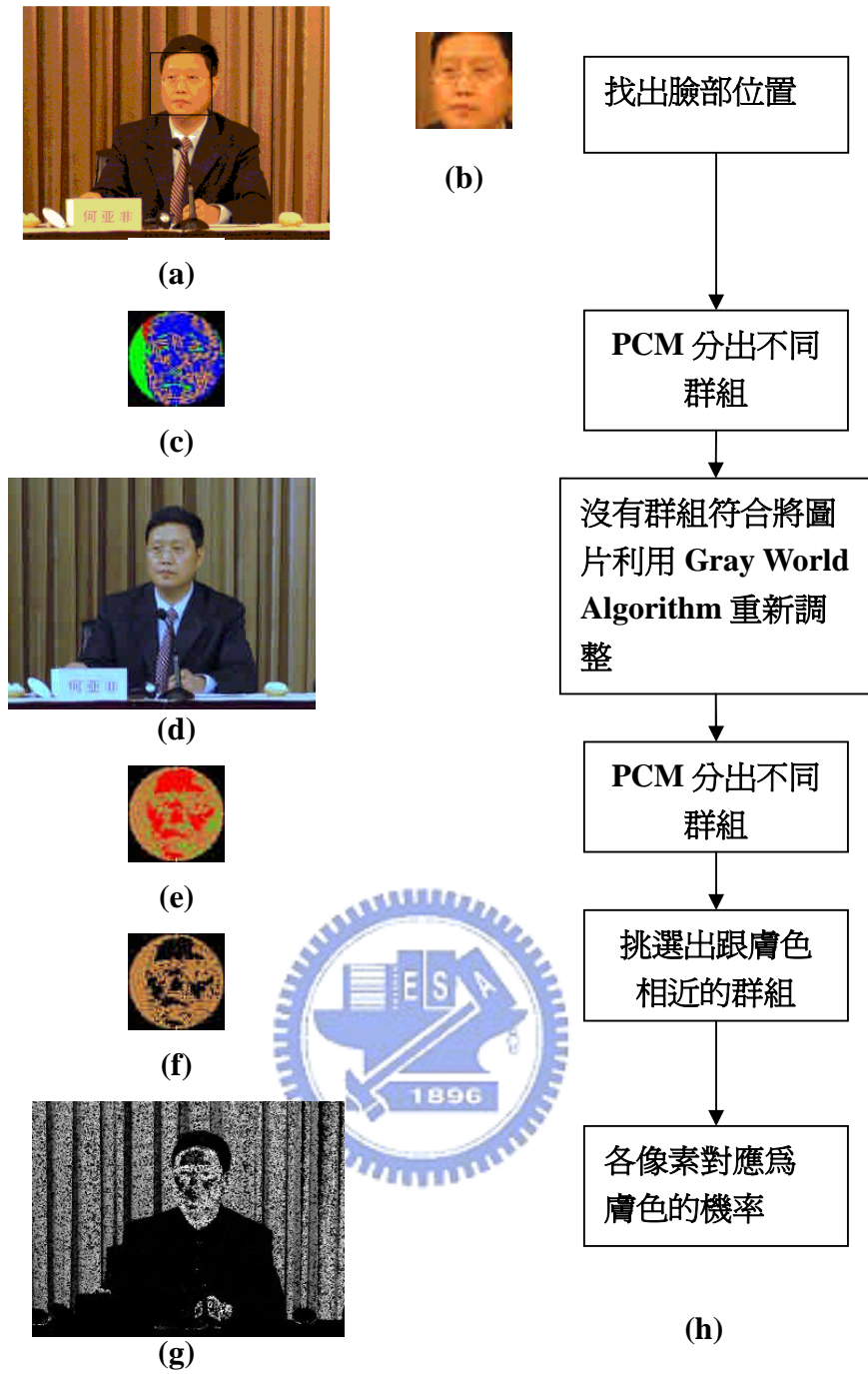


圖 12：Gray world Algorithm 流程圖，(a)為原圖，(b)到(g)為(h)所顯示的各層圖片



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 13：2 人以上之膚色機率合併，(a)原圖，(b)人臉 1，(c)人臉 2，  
(d)人臉 1 產生的膚色機率圖，(e)人臉 2 產生的膚色機率圖，(f)將(d)(e)  
合併後的圖(公式 16)





## 四、 實驗結果

### 4.1 實驗資料

我們從網路中對於白種人、黑人以及亞洲人各自抓取 80 張照片作為訓練及辨識資料的來源。對於每張照片皆人工將其膚色像素從背景中取出(如圖 14(b))，作此步驟的原因除了可以得出膚色像素訓練資料外，同時也可以針對實驗方法的成功率來做比較。



圖 14：原圖及對照圖，(a)原圖(b)對照圖

訓練模型則是針對每個種族每張圖分別隨機取 1000 的膚色的像素作為樣本，利用此樣本計算出各種族的平均值以及共變異數(表 5)。利用這些資料計算出膚色的範圍，圖 15 是 Cb-Cr 中為各種族膚色的範圍，主要是使用訓練資料所產生各種族的平均值和共變異數，代入公式(3)算出 CbCr 空間中膚色的機率。區線代表 M-dist 為 的範圍。

表 5：各人種的 YCbCr 平均值和變異數

種族	$\mu_y$	$\mu_{Cb}$	$\mu_{Cr}$	$\Sigma$
亞洲人	148.35	111.88	148.09	$\begin{bmatrix} 1312.93 & 12.86 & -36.87 \\ 12.86 & 70.20 & -50.91 \\ -36.87 & -50.91 & 66.47 \end{bmatrix}$
白種人	140.34	113.17	149.03	$\begin{bmatrix} 988.52 & -40.36 & 32.97 \\ -40.36 & 44.98 & -31.01 \\ -32.97 & -31.01 & 46.60 \end{bmatrix}$
黑人	96.27	111.82	148.05	$\begin{bmatrix} 1151.01 & -107.49 & 96.98 \\ -107.49 & 75.48 & -64.68 \\ -96.98 & -64.68 & 76.95 \end{bmatrix}$

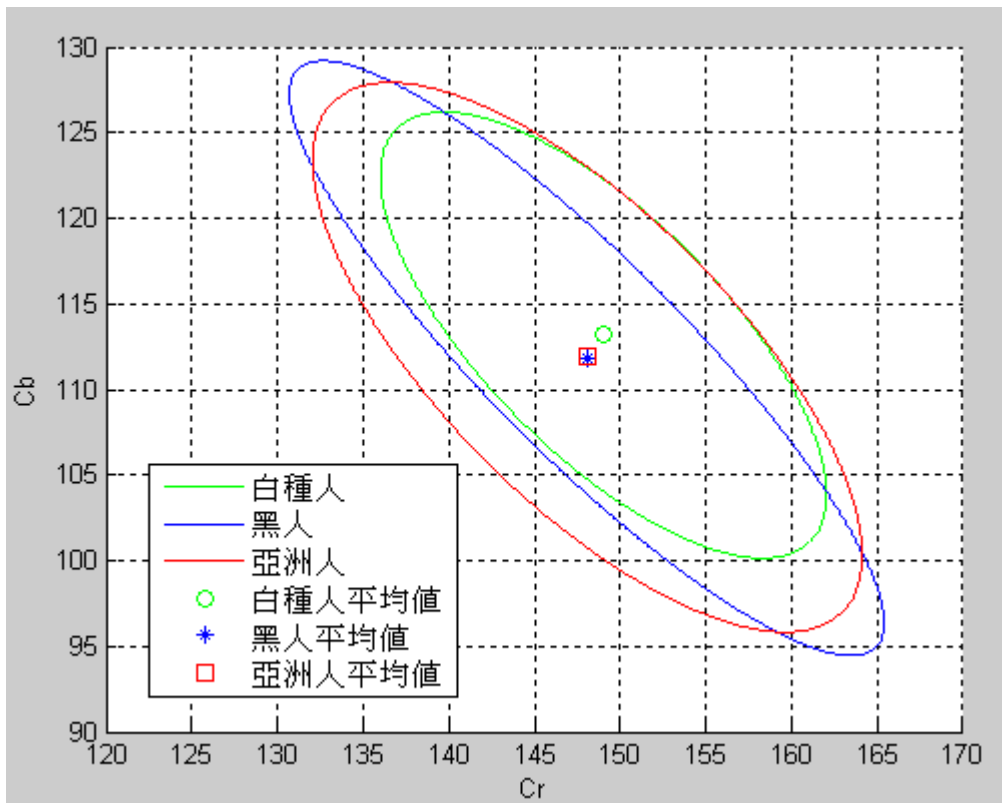


圖 15：各人種分布圖

## 4.2 對不同人種之照片作膚色偵測之結果

由於各人種所呈現的膚色並不一致，因此針對各人種分別處理，利用 ROC curve 的方式呈現不同的成果。使用 ROC curve 的主要原因除了可以有效得到最佳的限定值，同時也可以利用 ROC curve 的面積來比較何種方法較好。

針對不同種族，總共使用了四種方法來測試各種族對於亮度以及臉部資訊所產生的結果，下列為這四種方法的說明

- 方法 A

方法 A 是使用公式(3)，其  $\vec{x}$  是表示  $[Cb Cr]^T$ ，利用 3.2 訓練資料所得的  $\bar{\mu}$  和  $\Sigma$  算出膚色的機率，這也是最原始的方法，作為比較的基準。

- 方法 B

方法 B 便是使用 3.2 訓練資料的數據代入公式(4)，此方法是用來對照方法 A，看亮度是否會對膚色偵測造成影響。

- 方法 C

方法 C 是使用臉部膚色的資訊來作處理。利用 3.3.2 抓出的臉部顏色平均值以及 3.2 訓練資料的共變異數代入公式(3)來得出膚色機率，不過當沒有偵測到臉部時，使用 3.2 訓練資料的平均值以及共變異數代入公式(3)。這方法是用來跟方法 A 做比對，為的是證明臉部資訊是否影響到膚色偵測。

- 方法 D

方法 D 是使用臉部膚色的資訊以及亮度作處理，也就是本論文利用臉部資訊重新偵測膚色的方法，不同於方法 C 的是在偵測到臉部時使用公式(13)的亮度變化，再代入公式(4)去算出膚色機率。若未偵測到臉部，則使用 3.2 訓練資料的平均值以及共變異數代入採用公式(4)。這方法是用來跟方法 C 做比對，為的是比較使用亮度的好壞。

上述為各方法的說明，利用表 6 可以簡單的分類出其不同之處，利用這些不同之處來判斷臉部資訊以及亮度對膚色偵測的影響。

表 6：方法分類

	臉部資訊	亮度
方法 A	X	X
方法 B	X	V
方法 C	V	X
方法 D	V	V

### 4.2.1 亞洲人

圖 16 是針對亞洲人照片做運算，最後將各方法以 ROC curve 的方式呈現。由圖可知當使用方法 D 提高偵測率最高，主要的原因在於使用亮度(公式 13)來判別低亮度非膚色的部分，加上使用 3.3.2 取出的臉部的訊息來調整膚色偵測，所以偵測率為最高。而方法 B 提升偵測率的原因是因為亮度去除掉非膚色的部份特別多(公式(5)的亮度調整)。而方法 C 是因為少了使用亮度去除低亮度非膚色的部份，但使用臉部訊息依然可以有效的提升膚色偵測。

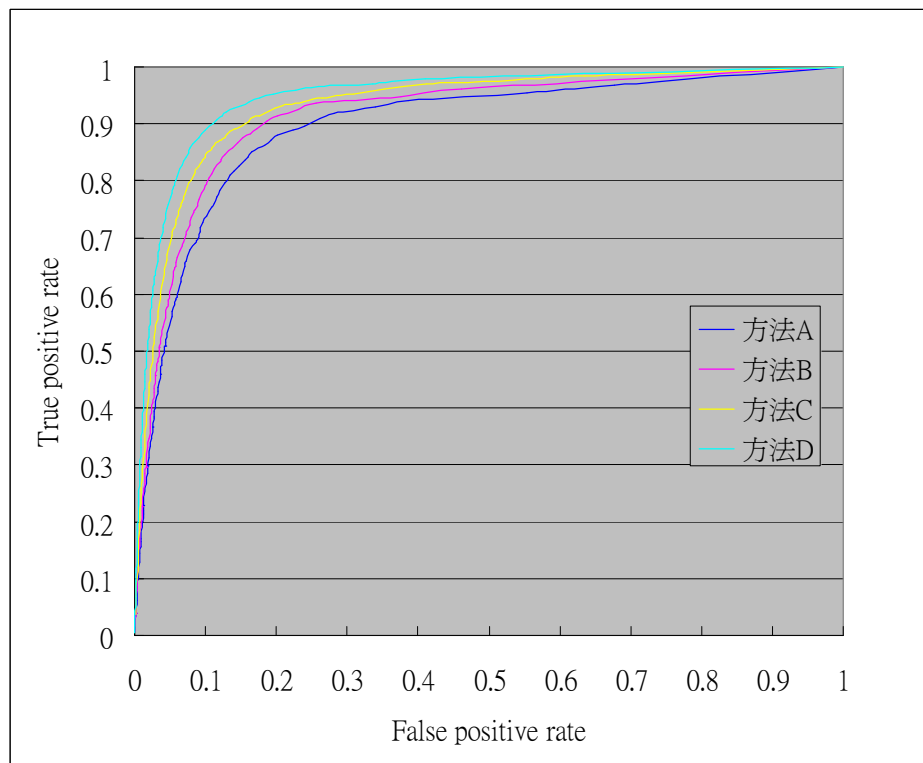


圖 16：亞洲人 ROC curve

### 4.2.2 白種人

圖 17 是將白種人的照片以方法 A 到 D 作運算，並使用 ROC curve 來比較各方法之好壞。由圖 18 可知方法 D 可以是最好的方法，主要的原因跟亞洲人一樣都使用亮度以及臉部資訊來加以調整，所以偵測率為最高。而方法 C 提升偵測率較多的原因因為使用臉部資訊來輔助偵

測。而方法 B 和方法 A 的對比是在亮度方面，由於亮度去除掉低亮度非膚色的像素特別多，所以方法 B 要比方法 A 來得好。

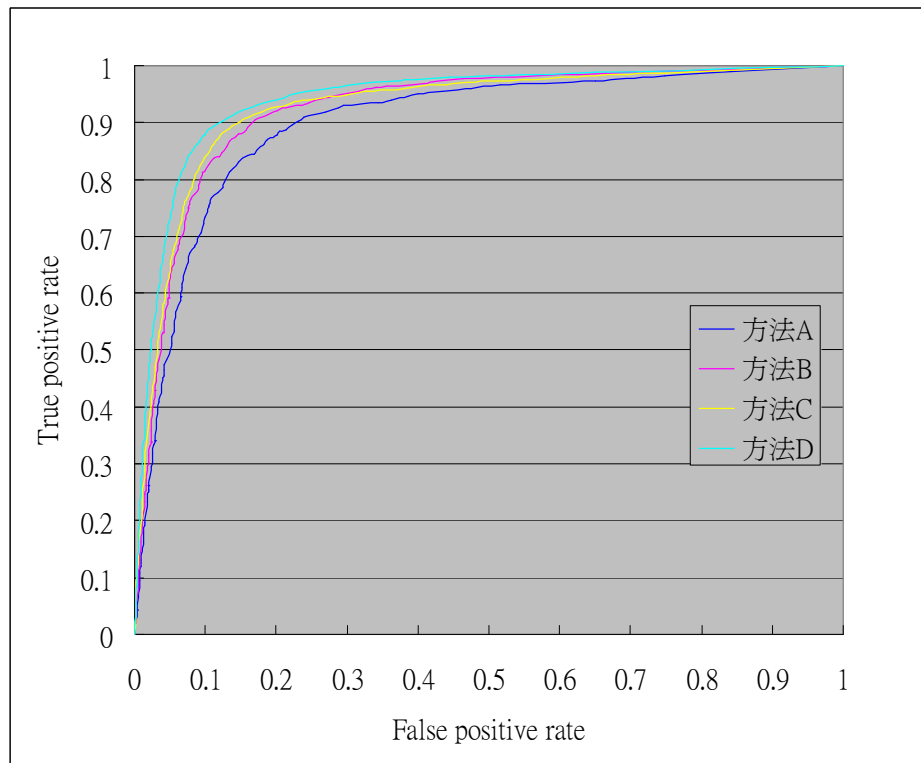


圖 17：白人整體的 ROC curve

#### 4.2.3 黑人

圖 18 是各方法針對黑人圖片所做的 ROC curve。由圖 18 得知方法 B 的效果不好，反倒是方法 A 仍然維持不錯的偵測率，由此可見使用亮度處理黑人是十分不妥的一件事。原因在於黑人膚色本身就偏暗，因此在使用亮度作處理時常會去除掉屬於低亮度的膚色部份。對於使用方法 D 能夠有好的表現最主要是使用臉部資訊，當臉部平均亮度低於 100 時只使用公式(3)作調整，因此亮度影響比較不大。對於黑人最好的處理方式是使用方法 C，它只使用 3.3.2 取出的臉部膚色代入公式(3)，所以沒有受到亮度影響而降低偵測率。

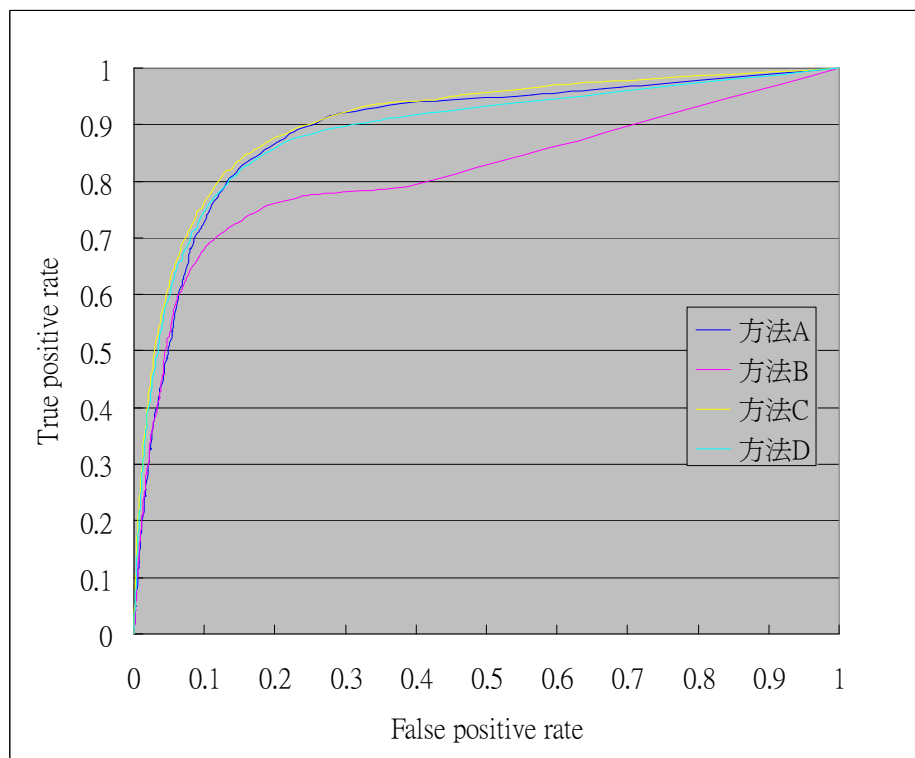


圖 18：黑人整體的 ROC curve

#### 4.2.4 方法總結

由表 7 可知，方法 C 跟方法 D 利用臉部資訊可以有效的加強膚色的偵測，對方法 B 來說，只有在黑人偵測時較差，其原因是因為使用亮度的關係。以整體來看方法 C 的表現最為平穩，單單只用臉部資訊便足以應付所有人種，由此可見利用臉部偵測可以有效提高效率。亮度對於除黑人之外的人種來說加強了許多效率，在方法 B 在相對於方法 A 或是方法 D 相對於方法 C 而言，都有很明顯的進步，所以亮度也可以用於確定照片不是黑人的情況下使用。

表 7：方法 A 到 D 對應各種族在 ROC curve 的區域值

	方法 A	方法 B	方法 C	方法 D
亞洲人	0.897	0.916	0.933	0.949
白種人	0.900	0.924	0.928	0.943
黑人	0.893	0.814	0.908	0.890

### 4.3 臉部偵測率的影響

對於脸部偵測來說，因為是使用自動偵測，所以會有些圖片沒有使用到脸部資訊來做偵測(表 8)。因此為了探討脸部偵測的正確率是否有影響整體的表現，所以將有偵測到脸部資訊的圖片拿來做討論。使用方法 C 作為比較，原因是它使用脸部資訊輔助膚色偵測處理，同時不會因為亮度而影響偵測率。

表 8：脸部偵測機率

	脸部數量	找到	正確率	判別錯誤
亞洲人	130	110	84.60%	19
白種人	134	101	75.37%	20
黑人	109	85	77.98%	12

圖 19、圖 20、圖 21 是針對各種族偵測到脸部的照片做運算，以 ROC curve 呈現是用來比較各方法的好壞。我們針對這些圖片分析的主要目的是要針對脸部偵測的正確率是否會影響膚色偵測的表現。表 9 是算出各種族在方法 C 的 ROC curve 區域值，將其分成 2 大類，一類是針對有脸部偵測的圖片，另一類則是對所有圖片作處理。由區域值可以知道，針對有脸部偵測的圖片其膚色偵測率提高許多，主要原因就是在於脸部偵測率的提升，所以脸部偵測的成功率仍是很重要的一環。



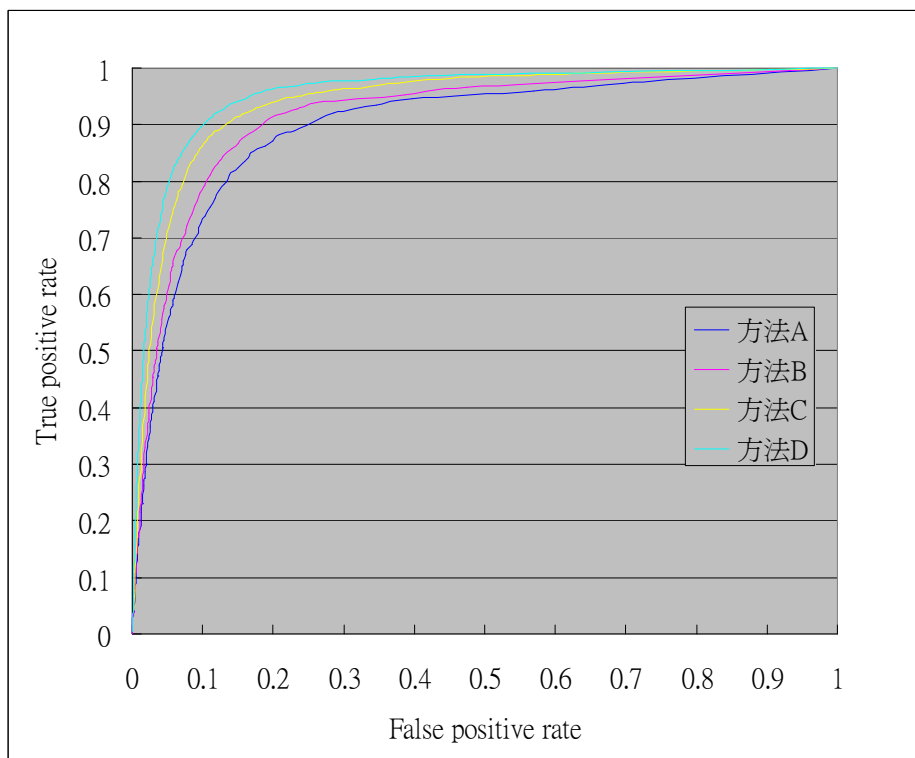


圖 19：亞洲人針對有偵測到臉部圖片的 ROC curve

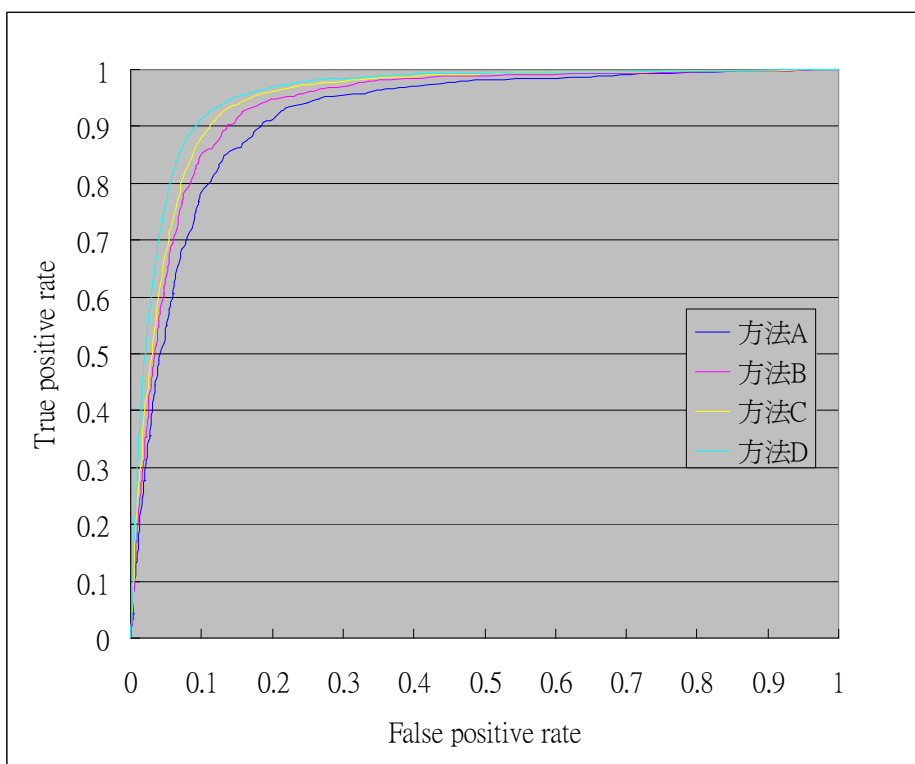


圖 20：白人針對有偵測到臉部圖片的 ROC curve

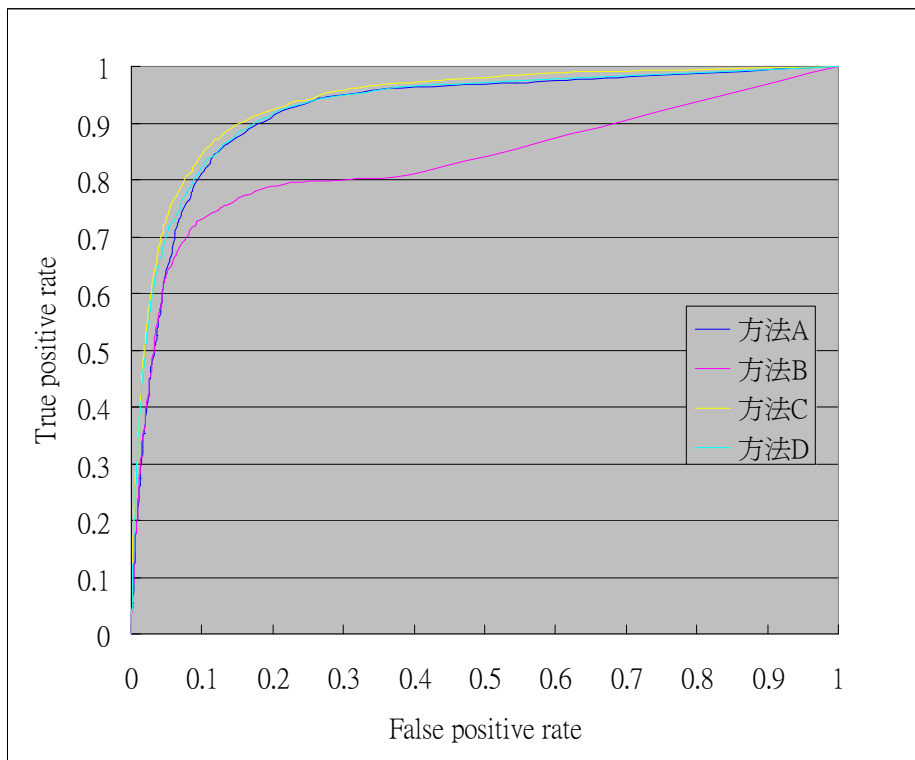


圖 21: 黑人針對有偵測到臉部圖片的 ROC curve

表 9: 有無偵測到臉部圖片的 ROC curve 區域值

有偵測到臉部資訊圖片	區域值		
	亞洲人	白種人	黑人
無	0.933	0.9591	0.908
有	0.966	0.9761	0.940

## 五、 結論與未來展望

### 5.1 結論

本文首先利用 YCbCr 建立了高斯模型，再利用 Haar 人臉辨識系統尋找正確的臉部，使用 PCM 得到正確的膚色用來建立新的高斯模型，除此之外還利用亮度去除了不必要的非膚色區塊，建立了一個新的膚色偵測的方法，利用此方法可以有效的提高膚色偵測的準確性。

本篇論文使用的方法，其優點是不單純使用色彩作為特徵，而是使用臉部輔助偵測，對於 Haar 特徵的人臉辨識系統來說，它的執行速度快且有一定效率，加上不需要使用膚色區域作為前處理，因此使用這系統對於臉部偵測來說是不錯的選擇。

對於膚色偵測來說，若不使用照片中的各種資訊則無法有效提升準確率，但對於如何掌握有用的訊息則是一個挑戰。本篇論文是提供一個利用臉部膚色找出提高準確率的方法，並使用亮度來降低非膚色區塊。對於黑人來說，由於本身的亮度較低，所以一旦使用亮度作為調整反而導致膚色偵測準確率的下降，造成反效果。所以若是要挑選出一個膚色偵測的方法，以 4.2 所提的方法 C 為最佳。但若是針對白種人或是亞洲人的資料庫，則加入亮度去除低亮度像素可以有效提升膚色偵測率。

### 5.2 未來展望

對於本篇論文的膚色偵測來說，雖然完善了不少地方，但仍有許多地方可以改進，例如由於黑人在使用亮度去除非膚色的方法時，準確度降低許多，而亞洲人跟白種人反而是使有此技巧可有效提高偵測率，因此對於未來而言，如何辨別人種是一個很大的課題。另外對於使用臉部訊息來說效果不錯，但是針對如何判斷是否為人臉仍然有許多路要走，因為本論文在此只針對臉部顏色與膚色較相近才處理，無法完全處理所有案例，因此如何辨別仍是一個很大的問題。而針對自動化色彩校正來說，原應該是在輸入圖片時就

應解決，但由於校正效果不佳，才在找不到臉部膚色時再重新作處理，浪費了許多時間，因此針對自動顏色校正應有更大的空間去發揮，得到正確的色彩資訊，才可以讓膚色偵測有更大進步的空間。



## 參考文獻

- [1] P. Kakumanu, S. Makrogiannis and N. Bourbakis, “A survey of skin-color modeling and detection methods,” *Pattern Recogn.* Vol 40 ,issue 3, pp.1106-1122, March 2007.
- [2] J. Kovac, P. Peer and F. Solina, “Human skin color clustering for face detection,” *EUROCON2003*, 2003.
- [3] J. Yang, W. Lu and A. Waibel, *Skin-color modeling and adaptation*, ACCV98, 1998.
- [4] S. L. Phung, A. Bouzerdoun and D. Chai, “A novel skin color model in YCbCr color space and its application to human face detection,” *2002 International Conference on Image Processing.*, vol 1, pp.289- 292, Sept. 2002.
- [5] Du-Sik Park, Youngshin Kwak and Hyunwook Ok, “Preferred skin color reproduction on the display” *Journal of Electronic Imaging* , vol. 15, issue 4, 2006.
- [6] Qiang Zhu, Kwang-Ting Cheng and Ching-Tung Wu, “Adaptive learning of an accurate skin-color model,” *Sixth IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition 2004 Proceedings*, pp.37-42, May 2004.
- [7] T. S. Caetano and D. A. C. Barone, “A probabilistic model for the human skin color,” *11th International Conference on Image Analysis and Processing (ICIAP'01)*, pp. 279-283, Sept. 2001
- [8] J. Fritsch, S. Lang, M. Kleinhagenbrock and G. Sagerer “Improving Adaptive Skin Color Segmentation by Incorporating Results from Face Detection” in *Proc. IEEE Int. Workshop on Robot and Human Interactive Communication (ROMAN)*, PP. 337 – 343, 25-27 Sept. 2002
- [9] J. Brand and J. Mason, , “A comparative assessment of three approaches to pixellevel human skin-detection.” In: *Proc. of the Int. Conf. on Pattern Recognition*, vol. 1, pp. 1056–1059 ,2000
- [10] Michal Kawulok, “Dynamic skin detection in color images for sign language recognition” , A. Elmoataz et al. (Eds.): *ICISP 2008, LNCS 5099*, pp. 112–119, 2008.

- [11] Son Lam Phung, D. A. Chai, Bouzerdoum, "Adaptive skin segmentation in color images," Multimedia and Expo, International Conference on ICME '03. Proceedings, vol. 3, pp.173-176, July 2003
- [12] T. Fawcett," An introduction to ROC analysis" Pattern Recognition Letters , vol. 27,pp. 861-874, 2006
- [13] J. Hilden and P. Glasziou , "Regret graphs, diagnostic uncertainty and Youden's index," Statistics in Medicine, vol. 15,pp. 969-986, 1996.
- [14] P. Viola and M. Jones," Robust real-time object detection," International Journal of Computer Vision, 2002
- [15] R. Lienhart and J. Maydt,"An extended set of Haar-like features for rapid object detection", IEEE ICIP 2002, Vol. 1, pp. 900-903 , Sep. 2002.
- [16] Open source computer vision library (OpenCV)  
<http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary>
- [17] B. Sowmya and S. Bhattacharya , "Colour image segmentation using fuzzy clustering techniques," IEEE Indicon 2005 Conference, pp.41-45, Dec. 2005.
- [18] R. Krishnapuram and J.M Keller, "A possibilistic approach to clustering" IEEE Transactions on Fuzzy System , vol. 1,no 2, May 1993.
- [19] F. Gasparini and R. Schettini, "Color correction for digital photographs," Proceedings of the 12th International Conference on Image Analysis and Processing, pp. 646-651 , 2003