

智慧居家健身系統

A Fitness System for Smart Home

王能中 鐘子傑 李柏寰

國立聯合大學資訊工程學系

苗栗市南勢里聯大二號

ncwang@nuu.edu.tw

{U0724023, U0724003, U0724050}@smail.nuu.edu.tw

摘要

COVID-19 於 2020 年初在全球快速蔓延，因應政府政策的關係，民眾無法在健身房運動，因此民眾選擇在家進行健身活動。在缺乏專業健身知識及專人指導的情況下，民眾在居家健身時，常因為健身姿勢不正確，造成肌肉拉傷甚至是不可逆的運動傷害。在本研究中，我們設計一套智慧居家健身系統。本系統包含兩個子系統：「健身網站與 APP 系統」及「健身辨識系統」。「健身網站與 APP 系統」的功能包含：運動規劃、健身資訊、BMI 與 BMR 計算器、卡路里計算、及動作辨識系統等。「健身辨識系統」的功能包含：動作狀態判斷、動作相似度判斷及系統效能分析。該子系統在使用者健身時，可以依據所提供的健身影片分析其姿態相似度，以產生對應的健身分數，並且會回饋使用者健身操作的建議。本系統的實作不僅可以讓使用者的居家健身活動像在健身房一樣，也可以減少使用者在健身活動時的運動傷害。

關鍵字：攝影機、COVID-19、健身、姿勢辨識、智慧居家。

Abstract

COVID-19 is spreading rapidly around the world in early 2020. Due to government policies, people cannot exercise in gyms, so people choose to exercise at home. In the absence of professional fitness knowledge and professional guidance, people often cause muscle strains and even irreversible sports injuries due to incorrect fitness postures when exercising at home. In this research, we design a fitness system for smart home. This system consists of two subsystems: "fitness website and APP system" and "fitness identification system". The functions of the "fitness website and APP system" include: exercise planning, fitness information, BMI and BMR calculators, calorie calculations, and motion recognition systems, etc. The functions of the "fitness recognition system" include: motion state judgment, motion similarity judgment, and system effectiveness analysis. When the user is exercising, the subsystem can analyze the similarity of the posture according to the provided fitness videos to generate corresponding fitness scores, and will give back suggestions for the

user's fitness operations. The implementation of this system can not only make the user's home fitness activities like in a gym, but also reduce the user's sports injuries during fitness activities.

Keywords: camera, COVID-19, fitness, posture recognition, smart home.

1. 簡介

在本研究中，我們設計了一個智慧健身系統。本系統實作讓使用者在家運動能避免運動傷害，並改善使用者運動習慣。

1.1. 前言

近期因為疫情關係，民眾無法到健身房及運動場所運動，因此選擇居家健身。然而居家健身會因為缺乏專業知識和教練在身旁指導，因此民眾運動傷害的情況數見不鮮。

1.2. 研究動機

根據英國骨科醫生指出，從疫情爆發以來，各國政府開始下令封城後，應力性骨折患者比原本多出了 4 倍。對此醫師建議民眾在家健身、運動時，需要多加注意姿勢，否則運動傷害的後果不堪設想[1]。

因此我們希望設計出一個能夠讓使用者在家規律的運動、增強身體免疫力的同時，避免因為運動而造成身體上的傷害，並且在系統發現運動姿勢不良時，提供使用者姿勢上的建議。

1.3. 相關研究

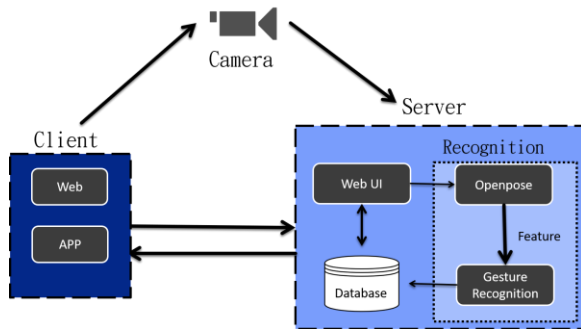
聯合大學資管系在 2021 年展示了 Ivitality [2] 後疫情時代的健身服務創新設計，技術方面是透過 Openpose [3] 抓取人物特徵點及 SVM 機器學習的演算法，來即時的辨識與分析，再透過語音提示使用者修正運動時的錯誤姿勢，避免運動傷害。

2. 系統內容

在本研究中，我們透過影像辨識技術及攝影機(手機前鏡頭)實作此系統。本系統是利用 Docker [4] 架設 Server，包含網頁及後端伺服器。辨識系統則是使用 Openpose 的技術，透過網頁前端、後端伺服器、辨識系統互相溝通來完成本系統。

2.1. 系統架構

本系統前端的部份是網頁端。後端的部份包含伺服器、辨識系統。本系統透過前端與後端的溝通來完成辨識功能，系統架構圖，如圖一所示。



圖一：系統架構圖。

2.2. 開發環境

本系統開發環境，說明如下。

2.2.1. Python3.7

是一種易於學習、功能強大且被廣泛使用的高階程式語言，屬於通用型程式語言(非限定於特殊用途而設計)。設計學習者幾乎可以立刻上手，也適用於大量的商業應用上。系統進行資料分析及將資料存進資料庫中的部分就是用此程式語言來撰寫。

2.2.2. Visual Studio Code

是一款由微軟開發且跨平台的免費原始碼編輯器，並支持 Windows, Mac OS, Linux, 只要裝上對應語言的延伸外掛模組(Extensions), 即可輕鬆變成 IDE 的開發環境。

2.3. 相關技術

本系統的相關技術，說明如下。

2.3.1. Openpose

Openpose 人體姿態識別項目是美國卡耐基梅隆大學(CMU)基於卷積神經網絡和監督學習並以 Caffe 為框架開發的開源庫。可以實現人體動作、面部表情、手指運動等姿態估計。適用於單人和多人。是世界上首個基於深度學習的實時多人二維姿態估計應用，基於它的實例如雨後春筍般湧現。

2.3.2. OpenCV

OpenCV 的全稱是 Open Source Computer Vision Library, 是一個跨平台的電腦視覺庫。OpenCV 用 C++ 語言編寫，它的主要介面也是 C++ 語言，但是依然保留了大量的 C 語言介面。電腦視覺庫也有大量的 Python, Java and MATLAB/OCTAVE (版本 2.5) 的介面。現在也提供對於 C#, Ch, Ruby 的支援。所有新的開發和演算法都是用 C++ 介面。

2.3.3. Keras

Keras 是一個用 Python 編寫的開源神經網路庫，能夠在 TensorFlow、Microsoft Cognitive Toolkit、Theano 或 PlaidML 之上執行。Keras 旨

在快速實現深度神經網路，專注於使用者友好、模組化和可延伸性，是 ONEIROS(開放式神經電子智慧機器人作業系統)專案研究工作的部分產物，主要作者和維護者是 Google 工程師弗朗索瓦·肖萊。肖萊也是 Xception 深度神經網路模型的作者。

2.3.4. Docker

Docker 是一個用於作業系統層虛擬化的開放原始碼軟體專案，可以建置(Build)應用程式及其虛擬容器，並且可以在任何 Linux 伺服器上執行的依賴性工具。Docker 相較於 Virtual Box, 具有不需要安裝作業系統、占用的硬體空間小、效能高、開機速度快、單機支援量高的優點。

3. 系統功能

本系統的功能主要分成「前端」及「辨識系統」兩個子系統。

3.1. 前端

前端包含了「會員系統」、「運動規劃系統」、「健身資訊系統」、「BMI、BMR 計算器」、「卡路里計算器」及「動作辨識系統」。

3.1.1. 會員登入系統

會員系統包含了會員登入註冊以及修改。使用者可以註冊會員個人資料然後進行登入登出以及維護個人資料。

3.1.2. 運動規劃系統

使用者可以自訂個人運動規劃或參考系統提供的套餐。

3.1.3. 健身資訊系統

系統向使用者推薦健身 Youtuber 並給熱門度排行前 10 的影片或最新的前 10 部影片連結。

3.1.4. BMI、BMR 計算器

使用者輸入身高體重系統提供其 BMI 值。BMR 則是使用者輸入個人資料，系統會顯示對應的 BMR、每日總量消耗以及使用者可以根據個人運動習慣去參考系統提供的各級別活動量計算。

3.1.5. 卡路里計算器

使用者將自己攝取的食物輸入系統，系統會計算卡路里，並呈現計算後的數值。

3.1.6. 動作辨識系統

使用者由攝像頭錄製影片後上傳至 Sever 進行辨識，系統會回饋使用者的辨識結果及使用記錄圖表。

3.2. 辨識系統

辨識端包含了「訓練系統」及「運動姿勢辨識系統」。

3.2.1. 訓練方法

訓練方法分為以下步驟：「取得訓練樣本」、「影片分類及標記特徵點」、「訓練模型建立」、「相似度演算法」及「資料訓練」。

	Feature	Dense 1	Dense 2	Dense 3	Dense 4	Dense 5	Dense 6	Dense 7
Dimension	75	128	64	32	16	8	4	2
Activation		relu	relu	relu	relu	relu	relu	softmax

3.2.1.1.取得訓練樣本

我們在智慧宅的空間固定手機錄影，使用 1600 萬畫素的手機前鏡頭錄製影片，錄影的內容包含：二頭彎舉、側平舉及相撲式深蹲等。接著依照下列步驟，將錄製好的影片匯出成影像。

1. 匯出原始影像

透過程式將影片轉換成影像。原始的影片為一秒 30 張影像。每一張影像與下一張影像只有約 0.03 秒的差距，這將會導致有過多影像的姿勢過度相似。所以我們對影片每隔 3 秒取 1 張影像也就是每秒取 10 張影像。

2. 過濾相似度高的影像及調整影像解析度

我們利用感知雜湊演算法(Perceptual Hash Algorithm)中的差異雜湊值(Difference Hash)作為影像的指紋(Fingerprint)，來判斷當前的影像與前一張影像的相似度。當兩張影像的漢明距離(Hamming Distance)小於某個臨界值，就認定這兩張影像很相似並且會捨棄掉這張影像。在訓練中，影像的解析度越高對硬體的要求也會越高，對一張影像的處理時間也會越久。透過降低影像解析度由 720x1280 調整為 480x720，也能降低對硬體的負擔。

3. 影像模糊化

我們使用高斯模糊(Gaussian Blur)將影像模糊化，利用高斯模糊的窗格大小來設定模糊的程度，達到去除影像雜訊、降低影像細節層次，來提高 Openpose 擷取特徵點時的靈敏度。

3.2.1.2.影片分類及標記特徵點

我們會先將前處理過的影像，以人工的方式來判斷這張影像的狀態是靜止的影像或是運動的影像。並且把運動的影像再細分成不同的階段。利用 Openpose 擷取影像中人物姿勢的特徵點，一張影像會有 25 個特徵點，包含 X 座標、Y 座標以及一個對於該特徵點的可信程度。共有 75 個數值。

3.2.1.3.訓練模型建立

我們使用 Keras 撰寫相關的程式。訓練用的模型。如表一所示。訓練模型使用深度學習(Deep Neural Networks, DNN) [5]，每一層皆是全連接層(Fully Connected Layer)或稱為密集層(Dense Layer)，且各層均擁有其維度(Dimension) [6]及激活函數(Activation) [7]。每一層的激活函數皆使用 relu，最後一層使用 softmax 達到分類的效果。目前的分類就是讓辨識結果分成「靜止」和「運動」兩類。

表二：訓練模型結構表。

3.2.1.4.相似度演算法

歐基里德距離又稱歐式距離[8]。是一種簡單直觀且有效的距離度量方式。我們是使用歐基里德距離來取影像間特徵點的距離，距離越短影像越相似。

3.2.1.5.資料訓練

一種動作包含訓練模型和階段樣本資料集。訓練模型有訓練集與測試集，訓練集約有 2000 筆資料，測試集約有 600 筆資料，將資料放進建立好的模型中進行訓練，最後得到訓練模型。階段樣本資料集有包含 3 個以上不同階段的特徵點資料。以二頭彎舉為例。每個階段約有 200 筆資料，將這些資料取算術平均數得到該階段的樣本資料。而四個階段組成二頭彎舉的階段樣本資料集。

3.2.2.運動姿勢辨識系統

運動姿勢辨識系統包含：「錄製影片」、「影片前處理」、「健身姿勢辨識」及「運動時間點切割」。

3.2.2.1.錄製影片

使用者從網頁前端開啟攝像頭，錄製一段完整的運動影片。不同的動作有不同的標準時間，使用者要在標準時間內完成訓練動作。

3.2.2.2.影片前處理

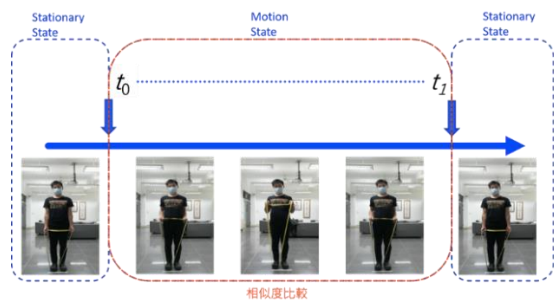
系統會以每秒五張的方式擷取使用者上傳的影片，並且調整影片的解析度，調整為 480x720。透過高斯模糊窗格對影像做模糊化，而影像的模糊程度會影響 Openpose 辨識人體姿勢的靈敏度。當靈敏度過高誤判率會提升，而過低則可能會無法正確判斷人體特徵點。

3.2.2.3.健身姿勢辨識

系統透過 Openpose 取得影片中人物的特徵點後，經由訓練模型判斷人物目前的狀態為靜止或是運動狀態，當使用者屬於運動狀態時，系統會在利用影像中人物的特徵點與階段樣本資料集中各個階段比較相似度；如果是屬於靜止的狀態則不比較其相似度。最後將相似度對應的分數提供給網頁前端作為辨識的結果，並回饋使用者對應的建議。

3.2.2.4.運動時間點切割

當系統判斷使用者目前狀態由靜止轉變成正在運動的狀態 t0，如圖二所示，持續讀取影像中人物的特徵點與階段樣本資料集比較其相似度，直到使用者由運動狀態回到靜止狀態 t1。



圖二：運動時間點。

4. 系統實作成果

本系統的系統實作成果包含：「健身網站與 APP 系統」、「健身辨識系統」，說明如下。

4.1. 健身網站與 APP 系統

網頁前端的使用介面包含：「健身網站」及「健身 APP」，說明如下。

4.1.1. 健身網站

A. 系統首頁

本系統的網站首頁分為登入會員前與登入會員後。

B. 智慧居家健身系統

本系統的網站為響應式網頁，根據設備的不同來變更網頁的排版，讓使用不同的設備都可以瀏覽本網站。使用者在未登入會員前可看到我們主要辨識的動作介紹，如圖三及圖四所示。使用者還可以使用 BMI、BMR 計算器、卡路里計算器及查看健身相關資訊，如圖五、圖六、圖七及圖八所示。使用者登入畫面，如圖九所示。使用者在登入會員後新增動作辨識及運動規劃，如圖十及十一所示。

主要動作介紹



圖三：動作介紹一。

圖四：動作介紹二。

BMI 計算器

BMI 值計算公式： $BMI = \text{體重(公斤)} / \text{身高}^2(\text{公尺}^2)$

例如：

一個 52 公斤的人，身高是 155 公分，則 BMI 為： $52(\text{公斤}) / 1.55^2(\text{公尺}^2) = 21.6$

體重 (kg): 身高 (cm): 確認

您的 bmi (體重正常範圍為 BMI=18.5~24)

圖五：BMI 計算器。

基礎代謝率計算器(BMR)

計算公式(Mifflin-St Jeor formula):
 $9.99 \times \text{體重} + 6.25 \times \text{身高} - 4.92 \times \text{年齡} + (166 \times \text{性別} (\text{男} 1; \text{女} 0) - 161) = \text{基礎代謝率 (BMR)}$
個人體在清醒而速度安靜情況下，例如：靜臥的狀態，不受精神緊張、肌肉活動、食物和環境溫度等因素影響時，所消耗的最低熱量，是基礎代謝率隨著年齡增加而逐漸降低，會隨著肌肉量增加而上升。
性別(男生打1女生打0):
年齡(age):
體重(kg):
身高(cm):
運動頻率: 確認
基礎代謝率(BMR): 1631
每日總熱量消耗 (TDEE): 1957.2
總熱量消耗 (TDEE) 是個人每天日常活動所消耗的熱量，因為個人身高、體重、肌肉量、活動量都不同而有所差異。身體健康時，如果想要減重，一天的攝食熱量就需要低於總熱量消耗。

圖六：BMR 計算器。



圖七：卡路里計算器。

健身資訊



圖八：健身資訊。



圖九：登入系統介面。

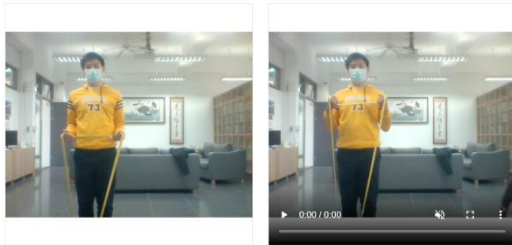


圖十：運動規劃一 圖十一：運動規劃二。

C. 錄製並上傳影片

使用者選擇完要辨識的動作，透過網站前端開啟攝像頭錄製該運動的影片，如圖十二所示。並在動作的標準時間內完成影片錄製後，上傳至辨識系統進行辨識。

動作識別



圖十二：錄製影片。

D. 查看辨識結果

辨識系統分析使用者上傳的影片後，經由比對相似度已決定該動作的準確程度，並給予對應的分數(0~3)。另外，系統提供使用者該動作的回饋建議。辨識結果網頁上會顯示辨識圖片、影片及辨識建議，如圖十三及圖十四所示。歷史紀錄，使用者點選「辨識紀錄」按鈕後，可以透過網頁的日曆選單選取想調閱的紀錄。使用者可以獲取辨識結果的表格及統計圖，如圖十五及圖十六所示。



圖十三：辨識影片、圖片。

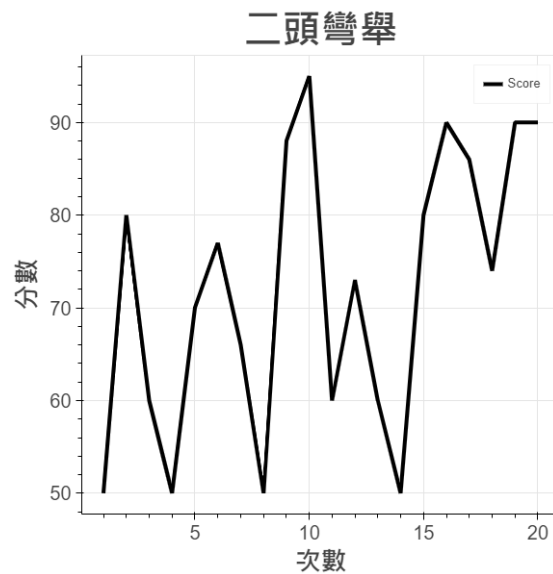


辨識分為優良、普通、差，分別表示依照總體得分計算平均得分的級別。
 本次辨識:普通
 某些動作不完整-第10.11.12.13.14.15張，請保持手臂最高與身體保持90度垂直。

圖十四：辨識結果。

運動	次數	分數	建議	日期
二頭彎舉	1	50	普通	2021-12-02
平舉	1	50	普通	2021-12-02
二頭彎舉	2	80	優良	2021-12-02
二頭彎舉	3	60	普通	2021-12-02
二頭彎舉	4	50	普通	2021-12-02
二頭彎舉	5	70	普通	2021-12-02
二頭彎舉	6	77	普通	2021-12-02
二頭彎舉	7	66	普通	2021-12-02
二頭彎舉	8	50	普通	2021-12-02
二頭彎舉	9	88	普通	2021-12-02
二頭彎舉	10	95	普通	2021-12-02
二頭彎舉	11	60	普通	2021-12-02
二頭彎舉	12	73	普通	2021-12-02
二頭彎舉	13	60	普通	2021-12-02
二頭彎舉	14	50	普通	2021-12-02
二頭彎舉	15	80	普通	2021-12-02
二頭彎舉	16	90	普通	2021-12-02
二頭彎舉	17	86	普通	2021-12-02
二頭彎舉	18	74	普通	2021-12-02
二頭彎舉	19	90	普通	2021-12-02

圖十五：辨識結果的表格及統計圖。



圖十六：辨識結果的表格及統計圖。

4.1.2. 健身 APP

智慧居家健身 APP 由 Android 平台開發，讓使用者透過 Android 型號的手機來使用，使用者透過登入系統來使用 APP 功能。功能包含，「BMI、BMR 計算器」、「健身資訊」、「卡路里計算器」及「計步器」，如：圖十七、圖十八、圖十九、圖二十、圖二十一及圖二十二所示。

註冊頁面

帳號 Name

密碼 Name

顯示是否註冊成功

圖十七：會員登入系統。



健康資訊

體重BMI

身高 (cm)

體重 (kg)

您的BMI: 23.44 適中!

圖十九：健身資訊。

BMR(基礎代謝率)

年齡

身高 (cm)

體重 (kg)

您的BMR:

圖二十：BMR 系統。

計算卡路里

魚肉類

五穀類

綜合水果

一般飲品

中式小吃

總熱量:

圖二十一：卡路里計算器。

walk

位置(初末)

x軸y軸z軸

搖動次數

速度

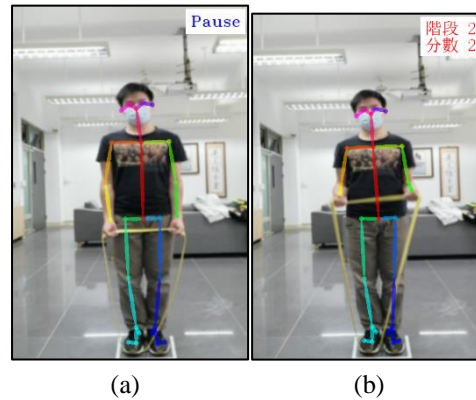
圖二十二：計步器。

4.2. 健身辨識系統

健身辨識系統的系統實作成果，包含：「判斷動作狀態」、「分析動作與階段樣本資料的相似度」及「系統效能分析」，說明如下。

4.2.1. 動作狀態判斷

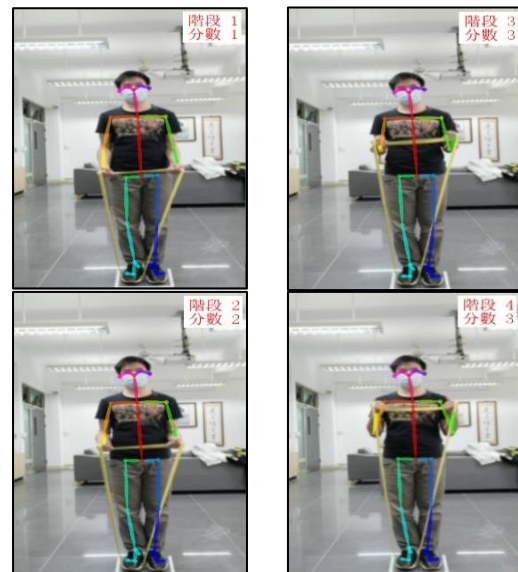
系統透過 Openpose 取得影片中人物的特徵點後，經由訓練模型判斷人物目前的狀態為靜止或是運動狀態，如果是靜止的狀態會顯示 Pause，如圖二十三所示。反之；系統判斷是運動狀態時會顯示該影像屬於哪一階段、對應的分數(0~3)。



圖二十三：動作狀態：(a)靜止狀態的影像；(b)運動狀態的影像

4.2.2. 動作相似度判斷

當系統判斷使用者處於運動狀態時，系統會利用影像中人物的特徵點與階段樣本資料集中各個階段比較其相似度。經由比對相似度以決定該動作的準確程度，並給予對應的分數(0~3)，如圖二十四所示。



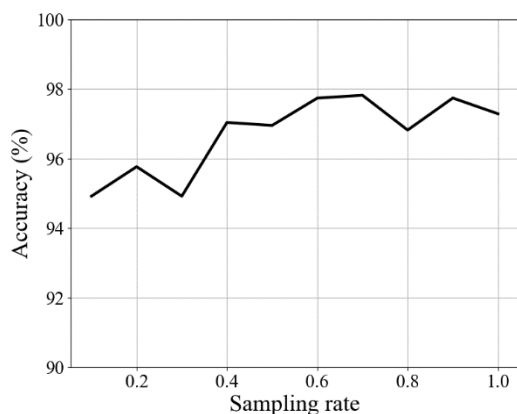
圖二十四：影像比對相似度的結果。

4.2.3. 系統效能分析

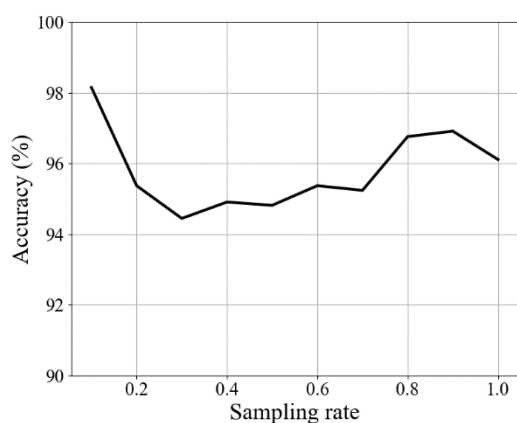
我們使用攝影機錄製完整的運動過程，模擬使用者正常運動及任意動作的情況。我們將錄下的影片轉換成側平舉 550 張的影像、二頭彎舉 600 張的影像，並從這些影像中隨機抽樣不同比率的影像輸入訓練模組，稱之為抽樣比率 (Sampling Rate)，經由訓練模型測試準確率 (Accuracy)。例如抽樣比率為 0.1 時，代表從側平舉 550 張影像中隨機抽出 10% 的影像當作測試準確度的影像。我們的訓練模組主要是要分辨影像中人物是屬於靜止或是運動的狀態，如果一張

影像中的人物是靜止，而我們的系統偵測出該人物是靜止，就是偵測正確。反之；若一張影像中的人物是靜止，而我們系統偵測出該人物是運動，則是偵測錯誤。而準確率就是指偵測的正確率。側平舉偵測準確率，如圖二十五所示。二頭彎舉偵測準確率，如圖二十六所示。

我們主要是判斷人物動作開始有變化，判斷錯誤通常也是發生在剛發生變化時。以二頭彎舉為例，當影片中人物開始運動，手臂的節點會因為重疊而發生 Openpose 偵測到錯誤的特徵點，進而影響到系統偵測的判斷結果。如果再裝設一台或多台攝影機從不同角度拍攝，應該可以改善這部分的問題。



圖二十五：側平舉偵測準確率。



圖二十六：二頭彎舉偵測準確率。

5. 結論

本研究設計一個基於影像辨識與深度學習的「智慧居家健身系統」。我們設計了響應式網頁及健身 APP 讓使用者能夠記錄運動紀錄、規劃屬於自己的運動套餐。本系統提供健身動作辨識的服務，透過使用者錄製的運動影片分析運動的動作姿勢，並回饋分析後的建議。系統幫助使用者在家運動時能及時發現健身姿勢不正確，避免造成運動傷害。本系統主要是透過手機前攝像

頭錄製訓練的影片，讓使用者一個人也能在家使用本系統。

參考文獻

- [1] 王佐銘，“全民瘋居家健身 英醫師驚覺「骨折患者激增4倍」籲防疫當心運動傷害”，匯流新聞網，
<https://cnews.com.tw/134210525a05/>
- [2] 黃品叡、林祺叡、賴建儒、鄒雨彤、黃冠霖，“Ivitality 後疫情時代的健身服務創新設計”，聯合大學資訊管理系。
https://www.youtube.com/watch?v=E6YDRz6DX8Y&ab_channel=%E5%BD%B1%E6%9C%88Kagetuki
- [3] Ginés Hidalgo, Zhe Cao, Tomas Simon, Shih-En Wei, Yaadhav Raaj, Hanbyul Joo, and Yaser Sheikh., “CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose”, Carnegie Mellon University,
<https://github.com/CMU-Perceptual-Computing-Lab/openpose>
- [4] “Docker”, <https://www.docker.com/>
- [5] “DNN,FCN,CNN,RNN,LSTM,BRNN,DRNN, GAN”
<https://blog.csdn.net/wqy1837154675/article/details/104960197>
- [6] “如何确定神经网络的层数和隐藏层神经元数量”，中國東南大學，
<https://zhuanlan.zhihu.com/p/100419971>
- [7] “激勵函數”，
<https://ithelp.ithome.com.tw/articles/10278313>
- [8] “歐基里德演算法”，維基百科，
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%AC%A7%E5%87%A0%E9%87%8C%E5%BE%97%E8%B7%9D%E7%A6%BB>