

南台科技大學  
九十七學年度實務專題製作成果報告

專題	智慧型兩輪平衡車		
名稱	(原申請名稱為:觸控式遠端遙控監視器)		
補助 經費 來源	<input checked="" type="checkbox"/> 教學卓越計畫	經費核	87
	<input type="checkbox"/> 學校年度預算	定序號	

系 所： 電子系

指導老師： 黎靖

專題學生： 49436078

(學號)

李冠毅

(姓名)

49436005

謝偉群

49436077

蘇奕昕

49436069

朱慶德

中 華 民 國 九 十 八 年 五 月

**南台科技大學 97 學年度實務專題製作  
參與國際/全國性競賽成果**

<b>競賽名稱</b>	2009 年第三屆凌陽盃系統晶片創意應用設計大賽
<b>作品名稱</b>	智慧型兩輪平衡車(原申請名稱為:觸控式遠端遙控監視器)
<b>指導老師</b>	黎靖
<b>參賽學生</b>	李冠毅、謝偉群、蘇奕昕、朱慶德
<b>競賽結果</b>	<p> <input type="checkbox"/> 獲獎 名次_____                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 未入圍決賽                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 已參加但進行中                 </p> <p> <input checked="" type="checkbox"/> 尚未參賽，預計比賽日期：__98,5,8_____                 </p> <p style="text-align: center;">                     (必須參與 <b>97 學年度</b>國內(不含校內競賽)或國際專題製作競賽)                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 其它 _____                 </p>
<b>檢附競賽 成果資料</b>	<p> <input type="checkbox"/> 作品照片                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 頒獎照片                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 獎狀影本(以一位同學獎狀影本為代表)                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 獎牌、獎盃照片                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 獲獎新聞剪報                 </p> <p> <input type="checkbox"/> 其他：                 </p>

# 智慧型兩輪平衡車

專題學生：李冠毅、謝偉群、蘇奕昕、朱慶德

指導老師：黎靖

南台科技大學電子工程系

## 摘要

本作品設計與製作具有自我維持平衡能力之兩輪載具，整個系統以單晶片 SPEC061A 為控制核心，且利用無線方式達到移動控制。硬體架構包含直流伺服馬達、微控制器(Microcontroller Unit, MCU)、無線模組(Radio Frequency, RF)訊號接收、類比濾波器等四大部分。軟體方面則是以模糊控制演算法為主之控制方法。感測部分主要以陀螺儀與傾斜器測得的角速度與傾斜角度來得知車身傾斜狀態，並用編碼器回授訊號得知移動速度。整合以上資訊傳送給 MCU 並利用模糊演算法(Fuzzy Algorithms)分析及判斷後，經由脈寬調變技術達到速度控制。

## 1. 前言

移動式機器人近年來已成為機器人研究的一個重點項目，移動式機器人可以區分為「足行式」與「輪行式」兩大類。在構造上，足行式機器人構造複雜、面對多變化的路面，要控制其動態穩定比較困難，移動速度也較慢。相對的，輪行式機器人，動態穩定較容易達成，移動所需的能量也較小，通常移動速度比足行式機器人快。目前最常見的輪形機器人，其基本架構是由兩個獨立驅動輪加上一或兩個輔助輪，成為三輪或四輪式的移動平台，經由調整兩驅動輪的速度差，運動平台便可在平面上直線運動、曲線運動或原地旋轉。三輪或四輪機器人的缺點是靈活度不夠，行進方向受限於機器人的朝向方向，因此在定位時往往必須像汽車路邊停車一樣，必須一再前進與後退，才能停入平行的停車格。

為了減少佔地面積並增加靈活度，近年來有幾款成功的雙輪式機器人，其中最令人矚目的是狄恩·卡門與他的團隊發明設計的「賽格威」(Segway) [1]。「賽格威」是一種具有自我平衡能力之二輪運輸載具，上市前「賽格威」被視為嶄新的交通工具而前景一片看好，但由於價格昂貴，因此上市後並沒有獲得預期的迴響，可說是叫好不叫座。但由於「賽格威」確實是劃時代的科技產品，因此仍然吸引了國際大廠及學術單位的重視，紛紛投入資金及人力開發類似的產品[2、3]，同時也激起我們研發類似產品的熱忱。

近年來，由於兩輪自走平衡車的高靈活性及

無污染，使其逐漸受到各方的重視，尤其是 Segway 的推出，使得兩輪自走平衡車的研究更加的蓬勃發展。兩輪自走平衡車的優勢在於，體積和回轉半徑都遠小於其它的短距離載具，對於現在大樓林立的都市裡，會顯的方便很多。

## 2. 目的

本次設計的目的在於，建立一個低成本的小型兩輪自走平衡車雛形。由於本次作品的體積遠比 Segway 來的小，其未來的應用定位在於辦公室的文件傳遞、獨居老人的看護、博物館和展覽會場的自動語音導覽等。相較於以往的導覽機器人體積龐大且移動緩慢，並不利於人潮壅擠的展覽會場，反觀兩輪平衡車，體積小且移動遠比以往的導覽機機人要來的快，適合在空間狹窄的人潮中穿梭。對於辦公室的文件傳遞也是一樣的，以往的公文傳遞，必須依靠人力，麻煩且費時。而對於平衡車來說，重量較輕的公文，並不會對本身的負重產生多大的影響，且對於現代電梯化的大樓，兩輪車的體積也非常適合搭乘。而對於日漸高齡化的現代，老人的居家看護已變的日漸重要，縱使現在可以僱用外籍看護，但是社會上的外籍看護暴力事件層出不窮，也會讓人擔心，就算使用遠端監看系統，卻還是有死角。且如果長輩想外出時，家裡的監看系統也無法繼續監看，雖然現在有手錶型的呼救器，但是卻無法提供現場的畫面，以了解發生的事情。本次作品會將其本身的系統於以模組化，以利於往後期相關應用的擴充，正因為如此，我們可以在往後開發出追隨系統加裝在車上，成為老人的戶外看護，當有事情發生時，可以即時傳回現場畫面。

## 3. 文獻探討

賽格威的誕生源起，最早是起因於迪恩·卡門的 DEKA 與獨立科技所合作開發的 iBOT。2001 年卡門創立了賽格威責任有限公司公開了賽格威隨意車的原型車，並且聲稱它是人類史上第一輛能夠自主平衡的運輸工具。

2002 年 4 月 23 日，喬治亞州的亞特蘭大市政府向賽格威採購了一批新車，使得該市成為這種新運具的第一個官方使用單位，之後陸續又有許多不同等級的官方單位跟進。2002 年 11 月 18 日時，賽格威正式在亞馬遜網站上實際量產銷售給一般的民眾。

2003年1月16日，法國公司凱歐利與賽格威公司簽署協議，在法國發展利用賽格威便利車作為大眾運輸工具的計畫。這個計畫預計在全法國各大城市建立一個賽格威便利車與其他零污染交通工具的出租網路，讓旅客可以用甲地租車乙地還車、只以計時定價的方式租賃適當的交通工具，來降低人員運輸在都市地區所造成的空氣污染問題。該公司的計畫已經在2003年中實現，第戎（Dijon）的市觀光局開始提供到當地遊玩的旅客賽格威車作為市區遊覽的工具。此外，在巴黎的香榭麗舍大道、拉德芳斯（La Défense）等行人徒步區內，也可以租到賽格威車。

2003年2月，美國DARPA與賽格威簽約，將15架賽格威便利車改裝成機器人移動平臺（RMP），讓各相關研究機構作為一種穩定、低廉的機器人系統發展平臺。Segway RMP電機（motor）可以連續提供2hp功率，必要時可達4至5hp峰值功率，足以帶動一個人體尺寸大小的負載。Segway RMP有多種型號，包含各種電池與輪胎/車輪的組合，提供最遠15英里範圍和400lbs的承載能力。Segway RMP採用一至四個鎳氫充電電池或鋰電池組。任何能提供52V電壓的電源均可為Segway RMP供電。你可以將Segway RMP接在一個緊湊型氣體產生器上，在使用中為電池充電。



照片 1、Segway RMP

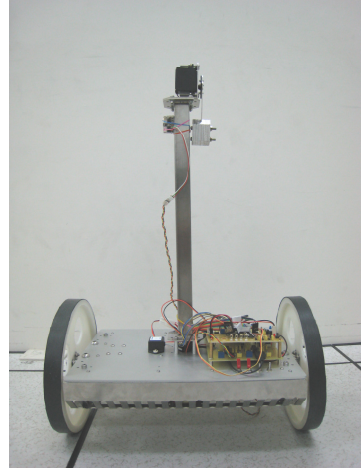
2004年10月11日，賽格威發表了一輛名為「半人馬號」的四輪版概念車，是第一輛四輪的賽格威車。

2004年11月16日，一個名為「時速10英里的美國」（America at 10 m.p.h.）、由愛好者組成的車隊以全程騎乘賽格威的方式，完成了從西雅圖到波士頓、橫貫美洲大陸的嘗試。

2005年3月1日，賽格威一口氣發表了三種新款的衍生車型，其中包括了賽格威越野車與高爾夫球車的特殊用途版本。

#### 4. 系統架構與設計

本專題設計之智慧型兩輪平衡車如照片1所示。本機器人配備了傾斜儀與陀螺儀以模擬人體的內耳平衡器官“前庭”及“半規管”，因此不同於傳統三輪或四輪機器人，本機器人只需要兩個輪子就可以保持平衡，具備迴轉半徑小的優點，可以靈活的在窄小的空間穿梭。



照片 2、智慧型兩輪平衡車

#### 4.1 智慧型兩輪平衡車的系統架構

兩輪載具之系統架構如圖1所示，包括車身結構、車身平衡度偵測系統、伺服馬達系統、馬達驅動電路、單晶片微控制器(MCU)、電源管理系統及無線傳輸模組等。以下將一一予以說明。

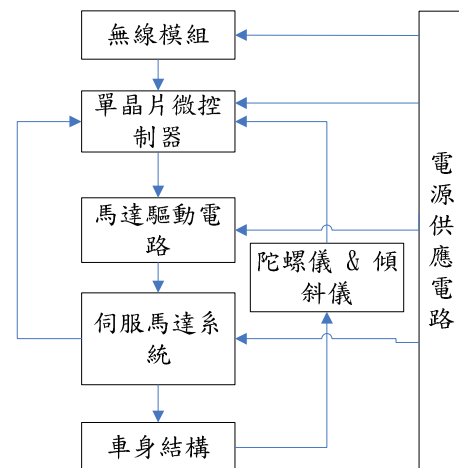


圖 1、智慧型兩輪平衡車之系統架構

#### 4.2 車身平衡度偵測系統

本專題採用美國 Crossbow 公司所生產的 CXTA01 傾斜儀量測車身的傾斜角度。CXTA01 可量測出的角度範圍為 $\pm 75^\circ$ ，最小感測範圍  $0.05^\circ$ ，輸出電壓會隨著傾斜角度的變化而改變，用來得知車身傾斜之角度，輸出電壓變化範圍為 $[0.5, 4.5]$  V，基準電壓為 2.5V，額定最大電源電壓為 30 V。

陀螺儀與傾斜儀運作時的輸出夾雜許多高頻雜訊，因此必須使用低通濾波器濾除高頻雜訊，我

們採用四階 Butterworth 的低通濾波器，並設計其截止頻率為 100 Hz。其二階轉移函數及截止頻率分別如式(1)及(2)所示：

$$\frac{V_o}{V_i} = \frac{1}{S^2 + \frac{2C_c R}{C_c C_D R^2} S + \frac{1}{C_c C_D R^2}} \quad (1)$$

$$\omega_o = \sqrt{\frac{1}{C_c C_D R^2}} \quad (2)$$

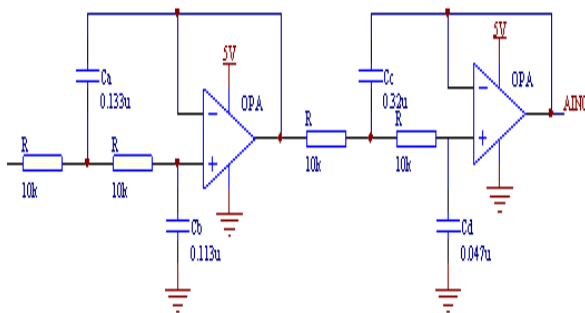


圖 2、四階 Butterworth 的低通濾波器

#### 4.3 伺服馬達系統及驅動電路

為了維持兩輪機器人自身的平衡，伺服馬達必須持續的正反轉，經過一段時間後，車身會有偏移現象，而讓車子會忽左忽右，影響車身的平衡控制。為了克服偏移問題，我們加上了伺服馬達回授系統，方法是利用編碼器讀出的馬達轉速和距離，並採用 EPM3064A 來做訊號處理。在 EPM3064A 中我們寫入了二組 16 位元的計數器，所以輸出須要有 16 個以上的 I/O 腳位，而 EPM3064A 沒有這麼多的 I/O，因此需要在 CPLD 中加上了二對一的多工器，利用多工器來讀取二組計數器的資料，再進入 C8051F 進行訊號處理，以達到了兩輪同步的功能。

本文採用 MOSFET 電晶體的橋式電路驅動馬達，MOSFET 具有低阻抗、高電流、及抗雜訊之特性。車身行走速度則使用 PWM(脈寬調變)技術控制，PWM 技術輸出脈波電源給 MOSFET，利用 MOSFET 的 HIGH、LOW 的切換及脈波寬度的不同來控制馬達的轉速。

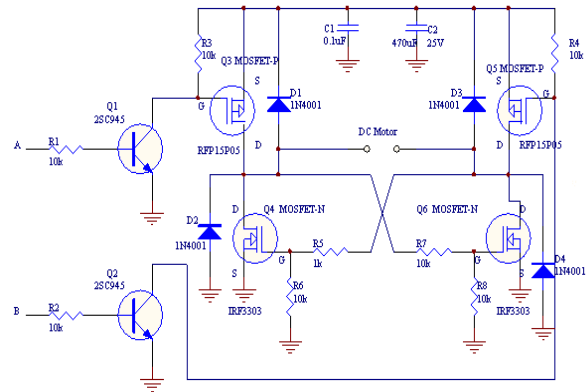


圖 3、馬達驅動電路

#### 5. 智慧型兩輪平衡車之 Fuzzy 控制器

模糊控制簡單地說就是一種以 IF-THEN 形式來表示專家或操作人員判斷的控制演算法。模糊控制系統與傳統控制系統的最大差別在於建構系統時不需建立系統的數學模型，而是萃取專家的經驗成為控制規則資料庫。模糊控制器在不確定性、非線性等複雜系統上，往往比傳統控制器如 PID 控制器等有更好之強健性及適應性。模糊控制器性能的好壞取決於模糊規則的建立與歸屬函數的形狀，可由設計者依經驗建立而得到好的控制效果。

兩輪載具由於沒有第三輪輔助而缺少支撐力，使得它為不穩定系統，因此兩輪載具最大的挑戰是如何將不穩定的系統改進成強健的穩定平台。

兩輪載具的傾斜角  $\theta$  定義為車身主桿與垂直面的夾角如圖7所示，並定義順時針方向的傾斜角及角加速度為正，逆時針方向的為負；兩輪載具向右移動時的馬達轉速輸出定義為正，反之為負。

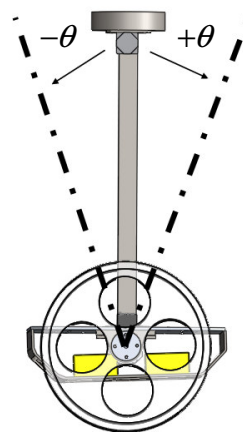


圖 4、傾斜角

兩輪載具的平衡狀態可以經由量測傾斜角  $\theta$  及角加速度  $\ddot{\theta}$  得知，因此本文的模糊控制規則是根據  $\theta$  及  $\ddot{\theta}$  之大小得到不同的馬達轉速輸出(W)，其中  $\theta$ 、 $\ddot{\theta}$  及 W 各分成七個等級，分別為 PB(大的正

值)、PM(中的正值)、PS(小的正值)、ZE(零值)、NS(小的負值)、NM(中的負值)、NB(大的負值)。分別如圖5、6及7所示，這些歸屬函數都是經由實驗得到的結果訂定出來的。

控制規則為：若 $\theta$ 為A等級且 $\ddot{\theta}$ 為B等級，則W為C等級。W與 $\theta$ 及 $\ddot{\theta}$ 之關係如表1所示，其中第一列為 $\theta$ 之不同等級的輸入，第一行為 $\ddot{\theta}$ 之不同等級的輸入，表內灰色區域為W的等級。

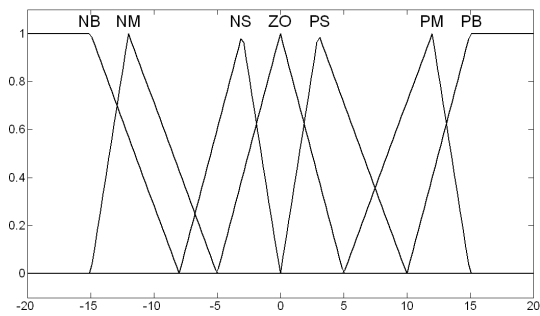


圖 5、 $\theta$  之歸屬函數

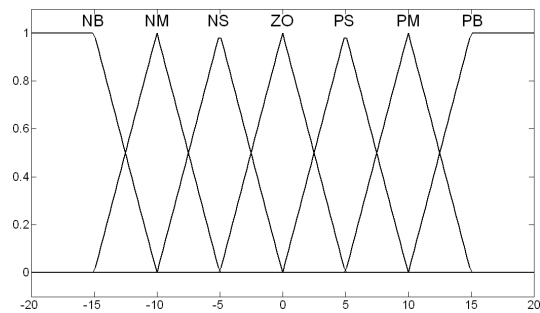


圖 6、 $\ddot{\theta}$  之歸屬函數

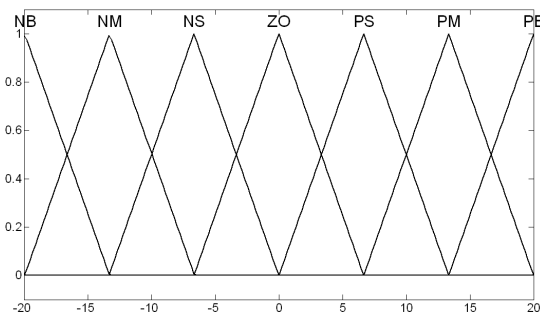


圖 7、W 之歸屬函數

表1、模糊控制器規則庫

$\ddot{\theta} \backslash \theta$	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
PB	NB	NS	NE	PM	PM	PB	PB
PM	NB	NS	NE	PS	PS	PB	PB
PS	NB	NM	NE	PS	PS	PM	PB
ZE	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB

NS	NB	NM	NS	NS	NE	PM	PB
NM	NB	NB	NS	NS	NE	PS	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NE	PS	PB

本文使用了最小推論工廠來進行模糊推論的工作，再利用重心解模糊化法來解模糊化，以求得W的值。

## 6. 結論

「賽格威」上市前，無論是產業界、學術界還是金融投資界，都對其寄予厚望，認為這是一種劃時代、可以改變人類運輸方式的偉大創意，但上市後並沒有獲得預期的迴響，最主要的原因就是與傳統載具比較起來，「賽格威」的價格過於昂貴，非一般消費者可以接受。

台灣具有優異的簡化設計以降低製造成本的研發能力，因此「賽格威」要能盛行恐怕需要台灣廠商的加入才有比較大的可能性。

本文嘗試研發類似「賽格威」的智慧型兩輪自走平衡車，希望透過模糊控制理論，簡化兩輪移動載具的零件需求，以降低生產價格，使兩輪移動載具能成為日常生活的好幫手。

## 7. 參考文獻

- [1] 行政院科技顧問組之網站<http://www.stag.gov.tw>
- [2] Segway 之網站<http://www.twsegway.com.tw>
- [3] Sony Segway之網站<http://www.dailytech.com>
- [4] Hitachi 之網站：<http://www.hqrd.hitachi.co.jp>
- [5] 白翼銘，改良式DSP主控之兩輪機器人行動控制，中央大學電機工程研究所碩士論文，2005年六月
- [6] 陳家榮，改良式DSP主控之兩輪機器人基本控制，中央大學電機工程研究所碩士論文，2005年六月
- [7] F. Grasser, A. D'Arrigo, S. Colombi and A.C. Rufer, "JOE: a mobile, inverted pendulum," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 39, No. 1, pp. 107-114, 2002.
- [8] H. O. Wang, K. Tanaka, and M. F. Griffin, "An approach to fuzzy control of nonlinear systems: stability and design issues," IEEE Trans. on Fuzzy Systems, Vol. 4, pp. 14-23, 1996.
- [9] V. Hernandez and H. Ramirez, "Generalized PI control for swinging up and balancing the inertia wheel pendulum," Proceedings of the American Control Conference, pp. 2809-2814, June 2003.
- [10] Y. Ha and S. Yuta, "Trajectory tracking control for navigation of self-contained mobile inverse

pendulum," IEEE/RSJ/GI Int. Conf. On Advanced Robotic Systems and the Real World, Vol. 3, pp. 12-16, September 1994.

- [11] Y. Takahashi, S. Ogawa and S. Machida, "Step climbing using power assist wheel chair robot with inverse pendulum control," IEEE Int. Conf. on Robot. Automat., Vol. 2, pp. 1360-1365, April 2000.

