

方位感測器於農用履帶車輛導引之應用¹

陳令錫²、林聖泉³

摘 要

本研究探討農用履帶車輛裝置方位感測器之導引性能，供試車體為後輪驅動式農用履帶車，利用PC-Based控制系統達成車體自走目的。TCM2-50電子羅盤受雜訊干擾之試驗顯示，電子羅盤距車架高度140 cm以上，受車體電氣控制系統及汽油引擎干擾最小，引擎運轉確有增加雜訊干擾情形發生。履帶車行進速度15 m/min時，自走前進30 sec車體方位角有7°的變動；自走前進5 sec、左轉5 sec及轉彎後前進8 sec之試驗，車體向左轉彎33°，兩項試驗有一共同結果，為車體行進間的方位角試驗數值約有±30°之變動，此種方位角跳動現象係車體結構及行進間車體振動所致，改善車體結構，使車體之自然頻率與工作頻率避開TCM2-50電子羅盤基板上液態傾斜感測裝置標準液之自然頻率，則電子羅盤之可用性將大幅提高。另一種方位角檢測裝置是慣性量測儀IMU400CA，根據試驗結果顯示，車體行進過程中所量測之方位角無嚴重變動情形，方位角變化呈線性變動，顯示量測之穩定性較高，可作為履帶車導引之用。

關鍵字：履帶車、導引、電子羅盤、慣性量測儀。

前 言

台灣在最近幾年採用電子羅盤作為自走車方向感測導引控制之研究頗多，李⁽¹⁾表示電子羅盤感測模組可獲得方位角及傾斜角，其中傾斜角又可分為滾動角(roll)及滾斜角(pitch)，其解析度為0.1°，精確角度為±0.2°。自動導引車上可獲得的感測資料，包括編碼器的驅動輪轉動角度及電子羅盤的車子偏轉方向角，利用卡爾曼濾波器進行資料融合。所謂卡爾曼濾波器是利用所有可量測得到的資料，對系統的狀態進行最佳化估測的一種遞迴演算法則，這些量測資料的精確與否並不重要。陳⁽⁵⁾藉由全球定位系統、電子羅盤和立體視覺的結合，擷取影像資訊並定位出其在空間中的絕對座標。孫⁽⁸⁾結合了全球定位系統(GPS)、電子羅盤、無線通訊及模糊控制器來完成模型車之自動導航控制系統設計。施⁽⁴⁾利用全球定位系統配合差分修正訊號(DGPS)及TCM2電子羅盤，發展一套模型車之自動導控系統。吳⁽²⁾利用電子羅盤、超音波距離感測器等感測元件，發展自動導航車之自我定位系統。曾⁽¹¹⁾研製採果用自動行走車，

¹ 台中區農業改良場研究報告第 0519 號。

² 台中區農業改良場助理。

³ 國立中興大學農機系教授。

利用電子羅盤和伺服馬達之編碼器導引自走車，並利用超音波感測器偵測障礙物，維持車體方向與目標成一直線，在前進過程中，電腦持續推算車體之座標以及航向，並和電子羅盤所偵測到的實際航向做比對，判斷後再進行修正。由此可知，電子羅盤在自動導引控制系統之訊號輸入上扮演重要的角色，並且電子羅盤訊號的可靠度影響導引正確與否，因此選用合適之電子羅盤與正確的操作過程更為重要。盛等人⁽¹⁰⁾表示電子羅盤是以地球磁場作為方位基準的磁場型感測器，但由於地球磁場強度很微弱，電子羅盤很容易受到外界磁場干擾產生誤差，因此在使用上需依據電子羅盤所提供的校正程序作校正，以彌補週遭磁場影響所造成的誤差。莊⁽⁹⁾利用電子羅盤來偵測車身角度並進行轉彎試驗，探討影響電子羅盤穩定性的主要因素，這些因素包括振動及磁場干擾，結果顯示，水平狀態下機體在0~120 Hz振動頻率範圍，電子羅盤的精度在 $\pm 1^\circ$ 之間；磁場干擾方面，距離磁力源至少應在43 cm以上，始能有效減輕干擾效應。盛等人及莊提出在使用電子羅盤時，需考量訊號強度及振動的影響，但是對電子羅盤使用方法及性能分析之資料未臻完整。台中區農業改良場與中興大學合作開發農用履帶車輛導引控制系統之研究^(6,7)過程中，發覺履帶車行進間電子羅盤測得的方位角變動範圍太大，因此本篇將詳細說明電子羅盤之使用方法與使用中應注意事項，希望報告內容足以提供相關試驗人員之參考。

電子羅盤作用原理

大約在四千年前中國人便發明了羅盤(Boll and Overshott)⁽¹²⁾，羅盤可以反應出地球磁場方向，可視為第一個磁力感測器，後人進一步應用感測自然磁力作為定向工具。磁力感測的基本原理為磁電流效應(galvanomagnetic effects)，磁電流效應為帶電載子在凝縮(condensed)物質內受勞倫茲力(Lorentz force)作用造成的現象，磁電流效應分成2個類型：

1. 磁阻效應(magnetoresistive effect)

磁阻效應為材料受磁場影響而使電阻係數增加的現象。基本原理為半導體內帶電自由載子(free charge carrier)受到與運動方向及磁通密度方向垂直的勞倫茲力影響而偏向，此載子最後碰撞結晶格子，發生電流方向旋轉，導致電流路徑長度增加，而增加材料電阻係數。這些效應僅發生在具有高的載子移動性及低的自由載子集中效果的半導體材料內。

2. 霍爾效應(Hall effect)

在均質半導體材料內之帶電載子受磁場作用，將產生內部電場與勞倫茲力的磁力部份達成平衡。此電場稱為霍爾電場(Hall field)，勞倫茲力可以表示如下：

$$F = eE + e(V * B)$$

式中e:帶電載子電量(電子 $e = -q$ ，電洞 $e = q$ ， $q = 1.6 \times 10^{-19}$ coul)；

E:電場強度(N/coul)；

V:載子移動速度(m/sec)；

B:磁感應強度(又稱磁通密度，單位Tesla， $T = \text{Weber/m}^2$)。

材料與方法

試驗設備

一、履帶車

- (一)履帶車底盤：主結構由二條寬10 cm履帶及底盤構成，以6PS四行程汽油引擎為行走動力源。
- (二)履帶車控制系統：本研究利用工業級電腦進行各項控制，電腦之CPU為Pentium 450 MHz，結合運動控制卡、多功能輸出入卡、編碼器介面卡等構成完整控制系統，除了檢測TCM2-50電子羅盤、編碼器及近接開關等訊號外，經系統計算與判斷後輸出離合器控制訊號及步進馬達脈波訊號。

二、訊號輸出入元件

(一)輸入元件

- 1.電子羅盤：型號為TCM2-50，由Precision Navigation公司出品，詳細規格如表一，主要功能為感測地球磁場，提供方位訊號，作為行進方向判斷之依據。
- 2.慣性量測儀：型號為IMU400CA，由Crossbow公司出品，可輸出三軸加速度及角度變化率之類比或數位訊號。
- 3.編碼器：檢測履帶驅動輪旋轉角度及速率。
- 4.近接開關：檢測引擎轉速及電動缸操作位置。

(二)輸出元件

- 1.電動缸：使用IMD3系列電動缸，工作電壓為DC 24 V，作業行程50.8 mm，減速比1/10及1/5，出力為240 N及120 N，利用此電動缸操作離合器之離合。
- 2.步進馬達：利用步進馬達調整引擎油門大小，控制引擎轉速。

表一、電子羅盤規格表

Table 1. Specification of TCM2-50 electronic compass.

Manufactory Model Size		Precision Navigation TCM2- 50 2.5 x2.0 x1.05cm
Heading information	Level	±1.0°RMS
	Tilted	±1.5°RMS
	Resolution	0.1°
Tilt information	Accuracy	±0.4°
	Resolution	0.3°
	Range	50°
Power requirements	Voltage	DC 5V or 6 ~ 25 V
	Current	15 ~ 20 mA
Interface	Digital	RS- 232C
	Analogue	0~5 V linear Resolution 19.53 mV, 8 bit

試驗方法

一、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、仰俯角及側滾角資料，其中方位角為方向導引之主要感測數據，提供與地磁N方向之角度變化。參考農用履帶車輛PC-based控制系統之開發研究⁽⁶⁾報告中電子羅盤接線圖，將原廠10條電線的纜線分別與電源線以及PC的RS-232C串列埠連結，其中紅線(第2支接腳)與黑線(第3支接腳)分別與電源的正負極連接，藍線(第4支接腳，RxD)功能為接收訊號，黃線(第5支接腳，TxD)功能為傳送訊號，綠線(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(TxD)、第2支接腳(RxD)及第5支接腳(GND)連接。

完成線路連結後進行電子羅盤校正程序，根據TCM2電子羅盤使用手冊⁽¹³⁾，TCM2校正結果的格式為"[...HnVnMn.nn....]"，其中HnVn代表系統周圍磁場的水平及垂直分量的校正品質，數值n愈高反映愈高的品質。而Mn.nn代表周圍磁場的大小，數值大代表周圍磁場強，如果周圍磁場小，僅須進行小量的修正，對地磁儀動態影響範圍較小，當數值大於30.0表示在TCM2位置有強的磁場，必須考慮改變安裝位置。本研究利用地磁儀的輸出找機台上最小磁場的位置，初步校正之結果為H9V8M5.32，電子羅盤安裝位置具有良好的周圍磁場，水平及垂直分量的校正品質亦呈現周圍磁場不大。

執行應用LabVIEW (Ver. 5.1)圖控軟體開發的Compaserial.vi圖控程式，透過RS-232C串列埠介面擷取電子羅盤的方位角訊號，此訊號為ASC 格式，將擷取資料呈現在電腦螢幕並結合取樣時間，儲存在硬碟中，作為行走控制程式應用之基本資料。

試驗用履帶車之行走動力來自汽油引擎，必須探討汽油引擎在點火過程所產生的高壓訊號及電腦控制系統迴路的電磁波，是否會對電子羅盤造成干擾，因此進行電子羅盤定向試驗及雜訊干擾試驗。

二、履帶車行走試驗

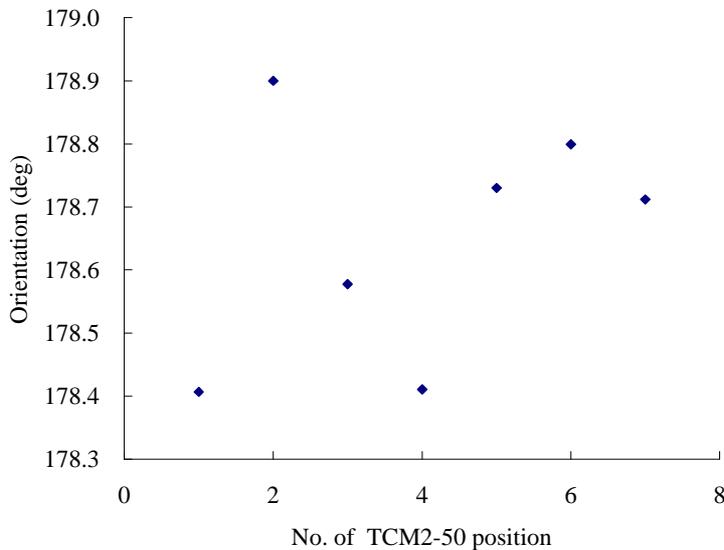
履帶式農用自走車組裝完成後，利用LabVIEW圖控軟體，發展控制及訊號擷取程式，配合機體與控制系統硬體進行行走試驗，藉由設定行走方向、行走時間等控制參數，驅動致動元件使得履帶車前進、後退及轉向，達到控制車體行走之同時進行電子羅盤方位角之量測，藉此測試電子羅盤之功能，並進一步探討電子羅盤在車體行進控制之可行性。

結果與討論

一、電子羅盤定向試驗

每次試驗前均需進行電子羅盤校正，校正結果為H9V9M 3.2，顯示電子羅盤週遭環境良好。

試驗時先建立基準線，將長約3.8 m塑膠繩兩端於地上固定拉緊成一直線，電子羅盤長邊靠近塑膠繩，取得與此線段一致的方向，再執行圖控程式Compaserial.vi擷取電子羅盤方位角訊號，進一步針對基準線上不同的7個位置分別各取100筆數據，取各位置之平均方位角，試驗結果如圖一，計算出此基準線方位角平均值為 178.6° ，標準差為 0.176° 。



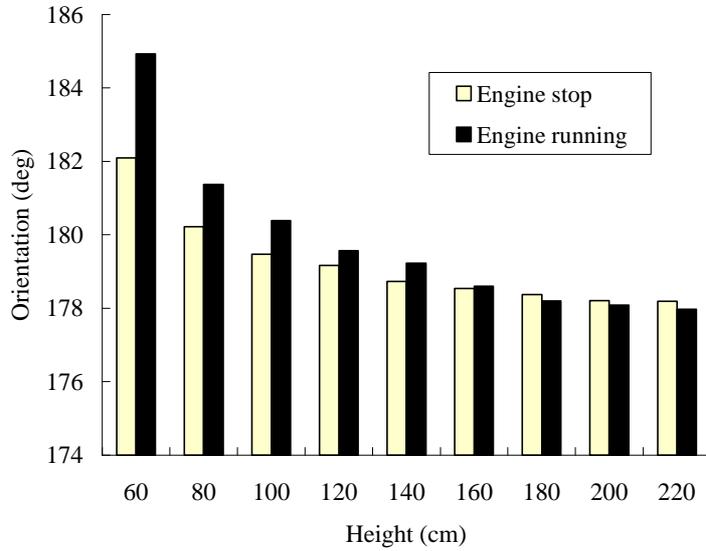
圖一、電子羅盤於固定方向之方位角穩定性試驗分佈圖。

Fig. 1. Stability testing data of TCM2-50 electronic compass at seven positions in same direction.

二、雜訊干擾試驗

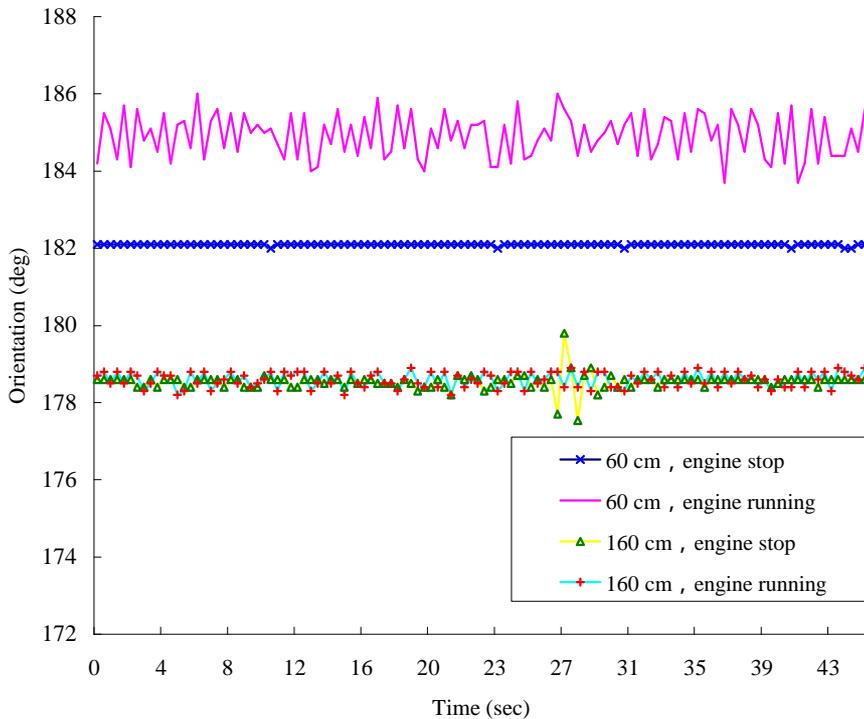
電子羅盤受雜訊干擾之試驗資料分析結果如圖二及圖三所示，圖二為電子羅盤於距車架上層隔板60 cm及160 cm高度，引擎啟動運轉與否之方位角變化，顯示60 cm高度受到嚴重干擾，引擎啟動運轉時之方位角平均值為 184.92° ，標準差為 0.56° ，引擎靜止時檢測之方位角平均值為 182.09° ，標準差為 0.02° 。因此，引擎運轉對電子羅盤造成一些雜訊干擾；將電子羅盤放到160 cm高度，引擎啟動運轉時檢測之方位角平均值為 178.60° ，標準差為 0.19° ，引擎靜止時檢測之方位角平均值為 178.54° ，標準差為 0.21° ，因此將電子羅盤遠離引擎，可以得到較小的干擾。

前者僅分析電子羅盤距車身上層隔板60 cm及160 cm高度之試驗情況，需要進一步探討電子羅盤放在哪一種高度的效果最好，因此將電子羅盤分別自60 cm到220 cm，每間隔20 cm的位置進行試驗，方位角同樣為 $178.6^\circ \pm 0.176^\circ$ 。圖三顯示電子羅盤在不同高度受引擎及電控系統干擾情形下檢測之方位角平均值變化。引擎不發動時，距車架上層隔板高度120 cm以下範圍，電子羅盤受電控系統雜訊嚴重干擾；引擎發動運轉在油門3位置，距車架上層隔板高140 cm以下範圍，電子羅盤受汽油引擎及電控系統雜訊嚴重干擾，因此



圖二、電子羅盤於 60 cm 及 160 cm 高度，引擎啟動運轉與否之方位角變化。

Fig. 2. Orientation detected by TCM2-50 electronic compass at 60 cm and 160 cm of height when the engine is running or stops.



圖三、電子羅盤在不同高度受引擎及電控系統干擾情形。

Fig. 3. Orientations detected by TCM2-50 electronic compass, at different height, were interfered by the engine and electric control system.

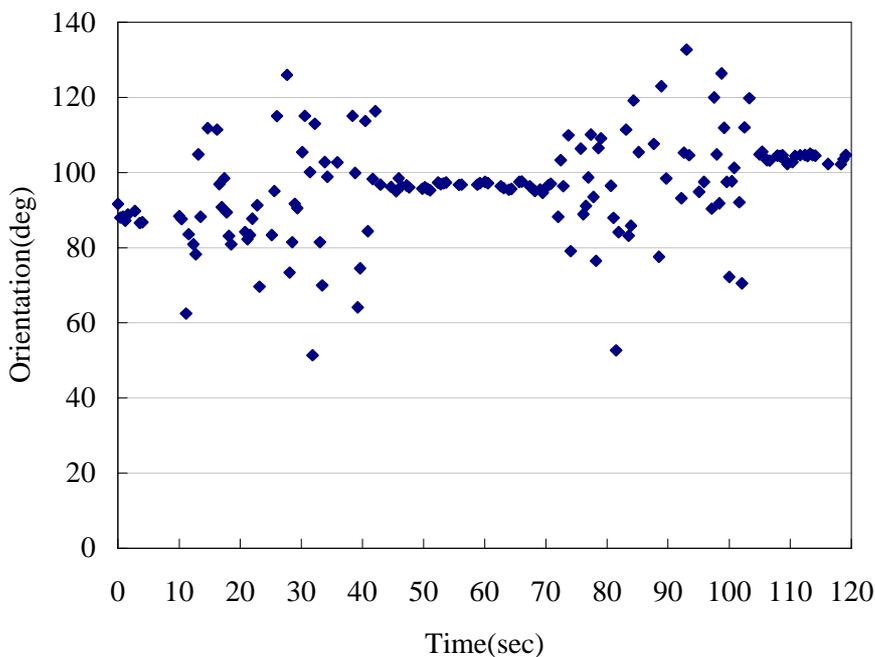
電子羅盤裝設在140 cm以上高度處才有較佳效果，但是高度太高則會有較大振動現象。綜合考量電控系統及汽油引擎干擾與振動等各因素之影響，本研究選定距車架上層隔板高110 cm處為電子羅盤裝設高度。

由以上試驗結果可知，電腦、控制系統、鐵材車架及汽油引擎對電子羅盤會造成程度不一的干擾現象。

三、履帶車行走過程之電子羅盤方位角感測結果

(一)前進30 sec二次之方位角變化

履帶車變速箱設定為前進一檔，引擎油門設於最低位置，車速15 m/min，試驗前進30 sec，停留約30秒後，再次進行相同時間之試驗，試驗完成後車體自動停止，其後仍然繼續檢測方位角及編碼器資料一段時間。試驗結果如圖四所示。圖中顯示前進二次之車體方位角數據分別為89°、96°及104°，顯示在不加任何轉向之操作條件下，車體自行前進30 sec，車體會有右偏現象，每次方位角變化量約7°至8°，並且電子羅盤在車體行進中測得的方位角在60°與120°之間跳動，變動範圍約 $\pm 30^\circ$ ，此結果顯示，電子羅盤容易受到干擾，這干擾源應是履帶車在行進中所造成機體搖晃，而致使電子羅盤訊號不穩定；車體右偏現象為車身底盤結構問題所致。



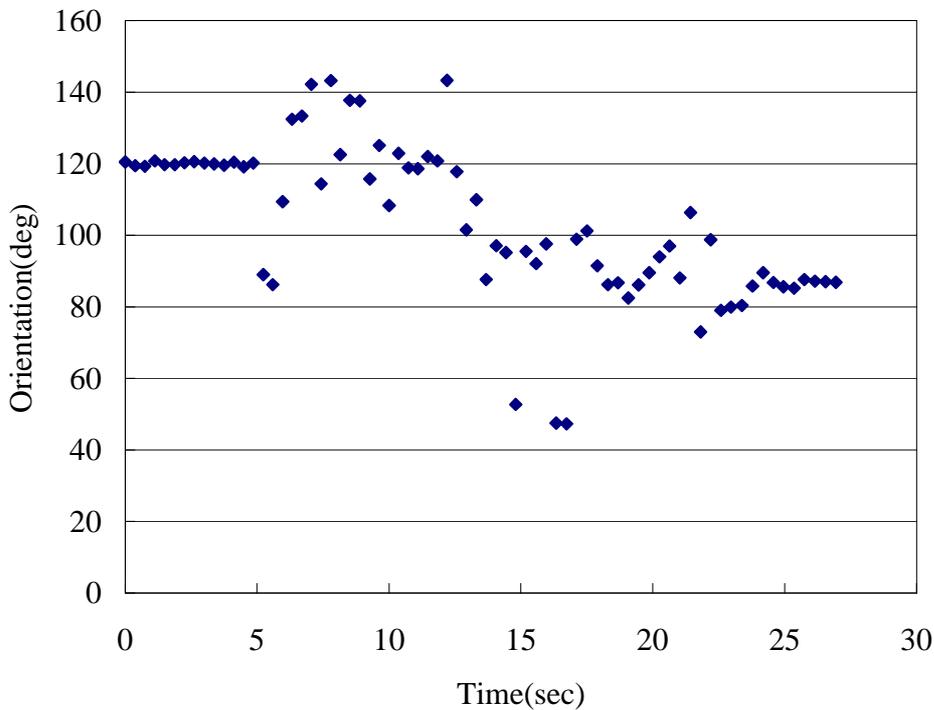
圖四、履帶車以一檔前進 30 sec 二次之方位角變化

Fig.4. The fluctuation of orientation was detected by TCM2-50 electronic compass of the carrier, which heads forward at lower speed for 30 sec twice.

(二)自走前進5 sec、左轉5 sec及轉彎後前進8 sec之方位角變化

履帶車前進一檔引擎油門於最低位置，前進5 sec、左轉5 sec及轉彎後前進8 sec之試驗，履帶車方位角變化如圖五所示，圖中前五秒履帶車在原地停留，試驗前車體方位角為 120° ，轉向之後車體方位角為 87° ，車體共左轉彎 33° 。行進及轉彎過程中，電子羅盤測得的方位角數值變化範圍約 $\pm 30^\circ$ ，圖中第15 sec起至第23 sec為轉向後直行的方位角感測資料，其平均值為 86.6° ，標準差 15.3° ，此結果與履帶車前進30 sec二次之試驗結果類似，電子羅盤之訊號受到干擾，此干擾的來源可以更確定來自車體行進晃動所致。

綜合以上行走試驗結果，行進間來自電子羅盤之方位角訊號不太穩定，需進一步改善才可作為履帶車導引使用。



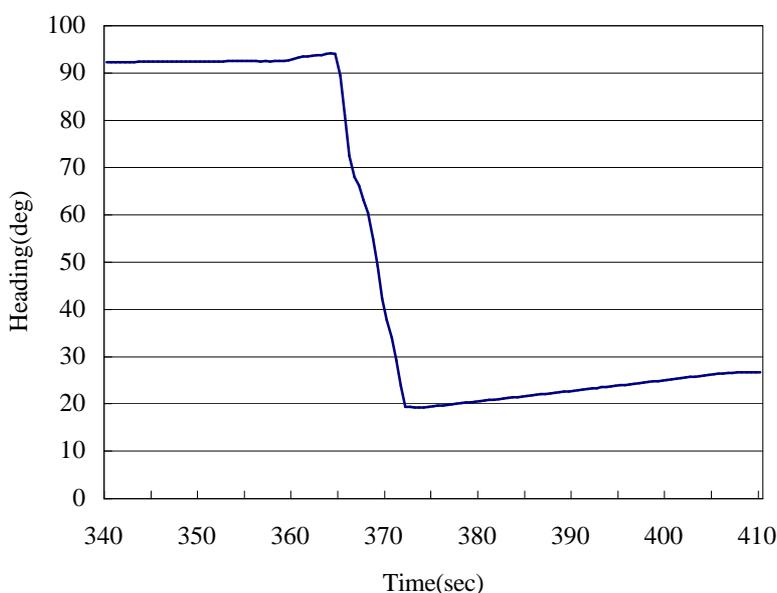
圖五、自動前進 5 sec、左轉 5 sec 及前進 8 sec 之 TCM2-50 方位角變化。

Fig. 5. The fluctuation of orientation was detected by TCM2-50 electronic compass of the carrier at lower speed with 5 sec forward, 5 sec left turn and 8 sec forward.

四、慣性量測儀IMU400CA履帶車行走過程之電子羅盤方位角感測結果

慣性量測儀IMU400CA裝置於車體控制箱面板平面上，履帶車低速自動前進5 sec、左轉8 sec及左轉後前進30 sec之方位角變化如圖六所示，圖中顯示前進5 sec及30 sec均有方位角增加

(車身右偏)情形發生，其中前進30 sec之方位角由 19° 變成 27° ，角度變化量 8° 與圖四之結果相同，此係車體底盤結構問題所造成車體直行性能不佳所致；左轉8 sec之方位角由 94° 變成 19° ，角度變化量為 75° 。以上試驗過程中量測之方位角無嚴重變動情形，方位角呈線性變動，顯示量測之穩定性較高。本試驗同時測得車體垂直軸(Z軸)最大振動加速度為 1.4 g 。



圖六、自動前進 5 sec、左轉 8 sec 及左轉後前進 30 sec 之 IMU400CA 方位角變化。

Fig. 6. The fluctuation of orientation was detected by IMU400CA electronic compass while the carrier at lower speed with 5 sec forward, 8 sec left turn and 30 sec forward.

結論與建議

TCM2-50電子羅盤定向試驗，於固定方向之基準線，獲得方位角平均值為 178.6° ，標準差為 0.176° 。

電子羅盤受雜訊干擾之試驗，顯示電子羅盤距車架上層隔板高度140 cm以上，受車體電氣控制系統及汽油引擎干擾最小。60 cm高度處引擎啟動運轉時量測之方位角平均值為 184.92° ，標準差為0.56，引擎停止時量測之方位角平均值為 182.09° ，標準差為0.02，從60 cm至160 cm高度範圍內，均有引擎運轉導致雜訊干擾增加的情形。

本研究之履帶車行進速度15 m/min時，自走前進30 sec二次，方位角變化試驗結果顯示，在不加任何轉向之操作條件下，車體會有右偏現象，方位角變化量約7°至8°；履帶車自走前進5 sec、左轉5 sec及轉彎後前進8 sec之方位角變化顯示，車體行進及轉彎過程中電子羅盤測得的方位角數值變化範圍約±30°，自走前進30 sec二次之試驗亦有相同結果，這些方位角跳動現象係車體結構及行進間車體振動所致，改善車體結構應是解決辦法之一。

TCM2-50電子羅盤電路板上有一個液態傾斜感測裝置，標準液之自然頻率為20 Hz，車體結構之自然頻率與工作頻率應避開此頻率，則電子羅盤之可用性將大幅提高。

另一種方位角檢測裝置是慣性量測儀IMU400CA，根據試驗結果顯示，車體行進過程中所量測之方位角並無嚴重變動情形，方位角變化呈線性變動，顯示量測之穩定性較高，可作為履帶車導引之用。

參考文獻

1. 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 國立交通大學控制工程學研究所 碩士論文。
2. 吳佳儒 1998 自動導航車之自我定位系統設計 國立雲林科技大學電機工程技術研究所碩士論文。
3. 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。
4. 施銘鏞 2000 DSP主控之模型車自動導控系統 國立中央大學電機工程研究所碩士論文。
5. 陳韋戎 2001 整合全球定位系統與立體機器視覺之空間製圖系統 國立臺灣大學生物產業機電工程學研究所碩士論文。
6. 陳令錫、林聖泉 2001 農用履帶車輛PC-based控制系統之開發研究 台中區農業改良場研究彙報 68: 31~41。
7. 陳令錫 2000 農用履帶車輛導引控制系統之研究 國立中興大學農業機械工程學研究所 碩士論文。
8. 孫培華 1997 模型車自動導航控制系統設計 國立台灣大學應用力學研究所碩士論文。
9. 莊士良 1998 農用自動車行走導引之研究 國立中興大學農業機械工程學研究所 碩士論文。
10. 盛中德、莊士良、李春壽 1999 電子羅盤與自動導引車之應用 農業機械學刊 8(1):39-48。
11. 曾如參 1999 採果用自動行走車之研製 國立中興大學農業機械工程學研究所 碩士論文。
12. Boll, R. and K. J. Overshott. 1989. Sensors — A Comprehensive Survey. Magnetic Sensors. Vol. 5. New York: VCH Publishers Inc.
13. Precision Navigation Inc. 1998 TCM2 Electronic Compass Module User's Manual. USA.

The Application of Orientation Device to Agricultural Crawler Carrier Guidance¹

Ling-Hsi Chen² and Tshen-Chan Lin³

ABSTRACT

This study investigated the guiding performance of agricultural crawler carrier with orientation devices. The carrier was driven by rear-wheel sprocket with 6.0 hp gasoline engine, and manipulated by a PC-based control system. The TCM2-50 electronic compass had minimum noise interference when it was fixed above the upper plate 140 cm of height. Engine running was one of interference factors. The self-propelled carrier ran forward in 30 sec when the speed of carrier was 15 m/min, and the orientation output from TCM2-50 electronic compass was deviated about 7°. The deviation was 33° when the carrier was at the same speed with 5 sec forward, 5 sec left turn and 8 sec forward. The fluctuation of orientation was about $\pm 30^\circ$ when carrier was moving, due to the structure of carrier and vibration. The natural and working frequencies of carrier should be kept away from the natural frequency of TCM2-50 electronic compass. Another tested device was the inertial measurement unit IMU400CA, its orientation output was linear without fluctuation. The result showed that IMU400CA was capable of resisting vibration and noise of crawler carrier system.

Key words: crawler carrier, guidance, electronic compass, inertial measurement unit

¹ Contribution No. 0519 from Taichung DAIS.

² Assistant of Taichung DAIS.

³ Professor of National Chung Hsing University.