

# 雙足步行機械人之步姿運動規劃及控制

賴信成、林志哲

E-mail: 9222210@mail.dyu.edu.tw

## 摘要

一般對於雙足步行機械人運動規劃問題，求解反向運動學使用幾何關係法或是pseudo-inverse法求解，但是幾何關係法單純計算關節角度，並無法解決當有不同的任務時的任務優先性之問題；而pseudo-inverse法需求解反矩陣會有奇異點問題產生。本論文應用Chen和Lin提出之最佳擾動法求解具有奇異點之運動規劃問題，將運動規劃所得之角度作為控制器參考輸入，藉由不同控制器設計達成穩定步行目的。本研究中首先探討七連桿雙足機械人，在一具有奇異點之平面步行姿態規劃，從起始立正狀態經左右跨、換步後再回到立正姿態。將步行運動分成靜態、動態步行兩種方式，探討其維持系統穩定方式；在運動軌跡規劃方面，使用擺線輪廓曲線規劃具週期性的靜態、動態步行軌跡；反向運動學計算時，分別使用最佳擾動法之格點搜尋法、三層式格點搜尋法與二次規劃法，求解機械腳步行軌跡所需角度，藉由價值函數選擇達成不同的任務優先問題，並加入人因關節限制條件，使步姿近似於實際人類步行方式。使用Lagrange法推導出單腳支撐相之運動方程式，最後探討控制器設計，在不考慮外擾的情況下使用計算力矩法與順滑模態控制法來求解系統所需之控制力矩。

關鍵詞：雙足步行機械人；運動規劃；奇異點問題

## 目錄

博碩士論文電子檔案上網授權書 iii 博碩士論文授權書 iv 中文摘要 vii ABSTRACT vii 誌謝 vii 目錄 viii 圖目錄 ix 表目錄 x 符號說明 xi 第一章 緒論 1 1.1 前言 1 1.2 文獻回顧 1 1.3 研究動機與本文架構 3 第二章 雙足機械人之模型架構與運動學問題 4 2.1 七連桿雙足機械人模型架構 4 2.2 基本假設 6 2.3 機械臂之運動學問題 6 第三章 運動軌跡之規劃 16 3.1 步姿規劃 16 3.2 運動軌跡規劃 20 3.3 靜態步行週期規劃 24 3.4 動態步行週期規劃 28 第四章 運動軌跡之規劃 33 4.1 反向運動學求解 33 4.2 允許區域擾動運動規劃法 34 4.3 最佳擾動法之反向運動學求解 39 4.4 參數設定與模擬結果 48 4.5 三層式格點搜尋法應用於其他步行方式比較 59 4.6 關節速度之估測 69 第五章 動力方程式推導與軌跡追蹤控制器設計 80 5.1 動力學方程式推導 80 5.2 計算力矩控制器設計 81 5.3 順滑模態控制器設計 93 5.4 具飽和切換率之順滑模態控制器 103 第六章 結論與建議 114 6.1 結論 114 6.2 未來研究方向與建議 115 參考文獻 117 附錄一 120

## 參考文獻

- 參考文獻 [1] Chen, Chieh-Li and Chih-Jer Lin, " Motion Planning of Redundant Robots ", Journal of Robotic Systems, Vol.14, No.12,pp. 839-850,1997.
- [2] C. L. Shih, " The Dynamics and Control of a Biped Walking Robot With Seven Degrees of Freedom ", ASME Journal of Dynamic System, Measurement, and Control, Vol.118, pp.1-8, 1996 [3] Heredia, J. A. and W. Yu, " A High-Gain Observer-Based PD Control for Robot Manipulator ", Proceedings of the American Control Conference Chicago, pp.2518-2522,2000 [4] Nicosia, S., A. Tornambe and P. Valigi, " Experimental Results in State Estimation of Industrial Robots ", Proceedings of the 29 Conference on Decision and Control, 1990 [5] P. H. Channon, S. H. Hopkins, and D. T. Pham, " Derivation of Optimal Walking Motions for a Bipedal Walking Robot ", Robotics, Vol.10, pp.165-172, 1992.
- [6] Qiang Huang, Kazuhito Yokoi, Shuuji Kajita, Kenji -Kaneako, Hirohiko Arai, Noriho Koyachi, and Kazuo-Tanie, Planning Walking Patterns for a Biped Robot, IEEE Transactions on robotics and automation, vol 17, p.280-289, 2001 [7] Q. Li, A. Takanishi and I. Kato, " Biped Walking Robot Having A ZMP Measurement System Using Universal Force-Moment Sensors ", IEEE/RSJ International Workshop on Intelligent Robots and Systems IROS ' 91, Osaka, Japan, Nov.3-5,pp.1568-1573,1991.
- [8] Roberts, Rondey G., Anthony A. Maciejewski, " Singularities, stable surfaces, and the repeatable behavior of kinematically redundant manipulators, " Int. J. Rob. Res., 13(1), 70-80,1994 [9] Slotine, J. J. E. and S. S. Sastry, " Tracking control of nonlinear systems using sliding surfaces with application to robot manipulators ", Int. J. Control, Vol. 38, pp.465-492, 1983 [10] Taro Takahashi and Atsuo Kawamura, " Posture Control using Foot Toe and Sole for Biped Walking Robot Ken ", IEEE,pp.437-442,2002.
- [11] Whitney,D.E., " Resolved motion rate control of manipulators and human prostheses " ,IEEE Transaction of Man-Machine System,10,47-53,1996.
- [12] Yu, W. and X. Li, " PD Control of Robot with Velocity Estimation and Uncertainties Compensation ", Proceedings of the 40 IEEE Conference on Decision and Control, 2001 [13] 王興仁, " 整合基因演算與模糊控制法於自走式機器人之路徑規劃 ", 中原大學機械工程

研究所碩士論文，2003。

[14] 何越美譯，"人體的構造:如何了解及發揮身體各部分的潛能"，緯輝電子出版公司，p59-86，1995。

[15] 林志哲，"具贅餘自由度機械臂之運動規劃與追蹤控65"，成功大學機械工程系博士論文，1997。

[16] 合田平周；木下源一郎著，趙平譯，"機械人工程學"，臺隆書局，p177-203，1983。

[17] 陳永平；張浚林編著，"可變結構設計"，全華圖書，2002。

[18] 陳澄峰，"二足機器人行走模式之研究"，大葉大學機械工程學系碩士班碩士論文，2002。

[19] 張昆昌，"雙足步行機器人之動態模擬與控制"，逢甲大學自動控制工程研究所碩士論文，1996。

[20] 黃全華，"兩足動態機械腳系統之研製"，國立台灣科技大學工程技術研究所碩士論文，1990。

[21] 趙平譯，"步行機器人與人工腳"，台隆書店，1983。

[22] 趙俊傑，"基於基因演算法的最佳模糊控制器之設計"，中央大學電機工程研究所碩士論文，1996。

[23] 鄭維崇，"應用演化類神經網路於移動式機器人巡航之研究"，大同大學機械工程研究所碩士論文，1997。

[24] 鍾潤上，"五連桿二足機器人於平面步行支運動控制"，國立台灣工業技術學院電機工程技術研究所碩士論文，1997。

[25] 劉素卿，"雙足機器人快速運動控制"，逢甲大學自動控制工程研究所碩士論文，1998。

[26] 蘇國嵐，"兩足步行機器人動態平衡之研究"，逢甲大學自動控制工程，1987。