

中 華 大 學

碩 士 論 文

題目：智慧型 e 化車輛導航系統研究

所 組 別：機械與航太工程研究所

研 究 生：8908033 謝 權 信

指導教授：林 君 明 博 士

中華民國九十一年六月

## 中文摘要

為了要提升汽車的安全性與方便性，因此，本論文將研究全球衛星定位系統、慣性導航系統與地理資訊系統之整合方式，運用在汽車載具上做即時的導航、定位、路徑規劃與導引等等。在 GPS/INS 系統整合方面，是以 INS 為主體，以 GPS 為輔助，以單一卡門濾波器進行信號整合，構建一個低階數，且容易實現的閉迴路分散式複合導航系統。另一方面在 GPS/GIS 系統整合方面，主要是以 GPS 為主，電子地圖為輔助，GPS 將即時收到的座標值，傳給所設計的 User Interface，再經過比對後即時的展示在地圖上。而我們只要觀測地圖，就可獲知現在的所在位置。若考慮再加上最短路徑規劃與導引，更可增加其使用上的附加價值。未來汽車帶給人們的便利性，就已不再只是一般傳統的交通工具，而是一個足以代表二十一世紀最具尖端與科技的行車夥計。

關鍵詞：慣性導航系統、全球衛星定位系統、卡門濾波器、閉迴路分散式複合法、地理資訊系統、最短路徑、電子地圖

## Abstract

The purpose of this thesis is to integrate GPS , INS and GIS into a single system for real-time navigation, locating, route generation,.... etc. , such that one can raise the safety and convenience of automobiles .

In order to integrate GPS and INS, we use two Kalman filters to perform the signal integration, for building a low-order , easily achieved loosely-coupled closed- loop navigation system .

On the other hand, in integrating GPS and GIS , the GPS results are shown on the E-map of GIS . Thus one can know the location on the map . By the way , this thesis takes the Shortest Route Generation Algorithms into consideration by the optimal programming method , thus we can increase the value of the whole system . The future cars that integrate the frontier science and technology of the 21<sup>st</sup> century can bring us not only a traditional vehicle but also a powerful driving partners .

Keywords : INS , GPS , Kalman Filter , Loosely-coupled closed-loop system , GIS , Shortest route generation algorithm , E-map .

# 目 錄

中文摘要 .....	
英文摘要 .....	
誌謝 .....	
目錄 .....	
圖目錄 .....	
表目錄 .....	X I

## 第一章 緒論

1.1 簡介 .....	1
1.2 研究動機與方法.....	2
1.3 相關文獻回顧.....	3
1.4 論文架構.....	4

## 第二章 全球衛星定位系統

2.1 全球衛星定位系統.....	5
2.2 GPS 的導航資料.....	7
2.3 全球定位系統的基本定位原理.....	11
2.4 訊號傳遞誤差之討論.....	12
2.5 虛擬衛星.....	13
2.6 GPS 整體性.....	14

2.7	全球衛星系統之應用.....	16
<b>第三章</b>	<b>慣性導航系統</b>	
3.1	INS 導航系統簡介.....	19
3.2	INS 的運算流程及步驟.....	19
3.3	數值積分法.....	29
<b>第四章</b>	<b>地理資訊系統</b>	
4.1	地理資訊系統簡介.....	31
4.2	地理資料收集.....	35
4.3	GIS 軟體選擇.....	39
<b>第五章</b>	<b>數值地圖</b>	
5.1	簡介.....	43
5.2	資料分析與應用.....	44
5.3	交通路網數值地圖經加值後可從事以下應用.....	62
<b>第六章</b>	<b>台灣地區二度 T M 座標轉換</b>	
6.1	座標系統漫談.....	64
6.2	TWD67 與 TWD97 大地基準.....	65
6.3	TWD67 與 TWD97 孰是孰非.....	70
6.4	TWD67 與 TWD97 座標轉換.....	71

## **第七章 最短路徑規劃**

7.1	路徑規劃簡介.....	76
7.2	路徑規劃的方法.....	76
7.3	即時動態規劃法.....	86
7.4	A* Algorithm.....	90
7.5	最短路徑演算法之發展.....	90
7.6	最短路徑演算法在汽車導航上之應用.....	91

## **第八章 GPS/GIS 系統整合應用**

8.1	GPS/GIS 系統發展情況.....	95
8.2	汽車導航系統軟體.....	98
8.3	功能說明.....	99
8.4	汽車導行未來研究方向.....	101

## **第九章 GPS / INS 整合系統軟、硬體架構與實驗結果**

9.1	系統簡介.....	103
9.2	導航整合數學模式.....	104
9.3	導航系統硬體架構.....	106
9.4	INS 系統硬體架構.....	108
9.5	GPS 接收機.....	111
9.6	Intellio C218 Turbo/PCI 介面擷取卡.....	112
9.7	導航系統軟體.....	113
9.8	實驗結果.....	114
9.9	結論.....	123

## 第十章 未來展望

10.1 未來展望.....	124
----------------	-----

參考文獻 .....	125
------------	-----

附錄一.....	128
----------	-----

附錄二.....	129
----------	-----

附錄三.....	131
----------	-----

附錄四.....	133
----------	-----

附錄五.....	134
----------	-----

附錄六.....	136
----------	-----

附錄七.....	137
----------	-----

## 圖 目 錄

圖 1.1	導航資料處理流程示意圖.....	2
圖 2.1	全球定位系統衛星之軌道分佈示意圖.....	6
圖 2.2	衛星導航訊息 ( Navigation Message ) 架構圖.....	8
圖 2.3	衛星通訊示意圖.....	17
圖 3.1	滾轉 ( Roll ), 俯仰 ( Pitch ), 偏航 ( Yaw ) 示意圖.....	20
圖 3.2	INS 計算流程圖.....	21
圖 4.1	地理資訊系統基本架構圖. ....	32
圖 4.2	座標系統登錄. ....	36
圖 4.3	向量資料與網格資料... ....	37
圖 4.4	網格式資料製作流程示意圖. ....	37
圖 5.1	統一的軌道圖示. ....	48
圖 5.2	地標地物統一格式圖... ....	50
圖 5.3	台灣基石點分佈圖. ....	51
圖 5.4	澎湖基石點分佈圖... ....	52
圖 5.5	道路轉檔程式介面.....	55
圖 5.6	地標地物轉檔程式介面.....	56
圖 5.7	橋樑轉檔程式介面.....	56
圖 5.8	河流轉檔程式介面.....	57
圖 5.9	鐵路軌道轉檔程式介面.....	57
圖 5.10	隧道轉檔程式介面.....	58
圖 5.11	行政區塊轉檔程式.....	58
圖 5.12	行政區塊轉檔程式介面.....	59
圖 5.13	行政區塊轉檔程式流程圖. ....	60
圖 5.14	路測比較圖 ( 未經分、秒轉換 ) .....	61



圖 5.15	路測比較圖（已經分、秒轉換）.....	62
圖 7.1	五節點網路範例圖... ..	77
圖 7.2	Bellman-Ford 演算法示意圖... ..	81
圖 7.3	Dijkstra' s 演算法示意圖.....	85
圖 7.4	最佳化原理... ..	87
圖 7.5	道路網簡圖... ..	87
圖 7.6	理想化的道路網... ..	90
圖 7.7	成本矩陣儲存格式示意圖... ..	92
圖 7.8	最短路徑輸入圖控介面... ..	93
圖 7.9	最短路徑搜尋結果... ..	94
圖 7.10	最短路徑顯示在地圖上... ..	94
圖 8.1	汽車真實之位置、定位之位置與推測之位置示意圖.....	97
圖 8.2	汽車導航程式介面... ..	99
圖 8.3	MapInfo 中圖層代碼的變化情形.....	100
圖 8.4	未來汽車及自動導航系統功能圖... ..	102
圖 9.1	以 GPD 輔助 INS 之閉迴路分散式複合法架構圖 .....	104
圖 9.2	載具座標和導航座標關係圖... ..	105
圖 9.3	導航實驗系統方塊示意圖... ..	107
圖 9.4	陀螺儀輸出電壓與角速度之關係圖... ..	109
圖 9.5	產品連接示意圖... ..	112
圖 9.6	comport 的設定.....	113
圖 9.7	導航程式介面... ..	114
圖 9.8	GPS 模擬未脫鎖之 X、Y 軸.....	115
圖 9.9	GPS 模擬有脫鎖之 X、Y 軸.....	116
圖 9.10	位置相關圖... ..	116
圖 9.11	整合前 INS 之位置圖.....	118

圖 9.12	為整合前 GPS 之位置圖.....	119
圖 9.13	GPS/INS 整合後之位置圖.....	119
圖 9.14	INS 位置誤差之共變異量圖.....	120
圖 9.15	INS 速度誤差之共變異量圖.....	120
圖 9.16	模擬整合後 GPS 脫鎖之位置圖.....	121
圖 9.17	INS 位置誤差之共變異量圖 (GPS 信號有脫鎖時) .....	122
圖 9.18	INS 速度誤差之共變異量圖 (GPS 信號有脫鎖時) .....	122

## 表 目 錄

表 2-1	衛星導航訊息資料格式.....	9
表 2-2	子框一之資料.....	9
表 2-3	子框二與三之傳送資料.....	10
表 2-4	星曆資料.....	11
表 2-5	各波段無線電波頻譜分配表.....	18
表 4-1	地理資訊系統發展沿革發展年代運用內容.....	33
表 4-2	地理資訊應用軟體比較表.....	42
表 5-1	.....	44
表 6-1	各分帶參數表.....	66
表 6-2	一、二等衛星控制點標準誤差平均值.....	70
表 6-3	TWD67 與 TWD97 於虎子山座標值比較.....	71
表 7-1	動態規劃的資料表 .....	88
表 7-2	動態規劃法的比較表.....	88
表 7-3	動態規劃法的路徑表.....	89
表 9-1	GPS 與 INS 性能比較.....	103
表 9-2	陀螺儀接腳配置表.....	108
表 9-3	Data Commands.....	110
表 9-4	Packet Structure.....	110
表 9-5	Data Encoding.....	111

# 第一章 緒論

## 1.1 簡介

今日科技蓬勃發展，尤其台灣地區近年來的經濟成長更是嚇嚇叫，國民平均所得提高，使得小汽車的成長年年上升。相對在道路、停車場等公共設施的建設，卻沒有小汽車成長來得迅速，因此交通擁擠問題就越來越明顯。在都會地區，每天上、下班尖峰時段，大多數主要道路都擁擠不堪。為何民眾捨大眾捷運系統而就小客車呢？除了人們想擁有小客車高機動性及高自由度，是一主因之外，乃因都市的發展快速，已擴充到郊區。而大眾交通工具服務來不及調整，捷運系統又不夠普及，且接駁不理想，故大多選擇以小汽車代步。如此一來，惡性循環，使得道路更加擁擠。鑑於國內道路運輸無法流暢，每天花在塞車的時間過高，且間接造成空氣的污染，在無形中浪費許多社會成本，所以引進高科技，以改善目前的交通環境，一直是政府的既定政策之一。在大眾捷運系統未臻完善前，小汽車之成長及使用，是不會停滯或下降的。因此我們希望整合全球衛星定位系統及地理資訊系統之汽車導航技術，來解決尋找或選擇道路時所造成的道路壅塞及危險。讓小汽車駕駛人，即使在錯綜複雜的市區，或不熟悉的市郊，都能透過路徑導引到達目的地。使行車能更加順暢，進而達到道路交通流量之控制。

電子導航泛指利用電子的方式，來進行導航與定位。在 e 世代中，數位電子可用來儲存導航之資料與地圖，並計算、歸納與推理出導引資訊，或傳送導航用的各類訊息，以利偵知與感測。亦可用以結合載具，以行自主式之導引。此些電子導航技術與系統的存在，無疑地豐富了我們的生活，也便利了人們的作息。導航是一項決定位置與維持行進方向的過程，簡單而言，導航工作包含了：

- a、 決定目前所處的位置與方位
- b、 規劃未來前進的方向與行程
- c、 回溯先前行經的路徑與軌跡

#### d、 預估到達目的地的時間與距離

導航之過程因此與位置（Position）、方向（Direction）、距離（Distance）和時間（Time）有關；此四項又稱為導航之基本元素。導航者必須依照導航所量測的資訊進行推論/計算，並判斷觀測量之可信度。此外尚可與資料庫（Database）或知識庫相互對比，並進行計算處理以決定時間、距離、方向與位置。因此，導航可視為一資訊處理的程序。圖 1.1 說明了導航訊號處理之流程。

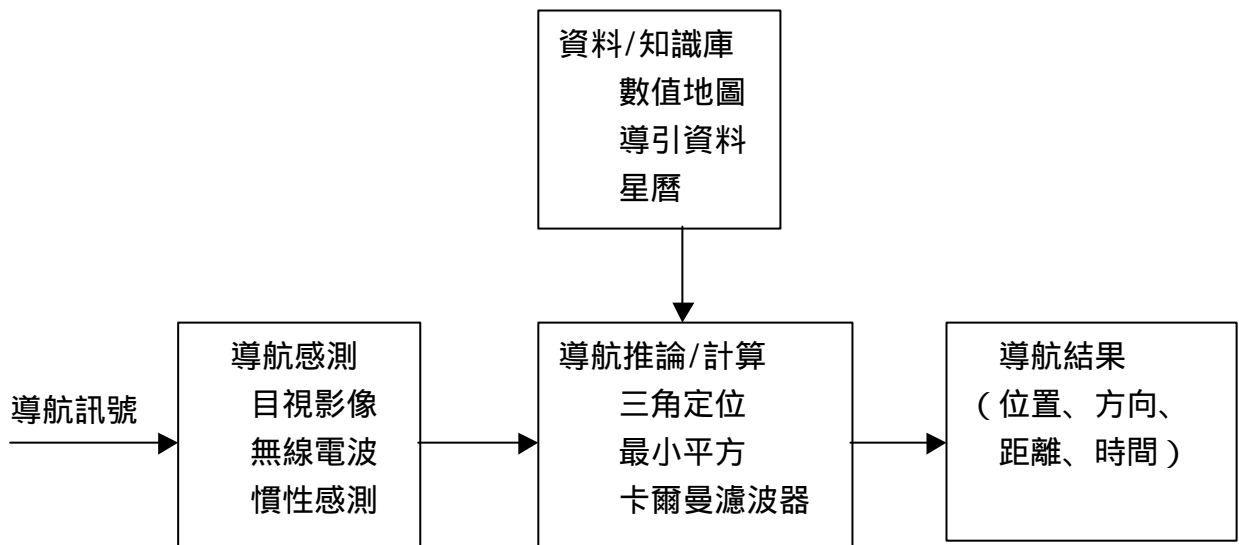


圖 1.1 導航資料處理流程示意圖

#### 1.2 研究動機與方法

隨著半導體製造技術的精進，及電腦科技的快速發展，在今日的電子式導航與汽車導航系統中最重要之關鍵，乃在於汽車的定位精度與產品的價格。在近年來美國政府宣告取消導航選效（Selective Availability, SA）效應，使得 GPS 減少了最大的誤差來源。再加上生產 GPS 的技術也漸漸普及化，現在的 GPS 價格已經不再像從前一樣一台要數十萬，也不再侷限是只有一些特定單位才能使用了。雖說 GPS 帶給了我們很多的便利及附加價值，但它還是有某些地方收不到訊號。比如說，高樓林立的地方、大樓的地下室……等等，因此有些人【1, 2, 3, 4】為了改善這個問題，做過「全球定位系統與慣性導航系統整合（GPS/INS）在載具上的定位與導航」之研究。慣性導航系統（Inertial Navigation System，簡稱 INS）包括三個陀螺儀（Gyroscope）與

三個加速儀 (Accelerometer) 等感測器，造價不便宜，因此使用上還不普及。為了要改善此問題，且考慮應用的場合是在汽車的導航上，所以我們引進了一塊由微機電技術，所開發出來的兩軸加速儀，來取代三個加速儀感測器，此法將可大大的降低部分成本【5】。

本論文的研究方法分成兩部分(1)GPS 結合 INS(2)GPS 結合 GIS 分述如下：(1) GPS/INS 是在 Windows 系統下，採用 Borland C++ Builder Version 5.0 做程式開發，以 P II-400 CPU 的 PC，利用 RS-232 與 Ashtech G12 接收機作連結。而 INS 分成兩部分，其中加速儀是利用 RS-232 與 ADXL202 作連結，而陀螺儀是利用高頻率 A/D Card 作資料擷取。在軟體程式方面則是採用卡門濾波器 (Kalman Filter)，將 GPS 與 INS 整合在一起，以達成即時 (Real-Time) 汽車導航。

(2) GPS/GIS 是在 Windows 系統下，採用 Visual Basic 6.0 作程式開發，讀取 GPS 收到的訊號，再放到資料庫去作處理，並顯示在地圖上，讓使用者可以即時的獲知目前所在地的相關資訊與路徑規劃，以達成即時 (Real-Time) 汽車導航。

### 1.3 相關文獻回顧

大部分的車輛導航系統 (Vehicle Navigation System)，均是採用全球定位系統 (GPS) 做為車輛導航的輔助修正，其整合的方式有 GPS/DR、DGPS/DR、GPS/INS、GPS/GSM【2,10,11,12】。車輛導航無論是使用方位推估器 (DR) 或慣性導航系統 (INS) 各有其優缺點，而為一互補的關係。故 GPS 與 INS 的整合是一種很好的選擇。而利用卡門濾波器將所有資訊整合在一起，可使導航定位方面更加精確，更增加了其附加價值。

結合 GPS 與 GIS 之應用系統，就是將座標位置顯示在相關地圖資料的關係，但卻有各種各樣不同的應用方式。GPS 接收器的功能只是接收衛星的定位訊號，但當與 GIS 一起運用時，卻是一個相當強而有力的工具，它可做地圖繪製的工作。在做大地測量時，測量人員會帶著一些儀器到處跑，依照一已知的定點，測量某點與已知定點的距離、山坡的高度(如道路長度、河流寬度、兩地距離....等)；再利用點所組成的線的資料，求算線所圍出的封閉圖形的面積(如湖泊、窪地、沼澤、樹林....等)；

進而到體積的各種資料。另外還可幫助研究人員描繪出交通路徑，只要將 GPS 接收器裝設在所要描繪路徑之交通工具上，即可由所接收到的座標點得知此交通工具所走的路徑。另外還可幫助土地或道路之開發，先以 GPS 接收器定出預定開發之地區，將這個地區與地圖疊合起來，分析優劣與可行性等，以找出最好之方案。

#### 1.4 論文架構

第一章：緒論。

第二章：簡介 GPS 系統基本架構、信號訊息結構、GPS 各種誤差來源探討、GPS 整體性及應用。

第三章：INS 導航系統簡介與 INS 的運算流程數值積分法。

第四章：地理資訊系統簡介與 GIS 軟體選擇。

第五章：數值資料分析與電子地圖製作流程。

第六章：各分帶簡介與探討各分帶間的關係及轉換方式。

第七章：最短路徑分析及演算法選擇。

第八章：介紹 GPS/GIS 系統發展情況、及軟體簡介。

第九章：說明導航系統的整合方法及系統的軟、硬體架構與實驗結果。

第十章：未來展望說明。

## 第二章 全球衛星定位系統

### 2.1 全球衛星定位系統

定位系統是所有自動導航系統技術中最基本的項目，任何自動導航系統，至少需擁有一項定位系統，以確定自己位置。目前被廣泛採用的定位系統，就是全球衛星定位系統(Global Position System, GPS)。全球衛星定位系統是由美國國防部，基於軍事上的需要而設計的系統，其間動用了難以計數的人力及上百億美金的經費，並經過了二十多年的研究、開發，終能在一九九三年完成部署。全球衛星定位系統是項結合衛星及無線傳輸技術之定位系統，能夠提供使用者精確位置、速度及時間，其應用已廣泛存在於目前市場。隨著衛星科技的進步，許多衛星定位系統技術及商機亦正迅速地發展，全球衛星定位系統應用於導航定位是許多先進國家積極研究的課題，利用此一太空時代的科技，任何人都可輕易地得到正確的位置、速度及時間。由於全球衛星定位系統運用如此方便，為市場帶來許多商機，但全球衛星定位系統是屬於美國國家財產，會不會因美國的政策改變，以致其他國家不能使用此一系統，造成投資損失。為了減少人們對美國推展全球衛星定位系統的疑慮，美國聯邦航空總署正式宣布，全球衛星定位系統的民用訊號，將免費提供世界各國使用，萬一因美國基於國家安全的考量和需要而欲改變此一政策，除須經過美國總統同意，並在中止使用權前六年，先向世界各國宣佈，讓民間有時間準備應變之道，充分展現美國大力推廣全球衛星定位系統的誠意與決心。

GPS 全球衛星定位系統之架構可分為太空部份、控制部份及使用者部份等三大部份【6】，其說明如下：

#### 2.1.1 太空部份



所謂太空部份即是指太空中的 GPS 衛星群(計 24 顆 )，每顆 GPS 衛星上面都有一個頻率穩定的原子鐘，產生 10.23MHz 的穩定基頻，用以組成的 C/A 電碼

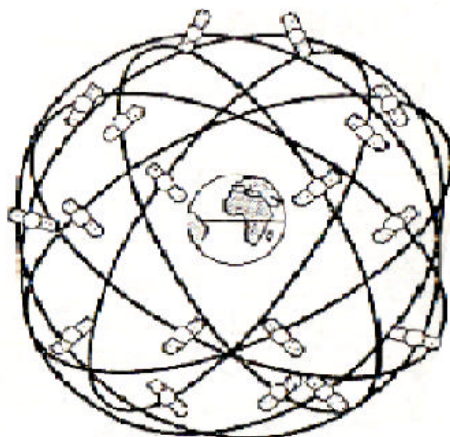


圖 2.1 全球定位系統衛星之軌道分佈示意圖

( 頻率 1.023 MHz ) 及 P 電碼 ( 10.23 MHz ) 的隨機電碼 PRN ( Pseudo Random Noise )，並調制在 L1 載波 ( 頻率為  $154 \times 10.23$  MHz，波長約為 19cm ) 及 L2 載波 ( 頻率為  $120 \times 10.23$  MHz，波長約為 24cm ) 上。L1 及 L2 皆調制為 50 BPS ( Bits Per Second ) 的衛星訊息，而組成為完整的無線電雙頻訊號，並持續向地面廣播。

#### 2.1.2 控制部份

GPS 之操作控制系統是於 1985 年 9 月完成。整個系統包括一個主控站、3 個地面天線及 5 個監視站，每個監視站均擁有一個 GPS 雙頻接收器、標準原子鐘、感應器及資料處理機，且其所使用之 WGS-84 座標，均經美國國防製圖局精密量測而得。每個監視站，每天 24 小時不停地連續追蹤觀測每一顆衛星，並將每 1.5 秒之虛擬距離觀測量、觀測所得氣象資料及電離層資料聯合起來求解，得到每 15 分鐘一組之均勻化數據 ( Smoothed Data )，然後將數據再送至主控站。主控站位於美國科羅拉多州斯普林市 ( Colorado Springs ) 的聯合太空控制中心 ( Consolidated Space Operation Center )，其功能為接收由五個監測站傳輸來的各種數據，並計算出衛星星曆資料、衛星時錶修正量參數，及電離層延遲之改正參數。而後再將相關資料傳送至地面天線再發射給衛星，以更新衛星內之資料。主控站除了對衛星做軌道修正的計算外，並能

發出控制衛星之各項命令，及取消功能不良的衛星任務，以由預備衛星取代。地面天線利用 S 頻道之無線電波傳送資料到衛星，正常情形下每隔 8 小時就會傳一次資料到衛星上。

### 2.1.3 使用者部份

使用者部份指的是能夠接收 GPS 衛星訊號之接收站。由於 GPS 之用途甚廣，使用者部份可依目的之不同（如應用於導航、計時、測量 等），而可採不同功能及精度的接收器。基本上 GPS 衛星訊號之接收站至少應包括天線、接收器、記錄器、通訊介面、顯示螢幕、資料處理器，及電力供應設備。

## 2.2 GPS 的導航資料

GPS 所傳送的導航資料，為導航者定位與定時之重要資訊。基本上，GPS 導航資料提供下述資訊【7】：

- 1、GPS 衛星之軌道資料。這些資料可供導航者，推算出衛星之所在位置，進而提供導航者定位功能。
- 2、GPS 衛星時鐘資料。可供導航者推算衛星時鐘與 GPS 接收機時間之誤差量。
- 3、交換（Handover Word，HOW）字碼。若採用 P 碼解調，接收器一般得花費較長時間以鎖定電碼，導航資料中之交換碼，可減少搜尋時間以快速鎖定 P 碼。
- 4、各衛星之分佈。使用者可由導航資料中各衛星之分佈與星曆，規劃較佳之定位時段。
- 5、對時（Time Transfer）。導航資料中包含 GPS 校準時間至 UTC（Universal Coordinated Time）時間之轉換，可用以進行時鐘校準。
- 6、電離層模式。導航資料中之電離層修正模式，可供單頻 GPS 接收器修正之參考。
- 7、訊號品質。導航資料中有一精度指數，可為 GPS 訊號品質監測之參考。

衛星導航訊息 (Navigation Message) 架構如圖 2.2 所示：傳送頻率為每秒 50 位元，其導航訊息資料主篇幅 (Main Frame) 之整個長度為 1500 個位元 (Bits)。內容分為五個子篇幅 (Subframe)，每個子篇幅長度為 10 個字元 (Word)，每個字元含 30 個位元，所以每個子篇幅之長度為 300 位元。每 6 秒接收器即可收到一個子篇幅的訊息內容，而每一資料框需花費 30 秒接收。每一總框資料由 25 頁資料框構成共需 12.5 分鐘的時間。在此 25 頁中，子框一、二、與三是不變的。但子框四與五隨頁數不同而更動【8】。表 2-1 詳細的說明各子框之格式。表 2-2、2-3 與 2-4 說明各子框傳送的資料內容。

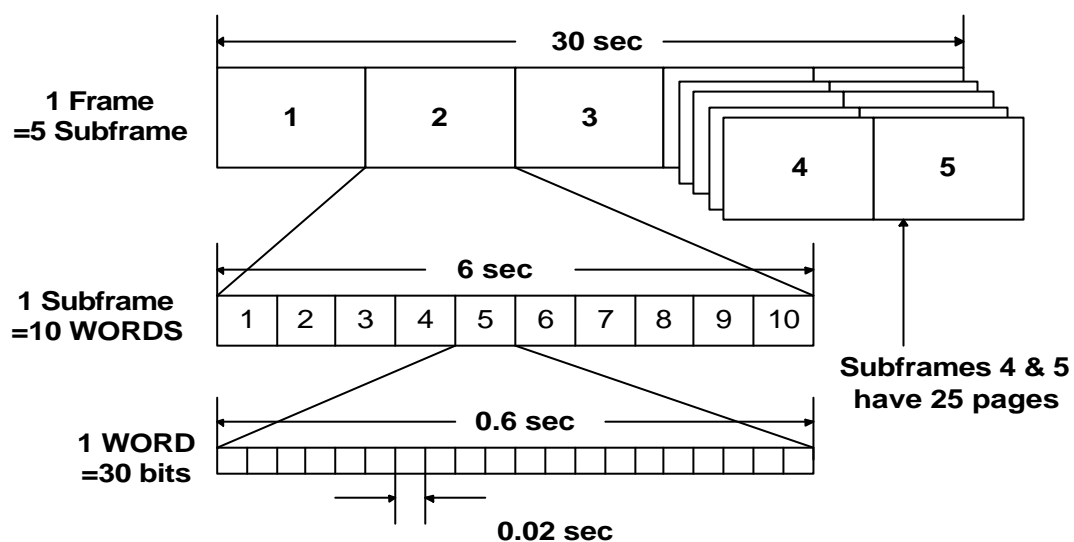


圖 2.2 衛星導航訊息 (Navigation Message) 架構圖

表 2-1 衛星導航訊息資料格式



表 2-2 子框一之資料

資料	位元數
GPS 週數	10
衛星精度指數 $N$	4
衛星健康狀態	6
群延遲修正量 $t_{GD}$	8
資料設定時間	10
衛星時鐘參考時間 $t_{oc}$	16
衛星時鐘頻率漂移 $a_{f2}$	8
衛星時鐘漂移 $a_{f1}$	16
衛星時鐘偏置 $a_{f0}$	22

表 2-3 子框二與三之傳送資料

資料	位元數
平均角 $M_0$	32
平均角速度差值 $\Delta n$	16
離心率 $e$	32
半長軸開根號 $A^{\frac{1}{2}}$	32
昇交角 $\Omega_0$	32
傾斜角 $i_0$	32
近地夾角 $w$	32
昇交角變化率 $\Omega'$	24
傾斜角變化率 $i'$	14
緯度修正量餘弦係數 $C_{uc}$	16
緯度修正量正弦係數 $C_{us}$	16
軌道半徑修正量餘弦係數 $C_{rc}$	16
軌道半徑修正量正弦係數 $C_{rs}$	16
傾斜角修正量餘弦係數 $C_{ic}$	16
傾斜角修正量正弦係數 $C_{is}$	16
衛星軌道參考時間 $t_{0e}$	16
衛星軌道資料設定時間	8

表 2-4 星曆資料

資料	位元數
平均角 $M_0$	24
離心率 $e$	16
半長軸開根號 $(A)^{\frac{1}{2}}$	16
昇交角 $\Omega_0$	24
近地夾角 $w$	24
昇交角變化率 $\Omega'$	16
傾斜角修正量 $d_i$	16
衛星時鐘偏置 $a_{f0}$	11
衛星時鐘漂移 $a_{f1}$	11
星曆參考時間 $t_{0a}$	8

### 2.3 全球定位系統的基本定位原理

虛擬距離量測是利用電碼技術求得，方法如下【3】：

首先由接收機複製與衛星所傳送之相同電碼，當接收機收到來自衛星之電碼時，立即偏移內部電碼之時序，使其與來自衛星之電碼相關值為最大 (Maximum correlated)，此時衛星訊號即被鎖定 (Lock-on)。而接收機內部電碼之偏移量，則為衛星訊號由衛星傳送至接收機之時間，此值乘以光速即可得虛擬距離。利用此法定位，必須是衛星時錶與接收機時錶同步的情況下，但實際上並無法達成，故定義一 GPS 時系 (GPS Time, GPST) 作為參考時系。而虛擬距離觀測方程式如下所示：

$$\begin{aligned}
 \Delta t &= t_R - t_S = (t_R(GPST) - d_R) - (t_S(GPST) - d_S) \\
 &= \Delta t(GPST) + \Delta d
 \end{aligned}
 \tag{2-1}$$

$$\begin{aligned}
 R &= C \cdot \Delta t = C \cdot \Delta t(GPST) + C \cdot \Delta d \\
 &= \mathbf{r} + C \cdot \Delta d
 \end{aligned}
 \tag{2-2}$$

其中

$t_S(GPST)$  : GPS 時系下衛星發射訊號的時刻

$t_R(GPST)$  : GPS 時系下接收機接收訊號的時刻

$t_S$  : 衛星時系下衛星發射訊號的時刻

$t_R$  : 接收機時系下接收機接收訊號的時刻

$d_S$  : 衛星之時錶誤差

$d_R$  : 接收機之時錶誤差

$R$  : 虛擬距離

$\mathbf{r}$  : 在 GPS 時系下所解算出衛星至接收機的距離

$C$  : 光速

$\Delta d: d_S - d_R$

#### 2.4 訊號傳遞誤差之討論

大氣層中有電離層與對流層，這兩層所造成之誤差雖然於公式中有加以考慮，但電波在進入不同介質時，其不同的入射角將產生不同的路徑。因此每顆衛星於大氣層中所延遲的時間並不相同，而對於低仰角之衛星的訊號有較顯著之影響。可惜的是，這個結果卻與精度因子（DOP）之情況相衝突。因為好的精度因子希望各衛星位置分散而不要集中在一起，如此可有較精確之定位。但分散之衛星，勢必造成有些衛星位於低仰角之處，而增加了電波於大氣層延遲之影響。

對流層之影響主要以大氣密度與水氣含量有關 [林國修，P28]，因各衛星

所在位置不同，使得經過之對流層區域亦不相同，因此其中大氣密度與水氣含量等影響因素亦不相同。而計算公式中將四顆衛星之大氣影響視為同值，本身即有誤差。但是這些誤差亦是無可奈何的，因為並不可能隨時去測量大氣中各個因子之物理量及其變化。

人為的因素主要是美國軍方基於國防安全，為了讓一般使用者，不要達到太高的精度，而加上的一種保護(Anti-Spoof, AS)措施，除非是經過特別的允許，否則極難解碼接收。例如：Y-code 即是一例。另一種人為的干擾則來自抖動(Dithering)衛星時鐘之頻率，此誤差稱為亂碼干擾誤差(Selective Availability, S/A)，美國已於 2000 年 5 月 2 日宣佈取消 SA，但仍會對某些敵對國家，不定期對某些地區實施干擾。

## 2.5 虛擬衛星

所謂虛擬衛星(Pseudo Satellite 或 Pseudolite)並不是一顆衛星，而是一可傳送近似全球導航衛星系統(GNSS)訊號之訊號源。在 GPS 系統發展之初，曾採用地面上之虛擬衛星，以提供足夠的定位訊號。虛擬衛星的最大好處在對於高遮蔽地區之定位幫助頗大。導航者原則上可採用現有的 GPS 或 GNSS 接收器，來接收虛擬衛星的訊號，這是因為頻率、訊號調變格式等均相同。虛擬衛星可傳送 GPS 訊號、GLONASS 訊號、或兩者，視系統設計而定。對於 GPS 虛擬衛星而言，可以採用 GPS 備用的 PRN 碼。如此對 GPS 接收器而言，唯一要加裝修改的只有軟體。因為虛擬衛星位置一般固定在一基站，故可不用傳送星曆等導航資料，而可改傳送其他型式之資料。虛擬衛星在設計上與使用時最重要的挑戰在於功率的問題。由於虛擬衛星與導航者的距離遠小於衛星與導航者之距離，故若訊號強度調整不當，虛擬衛星之訊號會遠大於 GPS 或 GNSS 訊號，反而妨礙正常的定位，因此一般得對虛擬衛星的訊號強度，做適當的控制。常見的方法是利用脈波切換方式，與限制導航者使用範圍等。虛擬衛星原則上可採用較 GPS 訊號更高的碼率，以避免對 GPS 形成干擾。虛擬衛星設計的另一考量，是與 GPS (或 GNSS) 同步的問題。由於導航者必須結合 GPS (或 GNSS) 與虛擬衛星的訊號，若兩者存有時鐘誤差，就會造成定位誤差。解決此種問題的方法可以在虛擬衛星基站



上，安置一 GPS（或 GNSS）接收器，並利用接收器所推算之時鐘誤差，控制虛擬衛星之訊號產生電路。另一種方法則是由使用者，另行估算虛擬衛星的時鐘差。虛擬衛星的加成效果在於改善精度因子，對近域輔助系統，垂直方向精度之提高有相當大的幫助，所以大多設置在機場附近。

## 2.6 GPS 整體性【7】

一完善的導航服務應可以提供符合需求的精度（Accuracy）、整體性（Integrity）、持續服務性（Continuity of Service）及妥善率（Availability）。所謂精度意指其所推算之位置、速度、與時間，較於正確之位置、速度、與時間之一致性。整體性則泛指，所提供導航解之可信程度。持續服務則為在操作過程中，所提供正常導航服務，不受到中斷的機率。妥善率則為此一導航服務，可用的時間百分比。GPS 所提供的精度，原則上以符合大部分導航的需求。接下來將針對整體性監測的方法，深入探討：

所謂整體性意指，系統在不能正常工作時提供告警的能力。對 GPS 定位或定時，一旦系統無法正常工作而未能適度告警，則將引發一系列不可預知之危險。例如，機場附近航空大紊亂，通信系統（採 GPS 定時）之計價失序等。GPS 系統異常之發生，可能肇因於衛星之失去控制、軌道偏移、電路故障，亦可能源自地面監控站。最常見之異常，可歸納為以下諸項。首先 GPS 衛星上之原子鐘，會有雜亂跳動，瞬間不穩等現象。由於 GPS 之定位假設各 GPS 衛星係同步地，故其中一顆之時鐘異常會導致定位異常。此種時鐘異常，亦可能發生在地面監控站上。監控站之功能係將各 GPS 之資訊，加以處理以求出各衛星位置、時鐘等之偏移。在此處理過程中，仰賴卡門濾波器；若處理時有計算錯誤，如協變矩陣之奇異（singular），亦可能造成系統異常。GPS 衛星軌道受到地球扁圓效應，太陽輻射壓力，太陽月球引力，或本體推進反作用力之影響可能偏移。若其所播放之軌道常數未修正，則將引發定位誤差。異常之定位亦可能由於外來訊號之干擾，或接收訊號之脫落。原則上 GPS 展頻方式可取得一定程度的干擾去除能力。但若存在頻率相近，和編碼格式相仿之非 GPS 訊號，則定位能力將大受影

響。而且訊號之脫落，無論源自遮蔽或多路徑效應，均會影響定位品質。為了避免上述異常對 GPS 系統整體性之危害，就得仰賴整體性監測。以下就提升 GPS 整體性之各種方式，加以描述比較。第一種方式是將整體性功能，建立於 GPS 接收器上，此即所謂接收器自主偵測（Receiver Autonomous Integrity Monitoring, RAIM）。此法主要的精神是利用多餘的衛星觀測量以偵知差異，進而判斷故障之衛星，而加以排除於導航計算中。如前所述，欲達到定位與定時，至少需 4 顆衛星之觀測量。但 GPS 衛星之分佈，一般可能有 5 至 7 顆衛星之觀測量。如果能再加上俄羅斯 GLONASS 衛星，或同步軌道 INMARST 之觀測，則可得 10 個以上觀測量，此時利用多個觀測量以求解較少個未知量的原理。使用 RAIM 之優點在於其獨立性，即不需額外之資料鏈(Data Link)或基地站。但其缺點在於監測品質，受到觀測衛星數目的影響甚鉅。同時，若有多顆衛星同時故障，則 RAIM 之使用將面臨困難。

第二種提升 GPS 整體性之方式，為廣域整體性播發系統（Wide Area Integrity Broadcast, WIB）。此法是使用一群互相連線之基地台，同時觀測 GPS 衛星，並判斷各衛星之健康狀態。此一健康報告再經由同步軌道衛星，傳送至各使用者，以保證系統之整體性。此種又稱為 GPS 整體性頻道（GPS Integrity Channel, GIC）之方法，其優點在於此項服務可納入正常 GPS 服務之內，可同時傳送廣域差分式修正量及定時參考量等，也因而提升系統之可靠度與精度。另一方面，同步軌道之衛星，亦可發射定位用之訊號，更增加可觀測之衛星顆數。此法之缺點主要是使用者，無從辨知所接收到的修正訊息是正確的。提高 GPS 整體性之第三種方法，是使用輔助定位衛星或稱虛擬衛星（Pseudo Satellite）。此法是在一選定之點位（未必在衛星上），播發與 GPS 格式相同之導航訊息，以供近域導航者定位。由於採用相同訊號格式與不同的 PRN 碼，故導航者無需添加硬體裝置。此項方法的限制則是服務範圍有所限制。最後一種提升 GPS 系統整體性之方法，是仰賴其他型式之輔助定位裝置，以進行資料融合（Data Fusion）。此種方法最具代表性的是整合式 GPS/INS 導航。此法充分利用了 GPS 之長期穩定性，與慣性導航系統（INS）之短期穩定性，整合後可改善定位精度，防止週

波脫落，修正陀螺儀偏差，並改善整體性。

## 2.7 全球衛星系統之應用

一般衛星除了應用在定位系統上還可以運用在通訊與資料的傳輸上：

### 2.7.1 衛星通訊

衛星通訊是利用人造地球衛星，作為無線電訊號的中繼，並將訊號放大後轉送其他至接收器。由於無線電波的特性，以高頻無線電波傳送資料，其電波行進方向為直線前進，會受地球曲率的影響無法做長距離的傳送而需以地面站作為中繼。若以衛星做為中繼，則透過一顆衛星，即可進行長距離之通訊，如圖 2.3 所示。在一顆通信衛星天線波束所覆蓋的地球表面區域內，其各種地面站的訊號，均可以通過衛星中繼、轉送以進行通訊。圖中 A 站與 B 站進行通訊，則 A 站將把訊號發射給衛星，衛星再把接收到的訊號進行放大，並經過頻率變換後轉送到 B 站。這樣 B 站就能收到 A 站發來的訊息。同理，反過來說 A 站也能收到 B 站所發訊息。另外，衛星通訊系統結合蜂巢式電話系統，將擴大電話服務區域，當使用者的行動電話通訊，超出了傳統地面蜂巢式電話的服務範圍，則可直接轉換成衛星系統繼續服務，以克服地面漫遊所遭遇的問題。未來的通訊將不是一個獨立的系統作業，而是運用各項通訊設備的優點，整合成一個完整的架構，使得通訊系統可以沒有死角的提供人類使用。

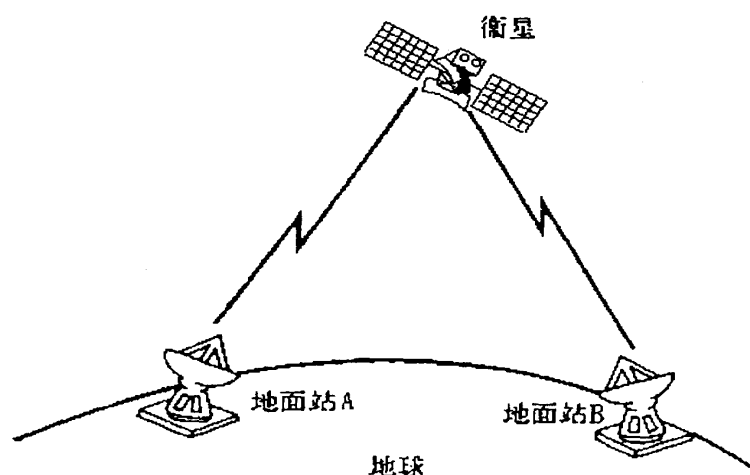


圖 2.3 衛星通訊示意圖

### 2.7.2 以衛星通訊方式進行數據資料傳輸

以衛星通訊方式，進行數據資料傳輸工作的應用非常廣泛，如目前最盛行的全球衛星定位系統，即是以衛星廣播的方式，將衛星定位資料傳送到接收器內，再經由接收器內微處理機的計算，而求得使用者精確位置。一般衛星定位接收器均含有連接埠，可提供筆記型電腦連接，進而讀取接收器內數位資料加以運用。除此之外，我國中華衛星一號已順利升空並到達指定位置，此衛星附有 ka 頻段（17GHz - 31GHz）的通訊實驗任務，實驗完成後對於需要高速率傳送的多媒體資料，將可經由衛星透過 ka 頻段的無線電波加以傳送，對於傳輸速率限制的瓶頸亦可突破。屆時無線數據資料除可透過衛星進行雙向溝通外，對於全國性的公眾訊息資料，亦可透過中華衛星一號比照全球衛星定位系統方式，將訊息負載於 ka 頻帶範圍內加以廣播，以利全國的使用者讀取運用（各波段無線電波頻譜分配如表 2-5 所示）【9】

表 2-5 各波段無線電波頻譜分配表

波段	頻率範圍	波段	頻率範圍
VHF	54~216 MHz	K	10.9~36.0 GHz
UHF	470~890 MHz	Ku	11.7~14.5 GHz
L	0.39~1.55 GHz	Ka	17.0~31.0 GHz
S	1.55~5.20 GHz	Q	36.0~46.0 GHz
C	3.90~6.20GHz	V	46.0~56.0 GHz
X	5.20~10.9 GHz		

### 第三章 慣性導航系統

#### 3.1 INS 導航系統簡介

載具(Vehicle)由一個地方到另一個地方，指示其間方向與距離的科學，稱之為『導航』。慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)於1950年代開發完成，是一個自主性、獨立、利用地球的慣性重力運作的電子導航系統，不受天候、距離等限制，也不受外來的干擾。而且，它不需要借助外來的資料，完全靠本身之慣性組件(Inertial-Components)。它是由陀螺儀(Gyroscope)和加速儀(Accelerometer)等感測器所構成。將它裝在載具上，用來測量載具運動狀態，而根據載具的角速度和線性加速度隨時間的變化情形，再利用系統的導航計算機來運算，就可以即時(Real-Time)得知載具現在的位置、速度和姿態，以獲得載具於慣性座標系統之導航資料。

#### 3.2 INS 的運算流程及步驟(蔡豐隆, 2001)

INS 主要是由三個陀螺儀【11】和兩個加速儀所組成，其安裝方式是以右手定則的三個方向，如圖 3.1 所示，互相垂直排列。而車輛導航之 INS 共有 3 個感測軸及運用一塊具雙軸感測的加速儀及一個感測旋轉方向的陀螺儀(Directional Rate Gyro)。當載具運動時，在載具上的陀螺儀會立刻提供水平方位的角速度資料，而加速板則提供雙軸向的加速度資料。以這些資料和輸入的初始位置、速度、姿態等參考資料，經過計算機的運算之後，就可以求出載具目前所在的位置、速度和姿態。

INS 的計算流程表示如圖 3.2，計算過程分為下列幾個步驟：

- (a) 設定滾轉角(Roll)、俯仰角(Pitch)及偏航角(Yaw)的初始值，並計算四元素(Quaternion)的初始值。將這些角度轉換成四元素的主要目的是，預防以正切或餘切三角函數反求姿態角  $\cos$ 、 $\sin$  時，在某些角度時的值為零，並且又出現在  $\tan^{-1}$  或  $\cot^{-1}$  的分母，將導致一個無窮大的值，造成系統的發散。

四元素與初始姿態之關係如下：

$$q_1 = \cos\left(\frac{f}{2}\right)\cos\left(\frac{q}{2}\right)\cos\left(\frac{y}{2}\right) + \sin\left(\frac{f}{2}\right)\sin\left(\frac{q}{2}\right)\sin\left(\frac{y}{2}\right) \quad (3-1)$$

$$q_2 = -\cos\left(\frac{f}{2}\right)\sin\left(\frac{q}{2}\right)\sin\left(\frac{y}{2}\right) + \sin\left(\frac{f}{2}\right)\cos\left(\frac{q}{2}\right)\cos\left(\frac{y}{2}\right) \quad (3-2)$$

$$q_3 = \cos\left(\frac{f}{2}\right)\sin\left(\frac{q}{2}\right)\cos\left(\frac{y}{2}\right) + \sin\left(\frac{f}{2}\right)\cos\left(\frac{q}{2}\right)\sin\left(\frac{y}{2}\right) \quad (3-3)$$

$$q_4 = \cos\left(\frac{f}{2}\right)\cos\left(\frac{q}{2}\right)\sin\left(\frac{y}{2}\right) - \sin\left(\frac{f}{2}\right)\sin\left(\frac{q}{2}\right)\cos\left(\frac{y}{2}\right) \quad (3-4)$$

其中  $f, q, y$  分別為載具的瞬時滾轉角、俯仰角及偏航角

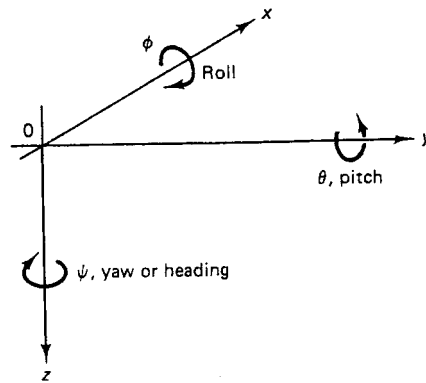


圖 3.1 滾轉 (Roll), 俯仰 (Pitch), 偏航 (Yaw) 示意圖

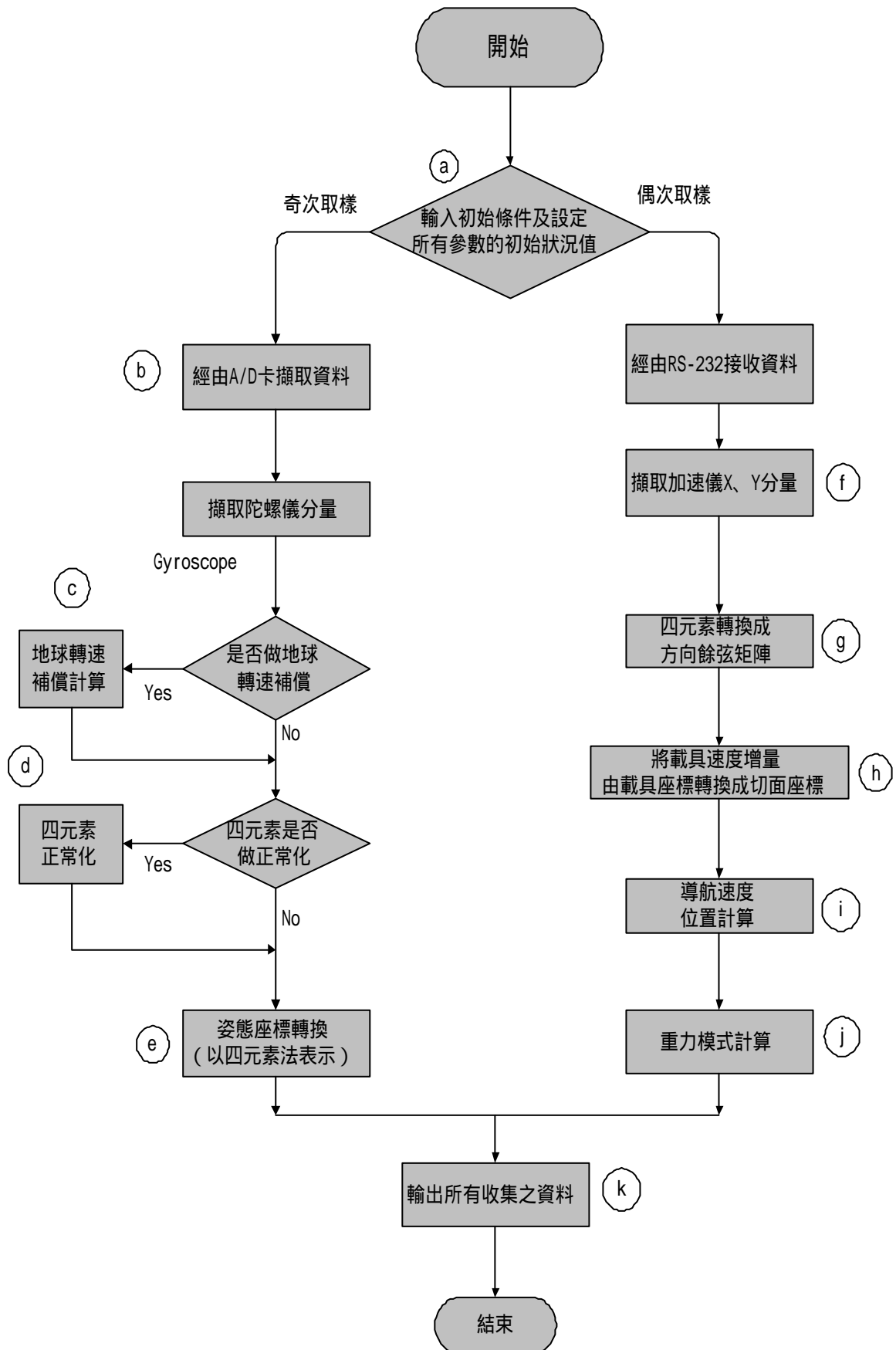


圖 3.2 INS 計算流程圖



(b) 取得陀螺儀之量測值

系統每隔 0.3 *m sec* 時，依序讀取陀螺儀 1, 2, 3 之量測值，讀取一次完整的資料共需 0.9 *m sec*。

(c) 地球轉速補償計算

此步驟是輸入載具角速率、地球轉速、四元素而計算出地球轉速之補償值以供下列步驟 (e) 中使用，說明如下：若為飛行載具，則由於地球的自轉，所以我們若以地球座標來觀察，則陀螺儀似乎有進動(*precession*)的現象。但事實不然，所以必須加以補償，而使平台隨時都保持與地表水平，如此加速儀所測得的加速度才是在導航座標的加速度分量。

$$\begin{bmatrix} \Delta \mathbf{q}'_{roll} \\ \Delta \mathbf{q}'_{pitch} \\ \Delta \mathbf{q}'_{yaw} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta \mathbf{q}_{roll} \\ \Delta \mathbf{q}_{pitch} \\ \Delta \mathbf{q}_{yaw} \end{bmatrix} - \mathbf{w}_{ie} \begin{bmatrix} \cos L \\ 0 \\ -\sin L \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

$$T_1 = 0 \quad (3-6)$$

$$T_2 = -\mathbf{q}_3 \times \Delta \mathbf{q}_{yaw} \quad (3-7)$$

$$T_3 = \mathbf{q}_2 \times \Delta \mathbf{q}_{yaw} - \mathbf{q}_4 \times \Delta \mathbf{q}_{roll} \quad (3-8)$$

$$T_4 = \mathbf{q}_3 \times \Delta \mathbf{q}_{roll} \quad (3-9)$$

其中  $\Delta \mathbf{q}_{roll}, \Delta \mathbf{q}_{pitch}, \Delta \mathbf{q}_{yaw}$  為陀螺儀每次中斷時的角度增量，

$\Delta \mathbf{q}'_{roll}, \Delta \mathbf{q}'_{pitch}, \Delta \mathbf{q}'_{yaw}$  是  $\Delta \mathbf{q}_{roll}, \Delta \mathbf{q}_{pitch}, \Delta \mathbf{q}_{yaw}$  經過地球轉速補償計算後之值，

$T_1, T_2, T_3, T_4$  是四元素經地球轉速補償計算後之值。

(d) 將四元素作正規化 (Normalize) 運算

依理論四元素值有下列關係，

$$q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + q_4^2 = 1 \quad (3-10)$$

但由於計算次數的增加，而產生的截位誤差(Truncation error)和捨位誤差(Round-off)將使得式(3-10)不滿足，所以計算一段時間後須再對四元素做正規化，以免誤差擴大，方法如下：

$$d^2 = q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + q_4^2 = 1 - \epsilon \quad (3-11)$$

$$q'_i = q_i / d = q_i / \sqrt{1 - \epsilon} \approx q_i \left(1 + \frac{1}{2}\epsilon\right) = q_i \left(\frac{3}{2} - \frac{1}{2}d^2\right) \quad (3-12)$$

$q'_i$  為正規化後之四元素值

(e) 將姿態由載具 (Body) 座標轉換至切面 (Tangent Plane) 座標

我們輸入載具角速率、地球轉速補償值，經計算而得到四元素值。

姿態微分方程式為

$$\dot{q}_b^t = \frac{1}{2} q_b^t \mathbf{w}_{ib}^b = \frac{1}{2} q_b^t \mathbf{w}_{ib}^b - \frac{1}{2} q_b^t \mathbf{w}_{it}^b \quad (3-13)$$

$\mathbf{w}_{it}^b = \mathbf{w}_{ie}^b$  表地球轉速，式 (3-13) 右側之第二項為地球轉速補償，若無補償時則

使用式 (3-14)

$$\dot{q}_b^t = \frac{1}{2} q_b^t \mathbf{w}_{ib}^b \quad (3-14)$$

式 (3-14) 的解可寫為

$$q(t + \Delta t) = q(t)P(t, \Delta t)$$

$$= (q_1(t) + \bar{i}q_2(t) + \bar{j}q_3(t) + \bar{k}q_4(t))(P_1 + \bar{i}P_2 + \bar{j}P_3 + \bar{k}P_4) \quad (3-15)$$

其中  $\Delta t$  為每次中斷的時間，而  $P_1, P_2, P_3, P_4$  的求法如下：

$$S = \Delta q_x^2 + \Delta q_y^2 + \Delta q_z^2 \quad (3-16)$$

$$P_1 = 1 - S/8 \quad (3-17)$$

$$P_2 = \Delta \mathbf{q}_x \times (1/2 - S/48) - (\Delta \mathbf{q}_y \Delta \mathbf{q}_x^* - \Delta \mathbf{q}_z \Delta \mathbf{q}_y^*)/24 \quad (3-18)$$

$$P_3 = \Delta \mathbf{q}_y \times (1/2 - S/48) - (\Delta \mathbf{q}_x \Delta \mathbf{q}_y^* - \Delta \mathbf{q}_z \Delta \mathbf{q}_x^*)/24 \quad (3-19)$$

$$P_4 = \Delta \mathbf{q}_z \times (1/2 - S/48) - (\Delta \mathbf{q}_x \Delta \mathbf{q}_z^* - \Delta \mathbf{q}_y \Delta \mathbf{q}_z^*)/24 \quad (3-20)$$

其中  $\Delta \mathbf{q}_x^*, \Delta \mathbf{q}_y^*, \Delta \mathbf{q}_z^*$  為陀螺儀之前一次中斷時間內的角度增量。

其次計算轉換後之四元素值：

$$q_1(t + \Delta t) = q_1(t)P_1 - q_2(t)P_2 + q_3(t)P_3 - q_4(t)P_4 \quad (3-21)$$

$$q_2(t + \Delta t) = q_1(t)P_2 + q_2(t)P_1 + q_3(t)P_4 - q_4(t)P_3 \quad (3-22)$$

$$q_3(t + \Delta t) = q_1(t)P_3 - q_2(t)P_4 + q_3(t)P_1 + q_4(t)P_2 \quad (3-23)$$

$$q_4(t + \Delta t) = q_1(t)P_4 + q_2(t)P_3 - q_3(t)P_2 + q_4(t)P_1 \quad (3-24)$$

(f) 取得加速儀之量測值

系統以 38400 bps 的 baud rate 擷取加速儀的 X、Y Axis MSB 與 X、Y Axis LSB 之量測值。

(g) 將四元素轉換成方向餘弦矩陣

$$C_b^t = \begin{bmatrix} q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 - q_4^2 & 2(q_2q_3 - q_1q_4) & 2(q_4q_2 + q_1q_3) \\ 2(q_4q_1 + q_2q_3) & q_1^2 - q_2^2 + q_3^2 - q_4^2 & 2(q_3q_4 - q_1q_2) \\ 2(q_4q_2 - q_1q_3) & 2(q_3q_4 + q_1q_2) & q_1^2 - q_2^2 - q_3^2 + q_4^2 \end{bmatrix} \quad (3-25)$$

或改寫成

$$C_b^t = \begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{yx} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{zx} & C_{zy} & C_{zz} \end{bmatrix} \quad (3-26)$$

其中每個元素代表一座標軸，在另一座標系統中之方向餘弦，例如  $C_{xx}$ 、 $C_{xy}$ 、 $C_{xz}$  為載具座標  $X$  軸，在慣性座標中之三個方向餘弦，亦可視作載具座標  $X$  軸上，單位向量在慣性座標之三分量。

所以可將將其中的九個元素，依行或列組成三個行向量(Column Vector)：

$$C_1 = \begin{bmatrix} C_{xx} \\ C_{yx} \\ C_{zx} \end{bmatrix} \quad C_2 = \begin{bmatrix} C_{xy} \\ C_{yy} \\ C_{zy} \end{bmatrix} \quad C_3 = \begin{bmatrix} C_{xz} \\ C_{yz} \\ C_{zz} \end{bmatrix} \quad (3-27)$$

及三個列向量(Row Vector)

$$\begin{aligned} R_1 &= [C_{xx} \quad C_{xy} \quad C_{xz}] \\ R_2 &= [C_{yx} \quad C_{yy} \quad C_{yz}] \\ R_3 &= [C_{zx} \quad C_{zy} \quad C_{zz}] \end{aligned} \quad (3-28)$$

因行與列向量均正交座標軸上一單位向量之三向量，所以

$$\begin{aligned} C_i \cdot C_j &= 1 \quad \text{若 } i = j \\ &= 0 \quad \text{若 } i \neq j \end{aligned} \quad (3-29)$$

$i, j = x, y, z$

同理

$$\begin{aligned} R_i \cdot R_j &= 1 \quad \text{若 } i = j \\ &= 0 \quad \text{若 } i \neq j \end{aligned} \quad (3-30)$$

所以各元素間並非完全獨立。事實上，九個元素中僅有三個元素獨立，所以三度空間中，一座標之方位(Orientation)對另一座標而言，僅有三個自由度。

(h) 將載具的所有速度增量由載具座標轉換成切面座標

即以載具速度增量(載具座標)及方向餘弦矩陣為輸入，將載具的速度增量由載具座標轉為慣性座標，並且累加起來，即可得出載具在慣性座標的速度增量及累積值，以供計算導航位置及速度之用。

一般而言，載具之運動方程式為

$$\begin{cases} \dot{\mathbf{R}} = \mathbf{v} \\ \dot{\mathbf{v}} = \mathbf{a} + \mathbf{g} - 2\mathbf{w}_{ie} \times \mathbf{v} \end{cases} \quad (3-31)$$

其中

$\mathbf{R}$ ：為載具在慣性座標之位置向量

$\mathbf{v}$ ：為載具在慣性座標之速度向量

$\mathbf{a}$ ：為載具受接觸力(Contact Force)所生之加速度

$\mathbf{g}$ ：為由地球引力(Gravitational Force)所生之重力加速度

$\mathbf{w}_{ie}$ ：為地球自轉角速率

加速儀僅能測出接觸力所致之加速度，欲求全部加速度，必須考慮地球引力所生的影響。而在式(3-31)中，向量 $\mathbf{R}$ 、 $\mathbf{v}$ 、 $\mathbf{g}$ 通常均由其在慣性座標中之分量表示。在固裝式系統內，雙軸加速儀是直接安裝在載具上，故輸出之加速度 $\mathbf{a}$ ，係為載具座標(Body axes)上之兩個加速度分量，故式(3-31)如果成立，則其每一向量均須以同一座標之分量表示。

所以首先須將加速度 $\mathbf{a}$ ，由載具座標轉換至慣性座標。對於不同參考點的座標系統，彼此之間有一定的轉換關係，藉著這個轉換過程，可以將不同參考點的座標轉換到相同的座標系統，以便作更進一步的計算。這種轉換的過程，謂之「座標轉換」【11】。一般而言，常見座標轉換的方法有二：其一是方向餘弦矩陣(Direction Cosine Matrix)，其二是尤拉角(Eular Angle)。

在此，我們使用方向餘弦矩陣的轉換方法。即

$$\Delta \mathbf{v}^t = \mathbf{C}_b^t \Delta \mathbf{v}^b \quad (3-32)$$

其中  $t$  ,  $b$  分別表示慣性（切面）座標，及載具座標。

#### ( i ) 計算慣性座標系的速度及位置

我們將輸入載具速度增量、慣性座標速度值，而求得中間點（ $t = t + \Delta t / 2$ ），及終端（ $t = t + \Delta t$ ）之慣性導航座標的速度及位置。慣性座標系的導航方程式即為式（3-31），而式（3-31）可改寫成差分方程式

$$\begin{cases} \Delta \mathbf{R} = \mathbf{v} \Delta t \\ \Delta \mathbf{v} = \mathbf{a} \Delta t + \mathbf{g} \Delta t - 2\mathbf{w}_{ie} \times \mathbf{v} \Delta t \end{cases} \quad (3-33)$$

中間點（ $t = t + \Delta t / 2$ ）的速度位置為

$$\begin{cases} \mathbf{v}_m(t + \frac{\Delta t}{2}) = \mathbf{v}_m(t) + \mathbf{g}(t) \times \Delta t / 2 \\ \mathbf{R}_m(t + \frac{\Delta t}{2}) = \mathbf{R}(t) + \mathbf{v}_m(t + \frac{\Delta t}{2}) \Delta t / 2 \end{cases} \quad (3-34)$$

終端（ $t = t + \Delta t$ ）的速度位置為

$$\begin{cases} \mathbf{v}(t + \Delta t) = \mathbf{v}(t) + [\mathbf{g}(t + \frac{\Delta t}{2}) - 2\mathbf{w}_{ie} \mathbf{v}(t + \frac{\Delta t}{2})] \Delta t \\ \mathbf{R}(t + \Delta t) = \mathbf{R}(t) + \frac{1}{2} [\mathbf{v}(t) + \mathbf{v}(t + \Delta t)] \Delta t \end{cases} \quad (3-35)$$

#### ( j ) 重力模式

輸入載具的位置，經過重力模式的計算，即可得到在慣性導航座標下重力加速度的三分量。重力在當地（Local）水平座標的北東下三個分量（N、E、D）可表示如下

$$\mathbf{g}_N^L = \mathbf{G}_{c1} \times \mathbf{H} \quad (3-36)$$

$$\mathbf{g}_E^L = 0 \quad (3-37)$$

$$\mathbf{g}_D^L = \mathbf{G}_{c2} \times (1 - \mathbf{G}_{c3} \times \mathbf{H}) \quad (3-38)$$

其中各參數的定義如下：

$$G_{e1} = 1.63 \times 10^{-8} \times \sin L \times \cos L$$

$$G_{e2} = 9.7803522 + 0.05163042 \times \sin^2 L + 2.294569 \times 10^{-4} \times \sin^4 L$$

$$G_{e3} = 3.1570474 \times 10^{-7} - 2.1026532 \times 10^{-9} \times \sin^2 L$$

$L$ ：緯度

$H$ ：高度

將當地水平座標重力值轉換為切面座標（即導航座標）重力值，關係式如下：

$$\mathbf{g}^t = \mathbf{C}_L' \mathbf{g}^L, \mathbf{C}_L' = \begin{bmatrix} 1 & \Delta\ell \sin L_0 & -\Delta L \\ -\Delta\ell \sin L_0 & 1 & -\Delta L \cos L_0 \\ \Delta L & \Delta\ell \cos L_0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3-39)$$

其中

$L_0$ ：初始緯度

$\Delta L$ ：緯度增量

$\Delta\ell$ ：經度增量

$$\text{而 } \Delta L \approx \frac{R_x}{R_f - R_z}, \Delta\ell \approx \frac{R_y}{(R_f - R_z) \cos L_0}$$

$$H = \left( R_x^2 + R_y^2 + (R_f - R_z)^2 \right)^{\frac{1}{2}} - R_f$$

$R_x, R_y, R_z$ ：彈體所在位置

$R_f$ ：地球半徑

經由計算可知導航座標重力的三個分量為：

$$\mathbf{g}_N^t = \mathbf{g}_N - \mathbf{g}_D \times \Delta L \quad (3-40)$$

$$\mathbf{g}_E^t = -\Delta\ell \times (\mathbf{g}_N \sin L_0 + \mathbf{g}_D \cos L_0) \quad (3-41)$$

$$\mathbf{g}_D^t = \mathbf{g}_N \times \Delta\mathbf{L} + \mathbf{g}_D \quad (3-42)$$

式 (3-40~42) 可作為下次計算式 (3-36~38) 時使用。

(k) 收集下一時刻陀螺儀及加速儀之輸出資料，及求出載具姿態。由式

(3-21~24) 可求得轉換後之載具滾轉角、俯仰角及偏航角。

$$\mathbf{f} = \tan^{-1} \left( \frac{2(q_3 q_4 + q_1 q_2)}{q_1^2 + q_4^2 - q_2^2 - q_3^2} \right) \quad (3-43)$$

$$\mathbf{q} = \sin^{-1}(-2(q_2 q_4 - q_1 q_3)) \quad (3-44)$$

$$\mathbf{y} = \tan^{-1} \left( \frac{2(q_2 q_3 + q_1 q_4)}{q_1^2 + q_2^2 - q_3^2 - q_4^2} \right) \quad (3-45)$$

而由式 (3-35) 亦可求得速度及位置。

### 3.3 數值積分法

陀螺儀所提供之三個軸向的角速度資料，和加速儀提供二軸向的加速度資料，都必須經由積分而得到載具之位置、速度和姿態。以下介紹兩種數值積分的方法：

(一) 倫吉-庫達法(Runge-Kutta Method)

本法較高階泰勒級數法的精確度還高，又沒有高階微分項的問題，所以使用十分普遍。由於本法為單步級，故適用於做程式規畫，欲計算 $y_{n+1}$ 時，只需要有 $y_n$ 即可，而以前的估算結果 $y_{n-1} \dots$ ，均不必參與【12】。通常使用四階表示法：

$$y(x_0 + h) = y_0 + \frac{k_1 + 2ak_2 + 2bk_3 + k_4}{6} \quad (3-46)$$

$$k_1 = hf(x_0, y_0) \quad (3-47)$$

$$k_2 = hf(x_0 + \frac{1}{2}h, y_0 + \frac{1}{2}k_1) \quad (3-48)$$



$$k_3 = hf(x_0 + \frac{1}{2}h, y_0 + ck_1 + dk_2) \quad (3-49)$$

$$k_4 = hf(x_0 + h, y_0 + ek_2 + bk_3) \quad (3-50)$$

其中  $a=1$   $b=1$   $c=1$   $d=1/2$   $e=0$

## (二) 多步級(Multistep)積分法

在計算  $y_{j+1}$  時，會利用到有關  $t < t_j$  時  $y(t)$  和  $y'(t)$  之資料的方法，稱為多步法。

而因為  $j=0$  時，沒有可用的數值，所以多步法不是自我啟動的。本法之三階表示式

【4,13】為

$$y_{n+1}^p = y_n + \frac{h}{12}(23y'_n - 16y'_{n-1} + 5y'_{n-2}) \quad (3-51)$$

四階表示式為

$$y_{n+1}^p = y_n + \frac{h}{24}(55y'_n - 59y'_{n-1} + 37y'_{n-2} - 9y'_{n-3}) \quad (3-52)$$

在（陳見生，1996）論文中已有詳述兩種數值積分法的優、缺點，也得知利用數值積分是很精準的，所以本論文採用三階多步級積分法來撰寫程式。

## 第四章 地理資訊系統

### 4.1 地理資訊系統簡介

地理資訊系統(Geographic Information System, 簡稱 GIS)是一套應用電腦軟、硬體設備,來輔助使用者進行地理資料蒐集、儲存、處理、更新,並將其數值化,以利各種地理資訊之查詢、分析、統計及展示的資訊系統。而地理資訊系統肇始於 50 年代,當時美國和英國均嘗試利用電腦製作地圖並加以管理,用以協助氣象學者,地球物理學者及地質學者工作。另外在石油、水電、瓦斯業者方面,也用來從事於資源開發及管線規劃等作業,發展至今已有 40 多年的歷史。對於地理資料的收集、儲存、取用、模式分析與地理資料的展示,都有不錯的成果。一套地理資訊系統,通常包含電腦軟硬體、圖形與屬性資料的結合、拓撲資料結構、製圖技術、資料庫管理及空間分析等部份。透過這些部份的組合,使用者可以更輕鬆、更有效地蒐集、儲存、處理、更新、查詢、分析、統計及展示各種數值 作地理資料。

#### 4.1.1 地理資訊系統基本架構

為能快速有效的擷取、儲存、編輯、處理和分析地理資料,一個地理資訊系統基本架構,要具備有三個主要模組,來處理有關的地理資料。這三個模組分別為:圖形功能模組用,以製作地理資料、資料庫管理模組,用以管理地理資料,及地理資訊分析模組,用以分析地理資料。另外地理資訊系統除了這三個核心模組外,還需包含運用這些核心模組的地理資訊相關應用程式,這些應用程式利用地理資訊系統核心模組所提供的功能,來從事與地理資訊相關的事務,如圖 4.1 所示。圖中之系統架構包含了電腦設備的軟、硬體,在資料庫管理模組的資料庫,可以是外掛的關聯式資料庫(或其他類型的資料庫),並透過模組中資料庫管理介面,進行資料存取動作,而使用者則是透過圖形功能模組內,使用者圖形介面所建立的不同應用程式,來做土地經營管理、海岸地區規劃,及資料普查等,與地理資訊有關的工作。由於地理資訊系統的主要目的,是對地理資訊從事分析,所以地理資訊資料庫的建立是相當重要的。其

建立方式可應用掃描機、數位板來對現有的空間資料，如地圖等加以數位化，數位化的結果就存入地理資訊資料庫，數位化的空間資料也可由繪圖機、雷射印表機及網格式印表機印出，或顯示於螢幕上，以充分發揮運用效果。

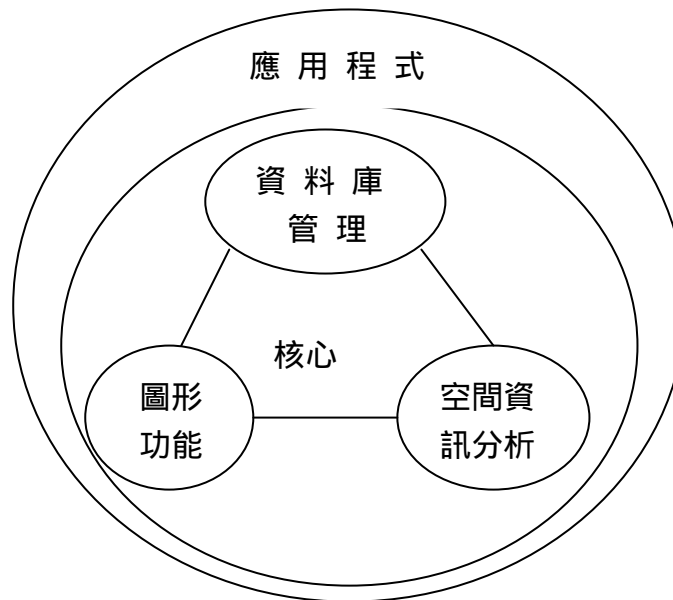


圖 4.1 地理資訊系統基本架構圖

資料來源：地理資訊系統市場發展趨勢，資策會【17】

#### 4.1.2 地理資訊系統發展沿革

地理資訊系統的相關發展，最早是從北美地區開始的，由於電腦系統的出現，使得人們開始嘗試利用電腦來處理地理資訊，早期地理資訊系統都集中在處理地理空間資訊及其屬性資料，只有簡單的圖形能力，但隨著電腦功能的加強及資料庫管理、圖形功能、空間分析等技術的進步及成熟，使得地理資訊系統的功能已更趨完善，有關地理資訊系統的發展可由表 4-1 顯示。

表 4-1 地理資訊系統發展沿革發展年代運用內容

發展年代	運用內容
1950 年代	美國和英國嘗試利用電腦製作地圖並加以管理，用以協助氣象學者，地球物理學者及地質學者工作，在石油、水電、瓦斯業者方面，也用來從事於資源開發及管線規劃等作業。
1960 年代	1962 年，麻省理工學院研究生的博士論文中，確立了電腦圖學在科學上的獨立地位，也證明了交談式圖形的可行性及應用領域。地理學家也將當時數學中的數量方法，廣泛引用於地理空間分析上。另外加拿大也由政府部門開始發展，世界第一套地理資訊系統，以處理農業、森林、休閒、人口和土地使用等。
1970 年代	由於此時電腦硬體價格降低及功能提昇，對各種應用均有很大影響。不同專題，不同規模，不同類型的地理資訊系統，也在世界各地紛紛發展。另外利用人造衛星由太空來搜集地球上的地理資訊，成為一種新的地理資料收集方法。
1980 年代	此階段地理資訊系統相關科技已相當成熟，如印表機、監視器等生產，有效提升了地理資訊的輸出功能。另外資料庫及圖形功能，被整合進地理資訊系統中，也開啟一個新的里程碑。
1990 年代	地理資訊系統發展到今天，已成為一個整合性的系統。它整合了電腦資料庫管理、電腦圖學、電腦輔助設計、專家系統、製圖學、地理學、統計學、遙測、電腦通訊...等科技，並被應用於都市計畫、區域計畫、地球科學、生態學、水文氣候學、社會科學、農業和交通運輸...等，專門知識的相關領域上。

#### 4.1.3 地理資訊系統主要功能

地理資訊系統是一套用以擷取、儲存、編輯、處理、分析、統計及展示地理資訊之電腦軟、硬體設備所組成的系統，其主要功能應包括有：

- 1、資料蒐集：透過地面測量、航空測量、衛星全球定位系統測量、衛星遙感探測、影像掃描轉換及數化等方法，進行資料蒐集。
- 2、資料儲存：透過電腦的硬式磁碟、磁碟櫃、光碟、磁帶等媒體儲存地理資料，並透過資料庫管理系統，及地理資訊系統軟體，來管理所儲存的地理資料。
- 3、資料處理：透過數位板將地理資料數值化成向量資料，或運用掃描儀，將資料掃描成數位影像，然後轉換為向量資料加以處理。
- 4、資料更新：透過地理資訊系統、資料庫管理系統、電腦輔助繪圖系統、影像處理系統，來更新儲存的地理資料。
- 5、查詢分析統計：透過地理資訊系統、資料庫管理系統、結構化查詢語言(SQL)、統計分析軟體，及電子試算表軟體，來查詢分析統計各項地理資料。
- 6、資料展示：透過繪圖機及電腦顯示器，配合地理資訊系統、資料庫管理系統、電腦輔助繪圖系統、影像處理系統、簡報軟體，來展示及輸出查詢分析統計所得的結果。

#### 4.1.4 地理資訊系統之應用領域

地理資訊系統的應用領域，可分為以下數類，但實際上的應用，則可能會同時跨越數個應用領域：

- 1、商業活動：利用地理資訊系統，所提供的社會經濟資料，來協助企業經營者做更佳的商業判斷，如廠址設置、控制各地倉庫存貨、分析各地區銷售管道...等。
- 2、選舉區域的管理及重新分配：地理資訊系統能對選舉區域的人口分佈、族群種類及比率、黨派支持者等做評估分析，以提供選區規劃的決策。
- 3、公共設施的管理：地理資訊系統可對現有的各項公共設施，如水力、電力、瓦斯等，進行區域管線配置、使用狀況、保護維護、經營等管理，並對這些公共設施未來的需求做合理的評估。

- 4、石油、瓦斯、礦產等自然資源的開發：地球物理學家及地質學家，利用地理資訊系統，協助他們加強礦產、石油、瓦斯的開採模式的研究及使用。
- 5、大眾健康及社會安全：地理資訊系統可以提供疾病分佈、健康狀況分佈、社會保險的支用情形，犯罪率以及對社會安全系統，做合理之規劃與管理等。
- 6、房地產的管理：各級土地管理單位可利用地理資訊系統，來處理土地利用的分析、規劃與管理作業，另外亦可協助辦理地價評估及課稅等作業。
- 7、可再生自然資源的管理：由於維護自然環境的呼聲日益升高，地理資訊系統是一個良好的工具，來協助了解及分析生態環境的變遷，如野生動物的保護。
- 8、測量和地圖繪製：使用地理資訊系統，可使地圖繪製和測量更有效率。
- 9、交通運輸：可幫助交通運輸公司來做運輸規劃。個人使用者可用來做最佳路線選擇、政府交通主管可用來做汽車監視系統、交通路網規劃、導航定位系統。另外也可將地理資訊系統結合道路影像實錄，對都市易肇事路口影像加以鑑別，以充分掌握肇事地點相關資訊。

#### 4.2 地理資料收集【18】

地理資料收集的方法有很多，像是遙測、航測、行政機關的記錄、實地調查、衛星影像及定位等，都可以成為地理資料的來源。而建置地理資訊查詢系統，資料來源的完整與正確性，是很重要的程序。收集到的資料可能無法直接提供給電腦使用，必須經過資料轉換(Data Conversion)，也就是"數位化"。將已經存在而無法為電腦所處理的資料格式，轉換成電腦能處理的電子格式資料。

##### 4.2.1 座標定位與登錄

掃描器掃描所產生的網格式影像圖檔，並不具有真實地面座標的影像，必須轉換成為具有實際地面座標的向量式(Vector)電子地圖影像。影像地圖引入電腦時，至少必須要有三個以上明顯可辨認，且具真實地面座標的點位置（如地形圖上的網格線交點），這些點稱之為"地面控制點"，而且這些地面控制點最好平均分佈在圖面上。記

錄這些點的真實地面座標值，以作為座標登錄時的座標參考輸入值，圖 4.2 為座標系統登錄。

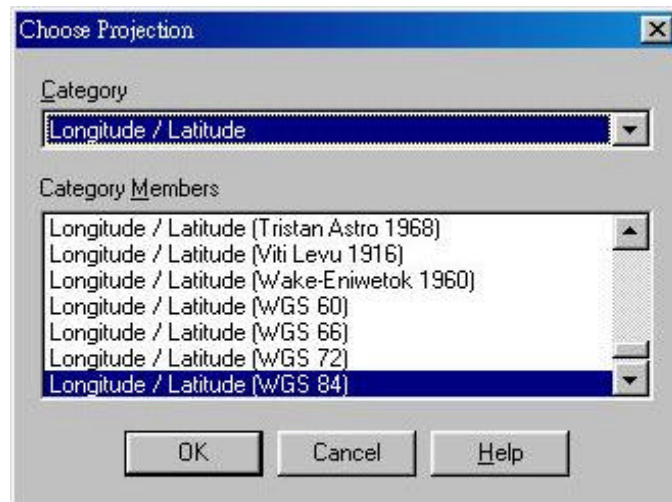
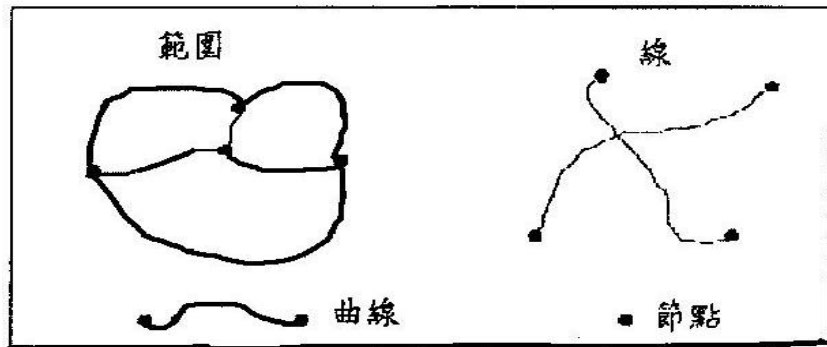


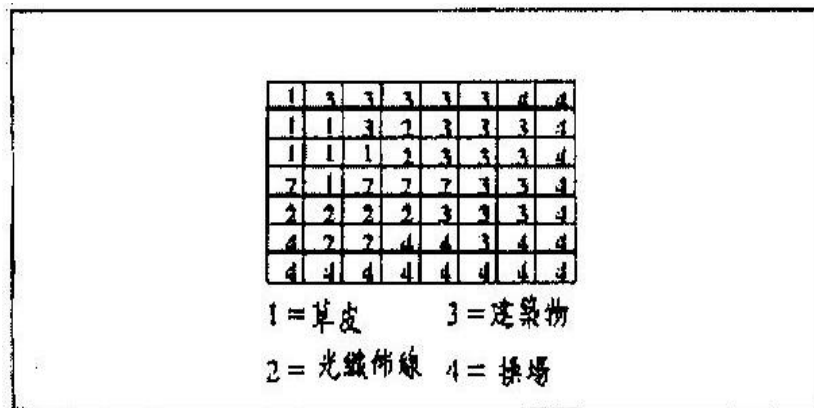
圖 4.2 座標系統登錄

#### 4.2.2 空間資料的數化

基本上，空間資料中的向量資料是由節點、線（不一定是直線）和面所構成的，而每條線或面則是由數對的  $x, y$  座標點所構成的。當地圖上的地理資料掃描成一網格式資料的儲存型式時，其儲存方式就像一個矩陣（Matrix）的形式，其中每一個像素（Pixel）就是一個矩形。而每一個像素有一個值與之對應，就是屬性資料，也就是一對對的  $x, y$  座標值，如圖 4.3 所示。網格式儲存型式的資料格式，不再只是一張地理圖紙，數化主要作用即是把空間資料中的點、線、面資料以向量式的型式儲存，用以辨識地理資料中的地形、地物與地徵。圖 4.3 中在“面”的空間資料中，我們把它分割成一塊塊的矩形，在不同的地形、地物或地徵中，分別註明不同的值。例如 1 代表草皮，2 代表光纖佈線，3 代表建築物，4 代表操場等的網格式資料的儲存形式。圖 4.4 為網格式資料製作流程的示意圖。



向量資料



網格資料

圖 4.3 向量資料與網格資料

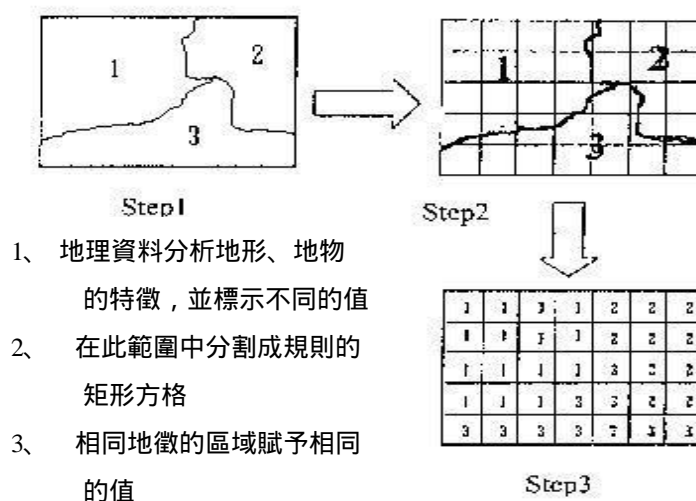


圖 4.4 網格式資料製作流程示意圖



圖形物件結合屬性資料後，使用者可以處理許多的空間分析功能。早期常使用的數位化方法，就是將現有的圖紙及膠片地圖，藉由數位板（Digitizer）來進行數位化。由於電腦的速度快速提昇，使得影像處理的速度效能提高很多。因此，利用地圖掃描成影像圖檔，再配合軟體工具，在電腦．螢幕上進行地圖描繪數位化的方式，是目前主要的方法。

#### 4.2.3 人工數位化

此種方式是將圖貼在數位板上，以人工加以點圖，其優點是設備投資較便宜、人力需求成本較低、資料品質較穩定……等，但卻是一件相當耗時費事而且枯燥、單調的工作。有時在同一張圖由不同人數位化，甚至由同一個人進行多次數位化時，所得的結果都不會完全相同。尤其在數位化的地表特徵屬於不規則曲線時，這種情形特別嚴重。

#### 4.2.4 電腦數位化

儘管向量圖檔具有許多的優點，但相對於航空照片及衛星影像圖，向量圖檔卻有不易取得，資料更新速度慢的缺點。因此能將影像地圖，快速的轉換成向量圖檔，藉由應用軟體來數位化是比較有效率的方法。利用掃描器將圖面掃描進來，成為網格式資料格式檔後，再將影像檔中的圖形、文字辨識出來。影像圖檔通常是用來顯示圖層內容，無法如向量圖一樣連結屬性資料。但影像圖檔卻適合當作向量圖層的背景圖，在數位化時更能達到精確的程度。套疊向量圖與影像圖時，必須注意到二者之間的投影座標系統要一致，否則套疊的誤差太大，便失去其原有的意義。

#### 4.2.5 檔案格式轉換

在資料種類轉換與整合的部份，一般可分為相同資料種類，不同檔案格式間的整合，以及不同資料種類的整合。在不同檔案格式間所作的轉換，主要在於對物件詮釋方式的認定。例如在向量式屬性資料交換格式方面，國內的九大資料庫，就用了許多種的檔案格式，像 Arc/Info 的 Coverage、AutoCAD 的 DXF、Intergraph 的 DGN 及 MapInfo 的 MIF 等。除了一些通用格式的資料結構公開外，基本

上廠商對於自身的檔案格式是抱持保留態度。目前當資料進行轉換時，所採取的作法是在任兩種格式間，撰寫一個轉換程式，但這種方法是十分沒有效率。因此訂定一個由大家所共同遵守轉換標準是必要的。

#### 4.3 GIS 軟體選擇

自 1960 年代以來，電腦介入了 GIS 領域，以其容量大，處理速度快等特點，使得 GIS 之資料儲存大量地轉移到電腦上，而取代了原來的紙上作業。有了這個需求，軟體廠商就相繼投入而開發許多相關軟體，現在在各種電腦上都可見許多不同的 GIS 軟體。因此現在所說的 GIS，如無特別聲明，所指的都是以電腦為基礎的 GIS。在使用了電腦之後，人們就必需依照電腦的方法來做事。相對於電腦的基本工作流程：輸入、處理、輸出而言，在 GIS 上包含資料收集 (Geographical data collection)、資料管理 (Geographical data management)、統計分析 (Statistical analysis) 及電腦輸出 (Computer cartography) 等四部分。雖然用字不同，但意義是相同的。

GIS 軟體相當的多 (可參考表 4-2)。在參考了前人所使用的一些 GIS 以及相關的資訊後，找到了一個不錯的 GIS 軟體：MapInfo。這套軟體於國內有代理商，這套軟體的優點是在軟體中有支援 WGS84 座標系統，省去了許多地圖在數位化時，座標轉換之麻煩，以及座標轉換或重新定位可能帶來之誤差。

這套由 Mapping Information Systems Corporation 開發的 MapInfo 軟體有 Windows 之版本，因此可在 Windows 98 下執行，再透過 MapBasic 語言，就可在 MapInfo 上發展使用者介面環境，因此非常符合我們的需要。

##### 4.3.1 MapInfo 所提供的支援【19】

在 MapInfo 套裝軟體中包括了 User's Guide 及 Reference 手冊，說明 MapInfo 對 GIS 所提供之功能，以及各功能之使用方法。下面我們由 GIS 的觀點來看 MapInfo，可了解此套軟體支援了多少 GIS 的功能。

MapInfo 於資料收集方面，提供有地圖圖形及資料庫之轉換功能。在地圖圖形方面，又可分為未數位化的影像 (raster map)，及已數位化的特別圖檔。已數位化之檔

案如 AutoCAD 圖檔，以及早期 MapInfo DOS 版本之檔案。這些檔案中是以數字之形態來描述圖形，只要將描述圖形之語法格式轉換為 MapInfo 之格式就可使用。而未數位化的影像，則需要經過數位化的轉換過程才可以使用，因此一般只是使用在將地圖照片，當作基底圖的應用之中。照片掃描時可視需求存成各種不同的檔案，而 MapInfo 支援的檔案格式有 GIF、JPG、PCX、TGA 及 TIF，已是足供使用。

在資料管理方面，以 table 為基本結構來建立資料庫，檔案格式以 MIF 為主，亦可由其他軟體（如 Visual Basic 6.0）所撰寫的轉檔程式，建立其資料庫供轉入使用。在資料管理方面，MapInfo 提供了 SQL，除了基本的建檔、增加資料、刪除資料、.....等操作外，與 SQL 配合使用，即可以完成複雜的資料查詢工作。

在統計分析方面，有各種的 table、columns 運算法，從最簡單的加減統計、到複雜的變異、標準差。至於更進一步的運算法，可以將所要的複雜運算分解成許多的基本運算步驟，由基本的運算單元一步一步的計算出結果來。這些結果可以另外暫存於一個 column 上，再利用這些 columns 的資料繪出統計圖來，或製成統計表。

在電腦輸出方面，可以單獨輸出一張地圖，亦可以將多層地圖疊合起來合成一張圖，或者在旁邊加上一些與地圖相關的統計圖表以輔助說明。製作好的圖表，可以由電腦螢幕上展示，或是由印表機，繪圖機等設備輸出。

#### 4.3.2 MapBasic 所提供的支援

光是有了 MapInfo 對於系統之建構而言仍是不夠的。還需要把資料自動地轉換到 MapInfo 的資料庫中，而不是以人工操作的方式，慢慢地將資料鍵入。為達此目的，仍需要一套能以程式方式操作 MapInfo 之工具軟體：MapBasic。MapBasic 是 Mapping Information Systems Corporation 專為 MapInfo 而發展的一套工具軟體。MapInfo 的每一個動作及功能，都有一個相對映的 MapBasic 語句指令，可達成相同之目的。甚至可在 MapInfo 中開啟一個 MapBasic 之對話視窗，當以手動方式操作 MapInfo 時，MapBasic 視窗中就會顯示出這個動作所用的 MapBasic 語句，以減少程式設計師找尋使用指令之不便。為了解決了自動鍵入資料之問題，MapBasic 提供：

(1) 線上輸入：讓使用者仍能以人工方式鍵入資料，只是現在是先由 MapBasic 接收後再傳給 MapInfo。

(2) 程序溝通：利用 Windows 之動態資料交換的功能，來與其他程式間交換資料，如此即可由其他程式那兒，直接取得輸入資料，而建立於 MapInfo 的資料庫中。

表 4-2 地理資訊應用軟體比較表

軟體名稱	MapInfo	ARC/INFO	GENASYS	MapGuide
檔案格式 轉換	與一般應用軟體	檔案流通率高	座標轉換方式 多而完整	座標轉換方式 多而完整
使用難易	系統開放容易 學習	在 DOS 環境下 操作容易	分析模組多而 功能完整	視窗環境下操 作方便
網路功能	功能完整	功能完整	尚可	功能完整
資料庫	有	有	有	有
精密度	好	好	較差	好
資料安全性	無	好	無	好
台灣地圖資料 來源	可自訂台灣座 標系統	可自訂台灣座 標系統	無	無
數位化的功能	數位化資料方 便	數位化資料方 便	數位化資料不 方便	數位化資料不 方便

## 第五章 數值地圖

### 5.1 簡介

數值地圖係指將普通地圖或地形地物等現狀資料，以數據方式記錄、處理後存入電腦所建置而成的數位化地圖資料，以供導航、定位及後續各種運用。所以它是個人、車輛、車隊控管等定位、導航系統及資訊中心、管制中心所必備之軟體基本圖。數值地圖可以是地理資訊系統的一部份，後者一般包括了圖形與屬性（Attribute）資料、拓撲資料結構、資料庫管理及空間分析等可用以搜集、儲存、處理、更新、查詢、分析、統計及展示各種數值化地理資料。

數值地圖又可分為向量式（Vector）網格式（Raster）及影像式（Image）等三種。

（1）向量式數值地圖，是以一連串的座標，記錄相關空間資料。圖形基本資料可分成點、線、面等。由於每一點給定了座標，故二點可連結成一線段，三個點以上則可連成一多邊形。如此可用以描述道路、行政區劃分、河流等。

（2）網格式數值地圖，是以網格為基本資料以建置地圖。各網格可用以描述特定地質、地形等資料。

（3）影像式數值地圖，是以像素（Pixel）為基本資料建置地圖，在顯示上可較豐富。

不同的建置方式會直接影響到應用。在交通運輸、車輛管制、路徑規劃的應用，採用向量式數值地圖較理想的。反之在即時資料展示與查詢時，影像式數值地圖的可讀性較高。網格式數值地圖則介於二者之間，一般應用於分析統計。

交通部鑑於國內缺乏一套由政府流通供應的交通路網數值地圖，因此運輸研究所於 89 年 6 月，著手進行更新前版數值地圖之計畫，並於 90 年 10 月完成「新世紀台灣地區交通路網數值地圖 1.0 版」。相信此舉將可減少各公私部門重複建置交通路網，數值地圖之資源浪費，增加業者提供加值服務的公平競爭機會，繼而降低相關加值

應用產品的成本與價格（譬如供車上導航使用之電子地圖），並普及智慧型運輸系統服務的對象與管道（譬如用於展示路況即時資訊的車上設備）。然而路線導引與規劃，亦為車輛導航計算之一項功能。此種導航與規劃可分為靜態和動態的。靜態的方式僅使用數值地圖資料庫，旅行者可標定出發點與目的地，路線導引系統可根據地圖之資料推算出最短路線、耗時最少的路線、或任一可行路線。動態的路線導引較複雜，會根據交通與路況資訊，做適當的安排與因應。此種動態路線導引與規劃，對於緊急救援系統之應用相當重要。動態路線導引可隨時依路況條件，計算出最佳之路線。較複雜的動態路線導引，甚至具多車同時導引功能，以增進整體運輸效率。

## 5.2 資料分析與應用

以下將對資料內容、資料來源、電子地圖轉檔軟體、資料精度加以介紹【20】：

### 5.2.1 資料內容

交通路網數值地圖，除更新前一版數值地圖之路網資料，並新增更多圖層，及充實路網資料，內容如下：

- Ⅰ 新增縣轄市以上都市地區，所有 8 米以上道路範圍資料。
- Ⅰ 新增已定線的規劃國道(含匝道)、省道(含快速道路)。
- Ⅰ 新增行政區、河流湖泊之圖層資料，以及鐵路捷運(含台鐵、高鐵與都市捷運)之圖層資料。
- Ⅰ 新增政府機關、文教機構、運輸場站，及其他公共設施之地標地物圖層資料。

茲將本數值地圖各圖層，所包含之空間資料，及屬性資料介紹如下表 5-1：

表 5-1

圖層名稱	空間資料內容	屬性資料內容
道路 (線)	1. 包括國道、省道(含快速道路)、縣道、鄉道、都市道路、產業道路，及無路名道路等	1. 包括道路各路段之代碼、道路結構碼(一般道路、橋梁、隧道、匝道)、道路狀況碼(既有道路、

	1/25000 地形圖上既有之道路。 2. 包括已定線之規劃國道(含 匝道)、省道(含快速道路)。 3. 縣轄市以上都市地區所有 8 米以上道路。	規劃道路、阻斷道路)、橋梁編碼 、隧道編碼、道路名稱(含所有國 道、省道[含快速道路]、縣道、 鄉道名稱及縣轄市以上都市地區 所有 8 米以上道路名稱) 道路共 線關係。
道路節點(點)	包括道路之節點坐標資料。	節點代碼(如圓環、丁字路口、十 字路口...等)。
鐵路/捷運 (線)	包括鐵路(含台鐵、高鐵)及台北 市捷運線形資料。	包括鐵路(含台鐵、高鐵)及台北市 捷運各路段之代碼。
行政區(多邊形)	包括各縣市及鄉鎮區界。	包括各行政區名稱及所屬縣市別。
河流/湖泊 (多邊形)	包括河流及湖泊之空間資料。	包括河流及湖泊之類型代碼、名稱 。
地標地物 (點)	包括政府機關、文教機構、運輸 場站及其他公共設施等地標地物 之中心點坐標資料。	包括政府機關、文教機構、運輸場 站及其他公共設施等地標地物之中 文名稱，並依地標地物類別給予不 同代碼。
橋樑 (點)	道路圖層上所有橋樑梁中心點坐 標資料。	橋樑名稱。
隧道 (點)	道路圖層上所有隧道中心點坐標 資料。	隧道名稱。

本數值地圖之資料時間，係涵蓋至民國 89 年 5 月 31 日之所有通車路段，另國道、省道(含快速道路)則涵蓋至 90 年 2 月 28 日之所有通車及已定線的規劃路段。為能滿足各種不同應用所需之座標系統，本數值地圖提供有 TWD97 基準之 TM 二度分帶座標系統、TWD97 基準之經緯度座標系統，以及 TWD67 基準之 TM 二度分帶座標系統之成果資料各乙份。



### 5.2.2 資料處理

以下分別針對道路(含節點)、鐵路捷運、行政區界、河流湖泊、地標地物以及橋樑隧道中心點圖層所參考之各項圖源，以及其資料處理過程作說明：

#### 一、道路(含節點)：

本圖層處理方式係先將所使用參考之各項圖源，處理成數值檔後，再進行數化編修作業，處理成數值檔之過程說明如下：

##### 1、實地調查作業

處理方式係利用 GPS 接收儀置於車上，以每秒記錄方式，直接記錄道路線形軌跡及位置點，並經由後處理方式產生 DGPS 軌跡，如此即可成為一般道路線形數值檔。DGPS 差分修正訊號初期使用緯臻科技 Level-2，其精度為水平誤差小於 4 公尺之機率為 95%。後期利用 2 台 Trimble Pro XR/XRS GPS 接收器，一部用於基地站，另一部當成實地調查之移動站；基地站架設於台中逢甲大學，經於台北市、台中市與高雄市進行實際測試，所得精度分別約為 1 公尺、1 公尺與 4 公尺。

##### 2、內政部最新版 1/25000 地形圖

經由紙圖掃描、座標轉換及數位化後，可得一數值檔。

##### 3、內政部最新版 1/5000 像片基本圖

經由紙圖掃描、座標轉換及數位化後，可得一數值檔。

##### 4、農航所航空照片

在作業上先將航空照片掃描，然後直接利用航照影像，在 MapInfo 中選取影像上清晰的已知路口，量得路口之影像座標及對應之 1/5000 像片基本圖數值檔座標，可做為一控制點，利用相同方法選取四個點，即可將航照影像完成幾何糾正及對位。

##### 5、IKONOS 衛星影像

購買澎湖馬公市之 IKONOS 衛星影像，並將已經過幾何糾正後之 IKONOS 衛星影像，進行數位化路網之參考，路網數位化完成後，再安排現地複查，以確定路網資料之正確性。

#### 6、國工局及高公局所提供已定線規劃國道，及快速道路之道路線形資料

國道部份由於所取得之資料為各路段 1/5000 工程紙圖，故先將紙圖掃描，進行影像糾正後，再依紙圖影像數位化主線，及所屬匝道路段之線形，最後給定路段相關屬性。

快速道路部份，資料來源包括有 dwg/dxf 數值檔，及 EXCEL 檔案格式等兩類，其處理方式如下：

(1)dwg/dxf 格式部分：先檢查原始資料之座標系統是否正確，再將資料轉為 MapInfo 格式，並依據車道中心及車道寬度資料，數位化主線來回雙線之線形以及匝道線形。

(2)Excel 檔案格式部分：先檢查資料欄位是否有異常，再分別將主線及相關匝道中心樁位座標之工作表用 MapInfo 讀取，產生點資料後再連成中心線，並依單側路寬之 1/2 產生主線來回雙線之線形。

#### 7、各縣市政府通報之新完工通車資訊

由於各縣市政府通報資訊皆屬書面敘述方式，因此於取得此項資訊後，再行安排實地去調查，以取得道路線形軌跡數值檔。

將上述各項圖源處理成數值檔後，再由編修人員進行資料數化編修作業。有關地圖之編修作業，均是使用 MapInfo 軟體來進行，基本之編修作業內容如下：

道路路網在編修時，可參考資料包括有：最新版 1/5000 像片基本圖、最新版 1/25000 地形圖、現地調查資料(包括軌跡線形、調查註記及現況草圖)，以及航空照片、衛星影像等等。由於 1/5000 像片基本圖之平面位置之精度為 2.5m，且非常均勻；經實際與 GPS 或 DGPS 軌跡做比對，GPS 或 DGPS 軌跡大致落在道路中，因此路網之線

形編修時係將現地調查之軌跡與 1/5000 像片基本圖套疊，並以 1/5000 像片基本圖之道路中心線為數化標準，但若現地調查之註記，及軌跡顯示 1/5000 像片基本圖之路形已改變，則會依軌跡線形做為修正之依據。其餘圖源資料則係用以比對道路是否有所遺漏，如有遺漏，則須再赴現地調查取得道路 DGPS 軌跡資料後再增建至道路圖層內。

在編修過程中需處理之狀況包括：消除重複線、消除多餘節點、新增必要之節點、突點編修、斷點編修、銜接誤差編修、自我交叉編修、取消高架橋及涵洞節點、隧道及橋樑分段、新增道路補齊等項目。

另外在道路屬性建置工作上，則依據節線與節點特性，分別建置其對應之屬性資料。屬性資料內容包括道路各路段之代碼、道路結構碼（一般道路、橋樑、隧道、匝道）、道路狀況碼（既有道路、規劃道路、阻斷道路）、橋樑編碼、隧道編碼、道路名稱（含所有國道、省道[含快速道路]、縣道、鄉道名稱及縣轄市以上都市地區所有 8 米以上道路名稱）、道路共線關係及節點類別（包含交流道、圓環、十字路口...）等資訊。

## 二、鐵路/捷運：

台鐵部份係依內政部最新版 1/25000 地形圖上之鐵路線形數化，並加入路線名稱之屬性資料，當鐵路線形與道路線形有不合理之重疊情況時，再參考內政部最新版 1/5000 像片基本圖上之鐵路線形編修。

高速鐵路路線及車站位置，係依據交通部高速鐵路局所提供之中心樁位里程點資料，將各點串連成線，即為高速鐵路線形。高速鐵路車站位置，則依據交通部高速鐵路局所提供之車站里程點資料表來建置。

都市捷運部份僅建置台北市捷運路網，係依據台北市政府捷運工程局所提供之台北市捷運各路線數值檔資料來製作。

其台鐵、高鐵、捷運顯示在地圖上的軌道圖示將統一規劃，如圖 5.1 所示。

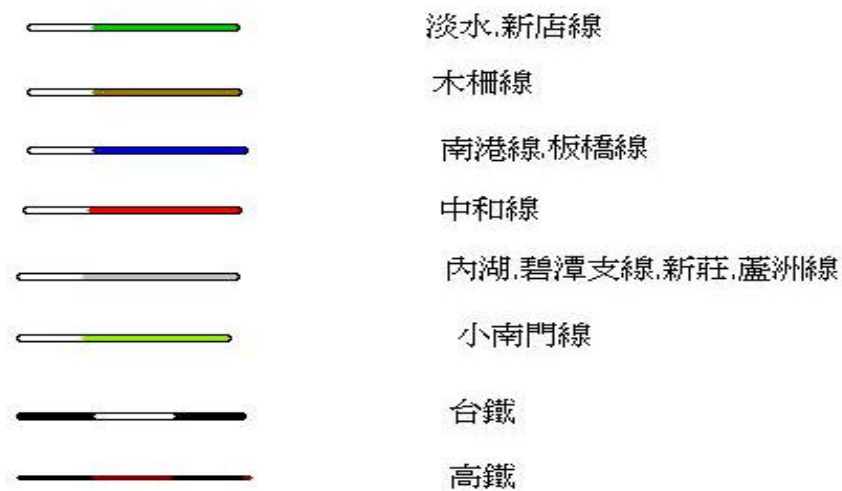


圖 5.1 統一的軌道圖示

### 三、行政區界

依內政部最新版 1/25000 地形圖數值檔中，行政界之線形予以數位化，並加入所屬縣市名稱、市鄉鎮區名稱之屬性資料。

### 四、河流湖泊

依據內政部於 89 年 12 月 31 日，發行的 1/25000 地形圖上之河流、湖泊及水潭進行數位化編修，若河流資料為面狀資料，即以面狀數位化；若為單線資料，則先數位化單線後再以

Buffer 功能產生面狀資料。

### 五、地標地物

1. 主要配合道路實地外業調查作業，以 DGPS 記錄該地標地物點之位置坐標後，再進行地標地物點空間及屬性資料建置。
2. 另輔以下列各地標地物資料來源，依其名稱及地址資料再加以增建。

警察局：內政部警政署網站

消防隊：內政部消防署網站

郵局：郵政總局提供

醫院：中央健保局網站

風景遊憩區：觀光局提供

政府機關以及客運車站、停車場部份：中華電信最新版電話簿

3. 其各地標地物顯示在地圖上的 Icon 將統一規劃，如圖 5.2 所示。

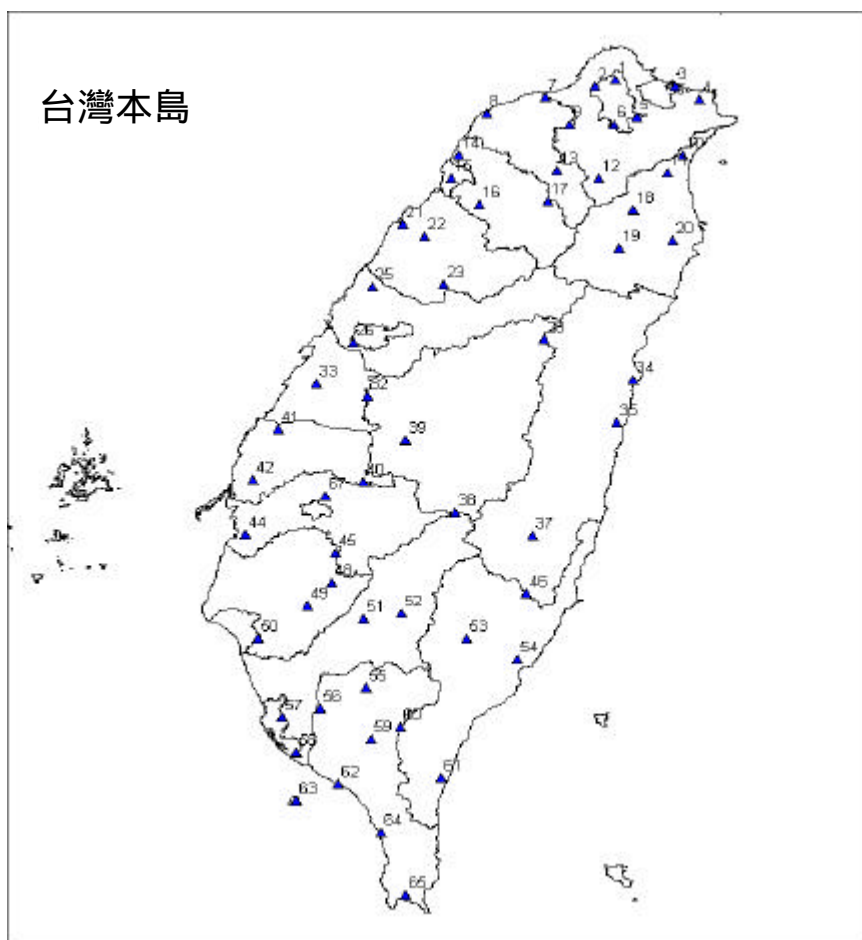
	航 空 站		火 車 站
	停 車 場		警 察 局、消 防 隊
	客 運 車 站		郵 局
	碼 頭		中央單位、省級單位、縣（市）府單位 稅捐機關、地政事務所、戶政事務所
	文 化 中 心		風 景 遊 憩 區
	醫 院		學 校
	公 立 圖 書 館		省 道
	公 園		縣 道
			國 1
			國 2
			國 3

圖 5.2 地標地物統一格示圖

## 六、橋樑隧道中心點

依據內政部於 89 年 12 月 31 日，發行的 1/25000 地形圖上之橋樑隧道註記，建置橋樑隧道中心點圖層，若該橋樑隧道長度大於 200 公尺者，則亦建入路網圖層資料中，兩者可藉由橋樑隧道編碼欄位，進行資料連結。

各圖層之空間及屬性資料處理完成後，進行坐標系統轉換，再將所有 MapInfo 格式圖檔轉為文字檔格式，經檢查無誤後即產生成果圖檔。在座標系統轉換上，係由內政部地政司衛星測量中心取得 TWD97 之一等衛星控制點坐標資料，再由一等衛星控制點資料找出與內政部三角點成果簿共用基石點之 TWD67 坐標(共計台灣本島地區 58 點



、澎湖地區 13 點，其空間

圖 5.3 台灣基石點分佈圖

分布狀況如圖 5.3、5.4 所示)，並利用各個相同控制點之 TWD97 及 TWD67 座標，反推求得

Helmert 四參數座標轉換參數。最後將座標轉換參數代入 Helmert 四參數轉換模式中，進行現有圖籍座標轉換。其中因為台灣與澎湖的路網不具關連性，故將兩區分成獨立之區域來解算座標轉換參數。

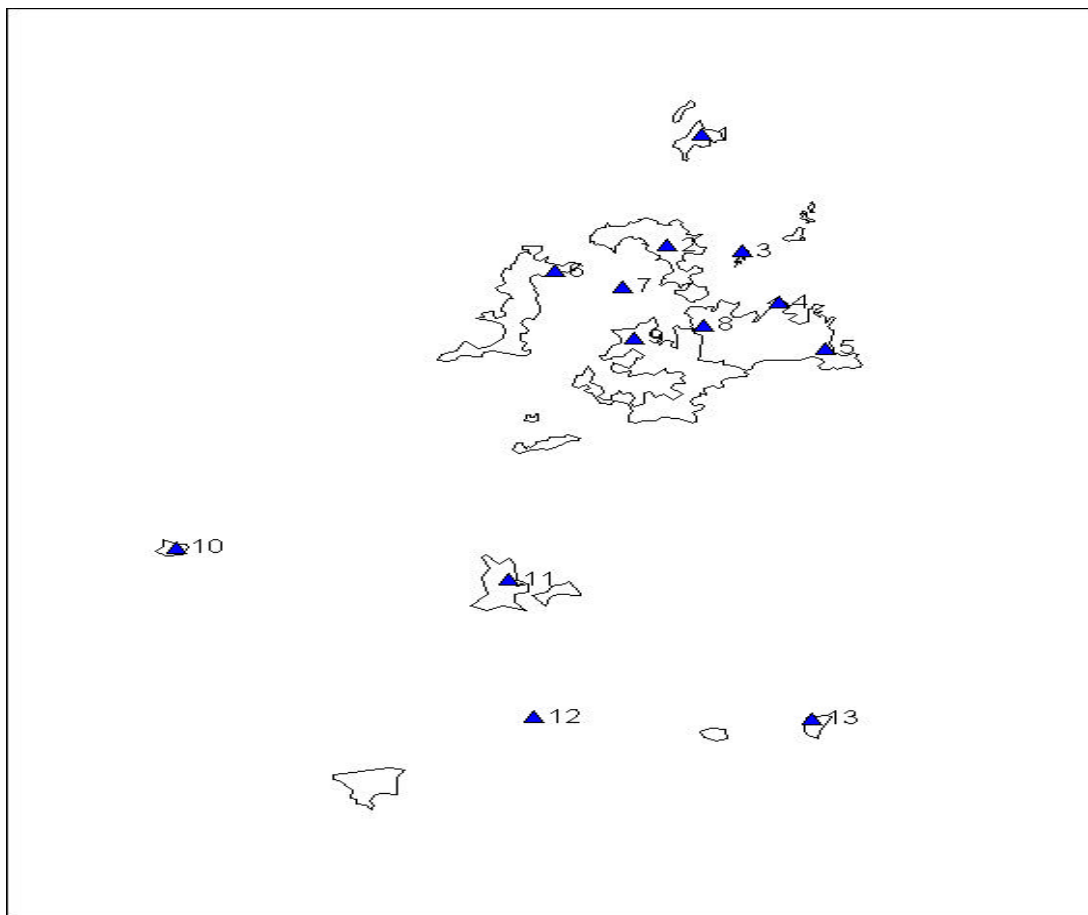


圖 5.4 澎湖基石點分佈圖

Helmert 四參數之數學模式為：

$$\begin{bmatrix} E \\ N \end{bmatrix}_{97} = \begin{bmatrix} a & b \\ -b & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E \\ N \end{bmatrix}_{67} + \begin{bmatrix} E_0 \\ N_0 \end{bmatrix}_{67} \quad (5.1)$$

其中

$(E_0, N_0)$  : 平移參數

$a, b$  : 考慮旋轉角及尺度參數之二轉換參數

97 : TWD97 座標系統

67 : TWD67 座標系統

利用已知控制點求得四個轉換參數( $a, b, E_0, N_0$ )表示如下：

台灣本島地區：

$$a = 1.00002264$$

$$b = 0.00006158$$

$$E_0 = 0.003932$$

$$N_0 = 0.005128 \quad (5.2)$$

澎湖地區：

$$a = 1.00000789$$

$$b = 0.00017407$$

$$E_0 = 0.003055$$

$$N_0 = 0.018904 \quad (5.3)$$

經由計算所求得之四參數值  $a$ ， $b$ ， $E_0$ ， $N_0$  以及誤差值  $r$ ，其標準差之計算如下：

$$s = \sqrt{\frac{\sum r^2}{n - 1}} \quad (5.4)$$

台灣本島地區：

$$\text{經度標準差 } \sigma_E : 8.44E-06 \text{ 度} \quad (\text{約 } 0.869\text{m})$$

$$\text{緯度標準差 } \sigma_N : 5.85E-06 \text{ 度} \quad (\text{約 } 0.602\text{m})$$

$$\text{平面位置標準差} : 1.057 \text{ m}$$

澎湖地區：

$$\text{經度標準差 } \sigma_E : 5.15E-06 \text{ 度} \quad (\text{約 } 0.53\text{m})$$

$$\text{緯度標準差 } \sigma_N : 3.49E-06 \text{ 度} \quad (\text{約 } 0.359\text{m})$$

$$\text{平面位置標準差} : 0.64 \text{ m}$$

由平面位置標準差可以看出，用此組轉換參數進行座標轉換，而產生的轉換誤差約為

1 m。



### 5.2.3 電子地圖轉檔軟體

本論文所研究的方向與用途，是選擇 TWD97 的資料加以編輯處理，並將運研所提供的一堆數字格式，轉換成一層層漂亮又美觀的電子地圖，主要的方法是靠轉檔程式與 MapInfo 軟體。其中電子地圖轉檔軟體是在 Windows 系統下開發，採用 Visual Basic 6.0 程式，將運研所的數值圖轉換成 MapInfo 可讀的規格格式。然而雖運研所提供的數值地圖幾近完美，但是還是有幾個小地方，可能因為處理資料量過大，而有一些 Data lose。在進行轉換時必須特別小心，以下將再轉換步驟裡加以說明：

- (1) 需先將數值圖(\*.geo 與 \*.csv)透過轉檔程式轉成 MapInfo 可讀的格式(\*.mif 與 \*.mid)，之後再使用 MapInfo 程式裡的 Import 來讀取 mif 檔，透過 MapInfo 轉換會產生 \*.TAB，\*.DAT，\*.ID，\*.MAP 等四個檔案，要打開圖層時可直接點選 \*.TAB。
- (2) 在處理道路轉檔時，必須先用 EXCEL 打開檔名為 \*\_road.csv 的檔案，透過 EXCEL 進行排序，將道路編號從小排到大，之後再使用使用檔名為 Road.exe 的轉檔程式轉換，如圖 5.5，接著重複步驟 (1)。
- (3) 處理 \*\_lankmark、\*\_bridge、\*\_river、\*\_rail、\*\_tunnel 等以上五項作法完全一樣，只需要透過轉檔程式(lankmark.exe、bridge.exe、river.exe、rail.exe、tunnel.exe)轉換即可，如圖 5.6、5.7、5.8、5.9、5.10，接著重複步驟 (1)。
- (4) 要轉換 \*\_region 有一點麻煩，因為必須經過兩次的轉換，所以必須要小心謹慎免得功虧一簣，步驟如下：
  - a、須先將轉檔程式 region 整個資料夾，copy 到 C 槽底下（原因是為了隨時做修改的便利）。
  - b、將欲轉換的 \*\_region.geo 與 \*\_region.csv 兩個檔案，copy 到 C 槽 region 目錄底下。
  - c、更改從運研所網站上下載的轉檔程式 (mapinfo.bat)，在 mapinfo.bat 檔案

上按右鍵進行編輯，編輯內容為：ToMapInfo.exe C:\region\\* C:\region\ notm2，只需在' \* 號處填入欲轉換的檔案的檔名即可，例如：ToMapInfo.exe C:\region\Cgh C:\region\ notm2。

d、 打開 VB 程式，將程式裡面有呼叫到\*\_region檔案的檔案名稱處，全部改成與 mapinfo.bat 裡要轉檔的名稱一樣即可，如圖 5.11、5.12，接著重複步驟（1）。

e、 程式流程圖，如圖 5.13。

（5） 數值地圖裡有幾個地方有 Data lose，若不及時修正補上，將會造成缺塊的現象，或與縣市區塊和名稱的不符，造成使用上的不便。以下說明有 Data lose 的部分：

a、 Hhh\_region.csv 裡少新竹縣的芎林鄉（在第十欄位）。

b、 Iln\_region.csv 裡少三個欄位分別是宜蘭縣的宜蘭市（在第十五欄位）、三星鄉（在第十九欄位）。

c、 Cgh\_region.csv 裡少彰化縣的埤頭鄉（在第十七欄位）。



圖 5.5 道路轉檔程式介面



圖 5.6 地標地物轉檔程式介面



圖 5.7 橋樑轉檔程式介面



圖 5.8 河流轉檔程式介面



圖 5.9 鐵路軌道轉檔程式介面

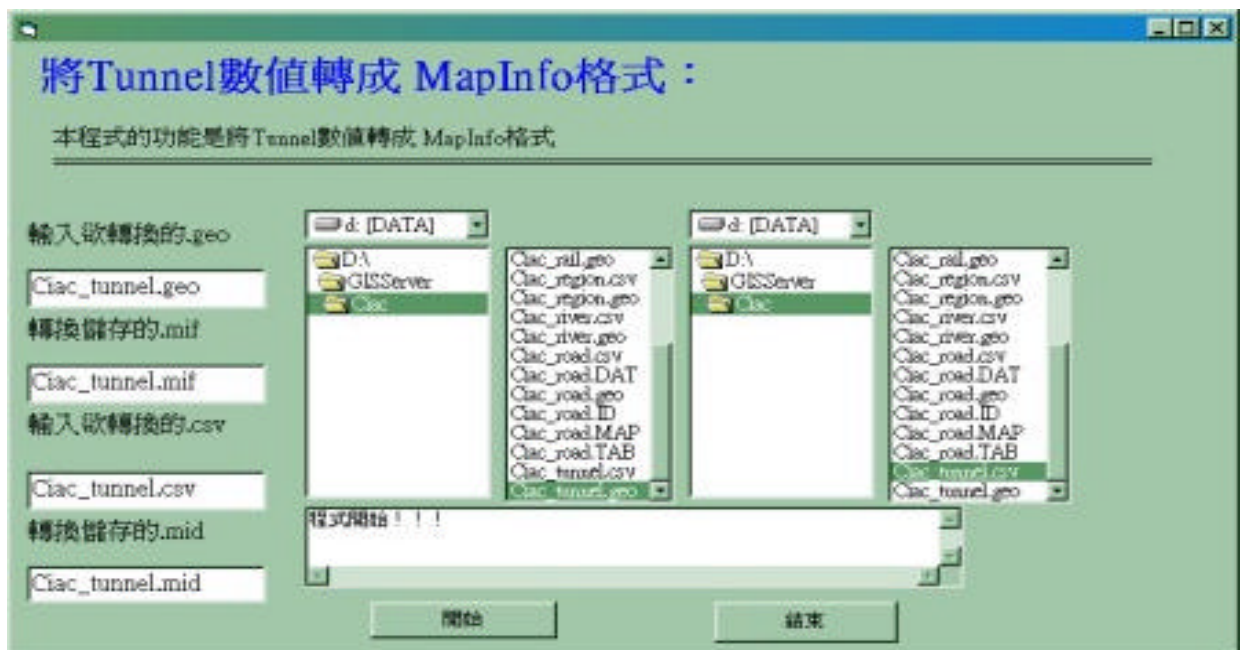


圖 5.10 隧道轉檔程式介面



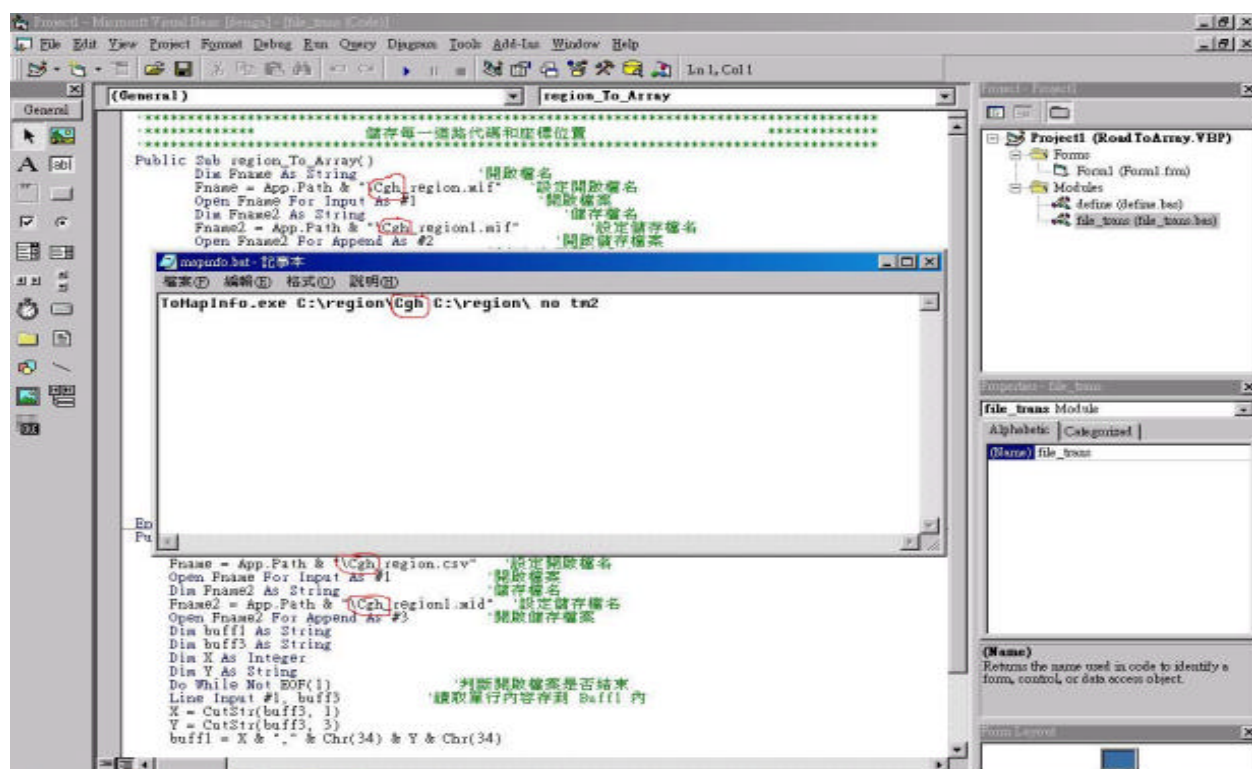


圖 5.11 行政區塊轉檔程式

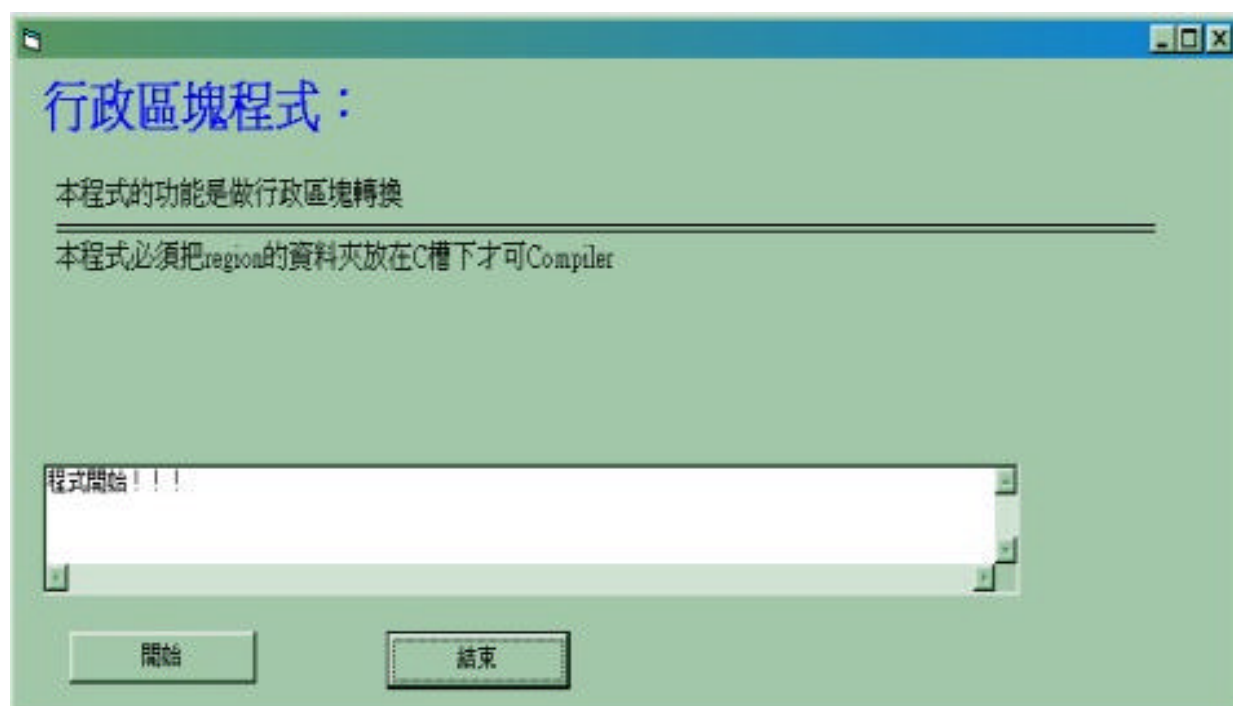


圖 5.12 行政區塊轉檔程式介面

## 繪製行政區域電子地圖流程表

OS :MapInfo , MapX  
使用tools:VB , ToMapInfo.bat

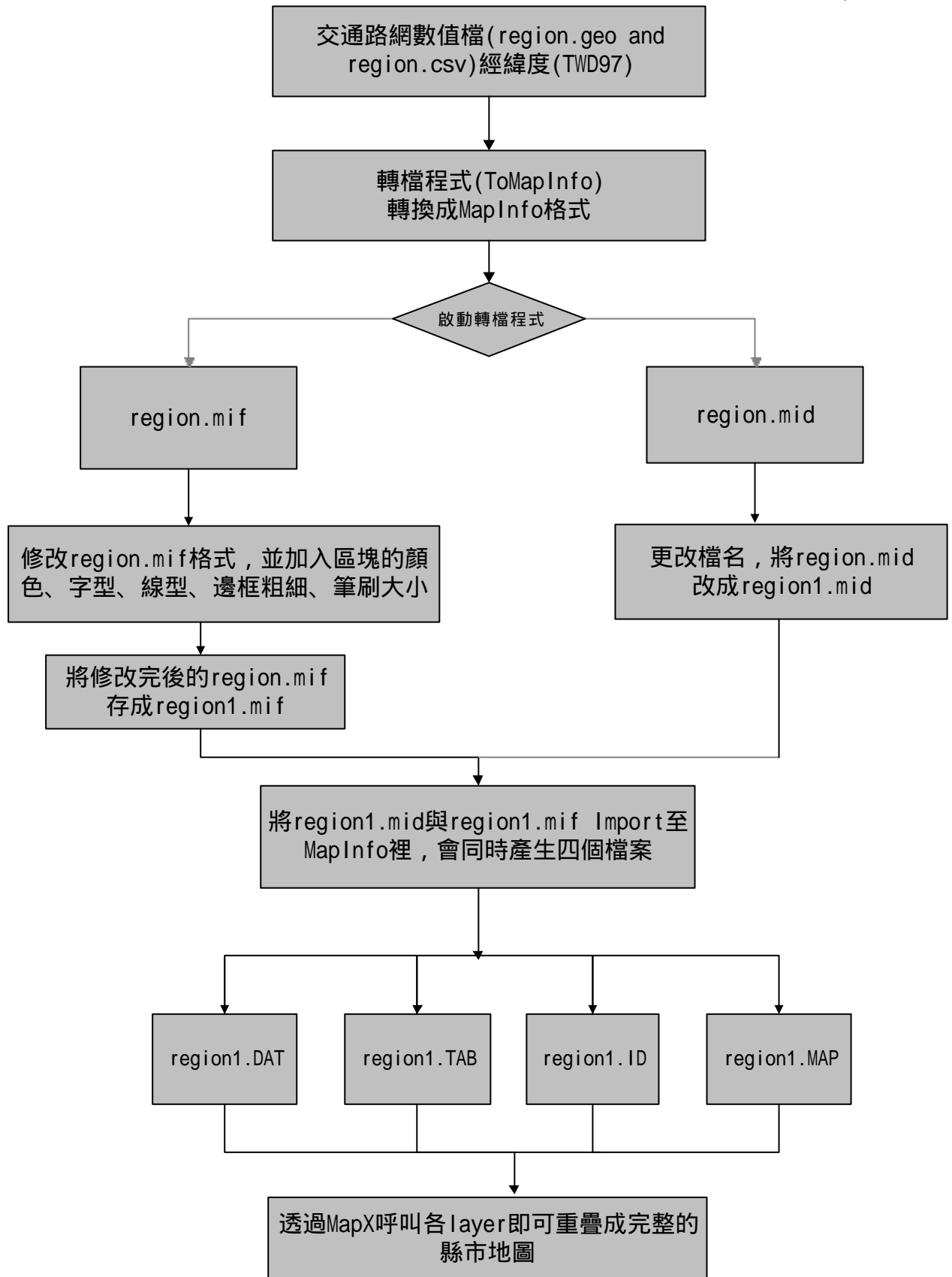


圖 5.13 行政區塊轉檔程式流程圖

#### 5.2.4 資料精度

由於本數值地圖要求道路路網之資料精度為：在縣轄市以上都市地區之路網精度應達到 5 公尺，其他地區之路網精度應達到 12.5 公尺。為了驗證數值地圖經過轉檔程式轉成電子地圖後，是否有精確度的誤差或是資料的遺失，因此分別採用由麗臺科技所生產的 GPS(型號：9540 Engine board)定位精度在 3 公尺以內，以及 MLR Inc. 所生產的 GPS(型號：MLR SP24)定位精度在 2 公尺以內（其詳細規格如附錄二）；在 2002 年 2 月 22 日下午 3 時同時對 9540 與 SP24 進行路測，所選擇的路測地點在中科院龍

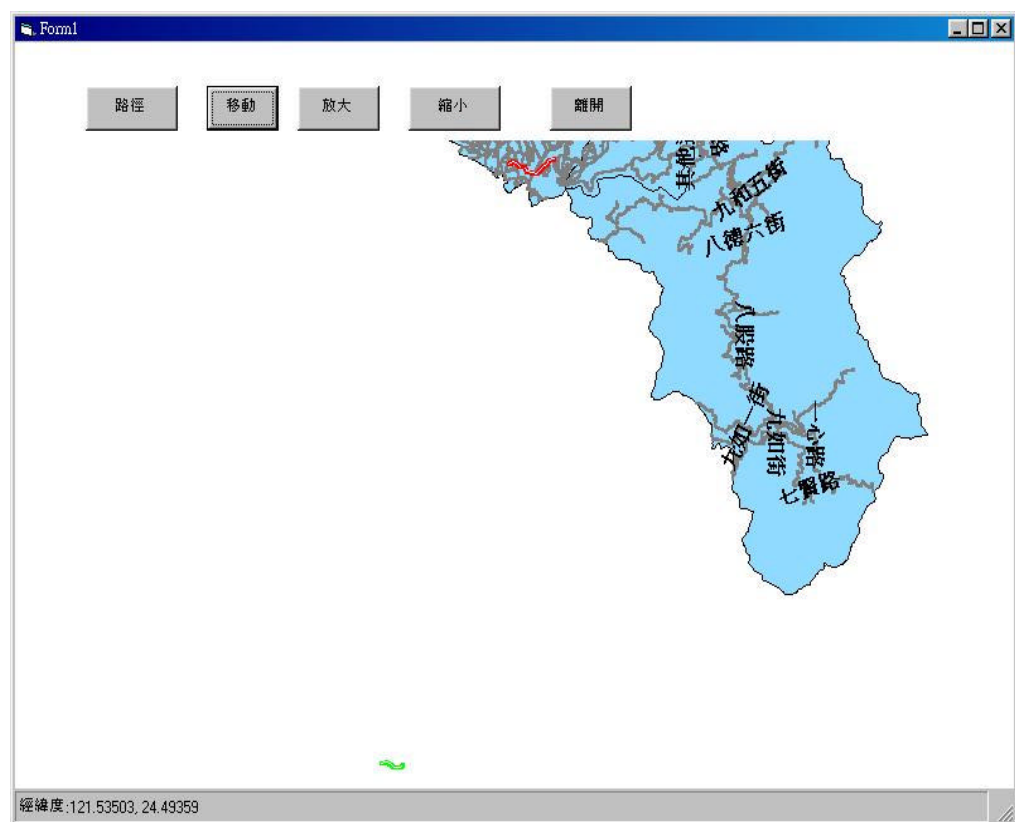


圖 5.14 路測比較圖（未經分、秒轉換）

潭園區附近的台 3 乙線道路，其驗證結果如圖 5.14，綠色線代表 9540、紅色線代表 SP24。觀察圖 5.14 您一定有所疑惑，為何紅線與綠線分隔的那麼開，它們的誤差不是很相近，應該要重疊在地圖的台三乙道路上嗎？沒錯！您的疑慮是對的，紅線和綠線沒有重疊在一起的主要原因，是因為綠線顯示在地圖上的 GPS 座標值，是以六十進位的方式，紅線顯示在地圖上的 GPS 座標值，則是以十進位的方式，而運研所提供的



數值地圖，也是以十進位的方式存取，當然本文所製作的電子地圖也是以十進位的方式顯示。因此要顯示綠線在地圖前，需要做分秒的轉換，再顯示在地圖上，則紅線與綠線即可顯示在地圖的台三乙道路上，幾近百分之百的重疊在一起，如圖 5.15。經由兩台 GPS 定位的驗證，加可以確定所製作的電子地圖無誤，可以放心使用。

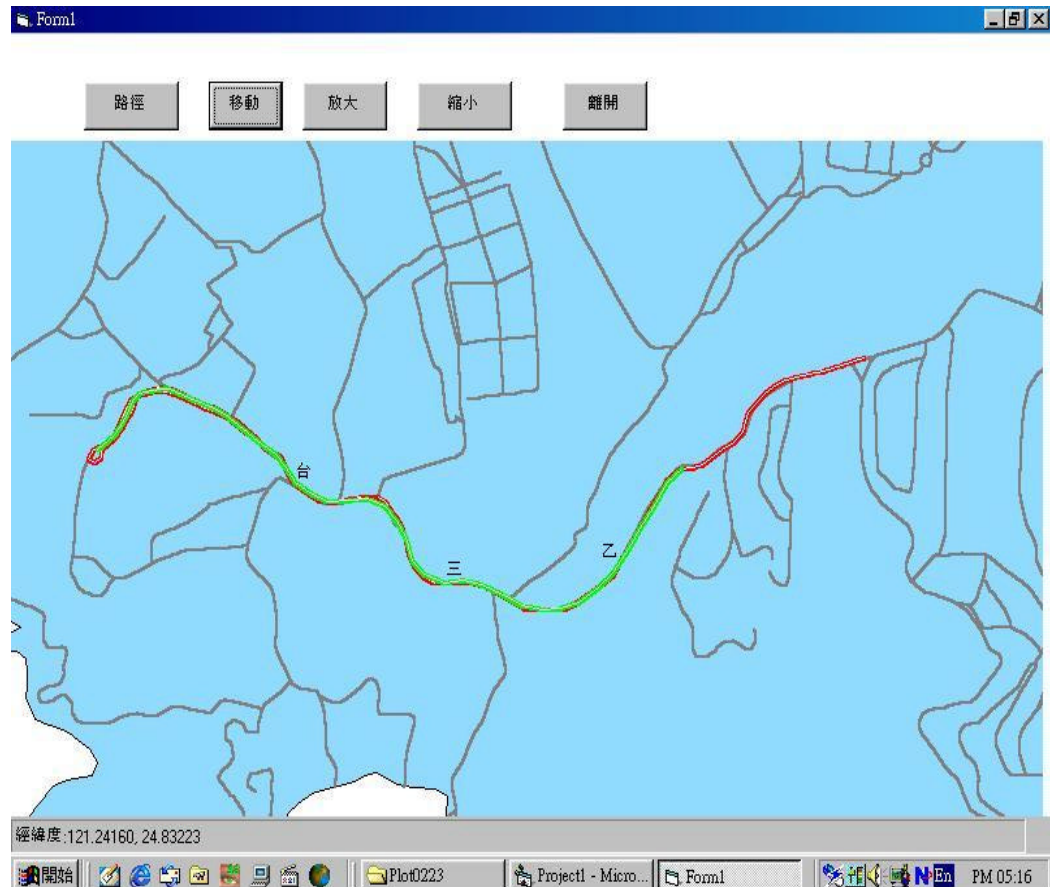


圖 5.15 路測比較圖（已經分、秒轉換）

### 5.3 交通路網數值地圖經加值後可從事以下應用：

1. 最短路徑規劃：設定起點、迄點及中途點，透過空間分析軟體，即可規劃私人旅遊、公車路線、貨運物流等之最短路徑。
2. 位址選擇：給定既有設施點圖層，透過空間分析軟體，即可繪出設施服務範圍路網圖，以利選擇商店，或公共設施之最適新設位址。
3. 車隊與路況監控：結合衛星定位與無線電設備，透過監控軟體，即可從事各類車輛

之位置與速率監控，以利派遣調度。

4. 車輛導航：結合衛星定位與車上顯示設備（或附加即時路況接收器），透過導航軟體，即可遵循最短（或最快速）路徑，順利到達目的地。

此外，在運輸規劃之應用上，亦可結合其他圖層，如縣市行政區、交通分區...等，配合屬性資料進行各種位相分析、影響範圍分析、大眾運輸路線分析、危險物品運送路徑分析、運輸規劃模式分析、物流分析...等應用。

## 第六章 台灣地區二度 TM 座標轉換

### 6.1 座標系統漫談

談到座標系統，就必須先從「地圖投影」說起。地球是一個球體（嚴格來說，是南北略扁的橢球體），球面上的位置，是以經緯度來表示，我們把它稱為「球面座標系統」或「地理座標系統」。在球面上計算角度距離十分麻煩，而且地圖是印刷在平面紙張上的，要將球面上的物體畫到紙張上，就必須展平，這種將球面化為平面的過程，稱為「投影」。經由投影的過程，把球面座標化算為平面直角座標，便於印刷與計算角度與距離。由於球面無法百分之百展為平面而不變形，所以除了地球儀外，所有地圖都有某些程度的變形，有些可保持面積不變，有些可保持方位不變，端視用途而定。

目前國際間普遍採用的一種投影是 Transverse Mercator Projection，（即橫梅投影、橫麥卡脫投影），屬於正形投影(Conformal Projection)的一種，在小範圍內保持形狀不變，對於各種應用較為方便。我們可以想像成將一個圓柱體橫躺，套在地球外面，再將地表投影到這個圓柱上，然後將圓柱體展開成平面。圓柱與地球沿南北經線方向相切，我們將這條切線稱為「中央經線」。在中央經線上，投影面與地球完全密合，因此圖形是沒有變形的；由中央經線往東西兩側延伸，地表圖形會被逐漸放大，變形也會越來越嚴重。為了保持投影精度在可接受的範圍內，每次只能取中央經線兩側附近的地區來用，因此必須切割為許多投影帶。這就好比將地球沿南北子午線方向，像切西瓜一樣，切割為若干帶狀，再展成平面。目前世界各國使用地圖所採用之 UTM 座標系統 (Universal Transverse Mercator Projection System)，即為橫麥卡脫投影的一種。係將地球沿子午線方向，每隔 6 度切割為一帶，全球共切割為 60 個投影帶。台灣與澎湖分別位於 UTM 第 51 帶與第 50 帶。

橫麥卡脫投影的幾個專有名詞：

(1)「中央經線」：圓柱面與地球相切於一條子午線上，稱為「中央經線」。在這條經線上，投影面與地球表面是密合相切的，其圖形變形量最小。不同的投影帶，

其中央經線也不同，投影後各有其座標系統，無法直接拼接。

(2)「中央經線尺度」：中央經線與圓柱面相切密合，所以尺度為 1，造成圖面其它地方均被放大。為了讓尺度變化較為均勻，於是將投影座標乘以某一常數，略為縮小，讓中央經線的尺度略小於 1，逐漸往兩側放大，到投影帶中間某一部分尺度約為 1，投影帶邊緣則略大於 1。這個乘常數我們把它稱為「中央經線尺度」。

(3)「橫座標平移量」：為了避免讓中央經線西側座標出現負數，而將投影座標加上一個常數，此即為「橫座標平移量」。

一般在遇到下列四種情況時，點位座標必須改算或進行轉換【王蜀嘉，1984、邱仲銘和尤瑞哲，1999】：

1. 參考橢球體的參數改變時。決定參考橢球體的參數有橢球幾何形狀參數、橢球中心之位置參數、橢球三個軸的定向，以及和橢球幾何形狀與位置無關的物理參數。這些參數均和應用測量所依據的座標系統有關。
2. 投影的定義有了變更時。相同的點位可能會由於中央子午線、投影尺度比例或座標原點平移量的不同，而得到不同的平面直角坐標。這種情況的轉換，理論上是可以完全嚴密的進行的。
3. 投影的定義並未改變，但作為測量依據的基本控制點，有部份或全部重新測量，並重新平差計算，而欲將新、舊座標整合一起時。這種情況點位坐標是因為重新觀測時，因觀測誤差的正常分佈而有所變動，重新觀測後同一點位卻有兩種座標，如何轉換很難以幾何意義來解釋。
4. 除了投影的定義改變外，基本控制點也重新測算。轉換形式最複雜，但實際上轉換時遇到的幾何意義問題，與第三種情況相同。TWD67 座標和 TWD97 座標間的轉換，不但基本控制點經過重新測量、平差計算，參考的大地基準也不相同，而期間可能又有地殼變形等因素影響，轉換形式比上述的第三種情況更為複雜。

## 6.2 TWD67 與 TWD97 大地基準【21】

### 6.2.1 分帶的迷思

同樣是橫麥卡脫投影，為何又有「二度分帶」、「三度分帶」與「六度分帶」呢？這是考量精度與涵蓋範圍大小之取捨，使得切割的帶狀寬度不同。切割越細，則越接近平面，其變形也就越小，但其拼接也會越麻煩，可謂魚與熊掌，不可得兼。UTM 設計時係以一百萬分之一的世界性輿圖為考量，涵蓋範圍頗大，且對精度要求較低，於是配合百萬分一輿圖之圖幅寬度，以六度為切割範圍。由於早年涵蓋臺灣地區中大比例尺之地形圖只有軍用地圖，因此一直以 UTM 座標作為地形圖的座標系統，即通稱之「六度分帶」。隨著各項經濟建設的蓬勃發展，對地形圖的運用日益增加，精度需求也提高，UTM 系統漸感不敷使用。主要原因是臺灣本島恰位於第 51 帶邊緣，是投影變形最嚴重的地區，西部平原距離投影的中央經線  $123^{\circ}$  達  $3^{\circ}$ ，其投影誤差可達  $1/2500$ ，對於寸土寸金的都市地區來說已經難以接受，於是又有三度分帶座標系統的產出。三度分帶是以  $121^{\circ}$  為中央經線，適用於  $119^{\circ}$  至  $122^{\circ}$ ，臺灣和澎湖都屬於同一投影帶，但在台灣西部平原的比例誤差仍嫌過大，因此這個系統十分短命，沒多久又被現在所通用的二度分帶座標系統所取代。二度分帶顧名思義，是將地表每隔二度切為一個投影帶，因為切割較細，所以其投影誤差也更小（約在  $1/10000$  左右），且台灣本島恰好都在同一投影帶內，不會造成使用上的不便，因此一直沿用至今成為國內各種圖籍的標準。由於切割較細，使得臺灣、澎湖、彭佳嶼、釣魚台分別屬於不同投影帶。

以台灣本島為例，將這些座標系統使用的參數列於表 6-1：

座標系統名稱	中央經線	中央經線尺度	橫座標平移量
二度分帶	東經 $121^{\circ}$	0.9999	250000 公尺
三度分帶	東經 $121^{\circ}$	1	350000 公尺
六度分帶	東經 $123^{\circ}$	0.9996	500000 公尺

表 6-1 各分帶參數表

#### 6.2.2 TWD67 大地基準

民國五十一年至五十六年間，聯勤測量署曾對當時標高在五百公尺以下的一、

二、三等三角點進行實地調查，發現三角點標石的損失率高達 28.44%。民國六十三年，內政部也曾抽樣調查苗栗、台東及台北市等地區三角點，更進一步對調查地區中標石完好的三角點施以檢測，所得結果與舊成果比較，高程及平面位置均有差異，差異大者可達一公尺，足證明當時三角點標石毀損移位的情形頗為嚴重【聯勤測量署，1980】。於是行政院有鑒於事關人民權益及為提高土地測量之精確性，由內政部委託聯勤測量署辦理一、二、三等三角點測量，以有系統地進行全面檢測，並於民國六十九年公告三角點之檢測結果，亦即目前所謂之虎子山大地基準，又稱 TWD67 大地基準。

TWD67 大地基準採用的參考系統各項參數如下【聯勤測量署，1980、高書屏，1987】：

1、參考橢球體採用 1967 年國際大地測量及地球物理學會 (IUGG) 公佈之國際地球圓心，稱為 GRS67 橢球體 (GRS67 ; Geodetic Reference System 1967)，橢球參數如下：

$$\text{長半徑} \quad a = 6378160 \text{ 公尺}$$

$$\text{扁率} \quad f = 1/298.25$$

2、經緯度及方位角的起算標準如下：

(1) 經度以通過英國格林威治天文台，子午儀中心之子午線起算，向東者為正，向西者為負。

(2) 緯度自赤道起算，向北者為正，向南者為負。

(3) 方位角自正北起算，向東順時針方向為正，反之為負。

3、平面位置之原點為南投縣埔里之虎子山一等三角點：

$$\text{經度} (I_0) = 120^\circ 58' 25'' .975E$$

$$\text{緯度} (f_0) = 23^\circ 58' 32'' .340N$$

$$\text{對頭拒山之方位角} (a_0) = 323^\circ 57' 23'' .135$$

4、TWD67 座標系統以虎子山原點起算時，採用以下幾個假設作為整個系統推算的依據：

(1) 座標系統的 X、Y、Z 三軸，與地心地固座標系統之三軸平行。

(2) 虎子山原點之大地經緯度，與天文經緯度一致，即垂線偏差為零且天文方位角與大地方位角一致。

#### 5、高程起算面：

- (1) 臺灣本島地區圖之高程，以基隆港 18 年的平均海水面為零公尺起算。
- (2) 澎湖地區圖之高程，自馬公港平均海水面為零公尺起算。
- (3) 金門地區圖之高程，金門當地平均海水面為零公尺起算。
- (4) 馬祖地區圖之高程，馬祖當地平均海水面為零公尺起算。
- (5) 等高線間隔：臺灣本島、澎湖地區 20 公尺。
- (6) 金門、馬祖地區 50 公尺。

民國六十五年至六十八年間進行的一、二、三等三角點，合計 2622 點檢測工作，施測時採逐級加密進行，於民國六十九年二月公佈平差計算後的座標，包括三角點之二度 TM 座標和 GRS67 橢球體之經緯度，作為後續測量工作起算之依據。

自從 TWD67 大地基準建立以後，從其後大地測量的結果發現，三角點座標已有錯誤不堪用的情形，而且隨著測量儀器越來越精密，三角點間的張力也逐漸變成大到不能忍受的地步。大體而言，TWD67 因一、二及三等三角網並未進行一次整體平差，而是採一等控制二等，一等及二等控制三等的方式進行平差，故一等網內存在的誤差會逐步傳播至二、三等三角網以致造成更大的誤差，更由於缺乏足夠之距離，及天文方位角觀測資料，使得基線控制及方位角控制不佳。又加上台灣地區地殼變動劇烈，對某些地區之三角網造成顯著影響。當初在計算 TWD67 三角點座標時，由於缺乏大地起伏及垂線偏差資料，使得台灣地區相對於 GRS67 之參考橢球體的相對位置並不確定，以致觀測量化算也不完全。

#### 6.2.3 TWD97 大地基準

鑒於原有 TWD67 大地基準已使用多年，而且受到當時測量技術的限制等各項因素，導致 TWD67 基本三角點座標成果精度不佳，早已不敷使用。而且各單位在缺乏控制點之情況下，為因應本身業務需要，零星補設，缺乏整體規劃，導致精度不一，形成浪費，也影響測量成果品質。內政部為建立完整、統一、高精度之基本控制點系統，自八十二年度開始辦理「應用全球定位系統，實施台閩地區基本控制點測量計畫」，

並配合目前衛星定位測量廣泛應用之潮流趨勢，在測算完成後，經邀請產、官、學界代表召開二次研討會，及二次會議共同討論，訂定國家新大地基準，命名為 TWD97。

TWD97 採用的大地參數如表 6-1，另外基準參數訂定如下：

- 1、其建構係採用國際地球參考框架 ITRF。ITRF 為利用全球測站網之觀測資料成果推算所得之地心座標系統，其方位採國際時間局(Bureau International del' Heure 簡稱為 BIH)定義在 1984.0 時刻之方位。
- 2、新國家座標系統之參考橢球體，採用 1980 年國際大地測量學，與地球物理學協會(International Union of Geodesy and geophysics 簡稱為 IUGG)公布之參考橢球體(GRS80)：

長半徑  $a = 6378137$  公尺

扁率  $f = 1/298.257222101$

3. 台灣、琉球嶼、綠島、蘭嶼及龜山島等地區之投影方式，採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中央子午線為東經 121 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。另澎湖、金門及馬祖等地區之投影方式，亦採用橫麥卡托投影經差二度分帶，其中央子午線定於東經 119 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。南沙地區則是中央子午線定於東經 119 度，投影原點向西平移 250,000 公尺，中央子午線尺度比為 0.9999。內政部於八十二及八十三年度，分別於陽明山、墾丁、鳳林、金門、北港、太里、馬祖、東沙等設置八個衛星追蹤站，衛星追蹤站全天候二十四小時連續不斷接收衛星資訊，自八十四年四月十日至八十六年八月三十一日，可與太平洋地區聯合其他國際追蹤站，共十七站組成環太平洋地區網並進行每日基線計算工作，將每日基線計算成果結合國際網十三個核心站，與國際 51 個追蹤站，聯測解算精確求得八衛星追蹤站絕對座標，做為各等級衛星控制點測量之依據，平差計算後內政部八衛星追蹤站 ITRF94 絕對座標標準偏差之平均值分別為  $\pm 0.6$  公釐( $s_x$ )、 $\pm 0.7$  公釐( $s_y$ )及  $\pm 0.4$  公釐( $s_z$ )【陳南松，



1998】。另外參酌 TWD67 原有三角點及中央研究院現有之衛星點，並配合網形分佈與實用性，所規劃設立一等衛星控制點 105 點、二等衛星控制點 621 點，於八十四年至八十七年間辦理一、二等衛星控制點測量工作，平差計算時以八個衛星追蹤站座標，來約制台灣 105 個一等衛星控制點的網形平差，解算出 105 個一等衛星控制點座標，作為新的大地基準 3D 座標參考框架。

二等衛星控制點之座標，除了南沙地區兩點，其餘 619 點係以 105 個一等衛星控制點為約制條件，於 85 年至 87 年度施測的 49 個不同時段中，選取 2175 條獨立基線加入平差計算，解算得到 619 個二等衛星控制點座標。一等、二等衛星控制點平差成果於緯度、經度及高程方面之標準誤差平均值如表 6-2。

表 6-2 一、二等衛星控制點標準誤差平均值【陳南松，1998】

分量 控制點	緯度	經度	高程
一等衛星控制點	$\pm 0.3$ cm	$\pm 0.6$ cm	$\pm 2.0$ cm
二等衛星控制點	$\pm 1.1$ cm	$\pm 1.1$ cm	$\pm 2.7$ cm

### 6.3 TWD67 與 TWD97 孰是孰非

台灣地區的座標系統是日據時期開始就已建立，經由陸續修測而得。傳統是以天文觀測及三角測量的方式測定經緯度，由於受到地球重力場分佈不均勻等因素的影響，所測得的經緯度只適用於台灣附近的局部區域。內政部於民國六十九年公佈之 2662 點三角點，就是以這種方式測量的，為台灣地區現有多數圖籍之基準。這套座標系統是採用 1967 年的國際地球原子計算，通稱為「TWD67」。衛星定位發明後，對於測量起了至重大變革，不需再透過天文觀測，即可計算地表任何地方的經緯度，不僅精度更高，且所測得的足適用於全球的一套座標系統，我國亦順應世界潮流予以採

用，為了有別於以往的座標系統，把它稱為「TWD97」。簡而言之，TWD67 是只適用於台灣地區的一套座標系統，若要與其它國家銜接就會發生問題；TWD97 則與全球座標系統一致。兩者所採用的基準不同，所以同一個地點在兩套系統中的座標自然就不一樣。我們把 TWD67 與 TWD97 所採用之地球圓心，及虎子山在這兩套座標系統中的座標列於表 6-3：

座標系統	地球長半徑	地球扁率	虎子山座標		
			經緯度	二度分帶座標 (公尺)	高程(公尺)
TWD67	6378160 公尺	1/298.25	120 ° 58' 25.9750"	247342.198	556.451
			23 ° 58' 32.3400"	2652335.851	
TWD97	6378137 公尺	1/298.257222101	120 ° 58' 55.2886"	248170.787	578.955
			23 ° 58' 25.9486"	2652129.936	

表 6-3 TWD67 與 TWD97 於虎子山座標值比較

TWD67 與 TWD97 之間的差異量不小，若全面採用 TWD97，勢必導致大量舊有之圖籍全面改製，茲事體大，因此國內尚未全面採用。經建版地形圖若採用 TWD67 系統，GPS 所測得的是 TWD97 系統。因此若將 GPS 測定的經緯度展繪到地形圖上，會發現有所偏差。有些接收器提供直接轉換為 TWD67 的功能，如果沒有此項功能，則須自行轉換。TWD67 與 TWD97 之間約有八百多公尺的差異，兩者之間並沒有簡單的公式可供轉換。但若要求精度不高，則可概略以下列公式換算之（二度分帶座標）：

$$\text{TWD67 橫座標} = \text{TWD97 橫座標} - 828 \text{ 公尺}$$

$$\text{TWD67 縱座標} = \text{TWD97 縱座標} + 207 \text{ 公尺}$$

上述公式誤差約在 5 公尺以內，對於工程應用或嫌不足，但對於一般 GPS 定位則是綽綽有餘了，若要求轉換精度要高的話，可以參考公式（5.1）四個參數法，去作座標轉換運算。

#### 6.4 TWD67 與 TWD97 座標轉換

傳統的大地測量觀念，是以一旋轉橢球體作為參考的依據，將所有的觀測量化算至此參考面，但以此曲面座標並無法方便地使用於測量實務上，故一般的工程、地籍等測量均存經過一地圖投影的步驟，得到二維平面座標方能使用。不過目前由於衛星定位技術的快速發展，將大地測量方法帶入一新的紀元，高精度的三度空間 GPS 座標可快速、精確的取得，但由於 GPS 的座標系統與傳統的大地基準並不相同，而且三度空間的 GPS 座標，也無法適用於一般應用測量上，故產生了三度與二度座標之間的轉換問題。

TWD97 衛星三度空間座標與 TWD67 大地座標進行轉換時，常見的做法是先將 TWD67 的大地座標( $f, l, H$ )，換算成卡式直角座標( $X, Y, Z$ )後，再配合共同點 TWD97 座標求解旋轉、尺度參數及未知點的座標。不過 TWD67 基準建立時，將平面控制網與高程控制網分開處理，高程方面需先以天文、重力測量決定大地水準面，才可將正高化算為橢球高，但是實際上當初建立時，絕大部分的三角點高程來自間接高程測量，未經垂線偏差及正確的大氣折光改正，也極少施予天文或重力測量，因此得到的高程不但精度不佳，而且只是正高並非橢球高，若以正高代替橢球高，轉換得到的卡式坐標( $X, Y, Z$ )精度勢必受到影響。

由於 TWD67 基本三角點座標缺乏正確的橢球高資訊，目前嘗試解決的方法，有將 TWD97 與 TWD67 共同點之大地座標橢球高，令為零或相等，以此求得近似三維卡氏座標求取兩座標系之間的轉換參數，但此法可能會因高程資訊缺少或不正確而影響到轉換成果。不管是以近似的三維卡氏座標或大地座標進行轉換，基本上仍屬於三度空間的轉換。不過就應用測量而言，工程實務或地籍測量，均採用二度 TM 投影座標為測量成果的表示方法。由於座標參考系統的不同，以三維卡氏座標或大地座標並無法直接供應用測量使用，如果以二度 TM 座標形式，進行 TWD97 與 TWD67 座標間的轉換，則可避免 TWD67 缺乏高程資訊，而影響轉換結果的問題，更可直接適用於應用測量。

投影座標就是將參考橢球體上的點位，利用地圖投影的方式投影到一平面，用來表示點位間於平面空間關係的二維座標。因此每一種地圖投影方法都會產生變形，也

都保持某種特性。TWD67 或 TWD97 座標基準投影方式均，採用橫麥卡托投影經差二度分帶，以經度差兩度的區域為一投影帶進行投影，得到的投影座標簡稱為二度 TM 座標。橫麥卡托投影屬於一種正形投影(Conformal Projection)，即在小面積區域中，距離與方向保持相似，就幾何意義上來看，可假想用一個橫橢球圓柱套在地球橢球體外面，並與某一子午線相切(此子午線即為中央經線)，橢球圓柱的中心軸位於橢球的赤道上。投影後原橢球面上的中央經線、距中央經線九十度的經線，與赤道在投影面上為直線，由於沿著其中央經線的投影尺度可維持一個常數，所以適合南北狹長的地區。

在內政部公佈新的國家座標系統「1997 台灣大地基準」之前，國內大多利用 Molodensky-Badekas 之七參數轉換模式，進行 TWD97 座標系統與二度分帶橫向麥卡托投影座標系統轉換。TWD97 與 TWD67 之 Molodensky-Badekas 七參數轉換模式如下【22】:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^{67} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}^{97} - \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ \Delta z \end{bmatrix}^{97} \begin{bmatrix} 1 & \mathbf{e}_z & -\mathbf{e}_y \\ -\mathbf{e}_z & 1 & \mathbf{e}_x \\ \mathbf{e}_y & -\mathbf{e}_x & 1 \end{bmatrix} \div (1 + S) \quad (6.1)$$

橫麥卡托投影一般公式 ( , ) (x, y)

$$\begin{aligned} y &= B(\varphi) + \frac{t}{2} N \cos^2 \varphi l^2 + \frac{t}{24} N \cos^4 \varphi (5 - t^2 + 9\eta^2 + 4\eta^4) l^4 \\ &\quad + \frac{t}{720} N \cos^6 \varphi (61 - 58t^2 + t^4 + 270\eta^2 - 330t^2\eta^2) l^6 \\ &\quad + \frac{t}{40320} N \cos^8 \varphi (1385 - 3111t^2 + 543t^4 - t^6) l^8 + \dots \\ x &= N \cos \varphi l + \frac{1}{6} N \cos^3 \varphi (1 - t^2 + \eta^2) l^3 \\ &\quad + \frac{1}{120} N \cos^5 \varphi (5 - 18t^2 + t^4 + 14\eta^2 - 58t^2\eta^2) l^5 \\ &\quad + \frac{1}{5040} N \cos^7 \varphi (61 - 479t^2 + 179t^4 - t^6) l^7 + \dots \end{aligned} \quad (6.2)$$

其中：

$B(\varphi)$  = 緯度 $\varphi$ 處之子午圈曲率半徑

$N = \frac{a^2}{b\sqrt{1+\eta^2}}$  : 緯度 $\varphi$ 處之卯酉圈曲率半徑

$\eta^2 = e'^2 \cos^2 \varphi$

$e' = \sqrt{\frac{(a^2 - b^2)}{b^2}}$  : 橢球體之第二離心率

$t = \tan \varphi$

$l = \lambda - \lambda_0$

$\lambda_0$  = 中央子午線

(63)

其中：

$$B(\varphi) = a \left[ \varphi + \beta \sin 2\varphi + \gamma \sin 4\varphi + \delta \sin 6\varphi + \varepsilon \sin 8\varphi + \dots \right] \quad (64)$$

(6.4)式中之各變數如下：

$$\alpha = \frac{a+b}{2} \left( 1 + \frac{1}{4} n^2 + \frac{1}{64} n^4 + \dots \right)$$

$$\beta = -\frac{3}{2} n + \frac{9}{16} n^3 - \frac{3}{32} n^5 + \dots$$

$$\gamma = \frac{15}{16} n^2 - \frac{15}{32} n^4 + \dots$$

$$\delta = -\frac{35}{48} n^3 + \frac{105}{256} n^5 - \dots$$

$$\varepsilon = \frac{315}{512} n^4 + \dots$$

$$n = \frac{a-b}{a+b}$$

(6.5)

經由上述轉換步驟後，我們已經能將 GPS 接收器收到訊號的座標，成功的轉換到平面座標。但這還是不能將 GPS 接收器收到訊號的座標，成功的轉換到我們所需要的地圖座標系統。因為內政部台灣本島兩萬五千分之一經建版地圖，中央子午線尺度比率為 0.9999，座標原點為中央子午線與赤道交點，橫座標西移二十五萬公尺。因此必須將

(62)式所求得之  $x$ 、 $y$  值分別乘上 0.9999， $x$  值再加上二十五萬公尺，即可將來自 GPS 接收器的座標，成功無誤地轉換到內政部台灣本島兩萬五千分之一經建版地圖座標系統。由於投影後得到約二度 TM 座標  $(N, E)$  是一組二度空間卡氏直角座標，於是 TWD67 與 TWD97 座標間的轉換，可視為二度空間的卡氏直角座標轉換，僅針對點位於投影平面上的位置進行轉換，由於沒有使用到高程分量，故並不受到高程分量含有較大誤差的影響。

## 第七章 最短路徑規劃

### 7.1 路徑規劃簡介

當我們開車在一個陌生都市，如何到達目的地是常遭遇的最大問題。就算在非常熟悉的城市中，想根據某一地址到達該地，也常使我們沿路在視察路旁之門牌編號。然而這些問題都可在路徑規劃中解決，尤其是當路徑規劃結合地圖比對系統成為導航指引系統時，對駕駛人而言只需依循系統之指引，就可輕鬆的到達目的地。簡單來說路徑規劃，就是幫我們從我們的出發點，到目的地間提供一條道路，使我們能依循此一道路到達目的地。一般的路徑規劃大都提供兩端點間之最短路徑，但實際應用上應考量速度限制、交通流量、紅綠燈數目、轉彎路口數等因數的影響，加上路徑長短合計成一個加權值，來作為最佳路徑才合乎實際。但如此作法對資料庫內資訊的要求量，便須更詳盡才有辦法納入考量，比如說交通流量基本上即因時段不同而有所差異，然而這些資訊並無法立刻取得，因此加權值之設計，應依據資料庫內現有之資料，作動態修正以因應資料庫資料不全之狀況。

### 7.2 路徑規劃的方法【23】

當駕駛人提供起迄點位置後，系統依據資料庫內道路特性、限制條件等資料，再結合當時交通狀況資料進行彙算，以規劃出一條最適合的前往路徑，當然起點位置可由衛星定位系統取得，所以一個好的汽車導航系統，除了能在駕駛人出發前提供最佳前往路徑外，在車輛行進中，系統亦能由衛星定位系統，得知駕駛人目前位置，是否在所規劃的路徑上行駛，並能依狀況適時的重新調整最佳行進路線，而用以規劃最佳路徑的「核心作業」，即是最短路徑的演算法。在最短路徑演算法中，有兩個非常著名的演算法，分別為 Bellman-Ford 演算法及 Dijkstra's 演算法，這兩個演算法均是計算由一個固定節點，到所有其他節點的最短路徑，若要計算其他節點到所有節點的最短路徑，則只要在此一演算法的外圍加一個迴圈即可達成。事實上，大多數的網路系統都是運用這個演算法，來解決他們在網路上尋找路徑的問題，以下我們就針對幾個常見的最短路徑演算法，加以說明：

### 7.2.1 Bellman-Ford 演算法

說明演算法之前，我們必須假設一個網路圖，然後針對網路圖上的節點，運用此一演算法求出最短路徑，藉以瞭解演算法的實際推演過程。所以我們假設有一網路圖如圖 7.1 所示，其內共有 5 個網路節點，且節點 A 為目的點，並假設每一節點至少存在一條路徑可到達目的點，由圖可知若每個節點最多只能經過一次，則從任一節點  $i$  到目的節點 A，最多包含有  $h$  個路段 ( $h \geq 4$ ;  $h=4$  表經過所有節點後才到達節點 A)，現在我們就來解決從所有節點到節點 A 的最短路徑問題：

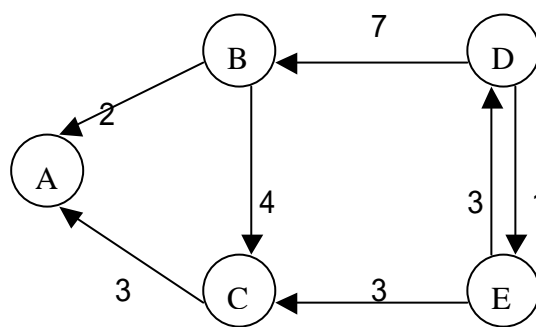


圖 7.1 五節點網路範例圖

#### 7.2.1.1 參數定義：

- 1、令  $d_{ij}$  表節點  $i$  到節點  $j$  的路徑長度，若  $d_{ij} = \infty$  表節點  $i$  到節點  $j$ ，沒有直接相連的路徑。
- 2、令  $D_i^h$  表節點  $i$  到節點 A(目的節點)，所經過路段數目少於  $h$  個路段的最短路徑長度。

#### 7.2.1.2 演算法說明：

##### 1、設定初值：

- (1) 由網路圖得知所有的節點  $i$  到節點  $j$  之路徑長度，以  $d_{ij}$  表之。
- (2) 令  $D_i^0 = \infty$  對所有的  $i \neq A$ 。



(3) 令  $D_A^h = 0$  對所有的  $h$ 。

2、對所有的  $h \geq 0$ ，以下列公式計算  $D_i^{h+1}$  之最小值

$$D_i^{h+1} = \min_j [d_{ij} + D_j^h, D_i^h] \text{ 對所有的 } i \in A。$$

3、重複步驟 2，直至對所有的  $i$  均有  $D_i^h = D_i^{h+1}$  之結果時則停止。

這個演算法首先找到一條路徑(One-arc)可到達的最短路徑，再找到兩條路徑

(Two-arc)可到達的最短路徑，如此一直找下去直到對所有的  $i$  均有  $D_i^h = D_i^{h+1}$  之結

果，或  $h \geq N-1$  ( $N$  表所有節點數)時停止。

#### 7.2.1.3 範例說明：

我們運用圖 7.1 的網路圖以說明演算法的推演過程：

1、設定初值：

$$D_A^0 = D_A^1 = D_A^2 = \dots = 0$$

$$D_B^0 = D_C^0 = D_D^0 = \dots = \infty$$

$$d_{BA} = 2 ; d_{CA} = 3 ; d_{BC} = 4 ; d_{DB} = 7 ; d_{EC} = 3 ; d_{DE} = 1 ; d_{ED} = 3$$

$$d_{BD} = d_{BE} = d_{CB} = d_{CD} = d_{CE} = d_{DC} = d_{EB} = \infty \text{ (由網路圖得知)}$$

2、求一條路徑 (One-arc) 可到達的最短路徑 ( $h=1$ ):

$$D_A^1 = 0 \quad (\text{初值})$$

$$D_B^1 = \min [d_{BA} + D_A^0, d_{BC} + D_C^0, d_{BD} + D_D^0, d_{BE} + D_E^0, D_B^0]$$

$$= \min [2 + 0, 4 + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty] = 2$$

$$D_C^1 = \min [d_{CA} + D_A^0, d_{CB} + D_B^0, d_{CD} + D_D^0, d_{CE} + D_E^0, D_C^0]$$

$$= \min [3 + 0, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty + \infty, \infty] = 3$$

$$D_D^1 = \min [d_{DA} + D_A^0, d_{DB} + D_B^0, d_{DC} + D_C^0, d_{DE} + D_E^0, D_D^0]$$

$$= \min [\infty + 0, 7 + \infty, \infty + \infty, 1 + \infty, \infty] = \infty$$

$$D_E^1 = \min [d_{EA} + D_A^0, d_{EB} + D_B^0, d_{EC} + D_C^0, d_{ED} + D_D^0, D_E^0]$$

$$= \min [\infty + 0, \infty + \infty, 3 + \infty, 3 + \infty, \infty] = \infty$$

3、求兩條路徑 ( Two-arc ) 可到達的最短路徑 ( h=2 ):

$$D_A^2 = 0 \quad (\text{初值})$$

$$D_B^2 = \min [d_{BA} + D_A^1, d_{BC} + D_C^1, d_{BD} + D_D^1, d_{BE} + D_E^1, D_B^1]$$

$$= \min [2 + 0, 4 + 3, \infty + \infty, \infty + \infty, 2] = 2$$

$$D_C^2 = \min [d_{CA} + D_A^1, d_{CB} + D_B^1, d_{CD} + D_D^1, d_{CE} + D_E^1, D_C^1]$$

$$= \min [3 + 0, \infty + 2, \infty + \infty, \infty + \infty, 3] = 3$$

$$D_D^2 = \min [d_{DA} + D_A^1, d_{DB} + D_B^1, d_{DC} + D_C^1, d_{DE} + D_E^1, D_D^1]$$

$$= \min [\infty + 0, 7 + 2, \infty + 3, 1 + \infty, \infty] = 9$$

$$D_E^2 = \min [d_{EA} + D_A^1, d_{EB} + D_B^1, d_{EC} + D_C^1, d_{ED} + D_D^1, D_E^1]$$

$$= \min [\infty + 0, \infty + 2, 3 + 3, 3 + \infty, \infty] = 6$$

4、求三條路徑 ( Three-arc ) 可到達的最短路徑 ( h=3 ):

$$D_A^3 = 0 \quad (\text{初值})$$

$$D_B^3 = \min [d_{BA} + D_A^2, d_{BC} + D_C^2, d_{BD} + D_D^2, d_{BE} + D_E^2, D_B^2]$$

$$= \min [2 + 0, 4 + 3, \infty + 9, \infty + 6, 2] = 2$$

$$D_C^3 = \min [d_{CA} + D_A^2, d_{CB} + D_B^2, d_{CD} + D_D^2, d_{CE} + D_E^2, D_C^2]$$

$$= \min [3+0, \infty+2, \infty+9, \infty+6, 3] = 3$$

$$D_D^3 = \min [d_{DA} + D_A^2, d_{DB} + D_B^2, d_{DC} + D_C^2, d_{DE} + D_E^2, D_D^2]$$

$$= \min [\infty+0, 7+2, \infty+3, 1+6, 9] = 7$$

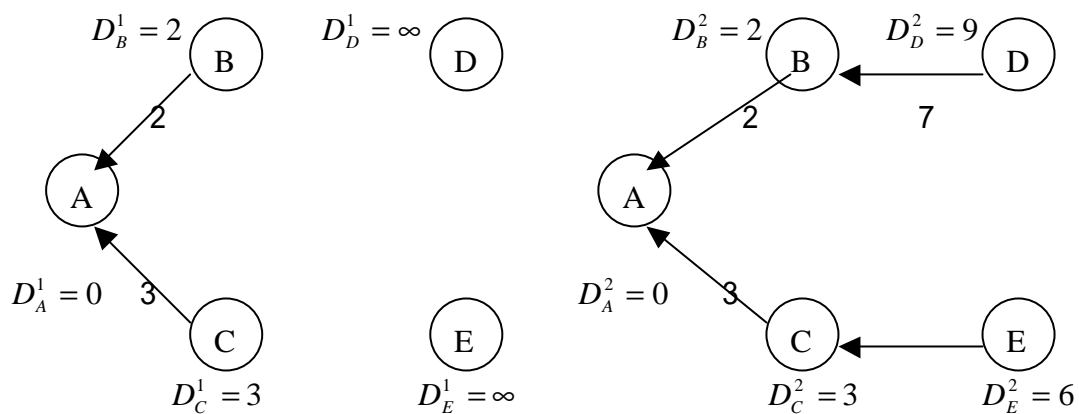
$$D_E^3 = \min [d_{EA} + D_A^2, d_{EB} + D_B^2, d_{EC} + D_C^2, d_{ED} + D_D^2, D_E^2]$$

$$= \min [\infty+0, \infty+2, 3+3, 3+9, 6] = 6$$

5、下來求四條路徑(Four-arc)可到達的最短路徑(h=4)，我們得到對所有節點都有

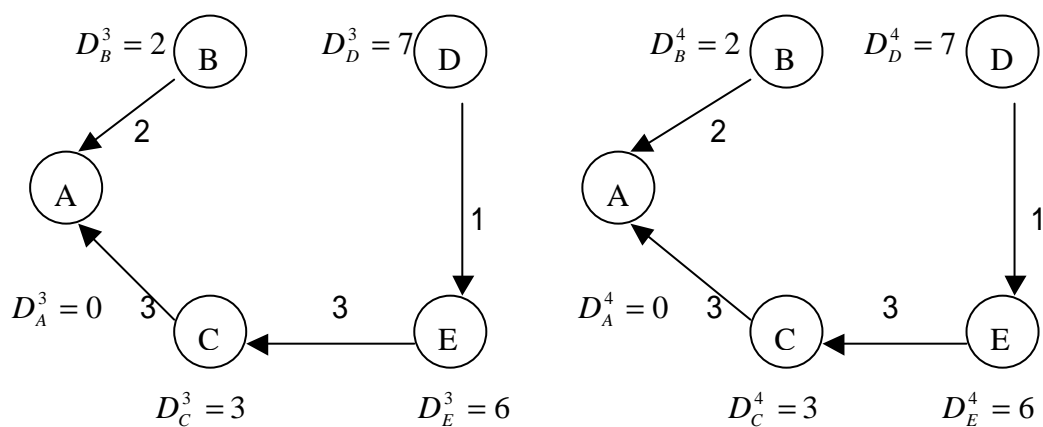
$D_i^3 = D_i^4$ 的結果，故演算法結束，各節點到節點 A 的最短路徑值即為  $D_i^4$  的值，

演算法示意圖如圖 7.2 所示：



One-arc

Two-arc



Three-arc

Four-arc

圖 7.2 Bellman-Ford 演算法示意圖

### 7.2.2 Dijkstra's 演算法

Dijkstra's 演算法的概念，是以目前最近的節點向外擴張，即將目前所剩節點中，選出最短距離者加以擴張，每擴張一個節點，就比較「目前所剩節點到達目的節點的距離」與「由此節點經過擴張節點再到達目的節點的距離」，取其最短者。所以此演算法是以一個階段一個階段，漸漸增加路徑長度的方式，來求其最短路徑。現在我們就來探討此一演算法，解決從所有節點到節點 A 的最短路徑的方式。

#### 7.2.2.1 參數定義：

- 1、所有路徑長度都不為負值，且目的節點為 A。
- 2、N 表網路上所有節點數。
- 3、S 為一陣列，用以放置已處理完畢的節點。
- 4、T 為一陣列，用以放置尚未處理之節點（與 S 互為補數）
- 5、 $D_i$  及  $D_j$  表節點 i 或節點 j，到目的節點 A 的最短路徑。
- 6、 $d_{ij}$  表節點 i 到節點 j 的路徑長度，若  $i=j$  則  $d_{ij}=0$ 。若節點 i 到節點 j，沒有

直接相連的路徑，則  $d_{ij} = \infty$ 。

#### 7.2.2.2 演算法說明：

- 1、設定初值：
  - (1) 由網路圖得知所有的節點 i 至節點 j 之路徑長度，以  $d_{ij}$  表之。
  - (2) 令  $S=\{A\}$ ， $T=N-S$ 。
  - (3) 令  $D_A = 0$ 。
  - (4) 令  $D_j = d_{jA}$  對所有的  $j \in A$ 。
- 2、在 T 中尋找下一個最近節點，並將此節點移至 S 內
$$D_i = \min_{j \in T} [D_j] \text{ 對所有的 } i \in T。$$
- 3、T 不為空集合，則針對 T 內節點進行路徑長度修正，公式如下：

對所有的  $j \in T$  ,  $D_j = \min_{j \in T} [D_j, d_{ji} + D_i]$ 。

4、重複步驟 2、3，直至 T 為空集合(或 S=N)為止。

#### 7.2.2.3 範例說明：

我們仍然運用圖 7.1 的網路圖，來說明 Dijkstra's 演算法的推演過程：

1、設定初值：

$$N=\{A, B, C, D, E\}$$

$$S=\{A\} \quad //A \text{ 為目的節點}$$

$$T=\{B, C, D, E\} \quad // \text{此為尚未處理的節點的集合}$$

$$D_A = 0 ; D_B = d_{BA} = 2 ; D_C = d_{CA} = 3 ; D_D = d_{DA} = \infty ; D_E = d_{EA} = \infty$$

2、在 T 中找出距離 A 最近的節點，因  $D_B, D_C, D_D, D_E$  中  $D_B$  為最小，故選擇 B 節點

$$D_i = \min_{j \in T} [D_j] , i \in T$$

$$= \min\{D_B, D_C, D_D, D_E\} = \min\{2, 3, \infty, \infty\} = 2$$

所以  $i=B$ ，將 B 節點移至 S 內

$$\Rightarrow S=\{A, B\} ; T=\{C, D, E\}$$

3、T 不為空集合，則針對 T 內節點進行路徑長度修正

$$\text{公式：對所有的 } j \in T , D_j = \min_{j \in T} [D_j, d_{ji} + D_i]$$

$$\Rightarrow D_C = \min [D_C, d_{CB} + D_B] = \min [3, \infty + 2] = 3$$

$$D_D = \min [D_D, d_{DB} + D_B] = \min [\infty, 7 + 2] = 9$$

$$D_E = \min [D_E, d_{EB} + D_B] = \min [\infty, \infty + 2] = \infty$$

4、在 T 中找出距離 A 最近的節點，因  $D_C, D_D, D_E$  中  $D_C$  為最小，故選擇 C 節點

$$D_i = \min_{j \in T} [D_j] , i \in T$$

$$=\min\{D_C, D_D, D_E\} = \min\{3, 9, \infty\} = 3$$

所以  $i=C$ ，將  $C$  節點移至  $S$  內

$$\Rightarrow S=\{A, B, C\}; T=\{D, E\}$$

5、 $T$  不為空集合，則針對  $T$  內節點進行路徑長度修正

$$\text{公式：對所有的 } j \in T, D_j = \min_{i \in S} [D_i, d_{ji} + D_i]$$

$$\Rightarrow D_D = \min[D_D, d_{DC} + D_C] = \min[9, \infty + 3] = 9$$

$$D_E = \min[D_E, d_{EC} + D_C] = \min[\infty, 3 + 3] = 6$$

6、在  $T$  中找出距離  $A$  最近的節點，因  $D_D, D_E$  中  $D_E$  為最小，故選擇  $E$  節點

$$D_i = \min_{j \in T} [D_j], i \in T$$

$$=\min\{D_D, D_E\} = \min\{9, 6\} = 6$$

所以  $i=E$ ，將  $E$  節點移至  $S$  內

$$\Rightarrow S=\{A, B, C, E\}; T=\{D\}$$

7、 $T$  仍不為空集合，則針對  $T$  內節點進行路徑長度修正

$$\text{公式：對所有的 } j \in T, D_j = \min_{i \in S} [D_i, d_{ji} + D_i]$$

$$\Rightarrow D_D = \min[D_D, d_{DE} + D_E] = \min[9, 1 + 6] = 7$$

8、因  $T$  中只剩  $D$  節點( $D_D$  的值最小)，所以只能選擇  $D$  節點

$$D_i = \min_{j \in T} [D_j], i \in T = \min\{D_D\} = \min\{7\} = 7$$

所以  $i=D$ ，將  $D$  節點移至  $S$  內

$$\Rightarrow S=\{A, B, C, E, D\}; T=\{\}$$

9、 $T$  為空集合則結束，此時  $D_i$  內的值即為最短路徑值，其演算法示意圖如圖

7.3 所示。

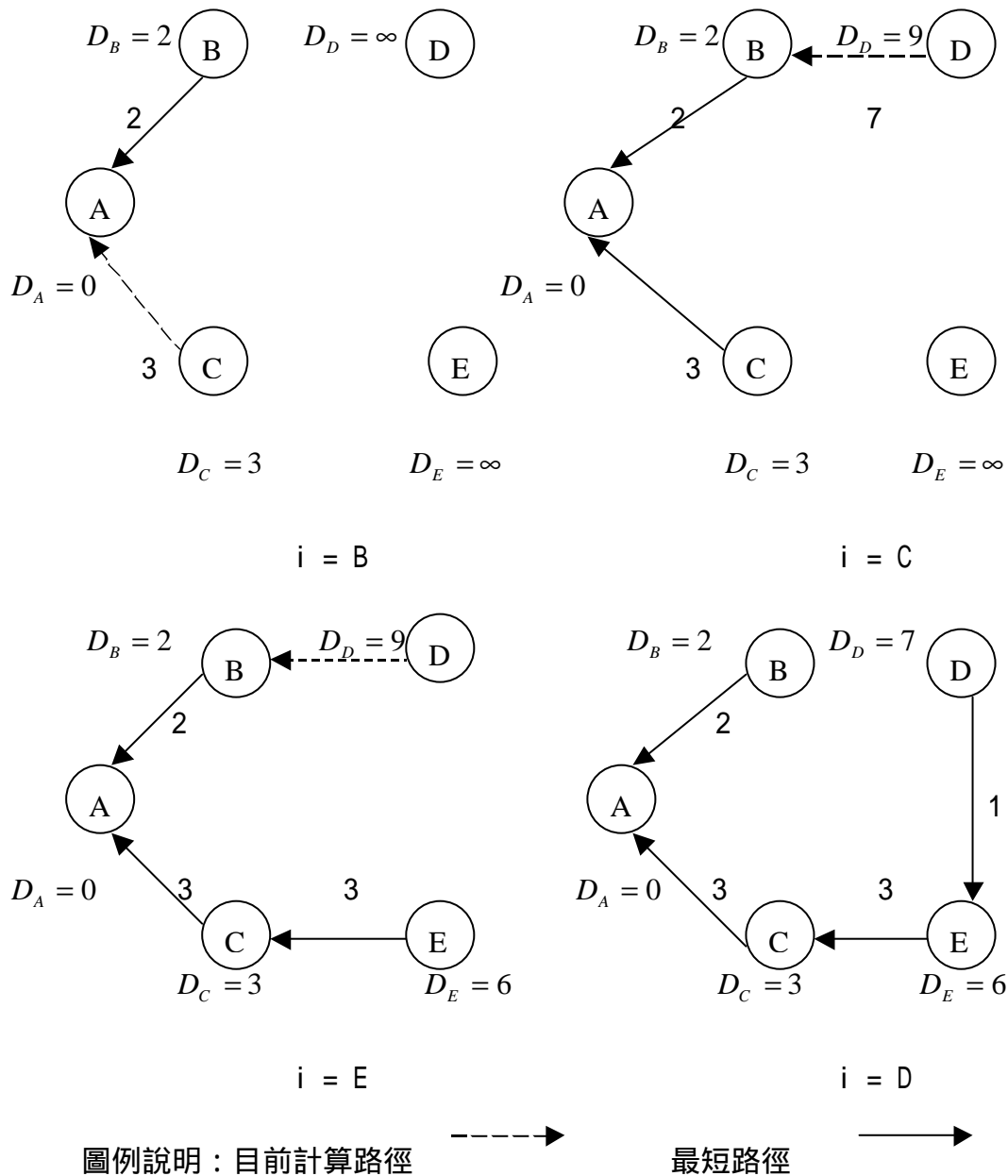


圖 7.3 Dijkstra's 演算法示意圖

### 7.2.3 Floyd's 演算法

Floyd's 演算法是計算所有點到所有點的最短路徑，其基本想法是認為：「如果  $k$  點是  $i$  到  $j$  上最佳路徑的一點，則  $i$  到  $k$  及  $k$  到  $j$  之路徑，均為最佳路徑」。所以其路徑的求得係以「前一次  $i$  點到  $j$  點間的距離 ( $D_{k-1}[i, j]$ )」與「前一次由  $i$  點經過  $k$  點到  $j$  點的距離 ( $D_{k-1}[i, k] + D_{k-1}[k, j]$ )」相比較，取其較小者。故有下列 Floyd's 方程式：



$$D_k[i, j] = \min(D_{k-1}[i, j], D_{k-1}[i, k] + D_{k-1}[k, j])$$

演算法步驟：

```

procedure Floyd((L[1..n, 1..n])
array    D[1..n, 1..n]

D  L          //D 儲存各點至其他各點之最短路徑值

for k  1  to n do
  for i  1  to n do
    for j  1  to n do
      D[i, j]  min(D[i, j], D[i, k] + D[k, j])
    return

```

### 7.3 即時動態規劃法【24】

即時動態規劃法(Real-Time Dynamic Programming)，是一種最基本的路徑規劃方法。原理簡單、計算量又少，而且規劃出來之路徑為最佳路徑（如以路程為其加權值為最短路徑，如以行車時間為其加權值則為最短時間路徑），因此有許多路徑規劃之軟體，都採用此法。其作法是利用從出發點開始，以出發點當作觀測點，找尋與其最近且有路可到之下一點，並將其納入作觀測點。如此一來，就有兩個觀測點，再由這兩個觀測點，向外找尋與其最近且有路可到之下一點，並將其納入作觀測點，如此周而復始。最後當任一觀測點，觀測到終點時，即完成搜尋，再由終點逆向找出到此觀測點之上一觀測點，直到起點為止。將起點、終點與上述逆向找出之觀測點，串聯起來，即最短路徑（如將兩觀測點間之距離以距離、交通流量等綜合之加權值取代則為最佳路徑）。最佳化原理(Maximum Principle)是即時動態規劃法的基礎，最佳化原理如圖 7.4 所示，假設從 A 到 C 的最佳軌跡已知為 1-2，則此軌跡上任一點 B 到 C 的最佳軌跡必為軌跡 2。

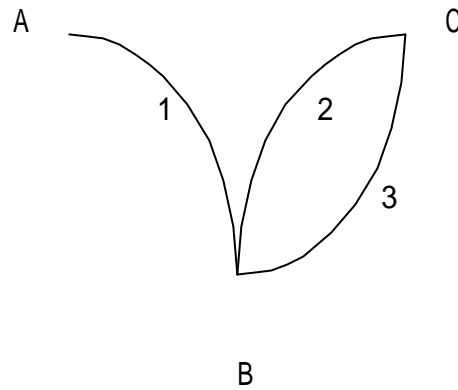


圖 7.4 最佳化原理

其證明可用反證法：假設軌跡 3 為軌跡 B 到 C 的最佳軌跡，則  $3 < 2$ ，那麼  $1+3 < 1+2$ ，結果 A 到 C 的最佳軌跡不是最小，此與事實不合，所以假設不成立。

利用最佳化原理，很容易可導出動態規劃法的遞迴公式，其作法如下所述：

假設現有一道路網，如圖 7.5 所示，

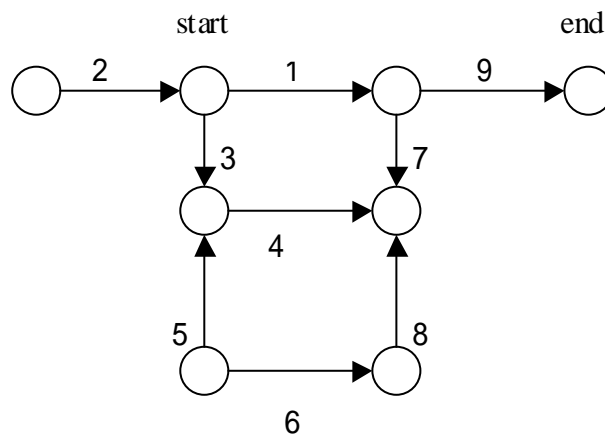


圖 7.5 道路網簡圖

每一道路之加權值，如表 7-1 所示：

表 7-1 動態規劃的資料表

Id	weight
1	30
2	40
3	15
4	10
5	5
6	15
7	15
8	20
9	20

此時從起始點出發，會看到編號 1、2、3 之道路，將其放入比較表內，

如表 7-2：

表 7-2 動態規劃法的比較表

Id	from	weight
1	0	( 1 ) =30
3	0	( 3 ) =15
2	0	( 2 ) =40
4	3	( 3 ) + ( 4 ) =25
5	3	( 3 ) + ( 5 ) =20
6	5	( 5 ) + ( 6 ) =35

7	4	$(4) + (7) = 40$
8	4	$(4) + (8) = 45$
7	1	×
9	1	end

此時比較表內只有三條路，取其中最小加權值之路三，放入路徑表內（路徑表代表觀測點之集合），如表 7-3：

表 7-3 動態規劃法的路徑表

Id	Heading	from
3	1	0
5	-1	3
4	1	3
1	1	0
9	1	1

因此由此觀測點看出，又多出編號 4、5 之道路，將其放入比較表內，此時比較表內變成四條路（已放入路徑表之道路三，需從比較表內刪去，以避免重複搜尋）。重複上面動作，直到觀測到終點為止（當比較表內出現兩個相同編號之道路時，需將此兩筆計錄由比較表內刪去），此時會有比較表、路徑表之結果，此時由路徑表可看出最佳路徑之走法。方法如下：由接觸到終點之道路 9 開始，找 from 那一欄可發現道路 9 是由道路 1 而來，因此再找路徑表內編號為 1 之記錄，再看 from 那一欄可發現道路 1 是由道路 0 而來，因道路 0 即表起點之開始，因此最佳路徑為由起點開始，經道路 1、9 到終點。其搜尋過程中，只利用到加法與比對之數學運算，因此計算上非常快，比起直接搜尋法又減少了許多不必要之搜尋。至於其中如何加快比對之技巧，與減少比對之次數呢？我們從上述的步驟中可觀察出，每增加一個觀測點後，就必需將更新後的比較表內所有點做一比較，找出有最小加權值的點，作為下一個觀測點。而我們以

一個理想化的道路網為例，如圖 7.6 所示：

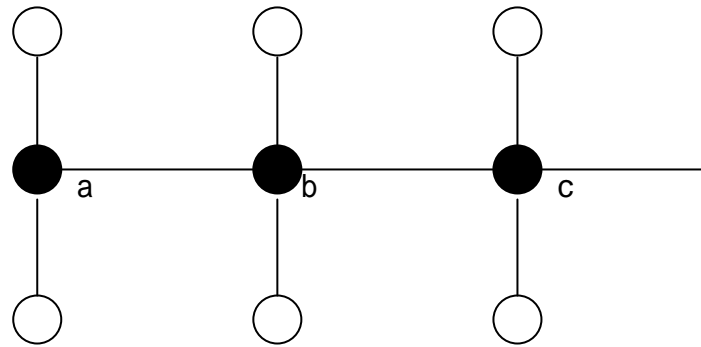


圖 7.6 理想化的道路網

當我們由觀測點 a 出發，會看到三個點，將其置入比較表內，然後比較此三點，選出 b 為下一觀測點，於是將 b 由比較表內刪去，再由 b 看到其他二點，再置入比較表內，於是我們可得知，比較表內是以等差級數  $(2n+1)$  的方式增加，因此假設起點到終點間經過了一百個觀測點，那麼我們比較之次數為  $[3+(2*100+1)]*100/2=10200$  次，但如果我們將每一新觀測點所觀察到之所有的點，視為一個群組，並將此群組依大小順序排好，然後往後之比較不再對整個比較表，而僅比較每一群組的最小成員，即可得到下一個觀測點，而因為每一群組僅需做一次排序的動作，而群組的增加是以等差級數  $(n)$  的方式增加，因此比較之次數為  $3*100+(1+100)*100/2=5350$  次，故其效率約可提升一倍左右。

#### 7.4 A\* Algorithm

在即時動態規劃法中，對於道路分佈均勻（Homogenous）之情形因其觀測點之擴散幾近圓形，相對於終點處的擴散區域，對最佳路徑的產生大都沒有幫助。因為以人類的思考方式，在不知走哪一條路是正確的情況下，通常我們會選擇朝向終點的路走，因此將遠離終點的道路，適當的增加加權值，會使其觀測點之擴散區域變形朝向終點，此種方法稱為 A\* Algorithm。

#### 7.5 最短路徑演算法之發展

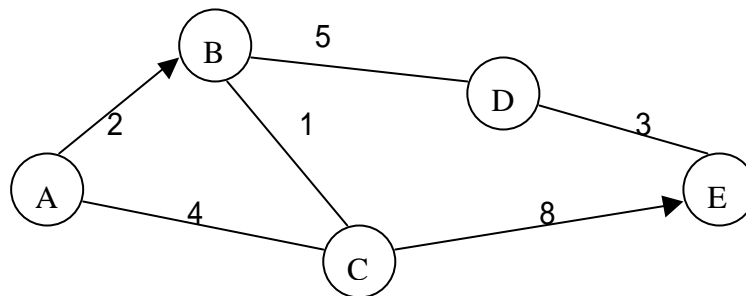
最短路徑演算法的運用非常廣泛，可用於解決電腦網路路徑分配、貨運送貨路線的安排，及汽車最佳路徑選擇等問題。因其運用範圍廣泛，故有許多專家、學者均針

對最短路徑演算法進行研究改進，以推演出符合實際業務需求的演算法。所以最短路徑的演算法不勝枚舉，但大多數的演算法都是運用前人所設計的演算法加以修改，而演化出來的。如 Moore's 演算法即是將 Dijkstra's 演算法中「以剩餘節點取最小值」的方式，修改為「以各節點先進先出」的方式來解決最短路徑的問題。另外有些學者運用人工智慧的概念，建立最短路徑演算法(A\*演算法)。也有學者針對研究範圍的物理特性加以區分，以簡化所要解決的問題縮短演算時間，如新加坡的學者 Bing Liu，將路徑區分為主要道路與次要道路兩部分，在計算最短路徑時，則選擇所有主要道路及起訖點附近的次要道路來計算，大幅減少要計算的路徑數量，有效縮減計算時間。

#### 7.6 最短路徑演算法在汽車導航上之應用

最短路徑演算法顧名思義是尋找路徑上的最短值，但其運用卻非僅能用於路徑上取其最短者。為了必免誤會，許多人將最短路徑的說法改為最小成本，在進行最短路徑計算之前，必須先建立成本矩陣，用以儲存道路路徑之成本。這些成本可考量路徑長度、道路寬度、道路速限、紅綠燈多寡甚至駕駛人行為等因素，並對各項因素付予不同權值，以綜合計算一個符合現時狀況之路徑成本值。唯本系統之路段物件，目前僅建立路徑長度資料，故其路徑成本即為路徑長度，因本系統之路段是以物件方式建立，未來僅需在路段類別內加入其他屬性值，再以合理的成本函式計算路段總成本，代入成本矩陣即可依此成本值，計算符合實際狀況的最佳路徑。有關成本矩陣儲存方式如圖 7.7 所示，其中各節點間如果沒有路徑直接到達，則在成本矩陣中設為無限大（ $\infty$ ），另圖點 A 到 B 及圖點 C 到 E 為單向路徑，其在成本矩陣中逆方向之位置亦設為無限大，以此方式即可解決交通路徑中單行道的問題。如此運用就廣泛了，而最小成本可以是許多參數，加上不同的權值所做之組合。如用於道路行駛上，若僅考量道路長度，則所得出的是最短路徑，若僅考量行駛時間，則所得出的是最短時間路徑。而如何選取道路屬性項目及付予何種權值，以建立一個合理的計算模式，將是另一門高深的技術與藝術。另外由於道路節點數量龐大，再加上道路屬性繁多、計算模式繁雜等，相對的顯現出最短路徑演算法的重要，為了縮短最短路徑演算時間，不少學者

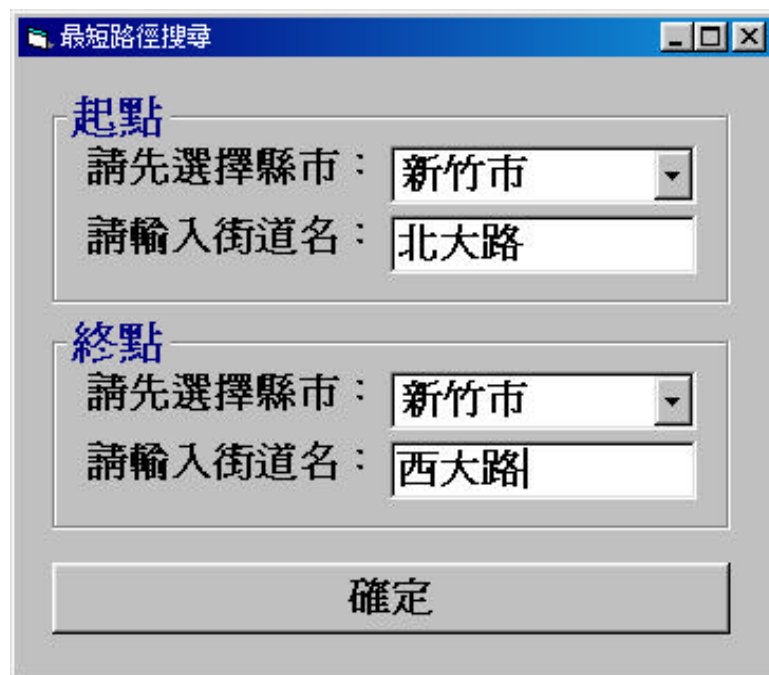
也進行運用平行演算法來解決最短路徑的問題。而目前工作站級的電腦，甚至個人電腦也漸漸朝向多處理器的系統發展，所以未來汽車導航系統內，所用以計算最佳路徑的演算法，將會是平行演算法的天下。



	A	B	C	D	E
A	0	2	4	$\infty$	$\infty$
B	$\infty$	0	1	5	$\infty$
C	4	1	0	$\infty$	8
D	$\infty$	5	$\infty$	0	3
E	$\infty$	$\infty$	$\infty$	3	0

圖 7.7 成本矩陣儲存格式示意圖

Dijkstra's 演算法，是求得某點到其他所有點的最短路徑，而非所有點到所有點的最短路徑。在本系統的實作中，則建立一個迴圈重複執行 Dijkstra's 演算法，以求得所有點到所有點的最短路徑，並儲存運算結果，以利在點選最短路徑之起訖點後，可直接讀取運算結果，並將最短路徑繪製出來。圖 7.8、7.9、7.10 是以新竹市為例，一開始我們輸入起點與所要到達的終點路名，系統就會幫我們找出到達的最短路徑，並描繪在地圖上，讓我們可以輕而易舉的獲知該如何到達目的地。本系統在計算最短路徑時尚未加入即時的路況資訊，因此未來可以結合無線網路，擷取目前各項擁塞路段之代碼，並在成本矩陣中，將擁塞路段之相對位置設為無限大(設定為沒有通路)，再經過重新計算最短路徑，即可求得避開擁塞路段之最佳路徑。



The image shows a software window titled "最短路徑搜尋" (Shortest Path Search). It has a blue title bar with standard window controls. The main area is divided into two sections. The first section, labeled "起點" (Start Point) in blue, contains a dropdown menu for "請先選擇縣市：" (Please first select county/city) with "新竹市" (New Taipei City) selected, and a text box for "請輸入街道名：" (Please enter street name) with "北大路" (Beidag Road) entered. The second section, labeled "終點" (End Point) in blue, contains a similar dropdown menu with "新竹市" (New Taipei City) selected and a text box with "西大路" (Xidag Road) entered. At the bottom of the window is a large button labeled "確定" (Confirm).

圖 7.8 最短路徑輸入圖控介面



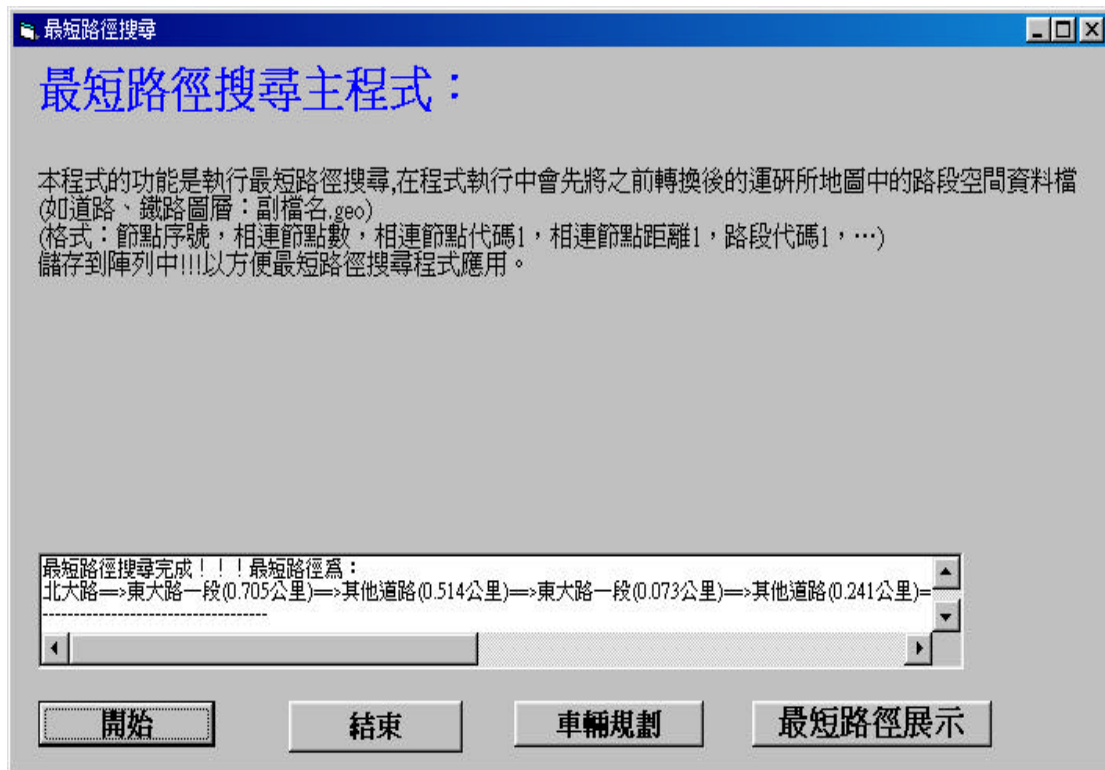


圖 7.9 最短路徑搜尋結果



圖 7.10 最短路徑顯示在地圖上

## 第八章 GPS/GIS 系統整合應用

### 8.1 GPS/GIS 系統發展情況

全球定位系統(GPS)是美國國防部進行開發，利用人造衛星達到全球規模的定位系統。美國方面也並非完全開放這一項資源，他保留了精確度較高的電碼（P 電碼）給自己在國防上的使用，在對外方面，則開放精確度較差的電碼（C/A 電碼）供全世界使用。早期的汽車駕駛員開車到陌生的地方，總是一手拿著地圖，一邊開車一邊將車輛曾經行走過的路徑與地圖相比對，企圖尋找目前所在位置，再配合道路地圖，找尋附近周邊公共設施或是目的地所在位置。隨著使用車輛人口的增加，一邊選定路線開車，一邊藉由瞬間的判斷力選擇下一時間要走的路徑，將造成駕駛員的壓力日趨增大，也因為如此，汽車導航系統也就應運而生。由於全球定位系統的發展，使得汽車導航系統的建立已經不是一件難事，我們可以利用免費的衛星訊號進行車輛定位，輕鬆達到汽車導航的效果。其實整個系統的理念很簡單，就是將 GPS 所接收到的車輛座標訊號顯示到筆記型電腦的螢幕上，當車輛移動時，座標值會跟著變動，在電腦螢幕上顯示的車輛也會跟著變動。汽車導航系統的發展，可分成四個階段【24】

#### （1） 地圖顯示汽車導航系統(Map Display)

基本上駕駛人都希望以電子地圖顯示來進行導引，所以地圖顯示是汽車導航系統最基本需求，此階段導航系統僅有一個定位系統及做為背景螢幕的地圖資料，其中定位系統不斷的將所接收之定位資料轉換為螢幕顯示位置，直接顯示在背景地圖上。由於定位系統與地圖資料本身均有誤差產生，使得汽車位置不一定能落在背景地圖之道路上，當誤差發生時，使用者需自行判別實際位置，在此階段定位資料並未與地圖相結合，也沒有路徑規劃之功能，使用者在出發前須自行規劃行車路線，再依據規劃路徑行駛，由於地圖僅提供做為背景資料，故地圖格式可為數位式地圖或影像式地圖。

#### （2） 地圖比對汽車導航系統(Map Matching)

地圖比對汽車導航系統是第二階段的汽車導航系統，此階段的導航系統已能將定位資料與地圖相結合，為了達到定位資料與地圖相結合之目的，此時地圖格式必須採用數位式地圖。當車輛行駛於數位地圖上之道路時，系統則經由地圖比對的動作與導航資料庫相結合，使定位位置對應到道路之實際位置，因此除非車輛駛離數位地圖上之道路，否則使用者將會看到車輛一直在道路上，比起第一階段的汽車導航系統可讓使用者更清楚自己所在的位置，並且由於結合了導航資料庫，所以系統可提供目前行駛道路之屬性資料，如道路名稱、道路寬度、速度限制.....等資料。

(3) 路徑導引汽車導航指引系統（道路指引功能）：

路徑導引汽車導航系統是第三階段的汽車導航系統，由於前一階段的導航系統其駕駛人在道路行駛時僅能知道自己的所在位置，而無法由系統導引行駛到正確道路，順利的由起點到達目的地，對駕駛人而言是相當不安全也非常不方便的。因此在汽車導航系統中加入了路徑規劃的功能，同時系統能依循規劃出的路徑，指引使用者到達目的地，即為第三階段的汽車導航指引系統。

(4) 動態路徑導引汽車導航系統（即時交通資訊與指引）：

動態路徑導引汽車導航系統是第四階段的汽車導航系統，此階段的汽車導航系統包括有動態路徑導引及交通即時資訊獲得的功能，在第三階段的汽車導航系統中，路徑規劃及導引是根據系統內部資料庫的資料，來計算最佳路徑，因這些資料並未考量交通壅塞狀況之參數，故所規劃的最佳路徑有時可能因道路實際的壅塞狀況反而成為「最差路徑」，在第四階段的汽車導航系統就是加入了動態路徑規劃導引的功能，以解決道路壅塞所造成的困擾，為順利取得交通即時資訊，因此，交通監測單位如何建立有效的交通監測系統以收集交通狀況資料分析成為有用資訊，及如何透過無線網路將交通路況資訊傳至汽車導航系統等問題，均成為汽車導航系統之重要發展方向，使得汽車導航系統可依照當時交通狀況，即時的更改行進路線以避開壅塞路段，使車輛能更快速的到達目的地。

### 8.1.1 地圖比對簡介

地圖比對，是將定位系統所定位之座標與數位地圖結合，也就是說將定位系統所得之車輛行駛軌跡座標，試著利用一些法則將其對應到數位地圖的道路線段上。

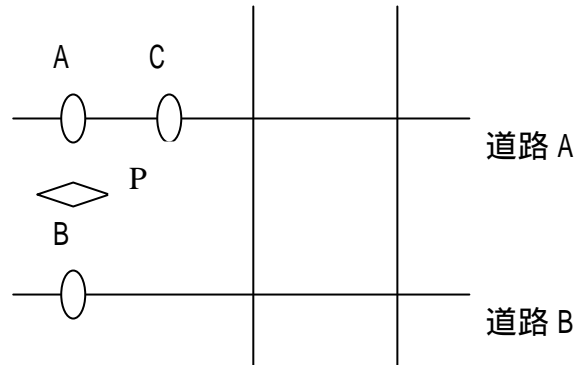


圖 8.1 汽車真實之位置、定位之位置與推測之位置示意圖

在圖 8.1 中，定位系統之瞬間軌跡在數位地圖上之投影為 P，而汽車真正所在位置為道路 A 上之 C。但由於地圖數化時之誤差與定位系統之誤差，常使得我們無法推算出 C 點的所在，最佳情況僅能將定位座標推算到道路 A 上之 A 點，甚至我們無法立即判別出 A 點或道路 B 上之 B 點，哪一點是較佳的估測點。因此地圖比對的第一步工作，即是將定位系統之座標推估到數位地圖上之最佳估測點。另一方面，不論定位系統得到之軌跡或是最佳估測點，均是以經緯度等座標系統來表示。但這對人腦而言並無法瞭解其實值上的意義，因為我們對道路之瞭解僅限於路、段、號等路名系統。如此一來，數位地圖不再只是一張背景地圖了，系統將可利用數位地圖所提供之資訊給駕駛人提供一些服務，如現在所行駛的道路名稱、地址、速限等資訊，甚至可根據路徑規劃所產生的路徑，指引駕駛人哪一個路口該轉彎，最後將駕駛人引導到目的地。

## 8.2 汽車導航系統軟體【25】

汽車導航系統所提供的功能有二部份：(1) 追蹤，(2) 路線導引。

1、追蹤：在車行時，可以將車行所在之位置以符號表示於地圖上。在追蹤一段距離後，可將這段距離的追蹤點存成檔案，這個檔案日後可在路線導引的功能中，當作導

引的預定路線使用。

2、路線導引：當駕駛人地區環境不熟悉時，可以在地圖上設定編輯行車預定路線。

在行車時由追蹤功能可以知道自己是否行駛於預設路線上，而達到導引之功能。若偏離預定路線太遠，系統便發出聲音以警告駕駛人汽車已偏離了航道。如果不會作預定路線之規劃，而剛好有人已走過相同的路線，並使用追蹤功能將其路徑記錄下來時，就可將這個記錄檔轉換為自己所需要的預設導引路線，此時即使沒有地圖為基礎方可以抵達目的地。

本研究整合 GPS (Global Position System)與 GIS (Geographical Information System)發展一個汽車上的導航系統。在 GIS 方面，本系統選擇了 Mapping Information System Corporation 所開發的 MapInfo 軟體；和配合這套軟體的 MapX。在 GPS 方面，採用由麗航科技所提供的型號 9540 的接收機，其詳細規格如附錄二。本研究的作業系統與 GIS 驅動程式的開發語言是 Windows 98 與 Visual Basic 6.0，汽車導航程式介面如圖 8.2 所示。由於系統與開發語言的選擇都是全新的嘗試，因此在這兩方面的學習上，更是比了解 GPS 接收器或 GIS 軟體來得辛苦。整個汽車導航是一個即時系統，系統必須即時將 GPS 接收器每秒所送來之訊息處理後顯示定位地點於地圖上。在 GPS 的部分要解決的有 Message 的設定以及對 GPS 接收器即時資料的接收處理；在 GIS 的部分要製作數位化地圖、使用者操作介面；而如何將 GPS 接收器的定位資料傳給 MapX 顯示，則需要靠使用者操作介面來做聯繫。

路徑追蹤的功能是將衛星定位資料由 GPS 驅動程式接收並傳給 Visual Basic 程式，再配合地圖顯示於 MapX；而導引是以預設路徑，配合追蹤功能達成。在本系統實驗後發現，在單機作業的情況下，因為 GPS 本身的誤差和在台灣這種寸土寸金、高樓林立的環境下，造成接收不良之情形，都對系統之影響亦相當大，以致無法達到實際的應用層面，因此考慮加入慣性導航系統（INS）來解決 GPS 接收不良的情形，將在下一節詳述 GPS 與 INS 的系統整合。

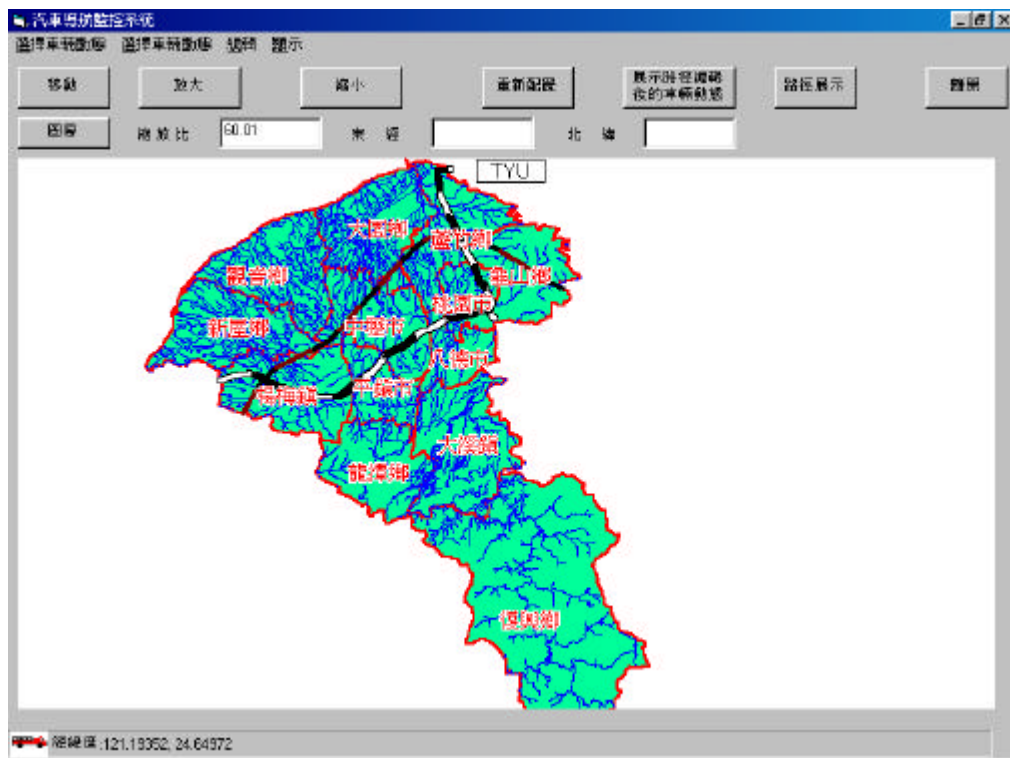


圖 8.2 汽車導航程式介面

### 8.3 功能說明

GIS 控制程式注重地圖資料的管理及運用，以及和使用者之間的溝通介面。使用者對整個系統的控制操作，都是透過 Visual Basic 程式於使用者介面上加入必要的選單項目來達成的。而汽車的追蹤功能是將 GPS 的定位資料顯示在地圖的圖層中；導航之功能則是預設路徑與現在位置的比對完成的。因此以下以（1）地圖數位化（2）圖層規劃 來說明 GIS 控制程式的架構：

#### 1、地圖數位化

在地圖上，與定位有著很大關係的就是投影系統的使用，在地圖製作（製作步驟可參考第五章）前，就必需先選好繪製地圖所將使用的投影座標系統。在台灣地區，大多是使用橫麥卡托：台灣二度分帶之投影座標系統，而 GPS 所使用的卻是 WGS-84 的投影系統，因此在這兩個座標系統間的轉換會有一個偏移量存在。為了修正此偏移量，我們先在地圖上找一明顯位置當作控制點，並到此位置以 GPS 接收器實地接收衛

星之定位訊號，得出此地點於衛星之定位座標與實際於地圖座標之差距值，將此差距值定為這兩個投影系統間之偏移量。因此在實際應用時，將接收到的衛星定位座標再加上此偏移量後，才顯示於地圖上。

## 2、圖層規劃

在圖層使用上，Visual Basic 中是以編號來代替各圖層的名稱。在開啟一個圖檔時，就會產生兩個層：layer0(主題層又稱動態圖層)以及 layer1(地圖層)，若再加入其它圖到此圖層中時，新的圖層會佔用 layer1，而除了 layer0 以外的其它圖層會往後退一個順序，如圖 8.3 所示。

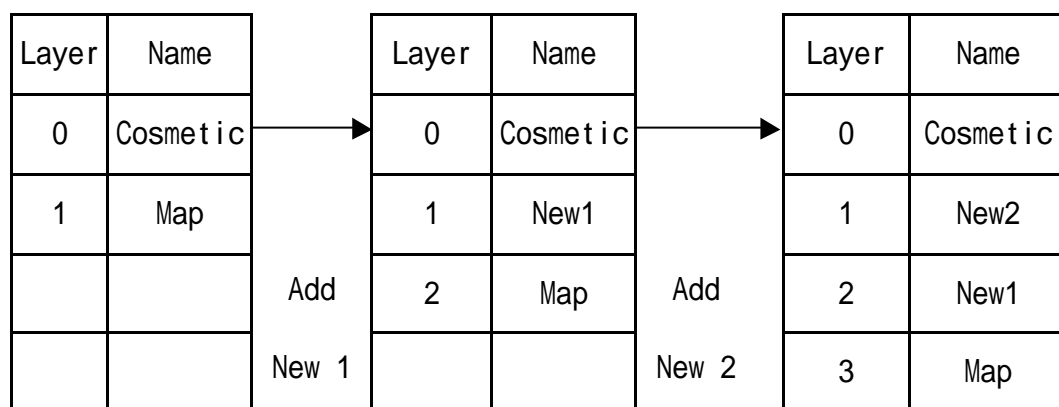


圖 8.3 MapInfo 中圖層代碼的變化情形

為何要了解 MapInfo 對圖層之影響呢？主要原因就如本段第一句所述，

Visual Basic 語言無法以名稱來指定圖層，而必須以編號來指定。可以由圖 8.3 中，見到在增刪圖層時，地圖層的編號一直在改變，因此若不了解編號變化之情形，就很可能會選錯圖層而破壞了其他圖層的資料。

在本系統中使用之地圖資料有（1）數位化地圖（2）追蹤軌跡及（3）導航路徑，為了將這些資料分層管理，因此在開啟一個地圖圖檔後，必須再加入一圖層，才會有三個圖層(layer0~layer2)來存放系統使用之地圖資料。定好圖層之後，便是規畫圖層之使用方式，由於在加入圖層後，數位化地圖必定被推至第二層，因此在應用上將 layer0 用於導航路徑的設定（導引層），layer1 用於汽車追蹤之定位座標顯示（追蹤

層)，而 layer2（地圖層）則用來儲存數化之地圖檔，使這些資料互不干擾而方便處理。

#### 8.4 汽車導行未來研究方向

##### 1、汽車導航中人機界面之研究

為了行車安全考量，對於駕駛人在車輛行駛中將限制使用大哥大來獲得路況資訊，而汽車導航系統是提供駕駛人車輛行駛的方便及安全，絕不可發生因駕駛人操作汽車導航系統而造成意外事件的情形，有鑑於此，人機界面的開發在汽車導航系統中將是為一項非常重要的研究方向。

##### 2、以平行處理方式解決交通計算問題之研究

交通管理是一個全面性的問題，由於道路路徑龐大、道路屬性項目繁多，對於最佳路徑的計算將是一項費時的工作，而且如運用影像辨識即時路況資料亦需花費很長的計算時間，若能運用平行處理技術將道路資料或影像資料劃分區域，由不同的處理器同時處理，將可有效縮短處理時間，所以平行處理也是發展汽車導航系統的未來研究方向。

##### 3、防撞偵測系統之研究

防撞偵測系統在短期內可提示駕駛人注意，避免發生碰撞，對長期而言，防撞偵測系統則為未來車輛無人駕駛（真正的全自動導航系統）的基本研究方向【26】，若能針對以上之研究方向分別獲得突破性的發展，則未來汽車及其自動導航系統等功能將如圖 8.4 所示。



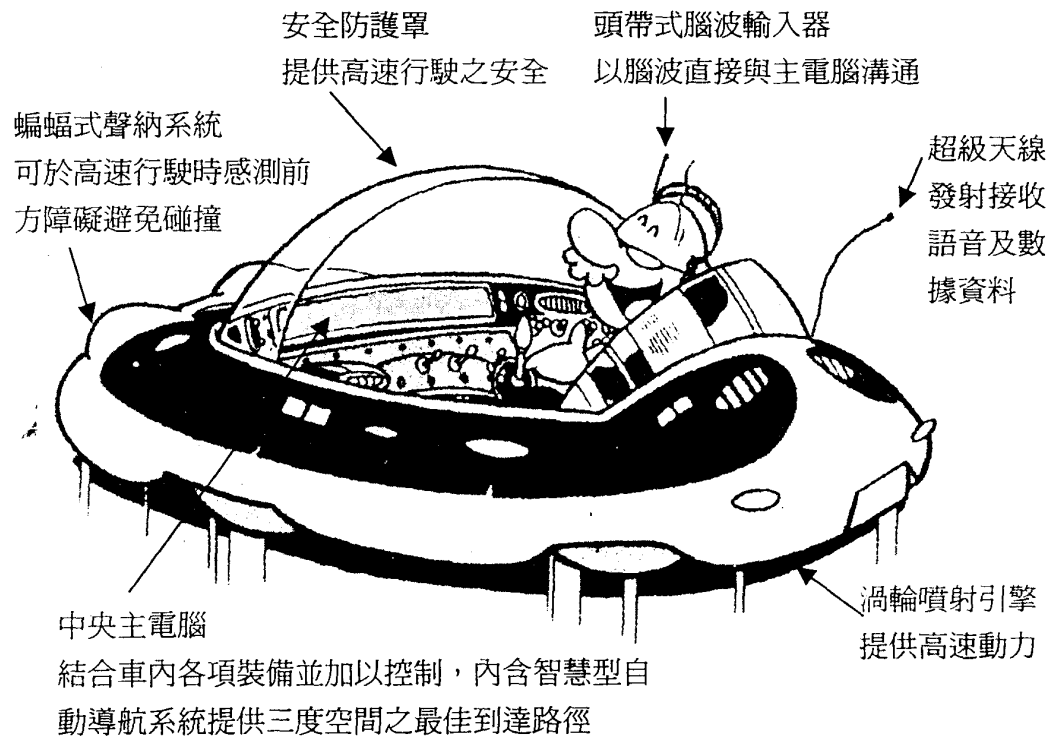


圖 8.4 未來汽車及自動導航系統功能圖

參考資料：參考「汽機車大展」(民七八)中視文化發行

## 第九章 GPS / INS 整合系統軟、硬體架構與實驗結果

### 9.1 系統簡介

整合式導航法 ( Integrated Navigation ), 為可同時多種一併使用的方法, 如 GPS/INS、GPS/DR、推測航行法/地圖比對法 ( DR/MM )、GPS/DR/MM.....等。其基本原理相同, 即利用卡門濾波器 ( Kalman Filter ) 將所有的資訊結合在一起, 以得到最佳的估測值, 提高精度; 故必須在價格、複雜性及精度上作一取捨。GPS 及 INS 皆為提供速度與位置之數位系統, 兩者的整合被視為非常有發展潛力的導航系統; 參見表 9-1, 兩者特性可相輔相成【3】。

表 9-1 GPS 與 INS 性能比較

Characteristics	GPS	INS
Autonomy ( 自主性 )	No	Yes
Integrity ( 完整性 )	Small	Large
Dynamic Range ( 動態範圍 )	Small	Large
Data Rate ( 資料輸出速率 )	Small	Large
Gravity Field Sensitivity(重力場靈敏度)	No	Yes
Attitude Information ( 姿態資料 )	Antenna Array	Yes
Long-term stability ( 長期穩定性 )	Very Good	Bad
Short-term stability ( 短期穩定性 )	Good	Very Good
Accuracy ( 精度 )	Very Good	Good/reasonable

一般慣性導航系統與全球定位系統複合的架構有下列四種【3,4】:

(1) 以 GPS 輔助 INS 之開迴路分散式複合法

( INS with GPS Aiding , Loosely Coupled-Open Loop )

(2) 以 GPS 輔助 INS 之閉迴路分散式複合法

(INS with GPS Aiding, Loosely Coupled-Closed Loop)

(3) 以 INS 輔助 GPS 之開迴路集中式複合法

(GPS with INS Aiding, Tightly Coupled-Open Loop)

(4) 以 INS 輔助 GPS 之閉迴路集中式複合法

(GPS with INS Aiding, Tightly Coupled-Closed Loop)

上述四種 INS/GPS 複合式各有其優、缺點 (陳見生, 1996), 本文將採用第 (2) 項, 如圖 9.1 所示, 是以 GPS 輔助 INS 之閉迴路分散式複合系統架構, 主要的特徵在於合成的估測結果已經修正了 INS 的誤差, 萬一 GPS 的信號中斷時, INS 的資料因為已被修正過, 所以輸出的誤差不大,

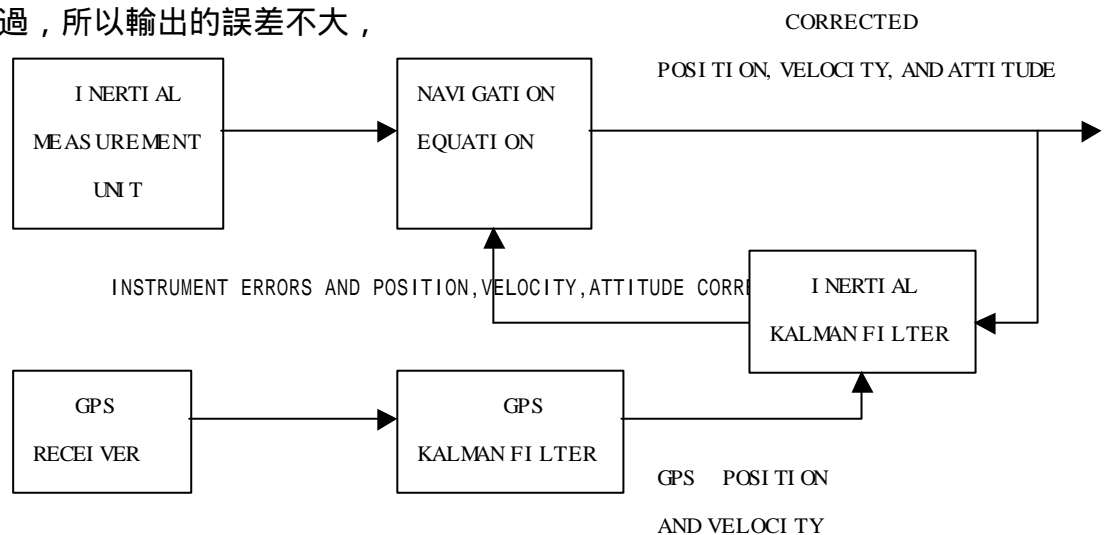


圖 9.1 以 GPS 輔助 INS 之閉迴路分散式複合法架構圖

## 9.2 導航整合數學模式【3】

當載具運動時, 兩軸的加速儀分別量測到載具座標上之加速度  $a_x$ 、 $a_y$ , 而陀螺儀量測到物體的角速度, 將 積分可得出載具所轉動的角度; 經由座標轉換後, 可求得載具在導航座標上的加速度分量  $f_n$  (往北的加速度分量)、 $f_e$  (往東的加速度分量), 此加速度經積分後可得到載具在導航座標上的速度; 此速度再經過積分後, 則

可求出載具在導航座標上的位置（如圖 9.2）。

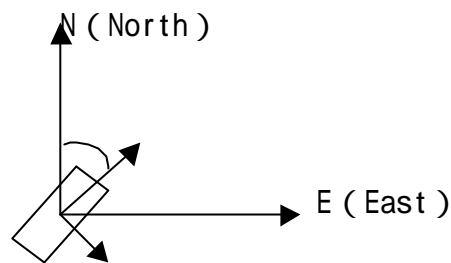


圖 9.2 載具座標和導航座標關係圖

載具座標轉換至導航座標的計算如下：

$$(k+1) = (k) + \quad * \quad t \quad (9.1)$$

$$\begin{bmatrix} f_n \\ f_e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(q) & -\sin(q) \\ \sin(q) & \cos(q) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_y \\ a_x \end{bmatrix} \quad (9.2)$$

$$V_N(k+1) = V_N(k) + f_N * \Delta t \quad (9.3)$$

$$V_E(k+1) = V_E(k) + f_E * \Delta t \quad (9.4)$$

☐

(9.5)

$$P_E(k+1) = P_E(k) + V_E * \Delta t + \frac{1}{2} f_E * \Delta t^2 \quad (9.6)$$

☐：載具在導航座標上向北之加速度分量

☐：載具在導航座標上向東之加速度分量  $(M / \text{sec}^2)$

$V_N$ ：載具在導航座標上向北之速度分量  $(M / \text{sec})$

: 載具在導航座標上向東之速度分量

: 載具在導航座標上向北之位置分量(Meter)

: 載具在導航座標上向東之位置分量(Meter)

在 GPS 接收機所得出的量測值為經緯度，必須轉換為位置座標值後，才可與 INS 整合，其轉換方式如下：

$$\begin{bmatrix} P_{Ng} \\ P_{Eg} \\ \phi_g \\ \lambda_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{Ng} \\ P_{Eg} \\ \phi_g \\ \lambda_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{P}_{Ng} \\ \dot{P}_{Eg} \\ \dot{\phi}_g \\ \dot{\lambda}_g \end{bmatrix} \Delta t$$

$$\begin{bmatrix} P_{Ng} \\ P_{Eg} \\ \phi_g \\ \lambda_g \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{Ng} \\ P_{Eg} \\ \phi_g \\ \lambda_g \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \dot{P}_{Ng} \\ \dot{P}_{Eg} \\ \dot{\phi}_g \\ \dot{\lambda}_g \end{bmatrix} \Delta t$$

(9.7)

$P_{Ng}$  : GPS 所量測到導航座標上的向北方位置 (meter)

: GPS 所量測到導航座標上的向東方位置 (meter)

: GPS 所量測的緯度值 (Rad)

: GPS 所量測的經度值 (Rad)

$I_0$  : 載具的起始緯度值 (Rad)

: 載具的起始經度值 (Rad)

$R$  : 地球的半徑為 6378377 公尺

$h$  : GPS 所量測的距海平面的高度 (meter)

緯度 1 度差約為 110946.2573 公尺

經度 1 度差約為 111319.4907 公尺

### 9.3 導航系統硬體架構

我們知道在導航系統中如果就單單只採用 GPS 的訊號，則會因商用 GPS 接收機位置誤差較大（約為 30 公尺），且易受地形地物影響，而造成誤差加大或信號遮蔽而脫

鎖，影響導航精度及功能。所以本實驗結合 GPS 與 INS，使之成為一完整的導航系統，其硬體架構如圖 9.3 所示。本實驗最主要的目的是要將之前學長所做的 GPS/INS 整合部分中的加速儀用 MEMS 加速儀做取代，以達成的縮裝的效果，讓整套系統在將來可以更加普遍被應用。實驗時將加速板與 GPS 接收機與由 C218 Turbo/PCI 擴充出來的 8 個 RS-232 中的兩個 port 連接，而陀螺儀則由 A/D Card 擷取轉換出之數位資料，送到所開發的程式裡，由程式去將經由 RS-232 與 A/D card 擷取的 INS 訊號做整合，然後以四元素導航法則運算，計算出 INS 未修正前之位置、速度及方位角。並與 GPS 接收的原始資料 (Raw Data) 解算出位置及速度等相關資訊，最後再以卡門濾波器 (Loosely Coupled-Closed Loop) 的方式，整合 INS 與 GPS，以得出最佳的估測值。

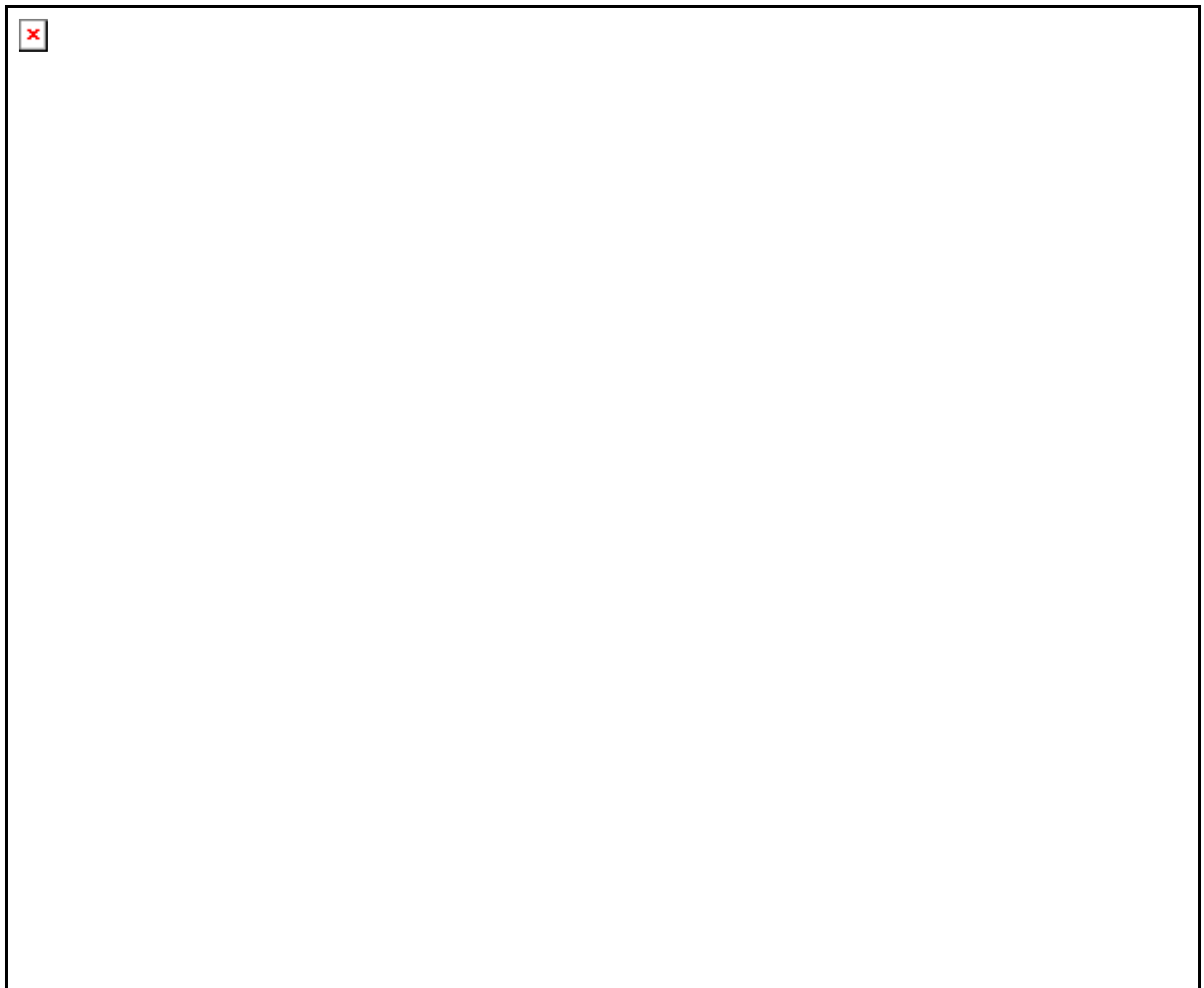


圖 9.3 導航實驗系統方塊示意圖

## 9.4 INS 系統硬體架構

### 9.4.1 陀螺儀

#### (1) 工作原理

陀螺儀是用來量測飛行載具的角速度。當載具運動時，只有在轉彎的動作發生，才会有角速度的輸出。對固定的取樣速率而言，我們只要知道陀螺儀所量測到的載具角速度，經積分後即可得知載具的姿態角。在實驗系統中我們使用了壓電晶體振動式陀螺儀(Piezo-electric Vibrating Gyroscope)，將各軸上陀螺儀的電壓輸出以公式轉換後，就可以得到載具在俯仰(Pitching)、滾轉(Rolling)及偏航(Yawing)三個方向的角速度變化了。

#### (2) 陀螺儀之規格【13】

本實驗採用 Murata ENV-05A 及 ENV-05H-02 陀螺儀，其規格表如附錄四。

陀螺儀實體之接腳按型號共分兩種，腳位如下所示：

表 9-2 陀螺儀接腳配置表

接腳	ENV-05A ( Gyro X , Y )	ENV-05H-02 ( Gyro Z )
Pin1	Power Supply( +8~13.5V )(Input)	Power Supply( 5V )
Pin2	Sensor Output	Ground( GND )
Pin3	Reference Voltage( 2.5V )(Output)	Sensor Output
Pin4	Reference Voltage( 5.0V ) (Output)	
Pin5	Ground( GND )	

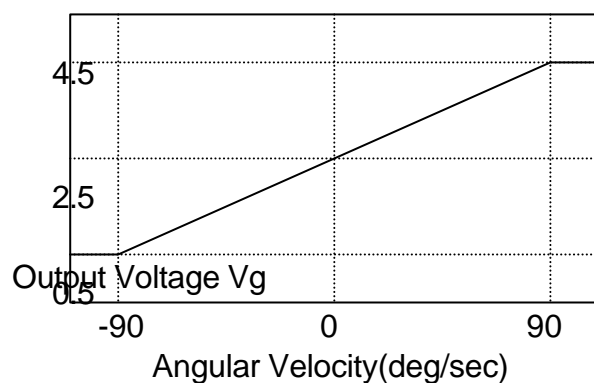


圖 9.4 陀螺儀輸出電壓與角速度之關係圖

由於陀螺儀為精密電壓輸出，其輸出電壓與角速度之關係如圖 9.4 所示，角速度之計算，可由以下公式求得：

$$\boxed{\phantom{000000}} = \boxed{\phantom{000000}} \times \boxed{\phantom{000000}} + \boxed{\phantom{000000}} \quad (9.8)$$

其中  $\boxed{\phantom{000000}}$  : 比例因子 (Scale Factor) (22.2mV/deg/sec)

$\boxed{\phantom{000000}}$  : 陀螺儀輸出參考電壓(正常為 2.5V)

$\boxed{\phantom{000000}}$  : 角速度 (deg/sec)

$\boxed{\phantom{000000}}$  : 陀螺儀輸出電壓 (Volt)

#### 9.4.2 加速儀 (Accelerometer)

##### (1) 工作原理

在實驗中，當載具做加速度運動時，加速儀將量測到載具座標上之加速度

$\boxed{\phantom{000000}}$ ，此加速度必須經座標轉換至導航座標後，以固定時間  $dt$  積分，即可得載具在導航座標上之速度；此速度再經積分即可求得載具在導航座標上之位置。

##### (2) 加速儀之規格

本實驗所用的加速儀感測元件為美商 ANALOG DEVICES 公司所研發生產的兩軸加



速儀，產品編號為 ADXL202 如附錄七所示。其特性簡述如下：

- 1、操作電壓：+3.0VDC +5.25VDC
- 2、操作溫度：0 ° 至+70 °
- 3、可量測加速度範圍：-2G 至+2G
- 4、靈敏度：0.312mV/G
- 5、Microchip：16C63
- 6、輸入方式：藉由軟體從 PC RS-232 port 讀取 PWM 的信號
- 7、Communications Protocols：

RS-232 的參數設定是 38400 baud , 8 data bits , 1 start bit , no stop bits。

RS-232 的組成型態包括單一的 ASCII 命令 ' G' , 其中 ' G' 會傳回一個 4 byte data packet 而這個 data packet 由每個 X-axis 和 Y-axis duty cycle data 共 2 bytes 所組成。如表 9-3、9-4、9-5。

表 9-3 : Data Commands

ASCII	Decimal / (Hex)	Description
G	71 / (0x47)	Request data

表 9-4 : Packet Structure

Byte Number	Value	Description
1	0-255	X Axis MSB
2	0-255	X Axis LSB
3	0-255	Y Axis MSB
4	0-255	Y Axis LSB

表 9-5 : Data Encoding

$$\text{PWM \%} = ( 256 * \text{MSB} + \text{LSB} ) / 100.0$$

為明確瞭解此加速儀的特性，做了下列幾種實驗：

- 1、將加速儀從零加速度慢慢上升至 1G 的加速度，觀察加速度和電壓的關係，得出 1G 的加速度相對應的電壓差值為 - 0.312100077V。
- 2、將加速儀靜止不動，觀察其兩個軸的雜訊特性，得出加速儀雜訊共變異數

0.024209805

0.071443221

#### 9.4.3 A/D 介面轉換卡

陀螺儀之電壓輸出為一連續的類比信號，所以必須經由類比至數位轉換界面卡 (A/D Converter)，以將量得的三組電壓信號轉換為數位信號，供電腦加以處理。本實驗所採用的是捷準科技公司所生產的 PCI-1800H 界面卡【30】，其規格如附錄五所示。我們將陀螺儀分置於通道 1 至通道 3，使用 Bipolar 的設定，使用一組 16bits 的 82C54 計數器，每 26ms 取一次陀螺儀的電壓。

#### 9.5 GPS 接收機

在本論文中我們採用接收機為美國 Ashtech 公司所生產的 G12 型如附錄八所示【27】，接收機利用本身配備連接器 J301 與其它設備連接，並提供三組 RS-232 串列埠街頭來傳輸資料。接收機提供三種資料格式，有 NMEA Data Message、RTCM Response Message 及 Raw Data Message，其輸出的訊號可高達 20Hz。實驗的設定為 Baud Rate=38400Bps，Data Bits=8，No Parity Checking，Stop Bits=1，訊號輸出為 Raw Data Message、2Hz，如此即可完成整個接收機的配置而可執行接收任務。

#### 9.6 Intellio C218 Turbo/PCI 介面擷取卡

在本實驗中因為 Ashtech G12 GPS 接收機和 ADXL202 加速板，其兩者輸出皆是以 RS-232 與電腦做溝通，但基於未來將把整個系統從桌上型 PC 移植到 Notebook 上，然而一般所使用的 Notebook 串列埠都只有一個 RS-232 port 要使用來同時接收兩個串列埠訊號那是不可能的，因此必須透過 C218 Turbo/PCI 介面擷取卡來作為兩者間溝通的橋樑，本研究是採用四零四科技公司所生產的 Intellio C218 Turbo/PCI 和 Opt8D (8 ports RS-232 octopus cable with male DB9 connectors) 兩項產品如圖 8.5 所示，其規格如附錄六所示。Opt8D 提供了 8 個 RS-232 port，我們將 GPS 及加速儀分別置於 Opt8D 的 com1 port 與 com2 port，

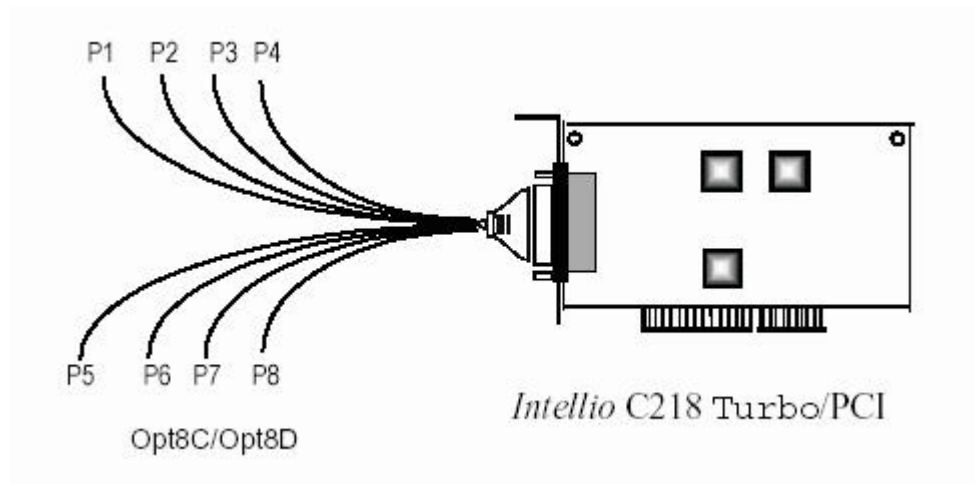


圖 9.5 產品連接示意圖

並分別將 port 的 UART FIFO 設成 Enable 的模式、Transmission Mode 設成 Hi-Performance 的模式，如圖 9.6 所示。

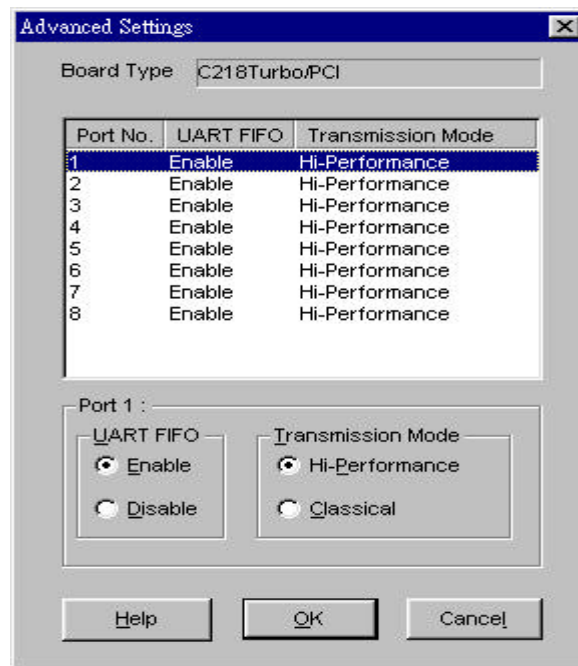


圖 9.6 comport 的設定

C218 Turbo/PCI 介面卡上的 UART 16C550C 晶片是一個具全雙工（同時傳送資料速率高達 921.6Kbps）的傳輸晶片，同時也增加傳送資料量，主要有兩個特徵：(1) on-chip FIFO (2) on-chip hardware flow control 可以用來減少中斷次數在 on board CPU 和預防資料的流失。

## 9.7 導航系統軟體

導航系統軟體在 Windows 系統下開發，採用 Borland C++ Builder Version 5.0 程式，導航程式介面如圖 9.7 所示。在 RS-232 部分則是外加使用 Greenleaf CommX 1.1 的 ActiveX 物件，做為 GPS Serial Port 程式的控制，在 INS 系統所使用 PCI DASCard 可設定 AD sampling rate，並有 FIFO 的功能。

在程式整體運作方式，所採用的是 Polling 時序所寫成，由於 INS 系統導航方程式、GPS 系統得到的 Raw Data Message 並採用最小平方差法解出接收機的座標值、加上卡門濾波器以 Loosely Coupled-Closed Loop 的方式整合。

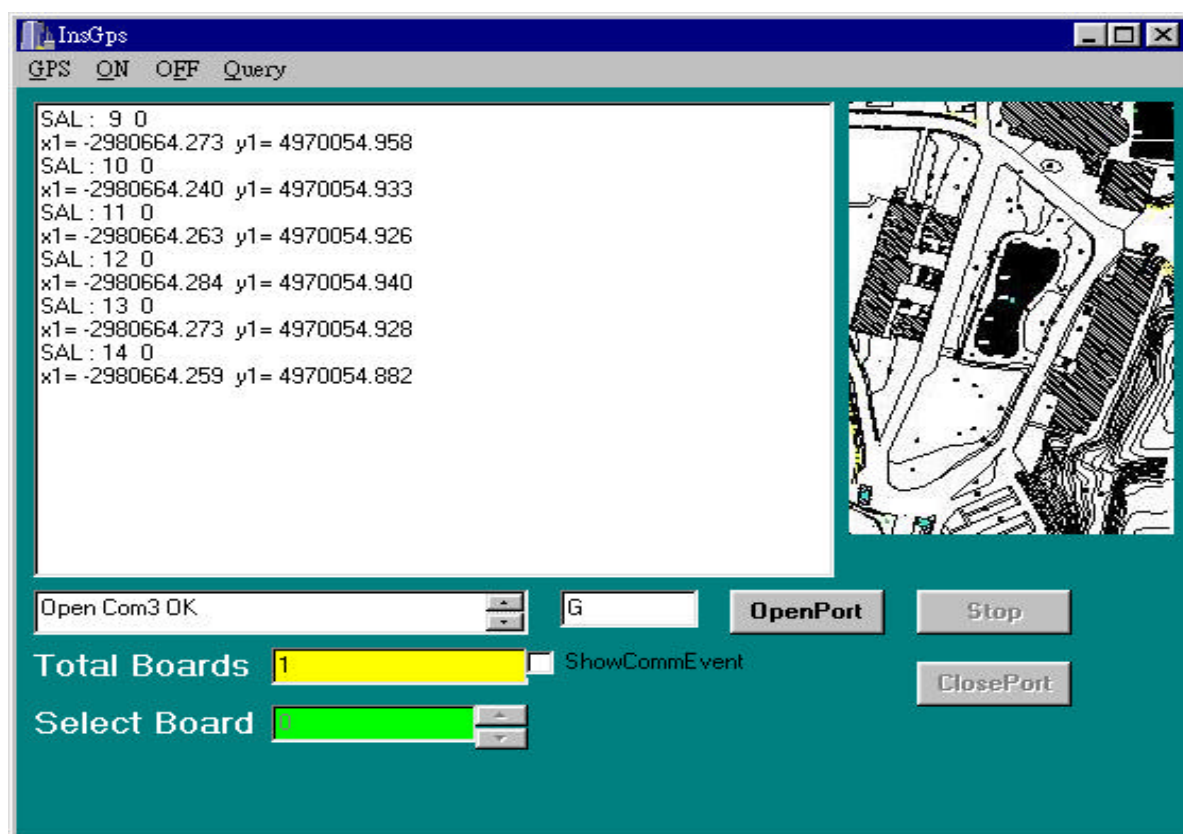


圖 9.7 導航程式介面

## 9.8 實驗結果

本論文所採用的 INS 系統只作平面雙軸測試，系統實驗地點選在中華大學虛擬實境實驗室中內而實驗室的座標值為  $X=-2980650.031 \text{ m}$   $Y=4970042.139 \text{ m}$ 。

### 9.8.1 GPS 靜態實驗

GPS 系統主要是使用 Ashtech G12 接收機，程式部分則是解算衛星星曆、衛星軌道六元素，在經由 Weighted Least-Squares 解算目前 GPS 天線在 ECEF 座標的位置座標。

GPS 導航定位程式運作的起始值，是接收機天線的位置 (Raw Data)，在將所有衛星星曆資料收完後，程式會在第 50 次時自動計算一次電離層與大氣層修正係數，可由圖 9.8-9 中可清楚得知，衛星資料經過修正後有明顯的穩定及精確。

實驗地點：虛擬實境實驗室 (2002/05/24)

實驗時間：300 sec

取樣時間：0.5 sec

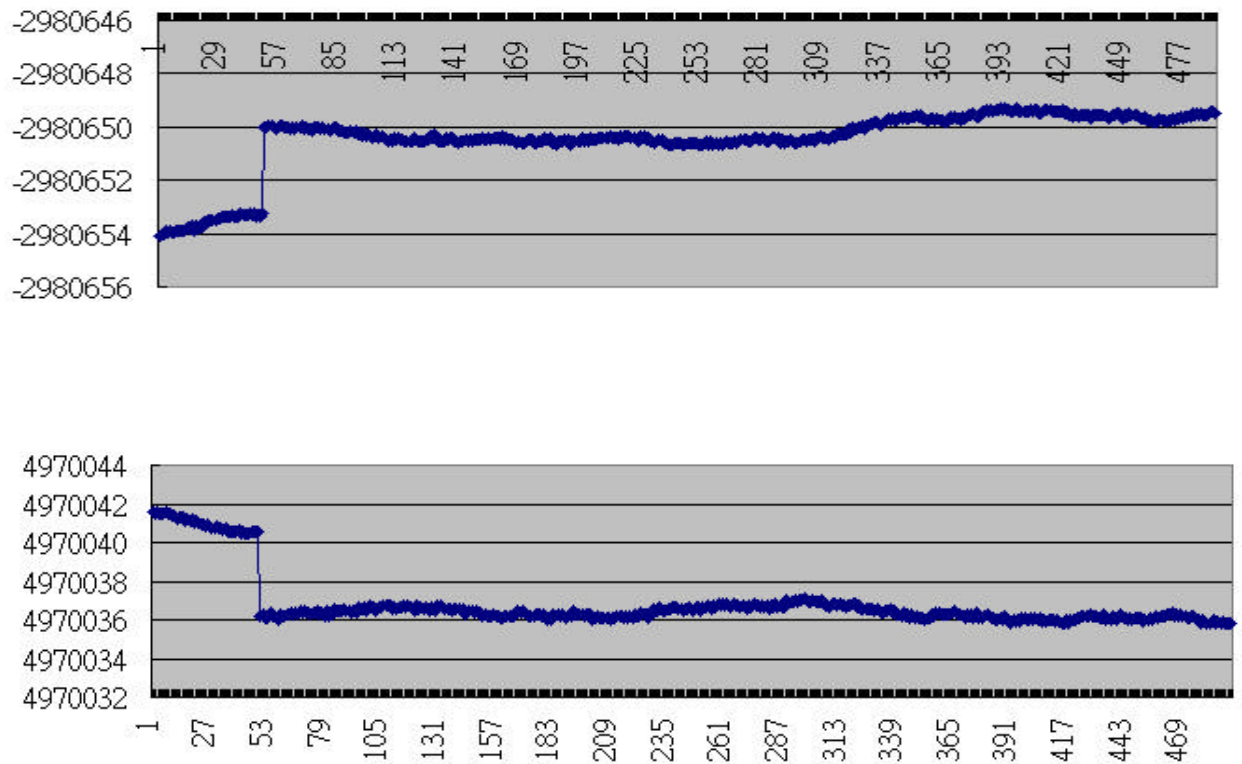
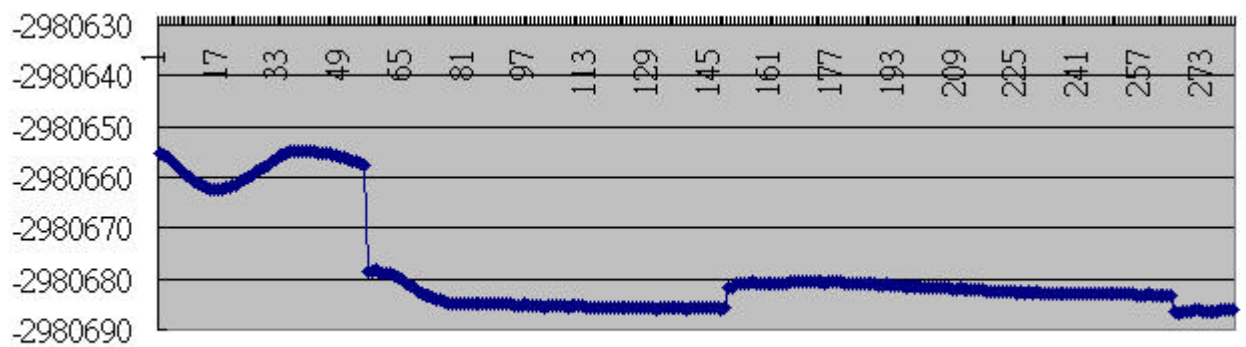


圖 9.8 GPS 模擬未脫鎖之 X、Y 軸



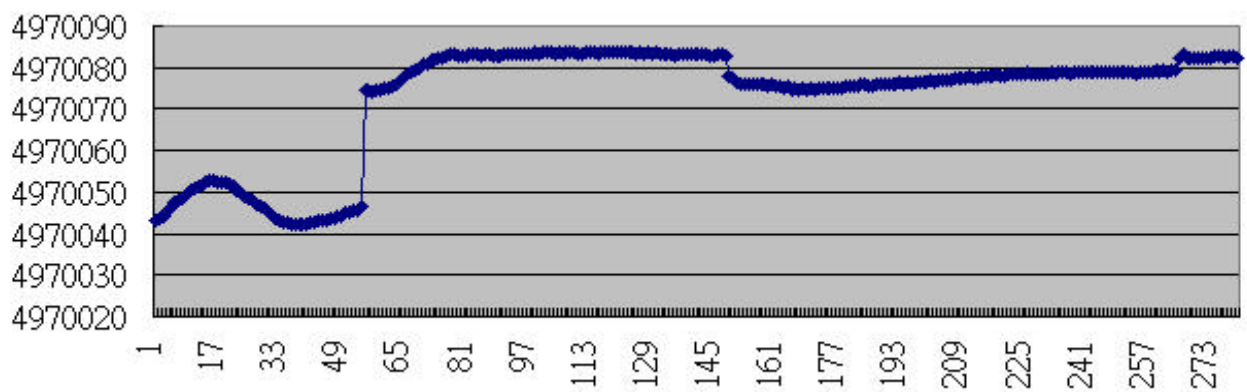


圖 9.9 GPS 模擬有脫鎖之 X、Y 軸

### 9.8.2 INS 靜態系統實驗

將靜態加速儀所量出的加速度積分成速度和位置，觀察位置誤差隨時間累積的情況，如圖 9.10 所示，在作測試之前已先將整個系統開機靜置 15 分鐘，並將所有相關的初始值設為 0。

實驗地點：虛擬實境實驗室（2002/05/20）

實驗時間：45 sec

取樣時間：26 ms

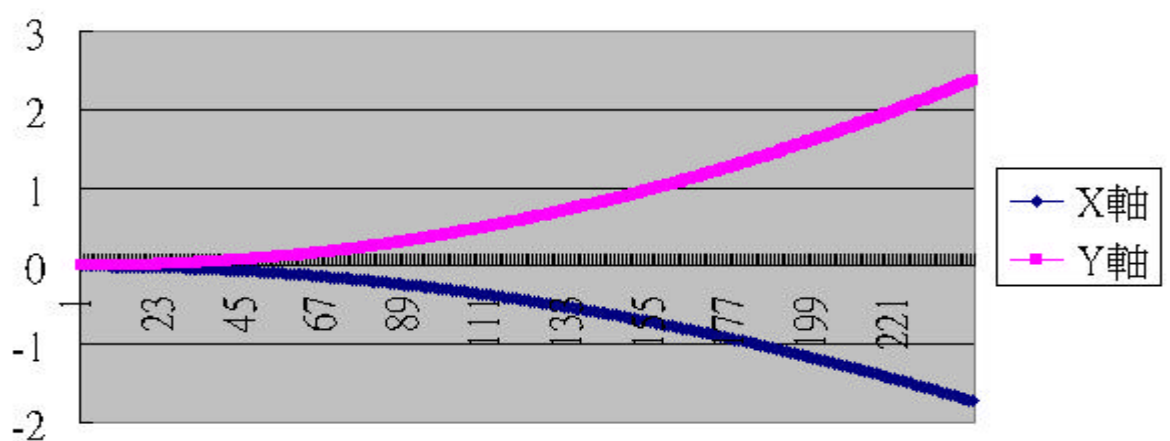


圖 9.10 位置相關圖

### 9.8.3 GPS/INS 系統實驗

本研究之 GPS/INS 複合式導航定位系統，是將 Ashtech G12 接收機與慣性導航系統，在 PII-400 的 PC 上，運用卡門濾波器作 2D 的平面整合。以下將以動態的實驗加以說明其導航效果。

#### I GPS/INS 動態實驗

實驗地點：新竹市空軍基地附近之梯形區塊道路，如圖 9.13 的路徑，順序為

i - > ii - > iii - > iv - > v - > vi (2002/05/29)

實驗時間：350 sec

取樣時間：26 ms

本研究是在新竹市空軍基地附近之梯形區塊道路，實驗距離約 3400 公尺，平均時速 30 ~ 40 公里。圖 9.11 為整合前 INS 之位置圖，很明顯可以看出 INS 的位置隨時間增長而有發散現象。圖 9.12 為 GPS 實際量測之位置圖，訊號點為不連續的單點訊號。圖 9.13 為 GPS/INS 整合後之位置圖。□

系統有設 GPS 雜訊之初始共變異量□為 100 □，□為 10 □，整合後可發現 INS 的位置誤差被修正收斂了。圖 9.14 及 9.15 分別顯示整合後 INS 位置誤差、速度誤差之共變異量。其中位置誤差之初始共變異量□設為 10 m，由圖中可知，這些位置誤差在 5 sec 內即收斂至 1 m 附近。而速度誤差之初始共變異量□設為 10 m/sec，也是於 5 sec 內收斂至接近於 0。圖 9.16 模擬 GPS 信號有脫鎖時，整合後 INS 位置圖，資料於點 O A (5 ~ 93 秒) 及點 C D (220 ~ 250 秒) 時 GPS 脫鎖只有 INS 訊號，因此路徑會漸漸的往外發散，而當行經點 B 與點 E 時 GPS 訊號重新鎖定，而將原本已發散的點 A 與 D 重新再做修正拉回原來路徑上，所以在 GPS 脫鎖時可設 GPS 雜訊之共變異量□，□為一很大之值，



而 GPS 資料可用時則如前述設為 100 及 10 。由圖 9.16 可看出整合後 INS 之位置圖，於 5 93 秒（即 0 到 A）及 220 250 秒（即 C 到 D）處，有兩個不連續之偏移量，即 A 與 B 及 D 與 E，此顯示 GPS 不可用時，INS 位置解就漸漸在漂移，但卡門濾波器仍可漸將 INS 之誤差估測出，使 INS 之位置解不會如圖 9.11 發散。圖 9.17 及 9.18 分別顯示 GPS 信號有脫鎖時，整合後 INS 位置誤差共變異量及速度誤差共變異量。其中位置誤差之共變異量於 GPS 信號脫鎖時，漸漸地在漂移。當 GPS 信號恢復時，又拉回至 1m 附近。而速度誤差之共變異量亦是如此，當 GPS 信號脫鎖時，漸漸地在漂移，而 GPS 信號恢復時，即拉回至接近於 0。整體而言由實驗結果可知，本研究所設計的卡門濾波器，的確有不錯的整合效果。

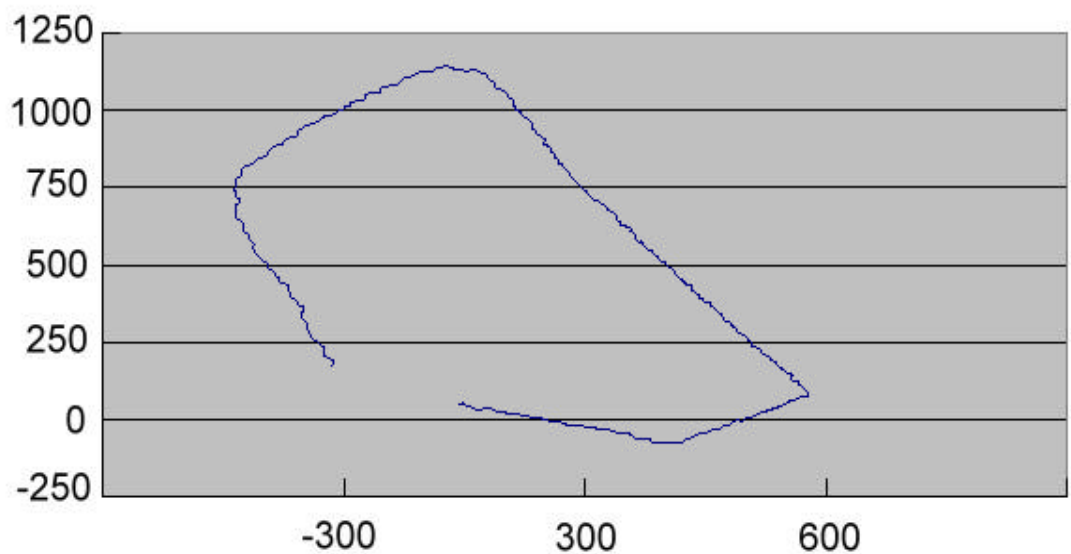


圖 9.11 整合前 INS 之位置圖

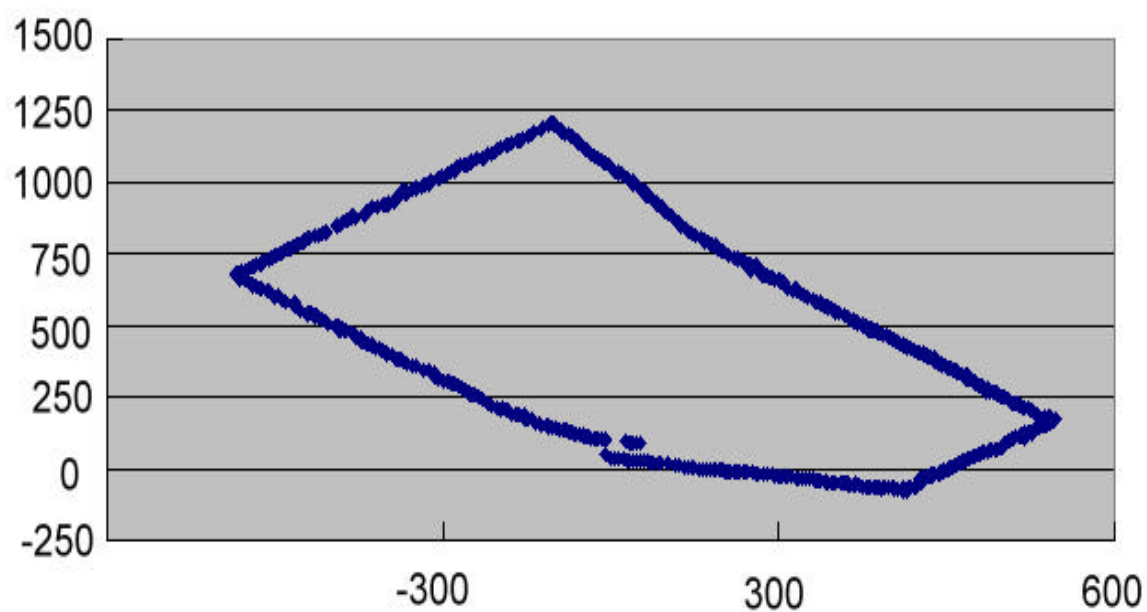


圖 9.12 為整合前 GPS 之位置圖

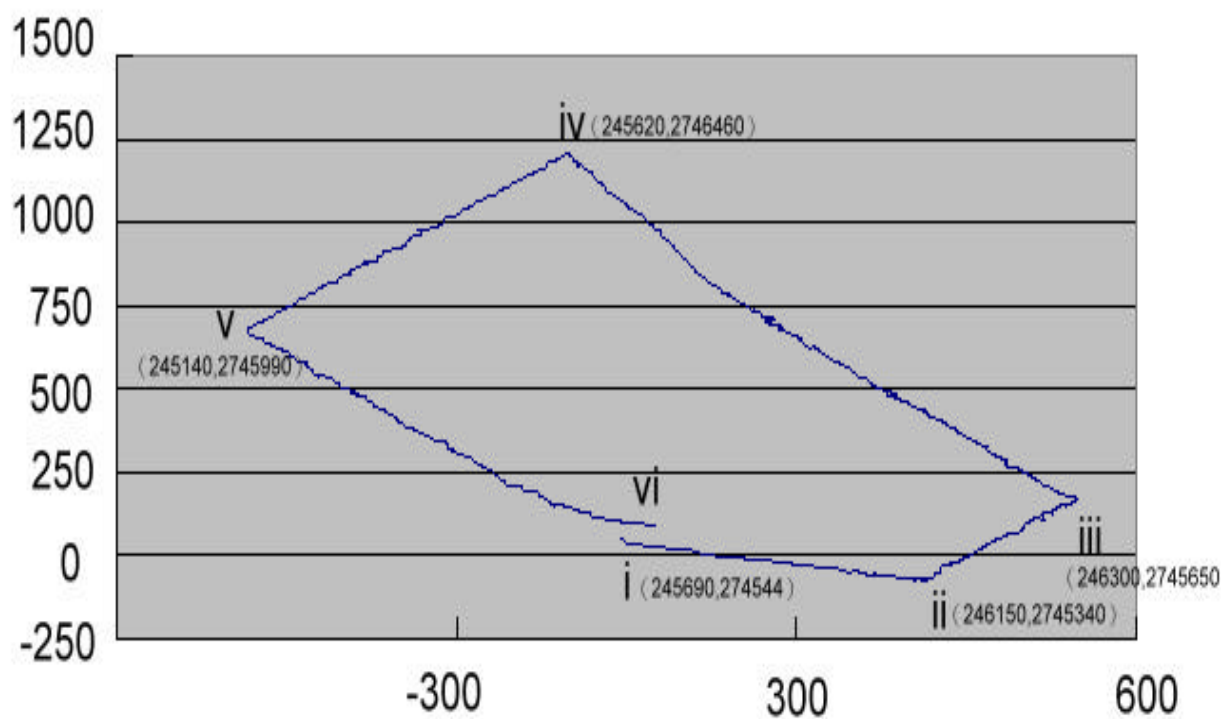


圖 9.13 GPS/INS 整合後之位置圖

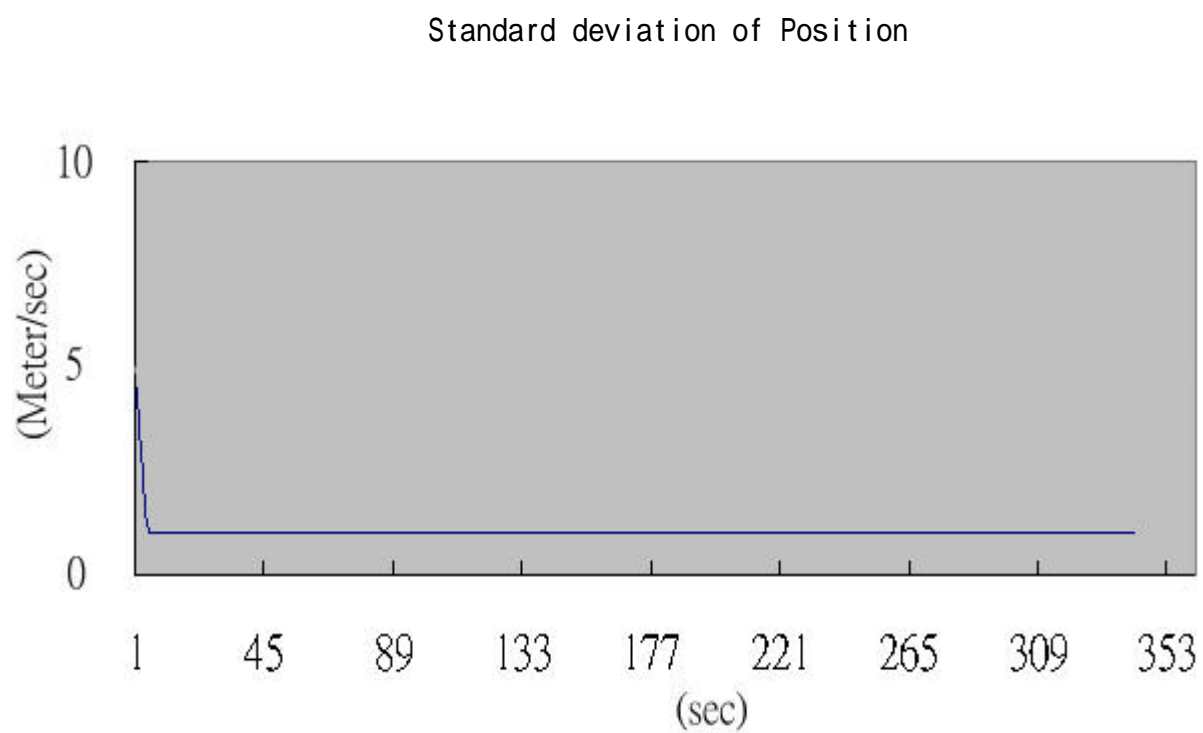


圖 9.14 INS 位置誤差之共變異量圖

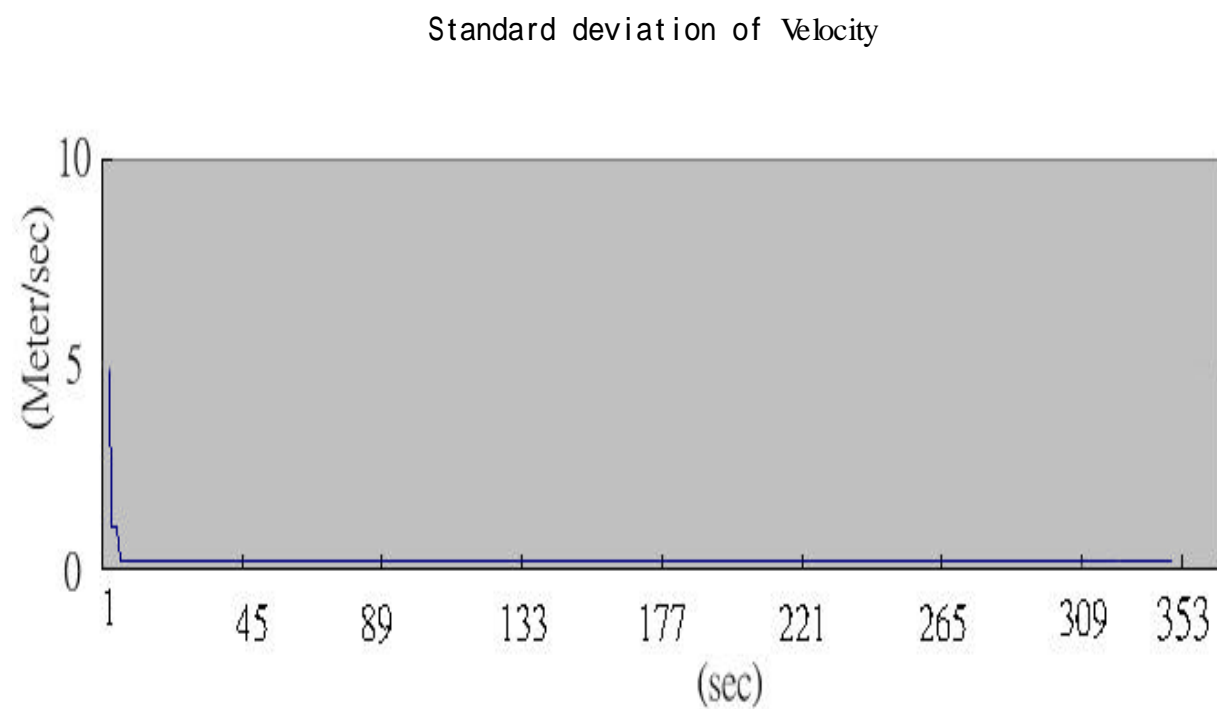


圖 9.15 INS 速度誤差之共變異量圖

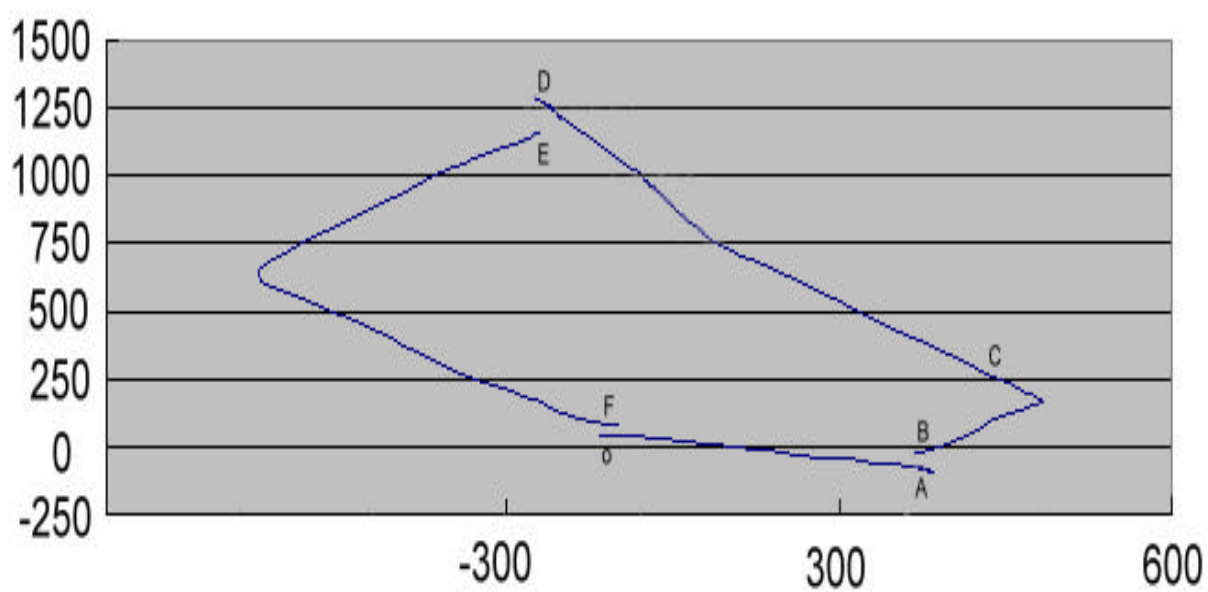
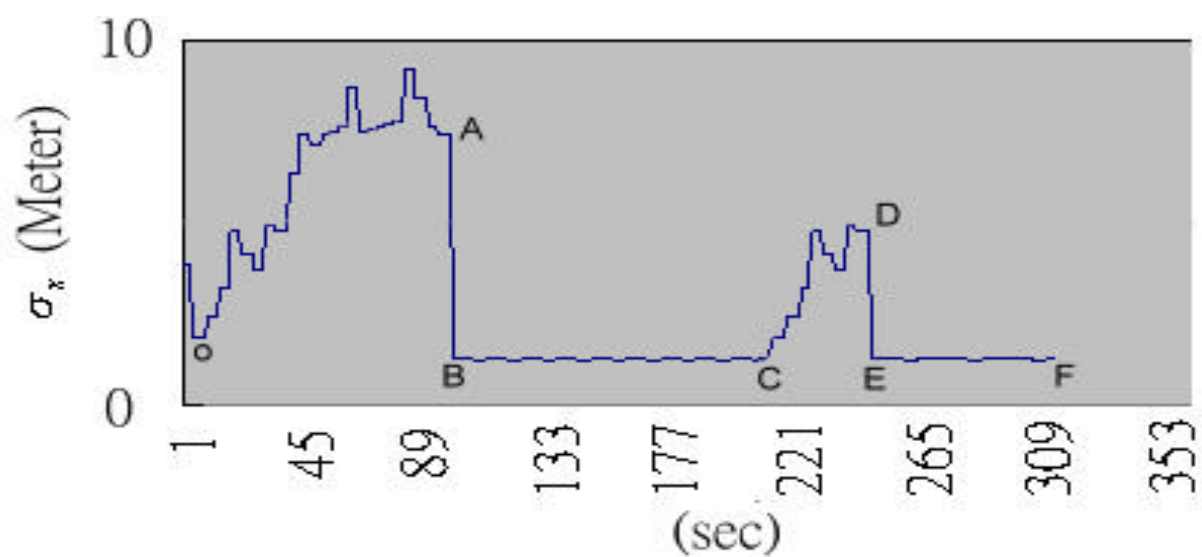


圖 9.16 模擬整合後 GPS 脫鎖之位置圖



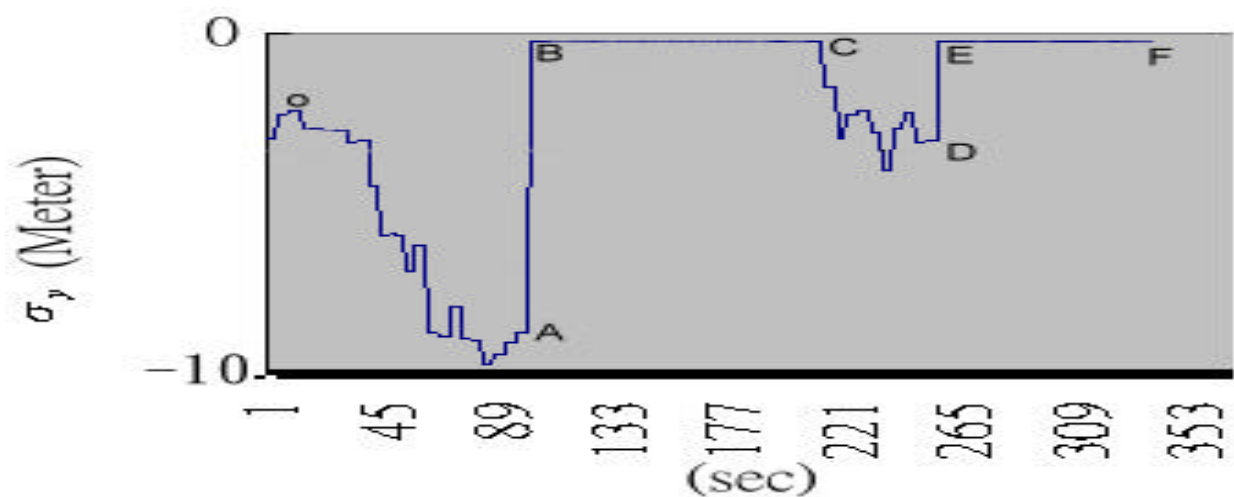


圖 9.17 INS 位置誤差之共變異量圖 (GPS 信號有脫鎖時)

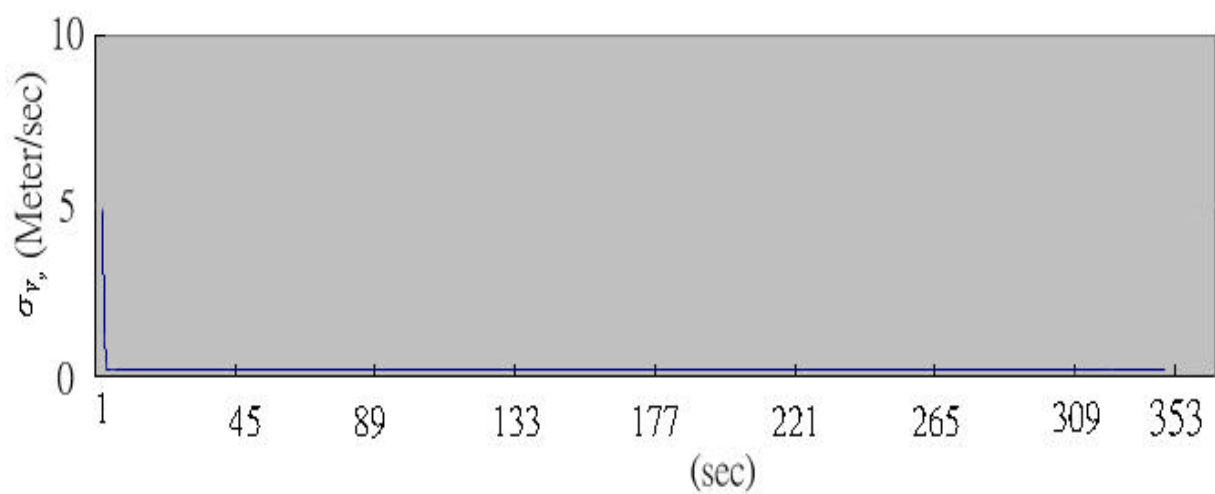
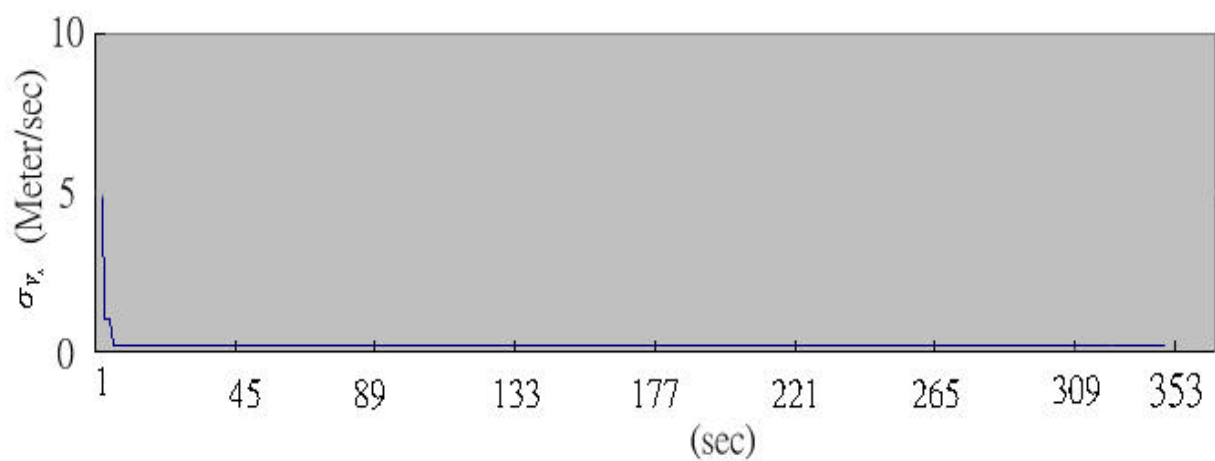


圖 9.18 INS 速度誤差之共變異量圖 (GPS 信號有脫鎖時)

## 9.9 結論

從以上的實驗結果得知，我們採用使用 MEMS 製造的雙軸加速儀，來取代原來非 MEMS 製程所做的加速儀，有其不錯的即時平面導航效果，其定位的精度也比之前的好，可見整個系統縮裝又向前邁進一步了。

## 第十章 未來展望

因考慮到時間與儀器的問題，因此本論文的研究範圍僅到此為止，觀看未來發展我們最講究的就是方便性因此將 GPS、GIS、INS 三者運用在汽車載具上來提升便利性，其發展空間還相當的大，未來後續發展就必須靠優秀的學弟們繼續思考與努力，在此有三點建議提供給學弟們作為後續發展的參考：

### (1) 在 GPS/INS 部分：

由於 MEMS 製造技術發展已漸成熟，在硬體方面我們已成功的縮裝了加速儀部分，皆下來就是要繼續尋找或者開發用來取代陀螺儀的 IC，使整個系統體積縮小，成本降低、方便攜帶。另一方面因為整個系統必須使用到兩張 PCI card 因此本論文暫時先將系統架構在桌上型 PC 上，在使用上仍有許多的不便，未來若用 IC 製程的陀螺儀來取代原本的三軸感測式元件陀螺儀時，即可再去掉一張 PCI card，改用串列方式傳輸，而四零四科技所生產的 C218 Turbo PCI 擁有 8 個 RS-232 接頭，因此，即可將整個移植到 notebook PC 上做實際的路測，這樣更可增加其實用性與正確性。

### (2) 在 GPS/GIS 部分：

在製作電子地圖當時初步因只有考慮要整合 GPS/GIS 部分，所採用的單位是 WGS84 經緯度，因此座標單位不同無法做 GPS/INS/GIS 三者的整合，所以所使用的範圍仍然有限；未來可以在另外開發出一套採用 TM2 為單位的電子地圖，這樣就沒有因座標單位不同而不能疊合的問題。

(3) 在處理計算最佳路徑同時，若能即時加入交通監控中心透過無線電廣播方式傳遞交通壅塞路段資訊，當系統接收到此項訊息，可適時的將該壅塞路段值提高至無窮大，以避開此壅塞路段，進而以動態的交通資訊來達成即時性最佳路徑之選取。未來在汽車導航上還可以在結合無線通訊的方式（例如遠傳的 USSD 或者 SMS）將汽車上接收到的訊息傳回中控中心，以方便做汽車的監控及求救等等相關應用。

## 參考文獻

- 【1】 邱聰輝，” 全球衛星定位系統載波相位測量定位法量測” ，中華大學航太所碩士論文，87 年 7 月。
- 【2】 黃振文，” 全球定位系統與慣性導航系統整合之車輛導航系統設計” ，中華工學航太所碩士論文，85 年 6 月。
- 【3】 謝壽鏞，” 全球定位系統與慣性導航系統之複合式三度空間導航系統硬體架構研究” ，中華大學航太所碩士論文，88 年 7 月。
- 【4】 蔡豐隆，” 汽車導航系統之設計” ，中華大學航太所碩士論文，90 年 7 月。
- 【5】 ” ADXL202 Evaluation Board with RS-232 Interface and Datalogging User’ s Guide” ，Gopyright , [http// www.analog.com](http://www.analog.com)
- 【6】 B.W.Parkinson,” History and Operation of NAVSTAR, The Global Positioning System,” IEEE Transcation on Aerospace and Electronic Systems, Vol.30,No 4,pp.1143-1162,Oct.,1994.
- 【7】 莊智清、黃國興，” 電子導航（e-navigation）” ，全華科技圖書股份有限公司，2001。
- 【8】 B.Hofmann-Wellenhof, H. Lichtenegger , and J. Collins,” Global Positioning System Theory and Practice” .
- 【9】 林仁政、翁芳標，” 無線通訊系統” ，全華科技圖書股份有限公司，民國 87 年。
- 【10】 ” Global Positioning System Standard Positioning Service Signal Specification” ， <http://www.navcen.uscg.mil/default.htm> , 1995.6.
- 【11】 Slater, J. M., et al. “ Inertial Navigation Analysis and Design” , McGraw-Hill Book Co., 1964.
- 【12】 Brian L. Stevens Frank L. Lewis,“ Aircraft Control and Simulation” pp141-146, 1992.
- 【13】 ” Instruction Manual of GYROSTAR” , MURATA MFG. CO. LTD.



- 【13】 何志強，” The Global Positioning System And the Integrated DGPS/INS Navigation System” .82 年 10 月 4 日.
- 【14】 陳見生，” 全球定位系統及慣性參考系統複合式系統研究” ，私立中華工學院航太所碩士論文，1995。
- 【15】 張博光，” 全球定位系統及慣性參考導航系統複合之研究” ，私立中華工學航太所碩士論文，1994。
- 【16】 J. M. Slater, et al. “ Inertial Navigation Analysis and Design” , McGraw-Hill Book Co., 1964.
- 【17】 資策會，” 地理資訊系統市場發展趨勢” ，財團法人資訊工業策進會，民國 83 年。
- 【18】 劉芳萍，” 在 GIS 環境下建置主從式電腦網路資源管理查詢系統” ，中正理工學院電子工程研究所，民國 87 年 4 月。
- 【19】 王瑞民，” MapInfo 5.x 使用指南” ，松崗電腦圖書資料股份有限公司，1999 年 9 月。
- 【20】 交通部運輸研究所，” 新世紀台灣地區交通路網數值地圖 1.0 版使用手冊” ， 90 年 12 月
- 【21】 黃華尉，” TWD97 與 TWD67 二度 TM 座標轉換之研究” ，成功大學測量工程學系，民國 90 年。
- 【22】 史習平，” 汽車導航系統 DIY” ，交通部運輸研究所。
- 【23】 王訓德，” 自動導航控制中無線網路通訊技術之比較研究” ，國防管理學院資源管理研究所，民國 88 年五月。
- 【24】 高維文、曾博鈐，” 汽車導航指引系統之地圖比對與路徑規劃法則 ” ，台灣工業技術學院機械系。
- 【25】 劉佳峰，” 結合 GPS 與 GIS 技術建立之汽車導航系統” ，中央大學資訊管理研究所，民國 85 年 6 月。
- 【26】 A. Stafylopatis, K. Blekas [1998], ” Autonomous Vehicle Navigation Using Evolutionary Reinforcement learning” ，

European Journal of Operational Research, pp. 306-318.

- 【27】 ” Ashtech Evaluate 5.0 User’ s Guide” , Copyright January , 1997, Ashtech Inc. USA. <http://www.ashtech.com>.
- 【28】 Mohinder S. Grewal Angus P. Andrews ” Kalman Filtering Theory and Practice” , pp163-173, 1993.
- 【29】 Frank L. Lewis “ Applied Optimal Control Estimation” , pp494-495, 1992.
- 【30】 ” Hardware Manual of PCI-1202/1602/1800/1802” , 捷準科技公  
司,1998.
- 【31】 ” MLR SP24 GPS User’ s Guide” , Gopyright , MLR Inc. France  
” [http:// www.mlrelec.com](http://www.mlrelec.com)”
- 【32】 ” GPS 9540” , Gopyright , GPS Inc. Taiwan  
[http://www.leadtek.com.tw/www/cweb\\_Leadtek/gps.asp](http://www.leadtek.com.tw/www/cweb_Leadtek/gps.asp)

## 【附錄一】

MapInfo 檔案格式：MIF 和 MID 檔案格式

MIF 儲存圖形的交換格式檔案；而文字資料則包含在 MID 的檔案中，MIF 檔、MID 檔是在前置作業利用 MapInfo 應用軟體數位化工作後所輸出（Export）與其他軟體間的交換格式檔案。其中 MIF 檔案格式內容有：MIF 檔案標頭、MIF 資料區；MIF 檔是一個 ASCII 文字型式檔案，因此是可以編輯的，其 MIF 檔案說明如下所示。

範例：

Version 300

Charset "WindowsTradChinese"

Delimiter " , "

Index 1

CoordSys Earth Projection 1, 104

Columns 3

端點編號 Char(6)

端點大小 Integer

端點位置 Char(10)

Data

Point 138.765059 1.943285

Symbol ( 67 , 16776960 , 12)

Point 141.19827 2.156973

Symbol ( 67 , 16776960 , 12)

MID 檔案是分隔資料包含索引資料，每一列是一筆記錄並包含換行字元，delimiter 語句中設定字元的分隔，內定的分隔符號是逗號，TAB.MID 檔案中的每一列與 MIF 檔案中的每一相對應物件關聯；第一列與第一物件關聯，第二列與第二個物件關聯，依此類推。MID 是一個可選擇的檔案，如果 MID 不存在則所有的欄位都是空白的。

【附錄二】

產品規格

Item



















