

應用於農業機器人的自走式車輛的研製

朱元南¹，陳文杰²

1. 國立台灣大學農業機械工程學系副教授

2. 國立台灣大學農業機械工程學研究所碩士

摘 要

自走式車輛可以作為移動式機器人的載具或是無人搬運車，執行農業自動化的生產和運輸的工作。本文說明一具可應用於農業機器人的自走式車輛的硬體架構與其導航控制的方法和性能。此車輛由機體、影像系統、及控制系統所組成。機體長71.5cm，寬43.5cm，最大行走速度為0.25m/s。影像系統的解析度是64*256點。影像資料利用記憶體直接取存技術收集並儲存。控制系統具備以影像資料定位及導航的功能，並預留輸出入介面以連接其他感測器或驅動裝置。車輛的導航是將預設路徑以折線表示，經由定位系統得到目前車輛的位置及方向後，以循跡歸屬確認車輛所屬線段的管制區，再經由偏移量分析得到位置及方向偏差量，以之計算所需的車輛速度及差速信號，控制車輛的行進。循跡性試驗的結果，本車輛以10cm/s的速度行駛直線時，橫向偏移在±0.5cm以內，在20cm的起始偏移下，行駛直線距離60cm內即可修正至1cm以內。行走速度提高時修正偏移所需的行走距離亦增加。作直角轉彎時，軌跡在直角端點前後約12cm以內會直接穿越而不經過直角頂點。重覆性測試的結果，在10cm/s的直線行駛速度下，停止點平均距離誤差為0.9cm，而車輛軸線方向的誤差大於橫向偏移。

關鍵詞： 自走式車輛、影像系統、導航、機器人

DEVELOPMENT OF AN AUTONOMOUS VEHICLE FOR AGRICULTURAL ROBOTICS

Yuan-Nan Chu¹, Wen-Chieh Chen²

1. Associate Professor, Dept. of Agricultural Machinery
Engineering, National Taiwan University.

2. Former Graduate Student, Dept. of Agricultural Machinery
Engineering, National Taiwan University.

ABSTRACT

Autonomous vehicles may be used as mobile robot carriers or automatic conveyors for the automation of agricultural production and transportation. This paper describes the development of an autonomous vehicle for agricultural robotics. The vehicle is composed of the chassis, an image system, and the

control system. The chassis is 71.5 cm long and 43.5 cm wide with a maximum travel speed of 0.25 m/s. The image system has a resolution of 64*256 and can digitize images and store them onto the mother board using direct memory access. The control system could guide the vehicle using the image information and connect to other sensors or actuators. The vehicle path is pre-specified by a sequence of straight lines. During the navigation control, the vehicle analyses its position and heading angle, locates itself on the path, calculates the position and heading deviations, and follows its path by sending velocity and differential signals to control its movement. Tracking results show that the vehicle could follow straight lines with deviations less than ± 0.5 cm at a speed of 10 cm/s. From an initial offset of 20 cm, it could move back to the preset course to within 1 cm in 60 cm of straight travel distance. The travel distance for correcting the initial offset increases when vehicle velocity increases. During right angle turns, the vehicle would take a short cut across from about 12 cm before and after the turning point. Repeatability tests show that the average error of stop points was about 0.9 cm, while the errors in the axial direction were larger than the side deviations.

Keywords: Autonomous vehicle, Image system, Guidance, Robotics

一、前言

自走式車輛(Autonomous Vehicle)又稱為自動導引車輛(Automated Guided Vehicle, AGV),是能利用影像或感測器以自行導引其行進路線的移動機械。在農業上,自走式車輛可作為移動式機器人的載具或是無人搬運車,執行許多自動化的工作,例如整地、割草、噴藥、蔬果採收、以及運輸等(胡, 1993; Bonicelli and Monod, 1987; Toda et al., 1993; Sittichareonchai et al., 1989; Balerin et al., 1991; Ravn and Andersen, 1993)。

自走式車輛的導航方式,因應其使用環境的狀況與需要,可分為沿線導引、即時定位導航、或是複合式三種。沿線導引方式常用於整地、收穫等作業的移動式機器人或是無人搬運車的導引,通常是利用感測器以感測田間或是果園裡的畦溝或果樹位置,使機器人沿著畦溝前進(Bonicelli and Monod, 1987);或是用固定於地面的電磁導線或反光帶等導引,使無人搬運車依照預定的路線行走(陳, 1993)。此種方式的穩定性高,但由於路徑固定,會造成使用時的限制,不如即時定位導航所具有的彈性。後者適合大田區或是變化複雜的工作環境,利用雷達或微波的三角定位(Sampo and Nieminen, 1993; Searcy et al., 1989)、里程計數(Cox, 1991)、或

是影像分析(Gerrish and Surbrook, 1983)等方式定位後,再依照預定的路線控制自走式車輛的行進。以上兩種方式各有優缺點(陳, 1993),因此很多移動式農業機器人的導航採用複合方式,一方面利用即時定位確定大體位置,同時以沿線導引方式作區域性的細部導航(Balerin et al., 1991)。

應用於農業機器人的自走式車輛,除了定位導航的功能外,大多具有影像系統(Balerin et al., 1991)。影像資料的用途廣泛,可用以辨識物體的位置、形狀、色澤,提供採收等作業所需的資訊(Sittichareonchai et al., 1989; Balerin et al., 1991);亦可用來判別環境狀態,例如障礙物的有無或位置(胡, 1993);或是作自走式車輛的定位導航(陳, 1993)等。然而由於影像資料的數量龐大,處理耗時,一方面資料的傳輸效率要高,同時電腦處理的速度也要夠快,否則極有可能造成農業機器人在整體操作性能上的瓶頸(Mercurio et al., 1989)。

本研究的目標是研製具有影像系統的自走式車輛,作為發展移動式農業機器人或是無人搬運車的基礎。本車輛的導航方式採用即時定位導航,但預留沿線導引或複合式所需的介面,以在實際應用時有充份的彈性。本文的內容除了報告此車輛的硬體架構外,著重其導航控制的方法和

測試結果，至於定位系統的方式和效果將以他文發表。

二、材料與方法

圖1為自走式車輛之三視圖。包括(一)機體，(二)影像系統，及(三)控制系統。

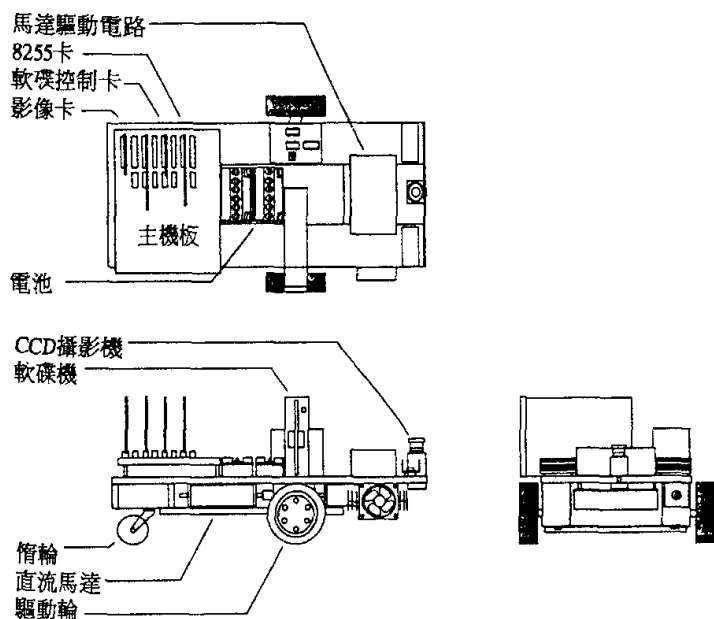


圖1 自走式車輛三視圖

(一)機體

機體長71.5cm，寬43.5cm（含左右輪），其結構係以鋁板架構而成（圖1）。左右驅動輪以各自的24V直流馬達經由30:1減速機驅動。機體後方有一可360度迴轉的惰輪。左右輪均為鋁製，外覆橡膠，直徑為11.5cm，輪寬各為3.5cm，輪中心距為40cm。機體的最大速率為0.25m/s，並以驅動輪之差速轉向。動力來源是兩個12V、10安培小時的可充電電池。作為農業機器人的載具或是無人搬運車時，機體上可另加裝支架或是覆蓋。經過實際測試，機體於負載重量50kg時仍可順利行駛。唯由於目前的研發是以此導航系統為主，因此對機體的最大載重限制、最大負載時的速度、及續航力等尚未作進一步的試驗評估。

(二) 影像系統

影像系統包含CCD攝影機、影像卡、及影像處理軟體。本研究所使用的影像卡及軟體均為自行製作。

本系統所使用的CCD攝影機符合NTSC (National Television System Committee)的標準規格，其畫面寬度為6.4mm，鏡頭焦距為16mm。攝影機的鏡頭向上，位置在車輛前端中央，距驅動輪軸線27.5cm，和左右兩驅動輪呈等腰三角形的關係（圖1）。其鏡頭方向及位置可視需要任意調整。

本研究自製的影像卡解析度為64*256，其將影像數位化的程序分為下列四個步驟（如圖2）

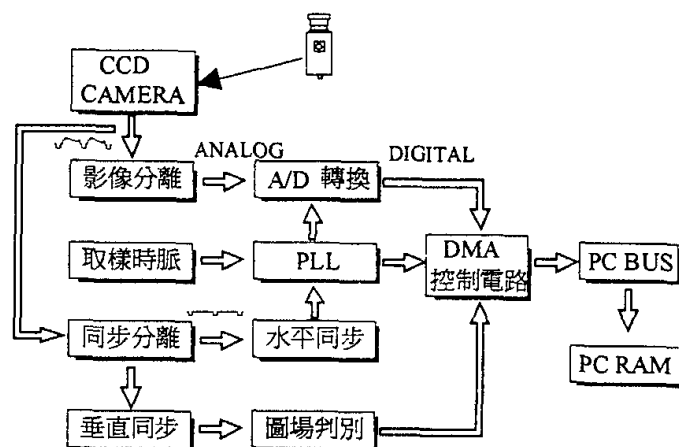


圖2 影像數位化硬體基本架構

：(1)分離影像複合同步訊號成為影像訊號、垂直同步訊號、和水平同步訊號，(2)取樣時脈根據同步訊號經相位鎖定電路(Phase Locked Loop)調整相位差，(3)影像訊號經由高速類比數位轉換器(A/D converter)轉換成數位資料，(4)轉換完成之數位資料以直接記憶體取存(DMA)傳至記憶體（陳，1993）。

數位化的影像信號可經由程式控制或直接記憶體取存(DMA)的方法而輸入更新記憶體中。由於以程式控制方式傳輸資料會造成CPU的負擔，影響程式執行的效率，並受限於CPU本身的速度（張，1987），所以本研究採用DMA的方式。DMA的功用在將資料直接傳送於A/D轉換器及記憶體間，因不需經由CPU的控制，故可以增加資料傳輸的效率。同時由於此系統僅需辨識兩種灰度值，因此一個圖素(Pixel)只佔一個位元(Bit)的記憶空間。但是電腦的資料匯流排和記憶體都是以八個位元為基本傳輸單位，所以利用移位暫存器將一位元的串列影像資料排列成八位元之並列輸出，然後將取樣頻率八分之一除頻後

，控制門鎖電路鎖住八位元資料，再由DMA 控制電路送至記憶體，完成影像擷取程序。此時影像處理程式便可根據每一圖素所在記憶體的對應位置解讀，並將影像資料還原（陳，1993）。

此一影像系統的解析度雖不如一般商業性影像卡(512*512)，但以現階段車輛定位導航的需求而言已經足夠。未來視應用的需要（例如辨識農產品、判別環境等）可以更換商業性影像卡以提高解析度，但是由於解析度提高時系統所需處理的資料量亦將相對增加，故控制系統的處理速度與資料的傳輸速度等亦需一併提高。

(三) 控制系統

1. 硬體

控制系統的心臟為80286-12主機板，上插軟碟控制卡、影像卡、及8255介面卡，並有多餘的插槽可插顯示卡或其他介面卡如ADDA卡。系統程式由車輛上的1.2MB軟式磁碟機輸入，軟體是由C語言寫成。在車輛行進間可同時記錄運動軌跡，並可將運算資料、系統狀態、行走地圖及所在位置等顯示於外接螢幕，以便利研發階段的試驗。

在控制信號的輸出入方面，本系統有三組8255 輸出入介面，除了第一組8255的PORT C和第三組的PORT A用以輸出速度控制資料給兩組數位對類比轉換器，用於直流馬達的差速控制和速度控制外，其餘皆可連接其他感測器或驅動裝置，以因應未來應用於移動式機器人或無人搬運車的需求。

圖3為速度信號(VS)和差速信號(DS)的處理電路。兩種信號各由一個八位元的數位對類比轉換器轉換為類比信號輸入，經過此電路後，轉換為介於0V到8V之間的左右直流馬達的驅動電壓：

$$VR = VS + (4 - DS) \quad (1)$$

$$VL = VS + (DS - 4) \quad (2)$$

當差速信號DS等於4 V時，車輛向正前方行進，並由速度信號VS的大小控制其前進速度。當DS小於或大於4 V時，則由左右馬達的轉速差異可造成不同程度的左轉或右轉，以控制車輛的行進方向。

2. 定位系統

定位系統的功能是利用適當參考點的搜尋追蹤及坐標幾何分析，取得車輛行進時的方向與位置。本研究利用辨識記號陣列，發展出一種新型的定位分析系統，做為室內的車輛方位分析，不會有累積誤差(Chen and Chu, 1993)。定位系統的效能直接影響導航系統的正确性。經過實際測試，本車輛的定位系統的定位解析度高於1/13.8 (1/mm)，X軸、Y軸坐標定位最大誤差量為8.33 mm及13.8 mm，標準差為4.33 mm 及6.16 mm；方向角平均誤差為0.57度，最大誤差量為5.9度（陳，1993）。此部份的細節不屬於本文討論的範圍。

3. 導航系統

當定位系統取得車輛的方位後，導航系統便可根據既定的目標或路線控制車輛的行進。導航系統包括以下四部份：(1)折線路徑設定，(2)循跡歸屬，(3)偏移量分析，及(4)速度及方向控制。

(1) 折線路徑設定

路徑的設定包括折點和暫時停止點，點和點之間以直線行進。折點大多設在路徑轉彎處，並以折線路徑取代平滑曲線來達到轉彎。如此在控制時，每一段折線路徑只須在此段起點計算切線向量，而且每次欲求位置偏差量時只要利用外積運算即可獲得。如此可使計算簡化，同時亦可強化即時控制的能力。

(2) 循跡歸屬

由於行走路徑是以折點的方式記錄，在大多數的情況下，預設路徑必定由多段線段所組成。為了進行偏移量分析，系統必須確認車輛正行駛於某一線段之管制區域，故有執行循跡歸屬判斷的必要。

假設車輛之起始點位於第一段線段，理論上由線段的邊界和本身位置的關係，便可在穿越下

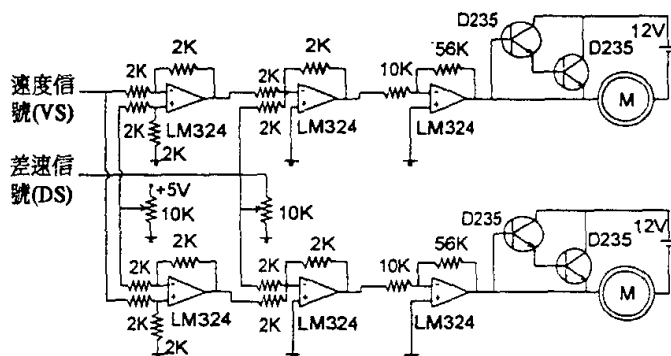


圖3 馬達驅動電路

一個折點後切換至下一段線段，達成循跡歸屬。但是因為車輛的循跡控制並不能保證一定會穿越下一個折點，所以以折點座標來判斷穿越與否便有困難。所以本研究利用向量可平移的觀念，即使車輛未能通過折點，一樣可以判斷其穿越線段邊界的事實。由圖4，假設目前線段起點為 $A(\xi_i, \eta_i)$ ，終點為 $B(\xi_{i+1}, \eta_{i+1})$ ，則前進方向的方向向量

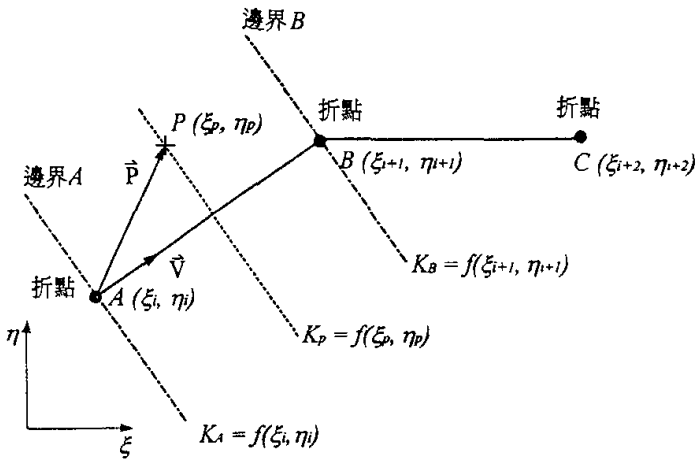


圖4 循跡歸屬分析

$$\vec{V} = [(\xi_{i+1} - \xi_i)(\eta_{i+1} - \eta_i)] \quad (3)$$

通過此二點的直線方程式為

$$\begin{aligned} & \xi(\eta_{i+1} - \eta_i) - \eta(\xi_{i+1} - \xi_i) \\ & = \xi_i\eta_{i+1} - \xi_{i+1}\eta_i \end{aligned} \quad (4)$$

而和上述直線正交的直線方程式為

$$\xi(\xi_{i+1} - \xi_i) - \eta(\eta_{i+1} - \eta_i) = K = f(\xi, \eta) \quad (5)$$

其中 K 為常數。由於 K 值的改變會造成此直線的平移，所以車輛是否通過線段邊界，只要比較目前位置 P 和折線端點(A 和 B)位置的 K 值就可確知：

$$K_A = f(\xi_i, \eta_i) = \xi_i(\xi_{i+1} - \xi_i) + \eta_i(\eta_{i+1} - \eta_i) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} K_B &= f(\xi_{i+1}, \eta_{i+1}) \\ &= \xi_{i+1}(\xi_{i+1} - \xi_i) + \eta_{i+1}(\eta_{i+1} - \eta_i) \end{aligned} \quad (7)$$

$$K_P = f(\xi_p, \eta_p) = \xi_p(\xi_{i+1} - \xi_i) + \eta_p(\eta_{i+1} - \eta_i) \quad (8)$$

$$(K_P - K_B) \times (K_B - K_A) = 0 \quad \text{在邊界} B \text{上} \quad (9)$$

$$< 0 \quad \text{尚未通過邊界} B$$

$$> 0 \quad \text{通過邊界} B$$

一旦偵測到車輛已通過此一線段管制區，系統必須立即更新下列資料：(i)線段起點和終點，(ii)線段行進方向向量，(iii)循跡歸屬函數 f 。如此即進入下一線段管制區。

(3) 偏移量分析

偏移量分析的目的在於提供控制系統誤差值的輸入。由式(4)可得目前所在線段的行進方向的方向向量 $\vec{U}$ 。

$$\vec{U} = \frac{\vec{V}}{S} \quad (10)$$

$$S = \sqrt{(\xi_{i+1} - \xi_i)^2 + (\eta_{i+1} - \eta_i)^2} \quad (11)$$

而由線段起點到目前位置的向量

$$\vec{P} = [(\xi_p - \xi_i)(\eta_p - \eta_i)] \quad (12)$$

此二向量的外積向量之長度即是目前位置和所歸屬線段的距離，亦即位置偏差量 $ep(i)$ ，

$$\begin{aligned} ep(i) &= |\vec{U} \times \vec{P}| = \left| \left(\frac{\vec{V}}{S} \right) \times \vec{P} \right| \\ &= \frac{1}{S} |[(\xi_{i+1} - \xi_i)(\eta_{i+1} - \eta_i)] \times [(\xi_p - \xi_i)(\eta_p - \eta_i)]| \\ &= \frac{((\xi_{i+1} - \xi_i)(\eta_p - \eta_i) - (\eta_{i+1} - \eta_i)(\xi_p - \xi_i))}{\sqrt{(\xi_{i+1} - \xi_i)^2 + (\eta_{i+1} - \eta_i)^2}} \end{aligned} \quad (13)$$

另外，由定位系統可得車輛之方向向量 $\vec{H}$ （陳，1993），則方向偏差量 $eh(i)$ 為

$$eh(i) = |\vec{U} \times \vec{H}| = \left| \left(\frac{\vec{V}}{S} \right) \times \vec{H} \right| \quad (14)$$

(4) 速度及方向控制

速度及方向控制的目的是使車輛依循已設定的折線路徑行動，主要是藉著調整車輛的行進方向，使在偏離時能修正回至預設路徑。由於本車輛的左右驅動輪方向固定，而後方的惰輪並無自行轉向的能力，因此屬於Non-holonomic車輛（Segovia and Rombaut, 1993），即車輛只能依驅動輪軸線的垂直方向運動。若要調整方向，就必須經由控制兩具驅動輪的差速來達成。

本車輛的導航控制，乃以比例控制的方式，利用由偏移量分析所得到的車輛位置偏差量 $ep(i)$ 和方向偏差量 $eh(i)$ ，計算當時所需對應的差速訊號 $DS(i)$ ，

$$\begin{aligned} DS(i) &= DS(i-1) + K_{P1} \times ep(i) \\ &\quad + K_{P2} \times eh(i) \end{aligned} \quad (15)$$

以之控制左右輪驅動馬達的差速，達到轉向的目的。其中 $DS(i-1)$ 代表上一控制週期所輸出的差速信號， K_{P1} 及 K_{P2} 為誤差信號的放大倍率。經由調整 K_{P1} 及 K_{P2} 的值便可改變系統對偏移誤差修正的速度與反應的效果。若 K 值太小，則可能會使反應速度過於緩慢，不易修正誤差。但若其值太大，則可能會使反應過度而致無法收斂。

另外為使車輛行駛在曲率半徑小的路段時能調降其速度，以減少系統在暫態下的誤差，所以將速度參數設為差速參數的函數，在差速信號大時減少車輛的速度信號 $VS(i)$ ，

$$VS(i) = 255 - K_v \times |DS(i) - 128| \quad (16)$$

根據此公式，車輛在直線行駛時，由於差速信號為零，故依設定的最大速度行駛。轉彎時則視轉彎的轉角大小減速。

以上二公式中的 K_{P1} 、 K_{P2} 、及 K_V 值均係以實驗試誤方式獲得； $K_{P1} = 6.0$ ， $K_{P2} = 2.2$ ， $K_V = 3.0$ 。實驗時設定車輛的直線行駛速度為10cm/s，經由重複調整各 K 值，觀察比較車輛於不同路線下的行走效果，而決定適當的數值。由於此一組合的控制效果已可接受，因此目前並未作各 K 值最佳化的探討。

三、結果與討論

導航系統的目的是引導車輛依照預定的路線或目標前進或停止於適當位置，其功能可用(1)循跡性及(2)重覆性來評估，以下依本車輛的試驗結果分別討論。

(一) 循跡性

1. 直線路徑循軌

直線循軌可以測試出系統的步階響應以及在達到穩態後的循跡和收斂特性。試驗時將預設路徑設定為一直線線段，起始偏移量為20cm，方向偏差量小於10度，直線行駛速度為10cm/s，並以左右驅動輪的中點軌跡代表此車輛之運動路線。

圖5為直線循軌的測試結果。車輛的起始偏移量(20cm)大約在行駛直線距離60cm時便已修正為少於1cm。修正的過程路線平滑。此後並能維持沿直線路徑前進，無顯著的擺動或不收斂的情形，並且繼續行駛時橫向偏移小於±0.5cm。

2. 單直角路徑循軌

單直角路徑循軌的結果可以顯示本車輛轉彎時偏離預定路線的程度。試驗時將預設路徑設定為一90度轉彎，車輛起始偏移量小於10cm，方向偏差量小於10度，直線行駛速度為10cm/s。

圖6為單直角循軌測試的結果。車輛軌跡在直角端點前後約12cm以內會直接穿越而不經過直角端點，穿越直角轉折後會略為超越設定路線，但是誤差小於2cm，且其前後的行駛路線均甚平滑。

在轉彎端點前後偏離的主要原因，是由於定位系統的攝影機在車輛軌跡的前方。因為定位系統及控制系統是以攝影機的位置作為偏移量分析的依據，因此在依循預設路徑作直角轉彎時後方

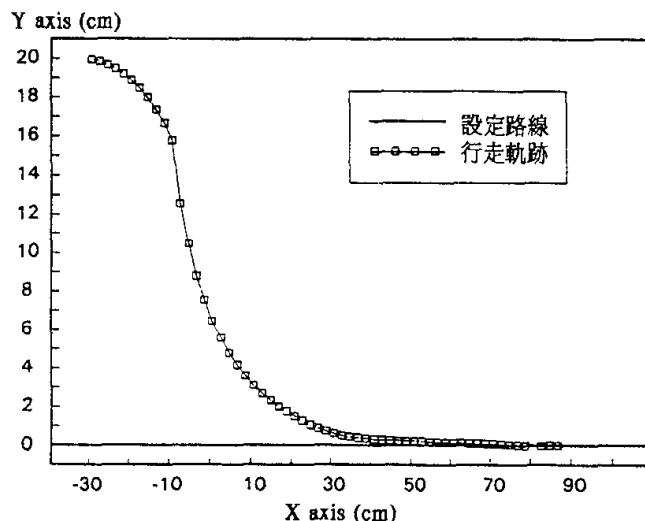


圖5 直線路徑循軌測試結果

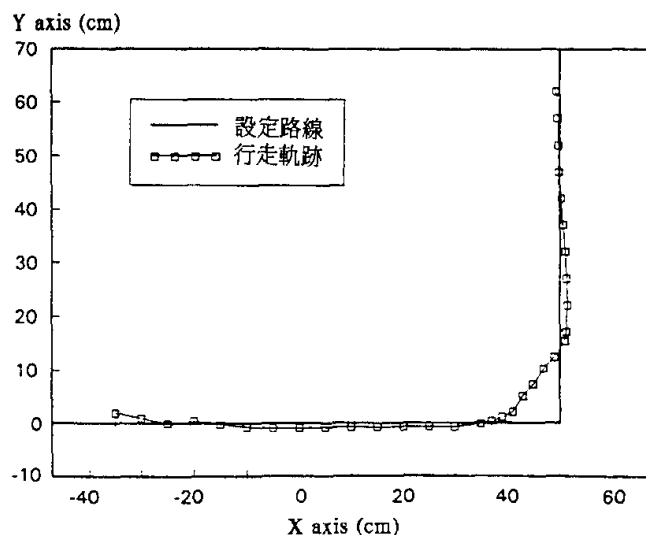


圖6 單直角路徑循軌測試結果

的軌跡點便被直接拉過轉折處，而不會經過直角端點。若將攝影機位置與車輛軌跡合而為一，理論上雖可解決此種現象，但是實際測試結果反而造成迴轉時過大的超越量。其原因在於本車輛是以驅動輪的差速轉向，而驅動用的直流馬達僅能單向旋轉，所以在直角轉彎時有最小迴轉半徑的限制。同時由於控制系統需待偏移後方作修正動作，故修正時有時間的延遲，因此在預設路線突然變化時（例如直角轉彎），便會造成較不穩定的結果。未來如果將驅動馬達改為可正反轉，並配合修改控制系統使車輛迴轉半徑能降為零，則應可提高直角轉彎時的精確度。

綜合而言，本車輛行駛直線路徑時的循跡誤差優於轉彎，且在有起始偏移時亦可穩定地修正。若是應用於收穫用機器人的載具或是無人搬運車，因為其作業通常是在直線前進時進行，對轉彎時路線精確度的要求通常不高，因此本車輛轉彎時的偏移尚不致造成問題，而直線行駛時小於0.5cm的誤差應該可以接受。

(二) 重覆性

重覆性測試分析的目的在于了解系統對於同一路徑和同一停止點的停止重覆性能，測試時起始偏移量小於10cm，方向偏差量小於10度，直線行駛速度為10cm/s，行駛距離設定為120cm。

圖7為重覆性測試實驗結果。由圖可以看出誤差分布相當均衡，所有的停止點皆在±2cm的範圍內，而平均距離誤差約為0.9cm。此種誤差大小對於一般農業中移動式機械人的應用而言，例如播種、收穫、或運輸等作業，應該都可適用。另外，停止點在X方向（沿路徑方向）的誤差較大於Y方向的循軌偏移。可能是由於車輛在行進間停止時所受到的慣性、停止前的速度和加速度、減速機的齒隙等的綜合作用以在X方向為主之故。

由於導航系統是根據定位系統所得到的資料來導引車輛的動作，因此定位系統的誤差便應成為導航準確性的下限。然而由循跡性與重覆性的試驗所得到的結果來比較，導航系統的誤差有時反而小於定位的誤差。進一步的測試顯示，若以直線路徑循軌測試中定位系統所讀出位置（亦即攝影機架設點的位置）變化作為車輛的軌跡（如圖8），則其不穩定性比圖5的軌跡提高許多。這

是由於兩個原因：首先，因為圖5的結果是以左右驅動輪的中點軌跡畫出，而左右驅動輪的中點的擺動必然小於車輛前後端，因此以前者為測試點自然有較好的穩定性。其次，由定位系統所提供的方位資料雖有跳動的情形，然而車輛依此資料修正其行駛動作時，卻會因為本身的慣性而不易產生過大的加速度，因而將高頻誤差訊號平滑化，而產生平滑的運動結果。

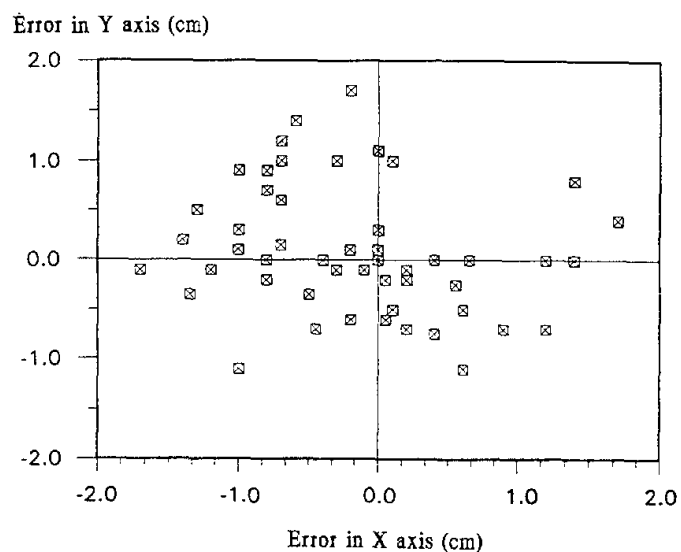


圖7 停止重覆性測試實驗結果

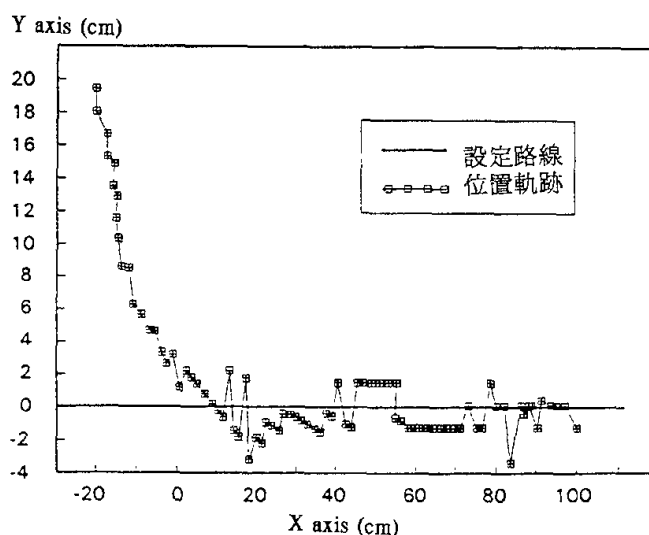


圖8 直線路徑循軌測試中定位系統所讀出位置（攝影機架設點）的軌跡

圖9為以10 cm/s及20 cm/s之直線行駛速度作直線路徑循軌試驗的結果。以每秒十公分行駛的運動軌跡比以每秒二十公分行駛者能更快修正

起始偏移。此乃因控制系統的處理速度一定，故車輛行駛速度愈慢，單位行走距離內便可作愈多的路線修正，在運動路線變化大時自然效果較好。然而在直線行駛的部份則無明顯差異，可見此時控制系統的速度已經足夠處理。

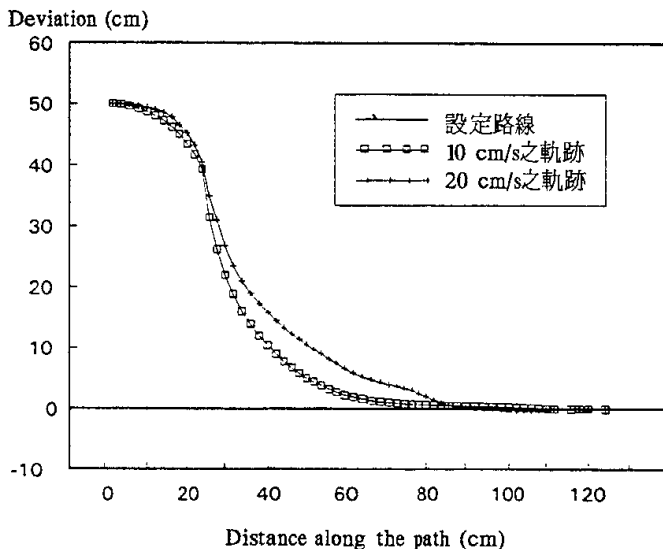


圖9 行走速度對循跡表現的影響

由於控制系統的控制週期是影響循軌效果的主要因素，所以在循軌效果固定時，行駛速度會受到控制週期的影響。由於此系統是利用影像資料定位，故影像的處理速度直接影響車輛導航控制的速度。經過試驗，本系統由取像到完成直流馬達的輸出控制約需190 ms的時間，即控制週期約為0.19秒，其中取像時間需要110 ms，約占百分之六十，而定位分析及導航控制則占所需時間的四成。由於本車輛目前僅使用286主機板，因此若要減少控制週期，最直接的方法便是更換主機板為486 CPU，並利用高速的資料匯流排來傳遞影像資料。至於雙或多CPU的方式（例如 Ravn and Anderson, 1993），則是以兩個或多個CPU分別處理不同的工作，將更能加快處理速度。

國外對於農業機器人的開發已日漸實用化。由於移動式機器人具有機動性，可以取代許多傳統農業中由人力執行的工作，因此移動式機器人的研發對農業自動化的工作相當重要。本文所報告的自走式車輛即可作為移動式農業機器人的研究工具。本車輛可提供移動式機器人行走及定位的能力，並有充分的輸出入介面，以因應感測信

號或驅動裝置的需求，因此可作為移動式機器人的載具，從事其開發試驗。另外由於其控制系統所具備的循跡性與重覆性，所以亦可作為自動導航系統或是自走式車輛的試驗機，或是無人搬運系統的模擬試驗工具。

四、結 論

- (一) 本文說明一具以影像系統定位導航的自走式車輛的硬體架構和導航控制方法。其機械與導航性能可作為移動式機器人或無人搬運系統的研究工具。
- (二) 本車輛的循跡性為在10 cm/s的速度行駛直線時，橫向偏移在±0.5cm以內，在20cm的起始偏移下，行駛直線距離60cm內即可修正至1cm以內。行走速度提高時修正偏移所需的行走距離亦增加。作直角轉彎時，軌跡在直角端點前後約12cm以內會直接穿越而不經過直角頂點。
- (三) 本車輛的重覆性為在10 cm/s的直線行駛速度下，停止點平均距離誤差為0.9cm，所有實驗之停止點皆在±2cm的範圍內。車輛軸線方向的誤差大於橫向偏移。

五、參考文獻

1. 胡修武。1993。在加速度限制下移動式農業機器人之軌跡規劃。碩士論文。台北：台灣大學農業機械工程學研究所。
2. 陳文杰。1993。自動導引車輛之視覺定位導航系統。碩士論文。台北：台灣大學農業機械工程學研究所。
3. 張容豪。1987。影像處理技術。二版，P. 62-70。台北：全華。
4. Balerin, S., A. Bourelly, and F. Sevil. 1991. Mobile robotics applied to fruit harvesting: the case of greenhouse tomatoes. In: Automated agriculture for the 21st century, Proc. 1991 symposium. P. 236-244. Chicago, IL: ASAE.
5. Bonicelli, B. and M. O. Monod. 1987. A self-propelled plowing robot. ASAE Paper no. 87-1064. St. Joseph, MI: ASAE.

6. Chen, W. C. and Y. N. Chu. 1993. Guidance of the automated guided vehicle using vision and directional marks array. In: Proc. National Symposium on Applied Control Technology, P. 215-220. Tainan, Taiwan: Chinese Automatic Control Society.
 7. Cox, I. J. 1991. Blanche - An experiment in guidance and navigation of an autonomous robot vehicle. IEEE Trans. Industrial Electronics 7(2): 193-202.
 8. Gerrish, J. B. and T. C. Surbrook. 1983. Mobile robots in agriculture. In: Proc. 1st international conference on robotics and intelligent machines in agriculture. P. 30-41. Tampa, FL: ASAE.
 9. Mercurio, J. F., W. W. Gunkel, and T. A. Sobel. 1989. Vision-guided block-type robotic grapevine pruner. ASAE Paper no. 89-7519. St. Joseph, MI: ASAE.
 10. Ravn, O. and A. Andersen. 1993. A test bed for experiments with intelligent vehicles. In: Preprints 1st IFAC international workshop. P. 37-41. Hampshire, UK: International Federation of Automatic Control.
 11. Sampo, M. and T. Nieminen. 1993. Remote controlled tractors. Agricultural Engineering 74(2): 28-29.
 12. Searcy, S. W., J. K. Schueller, Y. H. Bae, S. C. Borgelt, and B. A. Stout. 1989. Mapping of spatially variable yield during grain combining. Trans. ASAE 32(3): 826-829.
 13. Segovia, A. and M. Rombaut. 1993. Continuous curvature path finding for a non-holonomic mobile robot. In: Preprints 1st IFAC international workshop. P. 481-486. Hampshire, UK: International Federation of Automatic Control.
 14. Sittichareonchai, A., F. Sevilla, J-M. Fatou, and A. Constans. 1989. A robot to harvest grape: a feasibility study. ASAE Paper no. 89-7084. St. Joseph, MI: ASAE.
 15. Toda, M, O. Kitani, T. Okamoto, and T. Torii. 1993. Studies on autonomous vehicles for agricultural robotics. ASAE Paper no. 93-3091. St. Joseph, MI: ASAE.
- 收稿日期：1994年2月22日
修改日期：1994年3月14日
接受日期：1994年4月6日