

國立台北大學資訊工程學系專題報告

基於人工智慧之高跟鞋高度合適範圍評估系統的設計與開發

Design and Development of Artificial Intelligence Based Assessment System
for Evaluating Suitable Range of Heel Height

專題組員: 李翔振、何冠勳、紀雅筑、黃筱嵐

專題編號: PRJ-NTPUCSIE-108-003

執行期間: 2019 年 09 月 至 2020 年 06 月

1. 摘要

二十一世紀是一個充滿時尚潮流的世代，高跟鞋更是時尚界重要的一環。近年來，更有許多科學界與醫學界研究穿著高跟鞋行走對人體的影響，研究顯示穿著不合適的高跟鞋會對身體帶來許多不良的負擔及影響，即便如此，也不減全球女性對高跟鞋的熱愛。

本研究計畫設計一套測量腳部多項參數的特殊穿戴式裝置與系統平台，並與臺北榮民總醫院復健科醫師合作，利用人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 進行資料統計分析，找出人體能夠承受的高跟鞋鞋跟高度範圍。此裝置使用力敏電阻 (Force Sensor Resistor, FSR) 收集腳部不同部位的壓力做受力分析，攝影機拍攝後腳跟與腳部兩側形變。利用系統平台的軟體同步控制，每次鞋跟高度以 0.5 公分為一單位增高來收集各高度的數據，最後將受測者足部的圖片放入深度學習模型做訓練，以此訓練出可以判別每個人適合的高跟鞋鞋跟高度範圍的模型。

2. 簡介

市面上仍未存在一個能自動化客觀判斷個人化高跟鞋跟高度極限的系統，過去不論是科學界或是醫學界也無人做這類研究，因此我們決定與臺北總復健醫學部對足部醫學有專精的醫師合作，打造一個特殊穿戴式裝置與系統平台，並利用 AI 分析統計資料，來評估個人穿高跟鞋鞋跟高度的極限。

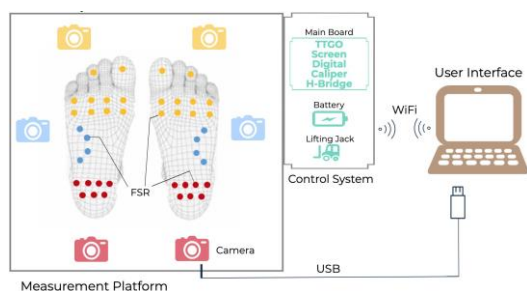
倘若工程能與醫學結合發展出一個 AI 裝置與平台，協助女性得知個人所能負荷的高跟鞋的最大高度，日後在選購的時候便可做出最佳選擇，並可以降低高跟鞋穿著者的腳趾形變、腳踝及膝關節的傷害，將長期穿著高跟鞋可能帶來的身體負擔降到最低。

因此，如何設計出一套基於 AI 的高跟鞋高度評估系統，從醫學與科學的角度，客觀評估每位女性最合適的高跟鞋高度範圍，是本研究欲達成的目的。

3. 專題進行方式

我們預計設計及開發收集足部資料的測量平台記錄人體在不同鞋跟高度下的足部受力參數以及內外側縱弓、後腳跟形變的影像照片。先經由

影像處理的方式去除照片中腳部以外的雜物，以此作為 AI 訓練的資料集，配合醫師的專業判斷所給予的合適高跟鞋高度範圍作為 AI 監督式學習的答案，將足部的影像藉由本研究製作的 AI 模型進行深度學習，以此推測出受測者的鞋跟高度範圍。圖一為收集足部資料的測量平台及主機系統。以下將會詳細介紹本研究的硬體與軟體架構。



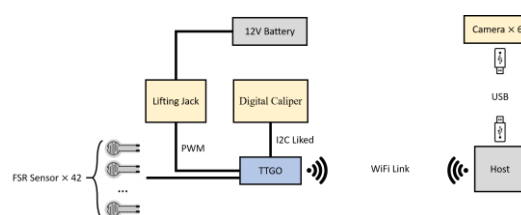
圖一 測量平台及主機系統的整體架構圖

3.1 硬體架構

在測量平台的設計及製作，底座以木板拼合而成，平台包括一升降平台機構、6 支攝影機(左右腳各 3 支)、2 個壓力感測鞋墊(左右腳各含 21 個 FSR 感測器)、1 支游標尺。它可以被用來模擬不同高度的高跟鞋，其增高範圍為 0~10 公分，0.5 公分為一單位增高。其中升降平台機構的設計是在腳跟底座下設置一個千斤頂，並在讀取游標尺的數值後，將數值傳送至千斤頂控制平台，以此控制以每 0.5 公分增高。千斤頂使得此平台可以承受 2000 公斤的負重，足以撐起一個成人女性的重量。在腳邊兩側以及腳跟後方架設 3 台攝影機，並在足底設置 21 個 FSR 感測器。攝影機拍攝腳內側面、腳外側面、腳後跟，分別記錄內側縱弓、外側縱弓、腳跟跟骨與阿基

里斯腱的彎曲角度變化。而 FSR 測量足底受力分布。整體架構圖如圖一左半部所示。

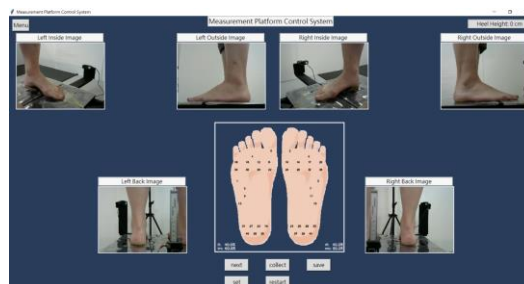
本系統的硬體部份以 TTGO 開發板為核心控制測量平台，包含 FSR、游標尺與千斤頂。FSR 數據透過 TTGO 自帶的 WiFi 模組回傳，控制高度的升降系統則是先藉由 WiFi 從電腦傳輸所要目標高度至 TTGO，再透過類 I2C 協定讀取游標尺的數值，再將數值使用脈衝寬度調變 (Pulse Width Modulation, PWM) 傳輸至千斤頂以控制高度。攝影機則是透過 USB 與電腦連線以進行拍攝。圖二為測量平台的硬體架構圖。



圖二 測量平台的硬體架構圖

3.2 平台控制介面

平台控制介面可設定抬升高度與即時觀察裝置回傳的資料，並將資料儲存於一台灌有 Windows 10 的主機系統。我們使用 Python 進行平台控制介面程式的開發，圖三為設定與顯示介面。



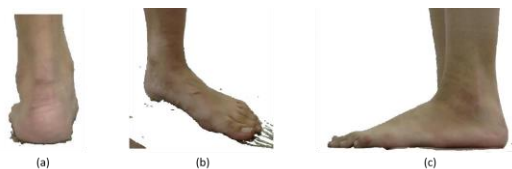
圖三 控制系統介面

3.3 深度學習模型

本研究的模型架構由影像處理、足底壓力分布圖的生成演算法、深度學習、統計演算法這四部分組成。以下將逐項介紹各部分細節。

3.3.1 影像處理

使用 Python OpenCV 套件對相機所拍攝的足部照片進行處理，以此將照片中的雜物清除，讓畫面僅存腳的部分。圖四為照片經過影像處理後的結果。



圖四 照片經過影像處理後的結果 (a)後腳跟；(b)內側縱弓；(c)外側縱弓

3.3.2 足底壓力分布圖的生成

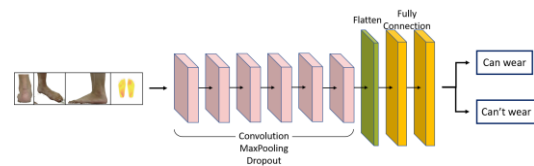
首先分別讀取左、右腳的 FSR 數值，接著使用差值法填補無數值區域，最後使用 matplotlib 套件將數值依照色階印在足底圖上，以此將離散的數值分布轉為連續的足底壓力分布圖。圖五為足底壓力分布圖。



圖五 足底壓力分布圖

3.3.3 深度學習模型

透過 keras 實作卷積神經網路 (Convolutional Neural Network, CNN) 以作為本研究的深度學習模型，並配合專業醫生給予每筆資料的標籤值作監督式學習，以此判斷照片中腳的情況是否正常。在模型的結構上，首先我們會將四張圖片合為一張作為模型的輸入，接著透過兩層卷積與池化層取得圖片的特徵，之後在將特徵展平後使用全連接層進行訓練並取得權重，最後模型的輸出結果為 1 (true) 或 0 (false)，代表在此筆資料中的高度為能穿或是不能穿，若為能穿高度則輸出為 1，否則輸出為 0。圖六為本研究的 CNN 架構圖。

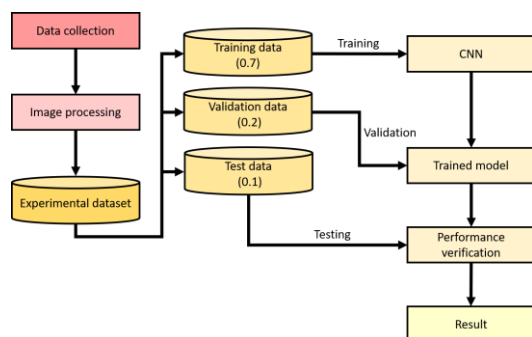


圖六 CNN 架構圖

模型的輸入使用 4 種 2D 圖片作為模型的輸入資料，包含後腳跟、內側縱弓、外側縱弓照片以及足底壓力分布圖，並將圖片做影像處理後將四張照片合成一張圖片作為模型的輸入資料。我們將資料集分為 72% 的訓練資料、18% 的驗證資料、以及 10% 的測試資料。在資料集上，我們將每一位受測者的左、右腳各 21 筆照片資料(因增高範圍為 0~10 公分，0.5 公分為一單位增高，故有 21 筆資料)共 42 筆資料分為個別的訓練資料以放入模型訓練，並且在訓練資料方面，由於雙腳在照片中呈現相反方向，於是藉由將其中一隻腳做映射來擴增訓練資料，

讓我們能夠在每位受測者身上取得的樣本數從原本的 42 筆增加到 84 筆，再將擴增後的訓練資料輸入至模型做訓練。

模型訓練完畢後我們使用 Holdout 交叉驗證(Cross-validation)方法以及預留的驗證資料對模型進行驗證，若正確率太低則重新修改模型。最後在模型有較高的正確率後使用測試資料再次確認模型的正確率是否符合預期。圖四為本系統的深度學習模型架構圖。



圖七 深度學習模型架構圖

3.3.4 統計演算法

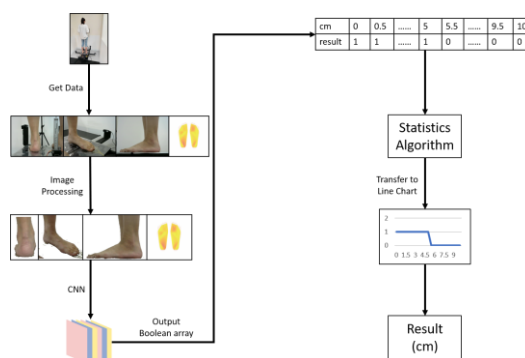
使用眾數演算法將 CNN 輸出的 21 筆 true、false 結果(因每位使用者在使用平台時會產生 21 筆資料)中遭模型誤判的值回歸至正確的結果，以此找出臨界值並輸出受測者適合穿著的高跟鞋高度。計算輸出結果與醫生所診斷的正確答案之間的誤差，以此得出本平台的準確度。

4. 主要成果與評估

此次研究我們收取 80 位受測者的足部資料，並以此收集的資料訓練深度學習模型。

本研究的成果包含測量平台與訓練好的深度學習模型。當有新的使用者時會先使用測量平台並搭配控制介

面得到足部照片以及足底壓力圖，再將圖片進行影像處理以去除背景雜物，同時將 FSR 離散的數值經過分布圖生成演算法轉為連續的足底壓力分布圖，接著將四張圖片合併成為一張圖片作為模型的輸入。在模型訓練完畢後，模型的輸出為 1 或 0，分別代表在此筆資料中的高度為能穿或是不能穿，再透過統計演算法將誤判的值回歸至正確的結果，以此取得使用者適合穿著的高跟鞋高度。圖八為使用者使用本系統的流程圖。



圖八 使用者使用本系統的流程圖

5. 結語與展望

此次專題我們成功克服硬體上的挑戰，順利做出測量平台，也做出一個深度學習模型，以此讓受測者得知自己適合穿著的高跟鞋高度。現今還沒有有關女性高跟鞋鞋跟高度合適範圍的研究，這樣的整合性收集足部資料的測量平台系統設計及用 AI 來進行合適高跟鞋高度範圍評估的系統也尚未被他人提出，我們是第一個提出此方法的團隊。然而此平台仍需由一個操作人員操作控制介面以取得測量資料，希望未來能將平台做到自動化，以增加方便性。此外，本研究的深度學習模型的準確率為 90%，進一步轉換之高跟鞋極限高度的誤差為 ± 0.5 公

分，未來我們希望透過對輸入照片以及模型架構做更多的處理與改良，以期提高系統的準確率。

6. 銘謝

感謝指導教授以及實驗室的學長提供各式資源與指導，也謝謝醫生與助理願意千里迢迢從台北榮總過來幫我們診斷受測者，讓我們可以取得深度學習模型所需的正確答案。最後也感謝組員們的努力才能使我們的專題能如期完成。

7. 參考文獻

- [1] X. Lu, "Changes in forefoot plantar pressure with shoe of different heel height," *2010 3rd International Conference on Biomedical Engineering and Informatics*, Yantai, China, 2010, pp. 791-794.
- [2] S. Karia, S. Parasuraman, M. K. A. A. Khan, I. Elamvazuthi, N. Debnath, and S. S. A. Ali, "Plantar pressure distribution and gait stability: Normal VS high heel," *2016 2nd IEEE International Symposium on Robotics and Manufacturing Automation (ROMA)*, Ipoh, Malaysia, 2016, pp. 1-5.
- [3] P. Aqueveque, R. Osorio, F. Pastene, F. Saavedra, and E. Pino, "Capacitive Sensors Array for Plantar Pressure Measurement Insole fabricated with Flexible PCB," *2018 40th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC)*, Honolulu, HI, United States, 2018, pp. 4393-4396.
- [4] H. Cho, "Design and Implementation of a Lightweight Smart Insole for Gait Analysis," *2017 IEEE Trustcom/BigDataSE/ICSSS*, Sydney, NSW, Australia, 2017, pp. 792-797.
- [5] P. S. Malvade, A. K. Joshi, and S. P. Madhe, "In-sole Shoe Foot Pressure Monitoring for Gait Analysis," *2017 International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*, Pune, India, 2017, pp. 1-4.
- [6] P. S. Malvade, A. K. Joshi, and S. P. Madhe, "IoT based monitoring of foot pressure using FSR sensor," *2017 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)*, Chennai, India, 2017, pp. 0635-0639.
- [7] O. Hussein *et al.*, "Development of an in-Sole Plantar Pressure Measurement Device," *2018 IEEE 5th International Conference on Smart Instrumentation, Measurement and Application (ICSIMA)*, Songkla, Thailand, 2018, pp. 1-5.