

農用履帶車輛PC-based控制系統之開發研究¹

陳令錫²、林聖泉³

摘 要

完成農用履帶車PC-Based控制系統之軟硬體架構開發研究。農用履帶車為後輪驅動式，履帶底盤由橡膠履帶、齒輪式變速箱及6馬力汽油引擎構成；PC-Based控制系統採用LabVIEW軟體開發圖控程式，監控項目包括步進馬達運動控制、數位訊號輸出入控制、編碼器訊號及電子羅盤訊號擷取等四部份，此四種監控項目分別監控自走車的引擎油門位置、引擎出力軸轉速檢測、皮帶主離合器及轉向離合器動力離合控制、離合器離合位置檢測、履帶驅動輪旋轉量檢測及車體方位角檢測等。整合後之PC-based控制系統，可以順利擷取輸入訊號及輸出致動訊號，履帶車能夠按照設定參數自走前進及轉彎。

關鍵字：農用載具、自動控制、電子羅盤。

前 言

目前台灣普遍存在農耕過程中過度使用農藥及化學肥料的情形，由於長期過量的使用造成部分農地累積殘藥或未消耗養分，除了浪費物資及工時，更間接對自然環境及生態產生危害，造成農業永續經營存有潛在危機。目前世界各地倡導的精耕農業(Precision Agriculture)，具有增加收益、減少浪費及減輕環境衝擊等優點^(1,12)，其中的變率施用及定點施用技術應可解決前述問題。變率施用及定點施用技術，為利用感測方法結合變量施用設備，將物資施用到適當地點，減少浪費及污染，使農地得以永續經營^(1,12,13,14)。多年來台灣農業自動化發展促進生產技術及生產力的提昇⁽⁵⁾，各種自走車導引技術被開發應用^(2,3,4,6,7,8,9,10,11)，因此，探討利用自走載具，掌握作業農機具之時空位置並配合定點感測取樣技術，可以促進變率施用技術之發展。

自走載具是所有前述技術之發展平台，開發及試驗自走載具為本研究之首要工作。在推動精耕農業的變率施用技術前，農耕機具在田間的無人操控應用研究是絕對必須的，這亦是促成本研究擬就農用履帶車輛進行導引控制系統開發之最主要動機。

¹ 台中區農業改良場研究報告第 0501 號。

² 台中區農業改良場助理。

³ 中興大學教授。

材料與方法

試驗設備

一、履帶式行走機構

有鑑於目前市面上販售之小型履帶搬運車，適合行走在畦溝進行載運貨物作業，本研究採用履帶式行走機構為主體，6 PS四行程汽油引擎為行走動力，主結構由二條寬10 cm履帶及底盤構成，動力傳導路徑為由汽油引擎出力軸皮帶輪，經兼具主離合器功能之三角皮帶機構將動力傳至變速箱入力軸，變速箱之動力經由左右各一的轉向離合器傳至履帶驅動輪驅動履帶完成行走機構動力傳輸功能。

二、感測元件

- 1.編碼器：檢測履帶驅動輪旋轉角度及速率。
- 2.近接開關：有二種型式，檢測引擎轉速用KFPS TLX-18P08E1型式，感測距離8 mm；檢測電動缸操作位置採用TL-E5PE1型式，感測距離5 mm。
- 3.電子羅盤：電子羅盤(Precision Navigation, TCM2-50)可提供方位訊號，作為行進方向判斷之依據。

三、致動元件

- 1.電動缸：使用IMD3系列電動缸，工作電壓DC 24V、作業行程2" (約50 mm)、減速比1/10及1/5、出力240 N及120 N，用來操作離合器之離合。
- 2.步進馬達：小型步進馬達調整引擎油門大小以控制引擎轉速。

四、控制系統

控制系統以個人電腦為中心，數位類比訊號輸出入卡、運動控制卡及RS-232C串列埠等輸出入介面卡等輸入感測訊號，再經由控制邏輯運算後輸出控制訊號，產生致動作用，操縱車輛前進及轉向。控制項目包括左轉離合器、右轉離合器、主離合器之離與合，及油門位置(其中步進馬達正轉為加速，逆轉為減速，馬達產生的移動量與油門大小具有相對應關係)。

試驗方法

利用個人電腦與LabVIEW圖控軟體，針對各個輸出入設備測試擷取及控制性能，於完成各組件基本測試後，發展邏輯控制法則，整合訊號介面卡組成感測及控制驅動信號，藉由驅動致動元件使得履帶車前進及轉向，達到控制行走路徑的目的。

結果與討論

本研究設計之農用履帶車控制系統，輸入訊號包括電子羅盤、近接開關及編碼器等訊號，其中電子羅盤用於感測車體方位角，近接開關用以感測引擎出力軸轉速及致動用電動缸位置，編碼器用以感測履帶驅動輪旋轉量，均為數位輸入訊號。輸出訊號為電動缸致動訊號及步進馬達控制訊號，其中前者係用於控制離合器，後者控制汽油引擎油門大小。

分別針對履帶自走車各操縱桿數據、編碼器感測訊號檢測、近接開關訊號檢測、電子羅盤訊號檢測、電動缸操控測試及步進馬達操控測試等，逐項設計控制程式及人機介面模組，進行性能試驗。

履帶車各操縱桿測試

履帶車各操縱桿測試結果如表一。由於排檔桿之排檔所需力量達191 N，為所有操縱項目中最大者，且變速元件為齒輪式，故排檔時會發生偶而順利入檔，偶而卡住的情形，因而將此操縱項目排除，採用人工入檔，並以固定檔位方式試驗操作。

表一、農用履帶車各操縱桿測試數據

Table 1. Actuating data of agriculture carrier's levers

Item		Force	Displacement of action position	Displacement of lever	Torque arm of lever
		N	cm	cm	cm
Main clutch	High	68.8	2.8	24.0	18.0
	Low	78.4	2.8	24.0	18.0
Left clutch		112.7	1.5	1.2	18.0
Right clutch		93.1	1.5	1.0	18.0
Throttle valve		9.8	1.8	9.0	6.5
Brake		78.4	1.4	24.0	18.0
Gear shift lever		191.1	4.8	19.0	19.0

編碼器感測訊號試驗

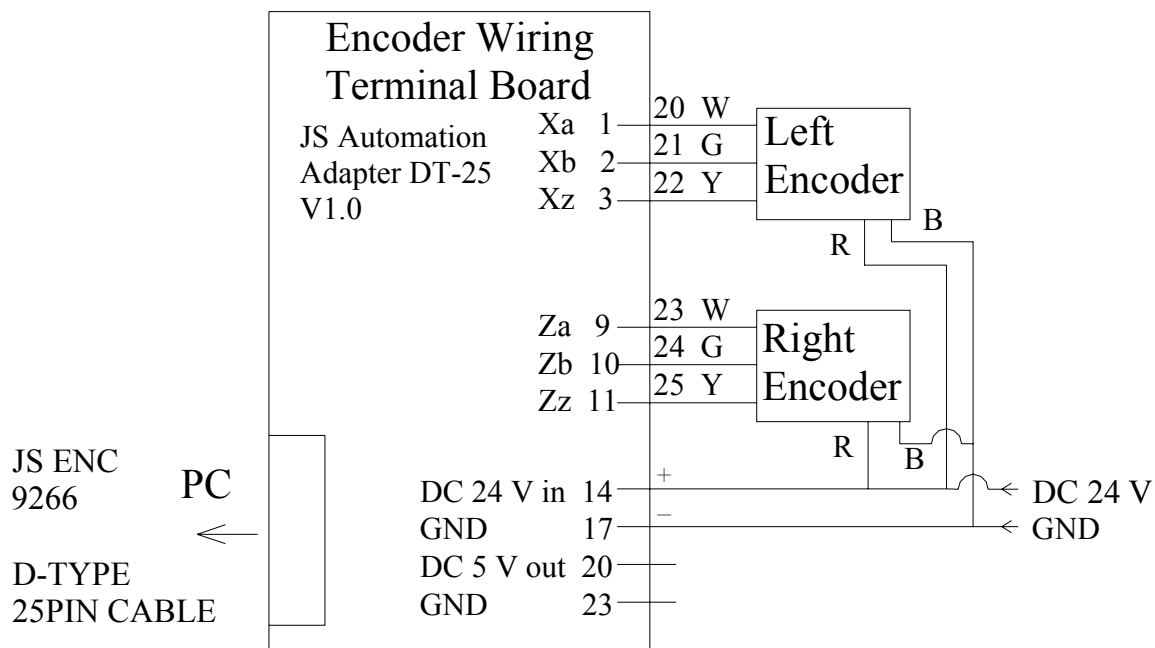
旋轉式編碼器透過如圖一所示的編碼器配接板接線方式，將編碼器訊號透過D型25 pin公對母訊號線傳輸到PC內的ENC-9266雙軸編碼器介面卡，執行圖控程式EncXZtime.vi，擷取左右履帶驅動輪的旋轉量。擷取履帶驅動輪旋轉量之同時，增加取樣時間參數存入檔案，便於往後試驗資料分析。

首先比較二只編碼器性能，驅動編碼器之步進馬達控制參數設定為初速200脈衝、末速600脈衝、加速度500脈衝，運轉脈衝量為4000脈衝(旋轉10圈)。編碼器規格為360 PPR，每圈360脈衝，程式中設定脈衝數除以720，所以紀錄之感測值為圈數之一半。試驗結果如圖二所示，圖中斜線段表示轉數增量之變化情形，水平線段表示停止的等待時間，比較二個編碼器之訊號檢測結果，五次正轉及逆轉試驗均有相同增量變化，判定二個編碼器有相同訊號檢測性能。

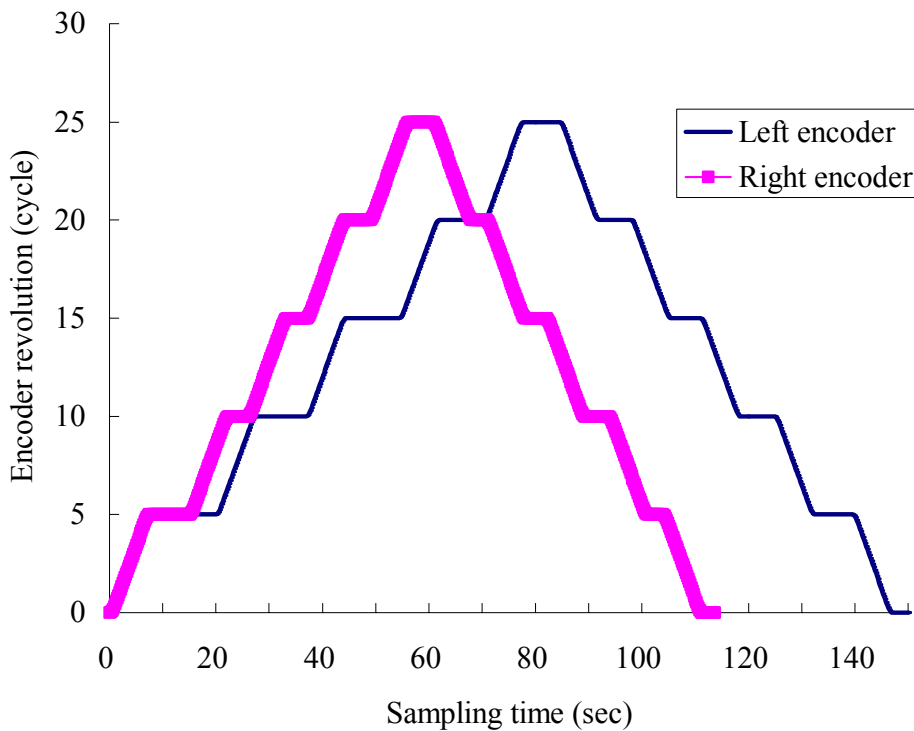
電子羅盤感測訊號試驗

TCM2-50電子羅盤在本試驗中提供車體行進方位角資料，方位角為方向導引之主要感測數據，其主要原理是感應地球磁場磁力線方向，當與地磁方向呈角度變化時，電子羅盤提供此角度訊號資料。首先如圖三所示將原廠10條電線的纜線與PC的RS-232C串列埠連結，第2支接腳與第3支接腳分別與電源的正負極連接，第4支接腳(RxD) 功能為接收訊號，第5支接腳(TxD) 功能為傳送訊號，第7支接腳(Data ground)為資料接地功能，分別與RS-232C串列埠的第3支接腳(Tx)、第2支接腳(Rx)及第5支接腳(GND)連接。

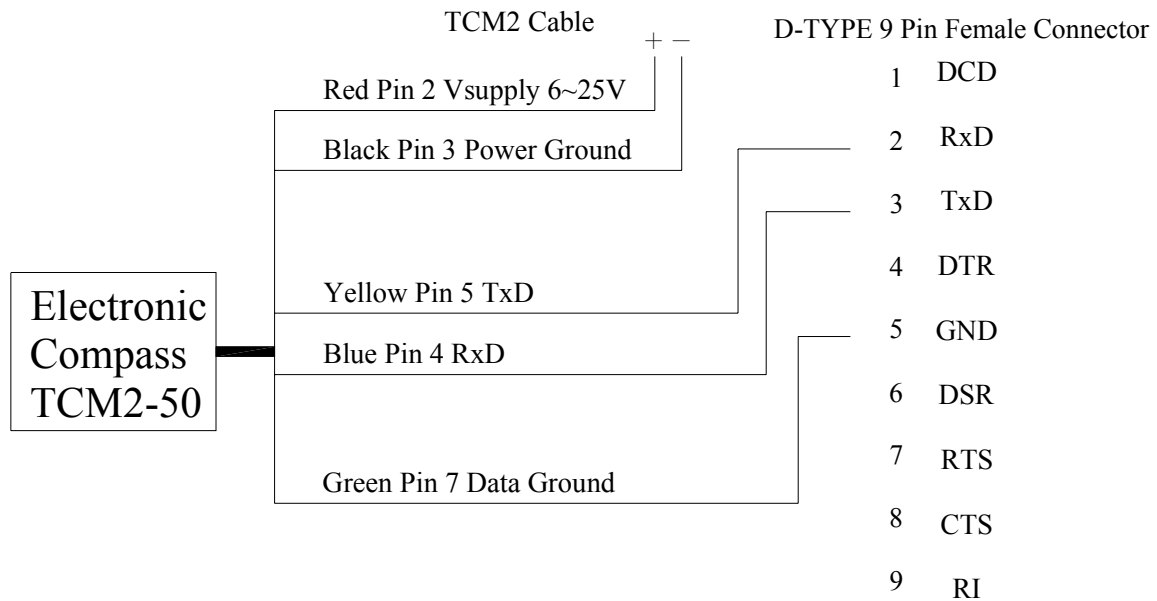
完成線路連結後，必須進行電子羅盤校正程序、電子羅盤與車體間之定向試驗及雜訊干擾試驗等，將另文詳述。



圖一、編碼器接線圖。
Fig. 1. Layout of rotary encoders.



圖二、二只編碼器有相同感測性能。
Fig. 2. Two encoders have similar performance.



圖三、電子羅盤接線圖。

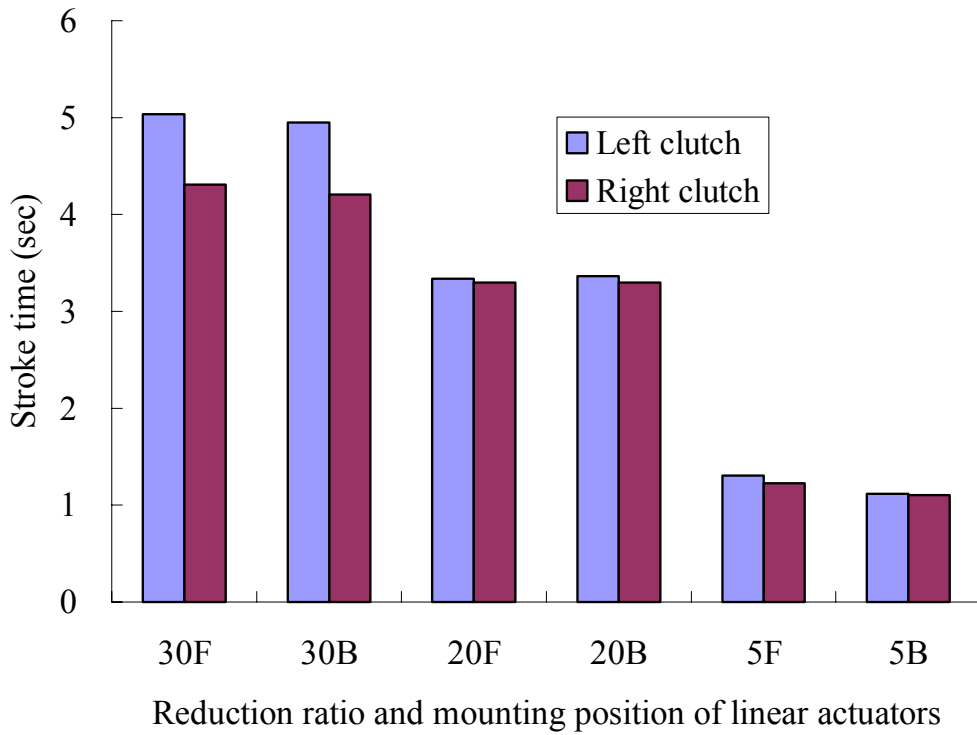
Fig. 3. Layout of electronic compass.

電動缸致動及近接開關位置感測數位輸出入性能試驗

一、電動缸直線致動器操控性能試驗

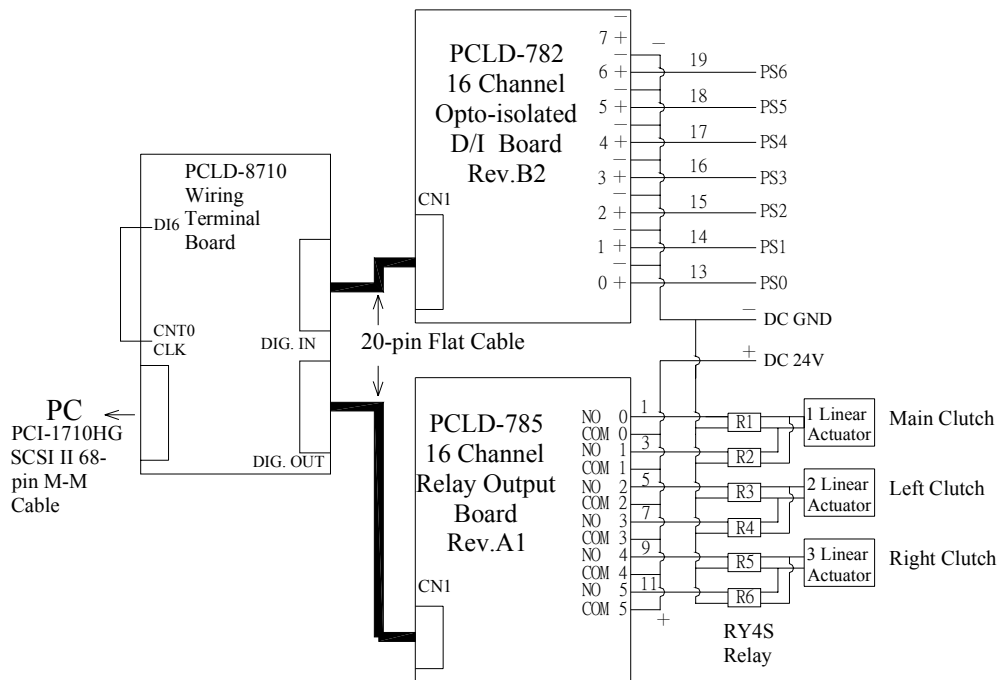
電動缸的直線致動功能可以取代操作者手動操縱離合器，IMD3系列的電動缸的致動行程為2" (約5 cm)，四種規格的電動缸減速比分別為30、20、10及5，電動缸及離合器鋼索分別裝設在槓桿機構兩端，用計時器量測前進及後退行程的致動時間，每一條件重複試驗5次，試驗結果如圖四所示，圖中水平軸為電動缸減速比與電動缸裝設位置，垂直軸為電動缸伸縮5 cm行程的時間。水平軸每組直方圖的數字表示減速比，英文字母F表示前進，B表示後退。分析圖中直方圖分布，顯示相同規格的電動缸驅動左側轉向離合器所需時間較右側久，由於直流電動馬達具有負荷與轉速成反比的特性，因此可以判定左側轉向離合器的作動阻力比較大，與表一用拉力計測量結果相符。從不同規格電動缸實際裝設試驗結果得知減速比為5的電動缸可以有效的透過槓桿驅動轉向離合器，並且行程時間比減速比為30的電動缸節省70%，此一結果對轉向操控性能助益極大。

控制系統透過PCI-1710HG多功能介面卡、及圖五的PCLD-8710數位類比輸出入配線板的數位輸出端子及PCLD-785繼電器輸出板的channel 0到 channel 5等6個輸出點，一支電動缸的正逆轉需要二個繼電器控制，因此每二點為一組，分別控制主離合器電動缸、左轉離合器電動缸及右轉離合器電動缸的動力離與合。



圖四、不同規格及裝設位置之電動缸的行程時間比較。

Fig. 4. Stroke time of linear actuator for different gear ratio.



圖五、PCLD-8710 數位類比輸出入配線板訊號配線圖。

Fig. 5. Layout of PCLD-8710 digital/analog input and output board.

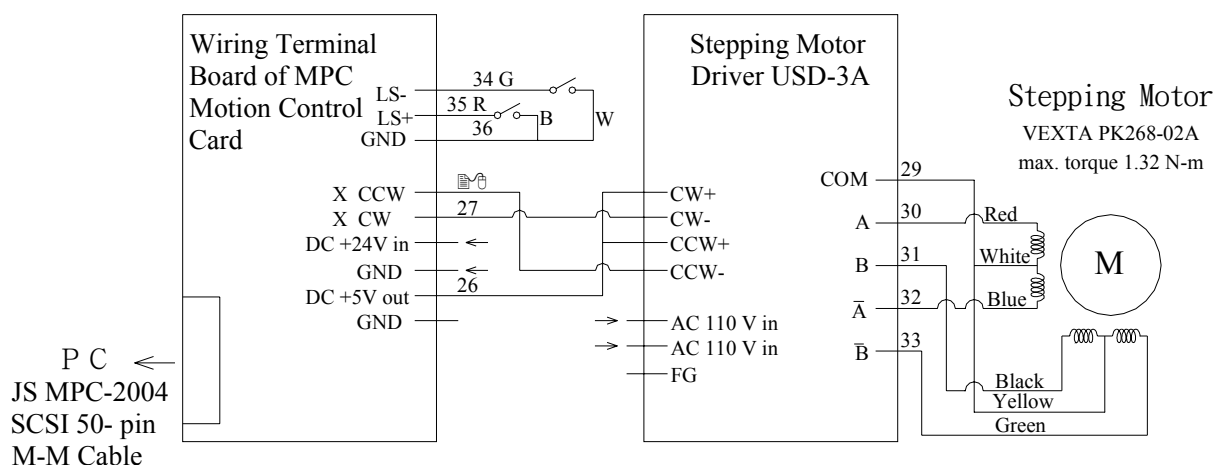
二、近接開關位置感測之數位輸入性能試驗

位置感測之近接開關(KFPS TL-E5PE1)外型呈方形，每支電動缸配合二只近接開關以感測離合器的離和合位置，共使用6個近接開關感測電動缸驅動的槓桿位置。所感測的DC 24V PNP訊號與PCLD-782光藕隔離數位輸入配線板連接，如圖五所示，配線板共有編號0到5等6個數位輸入點，並由此配線板轉成DC 5 V訊號，再接到PCLD-8710配線板的數位輸入端子，經由SCSI II 68 pin公對公訊號傳輸線，即可由PCI-1710HG多功能介面卡擷取電動缸及離合器的離和合位置訊號。

步進馬達操控測試

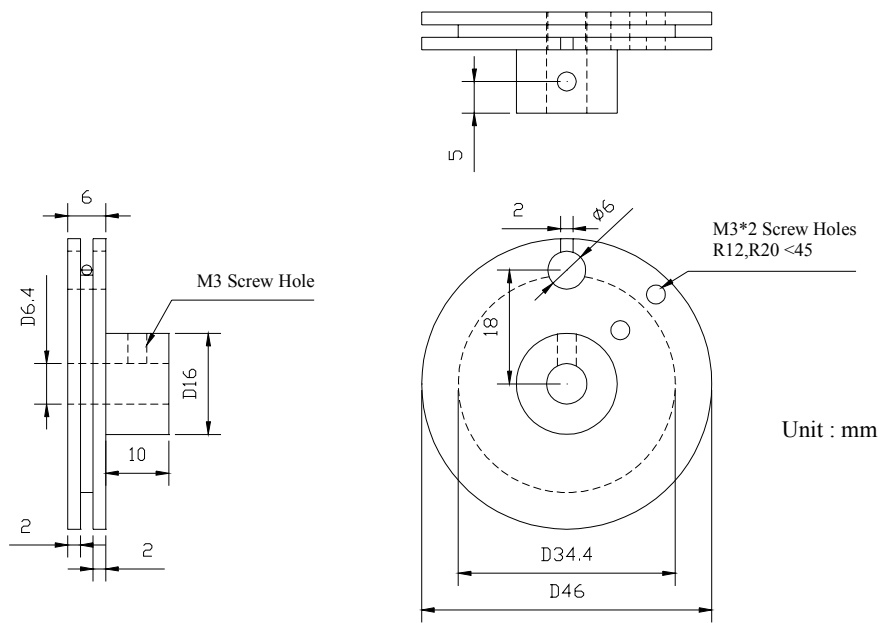
步進馬達控制硬體線路如圖六所示，步進馬達驅動器設定為雙脈波，步進角為0.9°之控制模式，因此輸出400個脈波時步進馬達旋轉一圈360°。引擎油門桿操縱範圍約18 mm，設計圖七的油門鋼索驅動輪，油門鋼索驅動輪驅動油門鋼索之半徑為18 mm，由弧角公式 $s = r\theta$ 可求出其應有的旋轉角度為57.3°，欲產生此一旋轉角度，步進馬達需輸出脈波數為64個脈波，為了避免油門鋼索驅動輪對油門造成過量的施力，因此設定引擎油門桿操縱範圍之步進馬達輸出脈波數為60個脈波。當步進馬達每次旋轉20個脈波，三次計60個脈波可以控制油門由惰速到最高速，因此設定四個油門位置，分別為1、2、3、4，對應油門桿位置分別為0.0 mm、6.2 mm、12.5 mm及18 mm。

圖控程式透過運動控制介面輸出操作者設定的脈波控制訊號，控制步進馬達旋轉速度、旋轉方向及旋轉量，以操控引擎油門在四個設定位置。



圖六、步進馬達驅動迴路接線圖。

Fig. 6. Layout of stepping motor.



圖七、引擎油門控制鋼索驅動輪。

Fig. 7. The driving winch for throttle valve of gasoline engine.

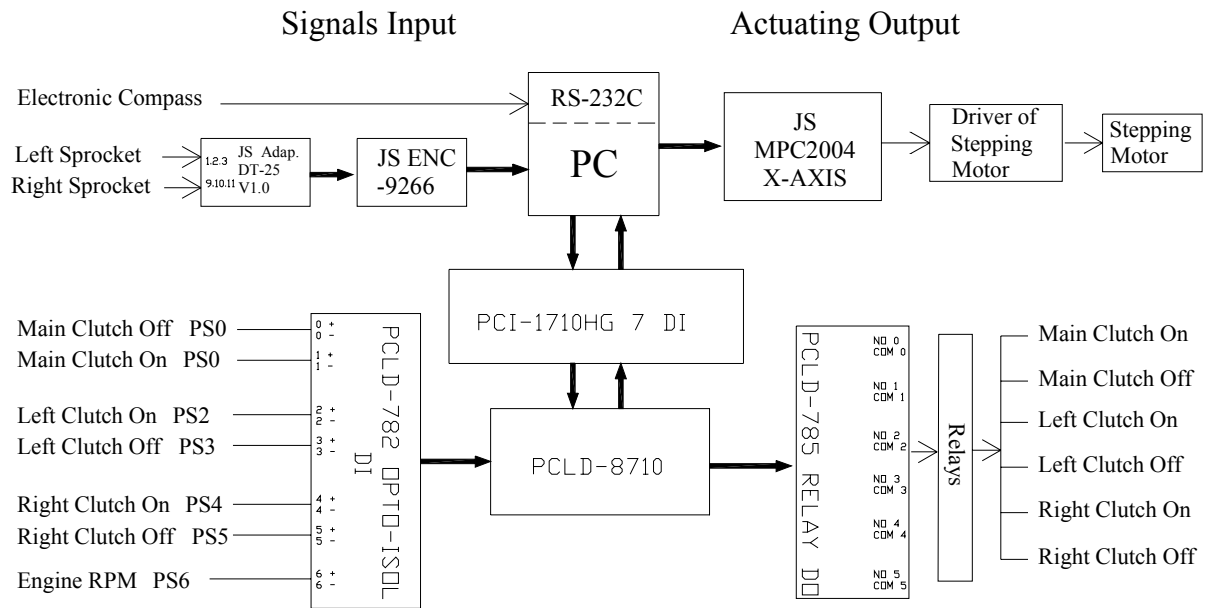
控制系統整合試驗

農用履帶車控制系統整合以上各輸出入功能如圖八所示，其中電動缸有三組，分別控制三組離合器，第一組電動缸控制引擎出力軸到變速箱之間的皮帶式主離合器，其屬於常開(normal open)狀態，平時保持動力分離；另二組電動缸分別控制位於變速箱上的左右轉向離合器，屬於常閉(normal close) 狀態，平時保持動力接合。

電動缸為產生直線位移量的致動元件，由直流馬達驅動，經由內部蝸桿機構將馬達旋轉運動轉變為直線運動，因此電動缸的控制方法為控制缸體上直流馬達的正逆轉向，即可達成致動缸體的前進及後退之直線位移，而馬達正逆轉向可由二只繼電器分別控制，繼電器線圈則受數位輸出訊號控制，此數位訊號由控制電腦之輸出介面輸出DC 0~5V位準之數位訊號，但是繼電器之位準為DC 0~24V，必須在其間加入另一組繼電器，此繼電器線圈接受DC 5V訊號而激磁，而繼電器接點則作為DC 24V電路之控制接點。

控制汽油引擎油門大小的步進馬達，由電腦上ISA介面的運動控制介面卡、外部配接板及步進馬達驅動器等構成步進馬達控制迴路。步進馬達驅動器在此扮演運動控制訊號轉介及驅動電源供應的角色。

整合後之PC-based控制系統，採用LabVIEW圖控軟體設計控制程式，試驗結果可以順利擷取輸入訊號及輸出致動訊號，履帶車能夠按照設定參數自走前進及轉彎，便於進行後續之轉彎半徑、轉彎控制時間與車體轉彎角度之關係、及行走軌跡等行走性能試驗。



圖八、用履帶車 PC-based 控制系統示意圖。

Fig. 8. PC-based control system layout of crawler autonomous.

誌 謝

本研究承蒙財團法人中正農業科技社會公益基金會 88-中基-農-13補助計劃經費，本場簡茂村、李安心及謝佐易三位先生在機構組裝繪圖、吳惠珍及賴碧琴二位小姐在文稿打字上的協助，俾使研究工作得以順利進行，在此一併致謝。

參考文獻

1. 行政院農業委員會農業試驗所 2000 水稻精準農業體系之研究 p.1-105 台中縣。
2. 朱元南、陳文杰 1994 應用於農業機器人的自走式車輛的研製 農業機械學刊 3(2):1-9。
3. 李宜達 1996 基於DSP之自動導引車路徑追蹤控制器設計與實驗 p.47-65 國立交通大學控制工程學研究所碩士論文。
4. 周瑞仁、蔡俊智 1994 在速度限制下及農業環境中自動導引車之軌跡規劃 農業機械學刊 3(4):47-56。
5. 財團法人農業機械化研究發展中心 1998 農漁牧產業自動化專輯 第三輯 p.1-75 農業自動化叢書(9) 財團法人農業機械化研究發展中心出版。
6. 陳令錫 2000 農用履帶車輛導引控制系統之研究 p.36-84 國立中興大學農業機械工程學研究所 碩士論文。
7. 莊士良 1998 農用自動車行走導引之研究 p.18-61 國立中興大學農業機械工程學研究所 碩士論文。

8. 曾如參 1999 採果用自動行走車之研製 p.46-79 國立中興大學農業機械工程學研究所碩士論文。
9. 盧世昌 1996 無人化農用自走車之直行控制系統 p.67-82 國立中興大學農業機械工程學研究所 碩士論文。
10. 韋學軍、高井宗宏、南部悟 1990 低速無人作業機の自動操向制御に関する研究（第一報）日本農業機械學會誌 52(5):19-26。
11. 倉田和彦、中野和弘、金子昌彦、安達仁 1993 農用自律走行車輛の制御に関する研究（第一報）日本農業機械學會誌 55(2):23-32。
12. Cho, S. I., J. Y. Lee and Y. S. Park. 1999. Autonomous speed sprayer using DGPS, Gyrosensor and GIS. Paper ASAE No. 991046 Annual International Meeting, Toronto Canada.
13. Iwasaki, K., Y. Miyabe and K. Ikehara. 1997. Development of navigation system for farm tractors using the DGPS. p.161-166. Proceedings of International Symposium on Agricultural Mechanization and Automation. Chinese Institute of Agricultural Machinery, Taipei, Taiwan.
14. Rintanen, K., H. Makela, K. Koskinen, J. Puputti, M. Sampo and M. Ojala. 1996. Development of an autonomous navigation system for an outdoor vehicle. Control Eng. Practice 4:499-505.

Study on the PC-based Control System of Agricultural Carrier¹

Ling-Hsi Chen² and Tshen-Chan Lin³

ABSTRACT

An autonomous vehicle, which is navigated by a PC-based control system, was developed in this study. This vehicle consists of one crawler chassis, two sprockets, two rubber crawlers, one gear-type transmission and one 6-hp gasoline engine. This vehicle is driven by rear-wheel sprockets. The PC-based control system was composed of stepping motor, motion controller, digital input/output modules, rotary encoders and electronic compass module. The signals are detected and actuated by the application software, which was coded in LabVIEW graphical programming language. The detected signals include the speed of engine output shaft, clutch position, rotation angle of the sprockets and the vehicle's orientation. The actuated signals include the steps of the stepping motor that represented the position of engine throttle valve, and the on/off of three clutches. Three clutches are main power pulley clutch, left-hand side and right-hand side turning clutches. The crawler carrier can move and turn on time automatically, which is manipulated by the PC-based control system.

Key words: agricultural carrier, automatic control, electronic compass

¹ Contribution No. 0501 from Taichung DAIS.

² Assistant of Taichung DAIS.

³ Professor of National Chung Hsing University.