

iWalk

An Intelligent Robotic Knee Orthosis
Based on Gait Analysis and Environment Recognition

基於步態分析與環境辨識之智慧型機械行走輔助器

廖嘉禾、黃彥禎

研究動機



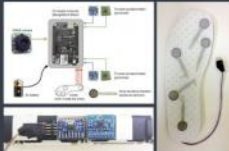
行走是人類與生俱來最重要的能力，然而對於某些行走能力的族群，例如退化性關節炎或肌萎症患者，或是生理上的限制，應用傳統式裝置提供下肢額外之助力以減少行走負擔，成為預防此動力機械行走輔助器的動機。本裝置的設計包括三個輪軸：(1)設計足以驅動膝關節動力之動力機構。(2)選擇感測元件蒐集步態參數並分析。(3)設計可靠的演算法對於不同的步態變化做即時回應。本研究計畫的目標在於設計並整合機構、硬體。

機械結構設計



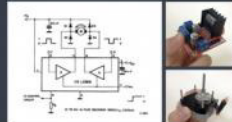
由於裝置實出大輪、膠囊、小輪是延伸至足底。我們先以 AutoCAD 輔助設計軟體繪製符合需求的外形，包含大輪支撐與足底支撐。兩者於膝蓋處由齒輪機構連結。由於齒輪裝置與齒輪相比，能再達到輸出更高之扭矩。我們設計了符合此一尺寸的行車齒輪機構。此齒輪組的齒輪比為 6:1，亦即由直徑馬達輸出的扭矩會經此齒輪組放大為 6 倍後，才能進行膝關節的驅動。考量到裝置原型打件的高昂成本，我們決定使用現有材料，手工打造裝置原型。

嵌入式開發板與感測元件



作為系統的中介，我們採用德州儀器 (Texas Instruments, Inc.) 製造的嵌入式系統開發板 BeagleBone Black。此嵌入式電腦連結了位於大輪、膠囊、小輪與足底共三個感測元件，用途如下：(1)加速與陀螺儀。使用 I2C 介面讀取數位訊號。此類感測元件作用於偵測大輪與小輪之傾角 (pitch) 與滾動角度。(2)壓力感測元件：我們在輪軸輸入 5 個力敏電阻以偵測垂直壓力分佈的變化。(3)我們對一台網路攝影機進行改良並裝在膠囊主機盒前方，以對影像進行環境物體辨識。

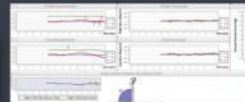
伺服馬達控制電路



為了提供足夠的扭矩供膝關節旋轉，我們採用日本冠泰科學社 (Kondo Kagaku Inc.) 製造的 KR58-00035V 直流伺服馬達。改裝後的馬達工作電壓為 18V，輸出扭矩達 9.75 N·m，經過上述的行車齒輪減速後可放大為 58.5 N·m，已足以提供足夠大的扭矩以輔助膝關節轉動。達到行走省力的設計目標。為了控制直視馬達的電流方向，我們應用 1408N 高速控制 IC 模組，含有 H-Bridge 電路，可藉由 PWM 訊號控制電流方向，進而控制馬達旋轉時針或逆時針轉動。



訊號處理



為了即時得知目前大輪和小輪的運動情形，必須先分析由原始加速與陀螺儀傳回的資料。我們採用卡爾曼濾波器 (Kalman filter) 同時處理加速與陀螺儀傳回的資料。這種濾波器同時應用加速與陀螺儀算出的角度，以及由陀螺儀傳回的角速度。來預測運動系統 (linear dynamic system) 的內部狀態。經過滤波後，可獲得較接近真實情況的大輪、小輪傾角和滾動角度。

步態分析演算法



圖上顯示就分析前後我們採用大小輪傾角與垂直壓力分布的變化，定義出 8 種步態事件 (gait event)：(1) Foot Initial Contact, (2) Foot Half Contact, (3) Foot Full Contact, (4) Heel-Off, (5) The Dominant, (6) The Off Halfway, (7) The Off Completely, (8) Leg Perpendicular。使用這些步態事件作為狀態轉移條件，則可進一步獲得使用者當前可能的 8 種步態階段。即 (1) Initial Contact, (2) Loading Response, (3) Mid-Stance, (4) Terminal Stance, (5) Pre-Swing, (6) Initial Swing, (7) Mid-Swing, (8) Terminal Swing。

環境辨識演算法



為了偵測使用者是否正在走向樓梯，並在適當的時刻發出警示音提醒使用者注意，我們嘗試使用電腦視覺技術辨識是否當前影像含有樓梯。我們提取了影像當中的哈爾特徵 (Harr-like feature)，並使用強分類器 (ensemble of strong classifiers) 進行辨識。使用 AdaBoost 演算法針對訓練樣本模型。這種演算法會在訓練過程中逐步調整每個模型的權重，並產生大量的弱分類器 (weak classifier)，進而以弱分類器的线性組合產生一個強分類器 (strong classifier)。這種弱分類器採用最簡單的 decision stump，即對某特定特徵設單一閾值 (threshold) 來分類。過去已有文獻證實此方法亦可應用於樓梯偵測。因此我們應用此法來進行樓梯辨識。

主要成果與評估



完成的裝置原型尺寸 (不含輪軸) 長 68 公分，寬 14 公分，高 13 公分，重量為 1.5 公斤。假若半歲試用者可能在此裝置輔助下順利行走，步態分析與環境辨識演算法也應作正交。本研究使用嵌入式系統成功實現了針對了行走進行輔助助力的穿戴式機械行走輔助器。未來若能進一步經過更嚴謹的條件實驗驗證此裝置之效能，相信能開拓更寬廣的研究價值與可能性。