

從正面與側面兩張人臉影像重建三維頭部模型

The Reconstruction of 3D Head Model

From Two Orthogonal-View 2D Face Images

蘇明信(Ming-Shing Su)^{*,**} 陳俊諺(Chun-Yen Chen)^{*}
鄭國揚(Kuo-Young Cheng)^{*,**}

^{*}Institute of Information Science, Academia Sinica, Taiwan

^{**}Department of Computer Science and Information Engineering, National Taiwan University

E-mail: {simon, ccy, kycheng}@iis.sinica.edu.tw

摘要

從多張二維影像中重建三維臉部之模塑是電腦三維圖形的一個基本問題，也是研究三維臉部動畫的重要課題之一。本論文提出一個新的方法，只利用正面和側面的兩張二維人臉影像來建立屬於個人的三維頭部模型。首先，本方法先將臉部影像和頭髮影像分離，然後以電腦視覺和影像辨識的技術，自動/半自動地找出人臉特徵、臉形輪廓與髮形輪廓；其次，以體積曲規線內差的技巧，調整一被選用之通用三維臉部模型以吻合被模塑人臉的臉部特徵與臉形輪廓，並依據髮形輪廓，用曲線嵌合的技術來建構三維頭髮模型；最後，以多層次馬賽克貼圖技巧來產生平滑高解像度的人臉紋理對應。由實驗結果顯示，此方法可以成功地產生與被模塑人臉非常相像的三維頭部模型。

關鍵詞：臉形模塑(facial modeling), 髮形模塑(hair modeling), 體積曲規線內差(volume spline interpolation), 多層次馬賽克貼圖(multiresolution image mosaics), 紋理對應(texture mapping)

一、簡介

三維頭部模型之模塑在電腦圖學中是一個非常基本也是非常難的問題，過去二十年來，已發展出多種三維頭部模型模塑的技術。例如，利用三維雷射掃描器(3D laser scanner)來擷取模塑物體的三維座標並建構其三維模型[10]；或是以結構光相機(structured light camera)，在物體上產生固定樣式的條紋，再依據條紋的形狀來計算物體的三維位置與建構三維模型[13]；或是利用人臉影像序列(image sequences)來建構三維臉模型[5][12]。

其中有一種建構三維臉部的技巧是利用二張或多張的人臉影像來建構被模塑人臉的三維臉部模型[1][8][9][11]，這個方法是通常會先準備一個通用三維臉部模型，再根據從二維影像以互動、半自動或自動擷取到的人臉特徵點的位置來調整通用三維臉部模型的形狀。由於這種方法相對於一些主動擷取元件的技術，如三維雷射掃描器，是一個成本十分低廉的方法，而二維人臉影像的取得也十分容易從數位相機或數位攝影機來取得，因此這種方法十分實用也非常適合應用各種的用途上。

Kurihara 和 Arai [9]提出的方法是在正面和側面的人臉影像上以互動的方式選取特徵點，再由二張或多張影像上對應的特徵點二維位置決定出特徵點的三維位置，根據特徵點的三維位置與一個選定的通用三維臉部模型，以三角形內差的方法決定非特徵點的三維位置，然後依據這些三維位置調整通用三維臉部模型的形狀來產生特定人臉的三維模型。Lee 等人[11]則是用互動式的方式，決定特徵點的位置，然後以 Dirichlet Free Form Deformation(DFFD)來作三維人臉模型的調整與變形，他們也引用多層次馬賽克貼圖的觀念來產生人臉的紋理對應。Akimoto 等人[1]和 Ip 等人[8]分別提出以影像辨識的技術，自動地辨識人臉特徵的位置，來產生三維人臉模型。

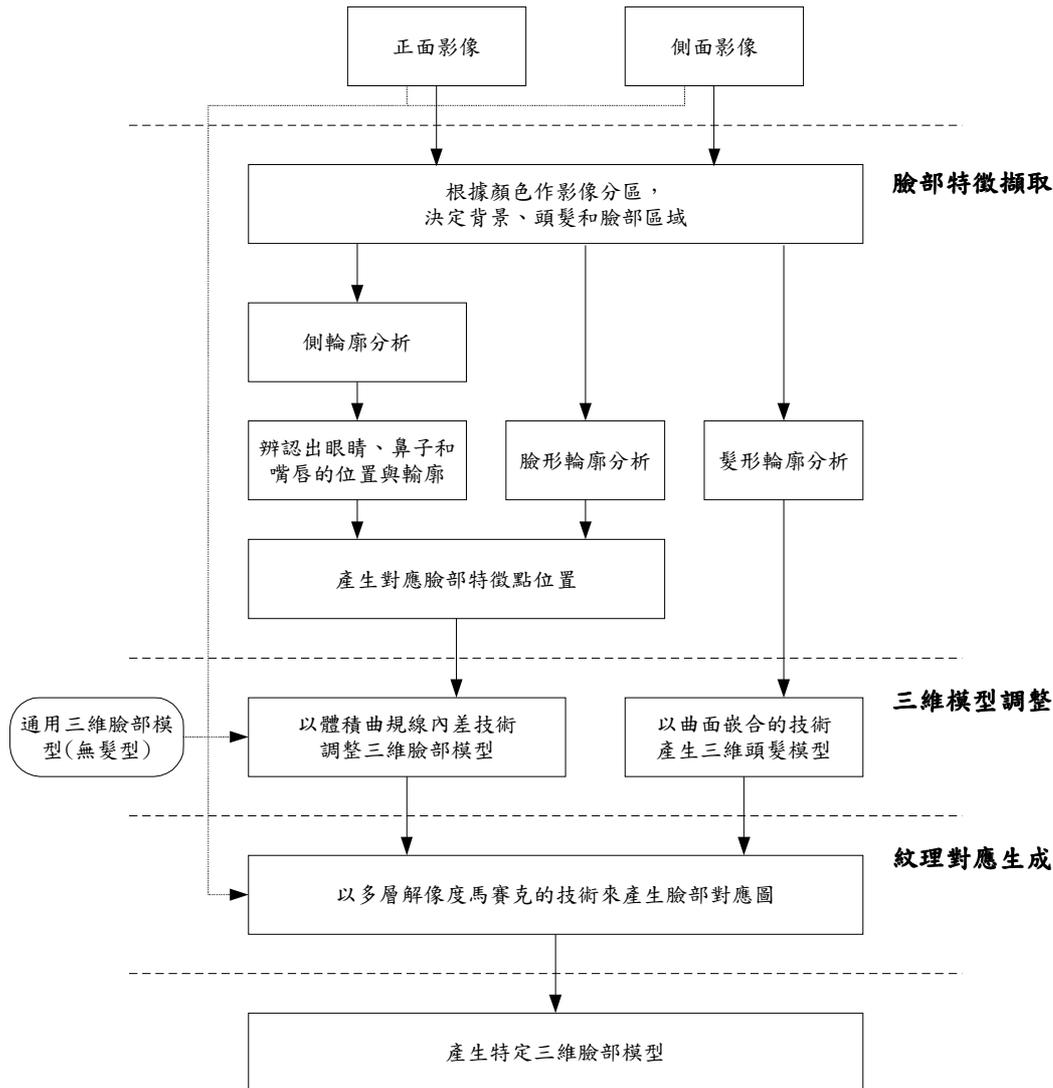
以上部分方法都有一些缺點，有些需要互動式的方法來決定特徵點的位置，有些沒有產生高解像度的人臉紋理對應。此外，以上所有方法都沒有處理被模塑人臉會有不同髮形的問題，這些方法通常在只有在模塑人臉的髮形是短髮時且與通用三維臉部模型的髮形相似時，才會有比較好的結果。

本論文提出一個新的方法，可以由正面和側面二張人臉影像自動/半自動地建構出三維人臉模型，並首先提出將臉形與髮形分開處

理的觀念，以體積曲規線內差的技巧來作三維臉形的調整與變形，用曲嵌合的技術來建構三維頭髮模型，我們也以多層次馬賽克貼圖技巧來產生平滑且高解像度的人臉紋理對應。整合這些方法，我們可以產生與原模塑人臉非常逼真的三維人臉模型。

我們將此論文內容分成以下數個章節，第二節我們介紹整個系統架構的概觀；第三節

說明如何從兩張人臉影像中，擷取臉部特徵、臉形輪廓、髮形輪廓等資訊；第四節討論如何調整臉部模型以吻合被模塑人臉的特徵與如何重建三維頭髮模型；第五節說明如何利用多層次馬賽克貼圖技巧來產生逼真的人臉紋理對應；實驗結果在第六節展示而最後在第七節做一個簡單的結論。



圖一 系統架構概觀

二、系統架構概觀

在這篇論文中，我們發展一個只用正面和側面兩張二維人臉影像，就可以自動/半自動地快速建構三維人臉模型的模塑方法。圖一表示我們的系統架構的方塊圖，主要分為「臉

部特徵擷取」、「三維模型調整」與「紋理對應生成」三個主要部分。

「臉部特徵擷取」部分是以電腦視覺和影像辨識的技術，擷取出人臉特徵、臉形輪廓與髮形輪廓。我們先將臉部影像和頭髮影像分

離，並充份利用正面和側面兩張人臉影像的優勢，先分析臉部側輪廓的曲線來找出眼窩、鼻尖和嘴唇的相關位置，再根據側輪廓臉部特徵位置，進一步找出的正面影像臉部特徵的位置與形狀，此外，我們也根據臉部和頭髮分離的影像，找出臉形輪廓與髮形輪廓。

在「三維模型調整」部分，因為每一個人的髮形的差異可能十分的大，但臉形的部分卻有相當的共同性，所以我們使用頭髮與臉部區域分離處理的原則。在臉形部份，雖然臉部結構十分複雜，但由於每個人的臉型的共通性十分的高，因此，我們先準備一個的通用三維臉部模型，再調整此通用三維臉部模型以吻合被模塑人臉的臉部特徵與臉形輪廓。此通用三維模型除了包含一般人臉形狀，還有包括眼球、牙齒和舌頭等細部的臉部結構和控制臉部表情生成的結構資料[16]。由於我們頭髮要另外處理，我們的通用三維模型並不包括頭髮的部分。

之前研究的三維臉部模塑系統在處理頭髮的模塑上，仍多是用與臉形相同的變形技術(morphing)，或是將頭髮當作是臉形的一部份，若是被模塑的髮形與三維通用模型差異太大，常常會生成不理想的三維臉部模型。為克服這個問題，我們發展一個新的技術，根據二維的髮型輪廓，以曲面嵌合的技術來產生與被模塑髮形十分相像的三維頭髮模型。

為了產生逼真的三維臉部模型，我們在「紋理對應生成」的部分，利用正面和側面人臉影像來產生人臉紋理對應，由於正面和側面影像在擷取時經常會有亮度上的差異，若是直接接合則在接合處會產生明顯的接縫。因此，我們利用多層解像度馬賽克技術[2][17]來結合正面和側面人臉影像以產生平滑高解像度之人臉紋理對應。

三、臉部特徵擷取

「臉部特徵擷取」部分是以電腦視覺和影像辨識的技術，擷取出人臉特徵、臉形輪廓與髮形輪廓。我們利用電腦視覺與影像分析的技術，可以自動擷取出這些臉部特徵，但若是擷取的結果不理想或是想要更精準的設定，我們系統也提供互動式的工具，讓使用者可以用互動式的方式來指定臉部特徵的位置與形狀。

3.1 二維臉部影像擷取與區域分離

我們利用一般的數位相機來擷取正面和側面的臉部影像，在擷取影像時，我們要求被擷取人的臉部為無表情，並不要戴眼鏡或其他會遮掩臉部的飾物而影響到之後的分析工作。為了以後分析的方便，我們在擷取正面和

側面影像時，保持頭部與相機鏡頭的距離一致，如此擷取出來的正面和側面影像的頭部大小會一致，且特徵區域(如眼睛、鼻子和嘴唇)的相對高度也會一致。

為了分析方便，人臉影像背景是簡單的藍色畫面，由於人臉的部分幾乎沒有藍色的區域，我們可以很容易在HUV的顏色空間(color space)，利用每個圖素(pixel)的色調資訊(chromatic key)的差異，立刻將背景和頭部區域分離[15]。此外，頭髮的顏色相對於膚色在亮度上是會較深的，因此我們可以利用每個圖素(pixel)的亮度資訊(luminance)將位於頭部上方的深色區域分離出來，視作頭髮的區域。圖二為我們分離出來的結果，其中的白色線條為我們分離出來的臉部與頭髮區域的邊界。



圖二、臉部區域的分區結果

3.2 臉部側輪廓的分析

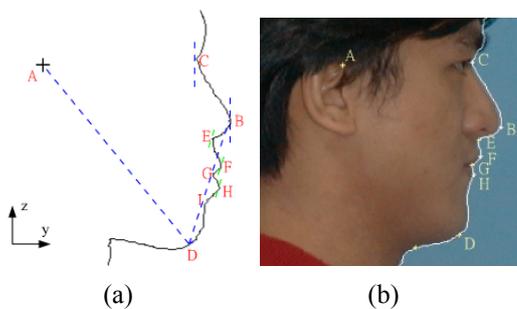
臉部的側輪廓(facial profile)包含許多有用的臉部特徵資訊，在我們系統中，因為我們可以利用顏色上的區別，區分側面影像的臉部膚色和藍色背景區域與他們之間的邊界，而很容易地得到臉部的側輪廓線，因此，我們可先由分析臉部的側輪廓線來知道臉部特徵的垂直位置。

目前已有許多分析臉部側輪廓的方法，例如，Harmon 等人[7]，利用統計的方法，找出各個特徵點的相對幾何關係，利用這些幾何關係，設計出一個自動的機制來找出這些特徵點的相對位置。Akimoto 等人[1]則是利用樣板比對(template matching)的方法來自動找臉部側輪廓的特徵點位置，他們先準備了一個正常人的側輪廓樣板(template)，再利用動態程式規劃(dynamic programming)的技巧來找出輸入側輪廓線與樣板側輪廓的最佳對應關係，再由此對應關係得知各個特徵點的位置。Ip 和 Yin [8]則是利用求取局部極大曲率(local maximum curvature)來取得臉部側輪廓的特徵點位置，根據他們的假設，臉部側輪廓的特徵點位置會落在這些局部極大曲率的位置上。

根據我們的研究，在側面部影像解像度清晰的情況下，這些方法都可以產生不錯的辨識結果，在我們的系統中，我們根據 Harmon 等人方法的精神，作了一些修改以符合我們系統的需求，我們將我們用到的臉部的側輪廓分析方法描述如下：

1. 為了討論方便，我們定義側面影像的座標系如圖三(a)，面部正前方為 y 軸方向，上方為 z 軸方向，並找出頭部區域(同時包括臉部和頭髮的區域)的中心位置 A。
2. 在中心位置 A 的下方附近，在臉部的側輪廓線上有最大 y 值的點為鼻尖，如 B。
3. 在鼻尖 B 上方，在臉部的側輪廓線上有極小 y 值的點為眼窩，如 C。
4. 在鼻尖 B 下方，在臉部的側輪廓線上與中心點 A 有極大的距離的點為下巴，如 D。
5. 連結 DB 線段，並求出點 D 和點 B 之間的輪廓線上的所有點與 DB 線段之間有號距離，其中與我們取與 y 軸同向的距離方向為正，根據我們這些有號距離，我們可以找出兩個相對極大值 F, H 和三個相對極小值 E, G, I。其中 F, H 為嘴唇的上下緣，E 為鼻中，G 為嘴唇中線，I 為下嘴唇與下巴之間的內凹點。

圖三(b)為我們利用此演算法所找到的特徵點位置。



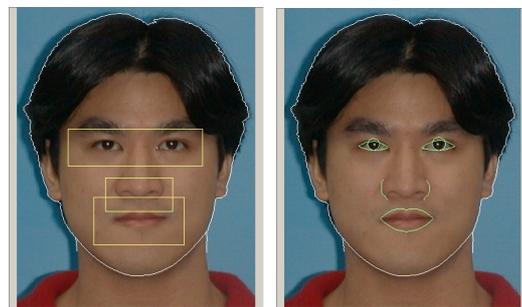
圖三、臉面部輪廓線的分析

3.3 臉面部正面特徵的分析

Goldstien 等人[6]與 Chen 和 Huang [3]都有研究如何從正面臉面部影像擷取臉面部特徵的外形。Chen 和 Huang 主要是利用樣版比對(template matching)和主動輪廓模型(active contour model / snake)的方法，來尋找正面眼睛、鼻子與嘴唇的形狀。在 Chen 和 Huang 的研究中，認為眼睛和嘴唇的形狀比較規則，可以用少數個參數表示的樣版來描述，並根據眼睛和嘴唇的影像特性，定義各別的比對能量函數，當比對能量函數愈低時，表示樣版與影像

特徵愈吻合，然後嘗試在正面影像中尋找最符合的樣版參數或是最低的比對能量函數值，並由比對得到的樣版參數得到眼睛和嘴唇的形狀；而鼻子的形狀較不規則，無法決定有效的樣版函數，他們採用主動輪廓模型的技術來決定。

在我們的系統中，我們採用 Chen 和 Huang 的分析技術，但由於我們可以用臉面部的側輪廓的分析所得到的眼睛、鼻子和嘴唇的垂直位置，我們可以縮小搜尋的區域，而可以得到更快速且更強健的辨識結果，如圖四(a)中，三個矩形分別表示根據臉面部的側輪廓的分析的結果所決定出的眼睛、鼻子和嘴唇的搜尋區域，圖四(b)為自動辨識後的結果。



(a) (b)

圖四、臉面部正面特徵輪廓的分析

3.4 臉面部輪廓的分析

頭部的輪廓包括了臉面部輪廓和髮形輪廓，臉面部輪廓的下半區域通常是可見的，但上半區域則通常會被頭髮所遮蔽，在之前的臉面部模型系統[1][8] [9] [11]，他們將髮形輪廓當作上半區域的臉面部輪廓，因此，他們需要要求被模型人臉的髮形為短髮，這樣，以髮形輪廓來取代臉面部輪廓才不會有太大的誤差。若是擷取的人臉影像頭髮較為膨鬆或是長髮，則會因臉面部誤差太大而造成三維頭部模型模型時的臉面部扭曲。

為了避免因為頭髮的差異而造成臉面部輪廓的誤差，我們希望找到的是沒有頭髮時的臉面部輪廓，也就是光頭時的臉面部輪廓，雖然臉面部的上半區域會被頭髮所遮蔽，但大部份人上半區域的臉面部都十分近似一個半橢圓形狀，因此我們可以根據人臉的下半臉面部，以一個類似半橢圓的形狀來估測上半臉面部。圖五為估測的結果，其中圖中的白點為上半臉面部的曲線控制點，若是估測的臉面部輪廓不是很理想，使用者也可以用互動式的方法，以拖拉這些控制點來指定上半部臉面部的輪廓形狀。

P^f 的 x_f 和 y_f 決定 M 的 x, y 座標，由 P^s 的 y_s 和 z_s 決定 M 的 y, z 座標，由於分別從正面特徵和側面特徵所決定的 y_f 和 y_s 並不一定一樣，我們取他們之間的平均值作為最後的 y 值，所以三維臉部模型頂點 M 的座標可用下式決定：

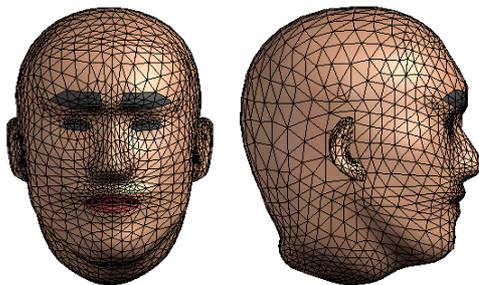
$$\begin{cases} x = x_f \\ y = (y_f + y_s) / 2 \\ z = z_s \end{cases}$$

圖八是根據圖七中的臉部特徵點位置，調整後三維臉部模型。



(a) (b)

圖七、臉部影像的特徵點座標



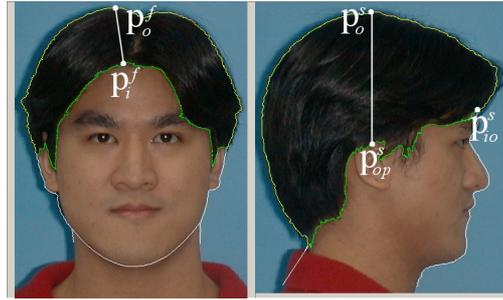
(a) (b)

圖八、調整後的三維臉部模型

4.2 三維頭髮模型之模塑

由於人們的髮型有很大的差異，像是頭髮分邊位置、長短、造型等，都隨著不同的人而有極大變化。使用通用模型加上模塑變形技巧的方法勢必很難調整出符合各種不同髮型的三維模型。且一般而言，僅有兩張頭部正面及側面影像並無法提供足夠的資訊來建立三維模型，尤其是頭髮區域的顏色幾乎完全相同，不能作為提供對應特徵點的資訊。在 3.1 節中利用顏色亮度差異可以擷取出頭髮的輪廓，因此這裡利用所擷取的頭髮輪廓線發展了

以曲面嵌合為基礎的三維髮型模塑技術。



圖九、髮型輪廓區域定義點

如圖九，以正面影像而言，這裡將頭髮與背景間的輪廓線 L_o^f 視為外輪廓，而頭髮與臉部間的輪廓線 L_i^f 視為內輪廓。同樣的側面影像也可以找到髮型的內外輪廓線分別為 L_i^s 與 L_o^s 。若 $p_i^f \in L_i^f$ 與 $p_o^f \in L_o^f$ 分別為正面影像髮型內外輪廓線上 y 方向的最高點； $p_o^s \in L_o^s$ 為側面影像髮型外輪廓線在 y 方向的最高點，這裡我們假設 p_o^f 與 p_o^s 為一個三維空間座標分別投影在正面與側面影像的投影點，則利用 p_o^f 和 p_i^f 在 y 方向上的關係及 p_o^f 、 p_o^s 為對應點的條件，可以很容易的找出 p_i^f 在側面髮型輪廓線上的對應點 p_i^s 。利用 y 座標對應的同樣方式將 p_o^s 、 p_i^s 之間的輪廓曲線對應到由 p_o^f 、 p_i^f 組成的線段上，則可以由這些三維對應點建構出一條三維髮型特徵曲線 C_T^f 。

完成第一條特徵曲線後，將正面髮型輪廓線以線段 $\overline{p_o^f p_i^f}$ 區分為左右兩個區域，同時也將側面髮型輪廓線以線段 $\overline{p_o^s p_{op}^s}$ 區分為前後兩區域，其中 p_{op}^s 為 p_o^s 在 L_i^s 上 y 方向的投影點。將正面右邊區域的外輪廓線 L_{oR}^f 與側面影像上 $\overline{p_o^s p_{op}^s}$ 線段做 y 座標的對應，則我們得到另一條三維髮型特徵曲線 C_{RC}^f 。

若 p_{io}^s 為側面前部區域髮型內外輪廓線 L_{iF}^s 與 L_{oF}^s 的交接點，則利用 y 座標對應關係可以在正面右邊區域的內輪廓線 L_{iR}^f 上找到一對應點 p_i^f 。將 p_i^f 與 p_i^s 之間的髮型輪廓線以

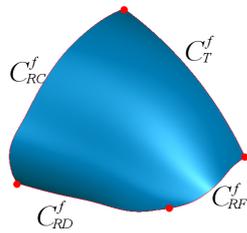
前述的 y 座標對應法對應到 L_{iF}^s 和 L_{oF}^s 上，則可以建構出另一條特徵曲線 C_{RF}^f 。利用前述的座標對應法將輪廓線 L_{iF}^s 和 L_{iR}^f 完成座標對應並建立三維曲線 C_{RD}^f 。此時我們得到了四條形成封閉路徑的三維曲線。

接著使用四條曲線 C_T^f 、 C_{RC}^f 、 C_{RF}^f 、 C_{RD}^f 做雙線性內差建立 Coon's 曲面[4]，曲面方程式如下所示：

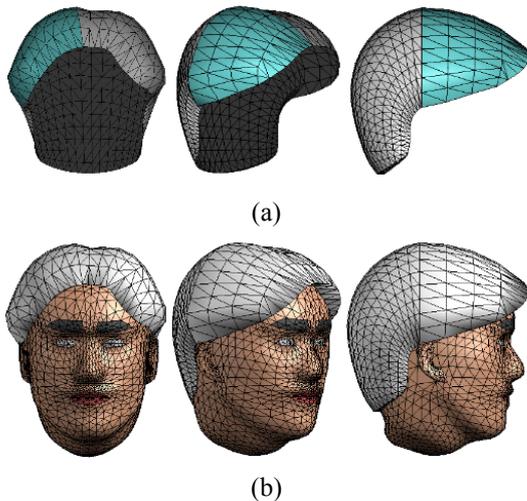
$$H(u, v) = [1-u \quad u] \begin{bmatrix} B_2(v) \\ B_4(v) \end{bmatrix} + [B_1(u) \quad B_3(u)] \begin{bmatrix} 1-v \\ v \end{bmatrix} - [1-u \quad u] \begin{bmatrix} P_{10} & P_{40} \\ P_{20} & P_{30} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1-v \\ v \end{bmatrix}$$

這裡的 P_{10} 、 P_{20} 、 P_{30} 、 P_{40} 分別為曲面的四個頂點，也就是四條特徵曲線的交點。 $B_1(u)$ 、 $B_2(v)$ 、 $B_3(u)$ 、 $B_4(v)$ 分別為四個片段連續之三次邊界曲線，即 C_T^f 、 C_{RC}^f 、 C_{RD}^f 和 C_{RF}^f 。

同樣的，其餘髮型區域曲面都可依上述的方式建構。在完成四個髮型區域曲面後，即可得到一個完整的三維頭髮模型。



圖十、區域髮型之三維輪廓曲線及嵌合曲面



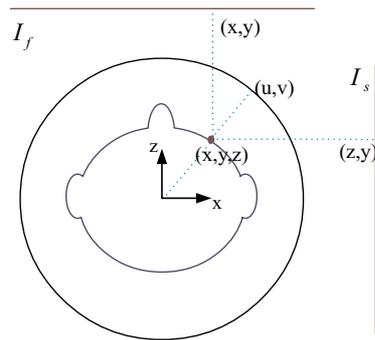
圖十一、完成模型的頭髮模型。(a)髮形部分，(b)髮形+頭形

圖十為根據頭髮右前方區域的四條邊界曲線所建立的 Coon's 曲面，圖十一為所建立的三維頭髮模型，其中青色部分(或是深色部分)對應頭髮右前方區域。

五、臉部紋理對應

利用紋理對應(texture mapping)的技術，我們可產生像真臉一樣逼真的三維臉部模型。在紋理對應的技術，包含兩個基本的要素，一個是紋理對應座標(texture coordinate)，另一個是紋理對應圖(texture map)。紋理對應座標是描述三維臉部模型曲面與二維紋理對應圖的對應關係，通常是以座標(u,v)來表示(如圖十二)。由於人臉近似一個橢圓幾何結構，我們可以用橢圓座標來表示他的紋理對應座標，也就是三維模型上的一個點(x, y, z)與紋理對應座標(u,v)之間有這樣的對應關係：

$$\begin{cases} u = \tan^{-1}(z/x) \\ v = y \end{cases}$$



圖十二、臉部紋理對應座標

紋理對應圖是表示紋理對應座標(u,v)所對應的圖素值。為了要從正面和側面兩張影像產生人臉紋理對應圖，我們先將正面影像 I_f 和側面影像 I_s 投射至三維的人臉模型再映射至圓柱的紋理對應座標。為了將正面和側面影像所產生的紋理對應圖混合以產生一張平滑的全域紋理對圖，我們使用了多層解像度馬賽克貼圖(multi-resolution image mosaics)技術[2][17]，此技術可以結合二張或多張影像，不但可以有效保存原有影像的解像度並可以移除各影像間因不亮度不連續所產生的明顯接縫問題。

多層解像度馬賽克貼圖方法有三個主要步驟，分解(decomposition)、混合(blending)和重建(reconstruction)。首先，將原要接合影像以多層解像度分解元(multi-resolution decompositor)將各輸入影像分解在各個解像

度的次影像(sub-image)；其次，在每個解像度中，將各個次影像依所給與的權重混合成一張全域次影像；最後，將每一個解像度的全域次影像加總起來成為最後的全域影像。

多層解像度分解元通常是一個帶狀頻寬的濾波器，如 Laplacian 金字塔濾波器 (Laplacian pyramid filter) 或是小波濾波器 (wavelet filter)。例如，根據小波理論，我們可以用下面式子將一個影像 $I(x, y)$ 分解成各個解像度的次影像 $I_j(x, y)$ ：

$$I_j(x, y) = \begin{cases} \sum_{k,m} \langle I(x, y), \tilde{\Phi}_{N;k,m}(x, y) \rangle \Phi_{N;k,m}(x, y) & j=0 \\ \begin{cases} \langle I(x, y), \tilde{\Psi}_{N;k,m}^H(x, y) \rangle \Psi_{N;k,m}^H(x, y)(x, y) + \\ \sum_{k,m} \langle I(x, y), \tilde{\Psi}_{N;k,m}^V(x, y) \rangle \Psi_{N;k,m}^V(x, y)(x, y) + \\ \langle I(x, y), \tilde{\Psi}_{N;k,m}^D(x, y) \rangle \Psi_{N;k,m}^D(x, y)(x, y) \end{cases} & j=1 \dots N \end{cases}$$

其中

$$\langle f(x, y), \tilde{\Phi}_{N;k,m}(x, y) \rangle = \iint f(x, y) \overline{\tilde{\Phi}_{N;k,m}(x, y)} dx dy$$

$$\langle f(x, y), \tilde{\Psi}_{N;k,m}^p(x, y) \rangle = \iint f(x, y) \overline{\tilde{\Psi}_{N;k,m}^p(x, y)} dx dy$$

和 $p \in \{H, V, D\}$ ； $\Phi_{N;k,m}(x, y)$ 和 $\tilde{\Phi}_{N;k,m}(x, y)$ 為二維雙正交 (biorthogonal) 的 scaling 基底函數 (scaling basis function)， $\Psi_{N;k,m}^p(x, y)$ and $\tilde{\Psi}_{N;k,m}^p(x, y)$ 為二維雙正交的小波基底函數 (wavelet basis function)。

然後，在每個解像度中我們用一個權重函數 (weighting function) 將各個次影像依所給與的權重混合成一張全域次影像，如下式：

$$I_j(x, y) = w_j(x, y) I_{f_j}(x, y) + (1 - w_j(x, y)) I_{s_j}(x, y)$$

其中 $I_{f_j}(x, y)$ 和 $I_{s_j}(x, y)$ 分別為正面影像 I_f 和側面影像 I_s 在解像度 j 的次影像， $w_j(x, y)$ 為解像度 j 的權重函數，與模型上每個點的位置可信度 (positional certainty) 有關，當點落在正面時，如鼻尖的點， $w_j(x, y) \rightarrow 1$ ；反之，點落在側面時，如耳朵的點， $w_j(x, y) \rightarrow 0$ ；中間的重疊地帶，是使用一個平滑曲規線 (spline) 函數來混合，其混合的有效寬度則是與在此解像度的小波基底函數的支撐 (support) 寬度成正比。

最後，我們用下式將每個解像度混合後的次影像加總幾來，就得到我們最後的紋理對應圖 $I(x, y)$ 。

$$I(x, y) = \sum_{j=0}^N I_j(x, y)$$

圖十三(a)為未使用多層解像度馬賽克貼圖技術的結果，而圖十三(b)為使用多層解像度馬賽克貼圖技術的結果，由結果顯示，馬賽克貼圖技術可以有效消除圖與圖之間的接縫且仍保持與原圖相當的解像度。



(a)



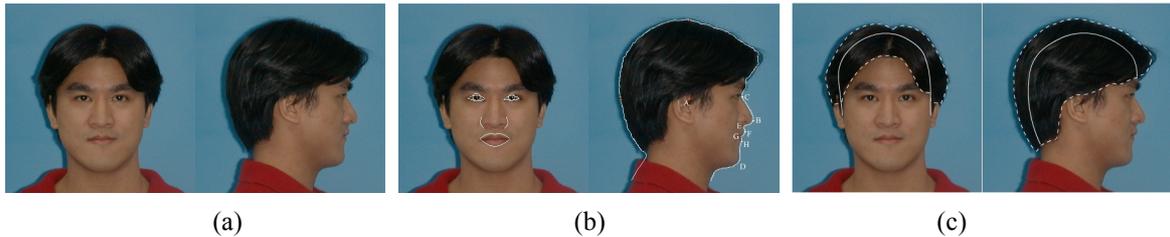
(b)

圖十三、臉部紋理對應圖。(a)未使用多層解像度馬賽克貼圖技術，(b)使用多層解像度馬賽克貼圖技術

六、實驗結果

根據正面和側面兩張二維人臉影像，經過臉部特徵擷取、三維臉部調整、三維頭髮重建和臉部紋理對應生成，我們得到一個模塑後的三維頭部模型。其中圖十四(a)、十六(a)是輸入的正面和側面人臉影像，圖十四(b)、十六(b)是根據第3節的演算法，自動擷取出來的人臉特徵，圖十四(c)、十六(c)是以自動/半自動設定的臉形與髮形，其中白色虛線部分是我們設定的髮形，白色實線部分是設定上半部被頭髮遮掩的臉形。圖十五、十七是根據圖十四、十六所模塑出來的三維頭部模型。

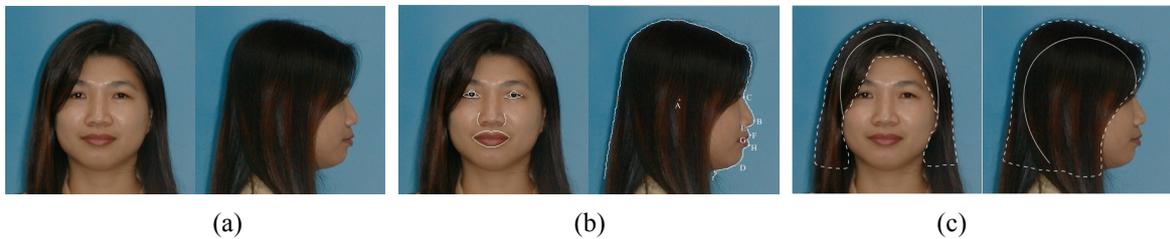
請注意由於我們將髮形與頭形分離處理，因此無論是長髮或短髮，我們的臉形與五官型狀並不會受到影響，仍然會與原影像十分相像，而且利用曲面嵌合技術來重建三維頭髮模型，可以看到模塑出來的三維髮形與原髮形十分相合。根據我們的實驗，本系統可以處理絕大部頭髮長度在肩部以上的髮形模塑，若是頭髮太長，以人工的方式作適當的修剪與設定，也可以產生非常好的結果。



圖十四、(a)二維人臉影像，(b)自動辨認出人臉特徵，及(c)以半自動地編修的髮形與頭形上半部。



圖十五、三維頭部模塑的結果



圖十六、(a)二維人臉影像，(b)自動辨認出人臉特徵，及(c)以半自動地編修的髮形與頭形上半部。



圖十七、三維頭部模塑的結果

七、結論

在這篇論文中，我們整合電腦視覺、圖形辨識、電腦圖學與影像分析與合成等多項技術來重建特定人臉的三維頭部模型。我們先利用電腦視覺、圖形辨識的技術，可以穩健的擷取臉部的特徵資訊，並首先提出將髮形與臉形分離處理的觀念，以一個通用模型與體積曲規線內差的技巧來處理臉部的三維模塑，利用 Coon's 曲面嵌合的技術來重建髮形的部分，最後利用多層解像度馬賽克貼圖技術來處理紋理對應。

由結果顯示，我們的系統可以成功地只利用正面和側面兩張人臉影像重建出一個與幾乎和真人一樣逼真的三維頭部模型，而且重建的三維頭部模型並不限定性別、種族與髮形。

參考文獻

- [1] T. Akimoto, Y. Suenaga and R.S. Wallace, "Automatic creation of 3D facial models," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 13(5):16-22, 1993.
- [2] P.J. Burt and E.H. Adelson, "A multiresolution spline with application to image mosaics," *ACM Transactions on Graphics*, 2:217-236, 1983.
- [3] C.W. Chen and C.L. Huang, "Human face recognition from a single front view," *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 6(4):571-593, 1992.
- [4] G. Farin. *Curves and Surface for Computer Aided Geometric Design - A Practical Guide*. Academia Press, Inc., San Diego, CA, 1988.
- [5] P. Fua, "Face models from uncalibrated video sequences," CAPTECH'98 Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) 1537, 214-228,

- 1998.
- [6] A.J. Goldstein, L.D. Harmon, and A.B. Lesk, "Identification of human faces," *Proceedings of the IEEE*, 59:548-760, 1971.
- [7] L.D. Harmon, M.K. Khan, R. Lasch and P.F. Ramig, "Machine identification of human faces," *Pattern Recognition*, 13(2):97-110, 1981.
- [8] H.H.S. Ip and L. Yin, "Constructing a 3D individualized head model from two orthogonal views," *The Visual Computer*, 12:254-266, 1996.
- [9] T. Kurihara and K. Arai, "A Transformation Method for Modeling and Animation of the Human Face from Photographs," *Computer Animation '91*, Springer-Verlag, 45-58, 1991.
- [10] Y. Lee, D. Terzopoulos, and K. Waters, "Realistic modeling for facial animation," *Computer Graphics*, 29(4):55-62, 1995.
- [11] W.S. Lee and N.M. Thalmann, "Head modeling from pictures and morphing in 3d with image metamorphosis based on triangulation," *CAPTECH'98 Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI) 1537*, 242-253, 1998.
- [12] Z. Liu, Z. Zhang, C. Jacobs and M. Cohen, "Rapid Modeling of Animated Faces From Video," *Proceedings of ACM International Conference on Multimedia '00*, 475 - 476, 2000.
- [13] P. Marc, V.G. Luc, "Reading between the lines - a method for extracting dynamic 3D with texture", *Symposium on Virtual Reality Software and Technology'97*, 95-102, 1997.
- [14] G.M. Nielson, "Scattered data modeling," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 13(1): 60-70, 1993.
- [15] S.C. Pei and C.L. Tseng, "Face detection for different chromatic illuminations," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing (CVGIP) 2001, Taiwan*, 58-58, 2001.
- [16] Ming Shing Su, Ming Tat Ko and K. Y. Cheng, "Control of Feature-Point-Driven Facial Animation Using a Hypothetical Face," will appear in *Computer Graphics Forum*, 2001.
- [17] Ming Shing Su, W.L. Hwang and K. Y. Cheng, "A variational calculus approach to multiresolution image mosaic," will appear in *International Conference on Image Processing 2001*, 2001.