



國立勤益科技大學

電子工程系研究所

National Chin-Yi University of Technology

Department of Electronic Engineering

碩士論文

Thesis for the Degree of Master

利用類神經模糊網路於眼瞼長度量測之設計

Eyelids Length Measurement Using Neuro-Fuzzy

Networks

指導教授：林正堅 博士(Cheng-Jian Lin, Ph.D.)

研究生：鄧為仁(Wei-Jen Teng)

中華民國 99 年 7 月

July 2010

國立勤益科技大學
研究所碩士班
論文口試委員會審定書

本校 電子工程系 碩士班 鄧為仁 君

所提論文 利用類神經模糊網路於眼瞼長度量測之設計

合於碩士資格水準，業經本委員會評審認可。

論文口試委員會：

召集人：陳青文

委員：王德馨

林正堅

陳青文

指導教授：林正堅

所長：林熊徵代

中華民國九十九年七月

利用類神經模糊網路於眼瞼長度量測之設計

研究生：鄧為仁 指導教授：林正堅 博士

國立勤益科技大學電子工程系碩士班

摘要

由於現今時代的變遷，社會風氣的開放，假睫毛的使用已蔚為一種風潮，不再是藝人的專屬用品，而是愛美女性的必備品。然而，市面上所銷售的假睫毛並非專為每一個消費者設計，消費者在使用假睫毛之前，必須裁剪適合自身眼瞼的長度，以便黏貼。為了節省每次使用前裁剪的時間，以方便消費者使用，本論文乃透過人工智慧的方法求出眼睛上眼瞼的長度，為消費者量身訂做一組專屬於自己的假睫毛。

在人臉辨識的部份，本論文使用 YCbCr 找出整張影像中人臉的位置，利用人臉五官的特徵性找出眼睛的位置，再使用由上往下掃描去找出上眼瞼的位置。之後利用歐幾里德距離公式計算出眼瞼在於影像中的長度，接著透過我們所提出的函數類神經模糊網路(functional neuro-fuzzy network, FNFN)，以攝影機擷取影像中上眼瞼的長度作為輸入，輸出則為上眼瞼真實的長度。

我們提出的函數類神經模糊網路是利用一個函數鏈結類神經網路(functional link neural network, FLNN)當作模糊邏輯法則的後鑑部，其中在函數鏈結類神經網路的函數展開部分，主要是利用直交多項式和線性獨立函數的特性。因此，在函數類神經模糊網路後鑑部可以產生一個非線性的輸入變數組合，以此方式的設計更能增強函數逼近的準確度。在學習演算法部分，主要包含架構學習和參數學習。其中，架構學習是取決於熵值的測量來決定模糊法則的數量，而參數學習則是使用倒傳遞演算法來調整歸屬函數的形狀，和函數鏈結類神經網路所對應的權重值。

從實驗的結果證明，我們所提出的函數類神經模糊網路架構，亦能有效的應用於長度的偵測。本論文發展的系統是在 Intel 3.00GHz、記憶體 3.24G RAM 的電腦平台上執行，而測試影像則為台灣黃種人實際的上眼瞼影像，從實驗結果我們可以發現系統都維持穩定的偵測結果。

關鍵字：人臉辨識，眼睛偵測，眼瞼偵測，函數類神經模糊網路，熵，倒傳遞演算法。

Eyelids Length Measurement Using Neuro-Fuzzy Networks

Student : Wei-Jen Teng

Adivsor : Dr. Cheng-Jian Lin

National Chin-Yi University of Technology

Department of Electronic Engineering

ABSTRACT

Cosmetics industry has been flourishing in recent decades due to drastic social changes and technology advancement. Cosmetic products are no longer exclusively manufactured for artists or people of specific occasions, but for every woman who wishes to look more charming and fashionable. There is a wide range of cosmetic products serving different purposes, whose prices are affordable for most people. Today, applying make-up is more like a habit of most women, and false eyelashes have become one of the most frequently used eye make-up products. There are various kinds of false eyelashes made of different synthetic materials, and users need to spend much time on trimming the false eyelashes when

applying it. To facilitate the use of false eyelashes, we measure the length of eyelid by artificial intelligence, in order to produce tailor-made eyelashes for every user.

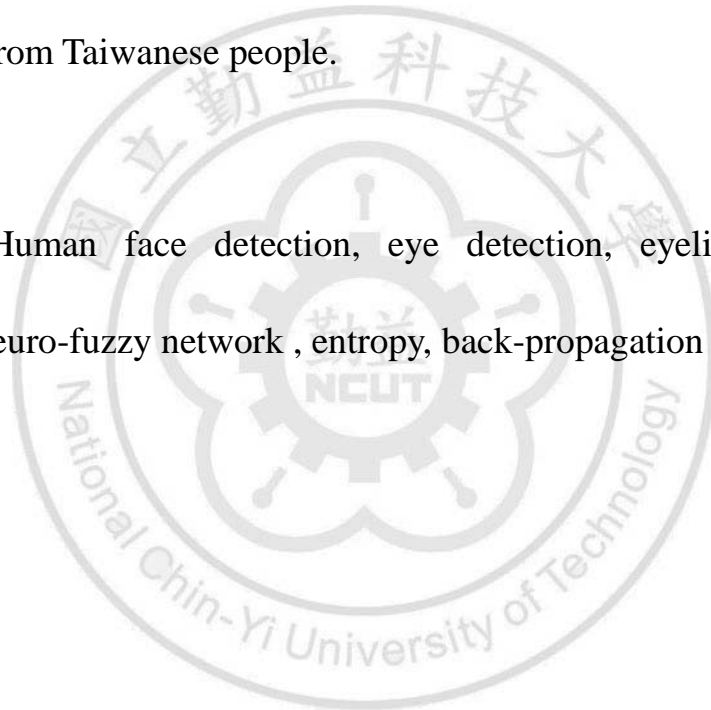
YCbCr model will be used to detect human faces and locate face features, and the location of an upper eyelid in the image can be recognized through fan-shaped scanning. By using the formula of Euclidean distance, the length of an upper eyelid is calculated. The derived length is then inputted to functional neuro-fuzzy network (FNFN) and the output will be the real distance of the upper eyelid.

The proposed FNFN model uses a functional link neural network (FLNN) to the consequent part of the fuzzy rules. This study uses orthogonal polynomials and linearly independent functions in a functional expansion of the FLNN. The FNFN model can generate the consequent part of a nonlinear combination of input variables. Thus, the design can improve the accuracy of functional approximation. The learning algorithm, which consists of structure learning and parameter learning, is also presented. The structure learning depends on the entropy measure to determine the number of fuzzy rules. The parameter learning, based on the back-propagation algorithm, can adjust the shape of the membership

function and the corresponding weights of the FLNN.

Although the length of upper eyelid is represented by a world coordinate converted from a camera coordinate, consistent experiment result does show that FNFN is a reliable framework used to detect a distance. The desktop operating system used for experiments equipped with Intel 3.00GHz processor and 3.24G RAM. Testing images are upper eyelids get from Taiwanese people.

Keyword: Human face detection, eye detection, eyelids detection, functional neuro-fuzzy network , entropy, back-propagation algorithm.



致謝

我首先要感謝不斷給予學生指導以及意見的教授林正堅博士，不管是在課業或是生活方面，教授總是在學生遇到困難或是瓶頸的時候，與學生們一同探討問題，並給予適時的建議，幫助學生能逐漸的進步，教授對於學生的用心以及教導，學生將會永記於心。同時，也非常感謝口試委員，陳青文教授及王德譽教授，在口試時不吝於給予許多寶貴的意見以及指教，使學生的論文能更加完善。

愛交朋友的我在此感謝實驗室的學長們，志峰學長、俊澄學長、政宏學長、俊杰學長、士傑學長、阿國學長、勇成學長、榮華學長、嘉俊學長以及建任學長，謝謝你們時常指教我們的課業，讓我們能快速進入狀況，而不會一直卡在想不通的問題裡，也感謝實驗室的同伴們，家瑚、筱吟、秋晨、鍾翰、盈名、俊佑及育嘉，在研究所中我們一同努力互相學習、互相幫助，互相吐槽打屁，與你們相處非常的愉快，同時也感謝其他間實驗室老師同學們，曾振東老師、林光浩老師及老巫同學，與你們在日本交換學生的生活日子裡，相處真的很融洽。還要感謝的有，研教組、教務處、研發處、電子系辦及資工系辦的所有同仁，時時幫助我們處理各種大大小小的瑣碎事務。

江氏所經營的勤益帝寶工作同仁，江荳、鳳茹姐、淑惠姐、阿國哥以及三哥等，在此感謝你們幫我打理生活上的點點滴滴，讓我在課

後之餘，有個美有的居住環境。

萱萱以及我的家人，我要感謝你們無私的奉獻，讓我可以無後顧之憂的全心的致力於研究上。在此，謹將此論文獻給我最親愛的家人、師長、學長姊、同學、學弟妹，願與大家來分享這難得的榮耀。



目錄

摘 要.....	I
ABSTRACT.....	III
目錄	VIII
表目錄.....	X
圖目錄.....	XI
第一章 簡介.....	1
1.1 動機.....	1
1.2 文獻探討.....	2
1.2.1 臉部偵測及辨識.....	2
1.2.2 眼瞼偵測及辨識.....	4
1.3 目標.....	6
1.4 論文架構	7
第二章 系統架構	8
2.1 前言.....	8
2.2 影像分析.....	10
2.2.1 臉部偵測.....	10
2.2.2 眼睛偵測.....	14
2.2.3 眼瞼偵測.....	24

2.3 函數類神經模糊網路.....	27
2.3.1 函數類神經模糊網路架構.....	28
2.3.2 一個線上學習演算法.....	32
2.3.3 上眼瞼量測實驗.....	40
第三章 實驗結果	47
3.1 實驗設備架設.....	47
3.2 眼瞼偵測實驗結果.....	48
第四章 結論及未來工作	53
Bibliography	55
個人簡歷	66



表目錄

表一 水平分量.....	17
表二 垂直分量.....	17
表三 二輸入或閘真值表	19
表四 眼瞼像素距離與真實距離對應表	40
表五 訓練資料與測試資料以及實際輸出對應表	42
表六 訓練資料與測試資料	45
表七 實驗設備.....	47



圖目錄

圖 1 眼檢長度量測方法流程圖	9
圖 2 膚色在三維分佈圖(a) YCbCr (b) HSV 色彩空間.....	11
圖 3 膚色在二維分佈圖(a) YCbCr (b) HSV 色彩空間.....	12
圖 4 HSV 與 YCbCr 比較圖(a)原始影像 (b)HSV 膚色偵測 (c)YCbCr 膚色偵測.....	13
圖 5 依膚色投影量找出臉部區域.....	14
圖 6 YCbCr 二值化後結果(a)原始影像 (b) 圖(a)二值化結果(c)眼 睛區域放大圖.....	15
圖 7 彩色影像轉灰階	16
圖 8 索貝爾水平方向邊緣偵測.....	18
圖 9 索貝爾水平邊緣偵測和 YCbCr 或閘運算後的影像.....	20
圖 10 相鄰元素標定演算法示意圖	21
圖 11 相鄰元素標定法演算法後的影像	22
圖 12 透過門檻值所保留區域	23
圖 13 眼睛偵測(a)示意圖(b)眼睛區域	24
圖 14 上眼瞼位置	25
圖 15 曲線分割示意圖	26
圖 16 上眼瞼像素距離	27

圖 17 函數鏈結類神經網路架構圖	30
圖 18 函數類神經模糊網路架構圖	31
圖 19 線上學習演算法流程圖	33
圖 20 函數類神經模糊網路方法的學習曲線圖	42
圖 21 眼瞼真實長度與函數類神經模糊網路方法所得長度之比對圖	43
圖 22 函數類神經模糊網路方法的學習曲線圖	45
圖 23 眼瞼訓練資料之真實長度與函數類神經模糊網路方法所得長度 比對圖.....	46
圖 24 眼瞼測試資料之真實長度與函數類神經模糊網路方法所得長度 比對圖.....	46
圖 25 測試平台	48
圖 26 (a)原始影像；(b)結果影像；(c)臉部偵測結果；(d)YCbCr 偵測 結果；(e)索貝爾水平邊緣偵測結果；(f)圖(d)二值化影像和圖(e)邊緣 偵測影像相加結果；(g)眼睛偵測結果.....	49
圖 27 (a)原始影像；(b)結果影像；(c)臉部偵測結果；(d)YCbCr 偵測 結果；(e)索貝爾水平邊緣偵測結果；(f)圖(d)二值化影像和圖(e)邊緣 偵測影像相加結果；(g)眼睛偵測結果.....	50
圖 28 實驗結果.....	52

第一章

簡介

1.1 動機

在現今科技發達的時代裡，數位影像的處理對於眼睛的分析[1-3]，多半著重於疲勞駕駛辨識[4-6]，虹膜辨識[7-9]以及臉部表情偵測[10-12]，鮮少將焦點著重美容產品的運用。因此，為了使眼睛分析的研究能在美容資訊產業更加深入的了解，所以本篇論文針對美容資訊產業之假睫毛，這項消費性產品進行探討及設計。

再加上近年來由於美容資訊的發達，美容產品業如雨後春筍般蓬勃發展，輕巧、簡便的美容產品，已逐漸成為愛美女性日常生活中不可或缺的一部份，為了追求如洋娃娃般的夢幻大眼，假睫毛的使用已蔚為一種風潮，不再是藝人的專屬用品，而是愛美女性的必備品。

在台灣，根據美容業者的資料顯示，過去的四十年當中，全台灣至少已有超過一千多萬人次在使用假睫毛，然而，美容業者卻只將心力專注於研發不同款式的假睫毛，其所銷售的假睫毛而並非專為每一個消費者之設計，因此消費者在使用假睫毛之前，必須裁剪適合自身眼

臉的長度，以便黏貼。而多數使用假睫毛的消費者，在裁剪的過程中都會出現將假睫毛裁剪的過長或過短的問題。因此，為了節省消費者每次使用前裁剪的時間，以及避免裁剪過長或過短的困擾，倘若能設計一套即時眼睛偵測與上眼臉長度的測量系統，不僅是消費者的福利，亦是美容界發展的一大進步。

1.2 文獻探討

因為人類的眼睛位在臉部內，而且臉部範圍比眼睛大，較容易在複雜影像中偵測出來，所以學者們先偵測出影像中的臉部，然後再由偵測出的臉部中去偵測眼睛部份。因此本節中先從相關的文獻中探討臉部偵測及眼睛偵測方法。

1.2.1 臉部偵測及辨識

臉部偵測的方法在[13-14]有綜合的探討，其中主要的方法大概可分為四種：

一、藉由學習機制(learning)

如類神經網路(neural network)[15]、主成分分析(principal component analysis, PCA)、支援向量機(Support Vector Machines)[16-17]、Kullback-Leibler Boosting[18-19]、高斯混合(Gaussian mixtures)[20]等，來取得臉部的特徵，再根據學

習來的特徵偵測人臉。此方法的優點是可以偵測包含兩人以上的影像，但缺點是除了必須事先擁有大量的影像資料庫外，執行時輸入的影像還必須符合資料庫的影像，否則偵測錯誤的機率很高。

二、樣板比對(template matching) [21]

事先建立人臉樣板，藉此偵測人臉。此方法的優點是執行速度快，但缺點是輸入影像的臉部範圍的大小以及頭部轉動的角度對偵測影響很大，所以對於臉部誇張表情或是表情變化多的臉部，會導致影像偵測錯誤。

三、數學模組

如幾何建模 (geometrical modeling)[22]、橢圓擬合 (ellipse-Fitting)[23-24]、霍夫轉換(Hough transform) 等，用數學式子表示臉部的特徵，由此偵測人臉。此方法的優點是能解決第二種方法的缺點，但是執行速度慢，不能即時的運作完成。

四、顏色分析(color analysis)

如 HSV(或 HSI)[25-26]、Lab、LUV[27]、HMMD[28]、TSL[29]、XYZ、YIQ、YES[30]、YCbCr[31-32]等。顏色分析方法是使用膚色值的資訊，在影像中偵測人臉。其優點是不

用建造資料庫，也不用複雜的數學，可在複雜背影的影像中，快速地偵測皮膚區域。

綜合以上所敘述四種方法的優缺點，本研究採取第四種顏色分析的方法來偵測影像中的人臉所在區域。許多學者分析影像中的皮膚值，定義出膚色的範圍值，除了使用傳統的 RGB，還有 HSV(或 HSI)、Lab、LUV、HMMD、TSL、XYZ、YIQ、YES、YCbCr 等顏色空間(color spaces)。這些顏色空間，都有一共通的目的，就是希望將色度(chrominance)與亮度(luminance)分開來。由於人種膚色的差異主要取決於膚質的明亮度，其影響多過於色度，此戶外光線隨時會變，若是先分離將能更準確地定義膚色值。

上述中最廣使用的顏色空間屬 YCbCr 顏色空間，及時使用亮度信號 Y 和色差信號 Cb 與 Cr，而且膚色值在 YCbCr 顏色空間中較容易界定範圍，其分佈形狀在 YCbCr 顏色空間中呈現集中且直立的帶狀，如圖 2 及圖 3 所示。

1.2.2 眼睛偵測及辨識

在影像中得到的臉部後，接著偵測眼睛部位，作法主要可分五種類型，有學習機制、模組、邊緣、位置和顏色。以下分別介紹。

一、學習機制

馬爾可夫模組(Markov models)[33]、機率主成分分析模組

(Probabilistic Principal Component Analysis model ,PPCA) [34] 和神經視覺模組(Neural visual model)[35]，事先使用多張眼睛的影像評估出眼睛的參數，之後可經由參數比對判斷輸入影像中眼睛的位置。其優點可從內含多人的影像中分別偵測出眼睛區域。但缺點為事前需要大量的影像資料庫來學習調整參數，而且進行偵測時花費時間過多。

二、模組(Template matching) [36]

事先設計出眼睛的影像樣本，用來掃描比對輸入影像，若是比對出近四度高的區塊則判定為眼睛。此方法的優點為將輸入影像進行像素點對像素點的比對，執行速度可以很快，但是缺點則是因為人類眼珠會轉動，而且頭部也會轉動，因此要設計許多不同情況的眼睛模組，這樣不僅設計不易之外，模組數量龐大也會降低比對時的執行速度。

三、邊線[37]

在平滑的臉部中，眼睛部份的邊界最稠密，所以只要在臉部範圍內判斷密集且成對的邊線區域即可偵測出眼睛。優點為偵測邊線的執行速度很快，不過缺點則是受到光線變化的影響大，而且臉部的輪廓何頭髮行程的邊界也會影響。

四、位置[38]

做法是利用眼睛在臉部的相對位置，在輸入影像中直接由

座標關係找出眼睛部位。其優點為速度很快，而其缺點則是頭部傾斜轉動時，就不能從相對位置找出眼睛。

五、顏色[39]

利用眼睛為膚色的特性，在影像中的臉部膚色區塊找尋空洞區塊，篩選出眼睛部位。此方法最大的優點為不論光線如何變化，眼睛部份會與膚色區塊的顏色不同，執行速度快。但是在強光下空洞數目不但增加且空洞面積會過大。

本論文結合了上述邊線、位置及顏色的影像偵測優點尋找眼睛區域。首先，利用顏色方法去找出眼睛與膚色的空洞，再利用邊線方法來補強眼睛的區域特徵，最後利用位置方法來找尋眼睛區域。

1.3 目標

一般來說，由於眼部神經的帶動，人類的上眼瞼長度會隨著睜眼及閉眼而改變，所以消費者在裁剪假睫毛時會出現裁剪過長或過短的問題。若裁剪過長，當我們閉上眼睛時，就會因為假睫毛過長的一端卡在眼角處而感到不舒服；相對地，若裁剪過短，則會在我們睜開眼睛時，因為假睫毛無法完全的緊貼於上眼瞼而導致假睫毛脫落。

因此，為了避免消費者在使用時的煩惱，以及節省在裁減上的時間，我們依照彩妝大師 Kevin 老師假睫毛教學[40]，以眼睛睜開的 5/6

做為依據，設計一套自動眼瞼長度量測之系統，來解決使用者的困擾。

1.4 論文架構

第一章主要是介紹本論文之研究動機，和近年來其他學者所發表的研究，以及本論文之研究目標與論文架構等；第二章主要是說明如何使用影像處理的 YCbCr 來針對人臉做辨識，和二值化方法對眼睛做定位，並利用索貝爾水平邊緣偵測(Sobel Edge detection)[41-43]來將斷點結合，最後利用由上往下掃描找出上眼瞼所在位置；接著透過函數類神經模糊網路來訓練輸入樣本[44]，以計算出上眼瞼的實際距離；第三章說明本論文之實驗結果；第四章則為結論及對於未來研究工作之建議。

第二章

系統架構

2.1 前言

在本論文中，透過彩色影像 RGB 轉換至 YCbCr 色彩空間，找出影像中臉部的區域，接著將我們所候選區域做 YCbCr 轉至二值化影像，及原始影像轉灰階影像，做索貝爾水平邊緣偵測，再將我們上述所得到的兩張影像做像素或閘運算(OR Gate)，再接著採用相鄰元素標定演算法(Connected component labeling)[45-47]來進行影像中各個獨立區域的標示，最後依據人臉特性(眉、眼、鼻、嘴)位置找出影像中的眼睛所在位置。

當我們找到眼睛所在位置，利用由左往右、由上往下掃描保留眼睛候選區域的第一點像素座標，將這些像素座標點連結起來，來得到上眼瞼曲線。之後利用歐幾里德距離公式[48]，求出上眼瞼的曲線長度。最後我們利用上眼瞼長度來做為函數類神經模糊網路的輸入，以實際長度為輸出。圖 1 為眼瞼長度量測方法流程圖。

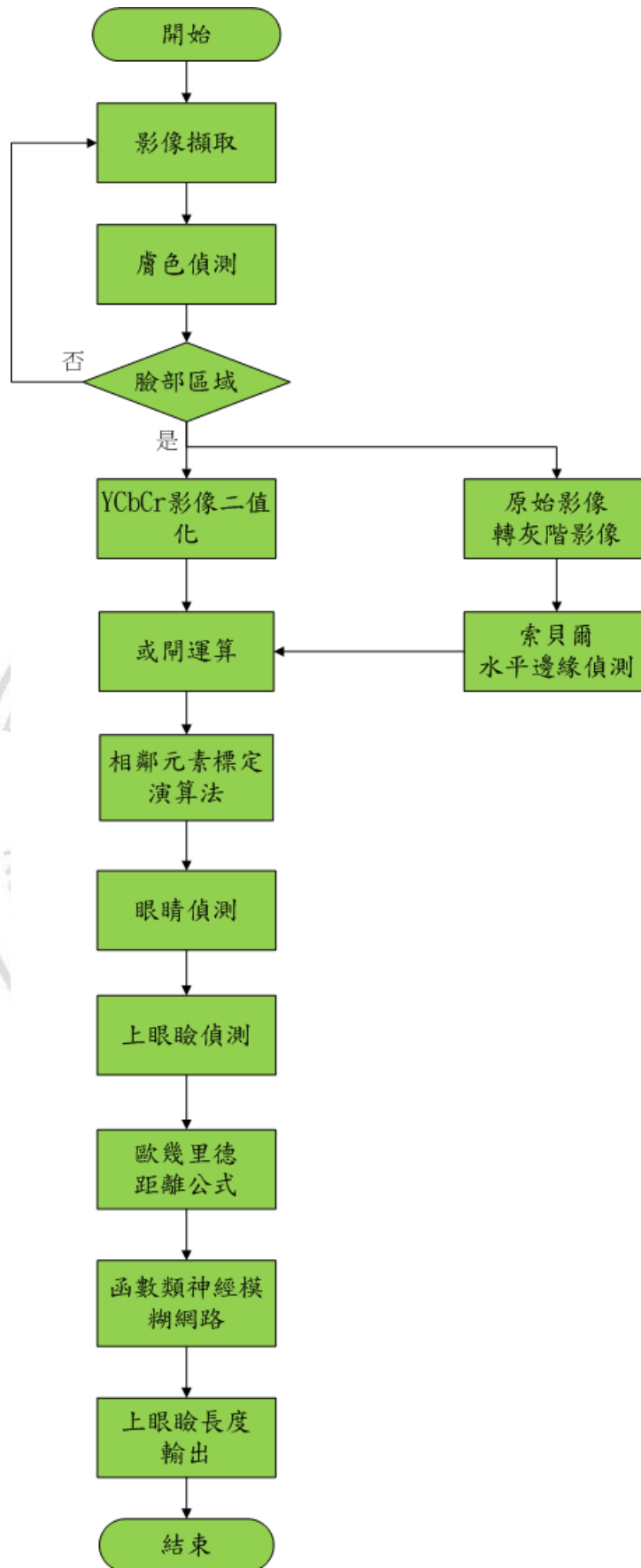


圖 1. 眼瞼長度量測方法流程圖

2.2 影像分析

隨著電腦運算能力與儲存技術的進步，越來越多的研究使用彩色影像或視訊來做人臉偵測，比起灰階影像，彩色影像可以提供更多的資訊作為特徵抽取或區域分割之用。這個章節主要是介紹如何利用膚色資訊來找出可能有人臉存在的區域，以節省在整張影像中尋找人臉的麻煩，因為在自然的環境中與皮膚顏色相近的情況很少。再者，同種族的人皮膚的顏色是相近的，即使是不同的人，或是在不同明暗的光線下，或是看起來較為白皙或黝黑。但是如果將這些膚色轉換到色彩空間中，並且抽離亮度元素後，膚色會收斂於一個小區域，所以使用膚色來偵測人臉是一個相當快速與可靠的方法。

2.2.1 臉部偵測

我們首先必須先定義出皮膚的顏色之後，才能順利找到輸入影像的膚色區域。選擇一種合適的色彩空間來對皮膚的顏色作為具體化的描述。在以往的研究當中，曾使用過的色彩空間有RGB、HSV、YCbCr、XYZ、YIQ、與YES 等，但對於HSV來講，由於對光線太過於敏感，導致在膚色空間上沒有較好的收斂性，反觀YCbCr，因為能夠從色彩中分離出亮度因素的 YCbCr色彩空間來定義膚色。並且YCbCr可分為：亮度元素(luminance，Y)與藍色色度(blueness，Cb)、紅色色度(redness，Cr)兩個彩度元素，相對於亮度的分離性高，以便

於和彩度分開之操作，適合使用於影像處理。其YCbCr色彩空間與RGB色彩空間的轉換關係如下：

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.168 & -0.331 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (1)$$

也因環境光源的變化對膚色判定影響甚大，在文獻[49]中即詳細的探討YCbCr及HSV的色彩空間對膚色分割的差別。膚色成份在YCbCr 及HSV色彩空間中的分佈分別如下圖2與圖3所示：

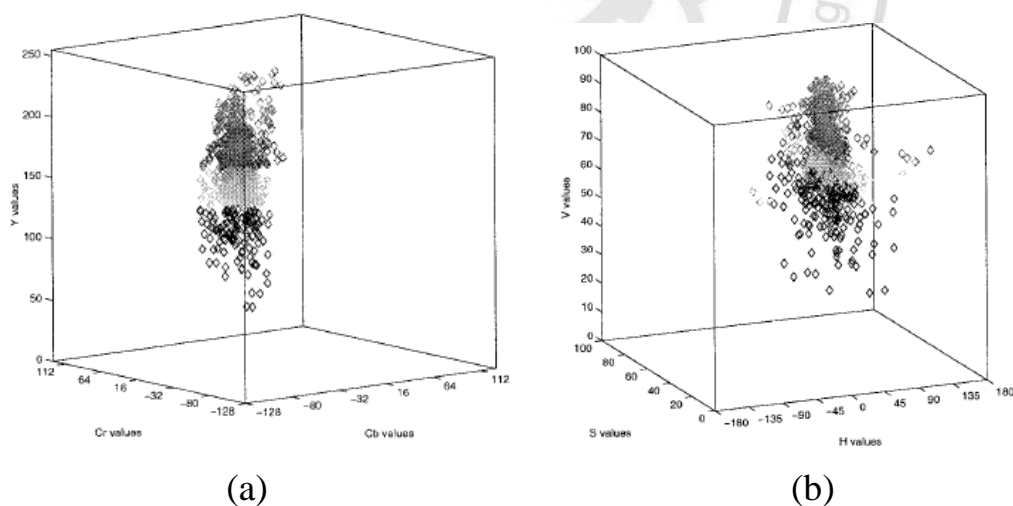


圖2. 膚色在三維分佈圖(a)YCbCr色彩空間和(b)HSV色彩空間

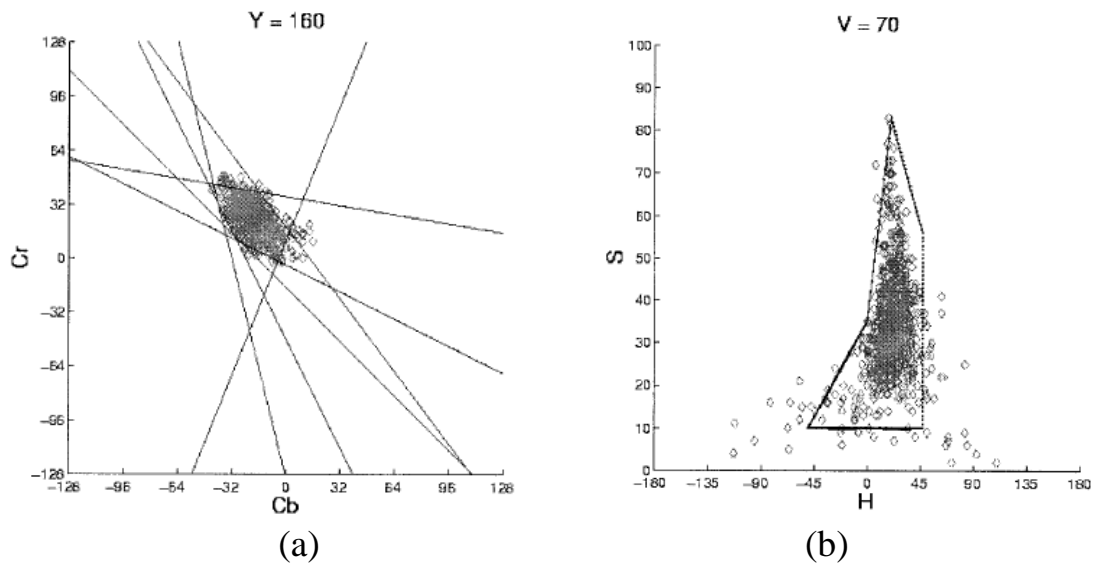


圖3. 膚色的二維分佈圖(a)YCbCr色彩空間及(b)HSV色彩空間佈圖

並且透過HSV及YCbCr實際的影像分析結果，如圖4所示。以

YCbCr做為人臉建模的切割，是一個較佳的分法。



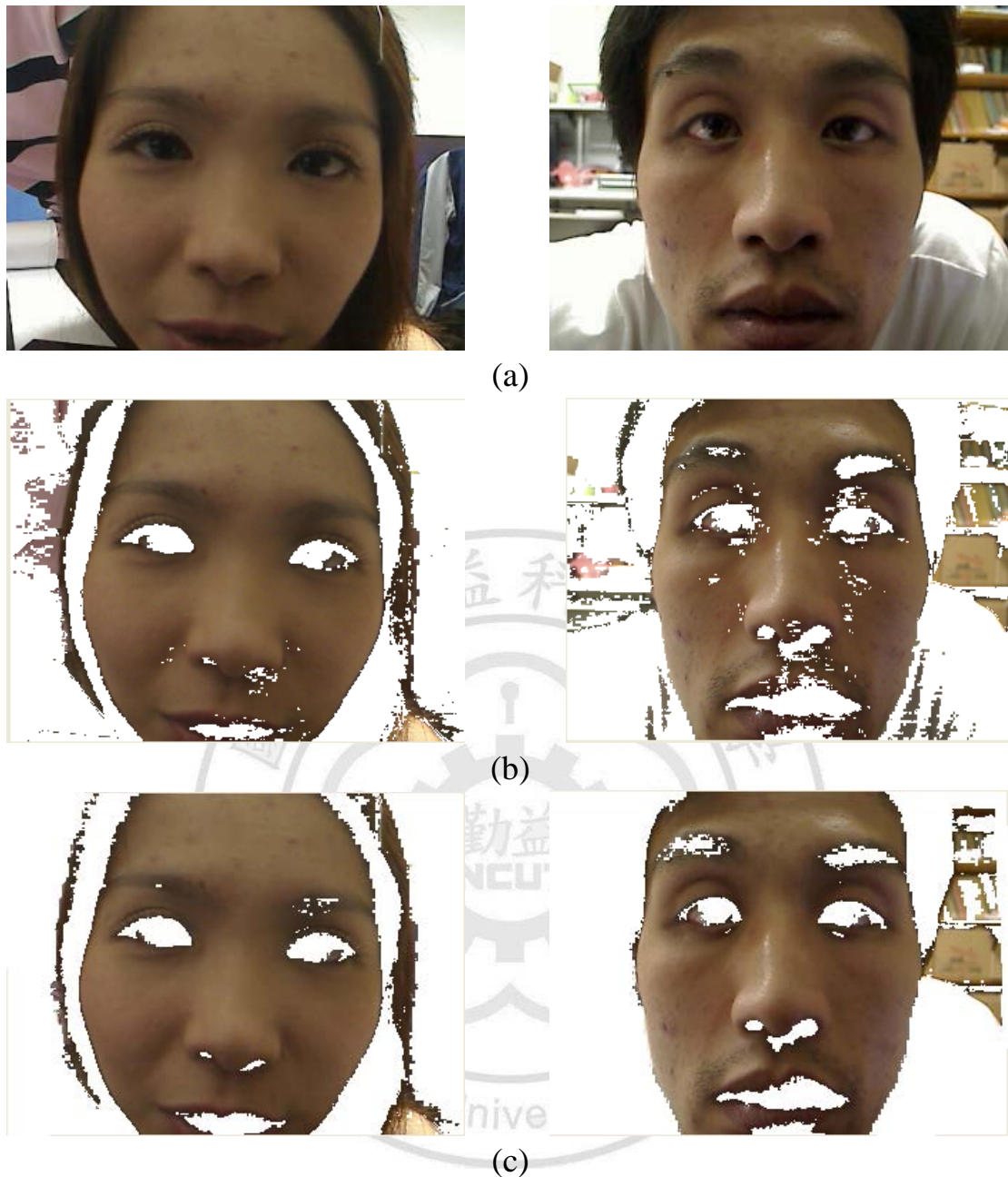


圖4. HSV與YCbCr的比較(a)原始影像、(b)HSV膚色偵測以及(c)

YCbCr膚色偵測

接著，我們藉由YCbCr膚色偵測後的結果去找出臉部區域，透過垂直投影量的投射找出膚色落在整張影像中的分佈，並且利用膚色垂直投影量的分佈去框出臉部區域。如圖5所示：

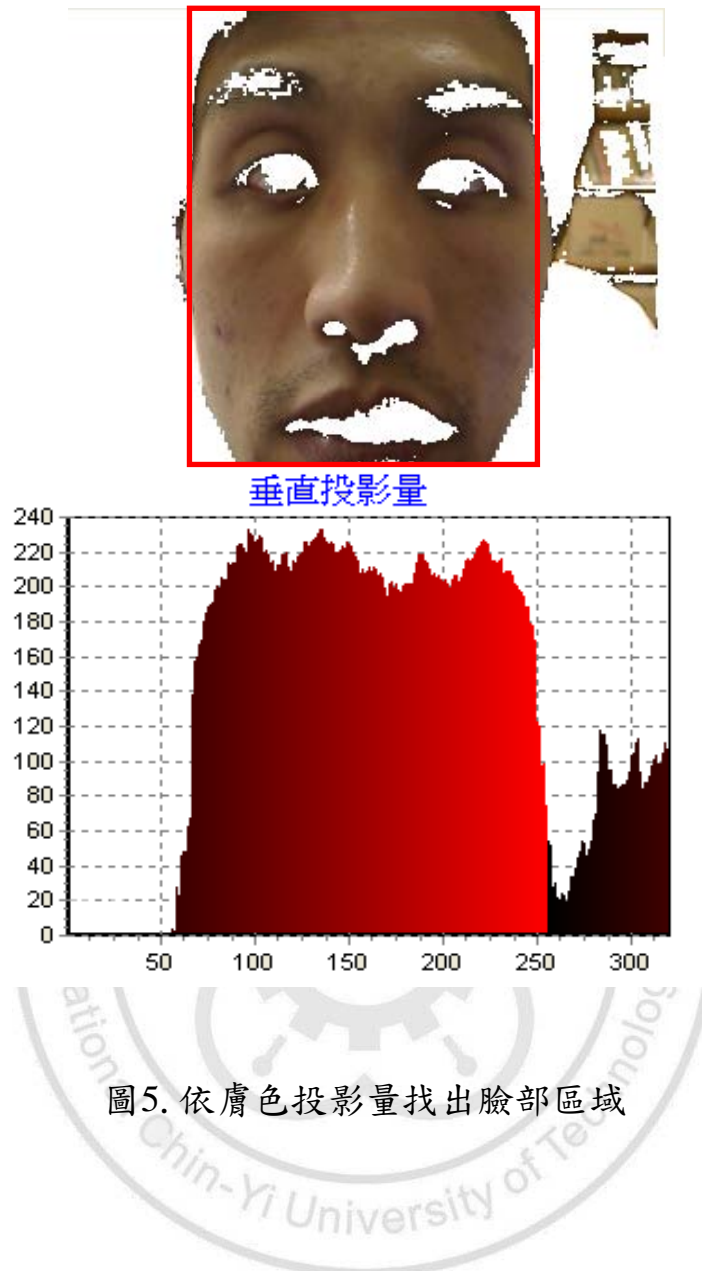


圖5. 依膚色投影量找出臉部區域

2.2.2 眼睛偵測

在眼睛偵測的部份，由於我們要求的眼瞼長度，必須要很明確的特徵才能得到精確的上眼瞼長度，因此我們將之分為兩部份做處理，第一部份是將 YCbCr 影像轉作二值化，第二部份為將臉部區域的影像做索貝爾水平邊緣偵測，最後將兩張影像做或閘運算，以做為後續重要特徵的處理。如果僅做 YCbCr 二值化處理，當影像做色彩空間

轉換時，若 Y 值、Cb 值或 Cr 值不介於我們所設定的門檻值中，則會導致有些重要特徵無法明確地顯示出來，如圖 6(c)所示。第一部份，將以上所得到臉部區域加以二值化的處理，二值化的門檻值定義如下：

$$\begin{aligned} 60 &\leq Y \leq 250 \\ 90 &\leq Cb \leq 135 \\ 135 &\leq Cr \leq 170 \end{aligned} \quad (2)$$

經由式子(2)所得到了二值化的影像，如圖 6 所示：

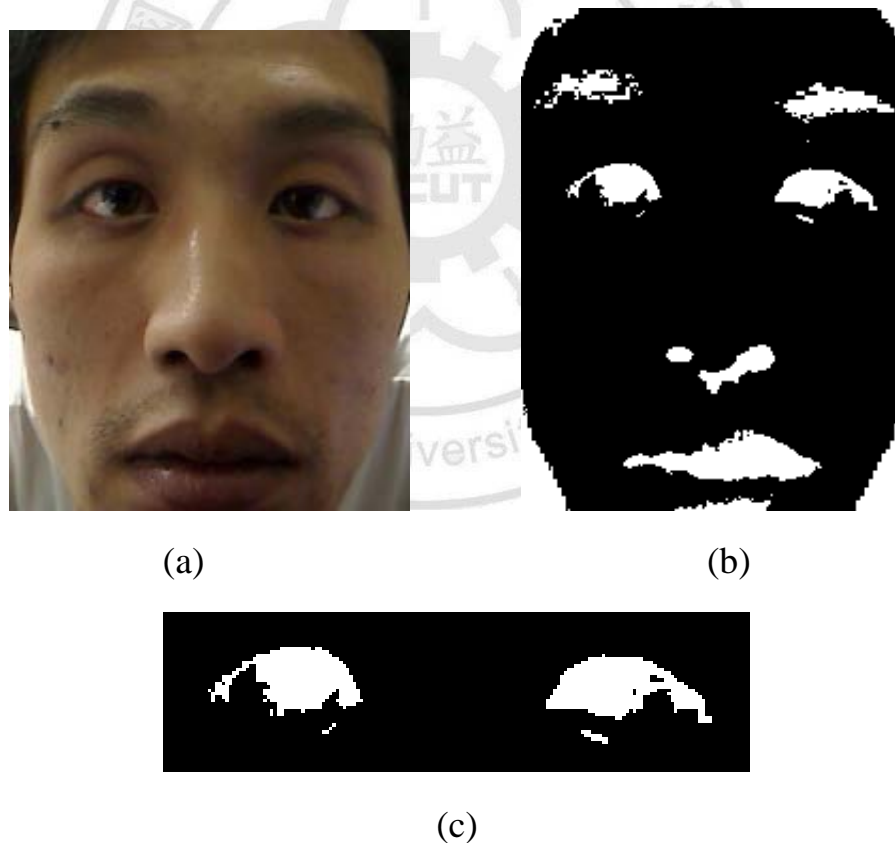


圖 6. YCbCr 二值化後結果(a).原始影像 (b).圖(a)二值化結果(c)眼睛區域放大圖

在圖 6(c)中，兩眼的眼窩與眼角處都有些眼瞼的特徵無法明確的顯現出來，為了避免此情況發生，因此我們會利用索貝爾水平邊緣偵測，補強 YCbCr 在色彩空間轉換後所遺失的眼瞼特徵值。

第二部份，將臉部候選區域使用彩色影像轉換成灰階影像，轉換方程式由公式(3)表示。

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

轉換方程式中，我們把圖片內候選區域的亮度資訊(Y 值)儲存起來，另一方面，I 代表 In-phase，色彩從橙色到青色，Q 代表 Quadrature-phase，色彩從紫色到黃綠色。I 值與 Q 值，因為視覺感官敏感度低的關係，所以沒有加以運用。

經過公式(3)，我們可以得到灰階影像如圖 7 所示。



圖 7. 彩色影像轉灰階

根據人臉特徵的特性，一張人臉影像中的特徵(例如：眉毛、眼睛、鼻子、嘴巴)於水平方向有著明顯的分佈性，藉此，利用索貝爾水平方向的邊緣偵測，可將其重要特徵呈現出來。

索貝爾邊緣偵測法是使用微分的概念設計出一組索貝爾運算子，如表一及表二所示。輸入影像在經過與這組運算子計算之後可以得到一組水平分量 G_x 、與垂直分量 G_y ，再經由 $\nabla f \approx |G_x| + |G_y|$ 求梯度，也就是把圖片顏色梯度變化最大的地方顯現出來。

表一 水平分量 G_x

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

表二 垂直分量 G_y

1	0	-1
2	0	-2
1	0	-1

在本文中只使用索貝爾水平邊緣偵測，所以只針對水平分量 G_x 加

以計算，所使用的水平遮罩(mask)，將圖 7 的灰階影像透過索貝爾水平邊緣偵測處理過後，影像即可明顯的將人臉特徵位置突顯出來，如圖 8 所示。



圖 8. 索貝爾水平方向邊緣偵測

若是僅做索貝爾水平邊緣偵測，雖然可以找到我們的五官特徵(眉，眼、鼻、嘴)，但是相對的找到的資訊過多，不利於判定哪一條才是正確的上眼瞼位置，如圖 8 所示。

透過以上敘述，我們可以得知其兩者有補強特徵之作用，因此將兩張影像做或閘運算，已得到更明確的特徵資訊，如圖 9 所示。

最後，將第一部份 YCbCr 二值化後的影像，以及第二部份索貝爾水平方向邊緣偵測的影像做或閘運算。或閘(OR Gate)是專門負責

或運算的邏輯閘，它有兩個以上的輸入端和一個輸出端，當任何一個輸入端為邏輯 255 時，輸出端必為邏輯 255，僅在輸入端全部為邏輯 0 時，輸出端才會為邏輯 0。或閘真值表如表三所示。

表三 二輸入或閘真值表

輸入端		輸出端
YCbCr	索貝爾	輸出影像
0	0	0
0	255	255
255	0	255
255	255	255

其用意是將兩張影像分別擁有的特徵值重疊，可以幫助我們明確的找出人臉五官的特徵。如圖 9 所示：

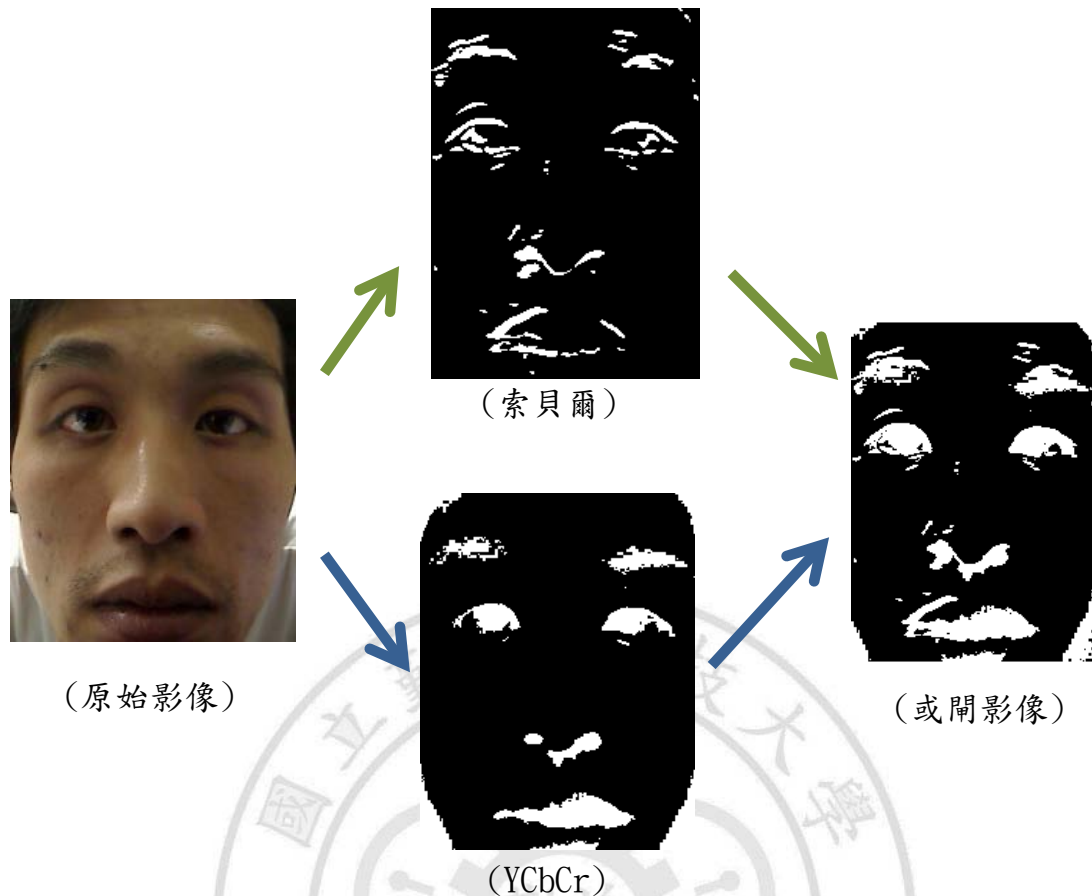


圖 9. 索貝爾水平邊緣偵測和 YCbCr 或閘運算後的影像

之後，我們採用相鄰元素標定演算法(Connected component labeling)來進行影像中各個獨立區域的標示，以順利找出眼睛的區域。相鄰元素標定演算法是圖學理論裡一個很重要且很基本的定理，他主要的用意就是將一張圖畫分成數個區塊，一般分為四方向鄰邊偵測(上、下、左、右)，以及八方向鄰邊偵測(上、下、左、右、右上、右下、左上、左下)。由於要處理的影像分佈區域較為複雜，因此論文中採用八方向鄰邊偵測的方式來進行各個區域的標示，其執行步驟和示意圖 10 如下所示。

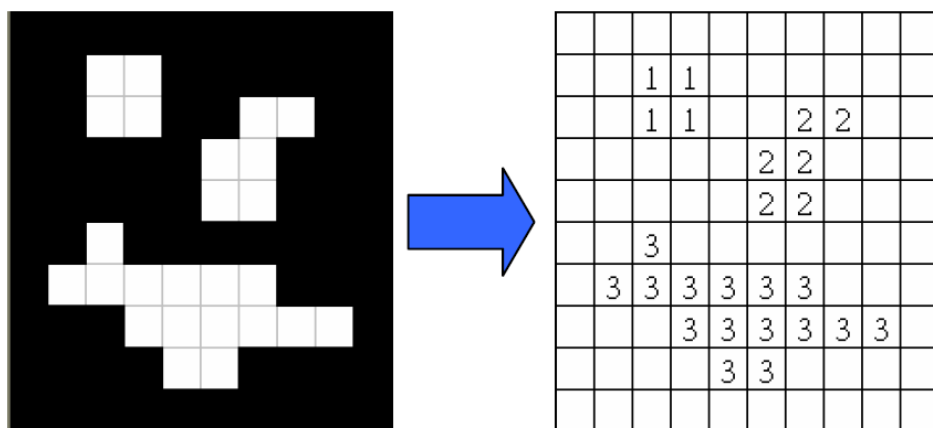


圖 10. 相鄰元素標定演算法示意圖

相鄰元素標定演算法的執行步驟：

1. 將影像二值化
2. 使用光柵掃描(raster scanning)方式依序搜尋影像中的每個像素(pixel)。
3. 遇到沒有標籤值的像素時，檢查其周圍已經掃過的像素是否有標籤值。
4. 當周圍有像素時，使用最小的標籤值做為該像素的標籤值。
5. 當周圍存在兩個以上不同的標籤值時，則先做記號等全部掃描結束後，再統一改為一樣的標籤值，如圖 11。



圖 11. 相鄰元素標定演算法後的影像

當我們得到獨立區域時，會去分別計算每個獨立區域的總像素和。再依照眼睛與臉長、臉寬的比例關係，設定出判斷眼睛區域大小的門檻值，上限門檻值為 $1/2$ 的臉寬 $\times 1/4$ 的臉長[50]的像素總和，下限門檻值為 $1/5$ 的臉寬 $\times 1/8$ 的臉長[51]的像素總和，如公式(4)所示。

$$\begin{aligned}
 T_{\max} &= \frac{1}{2} Face_{\text{width}} \times \frac{1}{4} Face_{\text{height}} \\
 T_{\min} &= \frac{1}{5} Face_{\text{width}} \times \frac{1}{8} Face_{\text{height}}
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

因為依照上述的比例，眼睛不會大於或小於此門檻值，如果該區域像素總和不在此範圍內，我們就將其視為雜訊，則將此獨立區域濾除，否則保留。由此一來，我們就可以保留臉上的五官的位置，如圖 12 所示。

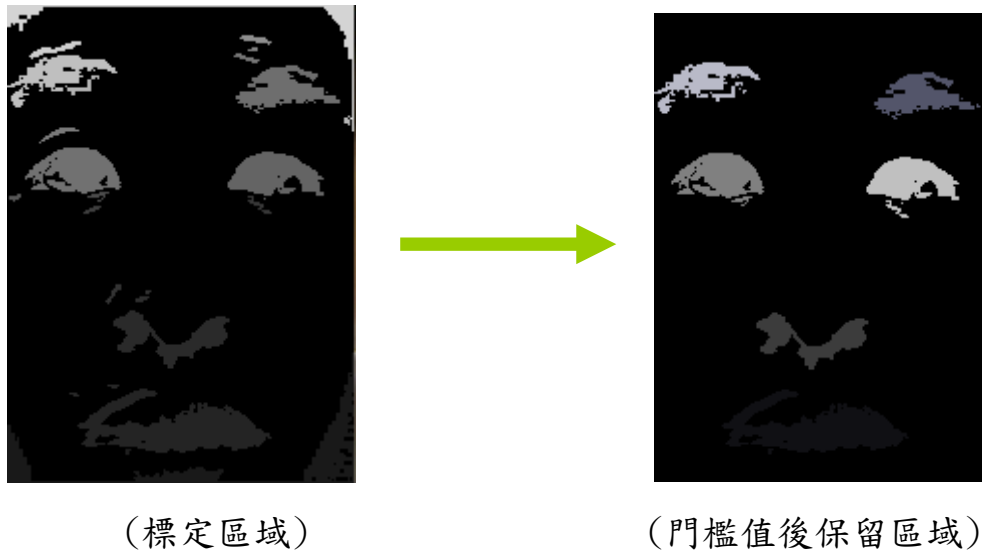
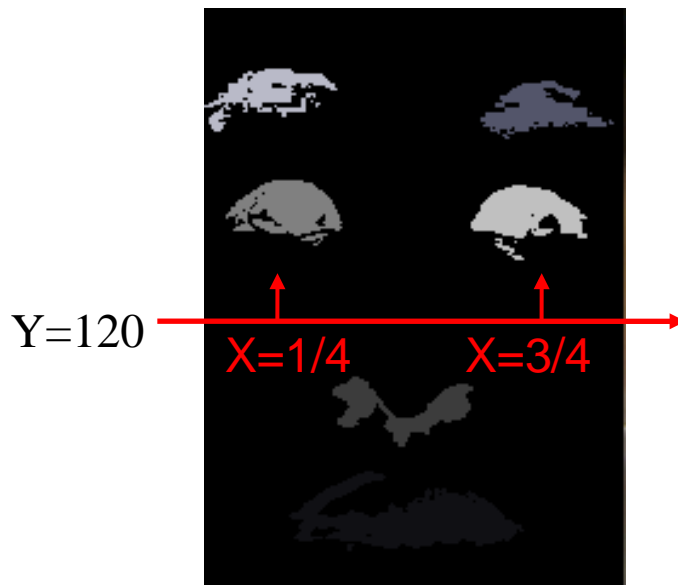


圖 12. 透過門檻值所保留區域

接著利用人臉五官的特徵位置進行搜尋，由於眼睛位於人臉的上方以及臉寬的左右兩側，所以將以 $Y=120$ ， $X=1/4$ 與 $X=3/4$ 處，由下往上找尋到的第一區保留，其餘則不保留，如此一來我們便可以框出眼睛的所在位置，由圖 13 說明。



(a)



(b)

圖 13. 眼睛偵測(a)示意圖；(b)眼睛區域

2.2.3 眼瞼偵測

依照市面上所銷售的假睫毛使用說明，假睫毛黏貼的位置位於眼瞼的上方，因此為減少資料量，所以不需要考慮眼睛內部即下眼瞼的辨視情況。只需要考慮上眼瞼即可，並且為了減少資料過於複雜處理

計算，因此我們將眼睛區域的影像由左而右，由上往下掃瞄，僅保留每一行所碰到的第一個邊緣像素點，其他的像素點則不保留，如此一來便可以得到上眼瞼的位置，如圖 14 所示。



圖 14. 上眼瞼位置

接著為了取得眼瞼長度，則透過每一行所保留的第一個像素點，經由歐幾里德距離公式進行點到點的距離量測來計算之長度，如圖 15 所示。假設將眼瞼曲線區間 $[a,b]$ 分割成 n 個子區間，由點 $a = x_0 < x_1 < x_2 < \dots < x_n = b$ 所組成，將此曲線分成 n 段，端點為 P_0 、 P_1 、 P_2 、 \dots 、 P_{n-1} 、 P_n 。

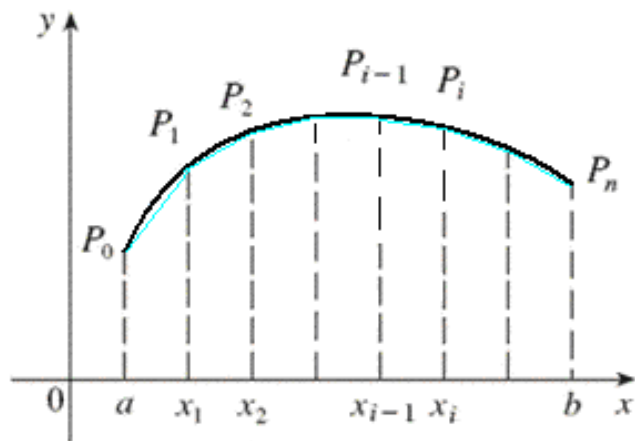


圖 15. 曲線分割示意圖

若將此曲線分割越細 (n 越大)，則 $\overline{P_0P_1} + \overline{P_1P_2} + \dots + \overline{P_{i-1}P_i} + \dots + \overline{P_{n-1}P_n}$ 越接近曲線的實際長度。

因此曲線長度為：

$$L = \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \overline{P_{i-1}P_i} \quad (5)$$

透過公式(5)，我們可以得到影像中的上眼瞼的像素距離，如圖 16 所示。



圖 16. 上眼瞼像素距離

2.3 函數類神經模糊網路

類神經網路 (Neural Network) [52-55]與模糊理論(Fuzzy Theory) - 目前均被成功地應用在各個不同的領域上，同時也是目前研究上的一個熱門議題。類神經網路與模糊邏輯彼此是互補的技術。類神經網路可由所要學習或控制的系統中萃取資訊。而模糊技術通常直接的使用由專家所提供的口頭資訊。一種用來獲取兩者的優點並同時解決個別缺點的可行方法，便是將兩者結合成一套整合系統。如前所述，這兩者之間有許多的相似性，而這種相似性正提供兩者間結合的可行性的一個不錯的依據。

結合的系統將具有類神經的優點 (如：學習能力、最佳化能力、連結式的結構)，與模糊邏輯系統的優點 (如：接近人類的思考行為，

容易結合專家知識)。依此，可把類神經這種低階的學習與計算功能應用在模糊邏輯系統上，並且把模糊邏輯系統這種高階的，接近人類思考，推理的功能應用在類神經網路上。如此一來，在類神經網路這方面，整個網路結構將透明化，這使得它更像模糊系統。相對的，模糊系統自我調整的功能，將使它更接近類神經網路。

2.3.1 函數類神經模糊網路架構

函數鏈結類神經網路(FLNN)最初是由 Patra 等人[56]提出，作者藉由基本函數近似定理，隨機線性組合輸入信號，擴展輸入信號空間，成功地將多層感知機中的隱藏層省略掉，並簡化多層感知機的架構，使函數鏈結類神經網路結構具有比多層感知機結構更快的收斂速度及較少的計算負荷。作者同時也證明函數鏈結類神經網路的性能優於多層感知機。函數鏈結類神經網路的函數近似採用三角函數多項式去擴展輸入信號空間的維度，也成功地應用在非線性動態系統的識別與非線性通道等化。函數鏈結類神經網路是將輸入信號 $\mathbf{X} = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_n]^T$ 經函數展開成 $\Phi = [\phi_1(x) \ \phi_2(x) \ \dots \ \phi_N(x)]^T$ ， N 個線性獨立的函數，將 n 維信號空間應對至 N 維信號空間，即 $R^n \rightarrow R^N$ ， $n < N$ ；它的理論基礎在[56]中討論與分析，其主要的目的是將原先在低維度信號空間線性不可分離之問題轉換到高維度信號空間，藉以形

成線性可分離之問題，以便還原正確信號。此應對函數有多種選擇，譬如：Legendre、Chebyshev 多項式和三角函數 $\sin(x)$ 或 $\cos(x)$ ，其中以具有 N 次部分和的 Fourier 級數為最佳近似函數。因此，三角基底函數 (trigonometric polynomial basis functions) 可由 $\{1, x_1, \sin(\pi x_1), \cos(\pi x_1), \dots, x_2, \sin(\pi x_2), \cos(\pi x_2), \dots\}$ 組成，若輸入信號有超過 2 個以上的變數，其外積項(outer product terms)加上三角基底函數當做函數擴展(function expansion)，會有較佳之收斂效果。Patra 等人證實在如此函數擴展選擇下，利用倒傳遞學習演算法，函數鏈結類神經網路應用在非線性動態系統識別上，其應對準確度比多層感知機好很多。函數鏈結類神經網路的架構如圖 17 所示， $S = \mathbf{W}\Phi$ ，此處 $S = [s_1, s_2, \dots, s_m]^T$ ， \mathbf{W} 是 $(m \times M)$ 維的加權矩陣， S 再經非線性函數 $\rho(\cdot) = \tanh(\cdot)$ 產生 $\hat{\mathbf{Y}} = [\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_m]^T$ ，此處 $\hat{y}_j = \rho(s_j)$, $j = 1, 2, \dots, m$ 。轉移函數選擇雙曲正切函數 $\tanh(\cdot)$ (hyperbolic tangent function) 主要的原因是作者採用倒傳遞演算法訓練網路， $\rho(\cdot)$ 必需可微分，以便求出誤差函數 (error function) 的梯度 (gradient)，使誤差值逼近最小。

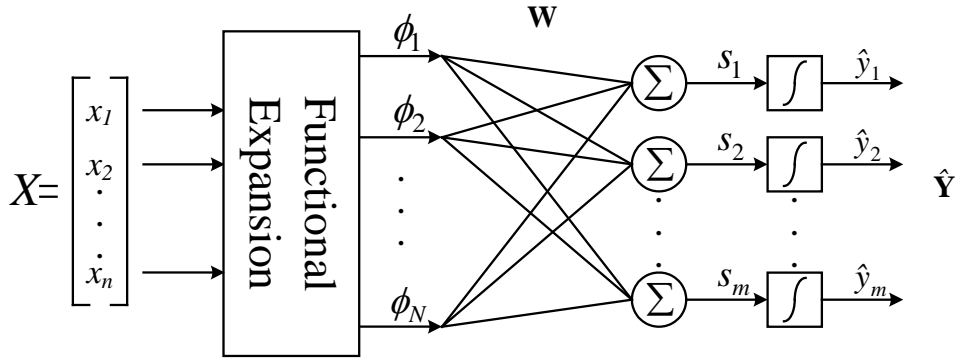


圖 17. 函數鏈結類神經網路架構圖

圖18為函數類神經模糊網路的架構圖，函數類神經模糊網路(FNFN)是整合了傳統TSK-type類神經模糊網路及函數神經網路，主要是利用函數鏈結類神經網路的特性取代了TSK-type類神經模糊網路的後鑑部，整個網路架構可區分為五層，第一層和第五層分別代表輸入層和輸出層，第二層為歸屬函數層，第三層為法則層，第四層為同步接收函數神經網路的輸出訊號及第三層輸出訊號。在此架構中，是以非線性組合作為推論部，此種方式的模糊法則如下表示之：

Rule-j: IF x_1 is A_{1j} and x_2 is A_{2j} ... and x_i is A_{ij} ... and x_N is A_{Nj}

$$\begin{aligned} \text{THEN } \hat{y}_j &= \sum_{k=1}^M w_{kj} \phi_k \\ &= w_{1j} \phi_1 + w_{2j} \phi_2 + \dots + w_{Mj} \phi_M \end{aligned}$$

其中*Rule-j*指出第j個法則， A_{ij} 是模糊集合， x_i 為網路輸入變數，推論部是利用函數神經網路的局部輸出 \hat{y}_j 表示出一連串非線性組合。

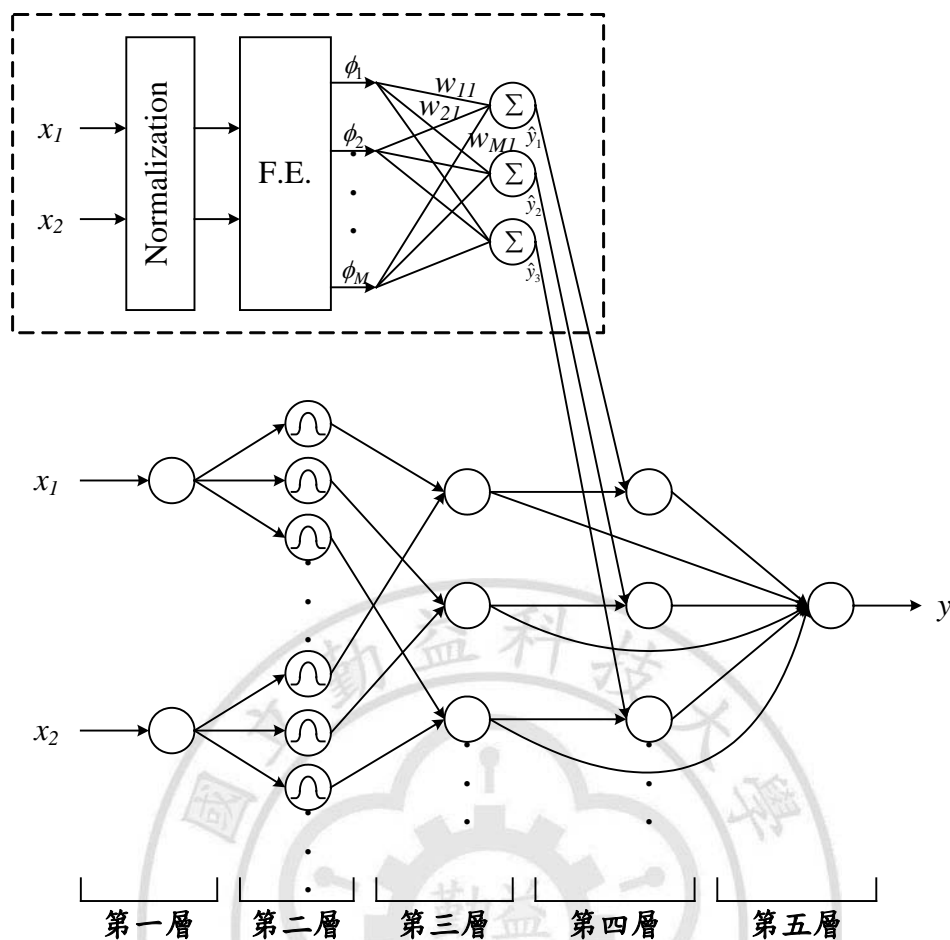


圖18. 函數類神經模糊網路架構圖

以下我們將對此五層架構加以說明：

第一層：在這一層中每個節點稱為輸入項節點(input term node)，且其對應一個輸入語言變數，在此節點中，只是把輸入訊號直接傳輸至下一層，即

$$u_i^{(1)} = x_i \quad (6)$$

第二層：在這一層中每一個節點稱之為輸入語意識的節點(input linguistic node)，本層之主要功能相當於模糊控制中之模糊化介面，其歸屬值表示一輸入值屬於一模糊集合的程度。在這層中我們採用高

斯歸屬函數(Gaussian membership function)，其關係為

$$u_{ij}^{(2)} = \exp\left(\frac{-[u_i^{(1)} - m_{ij}]^2}{\sigma_{ij}^2}\right) \quad (7)$$

其中 m_{ij} 和 σ_{ij} 表示高斯歸屬函數之中心點(center)及寬度(width)。

第三層：在這一層中節點稱為法則節點(rule node)，而每一個節點代表一個模糊法則，此層完成模糊邏輯法則前鑑部匹配工作，所以此模糊節點完成模糊且(fuzzy AND)或積(product)動作

$$u_j^{(3)} = \prod_i u_{ij}^{(2)} \quad (8)$$

第四層：在這一層中節點稱為後鑑部節點(consequent node)，為同步接收函數神經網路的輸出訊號及第三層輸出訊號。

$$u_j^{(4)} = u_j^{(3)} \cdot \sum_{k=1}^M w_{kj} \phi_k \quad (9)$$

第五層：此層的節點稱為輸出節點(output node)，在此層中，將完成解模糊化的動作

$$y = u^{(5)} = \frac{\sum_{j=1}^p u_j^{(4)}}{\sum_{j=1}^p u_j^{(3)}} = \frac{\sum_{j=1}^p u_j^{(3)} (w_{0j} + \sum_{i=1}^n w_{ij} x_i)}{\sum_{j=1}^p u_j^{(3)}} \quad (10)$$

2.3.2 一個線上學習(on-line learning)演算法

線上學習演算法包括一架構學習(structure learning)和參數學習(parameter learning)演算法，如圖19所示。架構學習包含輸入空間的分割和模糊法則的建立。而參數學習主要為了調整網路中所有的參

數。所發展的網路剛開始時，並無節點(即模糊法則)的存在，模糊法則的產生由線上同時進行的架構與參數學習所完成。

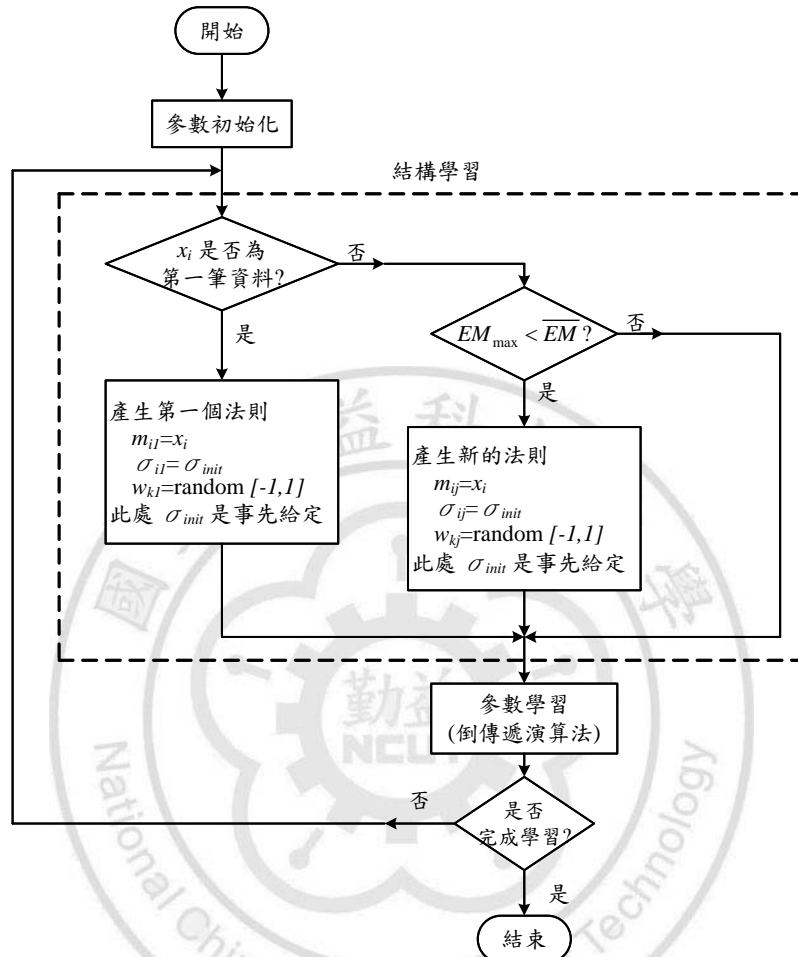


圖19. 線上學習演算法流程圖

(1)、架構學習

對於架構學習，在線上學習演算法中，我們設計的機制是只有二種條件下才會產生模糊法則。第一，當第一筆訓練資料進行學習時。第二，評估當前的訓練資料和目前網路架構中所有歸屬函數的關係，假若目前網路架構中所有歸屬函數無法滿足當前的訓練資料，我們必

須產生新的法則對於當前的訓練資料。在這機制中，我們將使用熵的量測(entropy measure)來評估是否該產生新的法則。此機制不同於 Juang[57]採用的程度量測(degree measure)，因為程度量測對於訓練資料和歸屬函數間的計算比較直接和敏感，所以需要常常嘗試錯誤(try and error)。

◆ 熵(entropy)

Shannon發展資訊系統之訊息熵理論[58]，以訊息出現機率測度訊息的不確定程度，而建構出熵模式以具體衡量資訊系統的亂度。Shannon的熵定義為：

$$H(P) = -\sum_i^N p_i \log p_i \quad (11)$$

明顯地，Shannon的熵是隨機變數*i* (訊息量)的期望值，反映了訊息傳輸的平均訊息量。由式(11)可知計算 $p_i \rightarrow 1$ ，則 $H(P) \rightarrow 0$ ，即訊息出現的機率愈大則熵值愈小，表示了當出現某種訊息愈確定，則傳輸之平均訊息量愈少，亦即訊息出現的規則性愈大，不確定性程度低；具體涵義為，量測一事件訊息之多少，稱為訊息量，訊息量有兩個特徵，首先是一個可能事件所包含訊息量是由該訊息發生之機率決定，發生機率愈大，所包含之訊息量愈小，反之，發生機率愈小，則所包含之訊息量愈大；其次，事件之訊息量具有可加性，若兩

個相互獨立之事件同時發生，其總和訊息量為各事件訊息量之和。因此Entropy也可引申為衡量資訊或事件分佈狀態的指標，將之定義為不確定性的指標，混亂的程度。

由於樣本輸入空間中的一個叢集，對應到某個可能的模糊邏輯法則（該叢集的平均數與變異數，分別以 m_{ij} 與 σ_{ij} 表示），因此，架構學習的第一步驟，乃是根據訓練樣本集中所有輸入樣本的全域特徵，決定是否應增加新的模糊法則與模糊集合的個數。對每個序列 x_i 而言，模糊法則的激發量，會由輸入序列所屬的叢集的程對應度所決定。各個資料點與歸屬函數之間的熵量，計算方式則與上述相仿。換言之，數值靠近平均數的資料點，將會配以較小的熵量。因此，資料點與現有歸屬函數之間的熵量，乃是用以決定是否需要新增一個模糊法則。就運算效率而言，熵量的衡量可由 $u_{ij}^{(2)}$ 的激發量來計算，其定義如下：

$$EM_j = -\sum_{i=1}^N D_{ij} \log_2 D_{ij} \quad (12)$$

其中 $D_{ij} = \exp(u_{ij}^{(2)-1})$ 且 $EM_j \in [0,1]$ 。根據式（12）所述，對於新讀入的資料，該式用以產生新的模糊法則、以及新的函數連結基底 (functional link bases)，而最大熵量的定義，則如下所述：

$$EM_{\max} = \max_{1 \leq j \leq R(t)} EM_j \quad (13)$$

其中 $R(t)$ 表示在時間點 t 下現有的法則的數量。如果 $EM_{\max} \leq \overline{EM}$ 則應增加

一個新的法則，而 $\overline{EM} \in [0,1]$ 為一個事先給定的門檻值，將會在學習過程中，逐次縮小。

在架構學習的部分，門檻值 \overline{EM} 是個重要的參數，並且設定在0與1之間。較低的門檻值會導致進行學習的標的叢集相對稀疏，亦即只會產生較少的模糊法則；相反地，高門檻值會引致相對精細的學習叢集，並生成較多的模糊法則。另外，若是門檻值設定為零，則所有的訓練樣本，都將屬於樣本空間中的同一叢集。因此，門檻值 \overline{EM} 的選擇，將會嚴重影響相關的實驗結果。基於大規模且詳細的進行實驗，與仔細地選定門檻值 \overline{EM} ，我們可以歸納出 \overline{EM} 與輸入變數數量之間的關係。因此， \overline{EM} 可定義為0.26至0.3倍的輸入樣本的數目。

一旦一個新的法則生成，下一步驟就是給定平均數及變異數的初始值給新產生的歸屬函數、以及後部的相關連結權重。因為訓練的目標是將目標函數最小化，平均值、變異數與權重都將在其後的參數學習階段中進行調整。因此，對新產生的法則而言，平均值、變異數與權重應設定如下：

$$m_{ij}^{(R_{t+1})} = x_i \quad (14)$$

$$\sigma_{ij}^{(R_{t+1})} = \sigma_{init} \quad (15)$$

$$w_{kj}^{(R_{t+1})} = \text{random}[-1, 1] \quad (16)$$

其中 x_i 代表新的輸入，而 σ_{init} 則為事先給定的常數。

針對單一輸入樣本、產生模糊法則與模糊集合的演算法，如下所述；在初始狀態下，系統中並不存有任何既定的模糊法則。

步驟一、若 x_i 為第一個輸入的樣本序列，則

{

Generate a new rule

with mean $m_{i1}=x_i$, variance $\sigma_{i1}=\sigma_{init}$, weight $w_{k1}=random[-1, 1]$

where σ_{init} is a prespecified constant.

}

步驟二、若步驟一之執行條件不符，對每一個新讀入的樣本 x_i 進行下

列動作：

{

Find $EM_{\max} = \max_{1 \leq j \leq R(t)} EM_j$

IF $EM_{\max} \geq \overline{EM}$

do nothing

ELSE

{

$R_{(t+1)} = R_{(t)} + 1$

generate a new rule

with mean $m_{iR_{(t+1)}} = x_i$, variance $\sigma_{iR_{(t+1)}} = \sigma_{init}$, weight

$$w_{kR(t+1)} = \text{random}[-1, 1]$$

where σ_{init} is a prespecified constant.}

}

(2)、參數學習

函數類神經模糊網路之結構學習後，接著進行參數學習。在每個節點下，此網路架構可利用參數學習法則調整歸屬函數的參數和法則的後鑑部直到最佳組合。此網路架構的學習方式是依據誤差函數的引導。透過誤差函數的引導，此網路架構的參數每一次的更新動作均可得到適當的修正。

整個學習的方式，可利用誤差倒傳遞學習演算法(Back-propagation algorithm)的觀念，調整網路架構中的歸屬函數及法則之權重。而能量函數或誤差函數，亦可定義為：

$$E = \frac{1}{2} [y(t) - y^d(t)]^2 \quad (17)$$

在上式中， $y^d(t)$ 表示目標輸出值， $y(t)$ 表示模型輸出值，若能在學習過程中把誤差函數的值降低，將可引導此架構的參數沿著期望的方向調整。因此，整個學習的方法和誤差倒傳遞學習法則的精神是一致的。至於函數類神經模糊網路內部參數的調整可由下面的通式表示：

$$w(t+1) = w(t) + \eta \left(-\frac{\partial E}{\partial w} \right) \quad (18)$$

其中， w 為每一個節點的調整參數， η 為學習速率。

每一層中每個類神經元之誤差訊號計算如下：

$$\begin{aligned}\frac{\partial E}{\partial w} &= \frac{\partial E}{\partial(\text{activation function})} \frac{\partial(\text{activation function})}{\partial w} \\ &= \frac{\partial E}{\partial a} \frac{\partial a}{\partial w}\end{aligned}\quad (19)$$

之後利用(17)和(19)式，對權重(weight)均值(mean)以及變異數(variance)做修正推導。則推倒後公式如下：

$$w_{kj}(t+1) = w_{kj}(t) + \Delta w_{kj}(t) \quad (20)$$

$$\begin{aligned}\Delta w_{kj}(t) &= -\eta_w \frac{\partial E}{\partial w_{kj}} \\ &= -\eta_w \cdot e \cdot \left(\frac{u_j^{(3)} \phi_k}{\sum_{j=1}^R u_j^{(3)}} \right)\end{aligned}\quad (21)$$

$$m_{ij}(t+1) = m_{ij}(t) + \Delta m_{ij}(t) \quad (22)$$

$$\begin{aligned}\Delta m_{ij}(t) &= -\eta_m \frac{\partial E}{\partial m_{ij}} \\ &= -\eta_m \cdot e \cdot \left(\frac{u_j^{(4)}}{\sum_{j=1}^R u_j^{(3)}} \right) \cdot \left(\frac{2(u_i^{(1)} - m_{ij})}{\sigma_{ij}^2} \right)\end{aligned}\quad (23)$$

$$\sigma_{ij}(t+1) = \sigma_{ij}(t) + \Delta \sigma_{ij}(t) \quad (24)$$

$$\begin{aligned}\Delta m_{ij}(t) &= -\eta_m \frac{\partial E}{\partial m_{ij}} \\ &= -\eta_m \cdot e \cdot \left(\frac{u_j^{(4)}}{\sum_{j=1}^R u_j^{(3)}} \right) \cdot \left(\frac{2(u_i^{(1)} - m_{ij})}{\sigma_{ij}^2} \right)\end{aligned}\quad (25)$$

這裡 η_w ， η_m 和 η_σ 各分別表示學習率參數的權重，均值和變異數。

2.3.3 上眼瞼量測實驗

在上眼瞼量測部分，我們使用函數類神經模糊網路架構，透過攝影機擷取當前上眼瞼影像長度為輸入，輸出則為上眼瞼真實長度。

為了要證明所提出的方法是有效的，也找了二十三位不同的眼瞼長度來做測試，將每位的上眼瞼像素距離以及真實長度記錄下來，因此得到了一組不同眼瞼長度與像素的對應表，如表四所示。

表四 眼瞼像素距離與真實距離對應表

長度和像素			
像素長度	真實長度	像素長度	真實長度
53.10	2.0	72.53	3.2
55.27	2.1	73.62	3.3
57.66	2.2	75.04	3.4
59.12	2.3	77.86	3.5
60.77	2.4	79.17	3.6
62.85	2.5	81.03	3.7
64.01	2.6	83.29	3.8
65.49	2.7	85.14	3.9
67.33	2.8	87.26	4.0
69.01	2.9	89.41	4.1
70.80	3.0	91.62	4.2
71.21	3.1		

(像素長度單位:像素，真實長度單位:公分)

從數據中，我們可以知道像素長度與真實長度的關係，呈現非線性狀態，因此我們將利用函數類神經模糊網路來進行上眼瞼的量測，我們希望輸入像素值，就可以得到長度。

我們將先前的23筆像素與長度資料全部訓練與測試，函數類神經模糊網路設定初始參數為 $\eta_m = \eta_\sigma = \eta_w = 0.2$ 和 $entropy = 0.24$ 訓練了10000次，共產生5個法則，均方根誤差為0.0219195。圖20為訓練過程中的收斂曲線。將函數類神經模糊網路輸出值四捨五入後，由圖21中我們可以發現期望輸出與距離完全符合。

下列為5個法則內容：

Rule-1: IF x_1 is $\mu(1.1233, -0.224115)$

$$\text{THEN } \hat{y}_1 = 1.27064x_1 + 0.0915503\sin(\pi x_1) + 0.267525\cos(\pi x_1)$$

Rule-2: IF x_1 is $\mu(1.1789, -0.0178853)$

$$\text{THEN } \hat{y}_2 = -0.855707x_1 + 0.607955\sin(\pi x_1) - 0.143693\cos(\pi x_1)$$

Rule-3: IF x_1 is $\mu(0.221921, 0.0243052)$

$$\text{THEN } \hat{y}_3 = -0.101173x_1 + 0.706467\sin(\pi x_1) - 0.417603\cos(\pi x_1)$$

Rule-4: IF x_1 is $\mu(0.867465, 0.807631)$

$$\text{THEN } \hat{y}_4 = 0.133348x_1 - 0.35326\sin(\pi x_1) - 0.838422\cos(\pi x_1)$$

Rule-5: IF x_1 is $\mu(0.133743, 0.503729)$

$$\text{THEN } \hat{y}_5 = 0.947739x_1 - 0.0794414\sin(\pi x_1) + 0.00036122\cos(\pi x_1)$$

表五 訓練資料與測試資料以及實際輸出對應表

測試資料					
影像長度	真實長度	FNFN 輸出	影像長度	真實長度	FNFN 輸出
53.10	2.0	1.99	72.53	3.2	3.18
55.27	2.1	2.10	73.62	3.3	3.26
57.66	2.2	2.22	75.04	3.4	3.36
59.12	2.3	2.30	77.86	3.5	3.53
60.77	2.4	2.43	79.17	3.6	3.61
62.85	2.5	2.51	81.03	3.7	3.70
64.01	2.6	2.59	83.29	3.8	3.81
65.49	2.7	2.68	85.14	3.9	3.90
67.33	2.8	2.81	87.26	4.0	4.00
69.01	2.9	2.93	89.41	4.1	4.09
70.80	3.0	3.06	91.62	4.2	4.20
71.21	3.1	3.09			

(影像長度單位:像素,真實長度單位:公分,FNFN 輸出單位:公分)

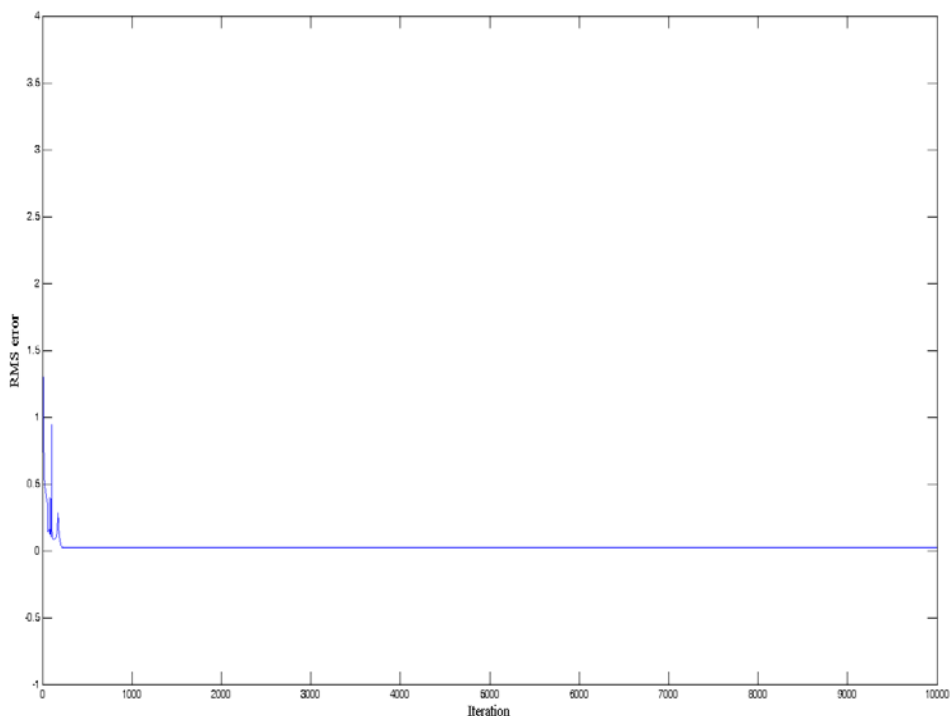


圖 20. 函數類神經模糊網路方法的學習曲線圖

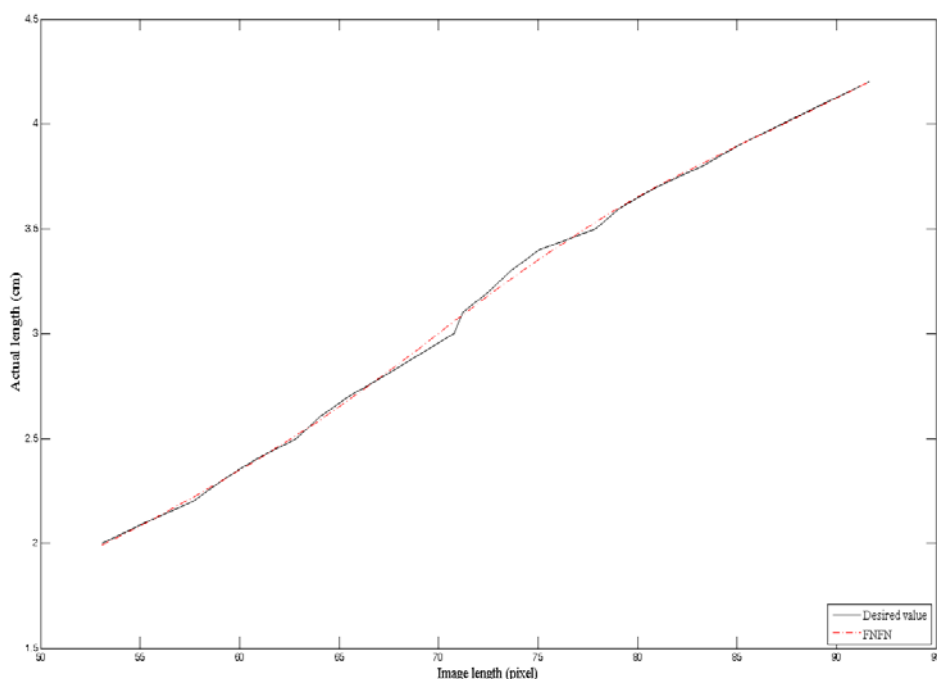


圖21. 眼瞼真實長度與函數類神經模糊網路方法所得長度之比對圖

此外，為了證明我們提出的方法是具有預測的效果，我們將實際測量出像素差與距離差的結果分十三筆測試與十筆訓練。偶數筆資料作為訓練，單數筆資料作為測試，函數類神經模糊網路設定初始參數為 $\eta_m = \eta_\sigma = \eta_w = 0.2$ 和 $entropy = 0.24$ ，並執行10000次，函數類神經模糊網路共產生了7個法則，均方根誤差為0.0167，圖22為訓練過程中的收斂曲線。同樣的，我們將函數類神經模糊網路輸出值四捨五入後，由圖23以及圖24中我們可以發現期望輸出與距離完全符合。

下列為7個法則內容：

Rule-1: IF x_1 is $\mu(0.701247, 0.148915)$

THEN $\hat{y}_1 = -0.588866x_1 + 0.934823\sin(\pi x_1) + 0.0338832\cos(\pi x_1)$

Rule-2: IF x_1 is $\mu(1.18964, -0.0274819)$

THEN $\hat{y}_2 = 0.0351134x_1 - 0.59332\sin(\pi x_1) + 0.348054\cos(\pi x_1)$

Rule-3: IF x_1 is $\mu(0.76496, 0.154391)$

THEN $\hat{y}_3 = 1.06713x_1 + 0.460601\sin(\pi x_1) - 0.351325\cos(\pi x_1)$

Rule-4: IF x_1 is $\mu(0.59029, 0.0043816)$

THEN $\hat{y}_4 = -0.535825x_1 - 0.470562\sin(\pi x_1) + 0.710914\cos(\pi x_1)$

Rule-5: IF x_1 is $\mu(-0.228017, 0.0147812)$

THEN $\hat{y}_5 = -0.435328x_1 - 0.155048\sin(\pi x_1) + 0.639241\cos(\pi x_1)$

Rule-6: IF x_1 is $\mu(1.19583, -1.40493)$

THEN $\hat{y}_6 = 0.976062x_1 - 0.00731106\sin(\pi x_1) - 0.0084527\cos(\pi x_1)$

Rule-7: IF x_1 is $\mu(-0.200124, -0.0533578)$

THEN $\hat{y}_7 = -0.686784x_1 + 0.0449281\sin(\pi x_1) - 0.181049\cos(\pi x_1)$

表六 訓練資料與測試資料

訓練資料		測試資料		
影像長度	真實長度	影像長度	真實長度	FNFN 輸出
53.10	2.0	55.27	2.1	2.10
57.66	2.2	59.12	2.3	2.31
60.77	2.4	62.85	2.5	2.52
64.01	2.6	65.49	2.7	2.69
67.33	2.8	69.01	2.9	2.89
70.80	3.0	71.21	3.1	3.07
72.53	3.2	77.86	3.5	3.56
73.62	3.3	81.03	3.7	3.69
75.04	3.4	85.14	3.9	3.90
79.17	3.6	89.41	4.1	4.10
83.29	3.8			
87.26	4.0			
91.62	4.2			

(像素長度單位:像素，真實長度單位:公分，FNFN輸出單位:公分)

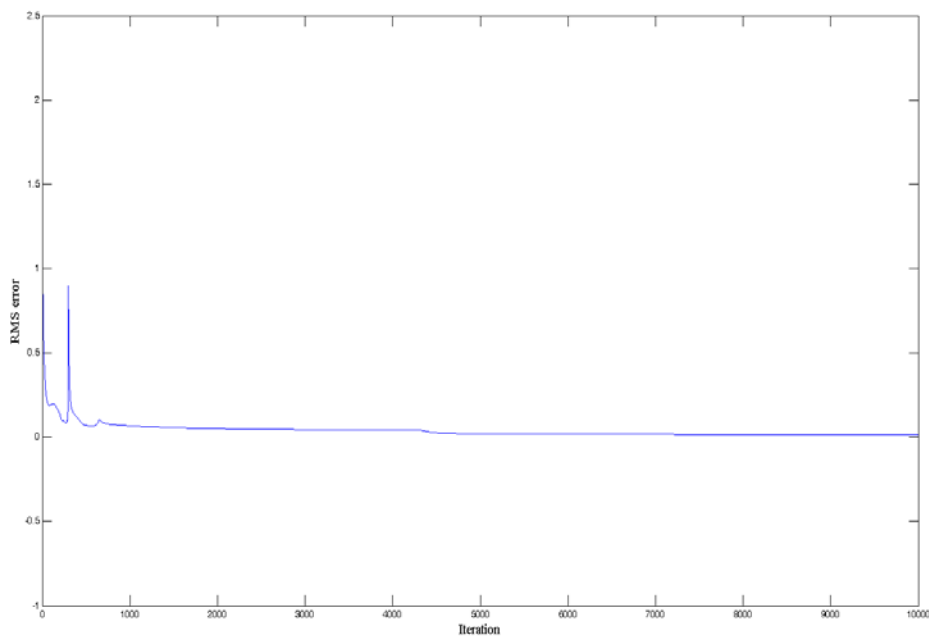


圖22. 函數類神經模糊網路方法的學習曲線圖

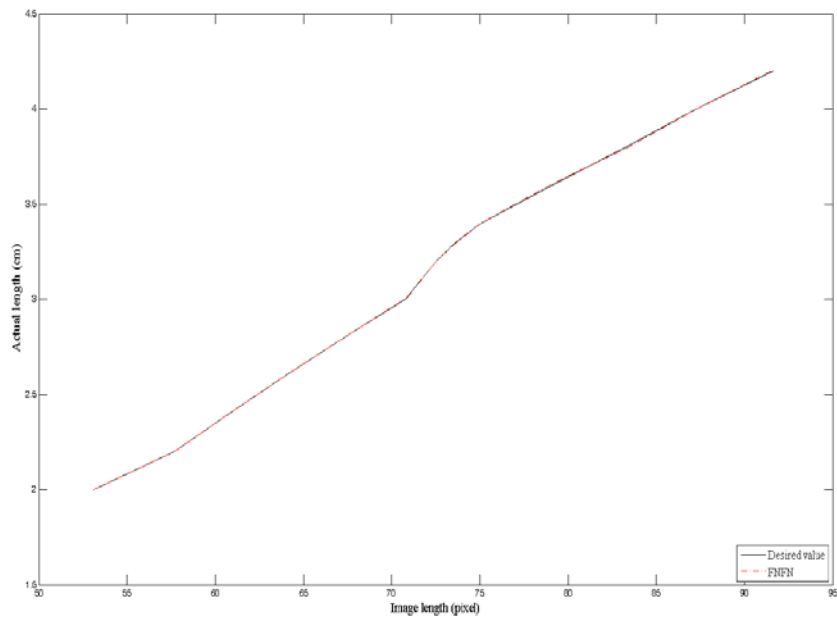


圖23. 眼瞼訓練資料之真實長度與函數類神經模糊網路方法所得長度

比對圖

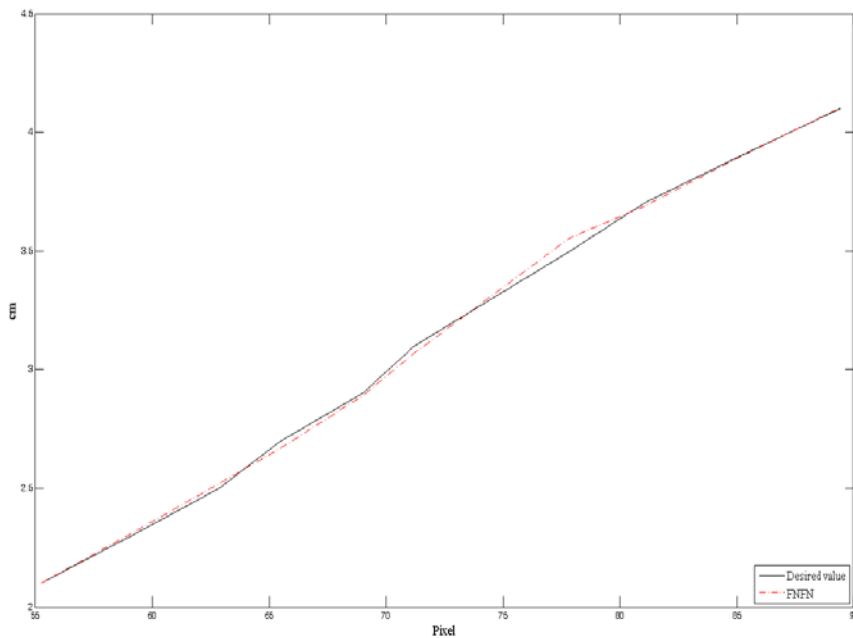


圖24. 眼瞼測試資料之真實長度與函數類神經模糊網路方法所得長

度比對圖

第三章

實驗結果

3.1 實驗設備架設

我們使用羅技 C905 網路攝影機，架設在測試平台，拍攝人臉畫面，如圖 25 所示。實驗設備，如下表七所示。

表七 實驗設備

CPU	Intel Pentium 4 3.2GHz
Memory	2GB DDR400 RAM
Compiler	Borland C++ Builder 6.0
OS	Microsoft Windows XP
Resolution	320x240

本平台下巴位置至攝影機距離為十五公分，擷取 320×240 像素大小的影像，來計算上眼瞼的長度。

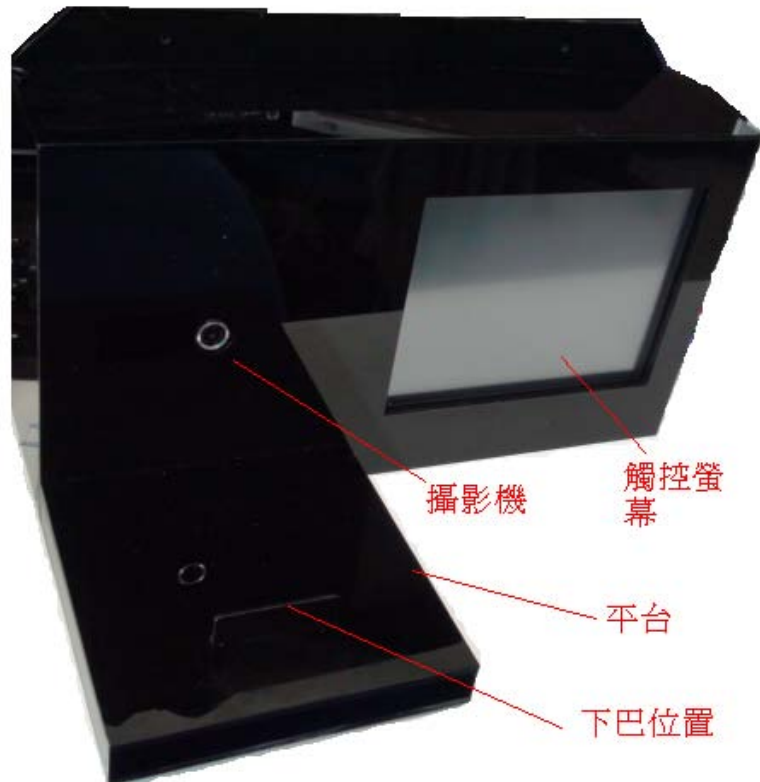


圖 25. 測試平台

3.2 眼瞼偵測實驗結果

系統環境主要是針對台灣的黃種人所設計。為了觀察和證明本論文的方法確實可以保持穩定的性能，並且可以容忍輕變化，我們利用攝影機擷取的影像來進行測試。本論文使用即時拍攝去做測試，將攝影機拍攝的影片，即時處理。

在圖 26 以及圖 27 所說明了整套系統流程所輸出的結果，圖(a)中為我們測試出來的結果，紅線所代表為我們框出眼睛的區域，白線為我們上眼瞼的位置。圖(b)為我們攝影機所擷取的當前影像。圖(c)為 YCbCr 膚色偵測後的結果。圖(d)為 YCbCr 轉二值化的結果。圖(e)

為索貝爾水平邊緣偵測後得到的特徵影像。圖(f)為圖(d)YCbCr 二值化影像以及圖(e)索貝爾偵測後的影像，將兩張影像的像素結合。圖(g)為相鄰元素標定演算法最後得到眼睛區域。

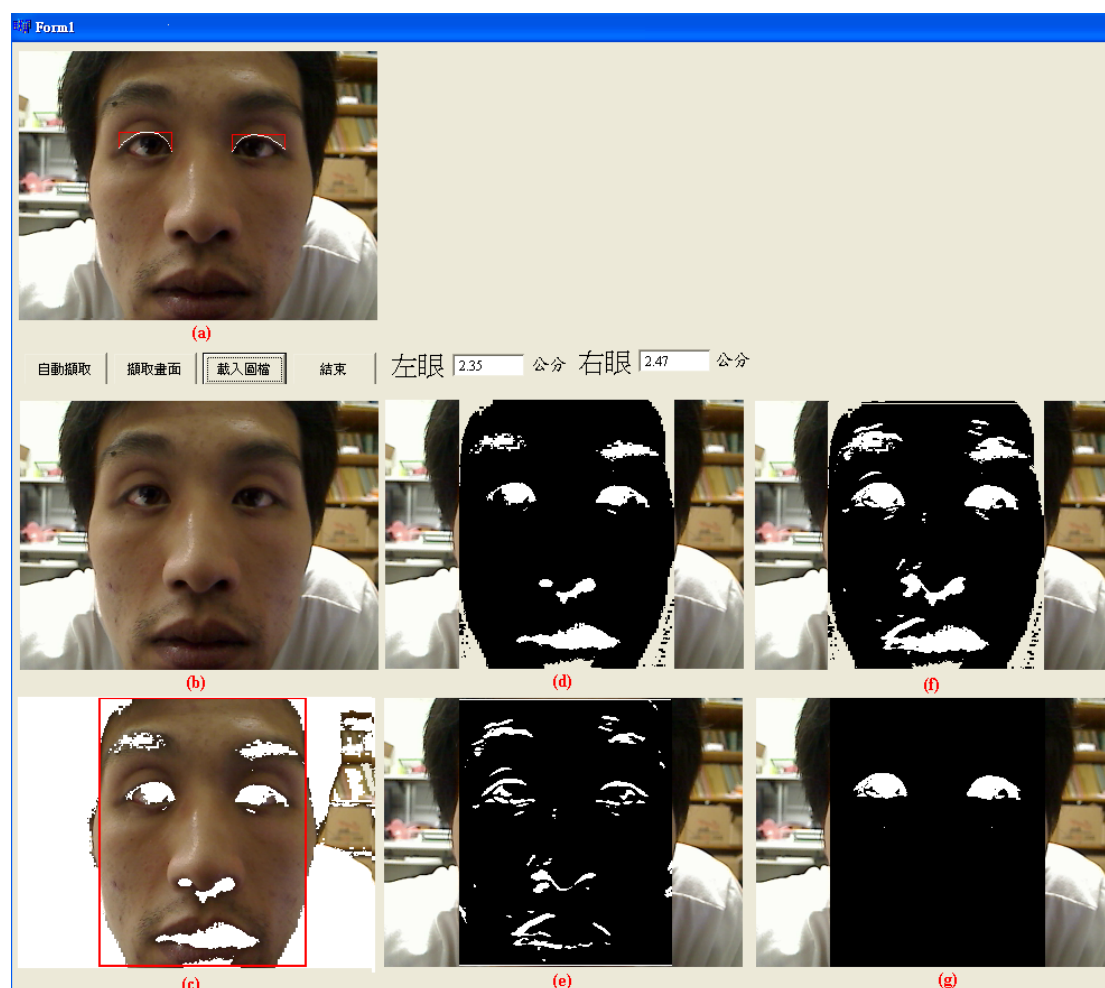


圖 26. (a)結果影像；(b)原始影像；(c)臉部偵測結果；(d)YCbCr 偵測結果；(e)索貝爾水平邊緣偵測結果；(f)為圖(d)二值化影像和圖(e)邊緣偵測影像或閘運算後的結果；(g)眼睛偵測結果

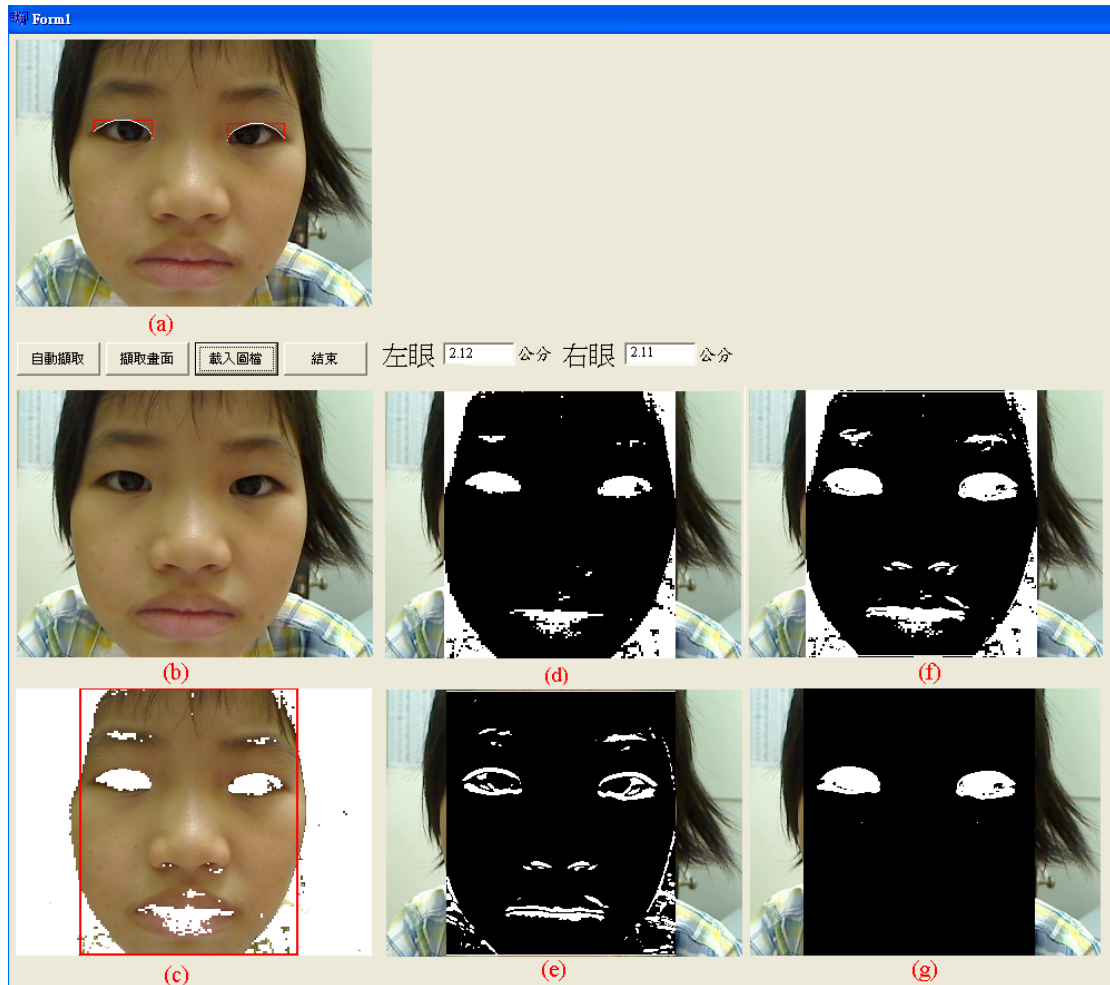


圖 27. (a)結果影像；(b)原始影像；(c)臉部偵測結果；(d)YCbCr 偵測結果；(e)索貝爾水平邊緣偵測結果；(f)為圖(d)二值化影像和圖(e)邊緣偵測影像或閘運算後的結果；(g)眼睛偵測結果

在執行系統後（如圖 26 和 27 所示），由圖 28 可以觀察到本論文所提出的方法，不僅能有效的將眼睛找出來，且確實地畫出上眼瞼的位置，亦能提供使用者適當的上眼瞼長度，幫助使用者正確選購適合自身上眼瞼長度的假睫毛。





圖 28. 實驗結果

第四章

結論及未來工作

根據研究結果顯示，本論文所提出的上眼瞼長度即時量測系統，不僅可以明確的找到假睫毛黏貼的位置，亦可使用歐幾里德距離公式來測量上眼瞼的長度。另外，該系統是利用函數類神經模糊網路來進行上眼瞼長度的偵測，並將之應用在即時系統上。所以，該系統不僅能幫助消費者正確的得知自身的上眼瞼長度，以節省消費者裁剪假睫毛的時間之外，亦能有效避免裁剪長度不合適的困擾。

未來我們會朝向以下幾點方向，繼續做更深入的探討及研發更大眾化的應用。

一、將假睫毛造型與眼睛做合成影像

未來進一步的工作，本論文建議可針對假睫毛的造型與人類眼睛做一合成的檢測，讓消費者可以經由螢幕上的合成影像，輕鬆的選取適合自己的假睫毛造型，讓整套系統更加完善。

二、將上眼瞼長度即時量測系統與手機系統結合

目前本論文所提出的上眼瞼長度即時量測系統必須經由電腦才能偵測出眼睛上眼瞼的長度，本論文建議未來可以將該系統與手機系統做結合，讓每一位有手機的消費者，都可以透過手機的即時量測系統直接測出適合自己上眼瞼長度的假睫毛，並且可以經由網路下單的方式直接向廠商訂購，如此一來將更省時、便利！

三、消費者自訂黏貼假睫毛的上眼瞼長度

本論文所提出的上眼瞼長度即時量測系統是以眼睛睜開的 5/6 做為依據，設計一套自動眼瞼長度量測之系統，但目前市面上所販售的假睫毛樣式繁多，有些假睫毛是針對眼睛的前半段做設計，亦有以眼睛的後半段做設計的產品，與本論文的全眼造型的上眼瞼長度有異，因此本論文建議未來的上眼瞼長度即時量測系統，可以讓消費者自訂黏貼假睫毛的上眼瞼長度，由消費者決定更適合自己的假睫毛。

Bibliography

- [1] P. Yu and M. Xie, "An Accurate and Easy Method Towards Iris Localization," *Proc. of the 2nd International Conference on Computer and Automation Engineering (ICCAE)*, vol. 2, pp. 796-800, February 2010.
- [2] Z. He, T. Tan, Z. Sun and X. Qiu, "Toward Accurate and Fast Iris Segmentation for Iris Biometrics," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 31, pp. 1670-1684, September 2009.
- [3] Bacivarov, M. Ionita and P. Corcoran, "Statistical Models of Appearance for Eye Tracking and Eye-blink Detection and Measurement," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 54, pp. 1312-1320, August 2008.
- [4] X. K. Zhang and B. Z. Y. Wu, "A Research for Relations Between Colors and Driving Fatigue," *Proc. of the 9th International Conference on Computer-Aided Industrial Design and Conceptual Design (CAID/CD)*, vol. 9, pp. 1364-1367, December 2008.
- [5] J. Yang and C. Shi, "Eye Tracing in Real-time Fatigue Driving Monitoring System," *Proc. of the 8th International Conference on*

- Signal Processing*, vol. 2, pp. 16-20, April 2006.
- [6] W. Jian and L. Bing, "Design and Simulated Implementation of MATLAB-based Warning System for Fatigue Driving Driver," *Proc. of the 9th International Conference on Hybrid Intelligent Systems (HIS)*, vol. 2, pp. 467-470, September 2009.
- [7] Z. He, T. Tan, Z. Sun and X. Qiu, "Toward Accurate and Fast Iris Segmentation for Iris Biometrics," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 31, pp. 1670-1684, September 2009.
- [8] G. J. Mohammed, B. R. Hong, A. A. Al-Kazzaz and M. Y. Abdullah, "A New Localization Method for Iris Recognition Based on Angular Integral Projection Function Mohammed," *Proc. of the 9th Education Technology and Computer Science (ETCS)*, vol. 3, pp. 316-320, May 2009.
- [9] C. T. Chou, S. W. Shih, W. S. Chen, V. W. Cheng and D. Y. Chen, "Non-orthogonal View Iris Recognition System," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 20, pp. 417-430, March 2010.
- [10] Y. Wu, H. Liu and H. Zha, "Modeling Facial Expression Space for

- Recognition,” *Proc. of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 1968-1973, August 2005.
- [11] S. Chin and K. Y. Kim, “Emotional Intensity-based Facial Expression Cloning for Low Polygonal Applications,” *IEEE Transactions on Applications and Reviews*, vol. 39, pp. 315-330, May 2009.
- [12] H. Wang and N. Ahuja, “Facial Expression Decomposition,” *Proc. of the 9th IEEE International Conference on Computer Vision*, vol. 2, pp. 958-965, October 2003.
- [13] M. H. Yang, D. J. Kriegman and N. Ahuja, “Detecting Faces in Images: A Survey,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, pp. 34-58, January 2002.
- [14] R.L. Hsu, A. M. Mottaleb and A. K. Jain, “Face Detection in Color Images,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, pp. 696-706, May 2002.
- [15] Y. Mitsukura, H. Takimoto, M. Fukumi and N. Akamatsu, “Face Detection and Emotional Extraction System Using Double Structure Neural Network,” *Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks*, vol. 2, pp. 1253-1257, May 2003.

- [16] Z. Sun, G. Bebis and R. Miller, "Boosting Object Detection Using Feature Selection," *Proc. of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp. 290-296, July 2003.
- [17] R. Xiao, M. J. Li and H. J. Zhang, "Robust Multipose Face Detection in Images" *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 14, pp. 31-41, January 2004.
- [18] S. H. Huang and S. H. Lai, "Real-time Face Detection in Color Video," *Proc. of the 10th International Conference on Multimedia Modelling*, pp. 338-345, January 2004.
- [19] X. Lu, N. Zheng and S. Zheng, "Linear Sparse Feature based Face Detection in Gray Images," *Proc. of the International Conference on Image Processing*, vol. 3, pp. III-889-92, September 2003.
- [20] Y. Zhu and K. Fujimura, "Driver Face Tracking Using Gaussian Mixture Model (GMM)," *Proc. of the IEEE on Intelligent Vehicles Symposium*, pp. 587-592, June 2003.
- [21] H. T. Nguyen and A. W. M. Smeulders, "Fast Occluded Object Tracking by A Robust Appearance Filter," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, pp. 1099-1104, August 2004.

- [22] C. J. Kuo, T. G. Lin, R. S. Huang and S. F. Odeh, "Facial Model Estimation from Stereo/Mono Image Sequence," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 5, pp. 8-23, March 2003.
- [23] S. Birchfield, "Elliptical Head Tracking Using Intensity Gradients and Color Histograms," *Proc. of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 232-237, Jun 1998.
- [24] C. A. Perez, A. Palma, C. A. Holzmann, and C. Pena, "Face and Eye Tracking Algorithm Based on Digital Image Processing," *IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 2, pp. 1178-1183, October 2001.
- [25] N. Bojic and K. K. Pang, "Adaptive Skin Segmentation for Head and Shoulder Video Sequence," *Proc. of the Visual Communication and Image Processing 2000, Perth, Australia*, vol. 4067, pp. 704-711, June 2000.
- [26] J. Yang, R. Stiefelhagen, U. Meier and A. Waibel, "Real-time Face and Facial Feature Tracking and Applications," *Proc. of the Auditory-Visual Speech Processing (AVSP), New South Wales Australia*, pp. 1-6, December 1998.
- [27] Y. Adachi, A. Imai, M. Ozaki and N. Ishii, "Extraction of Face

Region by Using Characteristics of Color Space and Detection of Face Direction Through an Eigenspace,” *Proc. of the 4th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Engineering Systems and Allied Technologies*, vol. 1, pp. 393 -396, August 2000.

[28] J. Fang and G. Qiu, “Human Face Detection Using Angular Radial Transform and Support Vector Machines,” *Proc. of the 2003 International Conference on Image Processing*, vol. 1, pp. I-669-72, September 2003.

[29] D. S. Chen and Z. K. Liu, “A Novel Approach to Detect and Correct Highlighted Face Region in Color Image,” *Proc. of the IEEE Conference on Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp. 7-12, July 2003.

[30] E. Saber and A. M. Tekalp, “Face Detection and Facial Feature Extraction Using Color, Shape and Symmetry-based Cost Functions,” *Proc. of the 13th International Conference on Pattern Recognition*, vol. 3, pp. 654-658, August 1996.

[31] D. Niu, Y. Z. Zhan and S. L. Song, “Research and Implementation of Real-time Face Detection, Tracking and Protection,” *Proc. of the*

2003 *International on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 5, pp. 2765-2770, November 2003.

[32] D. Chai and A. Bouzerdoum, "A Bayesian Approach to Skin Color Classification in YCbCr Color Space," *Proc. of the IEEE TENCON' 2000, Malaysia*, vol. 2, pp. 421-424, September 2000.

[33] A. M. Bagci, R. Ansari A. Khokhar, and E. Cetin, "Eye Tracking using Markov Models," *Proc. of the 17th International Conference on Pattern Recognition*, vol. 3, pp. 818-821, August 2004.

[34] W. Huang, C. W. Kwan and L. C. D. Silva, "Eye Tracking with Statistical Learning and Sequential Monte Carlo Sampling," *Proc. of the Fourth Pacific Rim Conference on Information, Communications and Signal*, vol. 3, pp. 1873-1878, December 2003.

[35] S. Phimoltares, C. Lursinsap and K. Chamnongthai, "Tight Bounded Localization of Facial Features with Color and Rotational Independence," *Proc. of the International Symp. on Circuits and Systems*, vol. 5, pp. V-809-V-812, May 2003.

[36] Y. Wu, H. Liu and H. Zha, "A New Method of Detecting Human Eyelids Based on Deformable Templates," *Proc. of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 1,

pp. 604-609, October 2004.

- [37] W. B. Horng, C. Y. Chen , Y. Chang and C. H. Fan, “Driver Fatigue Detection Based on Eye Tracking and Dynamic, Template Matching,” *Proc. of the IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control*, vol. 1, pp. 7-12, March 2004.
- [38] H. Ueno, M. Kaneda and M. Tsukino, “Development of Drowsiness Detection System,” *Proc. of the International Conference on Vehicle Navigation and Information Systems*, pp. 15-20, August 1994.
- [39] P. Smith, M. Shah and N. D. V. Lobo, “Monitoring Head/Eye Motion for Driver Alertness with One Camera,” *Proc. of the 15th International Conference on Pattern Recognition*, vol. 4, pp. 636-642, September 2000.
- [40] A Girl 雜誌 八 月 號 ,
<http://www.wretch.cc/blog/sunapple0725/18046844>
- [41] N. Kazakova, M. Margala and N. G. Durdle, “Sobel Edge Detection Processor for A Real-time Volume Rendering System,” *Proc. of the International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, vol. 2, pp. II-913-16, September 2004.
- [42] W. Wang, “Reach on Sobel Operator for Vehicle Recognition,” *Proc.*

- of the International Joint Conference on Artificial Intelligence (JCAI)*, pp. 448-451, July 2009.
- [43] S.E El-Khamy, L M. Lotfy and N. El-Yamany, “A Modified Fuzzy Sobel Edge Detector,” *Proc. of the 17th Seventeenth National Radio Science Conference (NRSC)*, pp. C32/1-C32/9, February 2000.
- [44] C. H. Chen, C. J. Lin and C. T. Lin, “A Functional-Link-Based Neuro-fuzzy Network for Nonlinear System Control,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 16, pp. 1362-1378, October 2008.
- [45] C. Grana, , D. Borghesani and R. Cucchiara, “Fast Block based Connected Components Labeling,” *Proc. of the 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp. 4061-4064, November 2009.
- [46] W. S. Wang, Y. F. Hung, J. K. Yang and S. Y. Tseng, “The Dynamic Decision Switch for Multiple Pixel Connected Component Labeling Algorithm,” *Proc. of the International Conference on Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA)*, pp. 140-145, January 2009.
- [47] A. M. T. Nasution and, E. K. Suryaningtyas, “Comparison of Red

Blood Cells Counting Using Two Algorithms: Connected Component Labeling and Backprojection of Artificial Neural Network,” *Proc. of the IEEE PhotonicsGlobal@Singapore (IPGC)*, pp. 1-4, February 2008.

- [48] 曲線長之計算 http://www.amath.nchu.edu.tw/~tdoc/13_4.ht
- [49] C. Garcia and G. Tziritas, “Face Detection Using Quantized Skin Color Regions Merging and Wavelet Packet Analysis,” *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 1, pp. 264-277, September 1999.
- [50] A. A. Khan, A. Aziz and M. Z. Dawood, “Face Recognition Techniques (FRT) Based on Face Ratio Under Controlled Conditions,” *Proc. of the International Symposium on Biometrics and Security Technologie (ISBAST)*, pp. 1-6, June 2008.
- [51] 眼睛比
http://tw.myblog.yahoo.com/jw!jeZN.X.WAh_3eMvgD6NOJJI5IIVGm6o-/article?mid=45
- [52] C. Li and C. Y. Lee, “Self-organizing Neuro-Fuzzy System for Control of Unknown Plants,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 11, pp. 135-150, February 2003.
- [53] F. Sun, Z. Sun, L. Li, and H. X. Li, “Neuro-Fuzzy Adaptive Control

- Based on Dynamic Inversion for Robotic Manipulators,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 11, pp. 117-133, February 2003.
- [54] S. Mitra and Y. Hayashi, “Neuro-Fuzzy Rule Generation: Survey in Soft Computing Framework,” *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 11, pp. 748-768, August 2000.
- [55] W. S. Lin, C. H. Tsai, and J. S. Liu, “Robust Neuro-Fuzzy Control of Multivariable Systems by Tuning Consequent Membership Functions,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 124, pp. 181-195, November 2001.
- [56] J. C. Patra, R. N. Pal, B. N. Chatterji, and G. Panda, “Identification of Nonlinear Dynamic Systems using Functional Link Artificial Neural Networks,” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybern.*, vol. 9, pp. 254-262, April 1999.
- [57] C. F. Juang and C. T. Lin, “An On-line Self-constructing Neural Fuzzy Inference Network and Its Applications,” *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, vol. 6, pp. 12-31, February 1998.
- [58] C. E. Shannon, “A mathematical theory of communication”, *Bell System Technology Journal*, vol. 27, pp. 623-656, 1948.

個人簡歷

姓名：鄧為仁

英文名字：Wei-Jen Teng

性別：男

生日：民國 72 年 10 月 27 日

本籍：台灣省

出生地：台灣省台北市

論文題目：利用類神經模糊網路於眼瞼長度量測之設計

Eyelids Length Measurement Using Neuro-Fuzzy Networks

學歷：民國 9 1 年 6 月，私立南山高級中學資訊科

民國 9 5 年 6 月，私立聖約翰科技大學電子工程系