

低成本之 3D 人臉辨識系統

指導教授：鄭文昌^{#1}，9927627 許祐松^{#2}，9727096 陳冠萍^{#3}，9737033 陳怡瑄^{#4}
9727111 林森峰^{#5}，9727126 林敬哲^{#6}

朝陽科技大學資工系

¹wccheng@cyut.edu.tw ²abcd-meat@umail.hinet.net ³ry60577@gmail.com
⁴annne01@yahoo.com.tw ⁵n_790222@yahoo.com.tw ⁶wd859113@yahoo.com.tw

摘要

本文製作一套基於輔助雷射光源的 3D 人臉辨識系統，使用成本較低的材料及簡易的方式來仿效 3D 攝影機取得 3D 人臉辨識所需資訊，其作法是利用雷射光線投射於人臉表面，透過攝影機擷取連續臉部的影像，透過進行分析深度造成光線變化而取得 3D 人臉資訊，以進行 3D 人臉辨識。為了擷取連續臉部的影像，我們自製一低成本移動平台，搭配攝影機取得連續影像，進行影像分析，並完成 3D 人臉重建。針對人臉辨識上採用局部二元特徵(Local Binary Pattern，簡稱 LBP)作為人臉辨識的資訊。利用 LBP 進行的二維影像辨識成功率是 85%，加上重建之深度影像成功率可提高到 90%，明顯的增加準確性，在安全性上也提高許多。

關鍵字：3D 人臉辨識、3D 人臉重建、LBP

Abstract

Traditional face recognition methods use general IP-camera and analyze input images, but it can't tell whether it is a real face or a picture. Therefore, it is difficult to use it in entries systems. Many scholars have studied 3D face recognition to solve following problems. In general, there are two ways to obtain 3D faces, one is 3D Scanner, the other is multi-camera. Using 3D Scanner is easy to develop a 3D face, but the cost is high. Multi-camera take images in different angle to build 3D face. It has lower cost but when one of the cameras is broken, it can't build a complete 3D face.

In this paper, we produce a 3D face recognition system supported by laser light, and use materials with lower cost to obtain informations of 3D face recognition. We project laser light on faces and get continuous images through IP camera. By analyze the changes of

laser lights on face, we obtain 3D face informations to perform recognition. Base on low cost, we use general IP camera to derive images. However, we need to analyze multi-images to get 3D face informations, so we produce a moving platform to collocate a IP camera and obtain the informations we needed.

We use Local Binary Pattern(LBP) algorithm as the base of face recognition. The recognition rate of general images is 85%. When we use rebuild laser images, the recognition rate can raise to 90%.

Keywords: 3D face recognition、rebuild laser images、LBP

1. 前言

人臉辨識的技術起源於 1960 年代，而到了 1990 年方邁入實用化的階段，基於科技不斷進步，高科技設備與辨識技術的雙重發展，也讓早期的二維辨識技術發展至為三維，不但增加了實用性也大幅提高了辨識準確率。雖然人臉辨識(Face Recognition)技術存在已經很久，卻一直未能獲得普遍的認同與應用。然而，自從美國遭受 911 恐怖攻擊開始，人臉辨識系統受到與日俱增的重視，此系統已被視為安全性監控領域中最重要且最有效的技術，目前已廣泛地使用在醫療、保全以及犯罪預防等應用上，與人們生活息息相關。

人臉辨識最主要包含人臉偵測與辨識兩個部分，此二部分都有許多學者提出相關的方法[4-8]。傳統以二維影像進行人臉辨識，李等人[9]在人臉特徵方面，利用人臉區塊特徵來提升人臉辨識準確率，採用 Active Appearance Models (AAM)方法，利用影像的形態(Shape)和紋理(Texture)資訊，透過統計化的模型，一次計算出五官(眉毛、眼睛、鼻子、嘴唇)的座標。再搭配 Principal Component Analysis (PCA)找出主軸，能夠將高維度的資料有效的分別開來。再來藉由形成這個主軸的特徵空間，將高

維度的資料投影到這特徵空間中，如此便可以降低資料的維度，而投影完之後的向量，就是萃取出來之後所要應用的特徵向量。利用 AAM 去除膚色區塊後可以提高辨識率，但卻受光線影響降低辨識率。楊等人[10]採用 PCA 及 Face Feature 來做辨識，因為 PCA 是用全域特徵對整個臉部進行特徵抽取，所以加上 Face Feature 可以達到 100% 的辨識率，但要繁複的轉換色彩空間，而且只能做少量的資料辨識。Heusch 等人[11]採用 LBP(Local Binary Pattern) 進行人臉辨識，解決環境光源對人臉辨識的影響，來提高辨識率。因此，本文將採用此方法進行辨識。

由於現今容易取得他人之照片，混淆傳統二維辨識方法的系統，因此有研究學者開始往三維辨識方法進行研究，以下是分別使用 3D Scanner 及多部攝影機建立 3D 人臉的研究。David J. Kasik[12]使用熱感應的 3D Scanner 來做 3D 人臉資訊，搭配升降平台進行掃描；Yasuhiro Toyama 等人[13]使用雷射光源的 3D Scanner，搭配 CCD (Charge-coupled Device，電荷耦合元件) [14] 攝影機擷取影像，再使用計算方法建立 3D 人臉模組，以上所花的費用不斐，所以不適合放置在一般住家的門口。Donghoon Kim 等人[15]使用多部攝影機建立簡易的立體空間範圍，受測人在範圍內走動，以擷取影像；Robert T. McKeon[16]也是使用多部攝影機擷取不同角度的影像建立 3D 人臉。與利用 3D Scanner 相比，成本是減少許多，但是在一般住家放置多部攝影機也不方便，若其中一部攝影機損壞，可能就無法順利建立 3D 人臉影像。

由於使用昂貴的 3D 攝影機之辨識系統無法普及使用，為了達到低成本的目標且可簡單建立出 3D 人臉資訊，本文希望製作低成本的掃描平台來進行此研究，使得 3D 人臉辨識系統可以普及使用，我們製作低成本裝置去仿效 3D 攝影設備之辨識系統，目的是以最簡單並且低成本的方法完成一個掃描器平台。同時利用深度資料建立類似 3D 影像的資訊，以加強辨識的準確率，讓辨識的能力可以更加的準確，達到最好的效果，來防止有心人士使用照片混淆系統。

2. 系統架構

圖 1 是系統架構圖，系統接收到影像後，會開啟偵測功能進行人臉偵測，接著掃描人臉

並且進行 3D 人臉重建，再將人臉擷取圖片及 3D 人臉重建圖片進行 LBP 特徵計算。完成上述操作後，可選擇兩種模式，一是進行辨識，另一則是建立比對資料，即完成整個系統操作流程。以下將分別說明。

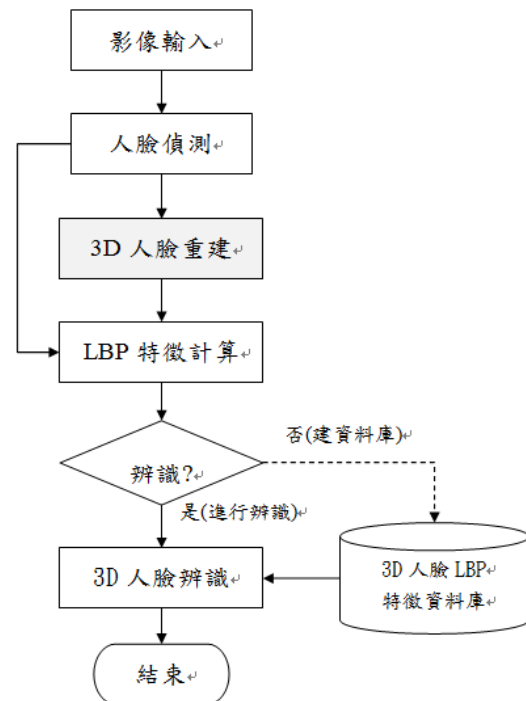


圖 1. 軟體流程圖

3. 人臉偵測

系統首先必須針對影像中人臉進行人臉偵測以便於後續的人臉辨識。本文使用 OpenCV (Open Source Computer Vision Library)[17]所提供的人臉偵測功能來完成人臉偵測，如圖 2 所示，圖 2 左畫面為攝影機的即時影像，圖 2 右畫面為所偵測到之人臉影像，圖中方框為偵測到的人臉範圍，將擷取偵測到的人臉範圍進行特徵值運算。OpenCV 為一套開放原始碼的程式，由 Intel 公司所開發出來的影像處理的函式庫(Image Process Library)，擁有包括三百多個 C/C++ 函數的跨平台程式。可以製做圖片、視訊、矩陣運算、統計、資料儲存的相關 C/C++ 語言程式設計，並有較高的運行效率，是一個跨平台的計算機視覺庫。其中影像處理包含許多常用的功能，例如影像二值化、邊緣偵測、影像強化、及人臉偵測等。本研究使用其官方網站[18]下載的軟體進行簡易之安裝，並將人臉偵測之函式使用在此研究中。



圖 2. 人臉偵測

4. 3D 人臉重建

為了擷取重建 3D 人臉，本研究利用物理上的針孔成像原理來取得臉部深淺起伏的變化值，作為建立深度影像的依據。此方法將在下列章節中詳細介紹，透過我們提出的方法取得人臉深度資訊後，以進行 3D 人臉的重建，達到仿效 3D 攝影機的功能。以下分別說明。

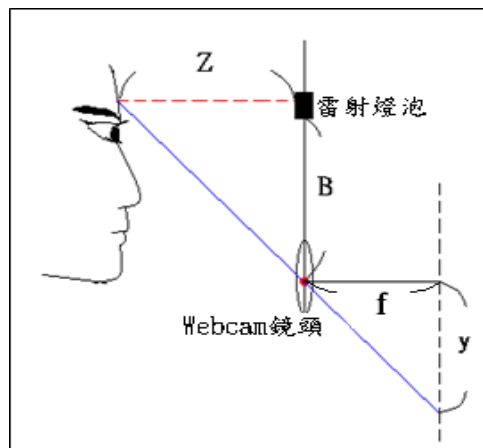


圖 3. 擷取深度資料之示意圖

4.1 3D 人臉重建方法

圖 3 為擷取深度資料的示意圖。圖中將攝影機的鏡頭視為透鏡，以透鏡中心向人臉方向延伸至雷射光線平行投射在人臉上的位置，向後延伸至顯示該雷射投射在人臉上的位置之影像，此影像即為攝影機所擷取之影像。因此呈現兩個相似三角形，就數學原理為等比縮放的兩個三角形，以此性質，在已知雷射與攝影機的距離(B)、影像的高(y)及比值參數(K_{yy})，即可得知雷射燈泡投射在人臉上的距離(Z)。其計算可表示如方程式(1)所示：

$$\frac{Z}{B} = \frac{f}{K_y \cdot y} \rightarrow Z = \frac{B \cdot K_{yy}}{y} \quad (1)$$

其中 Z 為雷射光源到臉的距離，單位公分，B 為雷射光源到攝影機鏡頭的距離，單位公分，y 為擷取出影像的高，單位像素(pixel)； K_y 為

攝影機的參數；f 為攝影機的焦距， K_{yy} 為結合 f 後的 K_y 參數。

為了取得影像人臉高與實際人臉高之比值參數。令 K_{yy} 為其比值，設 Z、y、和 B 為已知數，即可求得比值參數 K_{yy} ，如方程式(2)：

$$K_{yy} = \frac{f}{K_y} = Z \cdot \frac{y}{B} \quad (2)$$

4.2 自製低成本 3D 人臉掃描器

由於我們想要將傳統的 2D 辨識上加上類似 3D 辨識效果的形式，故研究增加人臉深度的資訊來提高對人臉辨識的能力。為了取得重建 3D 人臉的深度資訊，我們建置一個硬體設備，其操作流程如圖 4 所示。圖 4 中電腦對 BS2 下達指令控制雷射光源及移動平台，搭配攝影機以便進行影像擷取。

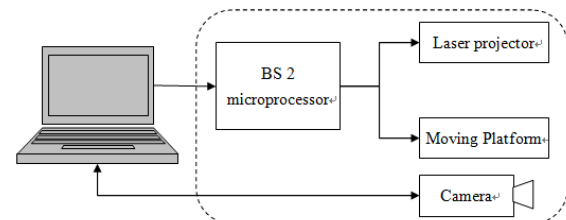


圖 4. 3D 人臉掃描器系統方塊圖

在系統方塊圖中我們使用 BASIC Stamp 2 (BS2) 微處理器來控制雷射燈泡及移動平台，其中 BS2 微處理器[19]是一種將程式放置於晶片中，以便控制硬體的微處理器，已經廣泛運用在生活家電、機械裝備、機器人、航空設備等方面。可以利用微處理器控制感應器、馬達等。使用 BASIC Stamp Editor 來撰寫程式，將完成的程式燒入 BS2 中。接著利用 RS-232 傳輸線對欲控制的設備下達指令，使其達到想要的動作。本研究利用 BASIC Stamp Editor 設計一個控制馬達及雷射燈泡的程式。將程式透過專用連接線燒入 BS2 中，利用排線連接到自製電路板，再接上 RS-232 進行馬達與燈泡的控制，完成硬體裝置的控制。

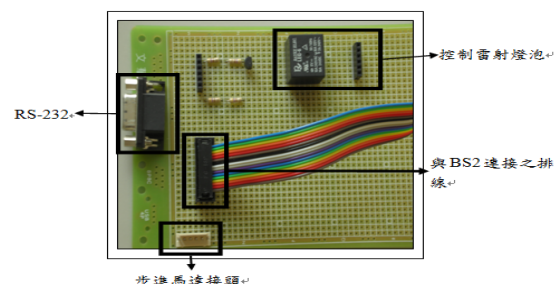


圖 5. 自製電路板

在擷取人臉深度資訊上，有別於其他研究利用多台攝影機或 3D 攝影機等方式進行深度擷取。本文使用一個結合雷射投射光源與 Webcam 製作一簡易 3D 掃描平台(如圖 6(a))。擷取深度資訊的方式，則利用平台的移動及雷射光源將雷射光線投影至人臉上(如圖 6(b))，利用人臉掃描平台操作，擷取出數十張連續的影像，接著利用光線在人臉上起伏變化的數十張連續影像完成 3D 模型重建。使用 3D 人臉重建方法擷取深度資料，並將深度資料合併以影像方式呈現，如圖 7 所示，最後再將使用 LBP 特徵值運算及統計，作為 3D 人臉比對的資訊。而加入深度最主要的功能在於將此實驗的辨識率提高，防止不肖人士利用照片來混淆系統辨識，加強此實驗的可行性。

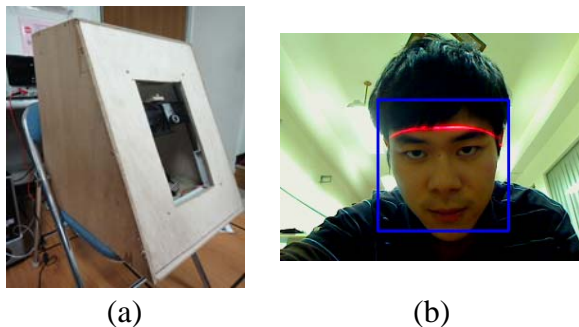


圖 6. (a)掃描器平台，(b)雷射燈泡在人臉之影像

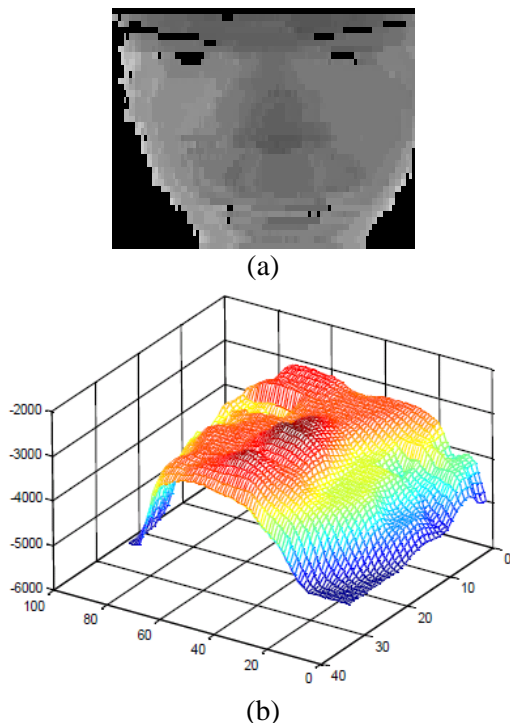


圖 7. 3D 人臉重建範例，(a)人臉深度影像，(b) 3D 人臉模型

5.3D 人臉辨識

在 3D 人臉辨識中，我們使用局部二元特徵 (Local Binary Pattern, 簡稱 LBP) 運算作為主要的演算法。本章節詳細介紹局部二元特徵運算的原理，及針對每筆資料的比對公平性做正規化的處理。

5.1 LBP 特徵計算

本專題研究針對人臉辨識，採用局部二元特徵[20]作為人臉辨識的特徵，LBP 是一種簡單且很有效的紋理操作，與其他現有的方式比較為方便，容易建立新的資料，舊有的資料不須因為建立新資料而作變更，且因計算簡單，可應用於即時運算上。LBP 運算操作的基本概念可被描述成兩個步驟：特徵值計算和統計運算。特徵值計算是將圖像中每個像素值以 3x3 鄰域範圍與該像素值相減，考慮結果為負數就將其值標示為 0，若為正數就標示為 1，接著以中心點右邊為起點開始順時針以二進制編碼。計算方式如下：

$$LBP = \sum_{p=0}^{p-1} s(g_p - g_c) \cdot 2^p, \quad s(x) = \begin{cases} 1, & \text{if } x \geq 0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

統計運算則是將影像分割成許多的區塊，對每個區塊的特徵值做統計運算，以直方圖呈現資料，再將所有區塊的直方圖彙整成一筆資料，如 8 所示。本文將人臉影像與深度影像均切割成九等份，對每一等份進行 LBP 特徵值運算定正規化後，再匯集成一筆資料，圖 8 與圖 9 為一個例子，計算完成的 LBP 值同時也存入資料庫中，以便比對時使用。

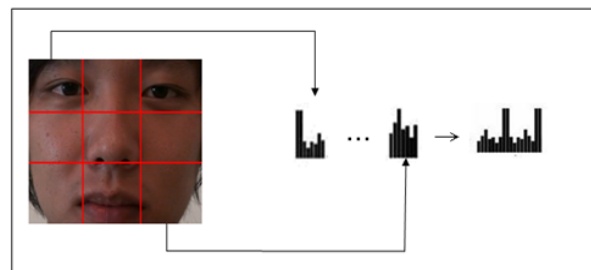


圖 8. 人臉影像 LBP 特徵抽取示意圖

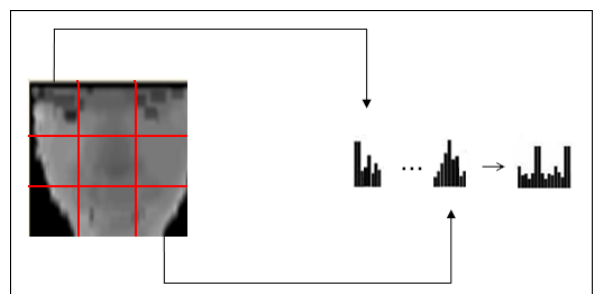


圖 9. 深度影像 LBP 之統計值示意圖

5.2 基於 LBP 特徵之人臉辨識

根據已建立的資料與受測者進行比對與辨識，進行 2D 及 3D 的比對與辨識。若受測者的資料已於資料庫中建立，比對成功則會顯示出其學號。與資料庫進行比對的方程式 (5-3)，如下：

$$d(\bar{x}) = \sqrt{\sum_{i=0}^N (x_i - x_i^j)^2}, x \in R^N, j=1,2,3,\dots,M \quad (3)$$

其中， x_i 為資料庫中的 LBP 特徵值； x_i^j 為欲辨識之 LBP 特徵值。 N 代表特徵維度， M 代表資料庫中比對的筆數。將人臉深度資訊與建置資料庫中的資訊，逐一做誤差值的比對，找出誤差最小的人臉，並顯示出最小的五個人臉影像，如圖 10 所示，並在左下角方框處顯示該受測者之學號。

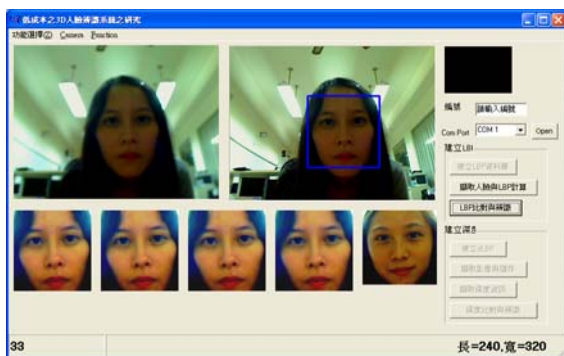


圖 10. 比對結果顯示

6. 實驗結果與討論

本章介紹實驗的進行並記錄每個實驗項目的實驗數據，以證明本專題的實驗目的可行性。我們選擇十位受測者進行實驗測試。如表 1 所示，實驗項目有 2D 人臉比對辨識、3D 人臉比對辨識以及 3D 效果進行照片比對辨識，並統計各項實驗的準確率。

表 1. 照片對照表

| 編號 | (1) | (2) | (3) | (4) | (5) |
|----|-----|-----|-----|-----|------|
| 照片 | | | | | |
| 編號 | (6) | (7) | (8) | (9) | (10) |
| 照片 | | | | | |

6.1 人臉比對辨識實驗結果

此節之實驗為本人進行比對與辨識及本人的 3D 比對辨識，辨識結果如 Fig.6.2、Fig.6.3 實驗結果辨識率相當高。由實驗結果可以看出使用 LBP 特徵值運算所進行的辨識有一定的準確度，不受光線等外在環境影響，並可顯示受測者學號於左下角方框處。Table.6.3 為測試十個人的實驗結果之數據。

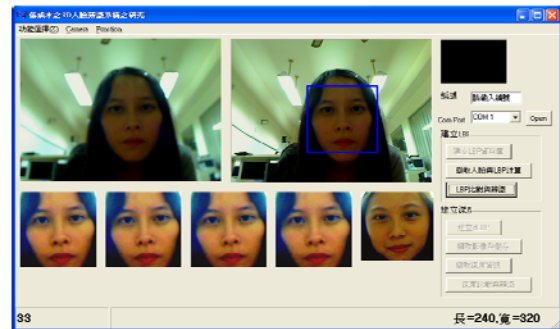


圖 11. 2D 人臉之辨識結果

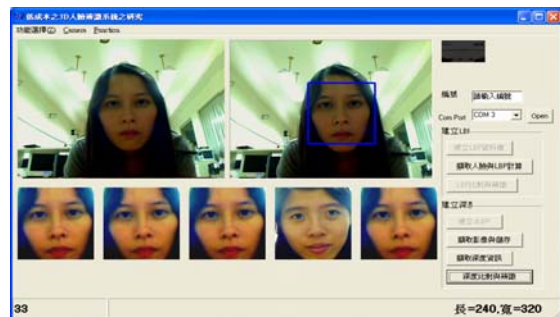


圖 12. 3D 人臉之辨識結果

6.2 照片比對辨識實驗結果

在此節中，因在 2D 辨識時容易辨識成功，如 Fig.6.4。為了解決照片也可以成功辨識的問題，專題加入深度資訊進行辨識，成功解決此問題。實驗結果如 Fig.6.5，利用閾值進行來判斷受測者是否為照片，成功辨識該受測者為照片，Table.6.4 為實驗結果數據。

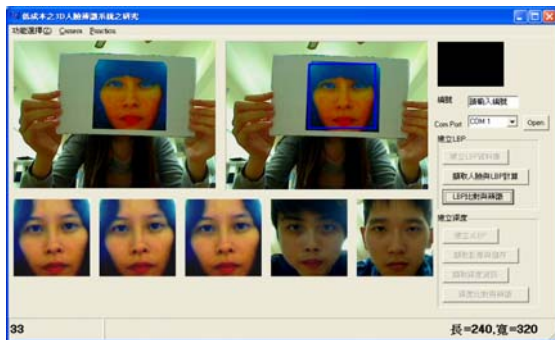


圖 13. 2D 照片之比對結果



圖 14. 3D 照片之比對結果

實驗項目的結果顯示，在 2D 人臉辨識部分雖有相當不錯的效果，但若以照片進行辨識會無法判定是否為照片，容易造成系統的混淆，使安全性降低。在 3D 人臉辨識部分，由於建置人臉深度模型來輔助 LBP 特徵值的辨識，提高了辨識的正確率。

7. 結論

傳統人臉辨識大多以 2D 進行辨識，容易使用照片通過辨識，因此紛紛朝向 3D 人臉辨識的研究領域。本文使用雷射光源及一台攝影機完成低成本的掃描平台，來建立深度資訊。此外本文利用 LBP 特徵運算過後的統計值，來做為比對要素，雖然有很良好的辨識效果，但利用照片也很容易通過辨識，故加上深度計算出的 LBP 統計值，來輔助 LBP 辨識上不足，可加強比對的精確度，以達到本文的研究目的。在人臉進行 3D 的比對時，實驗發現環境光線的因素，會影響到 LBP 統計值的變化，造成比對上的精確度降低。而利用照片去做 3D 的比對，因為有深度資訊的輔助，在誤差值上產生很明顯的落差，所以可排除利用相片蒙騙辨識系統的可能性，藉此提高安全性。實驗結果顯示，在 2D 辨識下平均準確度皆可達到 80%，在 3D 辨識下平均準確度更可達到 90%，明顯提高系統的穩定性。

表 2. 人臉實驗數據表

| 編號 | 2D | 3D |
|-------|------------|------------|
| | 正確率(%) | 正確率(%) |
| (1) | 70% | 90% |
| (2) | 100% | 100% |
| (3) | 80% | 90% |
| (4) | 60% | 100% |
| (5) | 80% | 70% |
| (6) | 100% | 100% |
| (7) | 80% | 80% |
| (8) | 100% | 100% |
| (9) | 100% | 90% |
| (10) | 80% | 80% |
| 平均正確率 | 85% | 90% |

表 3 照片實驗數據表

| 編號 | 2D | 3D |
|-------|-------------|-----------|
| | 正確率(%) | 正確率(%) |
| (1) | 100% | 20% |
| (2) | 100% | 0% |
| (3) | 100% | 20% |
| (4) | 100% | 0% |
| (5) | 100% | 20% |
| (6) | 100% | 10% |
| (7) | 100% | 0% |
| (8) | 100% | 0% |
| (9) | 100% | 10% |
| (10) | 100% | 10% |
| 平均正確率 | 100% | 9% |

參考文獻

- [1]. 卓建隆，“遠端醫療中基於人臉辨識之身份認證的生理訊號傳輸”，臺灣大學電機工程學研究所，2006。
- [2]. 刑事科技園區刑事雙月刊，2008，<http://www.cib.gov.tw/CibSystem/Magazine/File/A/0000000528.pdf>。
- [3]. 王立德，中時電子報，“ATM 大改造 擬建置人臉辨識系統”，2010。
- [4]. and Yee-Hong Yang, “FACE RECOGNITION APPROACH BASED ON RANK CORRELATION OF GABOR-FILTERED IMAGES,” Pattern Recognition, Volume: 35, Issue: 6, 2002, pp. 1275-1289.
- [5]. M. O. and J. P., “FACE RECOGNITION METHODS BASED ON PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND FEEDFORWARD NEURAL NETWORKS,”

- IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Volume 1, 2004, pp.25-29.
- [6]. Yankun Zhang and Chongqing Liu, "FACE RECOGNITION USING KERNEL PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS AND GENETIC ALGORITHMS," Proceedings of the 2002 12th IEEE Workshop on Neural Networks for Signal Processing, 2002, pp. 337-343.
- [7]. V. E. N. and I. F. I., "FACE RECOGNITION USING A FUZZY-GAUSSIAN NEURAL NETWORK," Proceedings of the First IEEE international Conference on Cognitive Informatics, 2002, pp. 361-368.
- [8]. P. C. Yuen , D. Q. Dai and G. C. Feng, "WAVELET-BASED PCA FOR HUMAN FACE RECOGNITION," IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, 1998, pp. 223-228.
- [9]. 李亭緯 "利用人臉五官為特徵之人臉辨識系統", 中央大學資訊工程研究所, 2008。
- [10]. 楊煒達 "簡易方法之少量人臉辨識系統", 中央大學資訊工程研究所, 2007。
- [11]. Heusch, G., Rodriguez, Y. and Marcel, S, "Local binary patterns as an image preprocessing for face authentication," International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition, 2006, pp.6-11.
- [12]. David J. Kasik, "Advanced Graphics Technology," Published by the IEEE Computer Society, 2010, pp.96-97
- [13]. Yasuhiro Toyama, Yukio Sato, "3-D Face Verification with 3-D Face Scanner," International Symposium on Optomechatronic Technologies, 2009, pp.175-178
- [14]. CCD 攝影機介紹及提高取像之 SNR 比：
<http://140.134.32.129/eduteach/oliver/hh/h11.htm>
- [15]. Donghoon Kim, Rozenn Dahyot, "3D Head Reconstruction using Multi-camera Stream," 13th Irish Machine Vision and Image Processing Conference, 2009, pp.156-161
- [16]. Robert T. McKeon, Patrick J. Flynn, "Three-Dimensional Facial Imaging Using a Static Light Screen (SLS) and a Dynamic Subject," IEEE TRANSACTIONS ON INSTRUMENTATION AND MEASUREMENT, VOL. 59, NO. 4, APRIL 2010, pp.774-783
OpenCV Wikipedia：
<http://en.wikipedia.org/wiki/OpenCV>
- [17]. OpenCV 官方網站：
<http://sourceforge.net/projects/opencvlibrary/>
- [18]. BASIC Stamp 介紹：
http://www.playrobot.com/microcontroller/microcontroller_basicstamp_introduce.html
- [19]. Local Binary Pattern：
http://www.scholarpedia.org/article/Local_Binary_Patterns