

題目：AI 足弓墊

指導老師：杜玲均 資訊組

dlinda@gafe.cksh.tp.edu.tw 聯絡電話：0927872688

學生：辜彥鈞、黃恩澤、楊竣翔、張博凱

系別：普通科

學校：臺北市立成功高級中學

jamie980626@gmail.com, 11331565@gafe.cksh.tp.edu.tw,
11331589@gafe.cksh.tp.edu.tw, 11331351@gafe.cksh.tp.edu.tw

摘要

技術簡介：

AI 足弓墊是一款結合即時感測、語意智慧與人因設計的革命性穿戴裝置。其核心目標是透過即時偵測足底壓力分佈，提供個人化、動態的足弓支撐，從而顯著提升舒適度、減少疲勞，並對潛在的足部與姿勢問題進行預防性干預。系統主要由以下部分構成：

- 感測層：於關鍵位置佈建多點壓力感測器，即時捕捉足底壓力數據。
- 控制層：以 Arduino Nano 作為運算核心，負責數據收集與執行調整。
- 傳輸層：採用藍牙模組（HC-08）在鞋墊與手機 App 進行無線傳輸。
- 應用層：透過 APP 作為使用者互動、數據可視化與雲端 AI 的中樞。

技術說明：

本系統的運作流程體現了「感知、判斷、行動」的智慧閉環，具體步驟如下：

- (1) 感知：鞋墊內的壓力感測器即時收集使用者足底的壓力數據。
- (2) 傳輸：Arduino 控制器將數據初步處理後，透過藍牙傳輸至 App。
- (3) 判斷：App 將數據摘要上傳至 AI 進行深度分析，判斷當前足弓的支撐狀態，並生成調整指令與可解釋的文字理由。
- (4) 行動：指令透過藍牙回傳至 Arduino，由其驅動微型氣泵與電磁閥，對足弓氣囊進行精準的物理調整，完成動態支撐循環。

創新性說明：

本作品在多個層面超越傳統產品，成為一個智慧化的健康管理夥伴：

- 混合式智慧控制架構：巧妙結合邊緣端（Arduino）的即時控制能力與雲端 AI 的強大語意分析能力，兼顧快速響應與深度決策品質。
- 可解釋的 AI 決策：每一次調整都附上淺顯易懂的文字說明，打破 AI 的「黑盒子」形象，有效建立使用者信任。
- 個人化健康顧問：系統能自動生成健康報告，分析步態趨勢並提供預防性建議，將裝置從物理調整工具升級為私人健康顧問。
- 自我學習與調適潛力：系統具備持續學習的能力，可根據歷史數據與使用者回饋不斷優化演算法，最終提供「千人千面」的個人化服務。

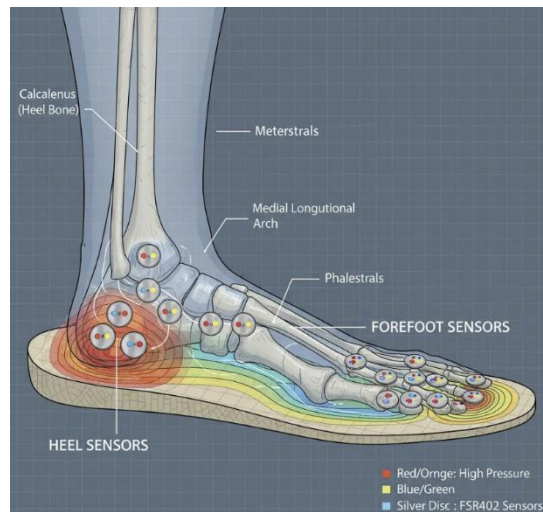
1. 設計原理

AI 足弓墊的設計根植於三大核心原理：生物力學的動態適應、數據驅動的智慧閉環控制，以及以人為本的人因工程設計。

從靜態支撐到動態適應：

傳統鞋墊的設計理念是提供一個固定的物理支撐。然而，根據生物力學原理，人體的足弓在步態週期中（如靜止站立、行走、跑步）的型態與受力是持續動態變化的，涉及足內旋

（pronation）與足外旋（supination）的複雜過程。僅提供靜態支撐，無異於用一把鑰匙開所有的鎖，難以在所有情境下都達到最佳效果。本作品的核心設計原理即是打破此一限制，創造一個能夠根據即時足壓變化，主動調整支撐力的「動態適應」系統，確保足弓在任何情境下都能獲得最恰當的支撐。



圖片 1 腳部壓力示意圖

「感知、判斷、行動」的智慧閉環：

系統的運作遵循一個由數據驅動的完整智慧控制閉環。

- 感知 (Perceive)：透過策略性佈局於前掌、足弓、腳跟三個核心受力區域的薄膜壓力感測器（FSR402），精準捕捉足底壓力分佈的細微變化。此佈局參考了足底生物力學原理，能夠有效評估使用者在不同步態下的壓力轉移模式，為後續分析提供高保真度的原始數據。
- 判斷 (Judge)：引入大型語言模型（LLM）作為決策核心是本系統的關鍵。相較於傳統基於閾值的演算法僅能判斷壓力數值高低，LLM 能從時序數據的模式中「理解」使用者的真實狀態，例如，它能區分「長時間站立導致的足弓逐漸塌陷」與「跑步時足跟著地的瞬間高強度衝擊」，從而做出更具情境感知與預見性的智慧判斷。
- 行動 (Act)：根據 AI 的判斷指令，系統透過微控制器精確驅動微型氣泵與電磁閥，對足弓下方的氣囊進行微量、精準的充氣或放氣，實現物理層面的即時調整，完成閉環控制。

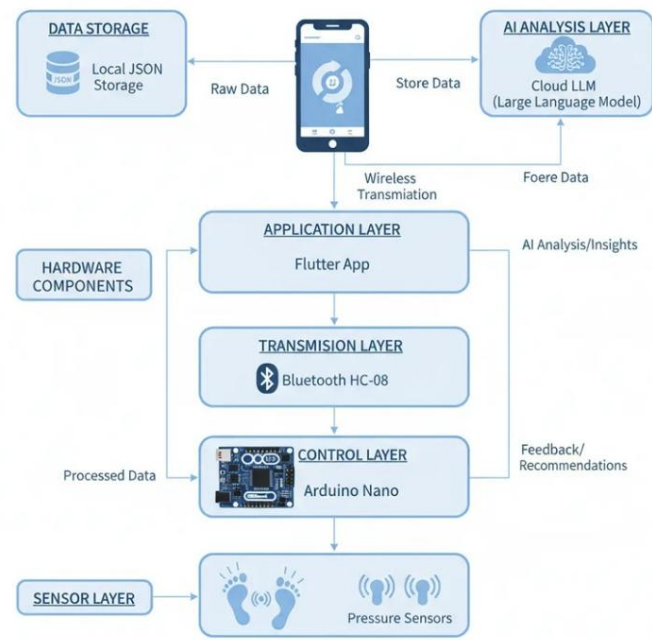
人因工程與可解釋性：

設計全程貫徹以使用者為中心的思想。首先，在數據隱私方面，所有詳細的原始壓力數據和個人報告均以 JSON 格式加密儲存在手機本機，僅在需要分析時向雲端 API 發送必要的匿名化數據摘要，最大程度保障用戶的個資隱私與數據主權。其次，在互動體驗上，AI 的每一次決策都伴隨著自然語言的解釋（例如：「偵測到足弓區域壓力持續偏低，建議適度充氣以提供穩定支撐，預防足底筋膜過度拉伸」），讓使用者不僅「感受」到調整，更能「理解」調整的原因，從而建立對技術的深度信任感與使用黏著度。

2. 作品說明

軟硬體架構：

本作品的軟硬體架構構成一個完整的物聯網（IoT）生態系統。從物理層的感測與致動，到應用層的数据可視化與使用者互動，再到雲端層的智慧分析，各模組環環相扣，形成一個從數據到洞見、再回到物理調整的無縫循環。此一整合性設計確保了系統的穩定性、高效性與智慧性。



圖片 2 系統架構圖

模組	技術工具	核心功能說明
感測模組	壓力感測器 (FSR402)	於前掌、足弓、腳跟等關鍵位置多點佈局，即時偵測腳底壓力分佈，精準捕捉足弓的支撐狀態。
控制模組	Arduino Nano	作為系統的微型大腦（邊緣控制器），負責收集感測器數據，並根據指令精確控制微型氣泵與電磁閥，執行充氣或放氣動作。
傳輸模組	HC-08 BLE 藍牙模組	採用低功耗藍牙技術，穩定地將壓力數據傳送至手機 App，並即時接收從 App 回傳的控制指令，兼顧傳輸效率與續航力。
應用程式	Flutter (Dart)	作為使用者互動介面（UI/UX），以視覺化圖表（如足壓熱力圖）呈現數據，並清晰展示 AI 分析報告與個人化健康建議。
AI 分析	free_chatgpt_api	分析上傳的足壓數據，不僅生成「打氣 / 放氣」的具體指令，更能產出可解釋的文字理由與長期健康趨勢報告。
資料儲存	JSON（本機儲存）	將使用者的壓力歷史資料、支撐調整紀錄與 AI 健康報告以 JSON 格式安全儲存在手機本機，保障個人隱私。

運作方法：

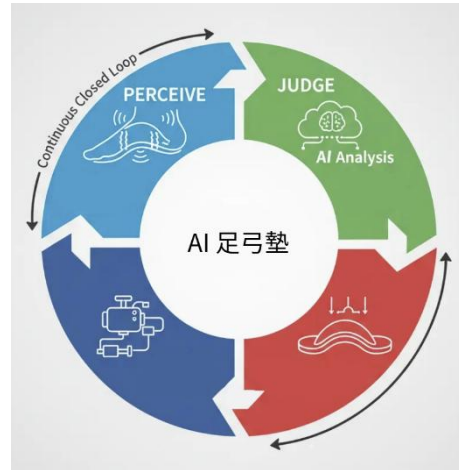
AI 足弓墊的運作流程體現了「感知-判斷-行動」的智慧閉環。從腳底的壓力變化開始，到氣囊的精準調整結束，每一步都由數據驅動，並由 AI 賦予其深層的智慧與意義。

(1) 壓力感測：

使用者穿上內置 AI 足弓墊的鞋子後，佈置於足底的 FSR402 薄膜壓力感測器陣列開始即時偵測其站立、行走或運動時的壓力數據。

(2) 數據收集與傳輸：

Arduino Nano 以高頻率（例如每秒數十次）讀取各感測點的類比電壓值，將其即時轉換為數位訊號，並封裝成標準化的 JSON 格式。此數據封包透過 HC-08 BLE 低功耗藍牙模組無線傳輸至配對的手機 App。選擇 BLE 技術是為了在保證穩定傳輸的同時，最大限度地降低功耗，延長穿戴裝置的續航時間。



圖片 3 運作方法

(3) AI 分析與決策：

手機 App 接收到連續的壓力數據流後，將其進行預處理並上傳至 free_chatgpt_api。雲端的 AI 模型會分析當前的壓力分佈模式、變化趨勢及與歷史數據的對比，從而判斷是否存在足弓支撐不足、壓力過度集中、步態不穩等潛在問題。

(4) 生成可解釋建議：

AI 不僅回傳一個簡單的控制指令（如 `{"action": "inflate", "amount": 1}`），更會附上一段自然語言的解釋，例如：`{"reason": "偵測到足弓區域壓力偏低，建議適度充氣以提供穩定支撐。"}`。這種「可解釋性」是本系統的核心設計哲學之一，旨在讓使用者不僅知道「做什麼」，更明白「為什麼這麼做」。

(5) 指令執行：

App 將 AI 生成的控制指令透過藍牙回傳給鞋墊內的 Arduino Nano。

(6) 動態調整：

Arduino 接收到指令後，立即精確驅動微型氣泵和電磁閥，對足弓位置的氣囊進行微調（精準的充氣或放氣），在使用者無感的情況下完成一次動態支撐調整，使足弓恢復到最佳受力狀態。

預期效用：

AI 足弓墊的應用潛力廣泛，能為不同族群帶來顯著的健康效益，從日常保健延伸至專業應用。

- 提升日常舒適度：

對於需長時間站立或行走的職業人群（如教師、護理師、銷售人員、服務業人員），動態調整能有效減輕足底筋膜的持續壓力，顯著延緩足部疲勞與不適感的產生。

- 輔助運動防護：
在跑步、籃球、網球等高衝擊性運動中，系統能即時增強足弓的動態支撐與吸震能力，有效吸收衝擊力，從而降低足底筋膜炎、跟腱炎等常見運動傷害的發生風險。
- 協助復健過程：
對於扁平足、高足弓或足部術後恢復期的患者，AI 足弓墊可作為一種智慧化的輔助工具，在物理治療師的指導下，提供可控、漸進的個人化支撐力，幫助使用者更有效地進行步態矯正與功能恢復。
- 長者健康監測：
透過長期追蹤長者的步態穩定性、足壓分佈對稱性等數據，系統可作為一種非侵入式的早期預警工具，及早發現長者可能存在的平衡感下降、足部病變或跌倒風險，為家庭及照護者提供重要參考。
- 串接大健康生態系：
本系統收集的結構化步態數據具備高度的擴充性與應用價值。未來可透過 API 串接 Apple Health、Google Fit 等主流健康平台，或在使用者授權下與醫療資料庫整合，為個人化精準醫療、流行病學研究提供有價值的數據支持。

3. 作品優勢

AI 足弓墊不僅是硬體與軟體的簡單疊加，其獨特的設計理念和前瞻的技術架構帶來了多項傳統產品無法比擬的創新性與核心應用優勢。

混合式智慧控制架構：

巧妙結合 Arduino 的即時控制能力（毫秒級反應）與雲端 AI 的強大語意分析能力。這種「邊緣計算（Edge Computing）+ 雲端智慧（Cloud Intelligence）」的混合模式，是本作品在技術架構上的最大創新。邊緣端（鞋墊本身）負責執行需要低延遲的即時數據採集與物理調整，而雲端則承擔需要強大算力的複雜數據分析與模式識別任務。此架構既保證了系統的快速響應，又實現了深度、人性化的決策。



圖片 4 作品示意圖

AI 健康報告自動生成：

系統超越了單純的物理調整，化身為一位全天候的「私人足部健康顧問」。它能自動撰寫每日摘要、每週趨勢報告，分析使用者的步態對稱性、壓力集中區域的變化、支撐調整的頻率與幅度，並基於這些長期數據提供預防性的健康

建議（例如「本週您的左腳足弓壓力普遍偏低，建議增加核心肌群訓練」），實現從「反應式調整」到「預測性關懷」的服務升級。

可解釋的 AI 決策：

每次 AI 回傳指令時，都附上淺顯易懂的文字說明。這種設計打破了 AI 的「黑盒子」形象，讓使用者明白每一次微調的依據，從而建立起對產品的信任感與依賴感。這種透明度極大地提升了產品的應用價值與使用者黏著度，是推動高科技產品進入大眾市場的關鍵。

自我學習與調適潛能：

系統被設計為一個可持續進化的學習型系統。它會記錄每次調整後的使用者反饋（若加入評分機制）與壓力數據的實際變化，這些都將成為優化模型的寶貴資料。未來可延伸為長期自學模型，根據累積的歷史數據自動優化其內部演算法，提供真正「千人千面」的個人化支撐參數，實現從標準化產品到個人化健康管理夥伴的蛻變。

低功耗與低成本實現：

透過精心選擇技術棧，如採用 BLE 低功耗藍牙技術與廣泛使用的 Arduino Nano 微控制器，確保了長時間穿戴的續航力。同時，利用開源硬體社群與免費或低成本的雲端 API，大幅降低了原型開發的成本與技術門檻，使其在商業化量產與市場推廣上更具可行性與競爭力。

4. 結論

AI 足弓墊以「即時感測 × 語意智慧 × 人因設計」為核心理念，徹底重新定義了傳統鞋墊的價值與功能。它不再是被動承受身體壓力的耗材，而是一個能夠主動「理解使用者步態、學習個人行走習慣並即時調整支撐」的智慧健康夥伴。

本系統透過將 Arduino 的穩定即時控制與大型語言模型的強大語意推理能力相結合，完整地實現了「感知、判斷、行動」的三階段智慧閉環。它能夠即時分析複雜且動態的足底壓力數據，生成人性化、可解釋的支撐指令與個人健康報告，在動態維持最佳足弓狀態的同時，讓使用者能夠清晰、直觀地了解自己的身體狀況。這種獨特的可學習與可解釋特性，是建立使用者信任、推動前沿健康科技普及化的關鍵所在。

AI 足弓墊不僅是一個功能創新的科技原型，更象徵著通往未來個人化、預測性健康生活的一個重要起點。它將人工智慧的深層智慧與人因設計的細緻關懷深度融合，讓科技真正以人為本，服務於人的福祉，確保我們的每一步，都被科學所理解、被智慧所支撐，共同邁向一個更安全、更貼心、更具預見性的智慧健康新時代。



5. 參考文獻

圖片 5 未來願景

- (1) Huang, J. et al. (2021). *Intelligent Insole Systems for Gait Analysis and Foot Pressure Monitoring: A Review*. *Sensors*, 21(23), 7902.
- (2) Lee, S. & Kim, D. (2022). *Adaptive Control of Smart Insoles for Personalized Arch Support*. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*.
- (3) 張庭維、劉宗憲 (2020)。〈人工智慧於穿戴式裝置之應用〉。《資訊與電子學刊》，17(3)，45–58。
- (4) Chen, Y. et al. (2023). *Low Power BLE Communication for Smart Wearables*. *IEEE Access*.
- (5) 劉冠廷 (2021)。〈以壓力感測技術分析足底受力分布之研究〉。《中華醫學工程學報》，39(2)，67–74。
- (6) 報》，39(2)，67–74。 楊政宏 (2023)。〈可解釋人工智慧 (Explainable AI) 於健康照護系統之實作探討〉。《人工智慧學刊》，5(2)，31–45。
- (7) 陳冠宇 (2023)。〈以 Arduino 為核心之多點壓力偵測系統設計〉。《應用科技期刊》，41(1)，55–64。
- (8) Satyanarayanan, M. (2017). The Emergence of Edge Computing. *Computer*, 50(1), 30–39.
- (9) Li, Y. & Park, J. (2020). Human-Centered Design of Smart Wearables for Rehabilitation. *Frontiers in Rehabilitation Science*.