

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

## 子計畫一：兩輪自走車之機構設計與實作(II)

計畫類別：整合型計畫

計畫編號：NSC94-2213-E-032-013-

執行期間：94年08月01日至95年07月31日

執行單位：淡江大學機械與機電工程學系

計畫主持人：楊智旭

計畫參與人員：蔡慶豐、簡誌文

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫可公開查詢

中 華 民 國 95 年 6 月 5 日

## 中文摘要

本分項計畫是著重在兩輪自走車的機構設計與實作，從設計到實作，來建立本土化技術，兩輪自走車包括平衡系統的設計與製作，驅動元件的評估與選用，輪胎選用與傳動設計及機電整合設計與製作，使其功能操作能達到簡易化，人性化之目的。

今年為本整合計畫的第二年，主要為高負載之自走車機構設計，改良第一年的雛形，增加負重能力，因此使用鋁擠型為主要材料，車身主體則使用模組化分層結構使內部空間利用較為彈性，可調整重心模組改為可變動的實體重心偏移功能，藉此來控制兩輪車的前進後退，且有三個負重可供選擇，以便實驗及測試。

目前已將模組化機構設計完成，接下來是和其他子計畫的整合，針對車子的穩定、平衡作測試，看目前機構是否能負荷，並針對缺點改善及驗證。

關鍵詞：兩輪自走車、機構設計、機電整合

## 英文摘要

The objective of this research is to design and implement a two-wheeled transporter for human beings. The research work includes the mechanical components design and manufacturing, structure analysis and simulation, choosing of electrical motor, driver, battery, and electromechanical system integration. The final goal of this project is to develop a user-friendly and easily operational transporter.

The major research work is to design the structured mechanism for higher loading capacity this year (2/3 years). The prototype of last design is modified to enhance the strength-to-weight ratio. The extrusive Al-alloy is used to be the major frame for the transporter body. The slab of the transporter is designed by the modulus purposes for flexible space consideration. It is easy to adjust the frame space for the different experimental applications of other sub-projects. An adjustable mechanism is also developed to change the position of center of gravity (COG) of the transporter for the experimental purposes of other sub-projects. Base on the research results of this year, the developed transporter frame will be integrated with the research works of other sub-projects next year. The stability and the loading test are the focus issue in the future research work.

Keyword: two-wheeled transporter, manufacture design, machine electricity integration

## 前言

隨著時代與科技的進步，人類的代步工具也愈來愈發達，從兩腳步行、腳踏車、機車、電動車到現在的兩輪車，而其中最著名的就是美國的科學家卡門所製作設計的Segway [1]，這台兩輪自走車的優點為體積小、容易停車、負載重量高且能夠達到承載平衡、前進、轉彎、及上下坡，無疑是兩輪自走車研究的先驅。唯一缺點為價格在 17 萬以上，並非一般人可負擔，而本研究的目的即是自行設計製作本土化之兩輪自走車，使其價格一般化。

而本文研究的重點在於機構的設計及平衡的控制，因為是以乘載人員為目的，所以本機構以可變式重心為設計重點，用來模擬乘客站立時的重心變化。在目前的研究中要使兩輪車前進或後退都是給予一虛擬重心的方式，使程式誤以為是傾斜狀態，進而修正，使其前進或後退，但如果要載人的話似乎有點反其道而行，所以在本雛形的設計概念為修改成一個可變式重心機構，藉由實際重心的偏移，來控制前進後退的動作，也較符合實際載人的情況。

而平衡系統方面則是兩輪車控制的主要核心，其任何動作都與需考慮平衡的問題，雖然其平衡和倒單擺有點類似，但是卻較為複雜，倒單擺的平衡控制考慮桿子的傾斜角度及角速度，而兩輪車則需考慮車體和車輪的相對角度及相對角速度，所以系統較為複雜，難度也較高。

## 文獻探討

過去幾年來，有不少科學家針對兩輪機器人發表過一些相關的研究報告。國外的Segway公司，研發出一台可載人的智慧型兩輪車。此兩輪車利用五顆陀螺儀及兩顆傾斜計搭配兩台小型電腦來校正車身的平衡。當使用者站上車子時，小型電腦會以每秒 100 次的頻率去偵測車子整體的重心位置，若失去平衡需要調整重心時，便會以快過人類神經反應的速度來作調整。電腦會立刻透過變速箱傳動馬達來讓車子向前或向後行駛。因此只要身體稍向前傾，整體重心落在前方，車子就會往前走，反之車子就會往後走，若身體保持直立不動的狀態，車子也會立刻停止[1]。

MIT(美國麻省理工學院)的CSAIL 中 Humanoid Robotics Group 利用 Segway 兩輪車機構，車上再加上一部機器人，成為行動機器人。此機器人可完成開門的動作，取名作 CARDEA [2]。

然而在利用動態系統方程式來控制車身平衡的研究也有很多[3-4]，而最著名的就是“Joe” [5]，利用陀螺儀來當感測器所得的傾斜角度、角速度及兩輪編碼器所回傳的值代入所求得的動態系統方程式來控制車體動作。在其他方面還有使用 PID 控制器來保持平衡[6]。

## 研究方法

### (1) 兩輪自走車之硬體設計與製作

兩輪自走車之硬體設計與製作是為了配合整合型計畫之主要目的(發展人性化兩輪自走車之研究與製作)，本計畫之研究重點，為設計最適合執行維持兩輪自走車穩定性之操作及從不穩定狀態(如：踩到凹凸地面而失去重心)或從失控姿態恢復至正常平衡姿態之機構設計。

本研究之兩輪自走車之基本定義，為具有平衡裝置、驅動裝置、承載荷重之多功能自走車。兩輪自走車其研究重點在於如何設計平衡之機構，使得驅動裝置能夠配合平衡機構在平面及斜坡行走。首先是，從各子計畫之感測器、電池尺寸及各元件重量加以計算馬達所需的輸出功率，進而選出最適當的馬達以提供驅動自走車的所需動力，再來將各元件的尺寸規格，輸入電腦繪圖軟體 ProE、Solid work 來設計二輪自走車的各部位元件機構圖，當完成了各項設計後，然後才開始著手進行機構的實體製作，接下來在設計機構硬體方面，先和各子計畫所負責的組件協調，例如，陀螺儀感測器的位置、電源電池的尺寸及控制晶片的規格，都將成為自走車機構統一設計規格所考慮的重點，在此，必須和各分項計畫協調共同的硬體尺寸，以期在最後的車身機構，能夠整合成功。

### (2) 機電整合

任一受控機械系統皆可分為目標系統、量測回授、控制計算與驅動等四個部分。機電整合系統係指一受控機械系統，其計算部分完全以電子方式實現者。對於較複雜之機電整合系統，其計算部分往往以多微處理器方式設計，以增進計算效率、適應幾何限制或隔離各別控制動作。

本研究中之兩輪自走車之控制架構，依據動作之層次為實體層，此層執行硬體元件控制，包括馬達驅動、感測器之讀取、通訊資訊之傳遞等，且通常要以即時方式達成。此層之控制與硬體有密切之關係，因此，任何硬體設備之變動，往往需要有此層之適切支援。所以，在控制晶片的設計與硬體架構的配合上，就必須達到機電整合的目標，讓兩輪自走車於行駛時感應偵測的訊號，能夠馬上傳遞給馬達驅動裝置，做出即時的修正反應，讓車身達到穩定平衡的目標。

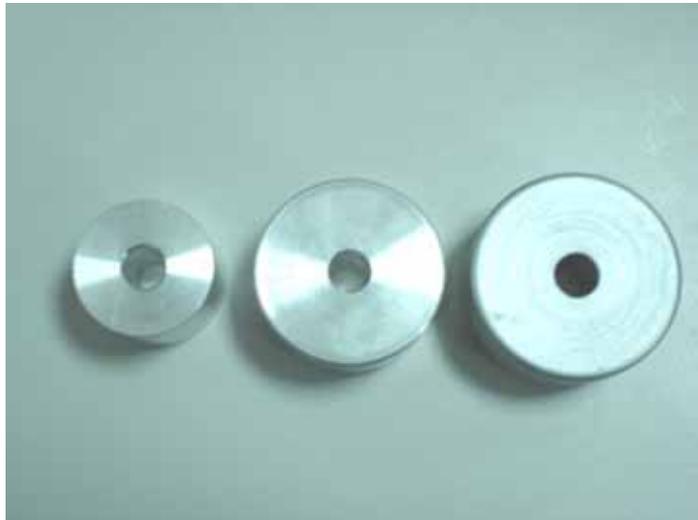
## 結果與討論

在雛形機構方面總重量為 18kg 因為考量到重量的關係，所以大部分使用鋁來作為主體架構。最下層因為是整體機構的支撐面，所以使用強度較強的鋁擠型(400mm×300mm)當成主要結構，旁邊加上 4 根防傾桿。中層部分主要是放置電路板、傾斜計、陀螺儀...等等電子元件，採用 4mm×300mm×300mm 鋁板 3 片，四邊使用 30mm×30mm×300mm 的支撐柱。頂部為 5mm 鋁板，加上一可變重心機構，可變重心機構長度為 200mm，有三種負重

分別為 0.7kg、1.4kg、2.0kg 可供選擇。立體圖如圖六，實體圖如圖。

(1)可變式負重裝置：

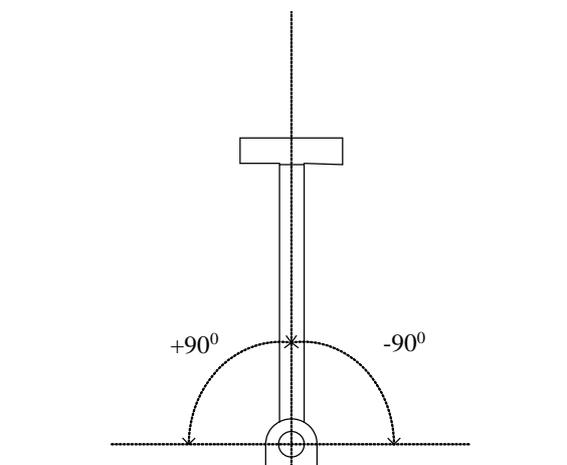
負載的重量有三種分別為 0.7kg、1.4kg、2.0kg 可供選擇，可根據整體車體機構需要而更換，以模擬未來兩輪自走車載人時的情況。



圖一、三個負載外觀

(2)可變式重心裝置：

我們設計一顆小馬達來控制前述之負重裝置的前傾(或後傾)角度，以改變車體重心位置，進而控制自走車的前進(或後退)的運動情形，此裝置的功能是為了模擬未來人員站立在兩輪自走車上，以身體前傾(或後傾)角度來改變整體重心角度去控制自走車的運動情形。在平衡桿兩邊還有二根固定桿，可幫助傾斜桿在不做實驗時維持  $90^{\circ}$  而不至於傾倒，其可動角度為  $-90^{\circ} \sim +90^{\circ}$ 。



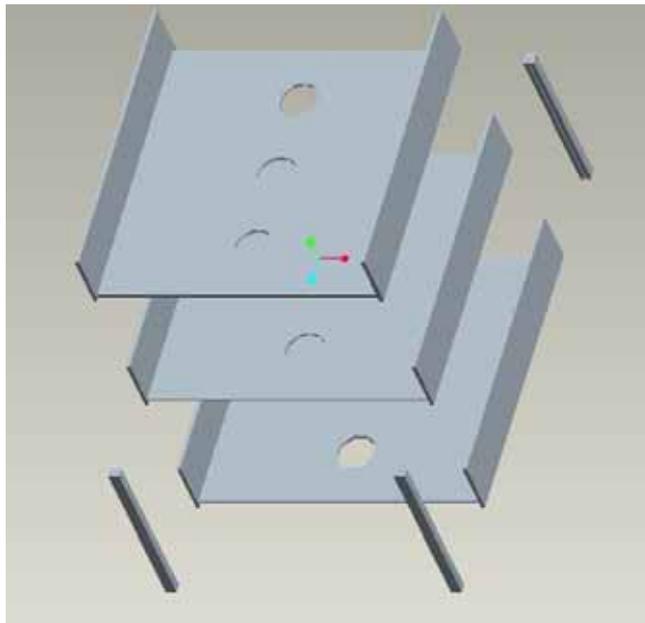
圖二、可變式重心機構之可動角度



圖三、可變式重心機構之實體圖

(3) 模組化分層機構裝置：

可任意變更各層之高度，或增減各層之機構規劃，使車體內部空間的配置較具彈性，在雛形車階段，能提供較具彈性的空間規劃，如控制板，感測器，電池等。鋁板的中間各有 3 個凹洞供電路連接用，而四邊的支撐柱各有 4mm 的凹槽供鋁板固定用。



圖四、模組化分層機構設計圖



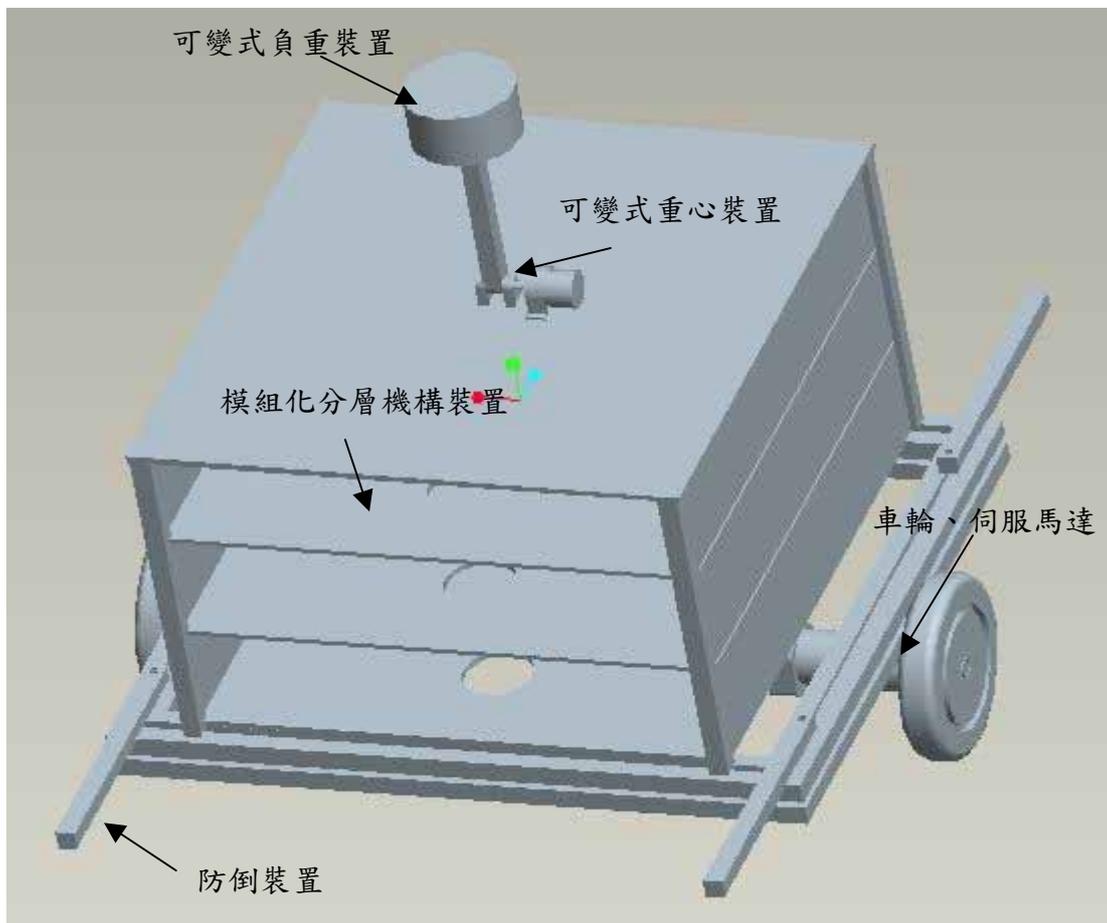
圖五、模組化分層機構實體圖

(4) 防倒裝置：

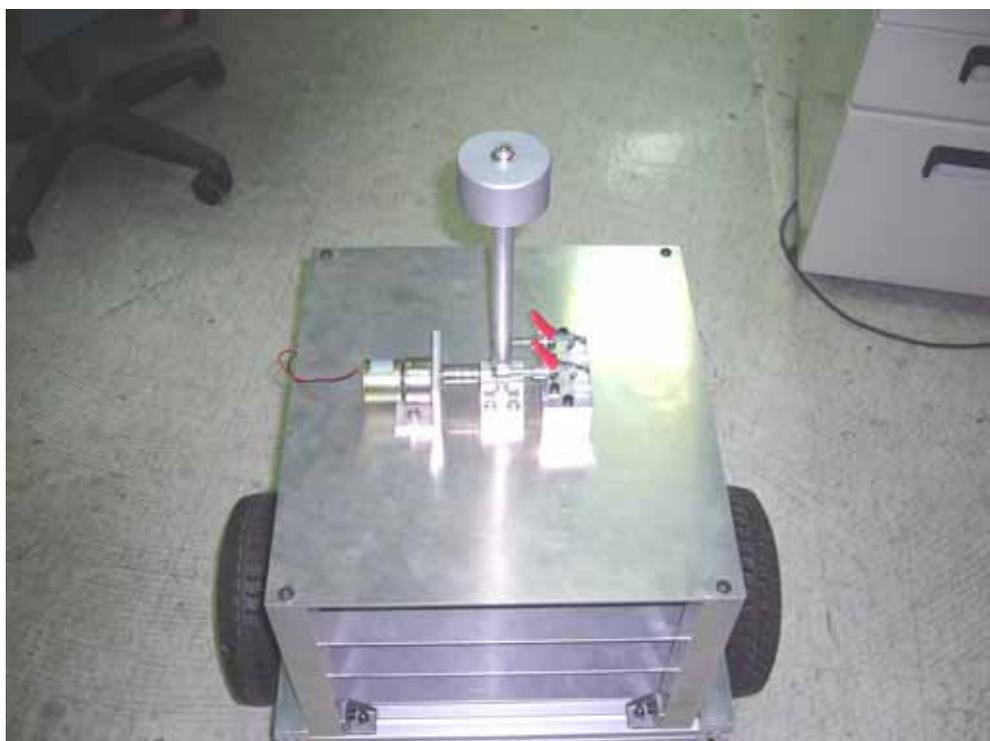
當雛形車建構完成後的整合測試時，為了避免實驗中發生錯誤動作或其他原因所造成的「當機」或「碰撞」，特別設計防倒裝置以保護車上的零組件。

(5) 車輪、伺服馬達：

伺服馬達由文吉電機有限公司所製造，型號：PTSV3929，額定電壓 24V，額定轉速 4000rpm 包含有減速齒輪組(1:24)，全長為 135mm、直徑 43.5mm，減速齒輪組-裝設在馬達的前端，其功能為降低轉速、提升力矩。輪胎為充氣式輪胎直徑為 220mm，胎徑為 6mm，鐵質鋼圈輪。



圖六、兩輪車機構立體圖



圖七、兩輪車機構實體圖

## 參考文獻

- [1] Segway之網站 <http://www.segway.com/>
- [2] MIT的Cardea網址 <http://www.ai.mit.edu/projects/cardea/>
- [3] I. Loram and M. Lakie, "Human balancing of an inverted pendulum: position control by small, ballistic-like, throw and catch movements" *Journal of Physiology*, 540.3, pp. 1111-1124, 2002.
- [4] 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.
- [5] 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, Feb. 2002.
- [6] V. Hernandez and H. Ramirez "Generalized PI Control for Swinging up and Balancing the Tnertia Wheel Pendulum" *Proceedings of the American control Conference* June 2003.
- [7] <http://www.tedlarson.com/>
- [8] <http://www.geology.smu.edu/~dpa-www/robo/nbot/>
- [9] <http://www.ai.mit.edu/projects/cardea/index.shtml>
- [10] 陳維方、鐘明吉、蔡若鵬、龔傑、陳世宏、周德明，*應用力學-動力學(第四版)*，全華科技圖書股份有限公司，民國 89 年 5 月。
- [11] 顏鴻森，*機構學*，東華書局，民國 88 年 3 月。
- [12] 王禎祥，“兩輪自我平衡機器人之前後行走控制”，國立中央大學電機所碩士論文，2003 年六月。
- [13] 鄭鈞元，碩士論文，“兩輪自我平衡機器人之平衡控制”，國立中央大學電機所，2003 年六月。
- [14] 蔡僑倫，“DSP 主控之兩輪機器人平衡與兩輪同步控制”，國立中央大學電機工程研究所碩士論文，2004 年六月。
- [15] 王培霖，“DSP 主控之兩輪機器人行動控制”，國立中央大學電機工程研究所碩士論文，2004 年六月。
- [16] 陳家榮，“改良式 DSP 主控之兩輪機器人基本控制”，國立中央大學電機工程研究所碩士論文，2005 年六月。
- [17] 白翼銘，“改良式 DSP 主控之兩輪機器人行動控制”，國立中央大學電機工程研究所碩士論文，2005 年六月。
- [18] 陳威宇，“整合 SoPC 技術之雙輪機器人”，清雲科技大學電子工程研究所碩士論文，2005 年六月。

## 計畫成果自評

本計畫之特色與重點為研發可自行維持平衡之自走車元件及控制模組，希望能設計出可以在任何崎嶇的路面維持平衡，且於上下坡路面行走，也能維持平衡的自走車，進而延伸到商業價值較大之人員承載或行走輔助功能，以提高商業化價值。在計畫進行中，將密切配合其他分項計畫之研究進度，進行設計改善與驗證。

智慧型兩輪車是具互動式之電傳機器人系統的一種，其最主要的優點有節省人力、操控容易、可增加工作效率，在本研究之實際及虛擬實境的角色動態操作上，將提供很大的運動發展空間，操作者不僅可以靠視覺、聽覺的刺激，更可藉由有限空間下操作此平台，增強操作者無限的方向感覺性，如此可增加實際智慧型兩輪車的操作性能。

未來的研究計劃重點在於和其他學校的整合，目前機構已完成，接下來是和其他子計畫的整合，針對車子的穩定、平衡作一測試，測試目前的機構是否可用，改善未來會發生的問題。