

以臉部特徵為基礎之誇張肖像畫產生系統

江佩穎
國立政治大學資訊科學系
g9129@cs.nccu.edu.tw

李蔡彥
國立政治大學資訊科學系
li@cs.nccu.edu.tw

廖文宏
國立政治大學資訊科學系
whliao@cs.nccu.edu.tw

摘要

以往有關於非寫實的(Non-Photorealistic)人臉影像處理系統，通常都只侷限於以影像為基礎(Image-based)的處理方式，將人像轉換成特定風格的圖像；例如，將人像照片轉換成油畫或鉛筆素描風格的肖像畫。對於採用以特徵為基礎(Feature-based)的方式，保留並誇飾臉部五官的特質，進而自動轉換成卡通肖像畫的應用，一直尚未有令人滿意的處理方法。在這篇論文裡，我們設計了一套創新的誇張肖像畫系統(Caricature Generation)，只需要少量的計算時間及單張的畫家作品即可自動繪製出極具有該畫家風格的誇張化卡通肖像畫。本系統參考 MPEG-4 的規格，訂出 119 個符合本系統需求的臉部特徵點 (facial feature Points)，以及由所有特徵點所構成的 8 個群組(family)，並採用 Graph 的觀念，建構所有特徵點及群組之間的關係。另外，在分析比對人臉特徵的過程方面，我們解決了過去繁瑣且無條理的特徵誇張化定義過程，改以群組做為分析比對以及誇張化的基本單位。只需套用統一的演算法即可找出模特兒臉上不同部位的代表性特徵，繼而調配出誇張化的臉部輪廓。最後，也只需利用單張畫家作品套上調配完成的誇張化臉部輪廓，即可繪製出極具模特兒神韻的趣味肖像畫。

關鍵字：人臉特徵、誇張肖像、影像處理、人臉動畫

1. 簡介

在著名的觀光勝地、遊樂區，經常都可以看到街頭藝術家拿著簡單的繪畫工具，替遊客繪製肖像畫(如圖 1)；這些肖像畫當中，除了近似真實照片的傳統肖像畫之外，還有一種更吸引人的藝術就是帶有諷刺性的趣味肖像畫。這些藝術家總是可以利用簡單的輪廓線條以及單純的色彩，不用真實的描繪原來的長相，也能表達出模特兒的神韻。

Akleman[4]、Redman[7]和 Hughes[3]以肖像畫家的自身經驗教導人們如何繪製誇張肖像畫，說明畫家如何抓出模特兒的特徵並加以誇大。近年來，科學家嘗試利用電腦取代各項



圖 1. 由畫家繪製之誇張肖像畫。節錄自[3]

人工，就連藝術工作也不例外。有些研究提出以影像為基礎的處理方法，讓電腦模擬油畫或鉛筆素描的筆觸，將真實影像繪製成油畫或素描畫，例如 Hertzmann[2]。但是這類作法無法針對個人特質保留或誇飾臉部五官等重要特徵，且影像往往過於真實，無法達到卡通化的效果。因此，為了能完成自動誇張肖像畫產生系統，有不少研究提出了以特徵為基礎的影像處理方法，希望能夠分別誇飾並繪製臉部特徵輪廓。其中，最早致力於此研究的是 Brennan [8]，她在 1982 提出了一套以互動方式產生誇張肖像畫的系統。Murakami[5]提出以模版為基礎的誇張肖像畫系統 PICASSO，依臉部特徵輪廓繪製成肖像畫，但筆調生硬不自然，結果無法令人滿意。Yang[1]藉由簡化臉部輪廓在資料庫中選擇臉型相近的卡通圖像，組合而成卡通臉譜，但需事先定義分類出繁多的分類形狀以及配合大量的圖庫資料。Lin [6] 提出以範例為基礎(Example-based)的處理方法，讓電腦從大量的訓練資料(Training Data)中學習畫家的作畫風格及誇張特徵的技巧；雖然結果頗佳，但繪製時間過長，而且每學習一種畫家風格就需要由一位畫家繪製大量的訓練資料，費工又費時。此外，這些誇張肖像畫產生系統，為了找出誇張化的類型，往往必須先經過複雜繁瑣且沒有系統的定義過程，對於不同的特徵必需定出不同的特徵比對方法；例如，眼睛大或小、眼尾上揚或下垂、眼睛呈倒三角形或圓形，這些雖然同是構成眼睛輪廓的條件，卻必須被分開定義成不同的誇張型態和不統一的誇張方法，以致系統結構混亂且不完整。

因此，我們設計了一套創新的誇張肖像

表 1. 各群組的編號及其階級關係

群組 ID	1	2	3	4	5	6	7	8
特徵區塊	臉型	左眼	右眼	鼻子	左眉	右眉	上唇	下唇
階級	1	2	2	2	3	3	3	3

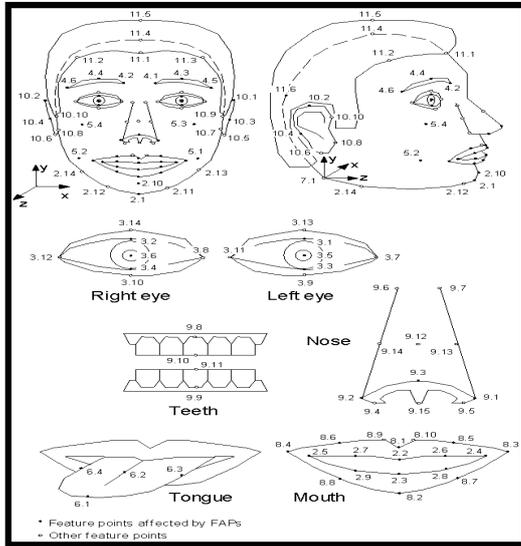


圖 2. MPEG4 針對臉部定義參數

畫系統，能夠以統一且簡單的演算法找出臉部特徵輪廓上的各種誇張化類型，且不需大量的訓練資料即可繪製出具有畫家風格的卡通肖像畫。首先，我們參考並修改了 MPEG-4 的臉部定義參數 (Face Definition Parameters, FDP) 和臉部動畫參數 (Face Animation Parameters, FAP)，訂出 119 個符合本系統需求的臉部特徵點 (Facial Feature Points)，並採用 Graph 的觀念，建構所有特徵點的關係。我們將所有特徵點分為 8 個主要的群組，再進一步訂定群組之間的階級高低，以及各特徵點的不同屬性。目前我們以亞洲人種做為實驗的對象，依性別統計亞洲人臉特徵的各項平均值，以做為輪廓比對時的依據。在分析比對人臉特徵的過程中，我們用群組做為分析比對以及誇張化的基本單位，調配出誇張化的臉部輪廓。利用這種創新的群組定義方式，我們只需統一且簡單的演算法即可找出不同群組需誇張的部位，免去過去作法的繁瑣定義過程。最後，我們的資料庫僅需要搜集單張畫家作品，將畫中人物從原有的輪廓變形至先前調配完成的誇張化臉部輪廓，即可繪製出極具模特兒神韻的趣味誇張肖像畫。

2. 臉部特徵擷取

2.1. 臉部特徵點的定義

為控制臉部特徵的外形，我們參考

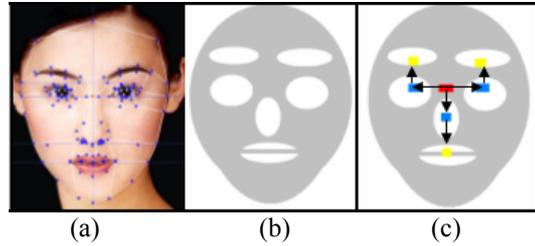


圖 3. (a).119 個臉部特徵點構成的臉網 (b) 所有特徵點被分為 8 個群組 (c) 群組之間的階層關係，以臉型群組為最高階級，以紅色中心點表示。第二階級的群組以藍色點表示。第三階級則以黃色點表示。

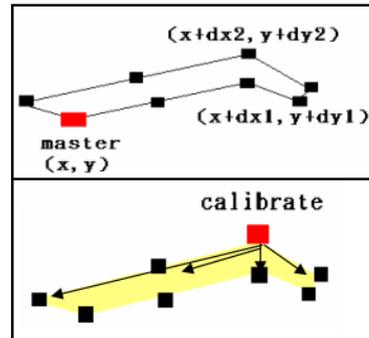


圖 4. (a) 挑選眉頭做為領導點，用來決定群組 6 在臉上放置的位置 (b) 挑選眉峰做為 calibrate node，用來調整群組 6 的形狀

MPEG-4 針對臉部製訂的臉部定義參數和臉部動畫參數的規格 (如圖 2)，修訂出符合本系統需求的 119 個臉部特徵點連接成臉部網膜 (Face Mesh) (如圖 3(a))，所有特徵點依位置關係被分成 8 個群組，分別是臉型、左眉、右眉、左眼、右眼、鼻子、上唇及下唇 (如圖 3(b))，某些結構較複雜的群組又再細分成幾個次群組 (sub-family)。此外，我們採用 Graph 的觀念，將所有臉部特徵點視為一個有階級制度的節點排列。並製訂各特徵點的屬性 (Attribute) 及群組之間的階層關係 (如圖 3(c) 及表 1)。

每個群組內包含的特徵點依屬性分成三類，分別是主導點 (master node)、校正點 (calibration node) 及從屬點 (slave node)：

- I. **主導點**：每個群組內只訂有一個特徵點是主導點，負責此群組的定位工作 (如圖 4(a))；各群組內的特徵點會把各自的主導

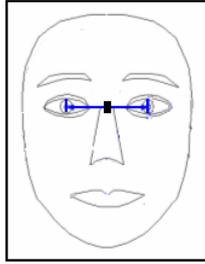


圖 5. 測量基準：以兩眼中點連線為測量單位長。以此連線的中點為影像原點。

- 點視為其定位基準點，跟著調整位置。
- II. **校正點**：每個群組通常訂有至少一個校正點，負責此群組的定形工作，也可說是一群組調整形狀時的基準點(如圖 4(b))。在做形狀分析時，各群組內的特徵點會以各自的校正點為基準點，做正規化(normalization)計算，分析此群組的形狀是否在平均範圍內。
 - III. **從屬點**：其他沒有特殊屬性的點，皆為從屬點。

各個群組之間訂定的高低階級關係，如圖 3(c)所示，脸型群組為最高階級，左右眼及鼻子次之，左右眉及上下唇則為最低階級。每個群組必須依照其上一階層群組的位置來決定自己的位置。例如，「群組 5-左眉」必須以「群組 2-左眼」的位置做為基準點，來決定自己的放置位置。

事實上，我們還將結構較複雜的群組拆成了多個次群組，如「群組 2-左眼」是由四個次群組：雙眼皮、黑眼珠、眼框、眼袋所組成。這些次群組會有各自的校正點，但擁有同一個領導點。

2.2. 平均臉的計算

目前我們選擇以亞洲人種做為實驗的對象，為了要取得人臉各特徵的平均比例，我們在資料庫中一共收集了 100 張亞洲女性及 100 張亞洲男性的臉部照片，依性別分別做統計分析測量(目前先完成女性部分)。在測量的過程中，我們以手動方式調整所有特徵點的位置，且為了防止照相距離不同影響測量結果，故改以兩眼距離做為每張影像的基準單位長，並以兩眼連線中點做為影像的原點(如圖 5)；接下來，我們依每個群組做為分析的基本單位，分別測量每個群組的位置、尺寸及形狀，計算其平均值。與以往平均臉(Average Face)不同的是，我們的分析數據可分為總體(Global)及個體(Local)兩種：

表 2. 人臉特徵平均值統計數據的記錄方式。

群組	正常範圍	平均值
右眼 x	0.5619~0.605	0.58504
右眼 y	0.0259~0.0636	0.041953
左眼 x	-0.6017~-0.5603	-0.57958
左眼 y	0.0276~0.0622	0.0465488
右眉 x	0.477~0.5702	0.52158
右眉 y	-0.5479~-0.4465	-0.49647

I. 總體數據：

- 群組位置 --- 記錄每個群組在整張影像上的分佈位置。
- 群組尺寸 --- 記錄每個群組在整張影像上的佔有尺寸。即找出可容納此群組的最小矩形(Bounding Box)，記錄此矩形的長寬大小。

II. 個體數據：

- 群組形狀 -- 記錄每個群組的形狀。即在群組正規化之後，記錄其特徵點位置。

在統計數據時(如表 2)，每一項目中我們只保留其數值在中間 50%範圍之資料，記錄其中的最大最小值做為此項目的正常範圍，並只由此 50%的數值中算出平均值，以避免太過怪異的特例會影響最後平均結果。

為了要辨識出臉部特徵哪裡需要誇張化以及是否需要誇張化，過去的系統必須先一一定義出要誇張化的部位及方向；例如：讓鼻頭變大變小或讓鼻樑變長變短，雖然都是鼻子的特徵但卻必須對這兩類型分別定義及分析。然而，這樣的定義方式不但瑣碎且往往會忽略一些較局部的形狀變化。因此，本系統提出了下列方式，可用統一的演算法分析每一個群組的形狀，不需繁瑣的定義也可找出臉部所有的特徵並加以誇張化：

- 在每個群組或次群組中，我們選擇最能做為測量基準點的特徵點做為主要校正點，其餘的特徵點則都以此校正點為軸做調整；如圖 4(b)中，我們挑選眉峰做為群組 6 的校正點，故眉毛內所有特徵點，都以眉峰那一點為軸調整位置。
- 群組正規化：利用下式將群組內的所有特徵點正規化，並記錄其座標平均值，即可得到群組的形狀平均值。

$$(X'_i, Y'_i) = \left(\frac{X_i - C_x}{unitX}, \frac{Y_i - C_y}{unitY} \right) \quad (1)$$

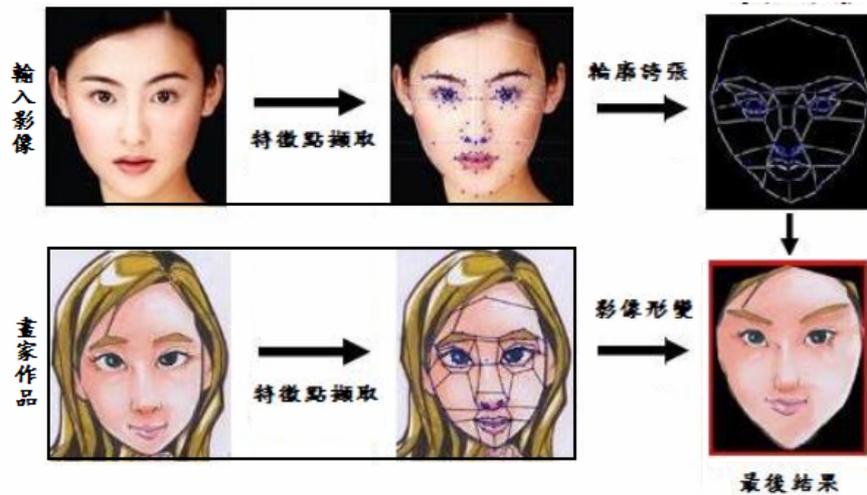


圖 6. 系統架構

```

if (特徵值介於正常範圍)
    value not changed
else if (特徵值小於正常範圍)
    value = value - (range_min - value)*scale
else
    value = value + (value - range_max)*scale

```

圖 7. 特徵誇張化演算法。圖中 value 表示某特徵之特徵值。

其中 (C_x, C_y) 為此群組的校正點座標， (X'_i, Y'_i) 為正規化之後的座標，unitX 為可容納此群組的最小矩形的寬度，而 unitY 為可容納此群組的最小矩形的高度

3. 誇張肖像畫的繪製

3.1. 系統架構

要將一張新輸入的臉部影像轉成趣味肖像畫，必須先分析出此人有哪些特徵，並將之加以誇張化，才能繪製出非真實但卻具有神韻的肖像畫。一個肖像畫的誇張化，通常需從兩方面著手：特徵輪廓的誇張化及影像材質的卡通化。因此，我們的系統分成兩個步驟：輪廓誇張化和影像形變(如圖 6)。在第一步驟輪廓誇張化過程中，我們擷取輸入影像的輪廓，與平均臉做比對，以求得誇張化的輪廓；在第二步驟影像形變中，則是利用一張畫家的作品，以特徵為基礎的方法將原材質變形得到誇張肖像畫。

3.2. 輪廓誇張化

在使用者輸入一張新的臉部影像後，我們手動擷取所有特徵點位置，得到一特徵點所

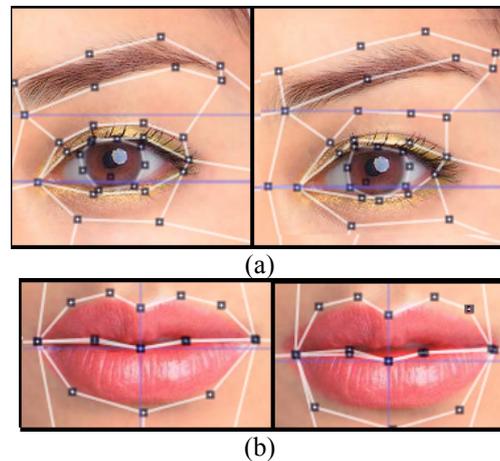


圖 8. 輪廓誇張化 (a) 誇張眼皮寬度及眉毛上揚弧度，並調整眉毛位置以維持眉毛與眼睛之間的距離。(b) 調整嘴唇形狀並縮短嘴唇寬度增加嘴唇厚度

構成的臉部網膜；接著將此臉部網膜依群組為分析的單位與平均臉做比較，來找出各項差異值。在我們的演算法中(如圖 7)，只有在差異值超過正常範圍時，才加以誇張化，而誇張化的程度，與其差異度有關；相差愈大者，誇張化的程度也愈高。在此，我們利用上一節統計分析所得之各項平均值做標準，並將誇張化分為四大步驟，計算特徵改變量，以得到最後誇張化輪廓(如圖 8)：

- I. 定型(調整群組形狀): 依 2.1 節所提到的作法，將群組內所有特徵點正規化之後，一一檢查特徵點是否介於正常範圍內，並依下列演算法計算此特徵點的新位置，調整完所有特徵點之後，即可得到此群組誇張化的形狀。另外，為避免特徵點因誇張

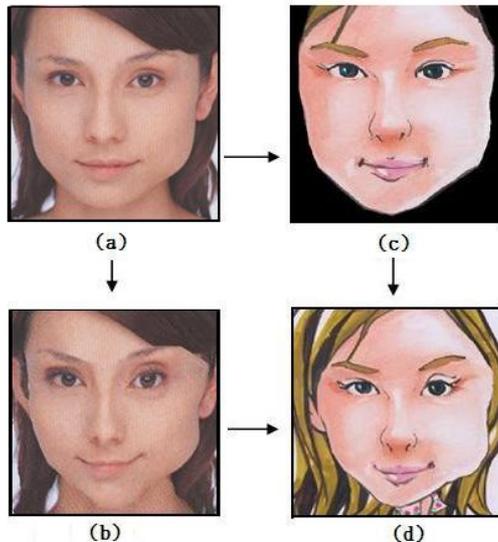


圖 9. (a)原始影像 (b) 影像輪廓誇張化；將原始影像變形至誇張化輪廓，不做材質轉換(c) 影像材質轉換；將原始影像的材質轉換成卡通材質，不做輪廓誇張化 (d)同時做輪廓誇張化及材質轉換得到之卡通肖像畫

化而改變相對位置，故在調整過程中，我們加入了一些特徵點移動的限制。

II. 定尺寸（調整群組大小）：取得可容納此群組的最小矩形之長寬尺寸，依相同演算法計算應變尺寸，並將群組縮放至此新尺寸。

III. 定位置（調整群組位置）：在每一群組的形狀、大小都已確定後，接下來，我們依照群組的階級關係依序決定群組擺放的位置。由於群組的位置同樣是臉部特徵之一，所以我們同樣利用與上面相同的演算法，決定群組是否要對特徵位置做誇張化。所有群組依其領導點做為定位的代表，參考其上一階級群組的位置及尺寸，動態調整至新位置。例如，嘴巴必須要跟著鼻子的位置而更動位置，因為嘴巴位置 = 鼻子中心點 + 人中長。而群組內其餘特徵點只需依其主導點為基準來定位，如此便完成了所有特徵點的定位。

IV. 碰撞偵測與調整：在所有群組都完成定位後，系統會檢查各群組之間有無重疊情況發生；若有，則調整階層較低的群組至新位置。

3.3. 影像形變

本系統採用以特徵為基礎的影像形變 (Feature-based Image Metamorphosis)[9] 之演

算法，計算如何將一影像變形至新輪廓。當使用者輸入新臉部影像時，我們曾經嘗試保留原影像的材質，直接將影像變形(warp)至誇張化的輪廓，做為最後的誇張肖像畫結果(如圖 9(b))；但此做法得到的肖像畫過於真實，無法達到我們所要的卡通化效果。因此，我們挑選畫家作品替代原影像材質，進行影像材質的轉換(如圖 9(c))，同時結合影像輪廓誇張化，得到卡通誇張肖像畫(如圖 9(d))。在此，我們僅需要單張畫家所畫的卡通肖像畫做為來源影像(source image)，手動擷取其畫像的臉部特徵點位置，得到此畫像的臉部網膜，做為來源影像的輪廓線。而新輸入影像的誇張化輪廓則作為目的影像(destination image)的輪廓線，即可將畫作變形至新輪廓中，得到誇張肖像畫(如圖 10(a)(b)(c)(d))。此外，如果使用者喜愛另一畫家的畫風，只需要把來源影像更換成新的畫家作品，系統即可自動產生新的畫風的肖像畫(如圖 10(e)(f))。

4. 實驗結果

我們利用同一張畫家的作品為來源影像，並將誇張化的比例調整在某一定值，針對不同模特兒產生多張誇張肖像畫以做比較。由圖 11 可看出，在人物的外觀輪廓方面，系統不但能夠找出各特徵之總體差異(例如眼睛的大小、眉眼之間的距離)，還可以偵測出各特徵之細微形狀差異，例如眼尾上揚的眼睛、挑高角度的眉毛。在人臉輪廓上的特徵都能夠經由系統分析出來，並加以誇大。

本系統採用 Java 做為實作工具，在 Pentium IV、1.8G Hz 及 512MB RAM 的環境下，產生一張 600x800 尺寸的誇張肖像畫的時間僅須不到 5 秒。不過系統目前尚未完成自動擷取特徵點位置的部份，故在擷取特徵點位置的步驟較耗時。另外，在影像材質的變化上，我們尚未多加分析，所以如眼袋深淺、眉毛濃淡及臉部皺紋等材質上的變化，目前亦先忽略不處理。

5. 結論

本系統提出了一套創新的作法，可以不用一一的定義要誇張化的部位及類型，即可找出所有臉部輪廓上的特徵，包括五官的大小、分佈位置的不同，及細微形狀的差異，都可用統一且簡易的演算法計算，並將之加以誇張化。最後採用 Image Metamorphosis 演算法，將畫家作品套上誇張化的輪廓產生新的誇張肖像畫，不但可表現此人誇張化特徵，更可忠實地保留畫家的風格。

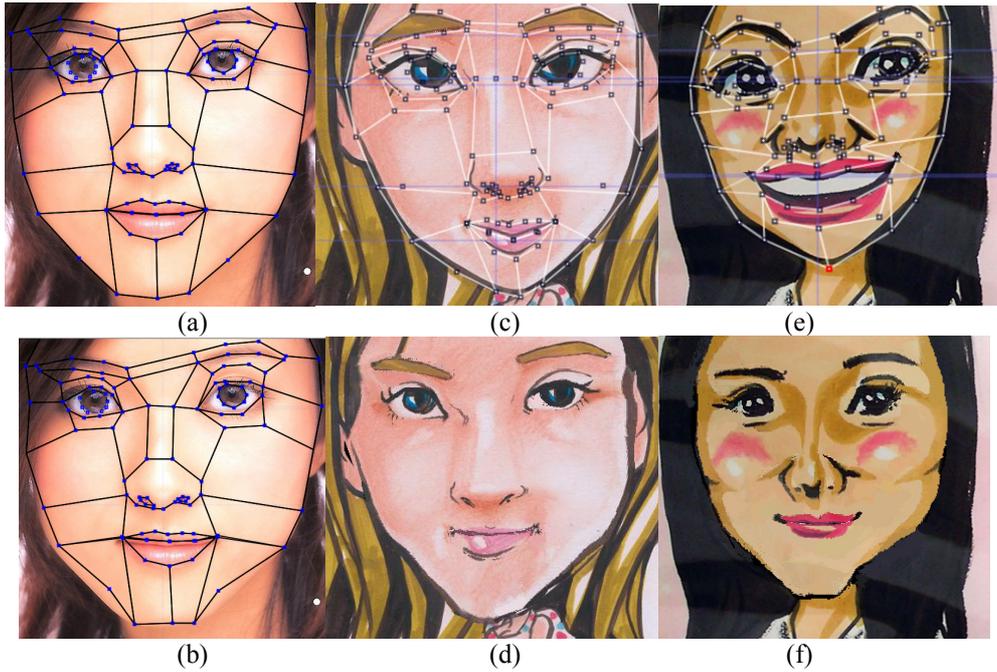


圖 10. (a)模特兒臉部影像擷取特徵點位置，並套上臉部網膜 (b)分析調整圖 a 之臉部網膜後所得之誇張化輪廓(b)畫家的作品套上臉部網膜(c)另一畫家的作品套上臉部網膜(e) 將圖 b 之畫家作品形變至圖 d 之誇張化輪廓所得肖像畫 (f)由圖 c 之畫家作品變形至圖 d 之誇張化輪廓所得之不同風格肖像畫

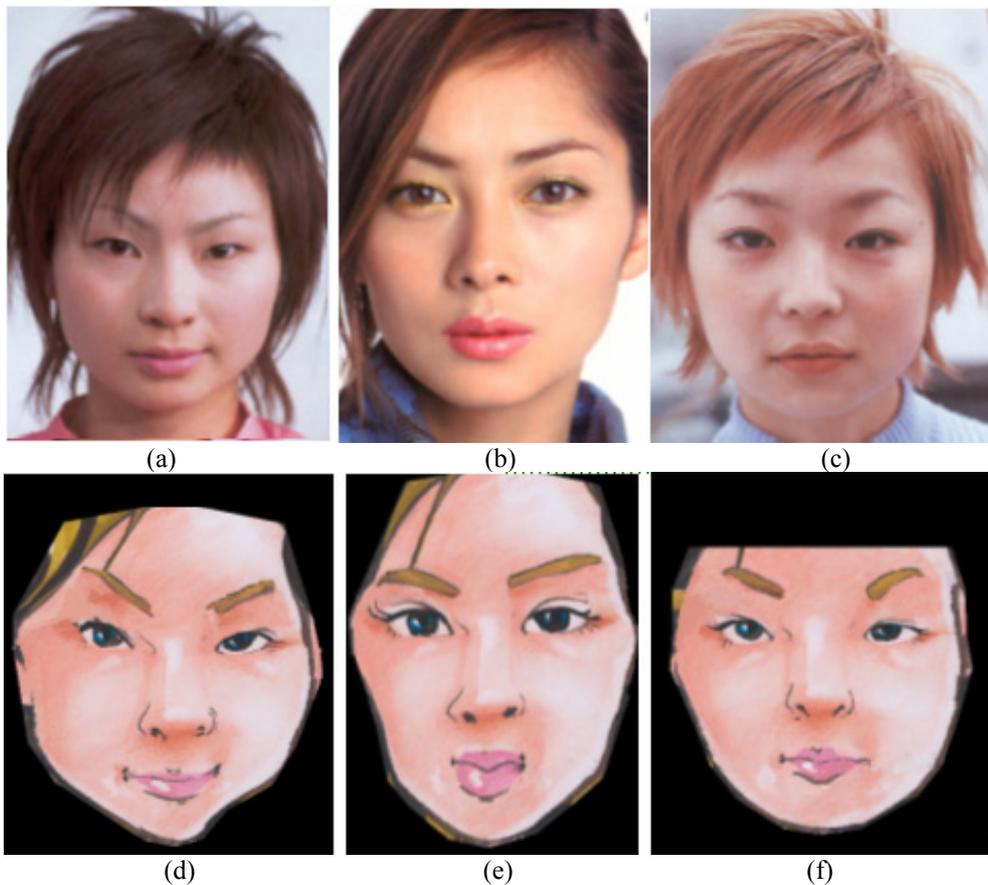


圖 11. 由系統分析所得誇張化特徵(a)模特兒眼睛較小且眼尾上揚。眉毛細且角度高(b) 模特兒眼睛較大。嘴唇豐腴(c) 模特兒眉毛短且嘴唇較薄(d)由圖 a 所產生之卡通肖像畫(e)由圖 b 所產生之卡通肖像畫(f)由圖 c 所產生之卡通肖像畫

然而在現有的系統中，在形狀的辨識方面，我們只考慮了每一群組中，特徵點與校正點的相對位置，而暫時忽略每一特徵點與其相鄰點的相對位置關係；例如，相鄰點所構成輪廓的斜率及曲率平均值。此外，目前尚無法處理模特兒髮型的變化以及影像材質上的特徵；例如，眉毛的濃淡及黑眼圈的深淺。在未來的系統中，我們將會再分別針對形狀上以及材質上的辨識加以改進，使得自動產生的畫作能更具可看性。

6. 參考文獻

- [1] C.-Y. Yang, "臉型輪廓分類比對和 2D 卡通化臉譜系統," *Proceedings of Workshop on Consumer Electronics*, 2002.
- [2] A. Hertzmann, "Painterly Rendering with Curved Brush Strokes of Multiple Sizes," *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, 1998.
- [3] A. Hughes, *Caricatures (Learn to Draw)*, 1999.
- [4] E. Akleman, "Making caricature with morphing," *Proceedings of ACM SIG-GRAPH'97*, pp. 145, 1997.
- [5] H. Koshimizu, M. Tominaga, T. Fujiwara, and K. Murakami, "On Kansei Facial Processing for Computerized Facial Caricaturing System Picasso," *Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pp. 294-299, 1999.
- [6] L. Liang, "Example-Based Caricature Generation with Exaggeration," *Proceedings of 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications*, 2002.
- [7] L. Redman, *How to Draw Caricatures*, 1984.
- [8] S. Brennan, *Caricature generator*, Master's thesis, Cambridge, MIT, 1982.
- [9] T. Beier, S. Neely, "Feature-Based Image Metamorphosis," *Proceedings of SIG-GRAPH'92*, pp. 35-42, July 1992.