



# 多軸馬達控制於下肢外骨骼醫療輔具開發

Development of Multi-axis Motor Control for a Lower-Limb Assistive Exoskeleton

潘正堂<sup>1</sup> 楊育昇<sup>2</sup> 張竣傑<sup>3</sup> 王紹宇<sup>3</sup> 孫培原<sup>3</sup>

<sup>1</sup>國立中山大學 機械與機電工程學系/醫學科技研究所 教授

<sup>2</sup>高雄醫學大學 職能治療學系 副教授

<sup>3</sup>國立中山大學 機械與機電工程學系 博士生

## 摘要

因應臺灣的醫療科技服務的發展，包含運動傷害、疾病復健、身心障礙者及銀髮族等需求，本文介紹馬達設計及控制器之開發應用於下肢外骨骼醫療輔具，其下肢外骨骼機構亦是由本文所設計。馬達設計以醫療輔具應用為目標，使用有限元素分析法進行磁路分析。控制器分為上位控制器及馬達驅動器，上位控制器建立步態時序命令控制多軸馬達；馬達驅動器以磁場導向控制(field-oriented control, FOC)之空間向量脈寬調製(space vector pulse width modulation, SVPWM) 法則建構電流、速度、位置控制程式並設計比例、積分、微分(proportion, integral, differential, PID)控制器得到高響應頻寬及高穩定度。最後整合機構、馬達、驅動器及上位控制器開發具有良好適應環境能力之下肢外骨骼醫療輔具。

## Abstract

In response to the development of medical service technology in Taiwan, sports injuries, disease rehabilitation, physical and mental disabilities, senior citizen and other needs were targeted for this application. This paper introduced motor and controller design applied to a lower-limb assistive exoskeleton. Finite element method for magnetic circuit analysis was used to design motor. The controller was divided into host controller and motor drive. The host controller was utilized to establish timing control and command for the multi-axis motors. Space vector pulse width modulation method of magnetic field-directed control (FOC) was used to construct the current, speed and position control program. Proportional, integral and differential controller was designed to obtain the best response bandwidth and stability. Finally, the lower-limb assistive exoskeleton was obtained by integration of motors, drives, mechanism and the host controller.

## 關鍵詞

馬達驅動器、上位控制器、下肢外骨骼、馬達設計

## Keywords

Motor Drive、Host Controller、Lower Exoskeleton、Motor Design



## 前言

臺灣的醫療科技服務僅次於美國及德國，排名全球第三，且遙遙領先亞洲各國，居亞洲之冠，近年來高齡化社會問題日益增加，老年人的生理與感官機能老化，導致下肢無力造成跌倒以至於受傷[1]，因此下肢外骨骼輔之技術備受矚目，並使用於醫療科技上。下肢外骨骼輔具乃是協助肢體行動不便人士在於日常生活或是工作上便於行動之醫療技術。

全世界第一個外骨骼動力服是由奇異公司(GE)與美國軍方在 1960 年代所共同發明的，取名為「硬頂人」(hardiman) [2]。硬頂人本身重 680 公斤，包含 28 個關節及 2 個可用來抓取的手臂；因為穿著這套裝備時舉起 150 公斤的物體就像舉起 6 公斤的物體一樣輕鬆，而且最高可抬起 680 公斤的重物，所以軍方稱它為「人類表現增強系統」。後來因為硬頂人本身太過笨重，在執行動作時的穩定性太差，加上過於耗電，因此最終只停留在實驗階段而沒有繼續發展下去。日本 Cyberdyne 公司的創立者筑波大學(University of Tsukuba)山海嘉之(Yoshiyuki Sankai)教授，研發出外骨骼動力服(hybrid assistive limb)[3]，初步設計主要一開始是針對照顧病患的看護及醫院護理人員，增進他們的力量，以減輕照顧病人的負擔[4]，而後此公司在 2013 年推出靠電力輔助的機器腿「混合輔助肢體」(hybrid assistive leg, HAL) [5]。HAL 可穿戴於腿上，它能透過偵測肌肉脈動，估測使用者的移動意圖並協助肢體移動，後來增加其用途為協助老年人與行動困難的人提

供幫助。近年來本國工業技術研究院正針對當前輔助機器人需要改良之處進行研發 [6]，在結構部分以輕量化金屬與碳纖維異質接合技術來減輕重量並與驅動模組進行整合設計。

隨著外骨骼機器人逐漸的發展，目前國際市場上已有相關的外骨骼機器人產品 [7]如表 1，而下肢外骨骼機器人仍有許的問題，如售價過高、環境適應性、重量過重等為目前仍需克服之重要議題。其中售價過高因目前國內外外骨骼輔具大都搭配永磁馬達作為其動力來源[8]，且皆需要特殊性能的高單價馬達及搭配的高規格驅動器，如瑞士的 maxon、sonceboz 公司、日本的 NIDEC 公司，而台灣相關技術尚未成熟；環境適應性問題包含上位控制器對輔助機器人控制行走效率不佳，如機器人於各種使用情境下之不同扭力加快行走速度。機構設計時在狹窄空間步態之調整與上下階梯等調節能力；重量過重因上述文獻[6]所提，需進行輕量化設計。

本文介紹下肢外骨骼醫療輔具因上述遭遇問題之解決過程，從機構設計、馬達設計、驅動器設計至上位控制器開發，並讓讀者對下肢外骨骼醫療輔具有全面性的了解。

## 下肢外骨骼機構

下肢外骨骼輔具設計的主要目的是為了改善人類醫療復健以及對人類步態分析做深入研究，使用 Solidworks 3D 繪圖軟體進行機構設計，主要理念為在人體腰部以及腿部進行可調式機構以及輕量化設計，

更完整的內容

請參考【機械工業雜誌】410期・106年5月號

每期220元・一年12期2200元

劃撥帳號：07188562 工業技術研究院機械所

訂書專線：03-591-9342

傳真訂購：03-582-2011

機械工業雜誌官方網站：[www.automan.tw](http://www.automan.tw)

機械工業雜誌信箱：[jmi@itri.org.tw](mailto:jmi@itri.org.tw)