「霹靂 3 號」可傳遞載物快速自走車的研製

廖威量[1] 張華均[1] 何克威[2] 曹展源[1]

1. 南亞技術學院機械工程系

2. 聯合後勤學校動力組

摘 要

「霹靂 3 號」是一部針對「義隆盃」單晶片製作競賽的「大隊接力」項目所研發出來的一台具有聲控啟動、會沿著一般黑色電工膠帶行進，以及可承載、轉交接力棒等，符合比賽規範與功能的快速自走車。本車是以九個光電感測器、雙 DC 馬達驅動輪與伺服馬達轉向機構，應用義隆電子的 EM78447 晶片及自創的電路與「自動收斂循跡」軟體，所做出的快速反應行進車體，再配以獨創的「翻跨式」機構來傳棒；實驗與比賽結果顯示，「霹靂 3 號」的性能優異，是頗具教育意義與技術領先指標的一項專題研製品。

關鍵字：自走車、伺服馬達、自動收斂、翻跨式

Fabrication of "Thunder 3" Autonomous Fast-speed Transporting Vehicle

Liaw Wei-lianq[1] Chang Hua-jun[1] Ho Ker-way[2] Tsau jan-yuan[1]

1. Department of Mechanical Engineering, Nanya Institute of Technology

2. Auto Branch, Combined Logistics School

Abstract

"Thunder 3" is an autonomous fast-speed vehicle that is developed for relay race in ELAN Single-chip Fabrication Competition, and has audio-control start-up, which can follow black electrical tape, load and hand over relay baton. This fast-response vehicle is made with 9 photoelectric sensors, dual-DC motor driving wheel, server motor directional mechanism, ELAN EM78447 chip, circuits developed by this study, and "automatic convergence traction". The innovative "stride over" mechanism is used to hand over the baton. The experiment and competition results showed that "Thunder 3" has excellent performance. It is proven to have educational significance, and is a technical pioneering indicator.

Keywords: autonomous vehicle, server motor, automatic convergence, stride over

壹、前言

「自走車」是集光、機、電原理及軟、硬體整合應用所製作出來的一種智慧型車輛，它能經由感測光線或磁場而控制行進的方向，達到無人駕駛的目的，在工業上常將此車用於一些自動化工廠或辦公室，稱為「無人搬運車」; 也有應用類似的技術，使公路上的車子能自動駕駛，叫做「智慧車輛及公路系統」[1]。自從「義隆電子股份有限公司」為鼓勵國人使用國產的義隆(ElAN)微電腦單晶片(Single-chip)，而於 1998 年舉辦第一屆「義隆盃」微電腦專題應用競賽開始，原來對微電腦單晶片與自走車很陌生的本研究群即開始接觸學習，並以手焊電路，花了近半年的時間與兩塊失敗作廢的板子，終於研製出本校的第一台自走車--「霹靂 1 號」[2]，「霹靂」是取自走車上安裝有 LED 霹靂燈與「閃電」塗裝之意(參見圖 1)。

「霹靂 1 號」是一台基本型的自走車，有三個循跡用的反射式光藕合器，馬達轉速約 100rpm，故速度很慢。由於有「霹靂 1 號」的研製心得與成功的經驗，本研究群即報名 2001 年義隆盃第一次的「大隊接力」自走車比賽，並依比賽相關規定研製了有五個循跡感測器、手焊電路板與轉速 200rpm 的「霹靂 2 號」自走車(參見圖 2)，當然因為我們是比賽中少數「機械系」出身的隊伍，在電控知識與電路板製作技巧上都輸人一截，參加比賽旨在免費獲贈一套單晶片的發展工具，以「充實研究設備」，故比賽雖意外晉級前 16 強，終免不了被淘汰的命運。但也因為這次參賽與觀摩的經驗，我們決定發展自己的印刷電路板技術與更多更靈敏的感測器軟體技術，為下一次的比賽奠定了「再晉級」的基礎。

2002 年 3 月，本研究群以自行挑戰研發，超越一般最高七個感測器的「九感測器」「霹靂 3 號」，再次參加義隆盃大隊接力組的競賽，在百分之九十以上都是電子、電機科系的 64 隊參賽隊伍中，我們以唯一較低出身的「機械系」之姿，過關斬將、不斷晉級，終於奪得第五名(只獎 6 名)[3]的佳績。這個結果雖不是最好，但已跌破許多「專家」的眼鏡，也證明了「事在人為」與「機電整合」的重要與不同凡響。

「霹靂 3 號」除了繼承霹靂 1、2 號的「霹靂燈」特徵外，其他的研製技術與組成組件都是新的或獨創的，這包括九循跡感測器、伺服馬達轉向機構、「自動收斂循跡」軟體、「翻跨式」傳棒機構、「霹靂燈」延遲計時器、印刷電路板與 600rpm 的馬達驅動輪等，故有了這些巧妙的設計與搭配，我們才能毫不僥倖的勝過許多知名的國立大學、在全國的競技場中脫穎而出，以下即分別加以介紹說明。

貳、研製原理

為了參加比賽而製作的車子，就要符合比賽主辦單位的相關規定。2002 年義隆盃「機器人大隊接力比賽」的相關規定如本文附錄[3]，茲就符合競賽規則的研製內容分硬體製作與電路軟體控制兩者來加以說明。

一、硬體製作原理

1. 車身結構

我們以 1mm 厚的鋁板做出三層車身結構以達到輕量化的目的(參見圖 3)，第一層為底盤，其後方有兩顆 4.5V 600RPM 的驅動輪馬達，底盤中間前方裝配有伺服馬達的轉向板，轉向板前方排列了九顆 C550N 的光耦合感知器，用來感測行進的路線。第二層放置有 IC 晶片、電路板、轉向伺服器、前後保險桿與電池。整車的最上層即為「翻跨式」傳棒機構，且其高度、跨板長度皆可調整。

2. 感測器原理

感測器在無人自走車中是扮演「耳目」的角色，本研究的感測器用於感測黑色電工膠帶，亦即自走車現在的位置，以提供給晶片做應變控制。以前霹靂 1 號、2 號所用的感測器較少，都是使用較貴、也容易取得的 CNY70；但霹靂 3 號四台接力車就要用掉 36 顆感測器，不得不改用功效一樣、但較便宜的 C550N。如圖 4.，C550N 係一由紅外線二極體與一光電晶體所構成的反射式光藕合器，當我們將之安裝在車體前下方並供電面向地面時，若地面為一淺色地板，光電晶體就會因紅外線二極體發射的反射光而作用；反之，若地面剛好是黑色電工膠帶時，因黑色不反光，使得光電晶體也不作用。因感測器是橫排在車體前下方，與黑色電工膠帶的路徑垂直，使用愈多顆時，瞬間能偵知路徑變化的含蓋面積也愈大，也愈不容易錯失路徑信號，尤其是車速愈快的時候。

3. 伺服轉向控制原理

當偵知路徑偏向車體一邊時，應即時讓車體轉向，使沿路徑方向修正回來。以前霹靂 1、2 號都是使用控制後驅動輪，使一邊轉(ON)、一邊不轉(OFF)而繞回原路徑，但這樣會因不轉的馬達而損失競速的速度；故若要跑得快又要兼顧轉向，就得讓兩個後輪負責跑，兩個前輪負責轉向，分工合作才行。以遙控玩具用的伺服馬達來轉動含有兩個前輪的轉向機構即可達成此需求，此種伺服馬達是以所謂「比例控制」的信號控制(參見圖 5)，在週期約 20ms 的期間有一寬度約 1.5ms 的脈波，利用脈波的寬度改變(變大或變小)，來比例控制伺服機的馬達向左或向右轉

動一個量，此脈波寬度的改變可用遙控器的搖桿來提供，亦可透過單晶片的程式來操作，使伺服機轉到極左或極右(脈波長約 1.2ms 至 1.8ms)，並帶動轉向機構一起轉動[4]。

4. 傳棒機構原理

不論是霹靂 2 號的「慣性滾動式」傳棒，或霹靂 3 號研發期間捨棄的「A 構型」的「撥動式」傳棒(參見圖 6)，解決問題的思維與機構都自限於前後接力車本身的「領空」，故在「領空」束縛的前題下，傳棒過程常會因兩車前後碰撞的程度不一，彈開的間隙不一，而讓棒子在飛越領空時發生掉落或傳不準、傳不過去等問題；故要徹底、確實的解決問題，就要突破領空的限制，想辦法設計出能完全伸展到被傳者領空的傳棒機構來，這就是「翻跨式」傳棒機構的想法由來。如圖 3.以一配有導舌片的籃子，加上馬達、保險桿開關、到位開關與翻轉電路即成；一旦載著棒子的後車保險桿撞向前車，保險桿開關作用，馬達就會將載有棒子的籃子翻轉向前車，棒子就會沿著籃子的導舌片滾到前車的籃子內，完成傳棒的動作。

5. 印刷電路板製作

霹靂 1 號、2 號的電路都是使用手焊電路，不但耗時、費事，可靠性低，要成功再複製也很難，尤其「大隊接力」一次就要做四台很相同的車子，用手焊真的「很累人」，不是辦法。故發展並採用印刷電路就成為霹靂 3 號要「傑出」不得不然的一個結果。茲將本研究採用的印刷電路製作法主要程序條列如下：

a. 繪製電路板佈線圖--以手繪或電腦繪圖繪出欲製作電路的電路板佈線圖。

b. 製作「光罩」--將佈線圖(參見圖 7)以投影片印出。

c. 曝光—將光罩貼於感光電路板上以一定光源與時間進行曝光。

d. 顯影—將曝光好的電路板置於顯影劑槽中顯影。

e. 蝕刻--將顯影好的電路板置於裝有氯化鐵溶液的蝕刻槽中蝕刻，直至只有目標線路留下為止。

二、電路與軟體控制原理

1. 電路原理

霹靂 3 號的電路是以模組化的方式來設計的，方塊圖如圖 8 所示，包含有麥克風電路、保險桿觸發電路、九感知器電路、霹靂燈電路、主控制電路與傳棒籃翻轉電路。其中第一棒車才有的麥克風電路，可以偵知啟動哨音自動起跑；保險桿觸發電路提供傳棒操作信號；九感知器電路提供車身與路徑的位差訊號，以驅動伺服轉向機構即時修正行進方向；霹靂燈電路提供車隊識別與傳棒觸發延遲訊

號，讓傳棒動作完成後，下一棒接力車才起跑。主控制電路內包含對應感知器數量的 LED 迴路，以便隨時反應感知器的感測狀況，方便檢視與程式發展。傳棒籃翻轉電路接受主控制電路來自前保險桿開關碰撞前車的信號，而驅動馬達翻轉傳棒籃並隨後復原之。

圖 9 為麥克風啟動電路例[5]，未聲控前，電晶體 9013 因基極串接的 R10 電阻太大而截止，至主控制電路的 MIC 信號為 High(VCC)；當有聲音訊號時，交流訊號由 A 點經電容 C4 加入 B 點而導通電晶體，MIC 信號即轉變為 Low。

2. 主程式與自動收斂循跡概念

根據上述的電路原理，我們以 EM78447 單晶片所用的精簡指令集組合語言[6]，依圖 10 的流程圖設計主程式，為了方便說明與縮簡篇幅，圖 10 的 Sensor 只呈現七個，但九個的原理是相同的。其中關鍵的「自動收斂」程式理念有二：

a.判斷那個 Sensor 在黑色電工膠帶路徑上，是由中央 Sensor 開始，再左一、右一，左二、右二依序往旁邊下去，可以儘早在路徑剛開始偏向時就修正回來。

b.由中央 Sensor 開始，若發現路徑小偏，就命令伺服轉向馬達小修正，若發現路徑大偏，就命令伺服轉向馬達大修正；如此當發現大偏時(如轉 90 度圓角)，程式與車體的修正反應會自然由大到小，造成「自動收斂」的循跡效果(如圖 11)。

3. 霹靂燈延遲計時器

由於翻跨式傳棒機構整個完成傳棒的時間有一定，在這段期間，下一棒車還不能起跑，必須等足時間後再趕快自動起跑；但時間的等待若沒有徵候與計量單位，在程式發展階段難以調的適當，因設定太長太短都不好。此時，原只做為識別標誌的霹靂燈剛好派上用場，只要經實驗確定，設定好霹靂燈亮幾個燈後才起跑即可解決問題，此即所謂的「霹靂燈延遲計時器」。

參、研製過程

由於競賽要求要快又要循跡性好，就必需發展循跡感測器更多的機種才行。我們之前已發展到五顆感測器，對七顆或更多顆的循跡邏輯與控制並沒有經驗與把握，對傳棒機構的構想也是一樣無特定成熟的看法，剛開始遂以七顆感測器與喇叭型「撥動式」隔空傳棒的方式而做出「A 構型」的霹靂 3 號(參見圖 6)。由於「A 構型」驗證了我們自創的 7 Sensor 自動收斂循跡程式非常成功，但傳棒機構仍不理想，遂嘗試將 7 Sensor 擴展為 9 Sensor，同時思考「跨空」傳棒的方式。經過整個團隊共同不懈的努力，並清空一間教室搭建出模擬的比賽場地來不斷驗證與修改，最後終於製作出定稿版的霹靂 3 號(參見圖 12 與表 1)，並奪得錦標。

肆、性能與討論

由於霹靂 3 號的性能出乎意料的好，在比賽前的場地試跑時，即被雲林科大的工作人員發現，而獲邀參加開幕的示範賽。隨後也一如預期不斷晉級到決賽，若以循跡效果與速度而言，霹靂 3 號是決賽隊伍中最快與最好的，常常我們的最後一棒抵達終點時，第二名的隊伍仍落後有 3 到 10m；眼看就能拿到最好的成績，卻在決賽的關鍵時刻發生在傳棒區兩車僵住不跑的情形，而只能拿到第五名。究其原因，是因為橫置式的前後保險桿機械微動開關，因不斷比賽撞擊使得擋片與開關鐵片變型，作動失誤所致；此屬「機件疲勞」與「鬆動」的問題，在一直以來的試驗與比賽中均未發生過，卻在最緊要的一刻發生，著實令人感慨與扼腕。

表 1 是霹靂 3 號與霹靂 2 號等同級品的比較，可看出霹靂 3 號的優越性能與不同的創意。

伍、結論

本研究研製的「霹靂 3 號」可傳遞載物快速自走車，以獨創的九感測器、伺服轉向機構、「自動收斂循跡」軟體與「翻跨式」傳棒機構等理論與做法，配合「霹靂燈」延遲計時器、印刷電路板與 600rpm 的馬達驅動輪等，達到在速度、循跡性與傳棒可靠性上都有較同級製品更好的表現；相關技術與理念值得同領域的研究者或無人自走車機器人的研發者借鏡與參考，也可以繼續研發後續機種，推廣應用於機器人車、工廠自動化載具等產業上。

誌 謝

本研究承蒙南亞技術學院民國 90 年核備之改進教學計畫經費補助，謹此誌謝！

陸、參考文獻

1. 黃靖雄、賴瑞海,“現代汽車新科技裝置”, 全華圖書,94 年 9 月。
2. 廖威量、楊濱華,“「霹靂 1 號」自走車的研製”, 南亞學報, 第 20 期, pp.45-61。
3. 雲林科大電子系,“2002 義隆盃單晶片微控制器應用大賽暨人工智慧大賽大會手冊及成績報告”, 2002 年 3 月。
4. 袁杰，“無線電通訊技術”,全華科技圖書(股)公司，台北(91 年 5 月)。
5. 謝澄漢,“8051 單晶片原理與實習”,宏友圖書股份有限公司, 民國 89 年 9 月。
6. 鄧錦城,“EM78447 入門與實作”, 宏友圖書股份有限公司, 民國 88 年 1 月。

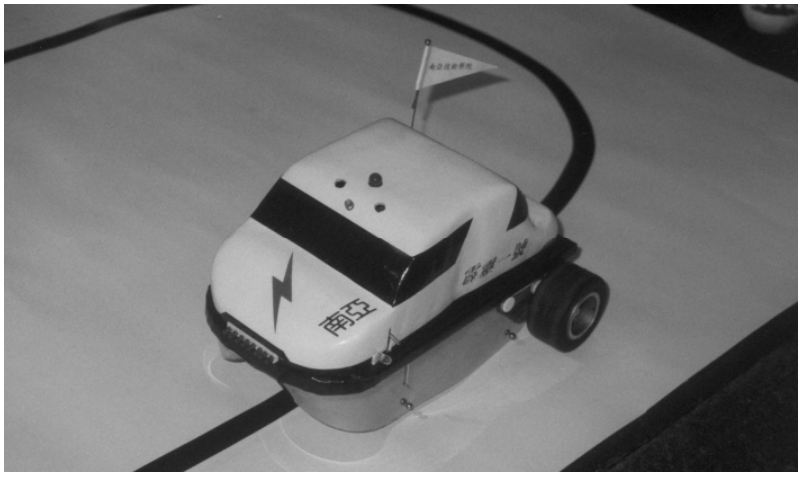

圖 1. 「霹靂 1 號」自走車

圖 2. 「霹靂 2 號」自走車

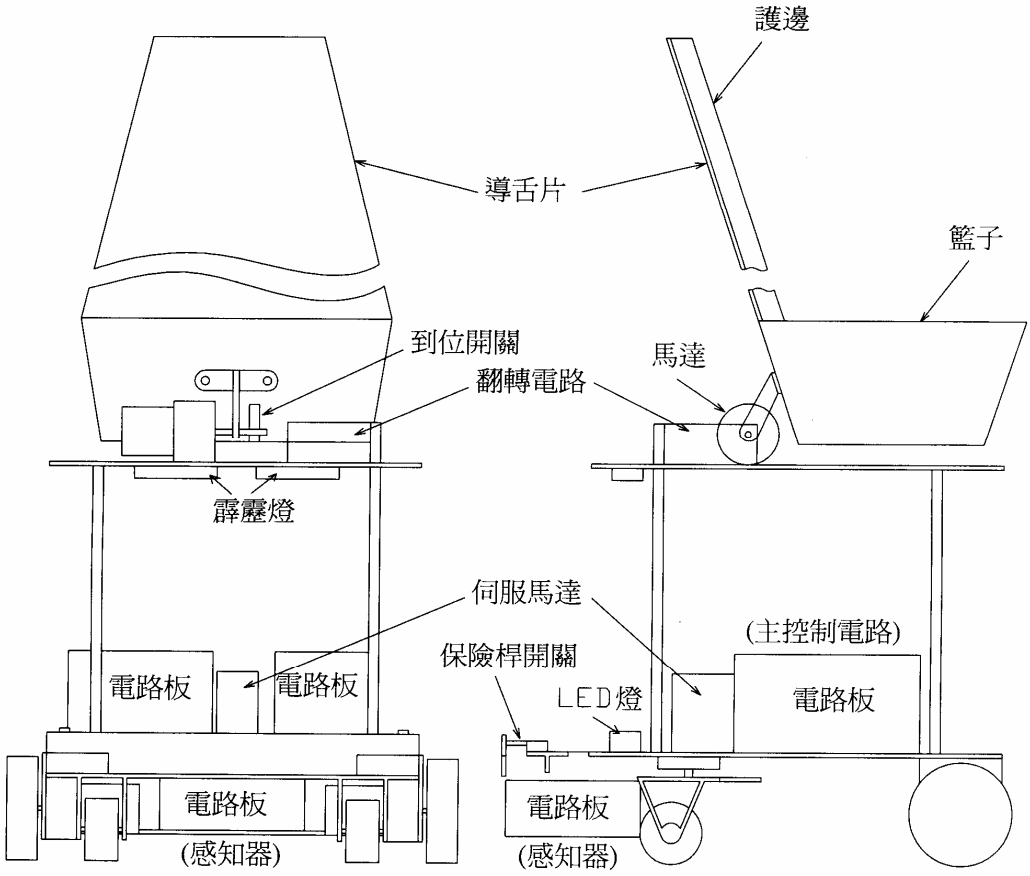

圖 3. 霹靂 3 號的正視與側視結構說明圖

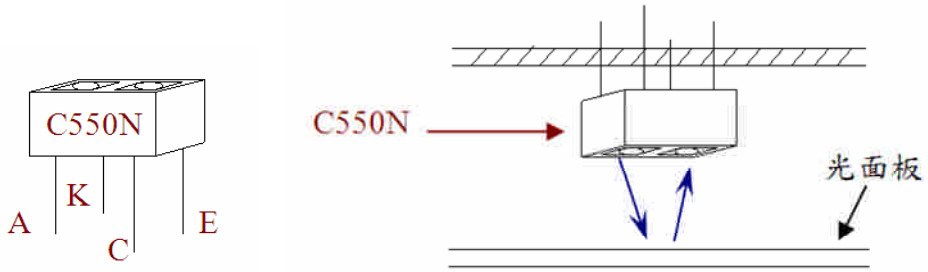

圖 4. C550N 外觀與原理

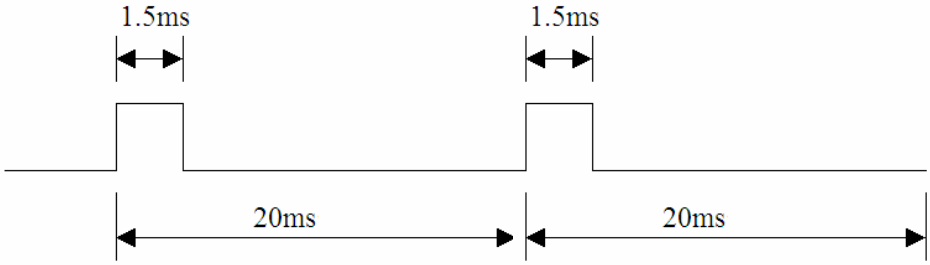

圖 5. 「比例控制」的控制脈波信號

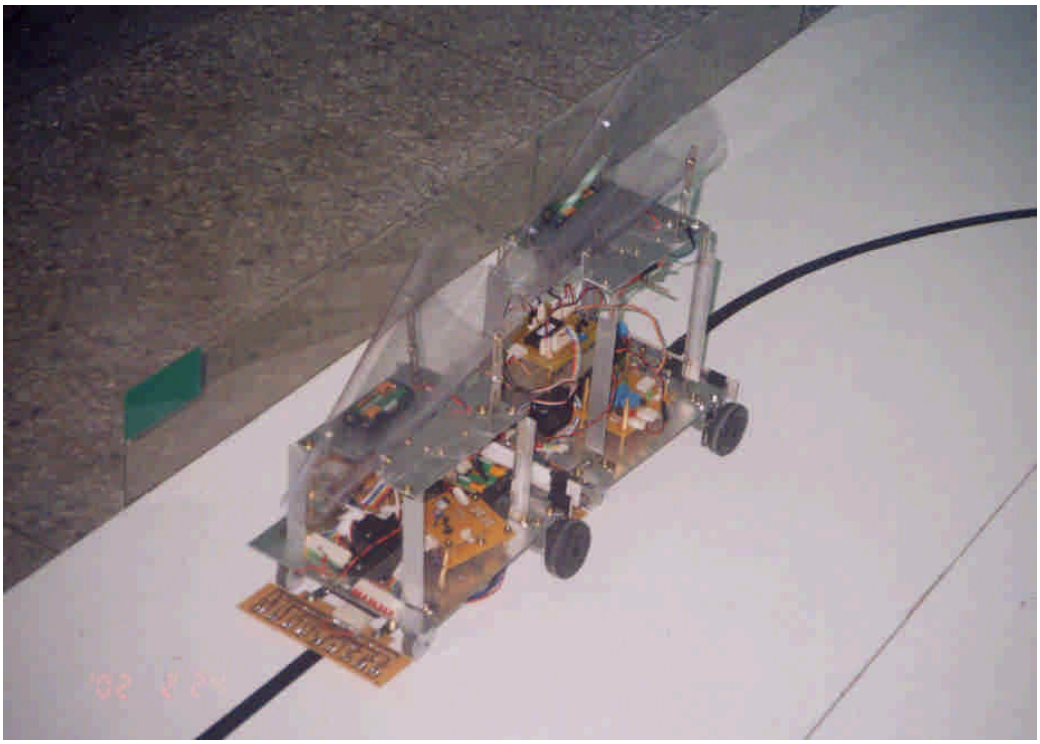

圖 6. 霹靂 3 號「A 構型」的「喇叭型撥桿式機構」的傳棒畫面

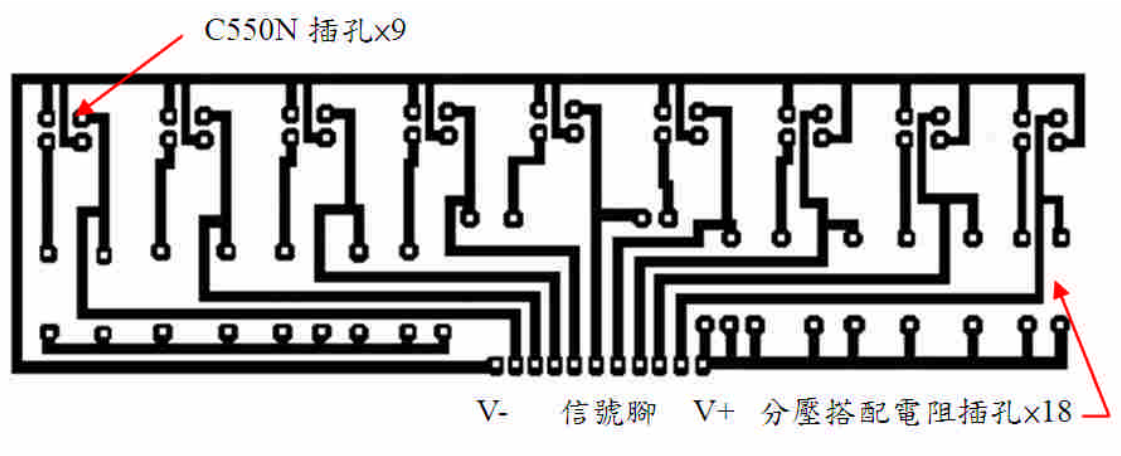

圖 7. 自製印刷電路板佈線圖例—9 Sensor 板

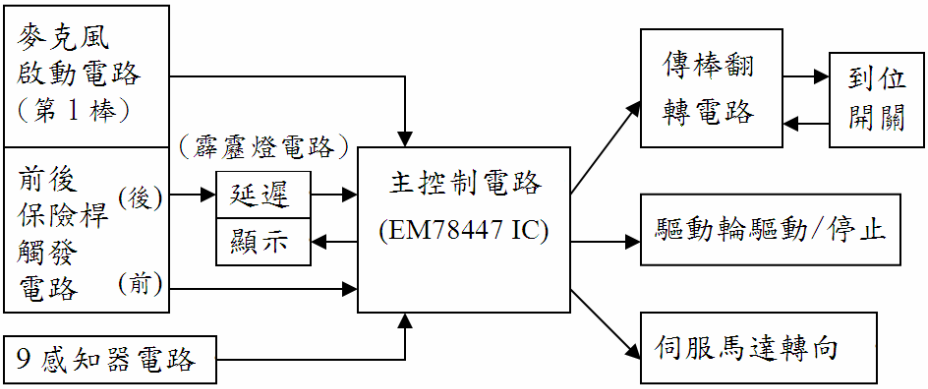

圖 8. 霹靂 3 號電路控制方塊圖

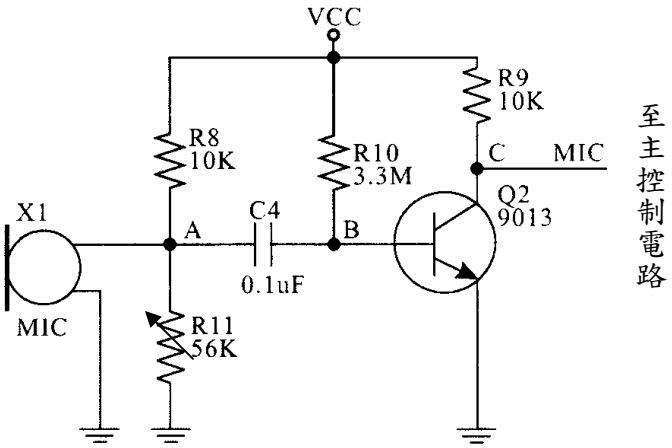

圖 9. 麥克風啟動電路例[5]

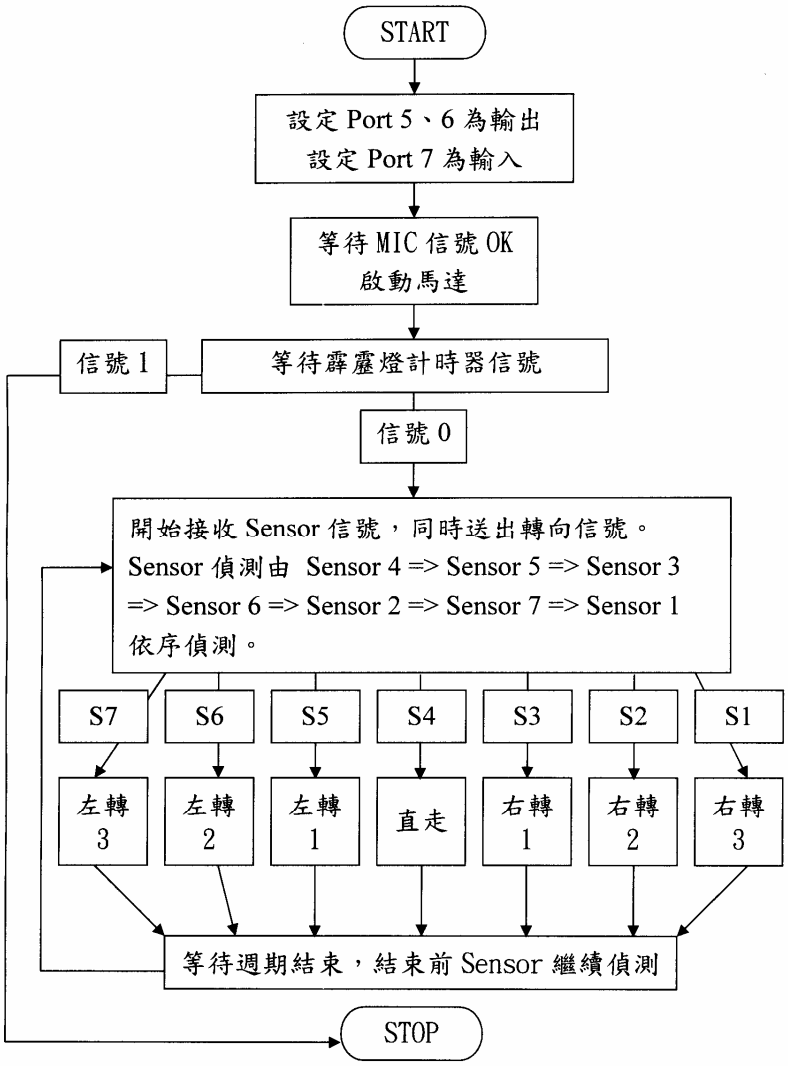

圖 10. 霹靂 3 號主程式流程圖

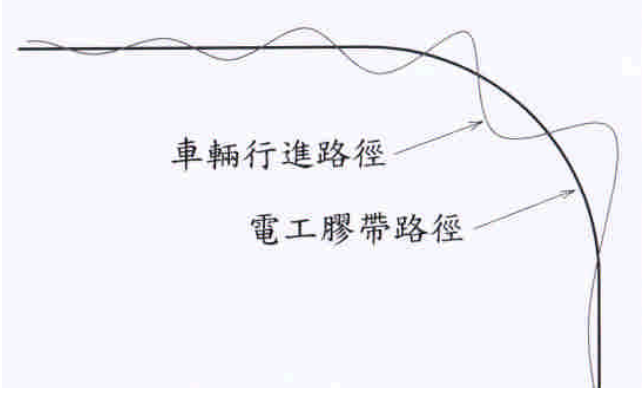

圖 11. 「自動收斂」循跡概念圖

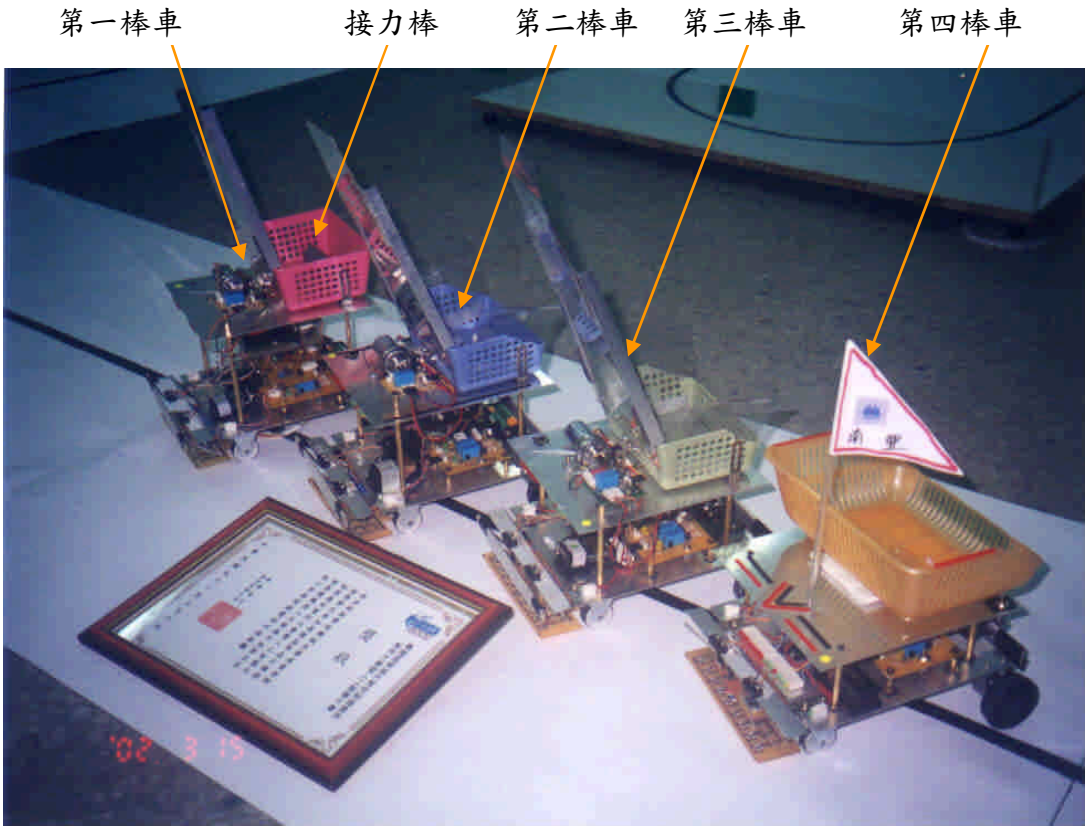

圖 12. 放在練習軌道上的霹靂 3 號車隊與得獎的獎狀

表 1. 霹靂 3 號之成效總結與性能比較表

指導老師：廖威量　　製作學生：張華均、呂振良、詹前相、黃智宏、蔡榮昌 成效：榮獲 2002 年義隆盃全國單晶片專題製作競賽「大隊接力」組第五名			
比較項目	霹靂 2 號(2001 年)	霹靂 3 號(2002 年)	同級賽車(2002 年)
輪速	200rpm	600rpm	400rpm
感測器數	5 Sensor	9 Sensor	7 Sensor
傳棒機構	被動慣性滾動式	主動翻跨傾倒式	主被動撥、滾、滑等
循跡控制	左右馬達 on/off	伺服轉向/自動收斂	伺服轉向或馬達 on/off
電路做法	手焊式	印刷電路	印刷電路

附錄. 義隆盃「機器人大隊接力比賽」競賽場地與規則

1. 機器人(自走車)的長寬都要小於 25 公分，但高度不限，重量不得超過 5 公斤。
2. 機器人必須能聽哨音起動(一般體育競賽的哨子)，且能沿黑色電工膠帶奔馳。
3. 機器人必須為獨立型，不得以有線或無線電控制，且不能用燃料作能源。
4. 機器人必須以義隆電子股份有限公司所生產的單晶片為主控元件。

而比賽場地如圖 13 所示，相關的規定如下：

1. 每條跑道寬 55 公分，中央貼有寬 2 公分的黑色電工膠帶，跑道間有高度 10 公分的隔板區隔為四個跑道，跑道中有起跑線、接棒線及終點線，均由黑色電工膠帶標示，並以接棒線前後 50 公分為接棒區。
2. 跑道不具坡度，全長約 40m，迴轉半徑最小 20 公分。
3. 接力棒為 3/4”PVC 水管，內徑 20mm，外徑 26mm，長度 10 公分。
4. 每隊限以 4 台機器人，最多 4 名選手參加，其他接棒、傳棒、不得掉棒等規定與一般田徑接力比賽同。

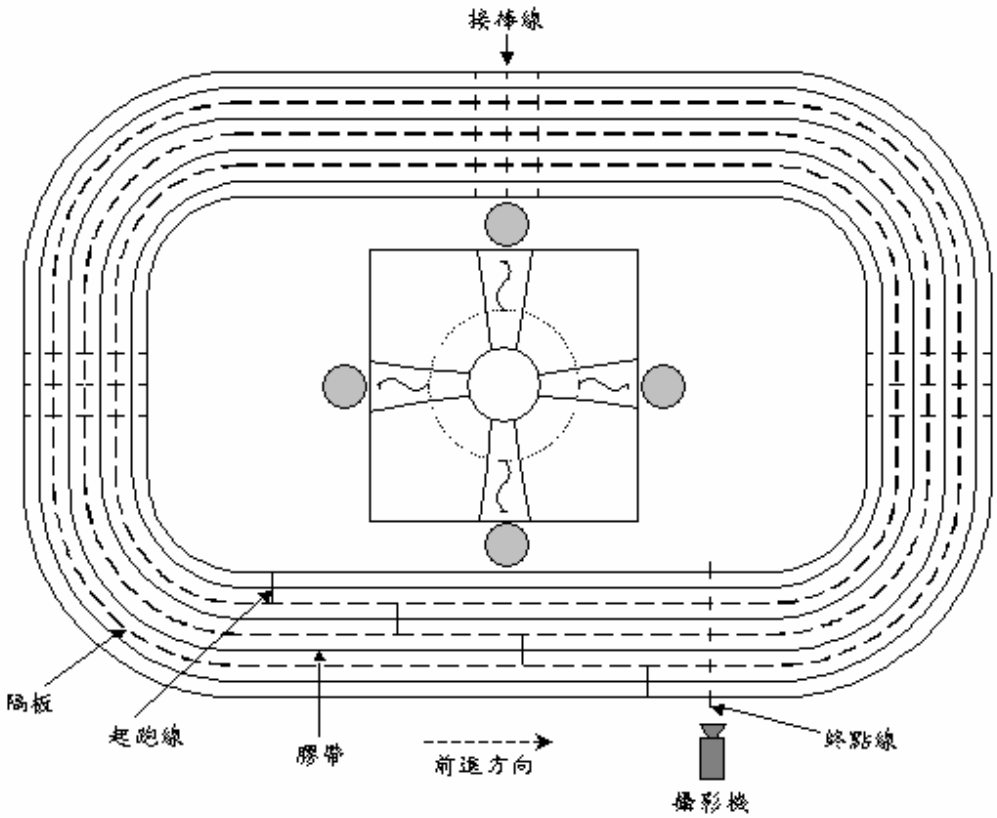

圖 13. 機器人大隊接力比賽場地圖