

棋盤式自走車影像避障之路徑規劃

李廣齊¹ 莊閔智¹ 陳建宏¹ 黃建治¹ 黃尊賢¹ 蔡柏廷²

¹國立虎尾科技大學自動化工程系

²國立虎尾科技大學機械與機電工程研究所

摘 要

本文使用影像系統辨識棋盤式路徑上的障礙物，並經由路徑規劃法則，使自走車得以動態地依環境狀況，而以最佳路徑達到目標點。此系統於自走車驅動方面，使用運動控制卡搭配交流伺服馬達，以使自走車能夠運動。於無線傳輸方面，則利用藍芽傳輸，使自走車達到無線控制的目的，也提高系統通訊的穩定性，以避免被干擾。自走車使用 CCD 攝影機擷取環境影像，而經由影像處理可以偵測出外界環境的資訊，因此得以更準確的對環境做記錄，並規劃出最短路徑，達到導航的功能。

關鍵字：自走車、機器視覺、路徑規劃、避障

壹、前言

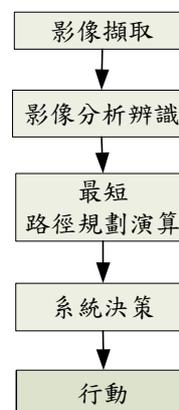
近年來，隨著科技的進步與工業技術的發展，機械人的研究與發展有相當大的進展，許多的產業界皆以自動化為導向，隨著產業自動化與生活品質提昇，自走車的研究領域也逐漸地擴張。

徐[1]所製作之導盲機器人將機器視覺應用到生活中，使人類的生活變得更為方便並且可以解決現今導盲犬不足之問題。傳統自走車必須沿著規劃好的路線貼上反光膠帶或是感應管線，使自走車依線行走，但是使用這種方法卻有許多的缺點，像是地面要保持乾淨以及軌道上不能有障礙物出現，否則會導致無法正常運作而影響導航結果或是無法預期的問題。楊[2]其製作之機器人則是利用超音波來做為主要的感測器用來偵測障礙物，並將訊息傳回控制器中，由程式來判斷路徑障礙，直到目前的障礙物完全避開為止，並建構出週遭的地圖，使智慧型自走車可以依此內建地圖為依據來導航，雖然比傳統方法在路徑規劃上更有彈性，但是還是有不足的地方，像在量測距離的限制、需要能反射的物體還有物體反射的角度問題、以及誤差率較高無法得到外界의完整資訊等問題。于[3]利用焦電式紅外線感測器來感應外界的溫度環境，追人自走車的動作原理是先由焦電型紅外線感測器感測到前方溫度的變化，經由單晶片 8051 程式做出判斷後，驅動步進馬達前往正確的方向，缺點是外界的溫度變化太大時，不一定能獲得正確的人體溫度。傅[4]使用雙 CCD 連續擷取外界影像，將影像過濾後，框選出目標物用以追蹤目標物，但在行走並無路徑規劃之功能，行走容易有意外發生。且許[5]使用直流馬達來驅動自走車，並以微處理器(89C52)為核心，透過 PWM 信號來控制以功率電晶體所構成之 H 電橋，來達到控制馬達之目的，但直流馬達在低速運轉上會不平順，且造成機械的損耗，使馬達壽命減少。鄧[6]採用 RF 模組來當作自走車通訊，其利用 RF 通訊將控制指令和輸出脈波訊號給馬達，以達到自走車前進、後退和左右轉。但因 RF 通訊傳輸距離不遠，且較容易受到外界頻率的干擾，若有干擾時資料不易接收完整，而影響到自走

車的行走的路徑。顧[7]使用單晶片(PIC16F877)當控制單元，並利用其來對馬達進行控制使自走車行走，但因單晶片處理速度過慢，所以無法對影像進行處理，而影響到自走車行走。在人機控制介面廖[8]，可以對自走車作簡單的前進、後退、轉彎與速度的測試。藉由上述的問題所在，所以我們在感測器上選用了以影像處理為主要的感應工具，因為它改良楊[2]、于[3]所產生的問題，使用機器視覺可避免反光膠帶被遮蔽之缺點且不需事先規劃行走路徑，接收到較多的外界資訊，也比較不受到環境的限制且有較大的發展空間，且傅[4]在行走時並無路徑規劃，所以我們在路徑規劃方面加入了最短路徑之功能。馬達方面採用交流馬達，可以改善許[5]使用直流馬達在低速運轉時所產生的不平順。無線通訊方面則採用了藍芽通訊[9]，降低外界頻率的干擾，並使接受品質更為完善，改善鄧[6]使用 RF 通訊的問題。而本文改用電腦來當控制單元，其處理的速度遠比顧[7]使用單晶片來的快許多，亦節省了處理時間。

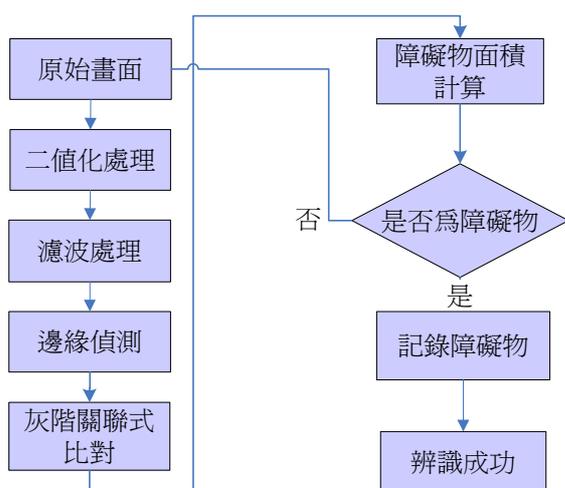
貳、棋盤式自走車之影像視覺系統

本文製作之棋盤式自走車影像視覺系統架構圖如圖一所示。其中我們利用 CCD 擷取影像，進而判斷障礙物，並對地圖建模，以作出最佳化路徑之規劃，經由最短路徑演算法計算權重後，以規劃出一條由出發點至終點之最短距離路徑，並控制自走車依路徑運動。



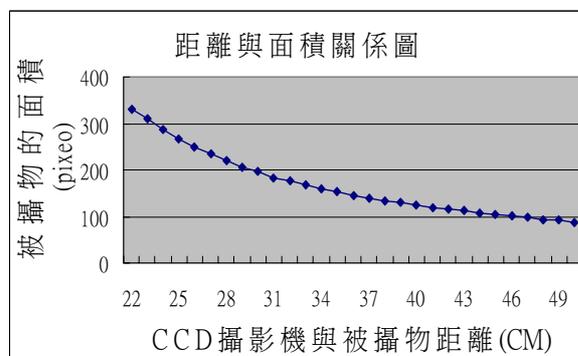
圖一、棋盤式自走車影像視覺系統架構圖

影像處理我們係利用 MIL(Matrox Image Library) 函式庫來處理環境之影像，流程如圖二所示。其偵測環境經過二值化影像處理、濾波、邊緣偵測等運算，可找出障礙物之外部輪廓，並對該輪廓原始圖進行灰階關聯式比對，以利用灰階色彩的分佈及形狀相似度來確定是否為障礙物，並加以計算其面積，利用面積與大小的關係作遞迴的查表運算，以求出障礙物距離。



圖二、障礙物影像辨識流程

本文之障礙物測距方法係利用障礙物面積與鏡頭至障礙物距離的相對關係所求出，其關係如圖三所示。當鏡頭與障礙物距離越接近時，影像上之障礙物面積越大，本文利用此關係式找出障礙物與自走車之距離。



圖三、障礙物距離與障礙物面積之關係圖

當自走車影像系統對環境掃瞄時，我們在主控電腦中建立 6*5 的虛擬地圖，並利用影像找出障礙物以對地圖環境建模，其虛擬地圖如圖四所示。其中我們建立一個同等地圖大小之矩陣，以路徑之交界點視為一個節點，並設定每一個節點之記憶體位置；由於我們要對障礙物位置做標記，需要利用障礙物與機器視覺範圍之間角度，以及自走車旋轉角度，障礙物之面積關係，如圖四假設當自走車轉一固定的角度 θx ，障礙物與機器視覺中心角度為 $\theta 1$ ，障礙物與 0° 之間的角度為 $\theta 2$ ，自走車與障礙物之間距離為 D ，自走車旋轉角度減掉障礙物與機器視覺中心角度可以得到障礙物與 0° 之間角度，自走車與障礙物之距離可以由影像處理求之，將 CCD 視覺範圍以畫面中心為基準可以算出它跟影像中心的相對角度 $\theta 2$ ，利用下列公式求得 X1 及 Y1 可求得障礙物之 (X1, Y1) 座標。

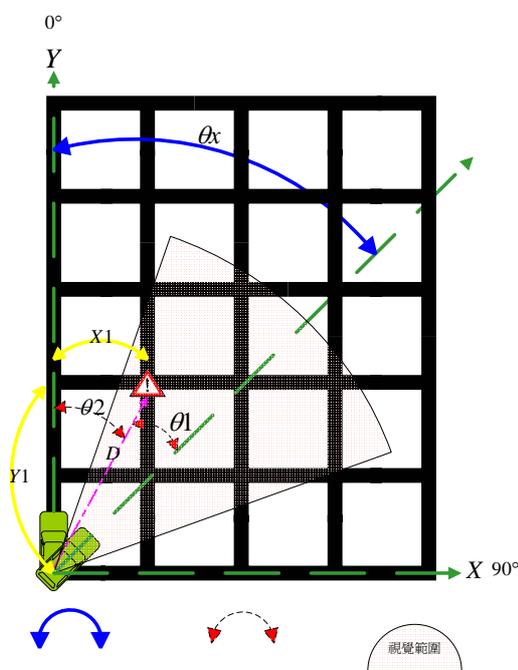
$$\theta 2 = \theta x - \theta 1$$

$$X1 = D \sin \theta 2$$

$$Y1 = D \cos \theta 2$$

障礙物座標為 (X1, Y1)

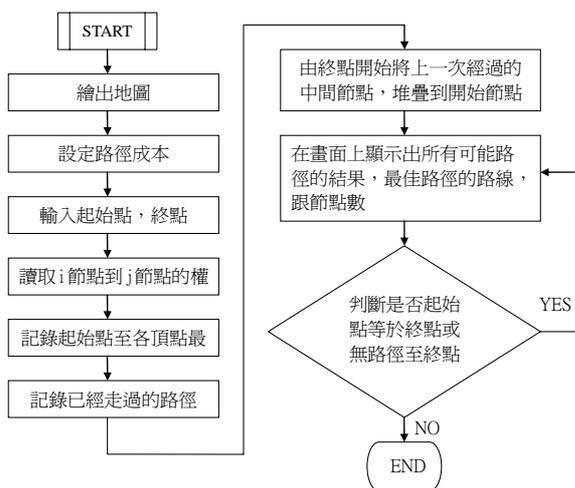
我們可以依此方法所對範圍內所搜尋到的障礙物，將障礙物標記座標建立初始地圖。



圖四、棋盤式自走車之虛擬地圖

參、最佳路徑規劃法則

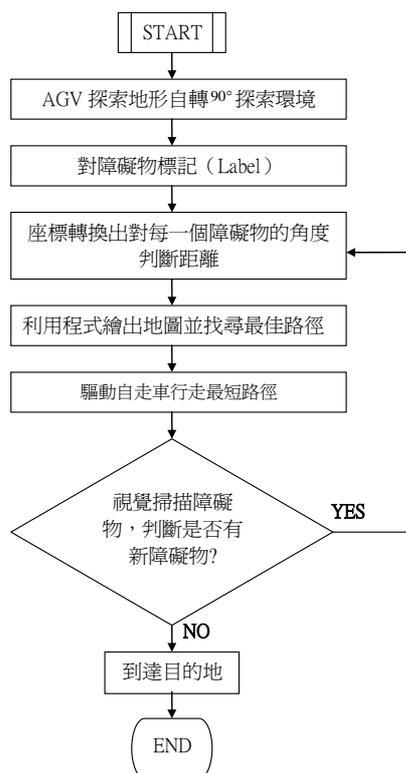
本文使用之最佳路徑演算法是在圖形的每一邊上加上比重，此比重為距離，利用代克思托演算法 (Dijkstra's algorithm)求得，其流程圖如圖五所示，其在主控電腦中建立虛擬地圖檔，讀取地圖檔的節點數，而地圖檔的副檔名為 txt，是一般的文件檔，首先輸入各節點之間的路權值，無障礙物為 1，如遇障礙物路權值則為 100，權重可用來按路況調整。在程式陣列方面，需要使用四個陣列來存放資料及運算其宣告形式為 long int，陣列大小為 100。在使用陣列之前，須先將各陣列初始化，以讓程式方便接下來的運算，接著將地圖檔的資料寫入陣列，並且輸入起始點與最後之目標終點，路徑順序之儲存則需要使用堆疊功能來撰寫，由終點開始將上一次經過的中間節點推入堆疊至到起始節點，使用迴圈累加起始點至終點的所有可能路徑，將路權在將其結果存入堆疊，紀錄起始頂點至各項頂點之距離，等待所有可能路徑都計算完畢後，再從堆疊內讀取所有路徑的路權值，判斷最小路權值，則為最佳路徑。



圖五、最佳路徑演算流程

機器視覺系統流程如圖六所示，當自走車系統開始執行先對外界環境做障礙物搜索，自走車在起點旋轉 0 度、30 度、60 度、90 度的畫面擷取下來

由機器視覺系統幫我們判斷是否有障礙物，並且算出障礙物與自走車之間的距離、角度與座標值，將障礙物作紀錄於地圖檔中，並且透過最佳路徑演算法求得最短路線，系統接收到最佳路徑後，驅動自走車行走最佳路徑，並在行走時路徑時視覺掃描是否有新障礙物，假設新障礙物出現，將新障礙物座標轉換加入地圖內，更新地圖最做短路徑規劃，直到到達目的地為止。



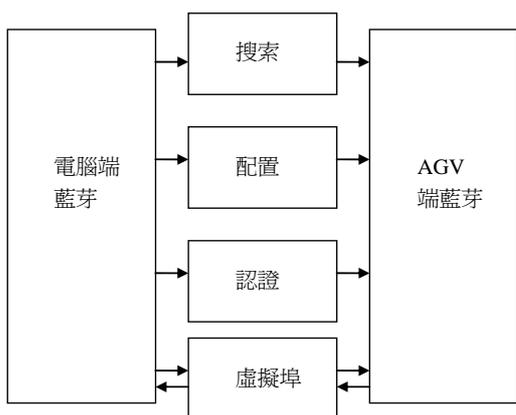
圖六、機器視覺流程

肆、棋盤式自走車之藍芽通訊系統

本文製作之棋盤式自走車之藍芽通訊系統，其使用於主控電腦控制 PC Based 自走車，可用於群組式棋盤自走車之控制。本文使用藍芽裝置是使用 Class 1,Bluetooth V1.2 的 USB 藍芽傳輸器。藍芽連線流程，如圖七所示。其由主控端進行搜索、配對、密碼認證等步驟，使產生一個虛擬埠，最後再經由虛擬埠來達到遠端控制自走車之目的。

本文利用 Microsoft Windows XP 內建之連線程式建立連線。系統連線裝置管理員之圖示如圖八所

示，其未連線時圖示為白色符號，當圖示變為綠色時代表連線成功。因每一個藍芽裝置皆具有其連線位置，因此在主控電腦端上必須進行藍芽模組的搜尋，如圖九示。其中當主控電腦搜尋裝置的同時，自走車受控端之藍芽裝置應先設定允許其他藍芽裝置搜索，如圖十所示。當裝置搜索到自走車端時，必需進行裝置配對，其如圖十一所示。為了保護裝置不被其他藍芽模組連線，並可由裝置配對中輸入個人識別碼，如圖十二所示，其可避免被未知的裝置連線，保持系統的穩定性。當配對成功後即代表主控電腦與自走車連線完成，並會在主控電腦端及自走車受控端產生一個虛擬的序列埠，如圖十三所示。由此虛擬的序列埠我們即可利用其進行資料傳輸，達到自走車的控制。



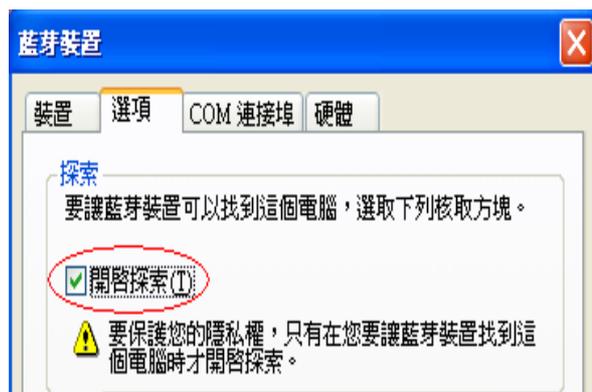
圖七、棋盤式自走車之藍芽連線流程



圖八、藍芽圖示



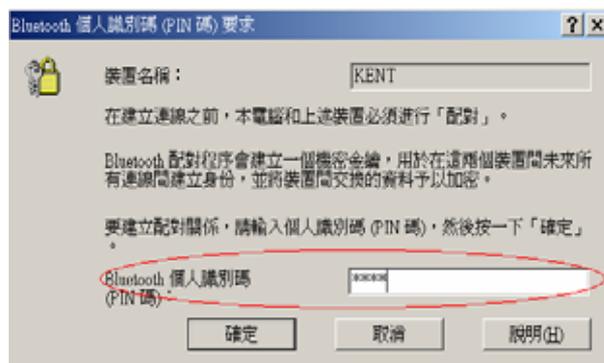
圖九、主控端搜索藍芽方法



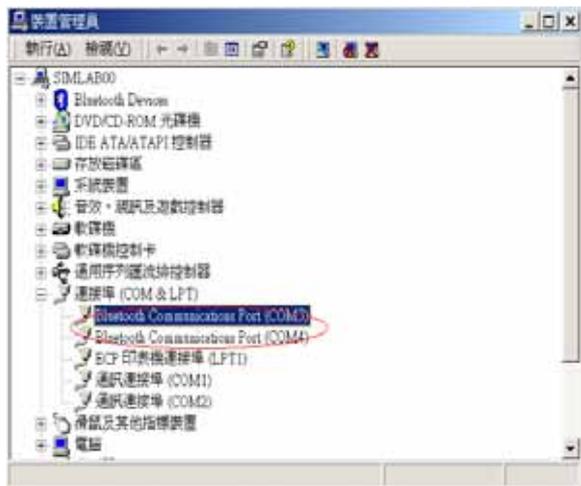
圖十、自走車端藍芽設定方法



圖十一、自走車裝置配對方法



圖十二、藍芽裝置個人識別碼



圖十三、虛擬埠產生示意圖

本文設計之自走車無線測試控制程式，如圖十四所示。其可遠端控制自走車，使自走車能前進、右轉、左轉、後退、煞車、減速煞車並可輸入速度等指令。其中通訊係利用 Microsoft Windows XP 藍芽裝置管理員產生的虛擬埠，並利用傳統 RS232 的控制埠方法來控制 USB 藍芽通訊裝置，因此其控制方法即與 RS232 控制方法一致，不需額外製作控制藍芽模組的控制晶片。

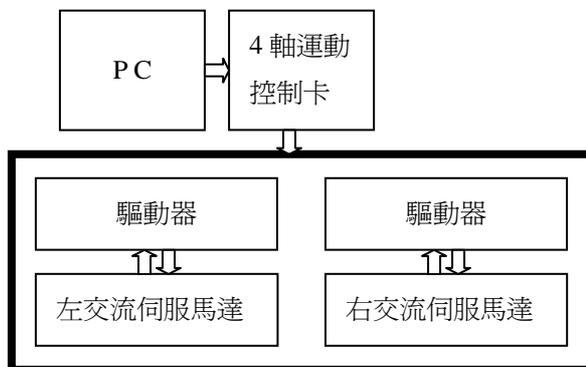


圖十四、遠端控制自走車測試人機介面

伍、棋盤式自走車之硬體系統

本文製作之棋盤式自走車之硬體系統為一台以 PC 為基礎所控制之自走車，車體架構如圖十五，實際硬體如圖十六、圖十七所示。其中包含了 P4 3.2G 之 CPU 並加上研華公司生產之 4 軸運動控制卡

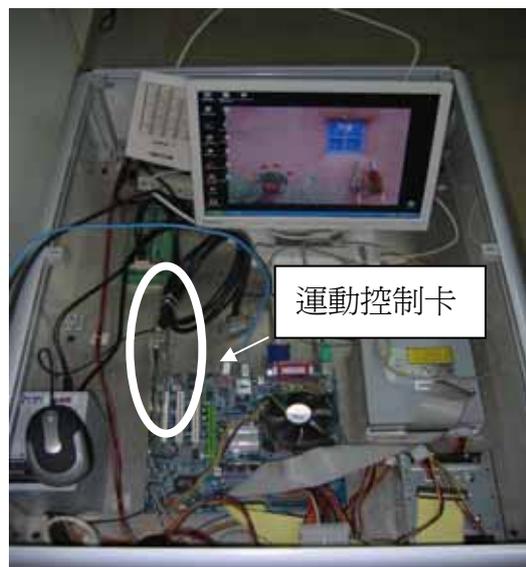
及交流伺服馬達與其驅動器。交流馬達具有運轉連續、速度平穩及扭力較強的特性，並可由運動控制卡控制速度、加速度及急跳度，使馬達可達到輸出為三次方之平滑曲線的速度控制。



圖十五、棋盤式自走車系統架構



圖十六、自走車之硬體裝置(動力輸出端)

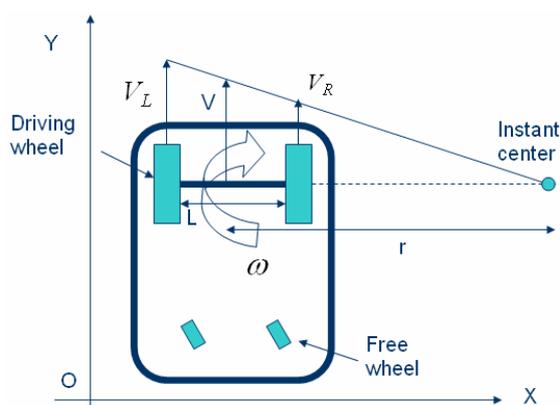


圖十七、自走車之控制端硬體架構

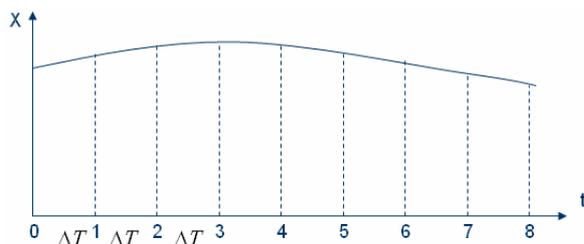
本文設計之自走車可以直接給與角速度及速度命令，即可控制其轉向，如圖十八所示。其中假設自走車之右輪速度為 V_R ，左輪速度為 V_L ，直線速度為 v ，輪距為 L ，角速度為 ω ，則自走車之左、右輪速度可由以下之方程式算出。

$$V_R = \frac{2V + L\omega}{2} \quad (1)$$

$$V_L = \frac{2V - L\omega}{2} \quad (2)$$



圖十八、直覺式控制轉向之運動分析



圖十九、速度控制平滑曲線

自走車之速度控制，本文使用平滑軌跡規劃速度軌跡，其採用 3 階曲線近似法控制，如圖十九所示，其中只要給任意 4 個座標點，假設 AGV 在座標點之間的移動時間是固定的，便能夠求出近似的 3 階曲線方程式，將曲線微分後便能求出在座標點上的速度及加速度。時間(t)、位置(x)、速度(v)、加速度(A)的方程式如下：

$$t = K \times \Delta \quad (3)$$

$$x = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad (4)$$

$$v = \dot{x} = a_1 + 2a_2 t + 3a_3 t^2 \quad (5)$$

$$A = \ddot{x} = 2a_2 + 6a_3 t \quad (6)$$

將 t 帶入後可得下列方程式。

$$x_{k+0} = a_0 + a_1(k+0)\Delta T + a_2(k+0)^2\Delta T^2 + a_3(k+0)^3\Delta T^3 \quad (7)$$

$$x_{k+1} = a_0 + a_1(k+1)\Delta T + a_2(k+1)^2\Delta T^2 + a_3(k+1)^3\Delta T^3 \quad (8)$$

$$x_{k+2} = a_0 + a_1(k+2)\Delta T + a_2(k+2)^2\Delta T^2 + a_3(k+2)^3\Delta T^3 \quad (9)$$

$$x_{k+3} = a_0 + a_1(k+3)\Delta T + a_2(k+3)^2\Delta T^2 + a_3(k+3)^3\Delta T^3 \quad (10)$$

經由高斯消去後可得 a_0, a_1, a_2, a_3 之解

$$a_0 = \frac{(-2k^3 - 6k^2 - 4k)}{12} x_{k+3} + \frac{(6k^3 + 24k^2 + 18k)}{12} x_{k+2} + \frac{(-6k^3 - 30k^2 - 36k)}{12} x_{k+1} + \frac{(2k^3 + 12k^2 + 22k + 12)}{12} x_k \quad (11)$$

$$a_1 = \frac{(6k^2 + 12k + 4)}{12\Delta T} x_{k+3} + \frac{(-18k^2 - 48k - 18)}{12\Delta T} x_{k+2} + \frac{(18k^2 + 60k + 36)}{12\Delta T} x_{k+1} + \frac{(-6k^2 - 24k - 22)}{12\Delta T} x_k \quad (12)$$

$$a_2 = \frac{(-6k - 6)}{12\Delta T^2} x_{k+3} + \frac{(18k + 24)}{12\Delta T^2} x_{k+2} + \frac{(-18k - 30)}{12\Delta T^2} x_{k+1} + \frac{(6k + 12)}{12\Delta T^2} x_k \quad (13)$$

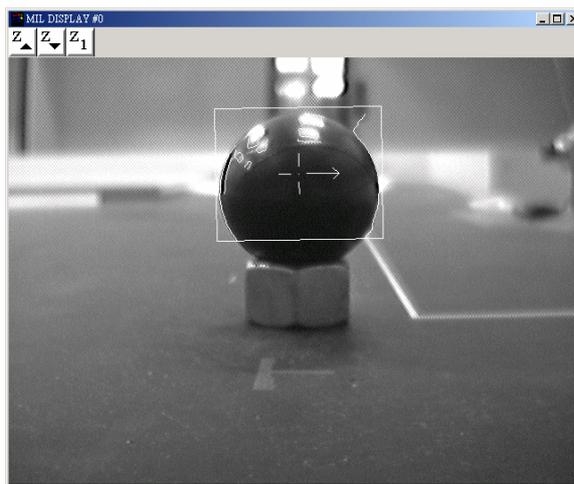
$$a_3 = \frac{x_{k+3} - 3x_{k+2} + 3x_{k+1} - x_k}{6\Delta T^3} \quad (14)$$

由(11)~(14)式可以產生速度曲線規劃之四點，設定欲到達之位置即可得到近似的三階曲線方程式，微分後便能得到通過第一點時之速度及加速度，將其帶入該點之後四點座標便能求出通過第二點時之速度及加速度，由此便能得到通過所有點時的速度及加速度。計算後即能用在一維運動系統，因此能在直線運動得到良好的速度規劃曲線，若自走車將進行二維平面運動時，則必須分別要對 X 軸及 Y 軸的座標運算即可達到。

陸、模擬與實驗

本文在自走車的通訊方面上，採用了傳輸性較佳的藍芽通訊系統，比起 RF 通訊系統較不會受到外界因子的干擾。而本文將藍芽通訊系統與自走車進行結合，使其自走車系統具有遠端控制的功能。當自走車在行走時，因前面的輪子為自由輪，可以任意轉動，當自走車在轉彎或改變行進之角度時前面的自由輪會造成無法預期的轉動，所以會造成自走車之誤差。

影像與路徑規劃方面，可經由影像處理找出障礙物，如圖二十所示。可得到中心座標(X、Y location)、旋轉角度(rotation)、幾何相似度(邊緣吻合程度)、以及邊緣相等性(百分比)等，如表一。先將障礙物放置於距離 14cm 處，經由程式辨別演算後，求得此障礙物的中心座標(X、Y location)、Score，而 Score 可由程式上設定，此次實驗設定為 85%，且判斷出距離為 15cm，誤差為 1cm，經由這些數據，即可辨別障礙物的方向與位子，再執行最短路徑程式，計算最佳路徑，將最短路徑之結果經系統演算並控制自走車依路徑運動。但若障礙物離 CCD 的焦距越遠，則畫面會越模糊，失去原有的準確度，所以程式撰寫只判斷到 30cm 的距離，若要改善此問題的話，則須選用會連續對焦的 CCD，更可提高其精確度。



圖二十、障礙物搜尋

表一、測量結果

距離	X Position	Y Position	Score	實際距離
15cm	304.63	138.74	85.67%	14cm
20cm	323.10	129.62	88.85%	20cm
25cm	327.39	125.25	93.78%	26cm
30cm	331.63	121.91	96.75%	32cm

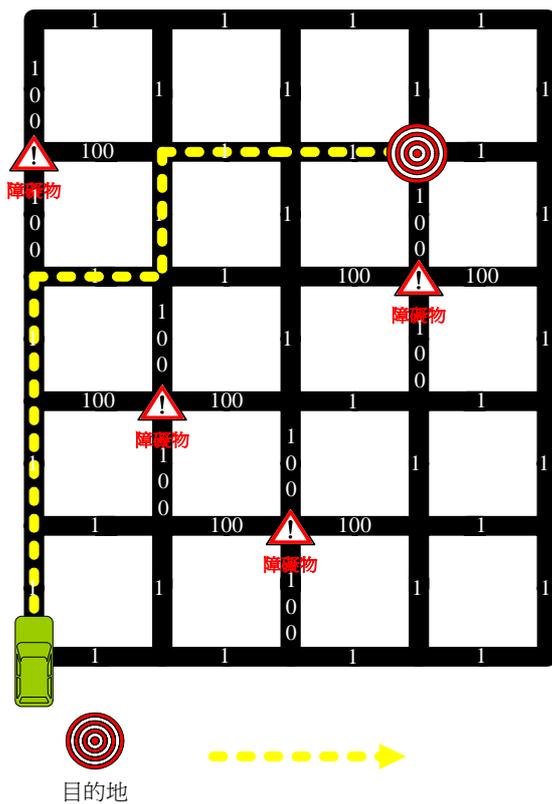
圖二十一為實際的 6*5 棋盤，無障礙物之路權值為 1，如遇障礙物其路權值則為 100，自走車的出發位置設於(0,0)，有四個障礙物在棋盤座標上，分別位於(2,1)、(1,2)、(3,3)、(0,4)，目的地為(3,4)，設定各個節點的路權值，再經由代克思托演算法(Dijkstra's algorithm)後，其權值和為 7，為最佳路徑，如圖二十二所示，虛線路徑即路徑規劃程式演算之結果，數字則為各個路徑的路權值，有障礙物為 100，無障礙物為 1。圖二十三是改變自走車的出發點、障礙物的座標以及目的地，出發點位於(2,0)，障礙物分別位於(1,2)、(4,2)、(3,3)、(0,4)、(2,4)，目的地為(4,4)，設定權值，經由最佳路徑演算法演算，其權值和為 10，圖二十四之虛線路徑為演算結果。



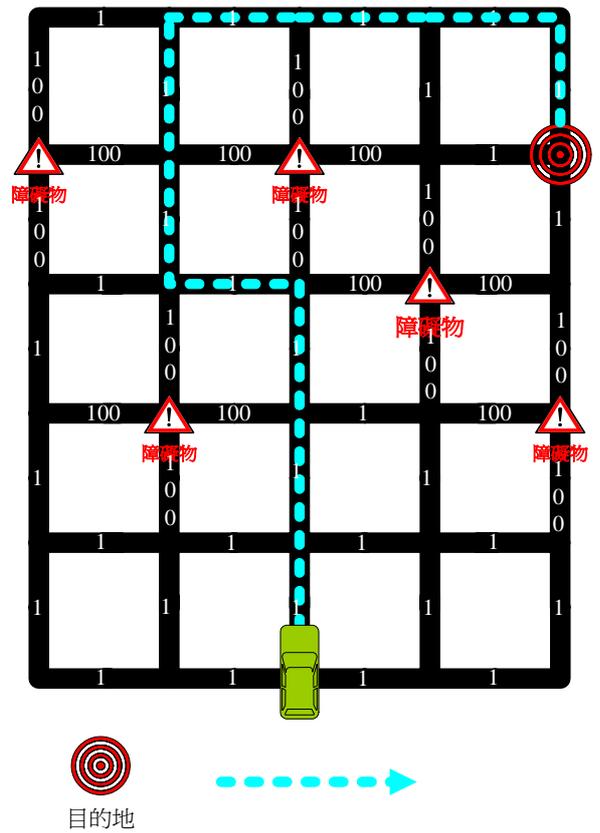
圖二十一、棋盤一



圖二十三、棋盤二



圖二十二、路徑規劃一



圖二十四、路徑規劃二

柒、結論

本文完成一台具有影像視覺及藍芽通訊之棋盤式自走車。其藍芽通訊可以透過主控電腦端跟自走車之間的通訊並下達控制指令，使其達到遠端控制之功能。並經由運動控制卡控制其速度、加速度、急跳度及轉向並轉換成脈波給予馬達使其做動，藉由規劃之平滑曲線的計算使自走車運動更為平順，降低機械的損耗，延長自走車之壽命。且能透過 CCD 擷取影像，辨識障礙物來達到影像避障及路徑規劃之功能，能以最短之路徑行走於規劃之棋盤路線。

參考文獻

1. 徐肇鴻，“導盲機器人之路徑規劃與控制”，國立交通大學電機與控制工程系碩士論文，新竹，1999。
2. 楊雅兆，“使用超音波感測之自走車避障實務設計”，私立中原大學機械工程學系碩士論文，桃園，2004。
3. 于光浩、吉剛儀、陳顧升，“追人自走車”，逢甲大學自動控制工程學系專題論文，台中，民國九十二年。
4. 傅培耕，“即時物體追蹤之立體視覺導引自走車”，中原大學機械工程學系碩士論文，桃園，民 93。
5. 許哲源，“自走車之驅動控制與避障規劃”，國立成功大學工程科學系碩士論文，台南，2003。
6. 鄧安村，“網路遠端無線監控系統於自走車之應用”，中華大學機器與航太研究所碩士論文，新竹，2002。
7. 顧高至，“智慧型多功能自走車之研發”，國立成功大學工程科學系碩士論文，台南，2003。
8. 廖啓仲，“自走車介面控制之研究”，國立成功大學工程科學系碩士論文，台南，民國 91 年。
9. 禹帆，“無線藍芽技術深入探討”，文魁出版，台灣，2001。

Path Planning for the Obstacle Avoidance of Grille AGV by Vision Image

Kuang-Chyi Lee¹ Min-Chih Jhuang¹ Chien-Hung Chen¹ Chien-Chin Huang¹

Tsun-Hsien Huang¹ Po-Ting Tsai²

¹Department of Automation Engineering

²Institute of Mechanical & Electro-Mechanical Engineering National Formosa University

Abstract

In this paper, we use an image system to recognize the obstacle of the path. By path planning rule, it can provide the AGV to go through the best path by dynamics identify the situation of environment. The motion control card and AC servo motor is used to drive the AGV. The Bluetooth module is used to improve the reliability of the wireless communication. The AGV can get environmental images from CCD camera. And by the image processing method, the AGV can recognize the obstacles. Finally, the AGV can get the optimal path and navigate itself.

Key word: AGV, machine vision, path planning, obstacle avoidance.

