

國立暨南國際大學資訊工程學系

碩士論文

一個以特徵為導向的臉部圖像變形系統

A Feature Based Face Image Morphing System

指導教授：陳履恆 博士

研究生：張家愷

中華民國 103 年 8 月

國立暨南國際大學碩士論文考試審定書

資訊工程學系(研究所)

研究生 張家愷 所提之論文

一個以特徵為導向的臉部圖像變形系統

A Feature Based Face Image Morphing System

經本委員會審查，符合碩(博)士學位論文標準。

學位考試委員會

張鈞法 委員兼召集人

歐陽明 委員

陳錦亨 委員

莊永裕 委員

陳俊恒 委員

中華民國 103 年 6 月 16 日

致謝

本篇論文能夠順利完成，十分感謝我的指導教授 陳履恆老師。對於剛升碩士班一年級充滿迷茫的我，陳老師在我的研究上給予了許多建議，當我有研究上的困惑時，會給予提示和方向，讓我訓練獨立思考的能力，並且在我需要幫助時，給予我最好的指導與鼓勵，讓我學會了很多思考問題的方式與解決問題的方法。

感謝實驗室的同學，這兩年來大家一起扶持、一起在實驗室打拼、一起度過無數個夜晚，有許多問題都在大家相互討論中獲得解決。

感謝我的室友，耀崧，在這兩年來的陪伴與互相鼓勵，讓我在研究遭遇挫折時，能夠提起精神再度打拼。

感謝已經畢業的唐霖學長，三不五時的噓寒問暖，關心我的研究狀況，並且以學長的經驗給予我許多建議和幫助。

最後，我要感謝我的家人，他們是我的避風港，對我有永遠的愛護、關心與支持，他們是我最堅強的後盾，讓我勇敢的追尋我的目標，並也完成了這篇論文。

論文名稱：一個以特徵為導向的臉部圖像變形系統
校院系：國立暨南國際大學 科技學院 資訊工程學系
畢業時間：中華民國 103 年 8 月
研究生：張家愷

頁數：32
學位別：碩士
指導教授：陳履恆

中文摘要

現今社會社群網站、交友網站發達，許多的網站、論壇、app 都會要求要設置大頭照，有些人會因為隱私的問題或是對照片感到不夠滿意而不想放自己的照片讓人看到。

Morphing 是一種影像處理技術，其目的是用來將一張影像流暢地轉換成另一張影像，Morphing 技術被運用在許多領域來製造出有趣的特殊視覺效果。

在這篇論文裡，我們開發出一個方便使用者的臉部影像 Morphing 系統，結合使用者的臉部影像和其他照片裡的特徵，來做出獨一無二的照片，透過一個簡單的介面與 OpenCV 的 Face Detection 和輪廓偵測等支援輔助，我們的系統讓使用者直接在兩張照片影像上畫幾條特徵線就能夠做出生動的 Morphing 動畫。而實驗結果顯示出，我們的系統所做出的照片，不僅有助於保護個人隱私，還可提升大頭照的吸引力。

關鍵詞：OpenCV、Face Detection、輪廓偵測、Morphing

Title of Thesis : A Feature Based Face Image Morphing System

Name of Institute : Department of Computer Science and Information Engineering,
College of Science and Technology, National Chi Nan University

Pages : 32

Graduation Time : 08/2014

Degree Conferred : Master

Student Name : Chia-Kai Chang

Advisor Name : Lieu-Hen Chen

Abstract

Nowadays, tons of community websites and dating websites are introduced to the society. Many sites, forums and mobile application would ask users to upload their personal photos. Lots of people do not want to upload their actual personal photos, either for the reason that there is a concern for the privacy, or just a feeling of dissatisfaction with the photos.

Morphing is an image processing technique which aims to seamlessly transform one image to another. Morphing technique has been used in many places to create interesting special visual effects.

In this paper, we develop a user-friendly facial image morphing system which creates customized unique photos by combining user's facial image with features extracted from other photo. With the support of simple Face Detection interface, contour detection and OpenCV, our system allows users to interactively make vivid morphing animation by directly drawing a few feature lines on the source and destination photo images. The experiment results show that our system is not only helpful for protecting individual privacy, but also useful for increasing the attractiveness of users' head shot photos.

Key words : OpenCV 、 Face Detection 、 Contour Detection 、 Morphing

目次

第一章 緒論	1
1.1 研究背景與動機	1
1.2 研究目的	2
1.3 論文架構	3
第二章 相關技術	4
2.1 OpenCV	4
2.2 Face Detection	6
2.2.1 Feature Extraction	7
2.2.2 Cascade Detection	7
2.3 輪廓偵測	8
2.3.1 灰階化	8
2.3.2 二值化	9
2.4 Morphing	10
2.4.1 Mesh warping	11
2.4.2 Field warping	11
2.4.2 Beier&Neely (SIGGRAPH 1992) Feature-Based Image Metamorphosis	12
第三章 系統架構及實作	15
3.1 人臉做臉部偵測	16
3.2 臉部特徵線生成	17
3.3 非人臉部特徵線處理	18
3.4 人臉偵測失敗後的特徵線處理	19
3.5 輪廓偵測輔助	20
3.6 Morphing	22
第四章 研究成果	24
第五章 結論與未來展望	29

Reference	30
-----------------	----

圖目次

圖 1: 1991 年麥可·傑克森的 MV-Black or white.....	1
圖 2: OpenCV 系統.....	4
圖 3: OpenCV Overview.....	5
圖 4: Face Detection.....	6
圖 5: Cascade Detection.....	7
圖 6: 輪廓偵測.....	8
圖 7: 灰階化.....	9
圖 8: 二值化.....	9
圖 9: Morphing.....	10
圖 10: Mesh warping.....	11
圖 11: Field warping.....	11
圖 12: Single line-pair PQ to P'Q'.....	12
圖 13: Multiple lines.....	13
圖 14: 系統流程圖.....	15
圖 15: 人臉做臉部偵測.....	16
圖 16: 臉部特徵線生成.....	17
圖 17: 非人臉部特徵線處理.....	18
圖 18: 人臉偵測失敗後的特徵線處理.....	19
圖 19: 影像做灰階化和二值化.....	20
圖 20: 二值圖做輪廓偵測.....	21
圖 21: 輪廓輔助特徵線描繪.....	21
圖 22: 人與動物做 Morphing.....	24
圖 23: 人與人做 Morphing.....	25
圖 24: 人與人做 Morphing.....	26
圖 25: 人與卡通做 Morphing.....	27
圖 26: 人與動物做 Morphing.....	28

第一章 緒論

1.1 研究背景與動機

1982 年一位程式設計師兼動畫師將一個女人經過變形轉化成一隻大山貓，我們把這個變形的過程稱為 Morphing(影像變形)，是一種影像處理技術，最常見的應用是由一張人臉影像變化到另一張人臉影像。從此之後，許許多多的電影、動畫等等都有經常使用到這個技術，其中以 Michael Jackson 的 MV-Black or white 最為著名，裡頭黑人變形成白人、男人變形成女人等讓當初的人們為之驚訝，而人與動物之間的變形也運用在許多地方。

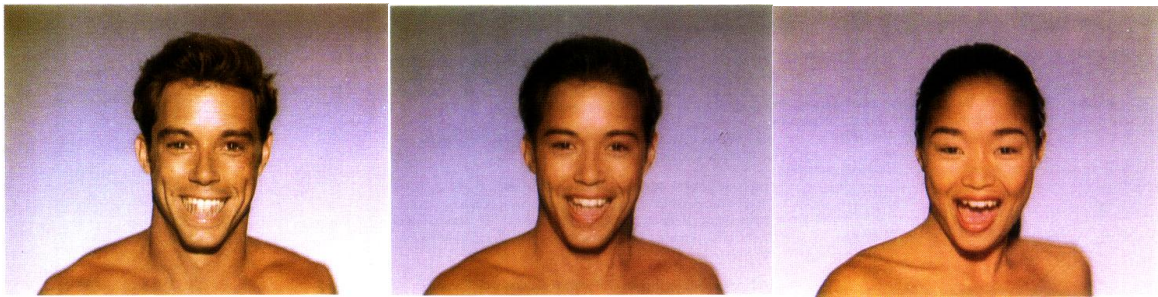


圖 1: 1991 年麥可·傑克森的 MV-Black or white

市面上有很多運用在人臉部做各種調整的工具，如電腦手機上的各種照片美顏功能，人人都可是帥哥、人人都可是美女，還有將人的臉變成各種搞怪形狀，方型臉、圓形臉、三角形臉，或是如哈哈鏡般，瘦子變成胖子、胖子變瘦子，各種有趣的變形讓人們的生活充滿樂趣。

將自己的臉與不同東西做結合，則讓人們更感興趣，我們時常會想想我如果變老會是怎麼樣，我跟女友將來的小孩會長成怎麼樣，我如果有某某明星的臉部特徵會是多麼英俊漂亮，我如果被基因改造的貓狗咬到變成貓人、狗人會是長怎樣諸多等等，甚至將自己的臉與卡通漫畫人物的臉做結合又會是怎樣。

1.2 研究目的

在相關資料搜尋過程中，我們參考到了台大莊永裕教授在維基百科上提供的：有關視覺特效的資料後，我們對於人臉和動物或動漫卡通人物等的合成深感興趣，因此本研究主要目的是開發出一套系統能夠讓使用者簡單的做出富含理想特徵的影像和 Morphing 動畫。

在現有的相關技術中，有的技術只能單純的將兩張影像作合成或是針對單張影像作各種修改，Morphing 則是能有連續變形的動畫，而 Morphing 的技術依 Warping 的方式分成 Mesh Morphing 和 Field Morphing 兩種，Mesh Morphing 較為容易實做，但在使用者的方便性較為缺乏且呈現效果較差，Field Morphing 呈現效果較好但方法較為複雜，且須費時繪製多條特徵線來做變形。

我們決定使用 Field Morphing 來實作我們的系統，並且利用 Face Detection、特徵線拖曳和輪廓偵測等支援輔助功能來減少特徵線的繪製，希望開發出一套系統能夠簡單快速的生成 Morphing 動畫，且動畫中富含兩張影像的特徵。

1.3 論文架構

本論文共分為六個章節，茲分述如下：

第一章 緒論，主要說明研究背景、動機、目的及論文架構。

第二章 相關技術，主要探討 OpenCV、人臉偵測、輪廓偵測、Morphing 等相關理論基礎。

第三章 系統架構及實作，說明系統流程、系統實作設計。

第四章 研究成果，將介紹及展示目前的成果。

第五章 結論與未來展望，說明系統的應用性以及未來的發展。

第二章 相關技術

2.1 OpenCV

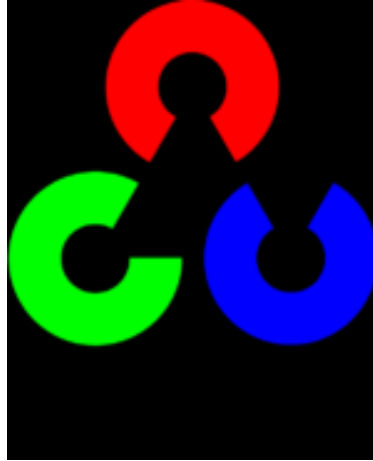


圖 2: OpenCV 系統

OpenCV 的全稱是 Open Source Computer Vision Library，是一個跨平台的計算機視覺庫。

OpenCV 是由 Intel 公司所開發出來的 Open Source 圖形演算法跨平台電腦視覺函式庫，裡面提供了許多影像處理有關的函式。主要由 C 函數和少量 C++ 類別構成，實現了影像處理和電腦視覺方面許多通用演算法。讓使用者能更簡單的去處理影像與電腦視覺的種種功能。

OpenCV 主要功能有下列五點：

1. OpenCV 是一個基於 C/C++ 語言的開放原始碼電腦視覺函數庫
2. 其代碼都經過優化，可用於實時處理圖像
3. 具有良好的可移植性
4. 可以進行圖像/視頻載入、保存和採集的常規操作
5. 具有低級和高級的應用程式介面（API）

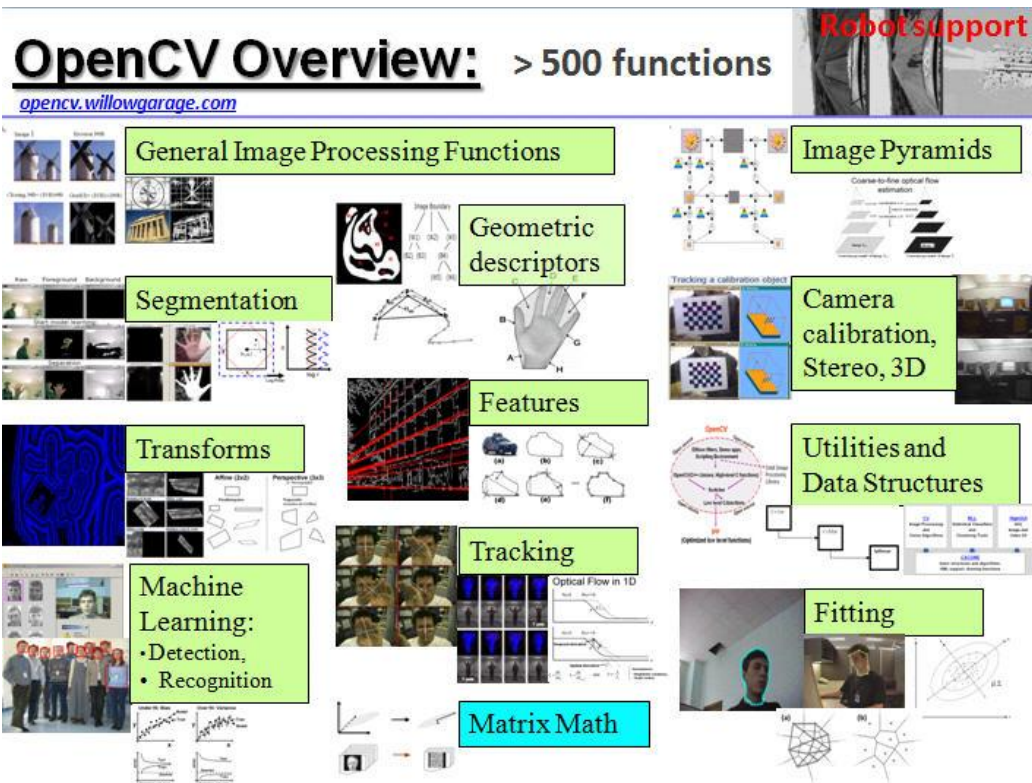


圖 3: OpenCV Overview

OpenCV 主要應用有下列十項：

1. 人機互動
2. 物體識別
3. 圖像分割
4. 人臉偵測
5. 動作偵測
6. 運動跟踪
7. 機器人
8. 運動分析
9. 機器視覺
10. 結構分析

2.2 Face Detection

人臉偵測，即是在任意給定的圖像中去辨別是否有人臉存在。OpenCV 所使用的方法是由「Viola & Jones」所發表的 AdaBoost Learning with Haar-Like Features 來實現即時的人臉偵測。

這個方法分成兩個部分，先做特徵擷取(Feature Extraction)，接著做瀑布偵測(Cascade Detection)。

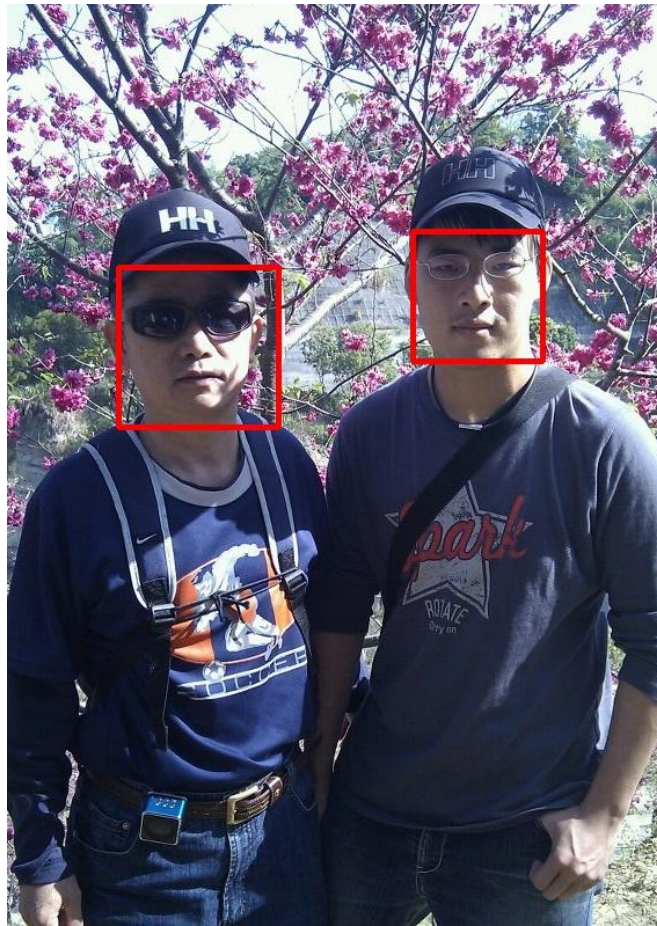


圖 4: Face Detection

2.2.1 Feature Extraction

首先定義一些 Haar-Like Features，然後給定一些 sample，例如：假如我們要偵測的是人臉，那麼我們就要輸入一些人臉的 sample。然後利用 AdaBoost learning algorithm 來從這些 sample 中挑出某幾個代表性的 Haar-Like Features，而這些被挑選出來的 feature 就是代表人臉的 feature。每個被挑選出來的 feature 都代表一種 classifier，許多種被挑選出來的 feature 因此構成了一連串的 classifier，我們稱為 strong classifier。

2.2.2 Cascade Detection

瀑布偵測是一連串的检查動作，通過第一關才能進入第二關，通過第二關才能進入第三關……直到通過最後一關，因此每個 classifier 皆用來判斷所輸入的圖片是否為人臉，並且回傳「是」或「否」，最後，通過所有 classifier 的圖片才會將此特徵辨識為人臉。

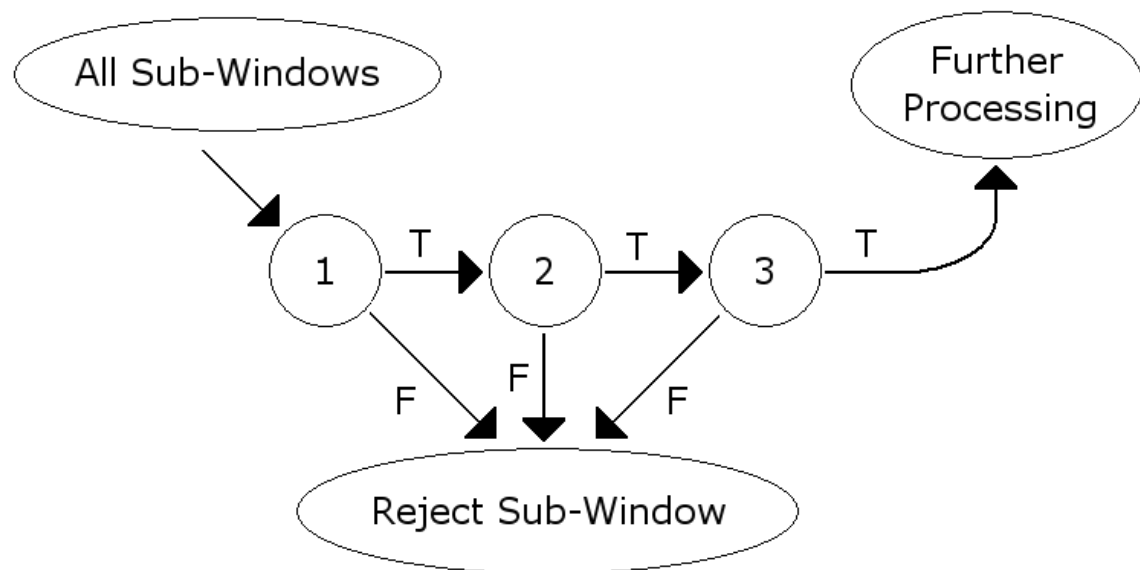


圖 5: Cascade Detection

2.3 輪廓偵測

輪廓檢測就是將內部點做掏空，比如原圖中有 3×3 的矩形點。那麼就可以將中間的那一點去掉。在 OpenCV 中使用輪廓檢測是非常方便。直接使用 `cvFindContours` 函數就能完成對圖像輪廓的檢測。而為了做出更好的輪廓偵測效果，我們會先將圖片做灰階化、再將灰階圖做二直化使圖片呈現明顯的黑白，使得輪廓偵測的效果更好。



圖 6: 輪廓偵測

2.3.1 灰階化

灰階化主要是將彩色圖片轉成灰階，將影像中的像素 RGB 值取出，並轉成 Gray，再將 Gray 寫入 RGB 裡並儲存成影像，以減少在做影像處理時色彩太多所造成的影響。



圖 7：灰階化

2.3.2 二值化

二值化就是將圖像上的像素點的灰度值設置為 0 或 255，這樣將使整個圖像呈現出明顯的黑白效果。在數字圖像處理中，二值圖像佔有非常重要的地位，圖像的二值化使得圖像中數據量大為減少，從而能凸顯出目標的輪廓。



圖 8：二值化

2.4 Morphing

影像變形 (Morphing)，是由一張圖像流暢地變成另一張圖像的視覺效果，最常見的應用是由一張人臉影像變化到另一張人臉影像。

Morphing 最基本的做法是利用交叉融合 (cross-dissolving) 來做，將兩張影像在變化時間上作線性的內插。但由於影像裡的物件形狀不同，因此會產生鬼影 (ghosting effects) 的現象。因此再進行 cross-dissolving 之前必須先做影像形狀的彎曲轉換 (warping)。所以 $\text{Morphing} = \text{warping} + \text{cross-dissolving}$ ，其中 warping 的部分是做 shape (geometric) 的轉換，而 cross-dissolving 的部分是做 color (photometric) 的轉換。

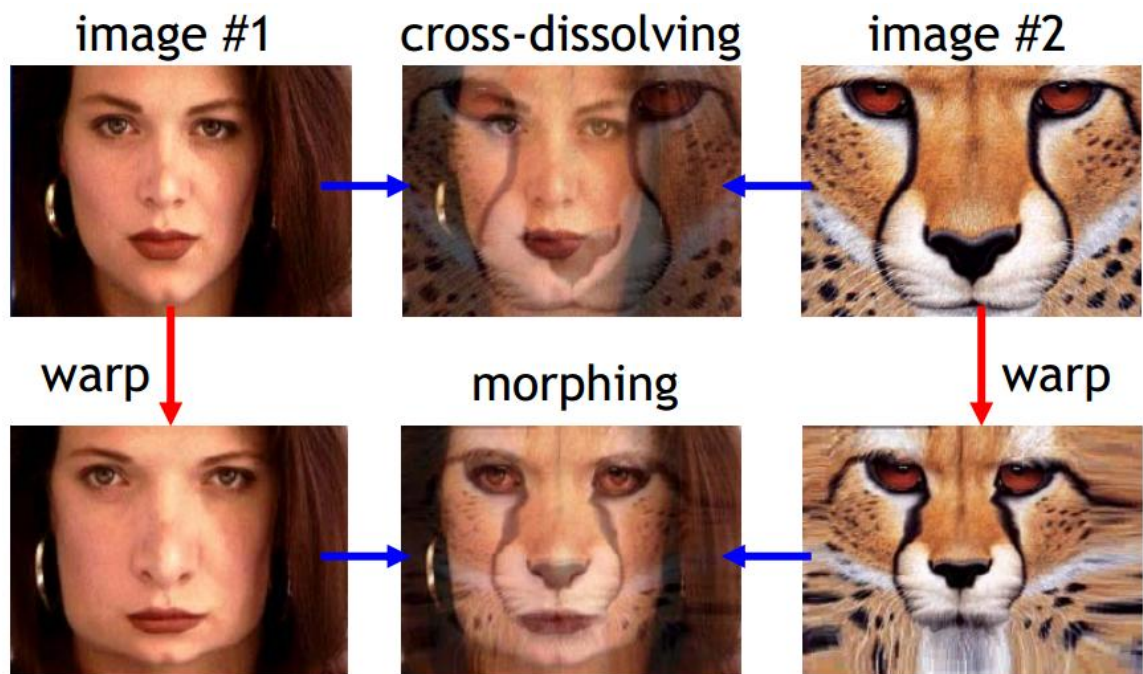


圖 9: Morphing

在做 image morphing 時需要將兩張影像 warping 成相同的形狀，而常用的方式有兩種，分別為 mesh warping 和 field warping。

2.4.1 Mesh warping

Mesh(網格) warping 是將兩張影像用網格做切割，在 source image 和 destination image 各別以網線切割成等量的方格，且指定相對應的網格，再依序把每個網格內的點經過各自的變換函數，變換到另一張影像的位置。較為容易實做，但在使用者的方便性較為缺乏。



圖 10: Mesh warping

2.4.2 Field warping

Field warping 又叫作 Feature-Based warping，指定相對應的向量線條，再利用 Beier & Neely 的演算法用內積的方式到相對應的 warping function，方法較複雜但對使用者來說較為容易操作。



圖 11: Field warping

2.4.2 Beier&Neely (SIGGRAPH 1992) Feature-Based Image Metamorphosis

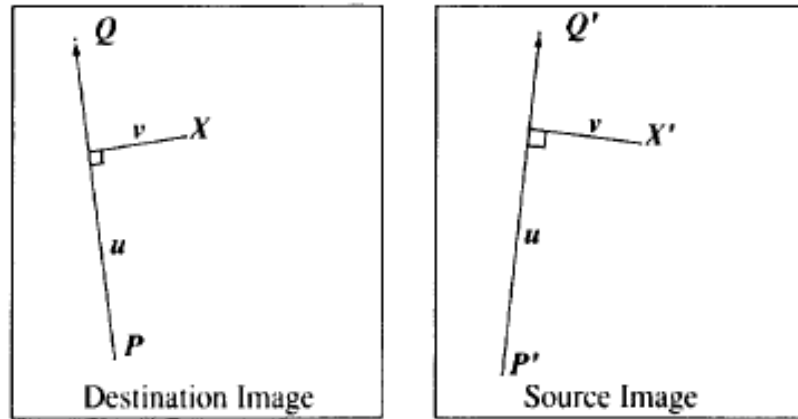


圖 12: Single line-pair PQ to P'Q'

對每個在 destination image 上的每個 X，找出相對應的 u(X 投影到線段 PQ 上的位置)和 v(X 到線段的垂直距離)，透過公式利用 u 和 v 去得到 source image 中的 X'，我們就可將 destination image 中的每個 pixel X 找到對應到 source Image 的某個 pixel X'。公式如下：

$$u = \frac{(X - P) \cdot (Q - P)}{\|Q - P\|^2}$$

$$v = \frac{(X - P) \cdot \text{Perpendicular}(Q - P)}{\|Q - P\|}$$

$$X' = P' + u \cdot (Q' - P') + \frac{v \cdot \text{Perpendicular}(Q' - P')}{\|Q' - P'\|}$$

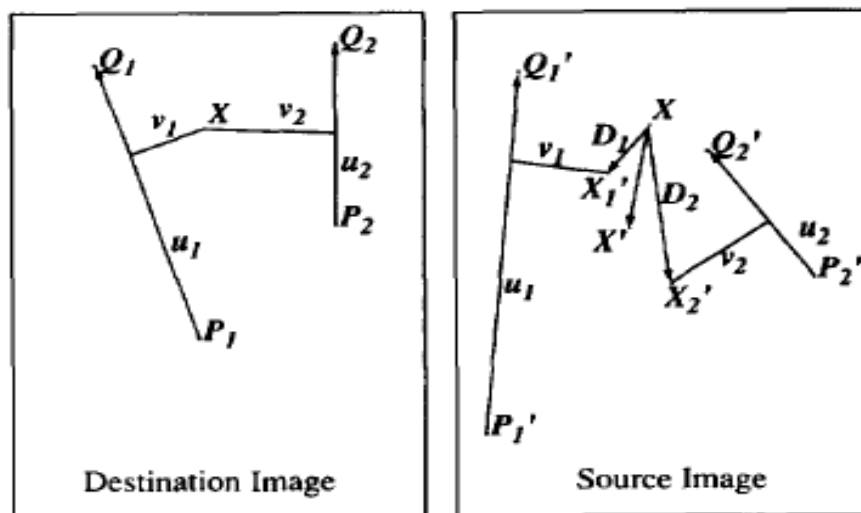


圖 13: Multiple lines

當在multiple line-pair的情況下，每個destination image上的X要找到對每條線段在source image的對應 X' ，但是因為有多對線段的關係，找出來的對應位置會不盡相同，如圖12所表示，destination image上的X經由 P_1Q_1 得到 u, v 再透過source image的 $P_1'Q_1'$ 找到 X_1' ，之後經由 P_2Q_2 與 $P_2'Q_2'$ 找到 X_2'等等，每組都會找到不同的對應位置 X_i' ，因此我們將每組結果給予權重(weight)，再依據權重就可以找到最後決定位置 X' 。

$$weight = \left(\frac{length^p}{(a + dist)} \right)^b$$

length 表示 destination image 目前該組線段長度。

dist 表示X到destination image目前該組線段的距離。

a, p, b 是可自行調整的參數。

當 a 越大，distance影響越不嚴重，所以結果會比較blur。

當 b 越大，表示sharp function會被最近的線dominate。

當 p 越大，越care line segment的長度。

Multiple line algorithm

For each pixel X in the destination

DSUM=(0,0)

weightsum = 0

For each line P_iQ_i

calculate u, v based on P_iQ_i

calculate X'_i based on u, v and $P'_iQ'_i$

calculate displacement $D_i = X'_i - X_i$ for the line

dist = shortest distance from X to P_iQ_i

weight = $(\text{length}P / (a + \text{dist}))^b$

DSUM += $D_i * \text{weight}$

weightsum += weight

$X' = X + \text{DSUM} / \text{weightsum}$

color at destinationImage(X) = color at sourceImage(X')

第三章 系統架構及實作

我們的系統主要分為兩部分，輸入欲作變形的兩張臉部影像後，第一部分為兩張影像特徵線的生成與繪製，再將特徵線作相互對應，作為 Morphing 的依據，第二部分的程式透過兩張影像上相對應的特徵線去作 Morphing，並產生出由一張臉部影像變化到另一張臉部影像的連續過程。

系統架構的流程圖如下。

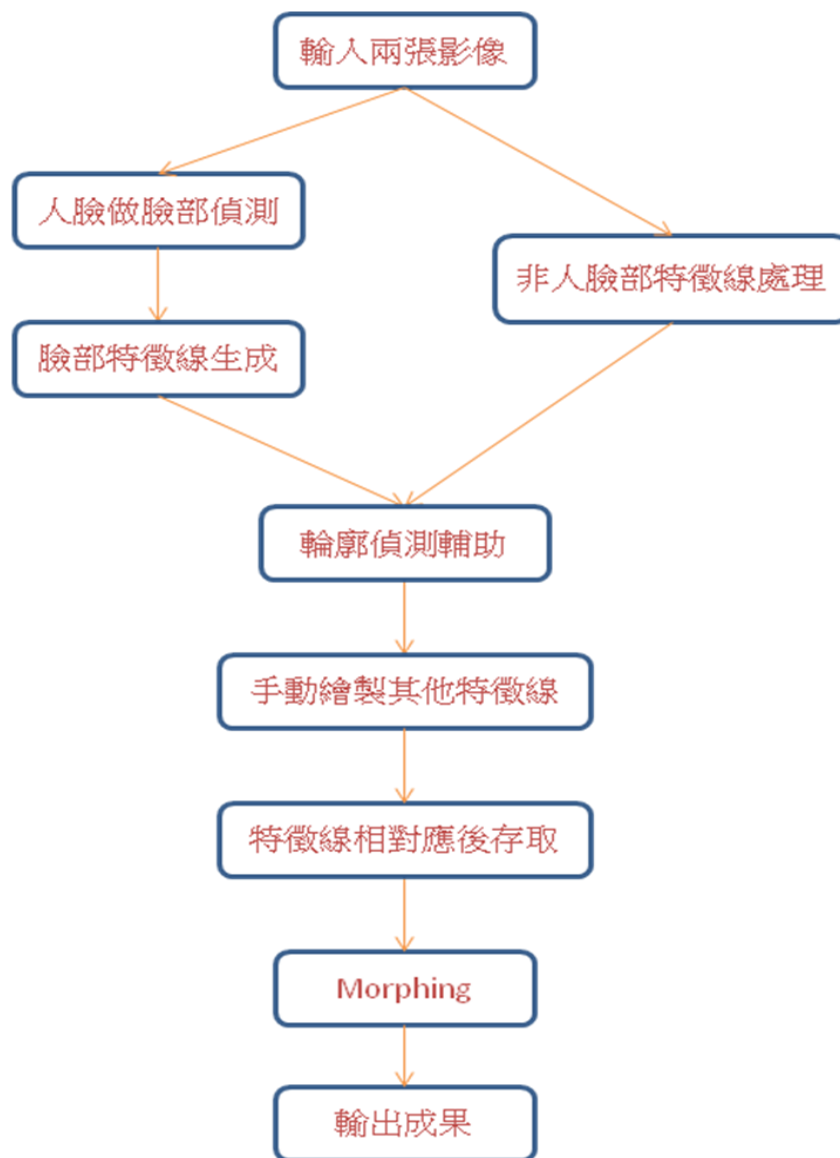


圖 14：系統流程圖

3.1 人臉做臉部偵測

首先我們將影像轉成灰階圖來方便偵測，然後把 OpenCV 提供的 `haarcascade_frontalface_alt.xml`、`haarcascade_eye.xml`、`haarcascade_mcs_nose.xml`、`haarcascade_mcs_mouth.xml` 這四個 Cascade Classifier load 進來，配合 `detectMultiScale` 函數來找出影像中的人臉、雙眼、鼻子和嘴巴的位置。

為了減少偵測錯誤，我們設定了一些條件，眼睛、鼻子和嘴巴的位置必須在人臉的範圍內，鼻子必須在眼睛之下，而嘴巴必須在鼻子之下等等。

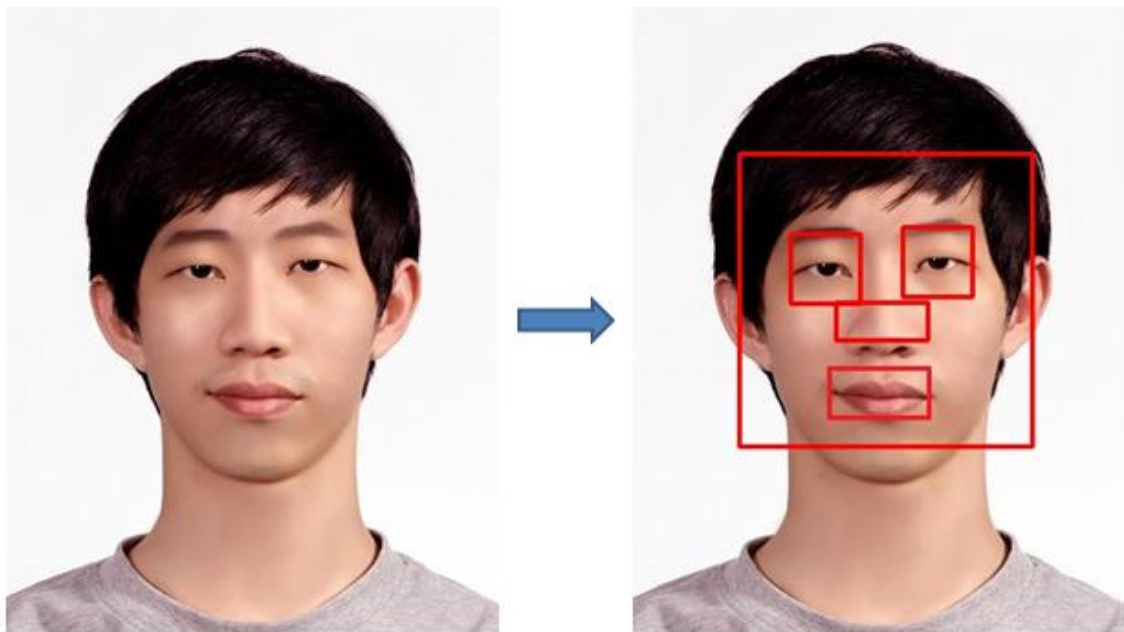


圖 15：人臉做臉部偵測

3.2. 臉部特徵線生成

透過人臉偵測得到眼睛、鼻子和嘴巴的位置後，我們將眼睛從眼頭到眼尾連成一條線，當作是眼睛的特徵線，然後鼻子則在鼻頭下方畫一條橫線，然後在從橫線正中間往上畫一條線貫穿鼻樑，以這兩條線當作是鼻子的特徵線，而嘴巴則是在兩個嘴角之間做連線當作特徵線。

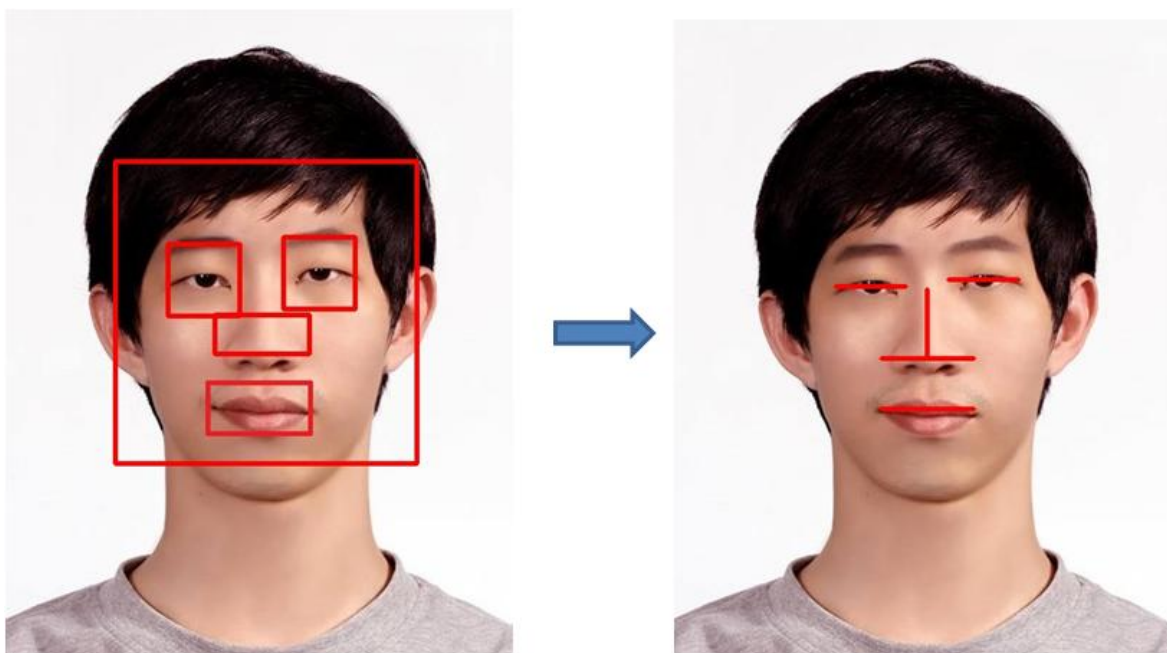


圖 16: 臉部特徵線生成

3.3 非人臉部特徵線處理

由於臉部偵測功能目前的發展只針對人臉，而對於其他非人的臉部無法做到自動偵測，如動物的臉部因為多樣性且複雜度非常高，因此在動物臉孔五官的偵測非常困難，無法做到自動偵測辨識等功能，所以我們觀察生物的眼睛、鼻子和嘴巴，發現可以以"王"字的線段做貫穿，所以我們在影像中間用八個點去生成一個王字的線段，讓使用者能夠做簡單的拖曳動作，將八個點拉到眼睛、鼻子和嘴巴的位置，以王字的線段當作非人臉部的特徵線，再與人臉偵測生成的特徵線做相對應。

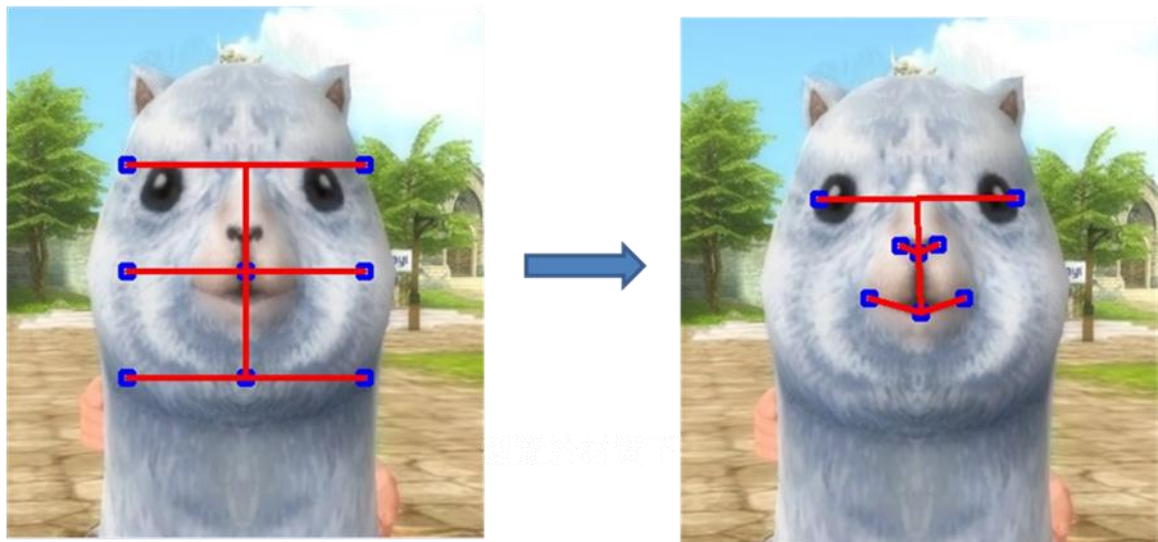


圖 17：非人臉部特徵線處理

3.4 人臉偵測失敗後的特徵線處理

人臉偵測的發展至今仍不是非常完整，還有許多進步的空間，在遇到某些特殊狀況時，如側面的臉部、扭曲的表情、閉眼睛的情況等等，會造成人臉偵測的失敗，在這個情況下，我們對無法順利偵測的人臉用上面提到的王字線段來做解決，一樣將八個點拖曳到眼睛、鼻子和嘴巴的位置，來表示特殊狀況下臉部的特徵線。

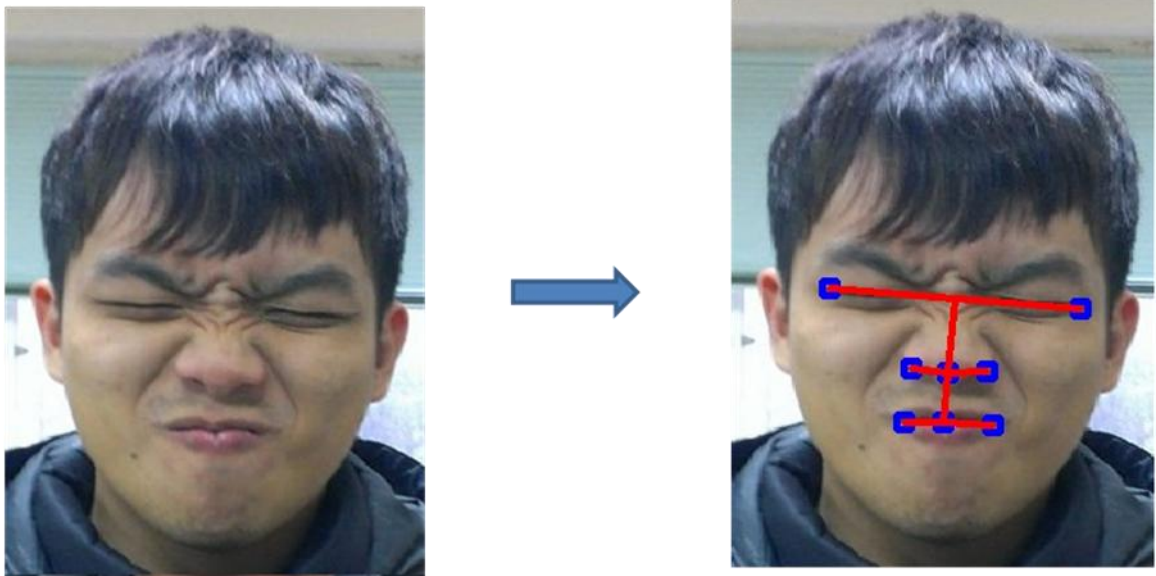


圖 18：人臉偵測失敗後的特徵線處理

3.5 輪廓偵測輔助

我們將輸入的兩張彩色影像先做灰階化減少色彩的影響，再將灰階圖做二值化，使圖片呈現明顯的黑白效果。

灰階化函數

```
cvCvtColor(  
    const CvArr* src,  
    CvArr* dst,  
    CV_BGR2GRAY );
```

二值化函數

```
cvThreshold(  
    const CvArr* src,  
    CvArr* dst,  
    double threshold,  
    double max_value,  
    int threshold_type);
```

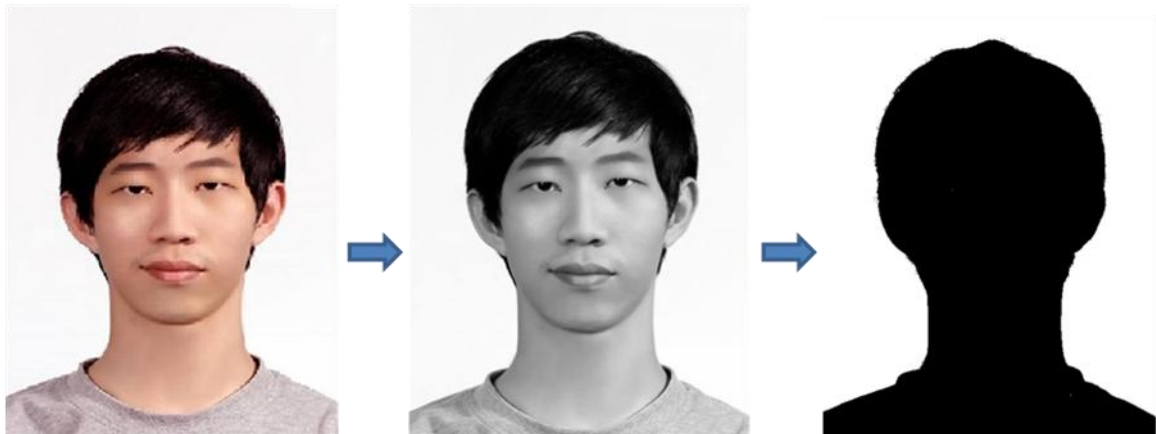


圖 19：影像做灰階化和二值化

我們將明顯的黑白影像去做輪廓偵測，利用 `cvFindContours` 函數去測出圖像的輪廓，將輪廓繪制出來，在將繪製出來的輪廓線放在原始影像上，這樣讓使用者在描繪頭部特徵線時，能更輕鬆的繪製。

輪廓偵測函數

```
int cvFindContours(  
    CvArr* image,  
    CvMemStorage* storage,  
    CvSeq** first_contour,  
    int header_size=sizeof(CvContour),  
    int mode=CV_RETR_LIST,  
    int method=CV_CHAIN_APPROX_SIMPLE,  
    CvPoint offset=cvPoint(0,0));
```

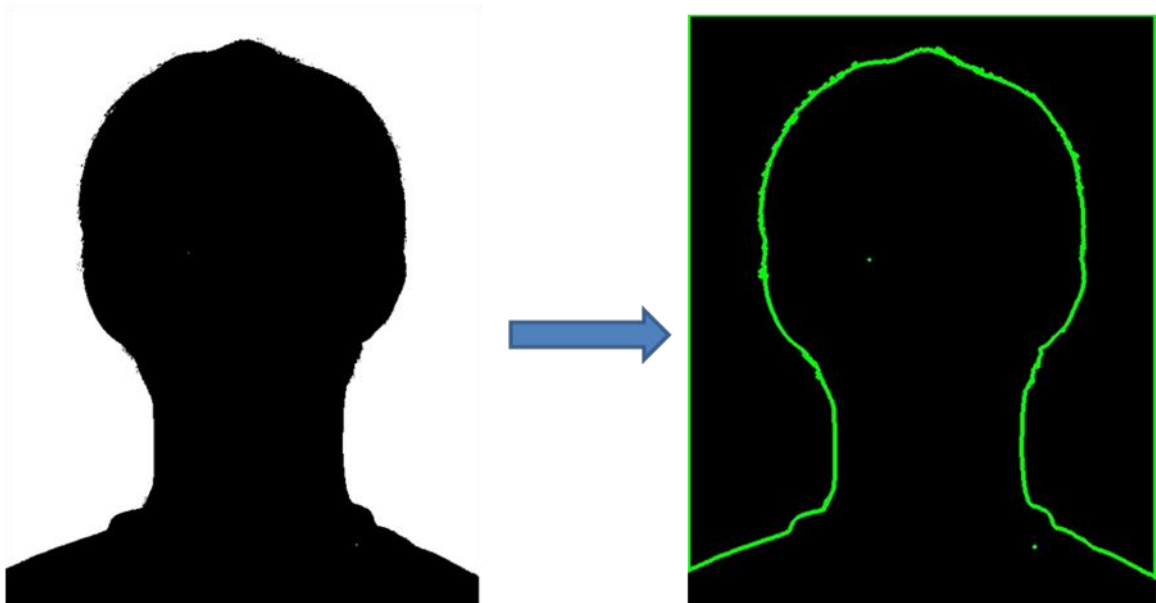


圖 20: 二值圖做輪廓偵測

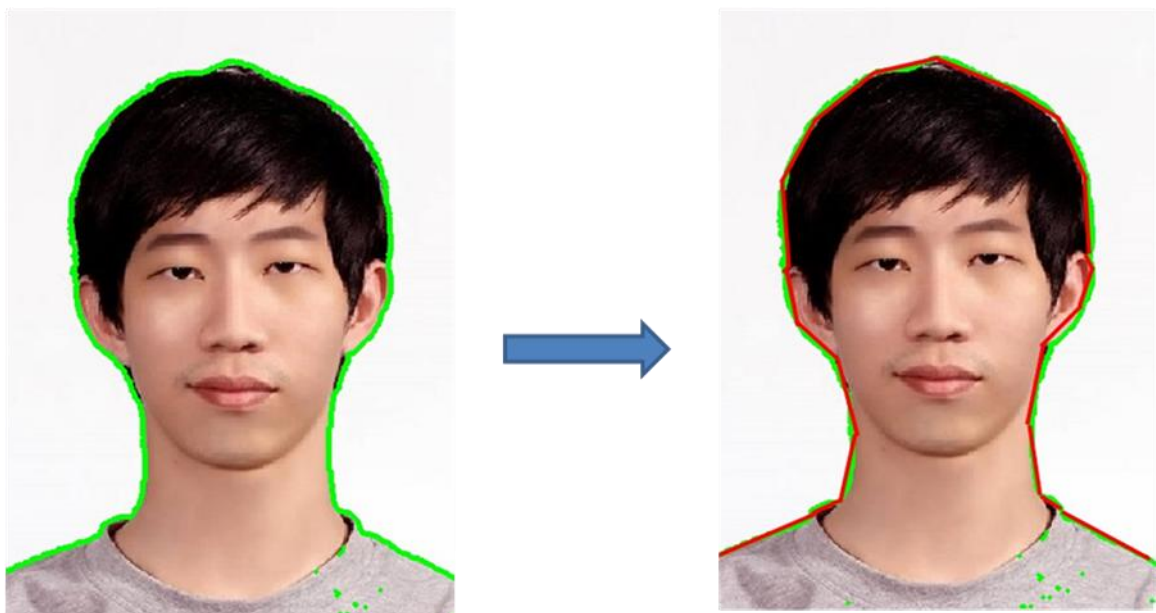


圖 21: 輪廓輔助特徵線描繪

3.6 Morphing

將所需特徵線全都繪製完成後，我們將兩張影像上的所有線段做相互對應存取，根據 Beier&Neely 的演算法去做 warping，計算出變形後的影像上每個點分別對應到原來兩張影像上的各點，然後做 cross-dissolving 來得到最後 morphing 後的成果。

Beier&Neely 的演算法如下

Warping Pseudo code

```
WarpImage(SourceImage, L'[...], L'[...])
begin
    foreach destination pixel X do
        XSum = (0,0)
        WeightSum = 0
        foreach line L[i] in destination do
            X'[i] = X transformed by (L[i],L'[i])
            weight[i] = weight assigned to X'[i]
            XSum = Xsum + X'[i] * weight[i]
            WeightSum += weight[i]
        end
        X' = XSum/WeightSum
        DestinationImage(X) = SourceImage(X')
    end
    return Destination
end
```

Morphing Pseudo code

```
GenerateAnimation(Image0, L0[...], Image1, L1[...])
begin
    foreach intermediate frame time t do
        for i=1 to number of line-pairs do
            L[i] = line t-th of the way from L0[i] to L1[i].
        end
        Warp0 = WarpImage( Image0, L0[...], L[...])
        Warp1 = WarpImage( Image1, L1[...], L[...])
        foreach pixel p in FinalImage do
            FinalImage(p) = (1-t) Warp0(p) + t Warp1(p)
        end
    end
end
```


第四章 研究成果

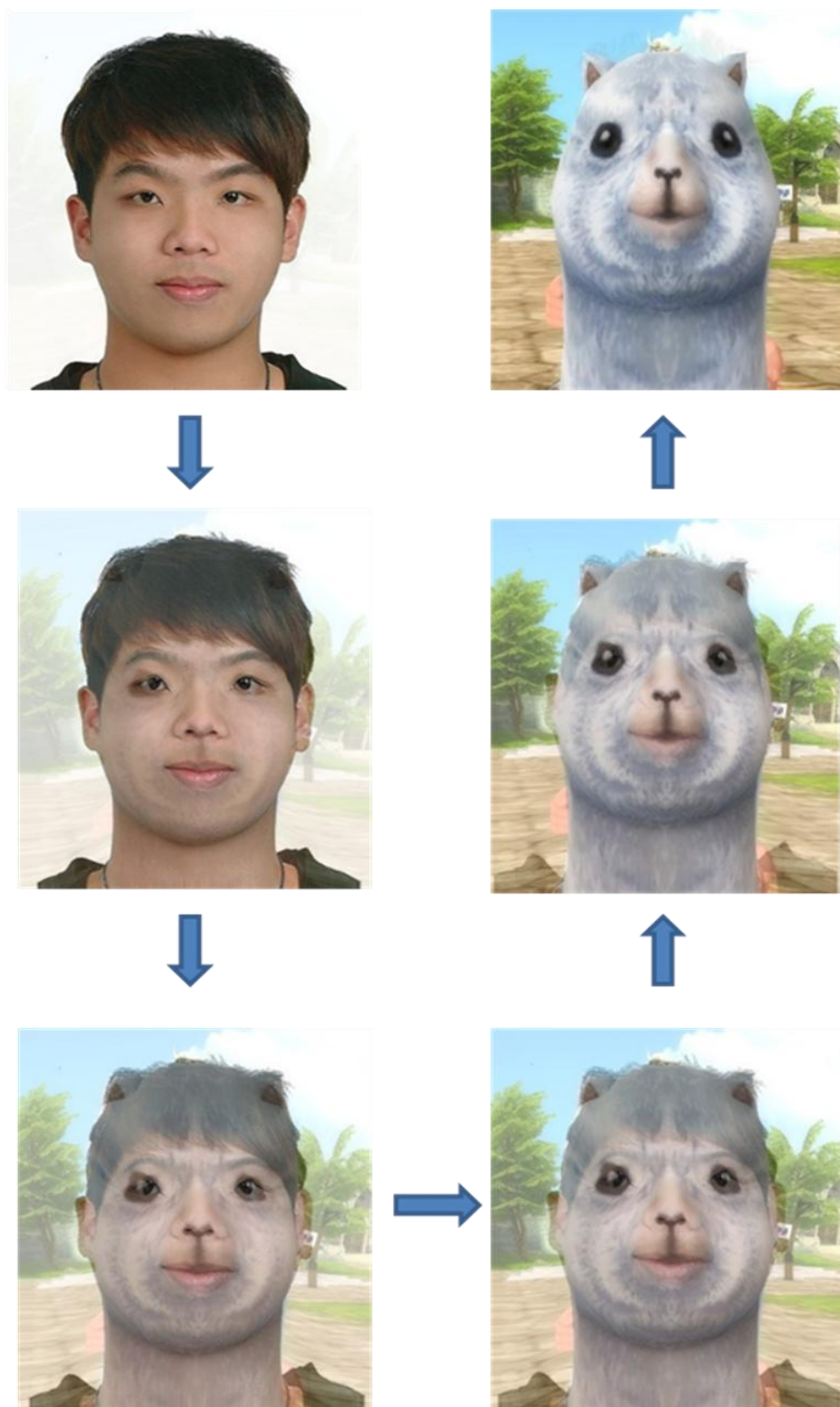


圖 22：人與動物(81keys)做 Morphing

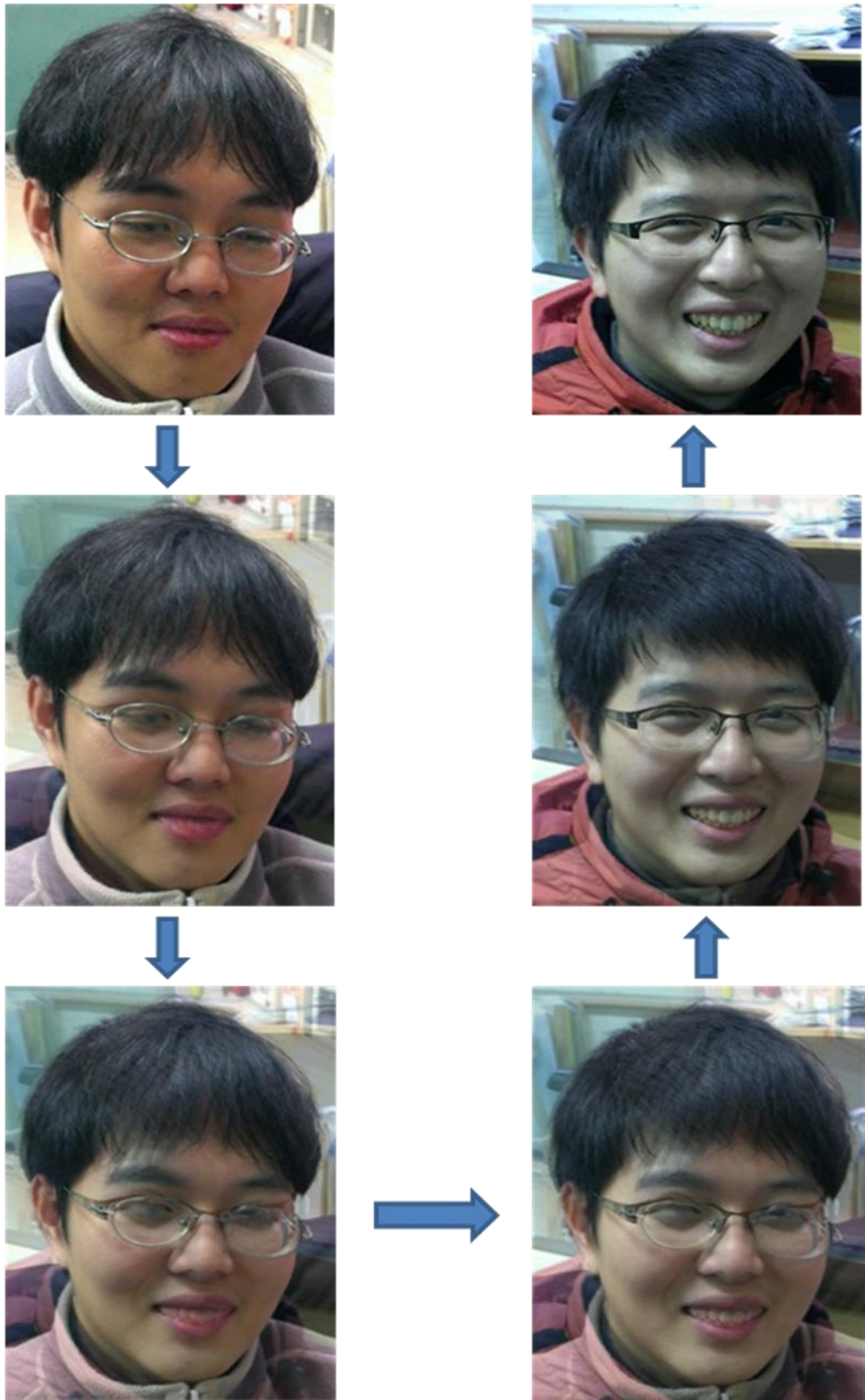


圖 23：人與人做 Morphing

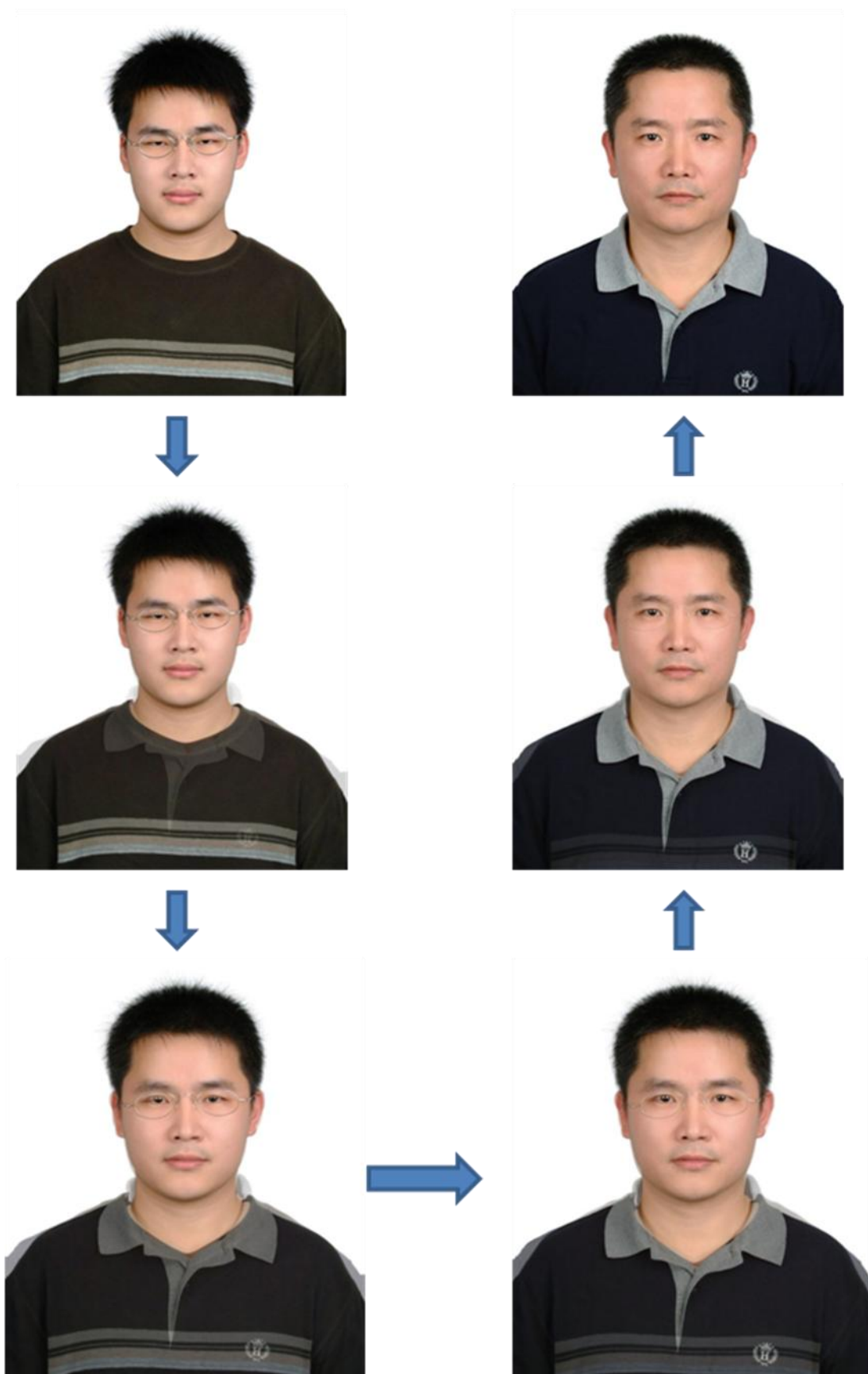


圖 24：人與人做 Morphing

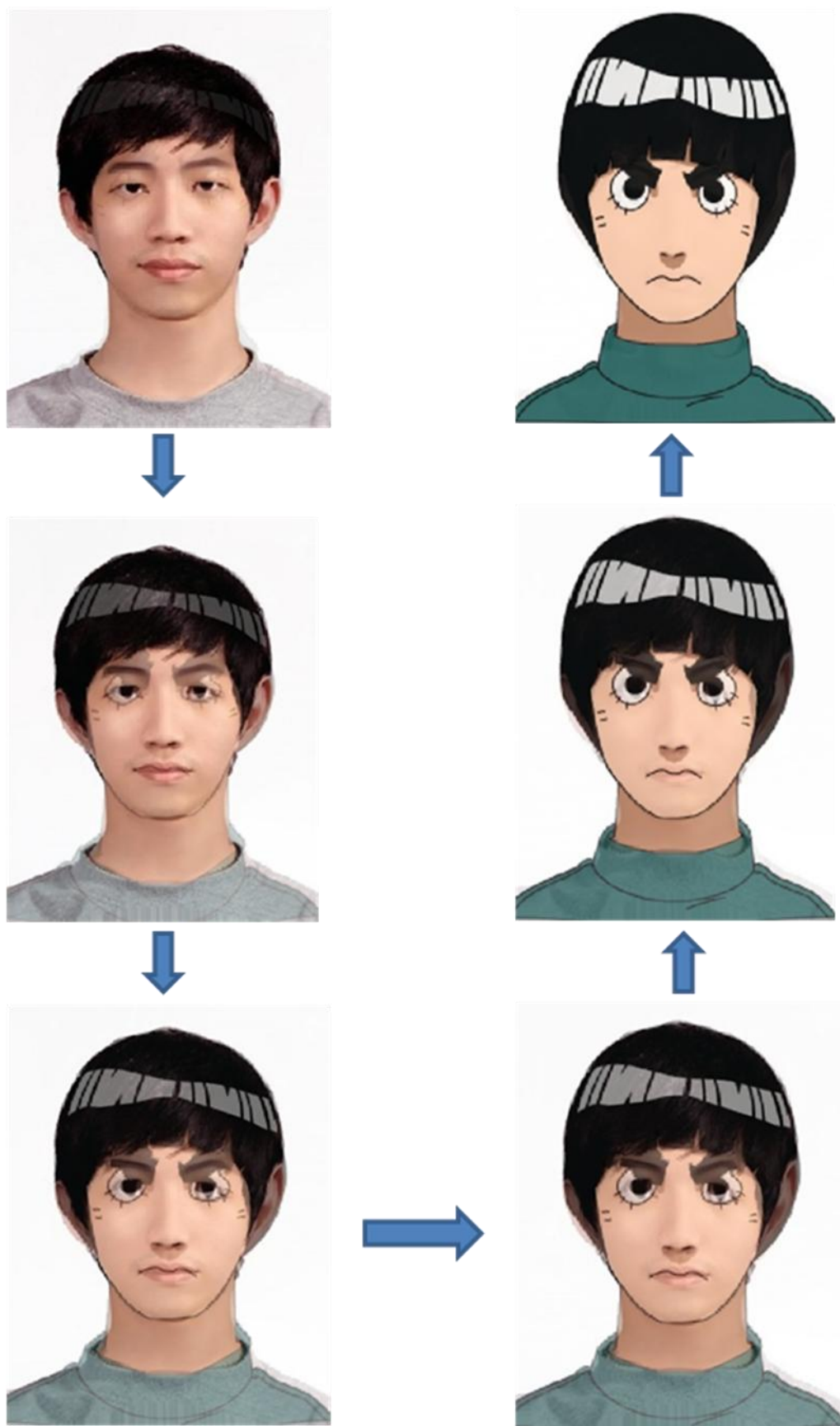


圖 25：人與卡通(火影忍者)做 Morphing

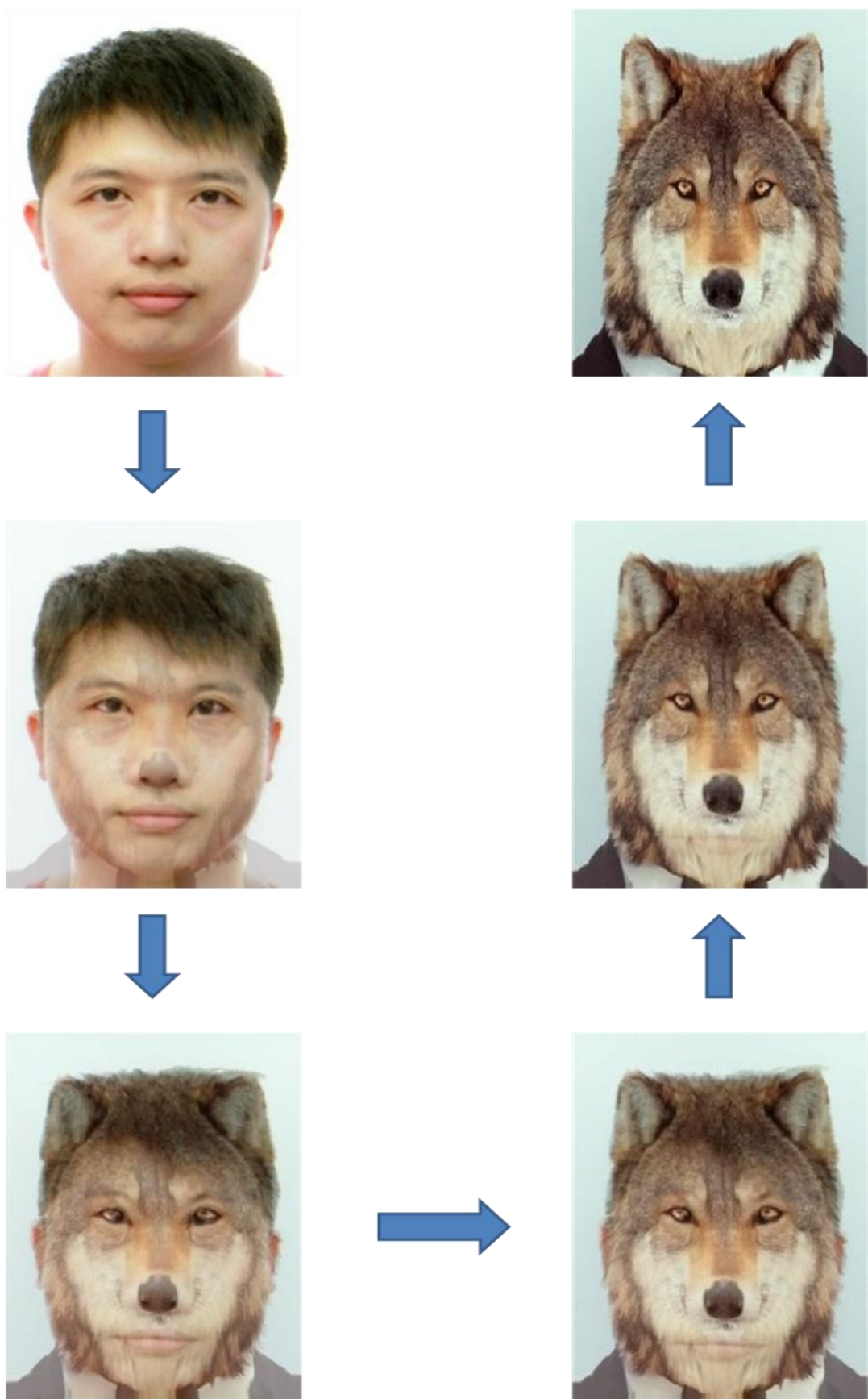


圖 26：人與動物(Zooportraits)做 Morphing

第五章 結論與未來展望

我們系統利用人臉偵測、特徵線拖曳和輪廓偵測的方式來達到支援輔助的效果，可以有效的減少 Morphing 繪製特徵線的時間，讓使用者透過簡單的操作即可以做出一些有趣的影像和動畫，Morphing 的使用非常廣泛，本研究中的與人與人、人與動物和人與卡通只是其中一小部分，Morphing 甚至可以利用在與交通工具、花草樹木、建築物等種種事物上面。

對於未來還有許多的功能可以附加，我們可以加入 Principal components analysis, PCA(主成分分析)，來增加人臉偵測的準確率，避免人臉特徵線生成的失敗。可在影像上做指定區塊的 Morphing，使得動物臉部的特殊紋理和人臉各部位(包含眼鏡、眼影和鬍鬚等)有更好的對應，呈現出更好的 Morphing 效果。在 cross-dissolving 的地方能夠做 Color blending 的改善使得成果更平滑。最後希望能將系統開發至行動裝置平台上，讓更多使用者能隨意、方便的使用。

Reference

- [1] OpenCV 中文網站:
<http://www.opencv.org.cn/>
- [2] 昨日 OpenCV 教學網誌:
<http://yester-place.blogspot.tw/>
- [3] 逍遙文工作室:
<http://cg2010studio.wordpress.com/>
- [4] 維基百科，2014，〈Morphing〉，
<http://en.wikipedia.org/wiki/Morphing>
- [5] 維基百科，2014，〈Viola – Jones object detection framework〉，
http://en.wikipedia.org/wiki/Viola-Jones_object_detection_framework
- [6] 2D Image Morphing Algorithms
<http://davis.wpi.edu/~matt/courses/morph/2d.htm>
- [7] Roger Claypoole, Jim Lewis, Srikrishna Bhashyam, and Kevin Kelly. ,
ELEC 539: Image Morphing ,
<http://www.owl.net.rice.edu/~elec539/Projects97/morphjrks/themainpage.html>
- [8] Yung-Yu Chuang, *Digital Visual Effects*, 《Image warping/morphing》
- [9] Gary Bradski, Adrian Kaehler , 2008 , 《Learning OpenCV》
- [10] Thaddeus Beier, Shawn Neely, “Feature-Based Image Metamorphosis”, *SIGGRAPH '92 Proceedings of the 19th annual conference on Computer graphics and interactive techniques* Pages 35 - 42
- [11] Detlef Ruprecht, Heinrich Muller, "Image Warping with Scattered Data Interpolation", *IEEE Computer Graphics and Applications*, March 1995 Page 37 March 1995, Pages 37-43

- [12] *Seung-Yong Lee, Kyung-Yong Chwa, Sung Yong Shin, "Image Metamorphosis Using Snakes and Free-Form Deformations" , SIGGRAPH 1995 SIGGRAPH 1995*
- [13] *George Wolberg, "Recent Advances in Image Morphing", CGI '96 Proceedings of the 1996 Conference on Computer Graphics International, Page 64*
- [14] *Lohmeyer, Mark Sebastian, "Digital image warping: theory and real time hardware implementation issues", Thesis (M. Eng.)--Massachusetts Institute of Technology, Dept. of Electrical Engineering and Computer Science, 1996. Includes bibliographical references Pages 93*
- [15] *Seungyong Lee, G. Wolberg, Sung Yong Shin, "Polymorph: morphing among multiple images", IEEE Computer Graphics and Applications, Vol. 18, No. 1, 1998, Pages 58-71*
- [16] *Peinsheng Gao, Thomas Sederberg, " A work minimization approach to image morphing" The Visual Computer 1998 pp390 The Visual Computer, 1998, Pages 390-400*
- [17] *George Wolberg, " Image morphing: a survey" The Visual Computer, 1998, pages 360-372*
- [18] *Mark Steyvers, " Morphing techniques for manipulating face images" Behavior research methods, instruments, & computers : a journal of the Psychonomic Society, Inc 31:2 1999 May Pages s 359-69*
- [19] *Oliver Jesorsky, Klaus J. Kirchberg, Robert Frischholz, " Robust Face Detection Using the Hausdorff Distance" AVBPA '01 Proceedings of the Third International Conference on Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, Pages 90-95*
- [20] *Shakhnarovich, G, " A unified learning framework for real time face detection and classification" Fifth IEEE International Conference on, 20 May 2002, pages 14-21*

- [21] *Paul Viola, Michael J. Jones, "Robust Real-Time Face Detection", International Journal of Computer Vision archive, Volume 57 Issue 2, May 2004 ,Pages 137 - 154*
- [22] *Eli Shechtman, " Regenerative Morphing" CVPR, 2010, Pages 615-622*