

實作於單板電腦的教室數位點名系統

Implementation of Class Digital Attendance System in Single Board Computer

黃樹林 李柏翰

Shu-Lin Hwang Bo-Han Li

明志科技大學電子工程系副教授 明志科技大學電子工程系

摘要

教育能決定一個人的人生旅程，保障學生權力及教育品質效率已是重要的課題。學生有責對自己課業學習負責，教師也有義務關心學生學習狀態，因此在兼顧教育成效與學生關懷下，本文提出一款針對學生人臉辨識的教室點名系統。此系統可記錄每位學生在每一堂課的出勤狀況，同時能提供課堂點名及觀察學生學習狀況。本系統分為兩部分，第一部分使用具有支援影像處理技術的單機電腦 Raspberry 作為系統前端處理，將其架設在教室出入口，並使用 Raspicam 和人臉偵測方法觸發錄製學生影像並儲存在網路檔案系統(NFS client)中，傳給系統後端處理。第二部分為 Linux Server 後端處理系統，架設 NFS server 及 Web server，首先處理 NFS 中學生的影像進行人臉辨識分析，人臉辨識方法使用主要成分分析(Principle Component Analysis; PCA)演算法來進行人臉訓練及辨識，將辨識結果統整到資料庫，由 Web server 抓取資料庫資訊，提供給外部使用者查看。提出的系統使用人員訓練樣本 10 人及非訓練樣本 3 人，藉由應用人臉辨識技術在一個月多次拍攝影像中進行辨識，考慮兩種訓練樣本之人臉選取範圍、辨識未知身分人員之門檻值設定調整及提出加入新樣本重新訓練之修正版本等。使用人臉選取範圍較小之訓練樣本，可減少背景等無關人臉特徵資訊，其辨識準確率有明顯較高。根據實測辨識結果，動態回饋辨識不佳的人臉訓練樣本，重新訓練後之修正版本準確率可達到 92%。

關鍵詞：人臉辨識、教室點名、樹莓派。

ABSTRACT

Education can determine one's life, and the protection of students' rights, along with the quality and efficiency of education, has become an important issue. Students should be responsible for their schoolwork and study, and teachers have the obligation to care about students' learning. In consideration of the effect of education and the concern for students, this study proposes a class attendance system featuring the recognition of students' faces. Aside from recording the attendance of all students in each lecture, the system can be used for roll call and the observation on students' learning. It consists of two parts. In the first part, Raspberry, which supports image processing, is used for the front-end processing and placed at the entrance of the classroom; Raspicam and face detection enable the recording of the images of students, store the images in Network File System (NFS client) and send them to the back-end processing. The second part involves the Linux Server back-end processing system and the establishment of the NFS server and the Web server. For the first step, the images of students in the NFS are processed for the recognition and analysis of faces. The algorithm Principle Component Analysis (PCA) is adopted for the training and recognition of faces, and the results of the recognition are added into the database; then, the Web server capture the information in the database and show it for the external users. The face recognition technology is used to recognize the faces of 10 training samples and 3 non-training samples which use the system for several times within a month. The two type of face selection range for the training samples is considered; the threshold values for recognizing those unidentified are set and adjusted; the revised version featuring the addition of new samples for new training is proposed. The training samples with a smaller face selection range can reduce the background and other information irrelevant to face characteristics and thus

have a significantly higher accuracy of recognition. According to the results of recognition, the accuracy of the new training-based revised version of the training samples with poor dynamic feedback recognition can be as high as 92%.

Keyword: Face Recognition, Class Attendance, Raspberry Pi

一、前言

隨著文明演變、科技發展，教育已成人生普遍經歷。也是人們將幾千年以來，所學知識傳授給下一代的重大過程之一。教育系統演變隨著科技發展，從原本紙本教育逐漸被電腦網路取代。一直以來，課堂點名是具有多方面的教育問題，其中包含學生出勤成績、學校權益與學生的安全問題、課堂學習時間問題等。原先課堂使用紙本點名方式，可能佔用 3~5 分鐘上課時間，除讓老師有教學進度的壓力外，也讓學生減少學習的時間。針對此問題，提出一套使用視訊點名的系統，將能改善課堂點名學習效率問題。

人類眼睛擁有高清晰度視覺成像，通過眼睛產生的影像，經過人類大腦處理分析，辨識影像中所呈現的物體與景象，這就是最原始的影像辨識，同時也是最高最精密的辨識能力。傳統辨識方法，如透過：眼睛虹膜、指紋、聲音、人臉等生物特徵進行身分辨識。其中人臉辨識最為適合作為出勤管理系統之應用，原因為(1)人臉辨識為非接觸式辨識方法，相較於其他生物性辨識方法更簡單方便截取影像。(2)在簡單方便截取影像的條件下，不容易冒充或作假[1-2]。

一般使用的辨識方法，是將攝影設備架設在教室講台上，一次性拍攝所有學生的人臉畫面，進行人臉辨識分析[3-4]。但若要清楚拍攝所有人臉，攝影設備必須支援較高解析度及影像品質，相對系統成本就會提高。本文探討使用低成本單板電腦 Raspberry[10]的 Raspicam 作為攝影設備，架在教室出入口，拍攝影像大小與門框一致。雖然拍攝品質較低，但能清楚呈現人臉畫面。

本文研究目標是取代傳統的課堂教師點名，利用 Raspberry 當作人類眼睛，讀取學生走進教室門口影像，利用後端伺服器當作人類的大腦做辨識分析，辨識方法使用 PCA [5]，計算出人臉影像中都含有的主成分，此主成分即為特徵臉[6-7]。本文實作一套點名系統，考慮訓練樣本人臉選取範圍、辨識未知身分人員之調整門檻值設定及提出修正版本--加入新樣本重新訓練等因素，並探討其系統效益及可行的實作模式。

二、背景知識

2.1. PCA 特徵臉

主要成分分析(PCA)是由英國統計學家 Karl Pearson 於 1901 年提出[8]，是一種將數據降維的技術。透過捨棄高階主成分，保留低階主成分的方法，達到數據集降低維度，同時也保留最大數據集的變

異。PCA 主要構想為分析 covariance matrix 的特徵屬性，取得數據中的主成分與權值，也就是得出特徵向量與特徵值。

特徵臉人臉辨識方法分為訓練特徵臉與特徵臉人臉辨識，特徵臉一般訓練如以下步驟：放入待預測人臉樣本集，每張樣本大小必須是一致的，且長寬需為 $N \times N$ ，如圖 1。

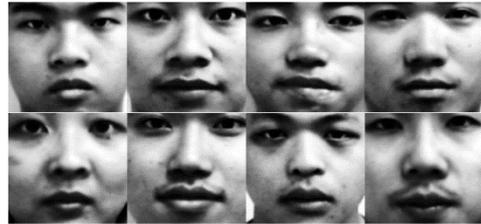


圖 1.訓練人臉樣本

1. 將所有人臉樣本以向量 x 表示， $X = \{x_1, x_2, \dots, x_M\}$ 。
2. 計算平均人臉向量 μ :

$$\mu = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M x_i$$



圖 2. 平均人臉影像

3. 計算每張人臉訓練樣本與平均人臉向量差異。

$$r_i = x_i - \mu$$

4. 計算 covariance matrix S :

$$S = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (x_i - \mu)(x_i - \mu)^T = XX^T$$

5. 利用 XX^T 推導出特徵向量，因為 $XX^T (N^2 \times N^2)$ 陣列形態太大，因此可考慮 $X^T X (M \times M)$ 作為代替推導特徵向量 v_i ，再推導 XX^T 的 eigen vector u_i 。

$$\begin{aligned} X^T X v_i &= \lambda_i v_i \\ X X^T (X v_i) &= \lambda_i (X v_i) \\ S (X v_i) &= \lambda_i (X v_i) \\ S u_i &= \lambda_i u_i \end{aligned}$$

6. 因此可以知道 XX^T 與 $X^T X$ 有相同的特徵值以及它們特徵向量的關係。(normalize $\|u_i\| = 1$)

$$u_i = X v_i$$

7. 這些訓練過程可被表示為 $K(K \leq M)$ 個最佳特徵向量的一組線性組合，而這些特徵向量就被稱為特徵臉，如圖 3。



圖 3. 特徵臉

8. 最後將這些特徵臉投影在人臉空間上，會得到向量 d_M ，其意義為每張人臉影像對每張特徵臉的權重。

$$d_M = U^T(x_M - \mu)$$

$$U = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_K\}$$

特徵臉人臉辨識為對一張未知人臉影像進行預測分析，特徵臉預測分析如以下步驟進行：

1. 計算未知人臉影像與平均人臉向量的差異。

$$r = x - \mu$$

2. 將未知人臉影像投影到人臉空間裡。

$$d = U^T(x - \mu)$$

3. 分析每張人臉樣本的 d_M 與未知人臉影像的 d 的差距，並尋找最小的差距值 ϵ_r 。

$$e_M = \|d - d_M\|^2$$

$$\epsilon_r = \min(e_M)$$

4. ϵ_r 表示未知人臉所有特徵與 ϵ_r 所對應的人臉樣本的特徵最為接近，如果 $\epsilon_r < T_r$ (T_r 為自訂的門檻值)，那麼認定此人臉樣本與未知人臉影像是同一人。

2.2. OpenCV[9]

OpenCV(Open Source Computer Vision)，是 Intel 公司在 2005 年所發佈的一個開放式電腦視覺影像函式庫，支援多種程式語言與多平台開發，它提供許多模組及內部存取管理，解決龐大的視覺影像處理運算，OpenCV 內部模組與功能如表 1 所示：

表1. OpenCV 模組功能

Model	Features
core	基本資料結構、資料類型及儲存管理
imgproc	影像處理模組，包含線性與非線性的影像濾波器及幾何影像圖形轉換
video	影片分析模組，包含物技追蹤、背景相減及移動方向預估等
calib3d	多視角幾何演算法，影像校正、3D 物件重建及姿態估測等
features2d	特徵擷取及特徵描述
objdetect	物件偵測，如人臉偵測、眼睛偵測、

	嘴巴偵測、鼻子偵測及身形偵測等
highgui	提供簡易的 UI 介面
gpu	利用 GPU 運算處理影像
ml	機器學習演算法，如 KNN、貝式機率分類器、SVM 等

三、系統架構

系統架構分為兩大部分：前端與後端處理系統。前端為系統前置作業處理，負責截取目標影像並儲存及記錄設定資訊。後端為系統主要資料處理，負責利用前端資訊，處理人臉辨識分析作業。系統處理流程圖如圖 4 所示。影像由前端 Raspberry 拍攝擷取後，使用 NFS 透過網路傳送到 Linux 伺服器，進行人臉辨識運算，並將辨識結果更新至資料庫，由網頁讀取資料庫資訊後呈現辨識結果。

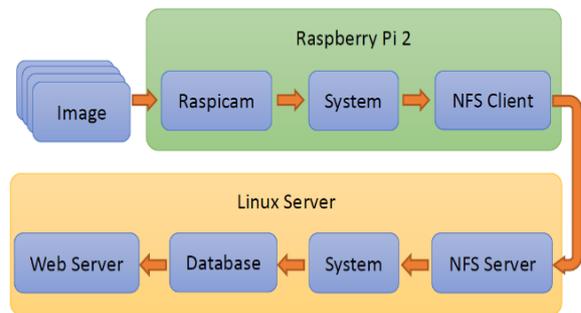


圖 4. 系統架構

3.1. 系統前端處理系統

Raspberry 支援 OpenCV library，作為此系統的前端處理平台，負責簡單影像處理。首先 Raspberry 啟動 raspicam 擷取畫面，利用移動偵測方法觸發影像錄製，儲存到影像檔中並記錄影像檔資訊在設定檔(config.txt)，最後傳送到 NFS 資料夾中，便於後端處理人臉辨識作業。作業流程如圖 5 所示。

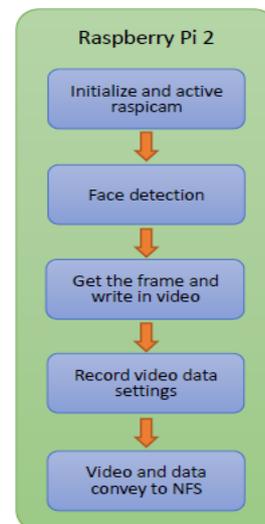


圖 5. 系統前端執行流程

3.2. 系統後端處理系統

考量本系統的效能配置，且 Linux server 擁有較好的計算能力，因此把系統高度運算的影像處理部分交由 linux 處理。首先系統讀取所有辨識者人臉樣本，並開始特徵臉訓練。接著 linux server 將傾聽 NFS 中設定檔資訊，若有新的資訊，表示前端平台回傳新的影像等待處理中。這些影像檔含有大量 frame，連續 frame 中的人臉變化極微小，因此將讀取的影像檔，依據影像檔 FPS 設定每隔 N 張 frame，處理一次人臉辨識程序，增加系統執行效率。選擇處理的 frame 先進行人臉偵測，若偵測到人臉，再進行眼睛及鼻子偵測。用意在於截取人臉的角度及範圍，調整左眼及右眼的中心連線成水平。再依兩眼之間距離，使用已設定比例去配置人臉截取範圍。最後再以鼻子中心，調整為人臉截取範圍的中心點，此規範大幅提升系統人臉辨識率。最後，將截取的人臉進行特徵臉預測辨識，並立即將辨識結果上傳到 MySQL 資料庫。再由網頁伺服器抓取資料庫資料顯示結果在網頁上，提供教師或使用者搜尋，作業流程如圖 6 所示。

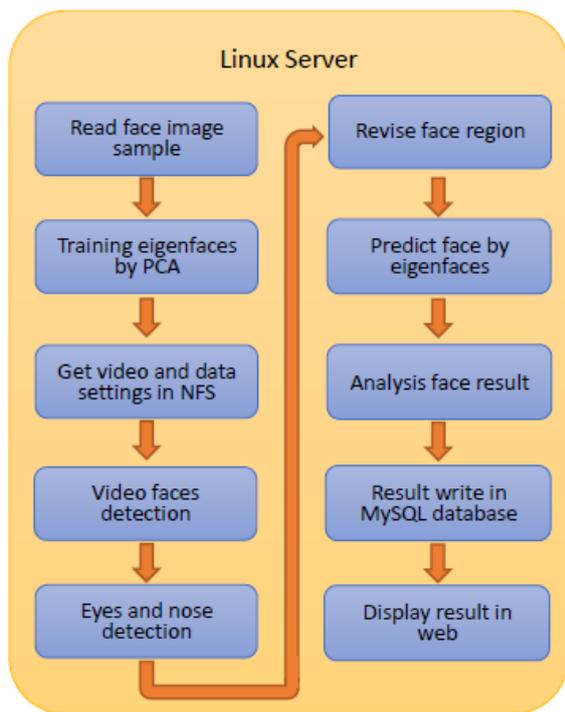


圖 6. 系統後端執行流程

四、系統實驗環境

4.1 系統硬體規格

系統分別使用一般個人電腦作為後端硬體設備，及 Raspberry 作為前端硬體設備，表 2 為系統前端與後端硬體規格。

表2. 系統硬體規格

	Frontend	Backend
Product	Personal computer	Raspberry pi 2
OS	Raspbian Wheezy	Ubuntu 14.04
CPU	Broadcom BCM2836 ARMv7 900MHz Quad Core Processor	Intel Q9400 2.66GHz Quad Core Processor
RAM	1GB	4GB
Opencv Version	2.4.9	2.4.9

4.2. 人臉樣本

人臉樣本選取考量為系統重要因素，選擇範圍不同會直接影響人臉辨識準確率。表 3 為樣本錄製條件與內容規格，取樣的方法為使用 Raspicam 直接錄下一個人走進教室門口之影像。選擇影片中的的人臉影像，擷取人臉部分作為人臉樣本。總辨識人數為 13 人，包含 3 人非訓練樣本人員。以一個月時間，在不同時間拍攝 104 部影片，包含非訓練樣本人員影片 24 部。影片總 Frame 數為 924 張，包含 210 張為非訓練樣本人員。系統會擷取影像中人臉並調整人臉影像大小為 100×100 解析度，每張都會在同樣影像大小下進行辨識。

表3: 樣本內容規格

訓練樣本人數	10
非訓練樣本人數	3
拍攝時間	3 week
待辨識影片總數	104
非 training sample 人員影片數	24
待辨識影片 Frame	924
非訓練樣本人員影片框	210
樣本解析度	100×100
樣本色彩	彩色
樣本規格	PNG
取樣位置	教室門口
環境照度	360±10%lm

五、實驗與結果

5.1. 人臉辨識評估標準

人臉辨識準確率計算方法為將人臉辨識之結果分類成四種，分別為 True Positive(TP)、True Negative(TN)、False Positive(FP)和 False Negative (FN)，此四種結果定義如表 4 所示。辨識決策方法會依自訂門檻值區分影片中每張 frame 的運算值是否高過於門檻值，若一半以上高過於門檻值，則判定為未知身分。若非未知身分之影片，則會依照每張 frame 之運算值高於或低於門檻值給予不同權重值，最後結果將以權重值大小決定身分。

人臉辨識準確率計算為將成功辨識的結果總數(TP+TN)除以實際辨識影片總數(Total)。

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{Total}$$

表4. 辨識結果分類定義

True Positive	訓練樣本人員中有此人，有正確辨是此人
True Negative	訓練樣本人員中未有此人，也正確辨識此人為非訓練樣本成員。
False Positive	訓練樣本人員中未有此人，卻辨識此人為訓練樣本成員。
False Negative	訓練樣本人員中有此人，卻無法正確辨識出此人的身分。

5.2. 門檻值定義

在本文 2.1.提到，使用 PCA 計算特徵臉時，會產生一個人臉空間。這個人臉空間將會是樣本與待辨識人臉比對計算的一個依據。計算出來的數值範圍會在 0~10000(樣本解析度 100×100)，數值越小表示待辨識人臉越接近其中一張樣本人臉，但如何判定是否真的為訓練樣本人員，因此必須自訂一門檻值來區分可信的數值，門檻值會隨著所有樣本數量、人數、人種與取樣人臉範圍的變化而改變，因為以上因素變化越多，人臉空間也會跟著變複雜，比對計算的門檻值也會跟著提高。

5.3. 包含完整頭部人臉範圍之身分辨識分析

擷取人臉頭部如圖 7，包含五官、髮型、臉型等完整臉部特徵，涵蓋較多資訊來進行辨識分析。表 5 為辨識結果，結果分為兩種辨識數據，分別為從頭到尾僅使用 1 張(Only One)及修正版本 1-2 張樣本訓練之辨識結果。門檻值設定是經由樣本訓練、測試樣本與非樣本人員影像辨識後分析，決定為 3200 及 3500。表 5 中 1-2 張樣本的選擇方法為先使用 1 張樣本訓練進行身分辨識得出結果(Before)，將其中辨識結果不佳的人員樣本加入為第二張樣本重新訓練，再進行後續身分辨識(After)。僅使用 1 張樣本的平均準確率為 62%，修正版本的平均準確率雖只有提升為 66%，但修正後(After)的準確率已明顯改善到 92%。



圖 7. 包含完整頭部人臉範圍取樣圖

表5. 圖7辨識結果

Sample	Only one	1-2		
Time	All	Before	After	ALL

Threshold	3200	3200	3500	
TP	54	38	21	59
TN	10	7	3	10
FP	14	13	1	14
FN	26	20	1	21
Accuracy	62%	54%	92%	66%

5.4. 只包含五官之較小人臉範圍之身分辨識分析

將圖 7 縮小截取人臉範圍，如圖 8 只涵蓋五官較小人臉特徵，減少背景等無關人臉特徵資訊進行辨識，表 6 為其辨識結果數據。比較表 6 與表 5，在圖 8 人臉影像準確率有明顯差異，兩種版本的平均準確率都提升了 11%(62%→73%,66%→77%)，修正版本的修正前準確率(Before)提升 17%(54%→71%)，但修正後(After)兩者的準確率都可達到 92%。只多加 1 張訓練樣本之修正版本(After)，在兩種人臉範圍都能達到可被接受的效能。



圖 8. 只涵蓋五官人臉範圍取樣圖

表6. 圖8辨識結果

Sample	Only one	1-2		
Time	All	Before	After	ALL
Threshold	3600	3600	3800	
TP	56	40	20	60
TN	20	16	4	20
FP	4	4	0	4
FN	24	18	2	20
Accuracy	73%	71%	92%	77%

5.5. 未加入非訓練樣本辨識分析

圖 9 為只考慮教室中學生為固定時，訓練樣本人員即為辨識對象之情況，人數從 2 位變動到 10 位之辨識結果。此結果並未加入非訓練樣本人員，僅針對有加入訓練樣本人員之影片進行辨識，因此不需設定門檻值，直接將辨識計算結果進行身分決策。從圖 9 結果看出，樣本人數的增加會造成準確率下降。但從兩條曲線顯示，上方曲線(圖 8 人臉範圍)數值都明顯高於下方曲線(圖 7 人臉範圍)，這說明影響準確率的因素，主要還是加入樣本待辨識人員人臉範圍。圖 8 人臉範圍曲線準確率從兩位 100%，逐漸隨著人數增加變動降低為 83%~92%。圖 7 人臉範圍曲線準確率從兩位 89%，逐漸隨著人數增加變動降低為 66%~79%。下方曲線中準確率有較大起伏之原因可能為加入太多背景資訊干擾之影響。



圖 9. 樣本人員變動準確率曲線圖

5.6. 人臉辨識錯誤分析

由圖 10 人臉影像可知，人臉影像偏側臉、表情與樣本差異過大或是頭髮髮型變化大，都會是造成辨識錯誤的原因之一。這些人臉影像是由進入教室時錄製的影像，若人員走動過快，也會造成影像失真，導致人臉影像模糊及辨識錯誤，這是利用影片辨識的缺點之一。

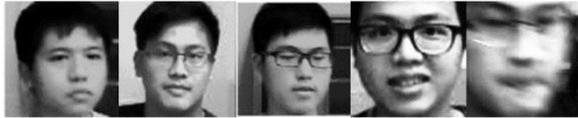


圖 10. 辨識錯誤的人臉影像

六、結論

本文所提出的系統為課堂數位點名系統，利用 PCA 作為系統人臉辨識方法。辨識影像取得是在教室門口錄製人員進入教室的一連串影像，利用 5.1 所描述規則去執行辨識計算後的身分決策。因為是連續人臉影像，擁有更多資訊做決策，可降低辨識錯誤率。但也可能因人走動時擷取影像容易失真，而降低人臉辨識準確率。為了要能辨識出未知身分人員，必需考慮調整門檻值的設定，否則會影響整體的準確率。因此如何動態調整門檻值以達較好的辨識是未來的研究重點。本文實驗結果，在非修正版本僅達 62%/73% 的平均準確率。只多加 1 張訓練樣本之修正版本(After)，兩種人臉範圍樣本的準確率都可達到 92%。未來將持續實驗回饋訓練樣本的規則、時間點，找出最佳訓練樣本飽和最少張數。另外，影片中人員進教室影像雖然每次都不大相同，但還是會有一些習慣表情。若能加入此類影像當作訓練樣本，應能提高辨識準確率。

七、致謝

感謝明志科大教師學術研究補助計畫 VL004-1500-104 提供本研究所需之經費。

八、參考文獻

1. Adrian Rhesa Septian Siswanto, Anto Satriyo Nugroho and Maulahikmah Galinium,

“Implementation of Face Recognition Algorithm for Biometrics Based Time Attendance System”, Agency for the Assessment & Application of Technology (PTIK-BPPT).

2. Chitresh Saraswat and Amit Kumar. An Efficient Automatic Attendance System using Fingerprint Verification Technique. International Journal on Computer Science and Engineering Vol. 02, No. 02, pp. 264-269, 2010.
3. Nirmalya Kar, Mrinal Kanti Debbarma, Ashim Saha, and Dwijen Rudra Pal, “Study of Implementing Automated Attendance System Using Face Recognition Technique”, International Journal of Computer and Communication Engineering, Vol. 1, No. 2, pp. 100-103, July 2012.
4. Ajinkya Patil and Mrudang Shukla, “Implementation of Classroom Attendance System Based on Face Recognition in Class”, International Journal of Advances in Engineering & Technology, pp. 974-979, July 2014.
5. J. Zhu and Y. L. Yu, “Face Recognition with Eigenfaces”, IEEE International Conference on Industrial Technology, pp. 434 -438, Dec. 1994.
6. Aruna Bhat, “Medoid Base on Model for Face Recognition Using Eigen And Fisher Faces”, International Journal of Soft Computing, Mathematics and Control (IJSCMC), Vol. 2, No. 3, pp.2-4, August 2013.
7. M. Turk and A. Pentland, “Eigenfaces for Recognition”, Journal of Cognitive Neuroscience, vol. 3, No. 1, pp. 71-86, 1991
8. Pearson, K., “On Lines and Planes of Closest Fit to Systems of Points in Space,” Philosophical Magazine 2 (11), pp. 559-572, 1901.
9. Stevan O. N. Silva, Luciano Silva, “A Linux Microkernel Based on Architecture For OpenCV in Raspberry Pi Device”, International Journal of Scientific Knowledge, Vol. 5, No. 2, pp. 44-52, June 2014.
10. <https://www.raspberrypi.org/>