

運用感測器融合，卡爾曼濾波器與模糊邏輯之雙足機器人動態平衡控制之設計與實現

李祖聖*, 蘇育德, 劉紹先, 胡振嘉, 陳慶昌

國立成功大學電機工程學系

thsli@mail.ncku.edu.tw

IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 59, No. 11, pp. 4394-4408, Nov. 2012.

在雙足機器人步態平衡的領域中，零力矩點是一個非常實用的方法，我們也可以利用這樣的理論來設計機器人的步態。而機器人行走步態之穩定性也可以經由分析零力矩點之軌跡的過程中得知。另一方面，我們也可以控制一個最適合機器人步態行走的零力矩點來作為機器人步態設計的目標。而在這樣的課題中，使用模糊邏輯控制器來調整機器人行走之零力矩點軌跡是一個不錯的選擇。故本篇提出了運用感測器融合，卡爾曼濾波器與模糊邏輯來達成雙足機器人動態平衡控制之設計與實現。



根據零力矩點理論，如果機器人行走時的零力矩點位於支撐腳的範圍內，則機器人即可穩定行走而不至於跌倒。故近年來之研究顯示[1-4]，當機器人處於單腳支撐的狀況時，盡量讓零力矩點接近腳地板的中心點是一個不錯，也是一個最直覺的平衡設計方法。不過這樣的設計方法的零力矩點不像人類，其中一個理由是，機器人的腳通常不像人類一樣是軟的，所以當機器人腳著地的瞬間，他的腳會有著很大的反作用力，而這樣的反作用力會直接影響到機器人的動態平衡。圖1顯示以往研究的固定式ZMP軌跡與本篇提出的可調整式零力矩點軌跡。而基本的步態我們可以運用文獻[5]之方法實踐。

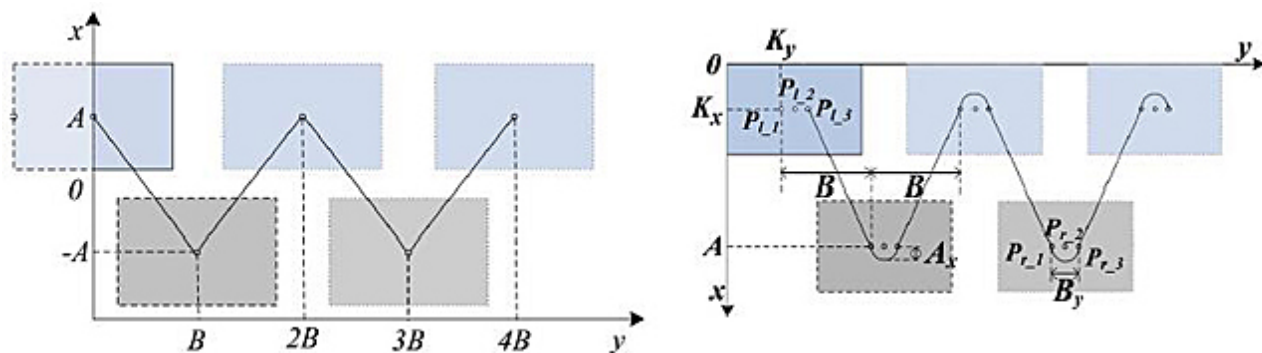


圖1、固定式ZMP軌跡 (左) 與可調整式ZMP軌跡 (右)。

動態平衡控制

我們在本篇運用了模糊邏輯控制器來使機器人的零力矩點位於理想狀況。為了讓機器人能夠行走不同地板材質與不同坡度上，模糊邏輯控制器的輸入為機器人軀幹之傾斜角度、零力矩點軌跡之誤差以及兩個可調整之參數。圖2為機器人動態平衡控制之流程圖。由圖中可知，模糊控制器的輸入是經由壓力感測器所量測到的零力矩點軌跡與加速度計所量測到的機器人傾斜角度，而這些資訊都是經由感測器融合區塊裡面的卡爾曼濾波器處理過的。圖3為機器人傾斜角之模糊集合，圖4則為零力矩點之模糊集合。

經由本篇提出之機器人動態平衡控制之零力矩點規劃，我們的雙足機器人可穩定的走在地毯與木板上。甚者，我們的機器人亦可在不同斜率的斜坡上行走自如。

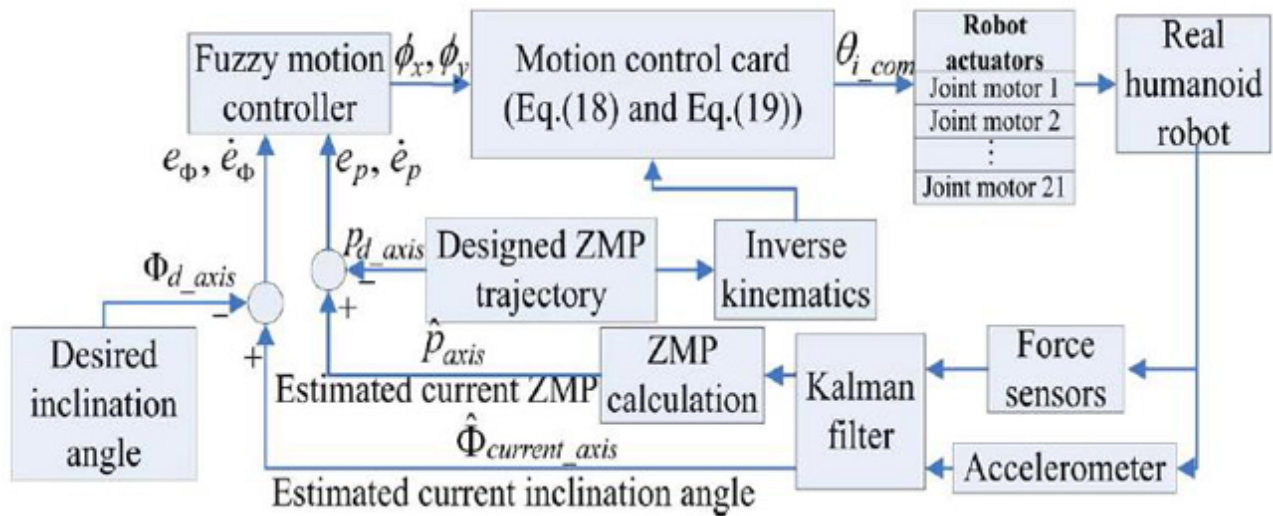


圖2、動態平衡控制之流程圖。

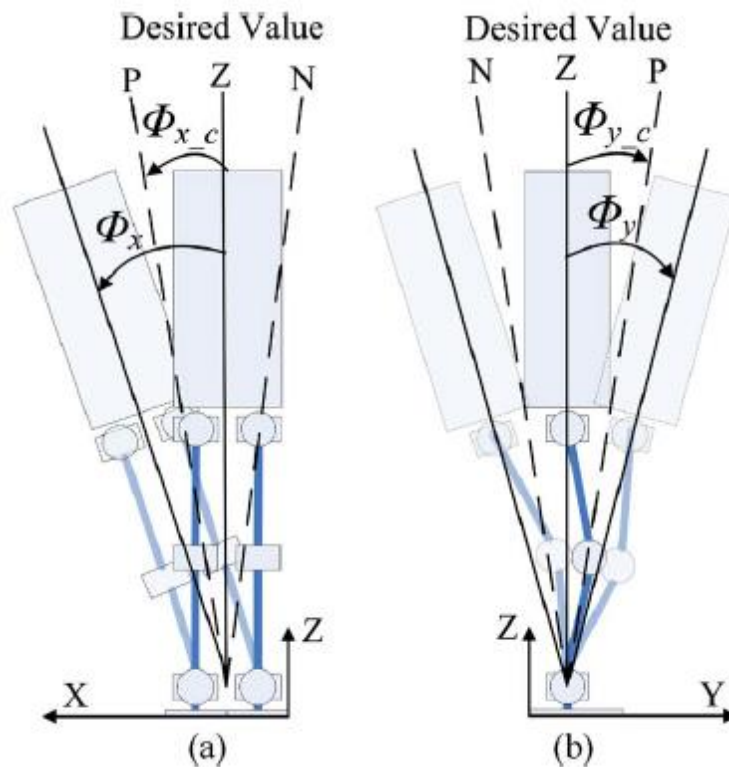


圖3、傾斜角之模糊集合 (a) 正面, (b) 側面。

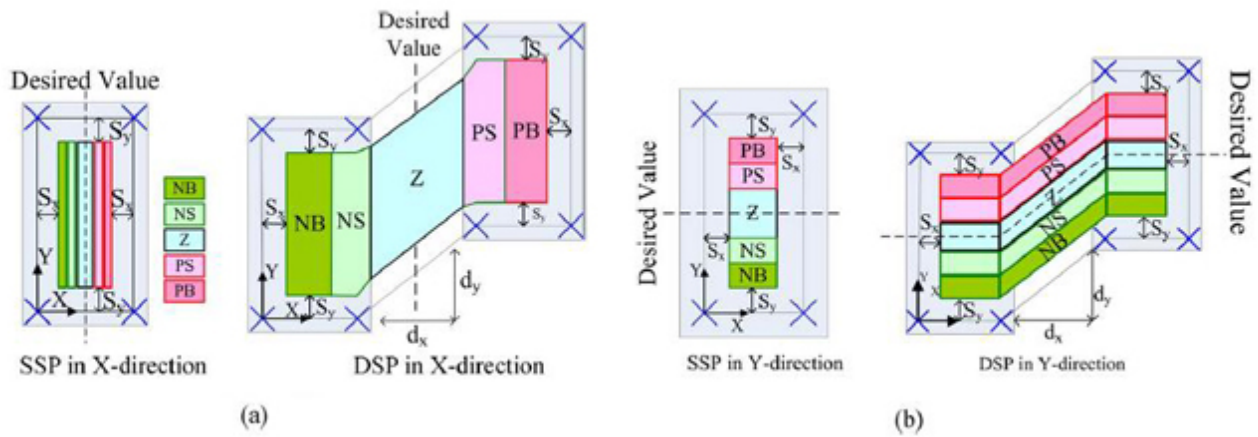


圖4、零力矩點之模糊集合 (a) X-方向, (b) Y-方向。

參考文獻：

1. C. Zhu, Y. Tomizawa, X. Luo, and A. Kawamura, "Biped walking with variable ZMP, frictional constraint, and inverted pendulum model," in *Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Biomimetics*, Aug. 2004, pp. 425–430.
2. B. J. Lee, D. Stonier, Y. D. Kim, J. K. Yoo, and J. H. Kim, "Modifiable walking pattern of a humanoid robot by using allowable ZMP variation," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 24, no. 4, pp. 917–925, Aug. 2008.
3. Y. Choi, B. J. You, and S. R. Oh, "On the stability of indirect ZMP controller for biped robot systems," in *Proc. IEEE/RSJ Int. Conf. Intell. Robots Syst.*, Jun. 2004, vol. 2, pp. 1966–1971.
4. O. Ayhan and K. Erbatur, "Biped robot walk control via gravity compensation techniques," in *Proc. 32nd IEEE IECON*, Nov. 2004, pp. 1797–1802.
5. Y. Choi, D. Kim, Y. Oh, and B. J. You, "Posture/walking control for humanoid robot based on kinematic resolution of CoM Jacobian with embedded motion," *IEEE Trans. Robot.*, vol. 23, no. 6, pp. 1285–1293, Dec. 2007.