

適應性動態手勢切割

朱元昌，陳嘉宏，陳思穎

國立雲林科技大學電子工程所

Email: {g9518740,g9613704,g9613712}

@yuntech.edu.tw

蔡文凱，許明華

國立雲林科技大學工程科技所

Email: {g9610804,sheumh}@yuntech.edu.tw

摘要

本文主要提出可供各種人種膚色皆能適用的手勢切割系統，本系統以動態膚色資訊做為使用者膚色取樣與手勢定位的基礎，並使用高斯分佈模型與最小平方近似解得到使用者每張 frame 下的手勢膚色分佈空間，利用該空間做為每張 frame 手勢切割的依據。因此該手勢膚色分佈空間亦即為目前使用者的手勢膚色分佈情形，並且可以根據不同的環境做適應性的調整，所以可改善複雜背景以及膚色呈現反光或陰影時造成切割破碎的問題。最後本系統將手勢定位區域之手勢切割結果與 RGB Normalized Color Coordinates (NCC) 與 YCbCr 色彩空間之手勢切割結果做切割品質比較。而本系統之手勢切割品質皆比 NCC 與 YCbCr 色彩空間之切割品質較佳。

關鍵詞：手勢切割、適應性膚色切割

一、簡介

手勢本來就是相當原始且自然的示意方式，縱然是在語言無法溝通的情況下，藉由手勢可以表達出許多簡易的訊息，例如將手勢辨識應用於醫療上，使得行動不便或是語言障礙的病患，除了可以利用手勢與護理人員溝通，近年來亦有人發展出使用手勢遙控周邊的電器，以方便醫院裡的病患使用。因此有越來越多以電腦視覺為基礎之手勢辨識系統應用於人機介面、機器視覺和虛擬實境等方面，進一步拉近了人類與機器之間的互動與溝通，藉此將手勢辨識系統應用於教育、醫療、工業、交通...等方面。

在手勢辨識系統中，如何在連續影像中將背景與手勢精確地切割開是很重要的，特別是在複雜

背景中仍然能有好的手勢切割品質是一項熱門的研究議題[1]。除此之外，光線造成膚色呈現反光或陰影亦是影響手勢切割品質的因素[2,3,4]。由於手勢切割的品質會直接影響到手勢辨識的辨識率，所以學者們已提出許多電腦視覺為基礎（Computer Vision-Based Methods）方法來改善手勢切割品質。

採用以視覺為基礎之方法做手勢辨識的研究，是以電腦與攝影機做結合，在電腦加上數位影像處理演算法，使得電腦也能夠像人類一樣地偵測與辨識手勢。Junwei Han與Awad使用SVM(Support Vector Machine)做為手勢切割的方法[5]，SVM以分類(classification)的方式將手勢的膚色與背景分離，但是SVM須事先挑選訓練樣本，並且經過訓練後才能分類。且訓練的過程中樣本不正確、太少都會影響其正確性，加上計算量大，不容易在硬體上實現，僅能在電腦軟體實現。因此，Gupta[6]利用Otsu二值化做為手勢切割的基礎，其方法雖然簡單但是在複雜背景情況下使用錯誤率極高，所以僅能在單純背景下使用。有鑑於此，於是近年來的手勢切割研究大多使用膚色切割的方法，先針對整張影像做膚色偵測，將近似膚色的物件切割出來，再加以判斷是否為手勢，而膚色偵測較常使用的色彩空間還有：HSV[7]、YCbCr[8]。採用色彩空間做膚色偵測，雖然能廣泛的偵測所有人種的膚色，但是卻無法針對每一位使用者膚色分佈區域建構出適應性膚色偵測。

因此本論文的目標為提出一種可適應各人種膚色的動態手勢切割技術，不需透過手套並在複雜背景環境下，不必人工加以訓練的方式，系統能自動取得使用者膚色取樣後，再使用高斯分佈模型

(Gauss Distribution Model)與最小平方近似解(Least squares approximations solution)，模擬出使用者的手勢膚色空間。如此即可得到適應性膚色空間，能夠避免手勢呈現反光、陰影以及複雜背景的情況下所造成的手勢切割破碎。

二、膚色偵測相關研究

(一)NCC 色彩空間

不同的人種其膚色不盡相同，即便是同一個人，在不同的環境下，其膚色也會有所差異。換而言之，人類的膚色會受到光源、種族、衣著、視線所影響，而造成膚色表現而有所不同。特別是 RGB 色彩空間在顯示膚色時極易受到亮度的影響，所以就有 Soriano[3,4]學者嘗試將亮度的因素去除，不但增加辨別率，且可以降低顏色資訊的維度。

而NCC色彩空間的目標即是減少亮度對膚色之干擾，並將顏色資訊從RGB三維空間降低至rg二維平面上，其轉換空間公式如下：(1)式是紅色成份做正規化，以減少紅色對亮度的依賴，同理，(2)式是針對綠色成份做正規化，減少綠色成份對亮度的依賴。便可以將RGB三維空間轉換為rg二維平面。並且根據試驗後，各人種的膚色相當集中，其 r 分佈範圍約在0.2到0.6， g 分佈範圍約在0.2到0.4之間。因此利用兩個二次方程式即可定義出膚色的上界方程式(3)式與下界方程式(4)式，如圖1所示。除此之外，白色($r=g=0.33$)亦會落於定義的範圍中，所以加入(5)式加以排除。綜合上述(3)式(4)式(5)式，我們可以定義出人類的膚色在NCC的膚色範圍，如下(6)式。

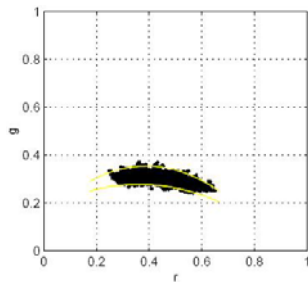


圖1 NCC 膚色分佈範圍

$$r = \frac{R}{R+G+B} \quad (1)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \quad (2)$$

$$g_1 = -1.3767r^2 + 1.0743r + 0.1452 \quad (3)$$

$$g_2 = -0.776r^2 + 0.5601r + 0.1766 \quad (4)$$

$$w_r = (r - 0.33)^2 + (g - 0.33)^2 > 0.0004 \quad (5)$$

$$Skin = \begin{cases} 1, & (g < g_1) \cdot (g > g_2) \cdot (w_r > 0.0004) \cdot (0.2 < r < 0.6) \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (6)$$

(二)YCbCr 色彩空間

在 RGB 色彩空間中，倘若人類的膚色與背景顏色很接近時，RGB 色彩空間難以將膚色與背景分離。有鑑於此，有專家學者便將影像的色彩空間由 RGB 色彩空間轉換到 YCbCr 色彩空間，其轉換公式如下(7)式。利用膚色膚色在 YCbCr 色彩空間中有著獨特性，以及膚色在 Cb 與 Cr 所組成之二維空間分佈有群聚、集中的特性，如圖 2 所示。所以現今之膚色偵測有許多人是採用 YCbCr 色彩空間。學者 Mohamed A. Berbar 便以 YCbCr 色彩空間為基礎做膚色偵測[8]，並且其 CbCr 必須符合 (8)式，便可找出各式人種的膚色。

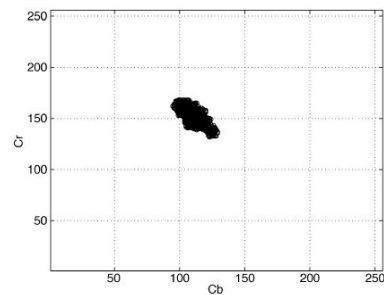


圖2 YCbCr 膚色分佈範圍

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 16 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} + \frac{1}{256} \begin{bmatrix} 65.738 & 129.057 & 25.064 \\ -37.945 & -74.494 & 112.439 \\ 112.439 & -94.154 & -18.285 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$skin = \begin{cases} 137 < Cr < 177 \\ 77 < Cb < 127 \\ 190 < Cb + 0.6Cr < 215 \end{cases} \quad (8)$$

三、適應性動態膚色切割

無論是NCC或是YCbCr色彩空間，都是學者預先取得大量各式人種的膚色樣本，將全部的膚色樣本轉換到該空間上之後，發覺人類的膚色會集中於某個區域，接著才用方程式將該區域定義出來，如

圖1、圖2所示。雖然這種膚色偵測能夠廣範的偵測各種人種的膚色，但是卻無法根據當下的使用者做適應性的調整，僅能以廣義的膚色偵測方式，將疑似膚色的物件切割出來。

因此本文提出一適應性動態手勢切割，能夠根據目前的使用者膚色分佈與當下的環境，作適應性的調整。而在手勢切割的流程中，取得動態影像後，須對動態影像執行手勢偵測，若偵測到手勢的出現後，再對手勢加以定位，之後再將定位區域內把手勢切割出來。圖3為手勢切割系統流程圖。

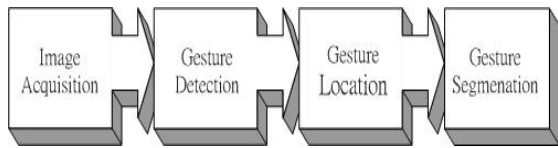


圖3 手勢切割系統流程圖

四、手勢偵測

圖4為手勢偵測流程圖。整個流程主要分為三大部份，1.移動物體偵測 2.膚色偵測 3.AND operation。移動物件偵測(motion detection)是為了偵測出影像中有那些移動物體，並且搭配膚色偵測(skin detection)找出疑似膚色的物件，兩者經由AND 運算後即可找出動態膚色(Motion skin, MOS)的物件。

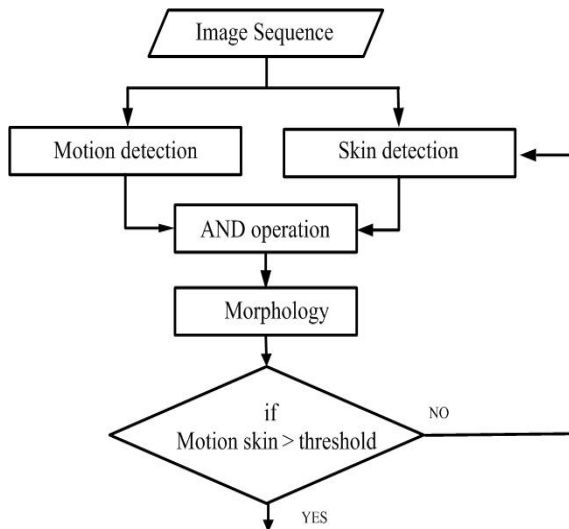


圖4 手勢偵測流程圖

CMOS Sensor 擷取到每張為 $M \times N$ 的 RGB 色彩空間之連續彩色數位影像輸入，如圖5所示為輸入的原始彩色影像，並以(9)式表示之。

$$I(x, y) = \begin{bmatrix} I_R(x, y) \\ I_G(x, y) \\ I_B(x, y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中 $x = 0, 1, 2, \dots, M - 1$; $y = 0, 1, 2, \dots, N - 1$

常見的動態物件偵測即是將前景與背景影像做相減即可取得，首先我們從連續影像中取出彩色資訊，並且代入(10)式中，即可將彩色影像 $I(x, y)$ 轉換為灰階影像 $g_b(x, y)$ 如圖6所示，利用(11)式可以得到如圖7之灰階差值影像。透過(12)式的門檻值(threshold)判斷即可取得圖8之動態物件偵測之二值化影像。

$$g_b(x, y) = 0.299R(x, y) + 0.587G(x, y) + 0.114B(x, y) \quad (10)$$

$$D(x, y) = |g_b(x, y) - g_f(x, y)| \quad (11)$$

$g_b(x, y)$ 為背景影像， $g_f(x, y)$ 為前景影像

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } D(x, y) \geq \text{Threshold} \\ 0, & \text{if } D(x, y) < \text{Threshold} \end{cases} \quad (12)$$



(a)背景影像 (b)前景影像

圖5 彩色原始影像



(a)背景影像 (b)前景影像

圖6 灰階影像

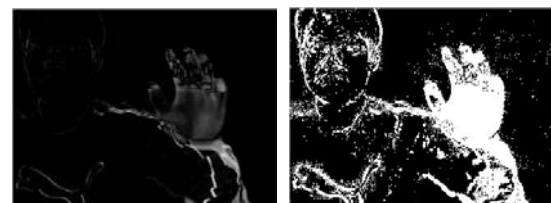


圖7 灰階差值影像



圖8 二值化影像

彩色資訊是用來做為膚色偵測使用，由(13)式膚色判定原則，擷取出膚色區域。圖9即是藉由(13)式取得之近似膚色的區域。經過(14)式之 AND 運算後即可得到動態膚色(MOS)，由於圖10中使用者頭部輕微晃動的關係，因此在臉部區域也會偵測到少許的動態膚色，為了排除臉部或其他因素(如光線的變化)所造成的雜訊，所以使用(15)式之 Erosion(侵蝕)運算即可將雜訊消除，如下圖11。接著尋找該動態膚色之中，最大面積的部份即是手勢遮罩(gesture mask)，並判斷其面積是否大於臨界值，若大於臨界值則代表手勢已出現，如圖12所示。

$$Skin(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } (I_R > I_G > I_B \ \& \ I_R - I_G \geq 5) \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (13)$$

$$MOS(x, y) = B(x, y) \ \& \ Skin(x, y) \quad (14)$$

$$MOS_{ero}(x, y) = MOS(x, y) \ \ominus \ M_a \quad (15)$$

其中 M_a 為 5×5 之結構元素



圖9 膚色偵測結果

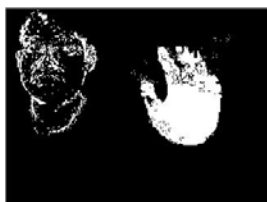


圖10 動態膚色(MOS)



圖11 MOS_{ero}



圖12 gesture mask

五、手勢定位

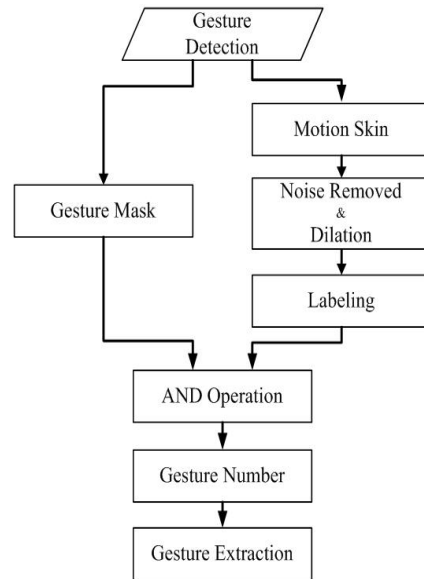


圖13 手勢定位流程圖

當偵測出手勢的出現後，要對手勢加以定位，圖12雖然為破碎的手勢，但是意味著完整的手勢，會出現在其附近之區域，因此利用gesture mask與motion skin(MOS)完成手勢定位。如圖13為手勢定位流程圖。motion skin去除雜訊再dilation後，就會如下圖14一樣，整張影像僅會剩下完整的手勢與臉部資訊，只要再labeling後即會得到一張如下圖15的 $La(x, y)$ 影像，在這裡我們使用顏色來代替號碼，在此黃色部份即為手勢區域。



圖14 手勢與臉部資訊

圖15 labeling

接下來再將圖15與gesture mask(圖12)執行AND運算，即可得知手勢號碼(gn)，如同圖16所示之黃色區域，在這裡我們用黃色來代表手勢號碼(gn)，利用(15)式即可將手勢從圖15萃取出來，其萃取手勢區域如下圖17黃色部份。最終的彩色資訊之手勢定位結果如圖18所示。

$$GL(x, y) = \begin{cases} I(x, y), & \text{if } La(x, y) = gn \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (15)$$

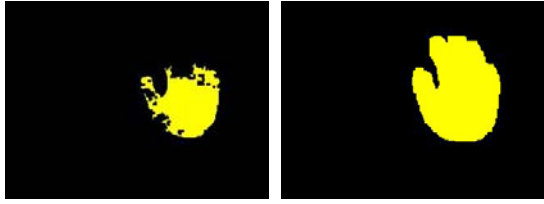


圖16 取得手勢號碼

圖17 手勢域區

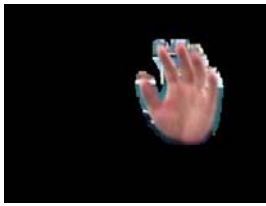


圖18 手勢定位結果

六、手勢切割

取得手勢定位後，只要針對定位區域做手勢切割即可，不須整張影像進行手勢切割，以降低運算量。而手勢定位區域可能會包含一部分背景資訊，為了將手勢與背景分離，我們透過適應性膚色空間將手勢與背景分離，而手勢切割的演算法如圖19所示。

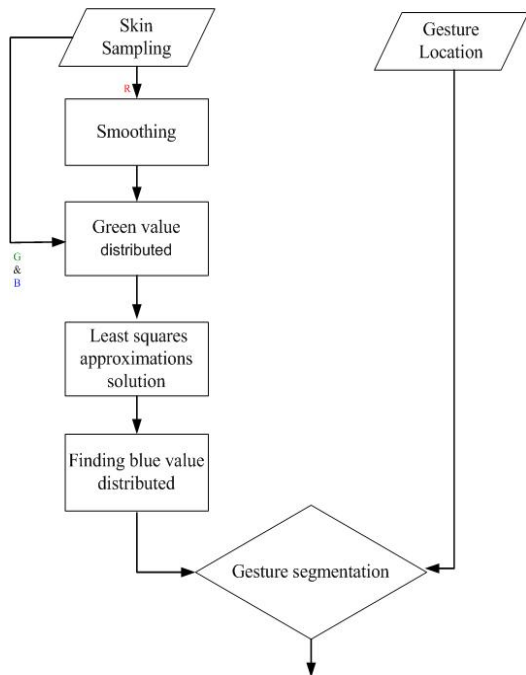


圖19 適應性手勢切割流程圖

(一) 膚色取樣

為了得知當前使用者的手勢膚色空間，首先必須取得使用者的手勢膚色取樣，進而利用該膚色取樣模擬出使用者的膚色，而膚色取樣可以從動態膚色中取得，因此只要將圖11與圖18做AND運算後，即可得到圖20中的使用者之手勢膚色取樣 (SKP)，其數學式如下(16)式，同時我們可以將圖20中的每一個pixel對應至RGB色彩空間中，其所對應的結果如下圖21所示。

$$SKP(x, y) = GL(x, y) \& MOS_{ero}(x, y) \quad (16)$$

$$= \begin{bmatrix} SKP_R(x, y) \\ SKP_G(x, y) \\ SKP_B(x, y) \end{bmatrix}$$



圖20 手勢膚色取樣

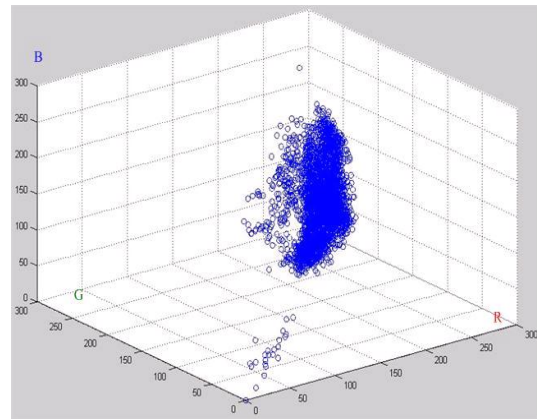


圖21 RGB色彩空間

(二) 膚色樣本之histogram平滑化

由上圖20可以得知膚色取樣圖是雜亂無章排列，但是從圖21可知，將膚色取樣中的每一個pixel轉換到RGB色彩空間後卻是具有群聚性的，因此我們可以利用手勢膚色具有群聚的特性，計算出使用者的手勢膚色分佈空間。

為了得知使用者手勢膚色分佈空間，首先必須

先取得手勢膚色的R值(紅色)的分佈範圍。所以先將手勢膚色取樣圖的每一個pixel之紅色成份(R值)做histogram如下圖22，並對histogram執行平滑化(smoothing)即得知該frame使用者手勢膚色R值的分佈範圍為下圖23紅色箭頭所指之處。因此由下圖24的RB二維平面圖可以很清楚地得到，該frame使用者手勢膚色之R值分佈為 $R_L \sim R_H$ 之間。

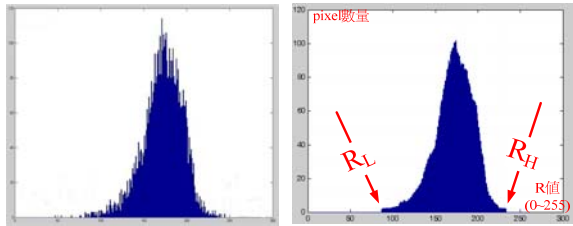


圖22 R值之-histogram

圖23 平滑化

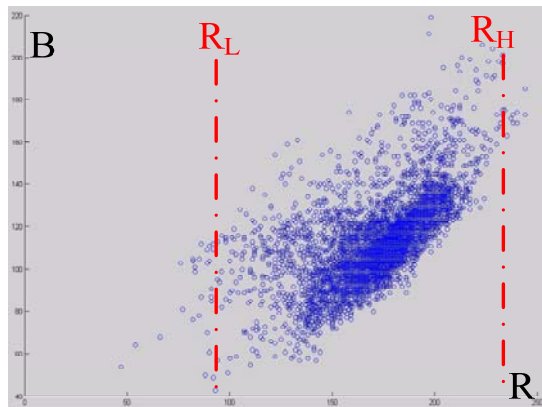


圖24 手勢膚色取樣之R值分佈範圍

(三) 膚色取樣之綠、藍色的色彩分佈

當得知使用者膚色，紅色成份(R值)分佈範圍後，接下來對紅色成份以固定距離加以「分段」，使得 $SKP = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_n\}$ ，如此便可根據每一個pixel之R值，將其G值、B值一起歸類至所對應的 C_n 中。

為了得到使用者手勢膚色之綠色、藍色的分佈情形，所以是以紅色成份為基礎，在 $R_L \sim R_H$ 之間每隔10個像素值為一個區間，因此會有 C_1 、 C_2 、 \dots 、 C_n ，合計 n 個區間，如下圖25所示，其 n 的計算如下(17)式，以便分別得到每一個區間綠、藍色(G值、B值)分佈情形。

$$n = \frac{R_H - R_L + 1}{10} \quad (17)$$

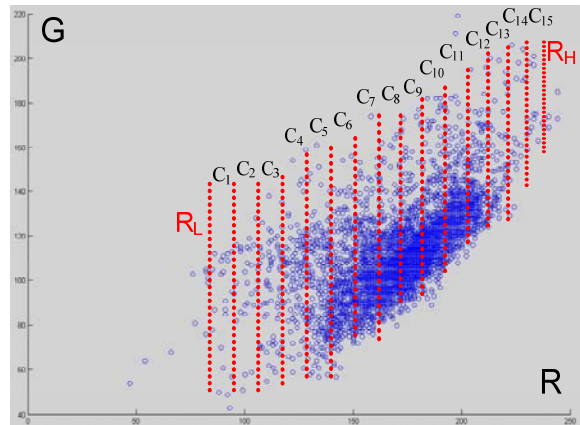
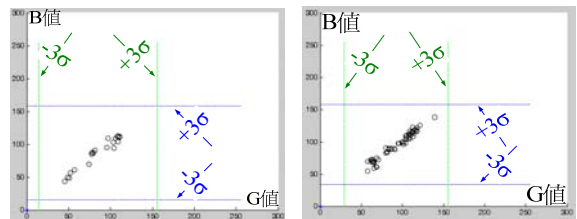


圖25 膚色取樣之區間

將膚色取樣代入(18)式，即可把整個膚色取樣中的每一個pixel之G值、B值一起記錄至其所對應的 C_i 中。如此即可得到 $C_1 \sim C_n$ 其G值與B值分佈情形。當取得 $C_1 \sim C_n$ 每一段之pixel的分佈情形後，必須依據高斯分佈(Gauss Distribution)計算其G值與B值的正負三倍標準差($\pm 3\sigma$)，以便得知 $C_1 \sim C_n$ 每一段其G、B值的分佈範圍，在分佈範圍外的pixel將其視為雜訊去除，如圖26為我們取出部份區間來示意其pixels在GB平面上的分佈情形。

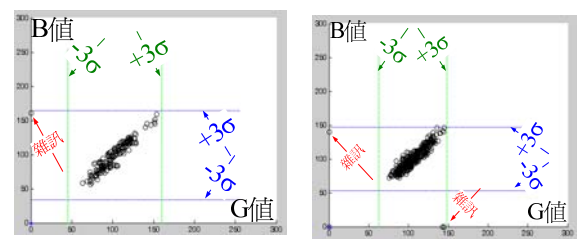
$$C_i = \begin{bmatrix} SKP_G(x, y) \\ SKP_B(x, y) \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$\text{其中 } i = \frac{SKP_R(x, y) - R_L + 1}{10}$$



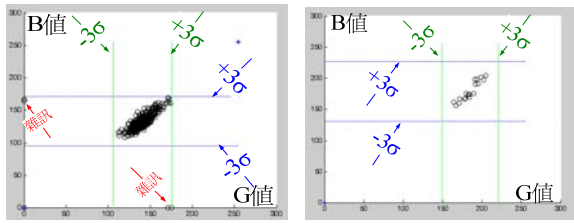
(a) C_1 區間

(b) C_3 區間



(c) C_5 區間

(d) C_7 區間



(e) C_{12} 區間

(d) C_{15} 區間

圖26 部份區間之GB分佈圖

(四)最小平方近似解求得膚色空間

由上圖26可知，膚色大多集中於正負三倍標準差($\pm 3\sigma$)的區域內，不過，若直接使用該區域做為使用者手勢膚色空間，其所造成的誤差是很大的，我們利用下圖27做為示意圖。圖27為 C_6 區間之膚色分佈情形。從圖中可以很清楚的看到，所有的pixel皆在綠色與藍色的正負三倍標準差($\pm 3\sigma$)之內，所以可以用一個矩形將其區域定義出來，但是所有的pixel並非平均分佈於整個矩形區域內，而是集中於左下右上的對角線分佈，所以紅色箭頭所指示之處即為誤判空間，因此我們必須將這些誤判空間去除，以得到最近似的手勢膚色空間。

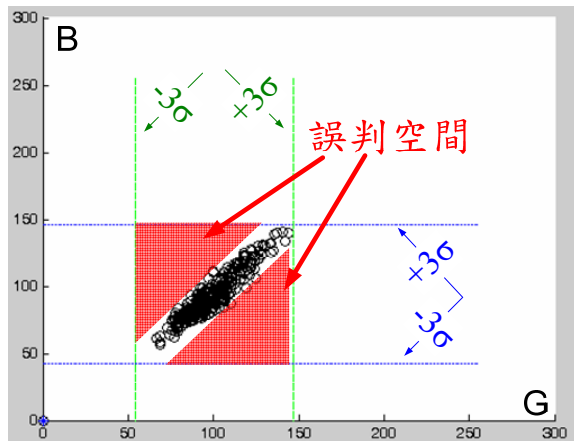


圖27 手勢膚色誤判空間

有鑒於此，利用Least squares approximations solution求得一條直線方程式($L = ax + b$)，該 L 與所有的pixels最為接近。從圖28可發現，所有膚色pixels大致是沿著 L 分佈，越接近 L 的區域其pixel分佈越密集，反之亦然。換句話說， L 幾乎從中心貫穿整個pixel的分佈區域。所以只要再找出兩條與 L 平行的直線(y_1 與 y_2)即可得到使用者的膚

色空間(S)。

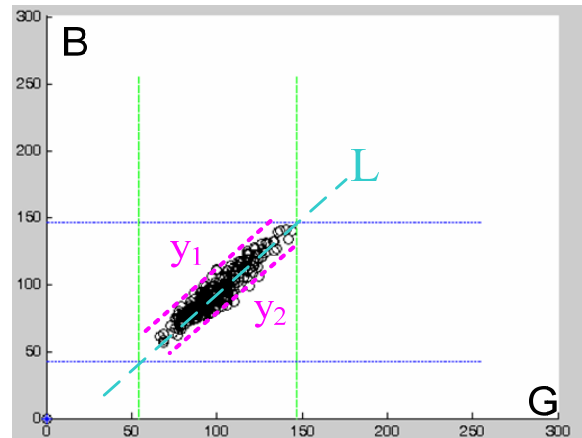


圖28 手勢膚色空間

由上圖28可以很清楚的看到，所有膚色pixels大致是沿著 L 分佈，越接近 L 的區域其pixel分佈越密集，反之亦然，而且其分佈範圍介於 y_1 與 y_2 之間。所以可將此分佈視同高斯分佈，如圖29所示， L 就是落於高斯分佈中的平均值(μ)之處，因此只要再找出兩條與 L 平行的直線(y_1 與 y_2)即可模擬使用者的膚色空間，這兩條平行線，即位於高斯分佈的三倍標準差($\pm 3\sigma$)之處。

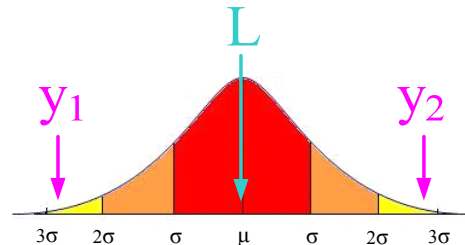


圖29 高斯分佈模型

我們已經利用Least squares approximations solution求得 $L = ax + b$ ，接下來只要將 y_1 與 y_2 求出來，即可得知該 C_i 區間的使用者手勢膚色空間(S)。由於 y_1 與 y_2 皆平行於 L ，所以 y_1 與 y_2 之直線方程式僅在常數項與 L 之直線方程式有所不同而已。

因此我們只要計算出 y_1 與 y_2 之常數項即可得到手勢膚色空間。首先我們計算上半平面所有pixels與 L 的平均距離(d_1)，根據高斯分佈定理，

其左半面與平均值(μ)之平均距離會恰巧等於 0.68σ 。同理，上半平面所有pixels與 L 的平均距離(d_1)會等於 0.68σ ，所以將 0.68σ 乘上四倍即是 2.72σ ，會近似於 3σ ，如此即可得到上平行線之方程式 $y_1 = ax + b + 4d_1$ 。同時，我們可以根據高斯分佈模型的對視性原理，將 d_1 供給另一條平行線使用，所以 $y_2 = ax + b - 4d_1$ ，計算後得到的 L 、 y_1 與 y_2 ，如圖30與圖31所示。當我們取得 y_1 與 y_2 之方程式後，亦即得到GB平面pixels分佈的上下邊界，至於左右邊界則是直接使用G值的三倍標準差(3σ)即可，此即是該G B平面skin pixels分佈範圍，令其手勢膚色空間之名稱為 $SPD_{1\sim j}$ 。

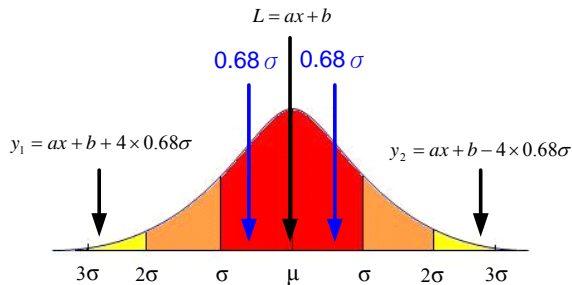


圖30 y_1 與 y_2 在高斯分佈模型之相對位置

經由上述的方法，可求出 $C_1 \sim C_n$ 區間的pixel分佈範圍，即完成模擬使用者手勢膚色空間，由於篇幅的因素僅列舉部份區間之膚色空間(SPD)，下圖31至圖40為部份區間之 SPD ，亦即為粉紅色範圍所示。其該frame之完整的使用者手勢膚色空間(S)以(19)式表示：

$$S = \{SPD_1, SPD_2, \dots, SPD_n\} \quad (19)$$

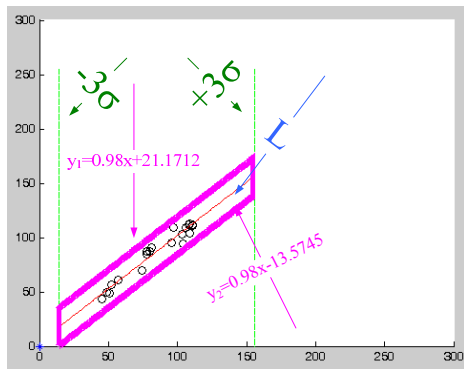


圖31 SPD_1

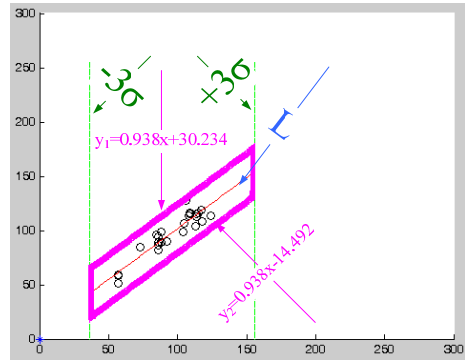


圖32 SPD_2

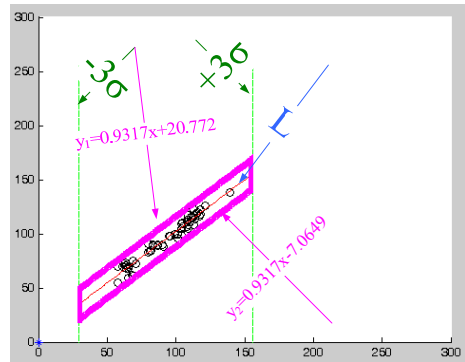


圖33 SPD_3

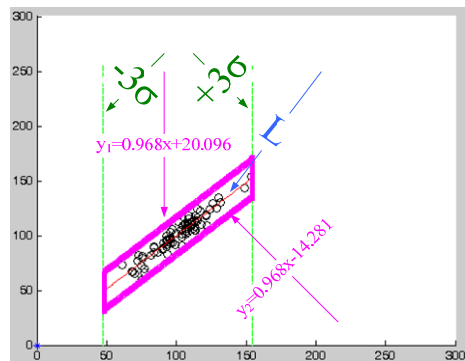


圖34 SPD_4

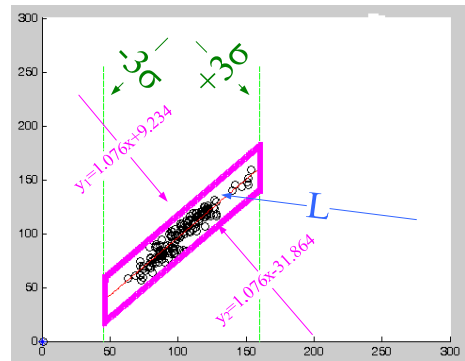


圖35 SPD_5

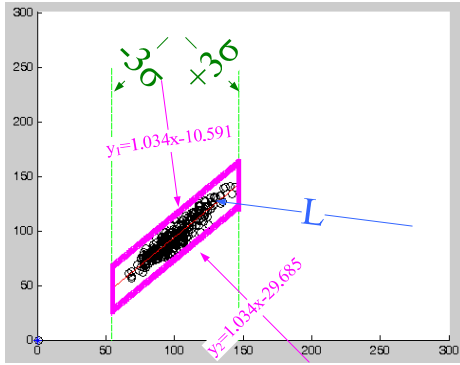


圖36 SPD_6

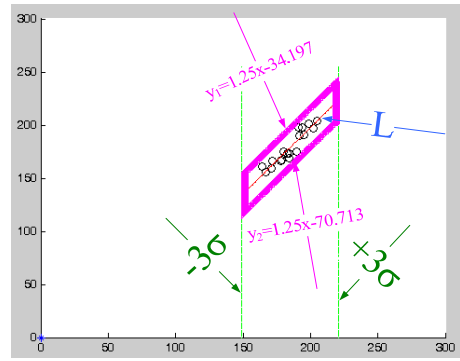


圖40 SPD_{15}

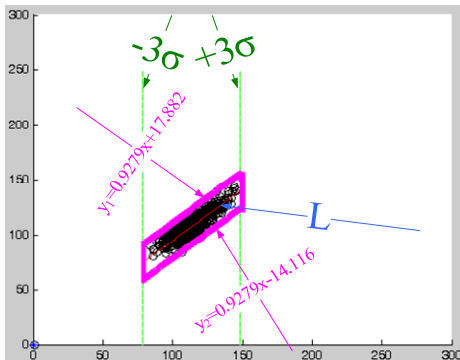


圖37 SPD_9

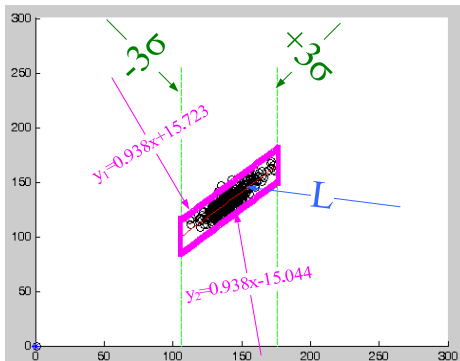


圖38 SPD_{12}

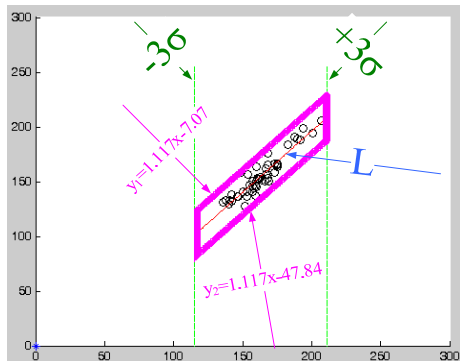


圖39 SPD_{12}

(五)手勢切割

當模擬完成手勢膚色空間後，即可使用該模擬空間(S)做為手勢判斷的依據。因此我們將圖8的手勢定位圖中的所有pixels皆判斷是否會符合該模擬空間中，判斷是否符合模擬膚色空間(S)的如(20)式，圖8的手勢定位後之手勢切割結果，如下圖14所示：

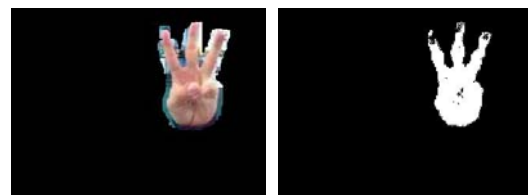
$$Segment = \begin{cases} 1 & , \text{ if } GL(x, y, z) = S \\ 0 & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (20)$$



圖41 手勢切割結果

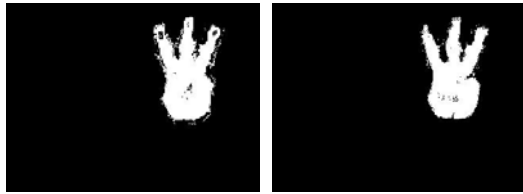
七、各項手勢切割比較

最後呈現手勢切割結果，並與NCC、YCbCr之膚色偵測結果比較其切割品質，由下圖42、43、44可以看到，手勢會因角度與光線的因素，產生膚色反光或陰影，造成手勢切割結果過度破碎。而我們所提出方法為適應性膚色切割，在手勢膚色取樣時已經取得膚色反光與陰影的情況，因此不會有手勢切割破碎以及複雜背景誤判之情形。



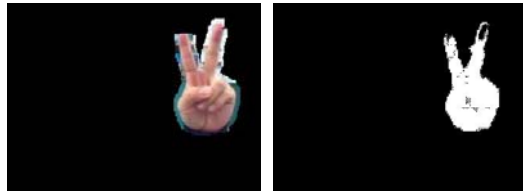
(a) 手勢定位

(b) YCbCr

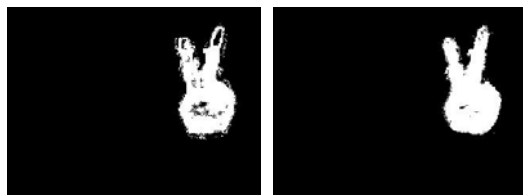


(c) NCC (d) 本論文方式

圖42 各項切割之比較(一)



(a) 手勢定位 (b) YCbCr



(c) NCC (d) 本論文方式

圖43 各項切割之比較(二)



(a) 手勢定位 (b) YCbCr



(c) NCC (d) 本論文方式

圖44 各項切割之比較(三)

八、結論

本論文結合了動態影像偵測與簡易的靜態膚色偵測技術得到『動態膚色』(Motion skin)區域，並藉由動態膚色區域定位出手勢區域與手勢膚色取樣。利用該膚色取樣並且搭配最小平方近似解(Least squares approximations solution)及高斯分佈模型，模擬出使用者每張frame之適應性手勢膚色

空間，利用該空間做為手勢切割的依據，以完成手勢切割，同時在操作手勢時，會因為光線而產生膚色反光與陰影的問題皆能獲得改善，而YCbCr與NCC色彩空間都無法改善膚色反光、陰影以及複雜背景的問題，因此本論文之手勢切割演算法為一新穎且效果不錯之演算法。

九、參考文獻

- [1] Quan Huynh-Thu; Meguro, M.; Kaneko, M., "Skin-color extraction in images with complex background and varying illumination," *Sixth IEEE Workshop on Applications of Computer Vision*, pp.280 – 285, 3-4 Dec. 2002
- [2] Moritz Storing, Hans J. Andersen, and Erik Granum, "Skin colour detection under changing lighting conditions," *7th symposium on Intelligent Robotics System*, Coimbra Portugal, 20-23 July 1999
- [3] Maricor Soriano, Birgitta Martinkauppi, Sami Huovinen, "Skin detection in video under changing illumination conditions," *International Conference on Pattern Recognition*, vol.1, pp:839 – 842, Sept. 2000
- [4] M Soriano, B Martinkauppi, S Huovinen, M Laaksonen, "Using the skin locus to cope with changing illumination conditions in color based face tracking," *Proc. IEEE Nordic Signal Processing Symposium(NORSIG)*, pp.383-386, June 2000
- [5] Junwei Han, G.M. Award, A. Sutherland, Hai Wu, "Automatic Skin Segmentation for Gesture Recognition Combining Region and Support Vector Machine Active Learning" *Automatic Face and Gesture Recognition*, pp.237 – 242, April 2006.
- [6] L. Gupta, S. Ma, "Gesture-based interaction and communication: automated classification of hand gesture contours," *Man and Cybernetics, Part C, IEEE Transactions on Systems*, vol.31, pp. 114-120, Feb. 2001
- [7] N Tanibata, N Shimada, Y Shirai, "Extraction of Hand Features for Recognition of Sign Language Words" *The 15th International Conference on Vision Interface*, May, 2002
- [8] Berbar, M.A.; Kelash, H.M.; Kandeel, A.A; "Faces and Facial Features Detection in Color Images" *Geometric Modeling and Imaging--New Trends*, pp.209 - 214, 05-06 July 2006