

全球定位系統與即時定位傳輸技術在精準農業 上之應用¹

劉禎祺² 劉滄琴² 朱戩良² 郭鴻裕² 葉明智²

摘要：在農業試驗所農化系頂樓及精準農業十公頃試驗田附近，各建立二個適當之基地站位置，並委託民間測量公司精密測定座標，可以供作每次採樣及施肥時動態插分定位所需。藉由無線電即時動態定位之傳輸，將定位座標傳至電腦程式，可以提供施肥決策專家系統用以估算施肥量。建立全球定位系統之基地站後，即可發展即時定位技術，藉以推廣及應用精準農業之相關研究事項。將空間資料與屬性資料相互結合，並普遍應用於農耕機械上，則可進一步達到農耕自動化控制的目標。

關鍵詞：精準農業、全球定位系統、即時動態定位。

前 言

精準農業 (Precision Agriculture) 是一個現代化農業發展的新方向，爲了節省時間、經費、人力及物力的耗費，及早實施精準農業對於農場管理實有極大之經濟效益，發展及應用精確而有效的方法，藉以評估農田區塊之空間變異、作物產量高低及作物品質好壞因素之相關性，實爲執行精準農業成功與否之重要因素⁽¹⁴⁾。而透過全球定位系統 (Global Positioning System, GPS) 標出農田方位及座標，並以即時 (Real-time) 方式獲得公分級的定位精度，將其顯示於地理資訊系統 (Geography Information System, GIS) 上，再藉由農耕及土壤資料庫組成之鑑定與決策，判斷農田與作物間之變異性⁽¹¹⁾，並進一步配合具有變異率功能的自動化農機操作系統，實施小田區之變異性處理，即可達成精準機械農耕的需求⁽¹⁶⁾。

台灣在多變的氣候環境、地形地貌特性與集約且複雜之耕作制度下，土壤在田間的各项性質也會隨時間而產生種種變化及變異，尤其與肥力有關的性質，每每隨耕作期之改變而有大幅度的變動，因此，建立土壤性質及土壤肥力受耕作制度、氣候與地理特性的影響而隨時間變化的關係，將有助於預測整體土壤品質變化的趨勢，更可用於防範土壤品質惡化及估計農業生產成本效益。配合全省網格式調查、土壤品質監測網及長期監測點等計畫工作所得之相關資料，再利用多變量統計分析、地理統計分析、時間序列統計分析及主成份分析等多項技術，即可得到各項性質的空間變異特性、時間變動特性、土壤性質間的相關特性與土壤肥力之主要控制因子等⁽¹⁵⁾。如進一步以全球定位系統配合現地調查，確定調查地點座標，建立影像光譜與調查點現況之關係式，以達到由點而面，藉以節省調查人力並掌握時效。

全球定位系統 (Global Positioning System, GPS)，係利用位於地球同步軌道上的同步衛星，以其相

1. 行政院農業委員會農業試驗所研究報告第2088號。

2. 本所農業化學系助理、助理研究員、助理、研究員及約僱助理。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

對位置的關係，來測量出精確的位置。GPS在進行大範圍、大面積的地面測量時，往往受限於地球本身的弧度與測量儀器的精密程度，甚至於當時的天候狀況或測量人員本身的許多因素，而導致測量的結果產生或多或少的誤差，故透過GPS與地理資訊系統 (Geography Information System, GIS) 的結合應用，更可以使我們快速、精確而完整地定出遙測影像或其他發生問題農地的位置，並迅速配合農業機械的使用，處理農田肥力之差異性，以發揮其即時、有效及正確的優越性。而地理資訊系統是一個電腦化、大量化之空間資料管理系統，用來進行資料儲存、擷取、操作、分析及展示使用者所定義之各種需求資料。地理資訊系統發展已有一段歷史，距第一個地理資訊系統的雛形系統有四十年之久，目前已廣範的應用在各行各業⁽⁹⁾。

GPS動態定位技術已日趨成熟，應用亦極為廣泛，有學者⁽²⁾即採用Leica及Ashtech等兩種GPS即時動態定位系統，依照傳統導線測量、地物及地形測量、高差測量及路線測量等方式，分別進行數據獲得、圖形繪製及現地放樣等工作，以檢驗GPS動態測量之適用性及不同GPS動態定位系統間之差異性，進而建立對GPS動態定位技術之信心及開發GPS動態測量之作業規範。而基於成本考量，且有些GPS之應用必須是在運動狀態下，如自然資源調查、土地利用管理、地面載具導航、航空攝影測量及海洋探測等，皆需要高精度之GPS動態測量⁽¹³⁾。而對於結合GPS與GLONASS的研究，Cook⁽¹⁰⁾及Gouzha⁽¹²⁾以長時間對GLONASS衛星進行觀測顯示，GLONASS衛星壽命較短暫，而某些衛星也偶有訊號不良或資料脫落的情形發生。如針對與GPS相近之GLONASS(Global Navigation Satellite System)系統資料進行處理，使得GPS與GLONASS資料能納入同一相位二次差模式中聯合平差，而在GPS 6顆、GLONASS 4顆衛星以上之情況下，使得求解成功率最佳可達90%以上⁽⁵⁾。

由於導航單點定位係依據虛擬距離觀測量來求解，而虛擬距離為訊號由衛星送出之時刻、接收儀接收之時刻以及衛星軌道資料等之函數所構成，其主要誤差之來源主要有衛星時鐘誤差、廣播星曆誤差、電離層及對流層遲滯誤差、雜訊與多路徑效應誤差等⁽⁷⁾。由於受到這些誤差來源之影響，當僅使用C/A電碼作導航單點即時定位時，其精度一般為15~25公尺左右。因此，若欲獲得較佳之精度，則可改採相對定位觀念，針對單點定位之誤差來源作一有效之改正，而目前廣泛發展的差分GPS(Differential GPS, DGPS)定位法不失為一種有效的方式^(1,6)。DGPS的基本原理係利用架設在已知位置之固定GPS接收站(Base station)所接收到的觀測資料，來計算由於上述誤差造成之影響，再利用無線電通訊設備將此一誤差改正值，即時傳送至使用者隨身之電腦上，並將改正值與使用者所接收的觀測值合併計算，即可求得較高精度之導航定位解，其精度甚至可達到公分級之程度。DGPS依進行數據處理時間的不同可分為即時性(Real time)與後處理(Postprocessing)等兩種方法⁽⁹⁾，其優缺點如表一所示。

表 1. 插分全球定位系統 (DGPS) 即時性與後處理之比較

Table 1. The comparison between real time and post processing of Differential Global Positioning System (DGPS)

	Real time	Post processing
Merits	Obtain product immediately Without data save question	Higher precision Differential detect easily Can analysis product detailed No real time data transmit question
Demerits	Worse precision Differential detect difficultly Data unsaved Require real time data transmit	Can't apply product immediately With data save question

即時動態測量 (Real time kinematic, RTK) 係採用差分定位觀念，利用高精度的 GPS 雙頻載波相位觀測量，進行即時定位測量。而即時動態測量 (RTK) 係能夠透過通訊設備，將主站的觀測量訊號，利用無線數據機，即時傳回移動站的電腦上，而在其移動的狀態下求解向未知周波未定值，即時獲得點位座標。此與其他 GPS 測定方法相較，除了具有其他 GPS 測量方法的優點外，還具有施測迅速、移動快速，產量大，且不需後續處理的內業計算工作，更重要的是可以達到公分級的精度，甚具發展潛力^(4,9)。

故本研究之主要目的係希望利用全球定位系統、地理資訊系統與即時定位傳輸技術應用於精準農業，並進一步整合傳統農耕及農作物之栽培管理，以初步建立國內稻作生產之精準農耕作業模式，且推廣應用至相關產業，以保育生態、保護環境、提升農業資源使用效率，達成真正永續農業之發展，以提高農民之經濟效益及台灣農業生產之競爭力。

材料與方法

一、基地站設置與座標精密測量

(一) 基地站設置：

分別於農業試驗所農化系頂樓以及精準農耕十公頃水稻試驗田區附近之適當位置，利用水泥以及不銹鋼樁，各建立二個適當之基地站地標。其架構包含不銹鋼架以及不含不銹鋼架之 GPS 控制點各一個，並進一步委託民間測量公司，進行精確之控制點（參考點）座標測定，以供每次採樣及施肥時之動態插分定位。

(二) GPS 控制點（參考點）衛星定位精密測量：

1. 作業時間：89年6月14日。
2. 作業地區：霧峰、草屯地區。
3. 作業內容：新設 GPS 控制點共4點，編號由A1至A4。
4. 座標依據：內政部土地測量局88年12月公佈之TWD97 TM二度分帶座標成果。
5. 測量規劃：包括已知控制點、使用儀器及測量作業規劃等。
6. 測量作業：至測區點位上設置衛星定位儀接收衛星訊號。
7. 成果計算分析：依規定程序獲得四個控制點之正確座標及正高高程。

二、無線電傳輸系統架設與動態即時定位軟體之撰寫

(一) 無線電傳輸系統架設：

1. 架設可在二公里內有效傳輸之無線數據傳輸系統之天線結構。
2. 傳輸系統除現有之 ASHTECH GG24 之外，尚可與其他廠牌之定位接收器相容。

(二) 動態即時定位軟體：

1. GPS 即時差分定位，在現有之 ASHTECH GG24 機型下，精度需達到公分級之定位。
2. 輸出定位資料，並可存為檔案或傳輸至模擬施肥軟體，以茲後續應用所需。

結 果

一、GPS 控制點座標精密測定

(一) GPS 控制點（參考點）衛星精密測量工作：

1. 測量規劃：

(1) 已知控制點：

引用內政部土地測量局921地震後檢測之控制點作為已知參考點，點號為L188、L196、L199等三點，並選取附近一等水準點8406及8407二點（約1公里範圍內），以相對應之大地起伏差值，計算未知點之正高值，其參考點之座標值，詳如表二所示。

表2. 參考點之座標值及正高值

Table 2. Coordinate and altitude of reference points on horizontal and vertical

Reference points of plane

Point No.	Abscissa	Ordinate	Ellipsoid altitude	Remark
L188	216999.608	2660573.132	84.104	Order 3 satellite oriented control points
L196	216774.274	2657513.126	98.025	Order 3 satellite oriented control points
L199	221101.092	2656638.234	138.579	Order 3 satellite oriented control points

Reference points of altitude

Point No.	Altitude	Remark
8406	69.46410	Order 1 bench mark
8407	88.68405	Order 1 bench mark

(2)使用儀器：

Leica System 300 型雙頻 GPS 衛星定位儀七台。

(3)測量作業規劃：

- 檢測已知點相互間之座標變異，選用變化量較少之點位，為本研究座標測算之依據。
- 採用衛星靜態 (Static) 測量，每 15 秒接收一筆衛星資料 (epoch)，共計觀測二個時段，每時段間 (Section) 至少均含 4 點以上連結重覆接收，為求控制測量達二等精度成果，故每點間同步觀測時間至少需在 60 分鐘以上。
- 觀測資料以 PCMCIA 磁片錄存，下載後以 Leica-Ski 計算軟體，計算及分析座標成果。

2. 測量作業：

依據以上之規劃至測區點位上設置衛星定位儀接收衛星訊號，紀錄至 PCMCIA 磁片中。

3. 成果計算分析：

先以自由網平差偵錯後，分析誤差橢圓較大點位之衛星訊號週波脫落情形及衛星接收狀況，刪除誤差較大觀測量後，重新計算邊長及平差。最終平面位置以 L188 及 L196 二點固定，以計算本研究四中四個控制點 (A1, A2, A3, A4) 之座標成果，如表三所示。高程則以 8406 及 8407 二點之橢球高與其正高值相減，求得二點之大地起伏差平均值，A1 至 A4 點之橢球高減去此二點大地起伏差值平均值，即得 A1 至 A4 點之正高值。而控制點座標測定圖示，則如圖一所示。

表3. 農試所農化系頂樓 (A1, A2) 及十公頃試驗田 (A3, A4) 控制點座標測定值

Table 3. The coordinates of four control points

Point No.	Abscissa (X)	Ordinate (Y)	Altitude
A1	218854.2419	2658263.724	89.1922
A2	218853.4169	2658266.442	89.1604
A3	218360.1306	2658648.193	72.8825
A4	218356.1845	2658648.275	72.8719

二、無線電傳輸系統架設與動態即時定位軟體

(一) 無線電傳輸系統架設：

利用現有帕斯卡 ASHTECH GG24 之機型，進行即時定位無線電傳輸系統之架設。

(二) 撰寫程式接收及動態即時定位軟體：

結合 Windows 作業系統下之人機介面發展軟體 Visual Basic，以及配合 MapObject GIS 系統，撰寫

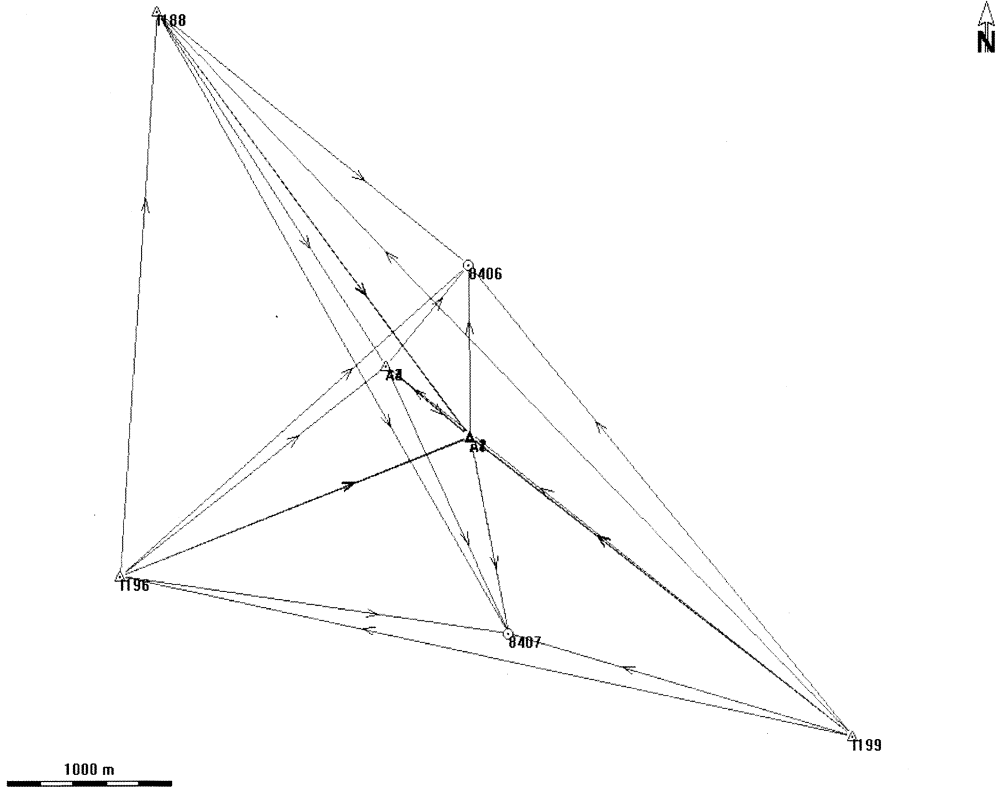


圖 1. 控制點座標測定圖示

Fig. 1. Determination of control points coordinate

一套適用於農機控制使用的動態即時定位套裝軟體，最終目的是要能夠將該套裝軟體普遍應用於農耕機械上，達到農耕自動化的目標。此外，對於 GPS 定位精度等級、GPS 應具備之輸出入規格以及對於無線數據傳輸器材之規格，後續研究均應有所討論、建議及規範，以利各式 GPS 在精準農業試驗研究上之應用。

(三) 系統架構：

1. 參考站

參考站（如圖二所示）必須先有一已知控制點位的 WGS-84 經緯度座標，然後在該控制點位上架設 GPS 天線，主要的目的在接收該位置的 GPS 訊息，傳遞至 GPS 接收器上，而 GPS 接收器已知該控制點位置，經解算求得觀測量之相位與誤差值，透過無線電數據機調制成訊號，透過天線廣播給其他使用者接收解調，讓使用者能獲得更高的定位精度。

2. 移動站

移動站（如圖三所示）接收到由參考站傳來之修正資料後，經無線電數據接收機解調後，將資料傳遞給 GPS 接收器，與本身所接收衛星資料進行 RTK，解算出精確座標後，將定位資訊 NMEA 0183 Version 2.0 / 2.1 格式傳遞給電腦，電腦除了在螢幕之電子地圖上顯示即時位置外，並可搜尋該位置所對應的屬性資料，以進一步達成農機自動化系統控制。

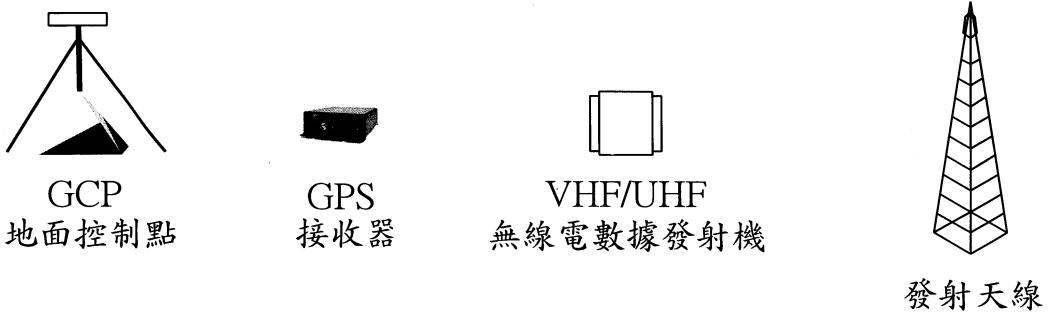


圖2. 全球定位系統參考站設置圖示
 Fig. 2. Set up of base station for GPS.

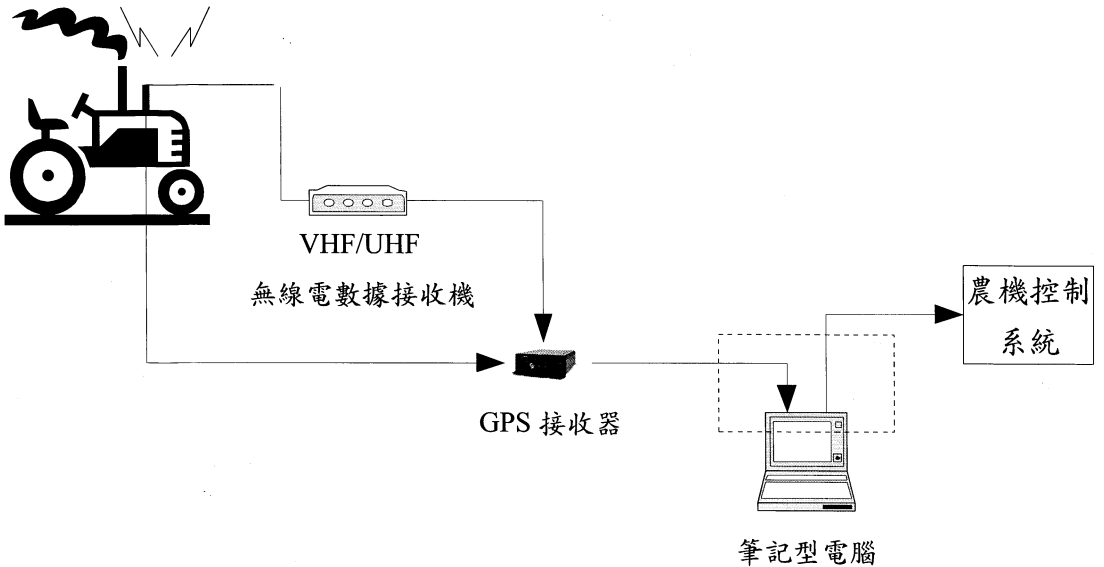


圖3. 全球定位系統移動站圖示
 Fig. 3. The diagram of moving station for GPS

(四) 系統需求：

1. 參考站

- (1) 具解算相位及即時廣播 RTK 資料的 GPS 衛星接收器，精度在 1 米以內。
- (2) GPS RTK 專用固定式天線。
- (3) 輸入參考站座標控制模組（需經量測獲得）。
- (4) UHF 無線電數據發射機，傳輸速率在 9600bps 以上，發射功率則依服務區域而定。
- (5) 發射無線電專用天線。

2. 移動站

- (1) 具接收相位及 RTK 資料解算的 GPS 衛星接收器，精度在 1 米以內。
- (2) GPS RTK 專用移動式天線
- (3) 具備有兩個串列輸出、入埠，作業系統為 Windows 95/98/NT。
- (4) UHF 無線電數據接收機，傳輸速率在 9600 bps 以上。
- (5) 接收無線電專用天線。
- (6) 手提電腦或工業級電腦：CPU Penitum II 以上、RAM 32M Bytes 以上、Hard Disk 10M Bytes Free、作業系統 Win95/98/NT 以上版本、RS232C 至少保留 Com 1、Com 2 皆未被其他裝置使用。

討 論

一、基地站架設之重要性

在試驗田附近設置完成適當之基地站位置，透過全球定位系統 (GPS) 標出農田方位及座標，以供每次採樣及施肥時動態插分定位，並以即時 (Real-time) 方式獲得公分級的定位精度，進一步藉由無線電傳輸將定位座標傳輸至電腦程式，以供施肥決策專家系統估算施肥量。

內政部所推動建立之衛星測量中心，目前尚未經由廣播系統提供即時動態衛星定位資訊，故建立本所衛星定位之基地站後，即可提供發展即時定位技術，藉以推廣及應用精準農業相關之研究事項。

二、即時定位傳輸技術之建立

爲了將現有的軟體能夠實際使用在農機機具上，我們必須制定一套能與農機控制閥溝通的介面，而又要考量到現有使用軟體的設備取得與方便性，於是考慮設備之間最常使用的溝通工具：串列埠 (RS-232C)，以作爲與農機控制閥最好的控制模式。因爲，一般而言，農機的控制閥通常是由微處理器 (Micro Processor) 所控制，而微處理器在對外的溝通上，最常使用的方法爲並列埠與串列埠兩種，其中，並列埠通常被當作開關控制使用，所以即時定位傳輸與精準模擬施肥軟體之使用，即以串列埠傳遞較爲恰當，而且不需特別的控制，僅需結合 Windows 作業系統下之人機介面發展軟體 Visual Basic，並配合 MapObject GIS 系統，就可在不破壞原有軟體的完整性下，便能達到農機控制的實用性，以進一步調節農機控制閥，達到農機自動化控制的目標。

此外，移動站手提電腦原本只接收定位資訊 NMEA 0183 Version 2.0 / 2.1 格式，但爲了提供施肥資訊給農機控制系統使用，就必須將原本 RS-232C 串列埠改裝，將一端接收端 RX 接至 GPS、另一端傳送端 TX 接至農機控制系統，這樣電腦除了可以在顯示幕電子地圖上顯示位置外，並可搜尋該位置所對應的屬性資料，也可以進一步達成農機自動化系統控制的目標。

三、精準農業田區資訊庫之建立

利用 GPS 及 GIS 整合各項環境資料，並將空間資料與屬性資料相互結合，不僅只有看到幾何圖形，還可以獲得圖層間的屬性資料，即經計算分析獲得田地的施肥種類與數量，並且可由 GPS 獲知位於 GIS 圖形的所在位置，獲取對應幾何位置的施肥屬性資料，經過電腦分析判斷，以圖形方式來表示對應位置的施肥數量及大小。進一步經地理統計推估空間變異，即可建立空間資料庫，再經由傳輸資料並計算分析結果後，將可以繪製精確之田間施肥分佈圖。

四、精準施肥決策專家系統之建立

透過 GPS 標出農田方位並傳回座標位置，將其顯示於 GIS 上，再藉由農耕及土壤資料庫組成之鑑定與決策，判斷農田與作物間之變異性，依據精準農業專家系統輸出之施肥施藥決策圖、農機行進速度、所需控制之項目及變率多寡，並配合具有變異率功能的自動化農機操作系統，實施小田區之變異性處理，即可達成精準機械農耕的需求。

藉由GPS可精確地同步偵測農耕作業的狀態，並加以判斷某一田區的各项狀態，包括土壤、肥力及植生變化等，明確顯示農機機具在田區之位置、各項目之變率、施用率及達成率等，以作為農場最佳化經營管理決策的依據，進而減少農業生產對生態環境的衝擊與節省農業資材。

誌 謝

本研究承行政院農業委員會經費補助(89遙測-4.1-糧-41(3))，特申謝忱。

引用文獻

1. 李征航。1995。差分GPS原理及方法。RS, GIS, GPS的集成與應用。杜道生、陳軍、李征航主編。測繪出版社。
2. 林思源、李振壽。1999。GPS動態測量及分析，11-18頁。第十八屆測量學術及應用研討會論文集(一)。1999年9月9-10日。宜蘭縣。
3. 周宜強。1996。國內GIS軟體應用與發展現況。中華地理資訊通訊1(4): 11-17。
4. 孫連水。1997。即時動態GPS測量應用於控制測量與戶地測量之研究。國立成功大學碩士論文。
5. 陳明華、曾清涼、余致義。1999。GPS結合GLONASS衛星單一時刻單頻觀測量之即時動態定位研究，75-85頁。第十八屆測量學術及應用研討會論文集(一)。1999年9月9-10日。宜蘭縣。
6. 陳俊勇。1996。差分GPS實時定位技術概論。測繪科技通報。總第68期第19卷1-4頁。
7. 曾清涼、儲慶美。1999。GPS導航定位方法，6-1~6-40頁。GPS衛星測量原理與應用，第六章。1999年7月1日。台南市。
8. 楊名。1997。GPS靜態及動態測量。GPS衛星定位測量實務。曾清涼、余致義、何慶雄、劉啓清、楊名編著。成功大學衛星資訊研究中心。台南市。
9. 趙志弘。1992。即時性GPS相對定位及通訊方式之探討。第十一屆測量學術及應用研討會論文集。成功大學。台南市。
10. Cook, G. L. 1997. GLONASS Performance, 1995-1997, and GPS-GLONASS Interoperability Issues, *Navigation: Journal of the Institute of Navigation* 44(3): 291-298.
11. Eral, D. C. R., P. N. White, B. S. Blackmore, and R. J. Godwin. 1996. Precision farming. *The Management of Variability Landwards* 51(4): 18-23.
12. Gouzha, Y. G., A. G. Gevorkyan, P. P. Bogdanov, V. V. Ovchinnikov, and I. G. Pushkina. 1995. Getting in sync: GLONASS Clock Synchronization. *GPS World*: 48-56.
13. Leick, A. 1996. *GPS Satellite Surveying*. pp. 380-388.
14. Macbratney, A. B., and M. J. Pringle. 1997. Spatial variability in soil-implications for precision agriculture. in: *First European Conference on Precision Agriculture*. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.
15. Oliver, M. A., Z. Frogbrook, R. Webster, and C. J. Dawson. 1997. A rational strategy for determining the number of cores for bulked sampling of soil. Soil factor section. in: *First European conference on precision agriculture*. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.
16. Simmelsgaard, S. E., and J. Djurhuus. 1997. The possibilities of precision fertilization with N, P, and K based on plant and soil parameters. Soil factor section. in: *First European conference on precision agriculture*. BIOS Scientific Publishers, Ltd. London, UK.

Application of Global Positioning System and Technique of Real Time Kinematics Positioning on Precision Agriculture ¹

Jen-Chyi Liu ², Tsang-Sen Liu ², Chien-Liang Chu ², Horng-Yuh Guo ²
and Ming-Chih Yeh ²

Summary

Two suitable base stations were set up on the rooftop of the building of Department of Agricultural Chemistry, TARI and adjacent the experimental plot of precision agriculture, respectively, to determine the accurate coordinate for sampling and fertilization. According to the best real time kinematics positioning, we could transmit the positioning coordinate to a field computer for estimating the fertilization rates by a decision support system. Setting up the base stations of the global positioning systems to develop the techniques of real time positioning could spread and applicant any relational research on precision agriculture. Combination and application spatial data and property data on agricultural machine could catch the objectives for auto control of agricultural cultivation.

Key words : Precision agriculture, Global positioning system, Real time kinematics positioning.

1. Contribution No.2088 from Taiwan Agricultural Research Institute, Council of Agriculture.

2. Respectively, Assistant, Assistant Researcher, Assistant, Researcher, and Project Assistant, Department of Agricultural Chemistry, TARI, Wufeng, Taichung, Taiwan, ROC.