

# 15 GPS自動噴藥機之開發—田間定點定量施噴作業

廖盈達<sup>1</sup> 葉仲基<sup>1</sup> 梁連勝<sup>2</sup>

<sup>1</sup>國立台灣大學生物產業機電工程學系

<sup>2</sup>行政院農業委員會農業試驗所農工組

E-mail:ckye@ccms.ntu.edu.tw

摘要	194
壹、前言	195
貳、文獻探討	195
參、實驗設備與研究方法	198
肆、結果與討論	200
伍、結論	203
陸、引用文獻	203

# 15 GPS自動噴藥機之開發—田間定點定量施噴作業

廖盈達<sup>1</sup> 葉仲基<sup>1</sup> 梁連勝<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 國立台灣大學生物產業機電工程學系

<sup>2</sup> 行政院農業委員會農業試驗所農工組

E-mail:ckye@ccms.ntu.edu.tw

## 摘要

本文目的係建立一套可用GPS控制之桿式噴藥機，能對特定田區進行定點定量之施噴作業，以達成精準噴藥之策略。實驗設備包括：1. Trimble GPS Pathfinder Pro XRS：主要包括接收機、天線以及資料收集控制器。接收機具有12個頻道，可接收GPS衛星與基站差分修正訊號及NMEA傳輸格式及通訊協定；天線具全方向性，地平線以上皆可接收到GPS衛星訊號；資料收集控制器可對接收機作參數設定，具2MB資料記憶量。2. 控制及分析軟體部分：包括TSC1操作軟體Asset Surveyor、資料後處理軟體Pathfinder Office、GIS輔助軟體ArcView及PC ARC/INFO。3. 桿式噴藥機：台南縣仁德鄉鉅業公司製，型號ZTSL500，使用動力為13馬力四衝程汽油引擎。4. 噴藥控制模組：係美國Spraying System公司產品，型號為744A，具有三組開關電磁閥，可同時或分別控制左中右三組噴藥桿。5. GPS控制器：係國內廠商自行研製，可輸入擬施噴田區之地理坐標，並與GPS所接收之信號做比對，藉以決定噴藥閥之啓閉。實驗方法包括：1. 動態路線定位之實測作業：選擇一條行走路線並將GPS天線固定在車輛上再將紀錄的路線套疊相關圖層進行分析。2. 田間噴藥機之實際操作：1) 利用筆記型電腦輸入擬施噴田區之經緯度坐標於一CF卡上，再將該卡片插入GPS控制器；2) 將桿式噴藥機駛入擬施噴之田區，觀察GPS有無作動噴藥用電磁閥，為便於遠處監看，另置一作動信號燈。結果與討論：1. 由GPS定位實驗結果顯示，在靜態點位觀測之誤差量與動態各種路徑的實測方面，將行走路線套疊台灣大學之地圖分析後，其誤差量皆可保持在3公尺以內。2. 當桿式噴藥機駛入坐標設定之擬施噴田區後，信號燈立即亮起並轉動，同時噴藥電磁閥立即作動，進行田間施噴作業；而一旦噴藥機駛離擬施噴之田區後，信號燈立即熄滅不動，噴藥電磁閥亦立即關閉，不再進行施噴作業。

**關鍵詞：**全球衛星定位系統、桿式噴藥機、噴藥控制閥。

## 壹、前言

隨著科技與知識的進步，且愈來愈高漲的環保意識之下，發現傳統的農耕方式忽略了天然及後天人為所造成的土壤環境及作物的持續性變異，所引發的農地不正當使用，而衍生許多資源效率與環境保護的問題。例如肥料與農藥的過度使用、毒性物質長期殘留與作物生長環境劣化導致產量顯著降低等現象，均在傳統農耕制度中一一顯現。為改善傳統一致性農耕方式所造成的環境污染問題及讓作物有一更良好的生長環境，進而對產量有所提升，於是精準農業(Precision agriculture)理念因此產生，希望依照田區土壤性質之差異性及作物生長需要，給予最適當的資源投入及耕作，以避免多餘的資源投入與對環境的破壞

## 貳、文獻探討

### 一、精準農業

精準農業(precision agriculture)是一個根據田區自然或人為改變狀態的不同，小心施予土壤適合的耕作處理或針對特定作物施予特殊的管理方式之農耕體系，又可稱為處方農耕(prescription farming)、特定地點農耕(site-specific farming)、可變率技術(variable rate technology)等(楊，2000)。在過去，農民對整個田區的耕作方式皆為均一化，包括耕耘量、施肥/噴藥量等，不曾考慮到田區在地形及土壤種類、鹽度與害蟲猖獗區域的差異。對於利用不同肥料種類與可變率噴灑量相對應於田區特定地點，而使田區總體作物產量增加，

此過程稱為精準農業(Lachapelle *et al.*, 1996)。在精準農業的運作下，相同的耕作區域將產生差異性的施作，即視土壤肥力與含水量、作物生長狀況、蟲害與病害罹患程度、雜草蔓延與危害情形等程度的不同施與不等量之肥料、農藥與灌溉等作業。故實施精準農業的結果，將正面的改進農作物生產系統的效率和不當的環境污染，使生產經濟效益、生態維護及環境保護三方得到最佳平衡(Auernhammer and Muhr, 1991)。

精準農業可說是一種以利用現代知識技術為發展基礎的耕作管理系統，其最終目的為獲得最佳利益。此管理系統將具有微管理的概念，也就是具備對田區每一特定地點可就技術與經濟層面施予最適當的管理，系統將根據輸入的田區地點不同搭配資料庫來改變包括：整地、播種、除草、害蟲疾病控制和灌溉等的施作/用率程度(Clark and McGuckin, 1996)。精準農業為用最少的投資得到最大的獲利，並得以保護環境，結合田區產量圖對於特殊不同的田地施以特殊的耕作方法，包括：害蟲的管制防除、灌溉、按土壤種類型式予以施肥耕作、作物輪作等，以達到提高利潤並且減少對於環境的污染(Johnson *et al.*, 1997)。精準農業之特定地點管理意味著適時、適地與適量的農耕，由以下這段文字可得到最佳詮釋：“Doing the right thing, in the right way, at the right place and at the right time.” 為達成上述目地，精準農業的運作需整合一系列新技術，其中包括：全球定位系統(GPS)、動態田間資料收集裝置(on-the-fly data collection devices)、地理資訊系統(GIS)與可變率設備(variable rate implements)等，基本上精準農業的運作流

程可分為4個階段(Berry, 1998)：整體流程如圖1所示：

### 1. 資料的收集(data logging)

在作業機具上裝設相關感測器來偵測作業時各小區塊作物的相關資料；再配合GPS資料以繪製大面積田區相關資料分布圖之數據。

### 2. 田間取樣(point sampling)

在田間進行土壤取樣，建立土壤屬性與空間的關係。

### 3. 資料分析(data analysis)

將田間產量圖與土壤圖層在GIS軟體下作分析與判斷，以決定其間的相互關係。

### 4. 空間模式化(spatial modeling)

依空間分析關係建立田間耕作指示圖，使其具備『If (Condition) Then (Action)』的關係，例如：依照作物病害發生情況輕重，來進行該田區重噴藥、微噴藥或不噴藥作業等。

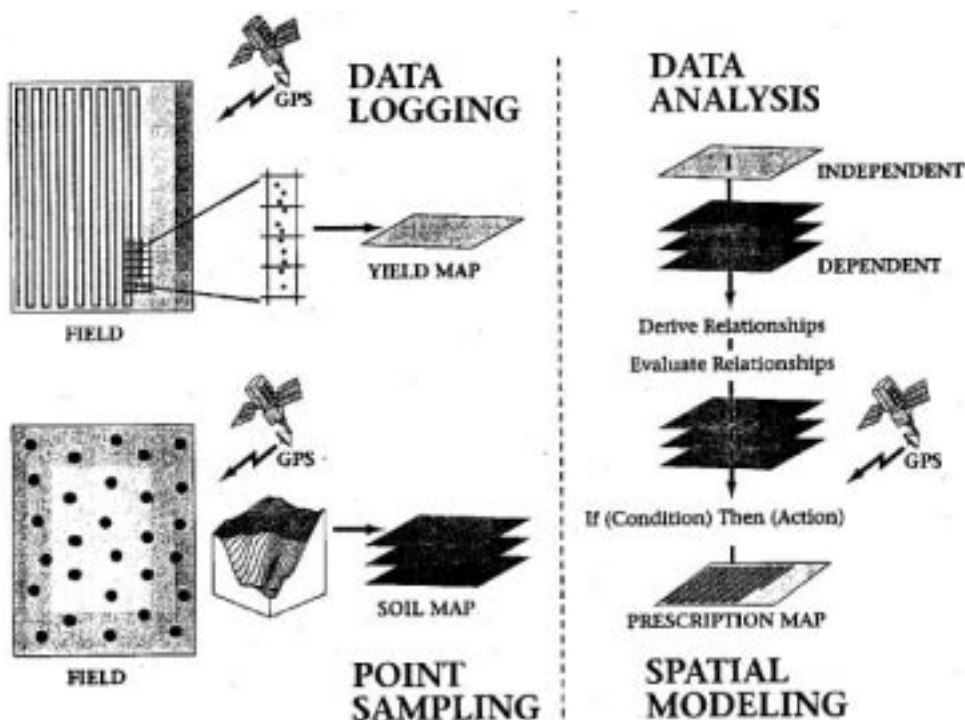


圖1. 精準農業的運作流程 (Berry, 1998)。

精準農業的實際應用必須結合三方面的技術(Shibusawa, 1998)：

### 1. 空間變異性的描繪 (describing variability)

最簡單的構想就是計量田區的變異性並描繪它，然後根據特定地點的差異，給予必須的施作。

變異性的描述可從三方來講：

- (1) 空間性的變異(spatial variability)。
- (2) 時間性的變異(temporal variability)。
- (3) 預測性的變異(predictive variability)。

首先無疑是對田區空間變異性的描述，因它會直接影響到田區在土壤肥力、作物生長與產量、雜草與疾病分布等資訊所繪製的田區變異圖上。在田區特定地點資訊的定位上，利用GPS或

DGPS(Differential GPS)定位可提供很大的助益。對區域性變異則可藉助遙測(remote sensing)來達成，其他如土壤取樣裝置、作物產量監測裝置、衛星或飛機所拍攝的影像資料等的發展對田區變異圖的製作皆很有幫助。

第二步是去描述時間的變異性，即對於空間的變異性在時間上的變化描述可用GIS的技術來達成。最後是作一正確的預測性變異，例如：氣象預報或植物的生長活動，預測性變異是最困難也是最重要的，可用在農業上的風險管理或耕作排程。

### 2. 可變率控制(variable rate control)

爲了配合田區特定地點對施作量要求的不同，因此可變率施作機械是必須使用的。

可變率控制須提供：

- (1) 施作機在田區正確的位置。
- (2) 田區正確地點的變異資訊。
- (3) 田區正確地點的可變率施作。

田區正確位置可由GPS定位獲得，田區變異圖或即時感測器可提供正確變異的資訊，可變率控制系統即是結合前兩項資訊應用在施作機械上，使成可變率施作機械。

### 3. 可變率管理的決策支援系統(decision support system for managing variability)

決策支援系統可提供農民在耕作上爲作物產量與環保問題的解決之策，即爲田區管理策略上的衝突找出一條可行的方向，使系統最佳化。

## 二、變率施噴系統

變率施噴系統的組成基本上至少應包括四個次系統(Schueller and Wang，

1994)：

1. 定位系統(location)
2. 田區施作指示圖(setpoint map)
3. 控制器(controller)
4. 致動器(actuator)

其中定位系統需能提供即時車輛位置，田區施作指示圖要能提供在田區隨即時座標不同所相對應的噴灑率，控制器必須能決定期望的噴灑率並調整致動器，至於設計良好的致動器應能即時產生期望的動作，以上都是不可或缺的。圖2爲一簡單的噴藥機之變率噴灑系統(Clark and McGuckin, 1996)，因爲行駛速度會直接影響噴藥車在單位面積施藥率，故速度感測器爲偵測噴藥機之行走狀況再將訊號結合即時差分GPS(Real Time Differential GPS,RT-DGPS)定位系統訊號以找出噴藥車現在位置，並配合GIS系統下之施噴指示圖，當噴藥車接近目標田區時控制器訊號就驅動噴藥桿伸展、幫浦運轉以進行田區定點定量施噴作業。此型噴藥系統採用在噴藥機上直接混合施噴的方式，濃縮藥液另外置於副藥桶，當需要時再與水自動混合稀釋，一切過程皆在噴藥機行駛的同時完成。

在設計變率系統時將面臨許多選擇性的取捨問題，例如：爲提高系統精確度將使其複雜度與花費提高，包括控制系統的類型(開迴路/閉迴路/前饋)、噴灑系統的功用(純可變率/兼具變率與混合)、噴灑管路設計與藥液混合點位置(靠近藥桶/靠近噴嘴)。對變率噴藥機而言，其期望之施藥率具有頻繁顯著的變動，因此其動態特性將非常重要。由於噴藥機的動態特性將直接影響其在正確地點的施肥或噴藥，有一研究企圖找出影響噴藥機的動態特性並利用

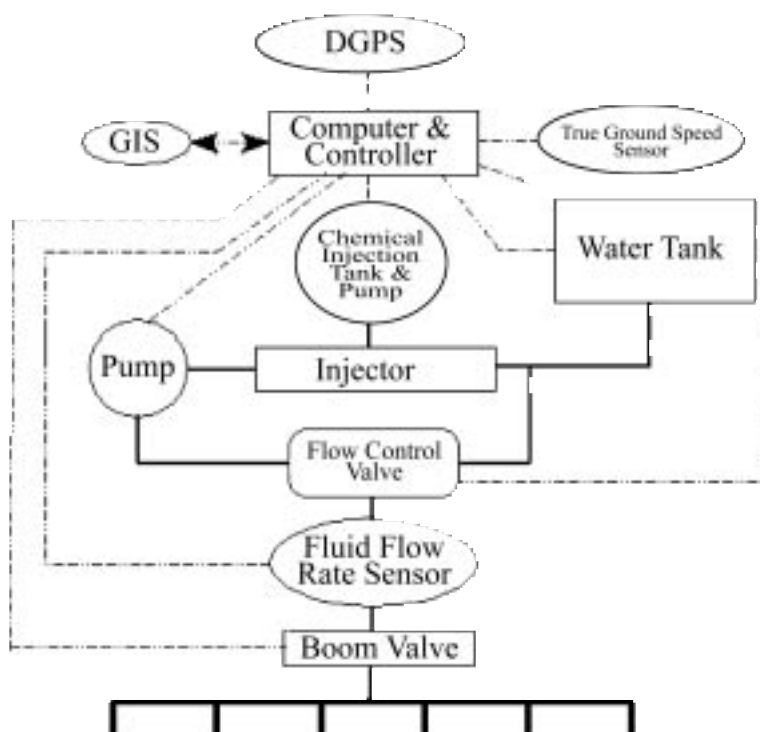


圖2. 變率施噴系統 (Clark and McGuckin, 1996)。

前饋控制補償系統(Schueller and Wang, 1994)。在下列情況下需增加前饋控制的補償時間：

- (1) 噴藥機行駛速度變快。
- (2) 管路輸送延遲與時間常數增加。
- (3) 田區噴藥量的改變加大。

此外，噴藥機行駛路徑固定與保持定速行駛也是增進前饋控制性能的重要假設，若違反則會降低系統性能。

### 參、實驗設備與研究方法

本研究的主要設備包括二大部分，即：

1. 全球定位系統(GPS)的硬體及軟體。
2. 施噴系統。

### 一、全球定位系統的硬體及軟體設備

#### 1. Trimble GPS Pathfinder Pro XRS

美國Trimble公司設計製造的GPS組件，硬體部分主要包括：接收機、天線和電源以及資料收集控制器。

- (1) 接收機：具有12個頻道(Channel)、接收單頻(L1, 1573.42MHz) C/A-code、1 Hz資料更新速率(update rate)。
- (2) 天線：具全方向性，地平線以上皆可接收到GPS衛星訊號。
- (3) 資料收集/控制器(Trimble TSC1)：可對接收機作參數設定，具2MB資料記憶量，可利用PCMCIA卡擴充。
- (4) 電源：電源供應為DC12V可重複充電式鋰電池2個，正常工作下可使用8小

時(可重複充電)。

## 2. 軟體部分

- (1) TSC1操作軟體－Asset Surveyor version 5.0：為Trimble公司所出產之Pathfinder全球定位系統軟體軟體。其為一視窗之操作軟體，使用前需先安裝在系統硬體之資料收集/控制器(TSC1)上，由TSC1上之按鍵操作系統軟體。
- (2) 資料後處理軟體－Pathfinder Office version 2.51：Trimble公司所出產之Pathfinder全球定位系統軟體，是一衛星資料差分校正軟體，為視窗操作形式。
- (3) GIS輔助軟體－ArcView version 3.1：ARCView是由美國ESRI(Environmental System Research Institute, Inc.)公司所研發的一套桌上型地理資訊系統，能夠建立地圖資料和屬性資料。
- (4) GIS輔助軟體－PC ARC/INFO version 3.4.2b：PC ARC/INFO亦為美國ESRI公司所發展，為MS-DOS作業系統，其可與多種廠牌規格的週邊設備搭配使用。

## 二、施噴系統

1. 桿式噴藥車：台南縣仁德鄉某家業者經過多年的研究之後所開發完成型號ZTSL500，使用引擎為HONDA GX390 GCAA型四衝程汽油引擎。
2. 噴藥機部份：大農鑽石牌TS-80與實驗施噴系統壓力幫浦相同，其動力源為噴藥車引擎以皮帶驅動。
3. 桿式噴藥車噴頭噴桿組：噴頭為螺旋水流型 $\phi$  1.2m/m  $\times$  35、噴桿左314cm、右315cm、中140cm總長8.2m。

## 三、實驗方法

實驗分成兩階段進行：第一階段為全球定位系統之實測作業；第二階段為桿式噴藥車之實地施噴。

### (一) 全球定位系統的實測作業

1. 實驗室操作：首先熟悉GPS設備Trimble ProXRS的組件及使用方法。

2. GPS實測作業：

動態路線定位：為測試ProXRS之動態定位特性。選擇一條行走路線並將GPS天線利用磁座固定在車輛上。

選擇的路線、環境與分析方法如下所述：

- (1) 路線：台大生機系－電資學院－綜合教室－小椰林－椰林大道－新生南路－辛亥路－舟山路－羅斯福路－椰林大道－舟山路側門－人工氣候室－基隆路－水源高架道路(上側)－碧潭橋－安康農場－農場小路－水源高架道路(下側)－基隆路－舟山路－舟山路側門－新總圖－綜合教室－電資學院－台大生機系
- (2) 環境：路線由於經過的建築物高樓頗多且又有高架道路遮蔽，故實測環境不佳。
- (3) 實測說明：將GPS天線利用磁座固定在一部MARCH車車頂之幾何中心，接收機與電池皆置於背包內，置於前座並做相關接收設定(線地物接收，manual 3D，定位間隔2秒：需考慮記憶體空間)，啟動汽車並按路線行駛。
- (4) 結果分析：利用GIS專屬軟體ARCView套疊台大與安康農場電子圖檔分析，並分析車行路線重合軌跡，以了解動態誤差。

## (二) 桿式噴藥車之實地施噴

1. 利用個人電腦或筆記型電腦鍵入擬施噴田區之地理座標並存檔於記憶卡上。
2. 將記憶卡插入GPS噴藥控制器內。
3. 發動桿式噴藥機引擎並啓動全球衛星定位系統及噴藥控制器。
4. 將噴藥機駛入或駛離原先設定座標之田區。

## 肆、結果與討論

### 一、動態路線定位實測成果

將實測路線以分層設色的方式顯示路線之三維點位精度因子PDOP(Position DOP)值如圖3所示，圖中可發現在台大校總區部份路段、接近碧潭橋路段與安康農場部份路段因GPS天線受到高樓阻擋，致使接收機可利用來解算定位的衛星數目減少因此PDOP值有較大的情形出現，又車

行至基隆路高架橋下時GPS天線完全遭到遮蔽導致無法定位。以下對路線作一簡述，其中陰影部分為偏高或過大的區域。

台大生機系—電資學院—綜合教室—小椰林—椰林大道—新生南路—辛亥路—舟山路—羅斯福路—椰林大道—舟山路側門—人工氣候室—基隆路—水源高架道路(上側)—碧潭橋—安康農場—農場小路—水源高架道路(下側)—基隆路—舟山路—舟山路側門—新總圖—綜合教室—電資學院—台大生機系

將實測路線套疊台大與安康農場圖層如圖4、圖5所示，圖中可看出路線與圖層大致相當吻合，但在基隆路高架橋下即發生PDOP值過高無法定位的情形出現，因此若以GPS作為唯一的導航工具在此情況下將非常危險。

選擇在車行路線中作相同路線軌跡(PDOP < 3)測試，見圖4中椰林大道軌跡重合部份，擷取此段作動態定位誤差分析

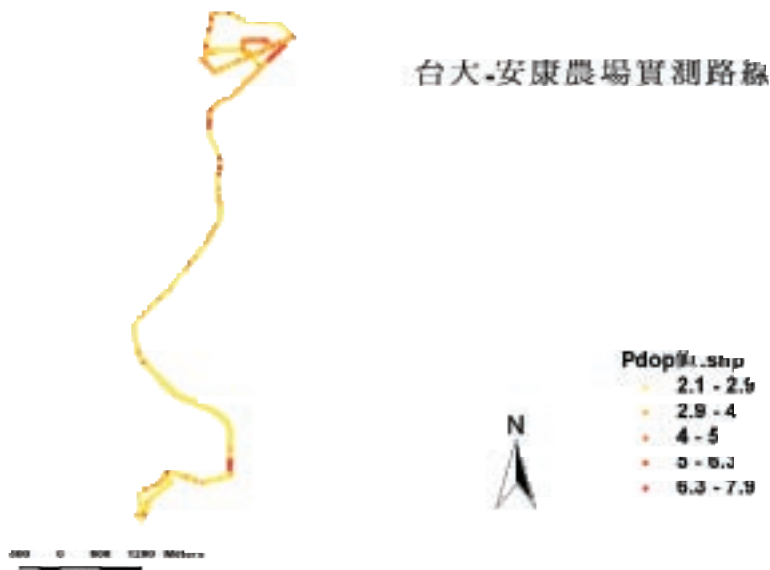


圖3. 台大—安康農場之實測路線。



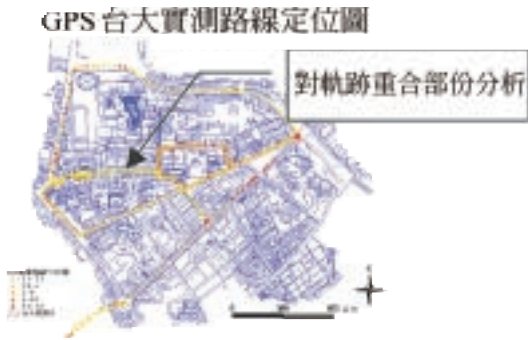


圖4. 台大圖檔套疊實測路線。



圖5. 安康農場圖檔套疊實測路線。

如圖6所示：

1. 重合長度  $\approx 0.0025^\circ$  E

平面距離  $\approx 0.0025^\circ \times 109\text{km} = 272.5\text{m}$

2. 最大偏差  $\approx 0.00002^\circ$  N

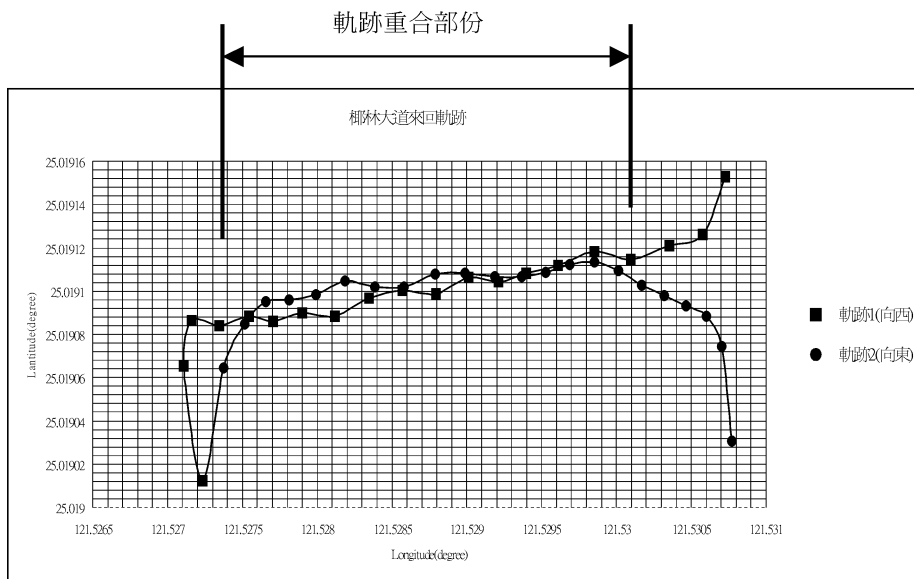


圖6. 椰林大道來回重合軌跡分析。

平面距離  $\approx 0.00002^\circ \times 110\text{km} = 2.2\text{m}$ ，對於行進中的車輛此偏差量應在實驗誤差可接受範圍內。

綜合以上結果，將實測路線利用 ArcView 軟體套疊相關圖檔，PDOP(<8) 在可接受的情形下路線大致與地圖重合，除了在有高建築物或高架橋遮蔽處無法定

位外，其餘路線不致有太偏離的情形出現，另外在路線中還可觀察到在轉彎處定位會有偏差較大的情形出現。

經由一連串的靜態與動態定位試驗之後，就利用即時碼觀測定位的近3公尺誤差量，對於噴藥車噴桿總跨距8公尺而言，已能滿足在田區導引施噴的功能，故

Trimble Pro XRS即時差分定位儀已能符合噴藥車變率施噴系統的即時定位要求。

## 二、桿式噴藥車之實地施噴

經過實地田區測試結果得知：當噴藥

機尚未進入或已離開地理座標設定之田區時，噴藥閥門關閉(圖7)；一旦噴藥機進入地理座標設定之田區時，噴藥閥門立即開啓，進行田間施噴作業(圖8)。爲便於遠處監測，於噴藥機上另裝置一具信號燈由其



圖7. 桿式噴藥機尚未進入設定田區。



圖8. 噴藥機已進入設定田區並啓動閥門進行施噴。

亮起轉動或熄滅，即可知是否進入了設定之田區。

### 三、討論

經由上述的實驗可以得知利用Trimble Pro XRS 的即時定位碼觀測誤差在3公尺之內，這對於應用變率施噴系統在桿式噴藥車即時的定位導引是可行的。在GPS定位系統絕大多數的共同性誤差已經由差分定位所消除，且美國前總統柯林頓已簽署命令在台北時間2000年5月2日早上八時將SA效應關閉，讓全球的使用者都能更精確的使用GPS定位系統。

### 伍、結 論

本研究之主要貢獻是進行精準農業體系下的噴藥車施噴系統的初步設計，包括了結合GPS定位系統與GIS等不同的理論基礎與軟硬體介面，再配合桿式噴藥車施噴系統的改良，使施噴系統具有控制定點定量的效果。由GPS定位實驗結果顯示，在動態各種路徑的實測方面其誤差量皆可保持在3公尺以內。

未來在變率施噴的應用上，首先取得經過GIS分析之病蟲危害程度圖層的待施藥田區之地理座標，藉由噴藥車上安裝的GPS接收儀引導至病蟲危害的田區，當噴藥車進入受病蟲害程度不同的田區時，則由GPS即時定位座標(誤差量3公尺)比對GIS圖層預設的程度不同區塊座標以判斷噴藥車所處之田區，並給予適當的施噴策略，以達到因地制宜且適地、適量的目的。

### 陸、引用文獻

1. 鉅業汽車企業有限公司。1998。桃改型桿式噴藥車ZTSL 500型使用說明書。
2. 楊純明。2000。精準農業之關鍵要素與科技。p.16-23。水稻精準農業(耕)體系之研究，16-23。行政院農委會農業試驗所出版，台中縣霧峰鄉。
3. Auernhammer, H. and T.Muhr. 1991. GPS in a basic rule for environment protection in agriculture. p.394-402. In:Proceeding of the 1991 Symposium, Illinois: ASAE Publication 11-29.
4. Berry, J.K. 1998. Who's minding the farm?. GIS world. February 1998:46-51.
5. Clark, R.L. and R.L.McGuckin. 1996. Variable Rate Application Equipment for Precision Farming. [http://www.bae.uga.edu/dept/research/precision/clark\\_vrt.html](http://www.bae.uga.edu/dept/research/precision/clark_vrt.html).
6. Johnson, R.R., J.S.Hickman and W.F.Smith. 1997. Precision Farming in Mechanized Agriculture. 63-69. Society of Automotive Engineering paper no. 972760.
7. Schueller, J.K. and M.W.Wang. 1994. Spatially-variable fertilizer and pesticide application with GPS and DGPS. Computers and Electronics in Agriculture. 11 (1994): 69-83.
8. Trimble Navigation Limited. 1997. Pathfinder Office Getting Started Guide.
9. Trimble Navigation Limited. 1998. Asset Surveyor Software User Guide.
10. Trimble Navigation Limited. 1998. TSC1 Asset Surveyor Operation Manual.

# 15 CDevelopment of a GPS-operated sprayer - Spraying at a destined field and by a fixed flow rate

Ying-Tar Liao<sup>1</sup>, Chung-Kee Yeh<sup>1</sup> and Lien-Sheng Liang<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Bio-Industrial Mechatronics Engineering,  
National Taiwan University, Taipei 106, Taiwan, ROC

<sup>2</sup> Department of Agricultural Engineering, Taiwan Agricultural Research Institute,  
Wufeng, Taichung Hsien 413, Taiwan, ROC  
E-mail: ckyeh@ccms.ntu.edu.tw

## ABSTRACT

The purpose of this study is to establish a precision spraying system of the boom sprayer that can be controlled by a GPS. The sprayer can be operated at a destined field by a fixed flow rate. The necessary apparatus and instruments include: 1) Trimble GPS Pathfinder Pro XR: includes a receiver, an antenna and a data collector/controller. 2) Control and analysis software: includes Asset Surveyor, Pathfinder Office, ArcView and ARC/INFO. 3) Boom sprayer: manufactured by Zetor Co., Model: ZTSL500. 4) Sprayer control kit: produced by Spraying System Co., Model: 744A. 5) GPS controller: made by a domestic Company. The methods are: 1) Actual measurements by GPS: Positioning by an actual dynamic path. 2) Actual operation of the boom sprayer in field: a) Coordinates saved in a CF card by means of a computer. b) CF card inserted into the GPS controller. c) Boom sprayer operated in field, observed whether the spraying valves are actuated. d) A signal lamp mounted for the purpose of monitoring in a long distance. Results and Discussion: 1) The positioning experiments of GPS show that all the errors can be kept within three meters, either the error from the static positioning point or the error from an actual measurement by various dynamic paths. 2) When the boom sprayer is operated in a destined field, a lamp will flash and rotate. The control valves will be actuated simultaneous for spraying. If the sprayer leaves the preset field, the lamp will not flash, the valves will also be closed and the pesticide solution will not be sprayed any more.

**Key words:** GPS, Boom sprayer, Spraying control.