

國立交通大學

資訊學院 資訊學程

碩士論文

GPS 結合重力感測器之定位效能提昇

Improvement on GPS positioning performance with G-sensor



研究生：鄭博偉

指導教授：張瑞川 博士

中華民國九十八年七月

GPS 結合重力感測器之定位效能提昇

Improvement on GPS positioning performance with G-sensor

研究生：鄭博偉

Student：Po-Wei Cheng

指導教授：張瑞川 博士

Advisor：Dr. Ruei-Chuan Chang

國立交通大學

資訊學院 資訊學程

碩士論文

A Thesis

Submitted to College of Computer Science

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of

Master of Science

in

Computer Science

July 2009

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十八年七月

GPS結合重力感測器之定位效能提昇

研究生：鄭博偉

指導教授：張瑞川 博士

國立交通大學

資訊學院

資訊學程碩士班



近年來，GPS 的相關研究，多集中於與 INS(慣性導航系統)功能互相整合上。GPS 以其準確的定位能力，提供 INS 適時修正量測誤差；並且，INS 不會受環境影響而斷訊的特點，可有效輔助 GPS，使系統正常定位。本研究的目的即設計一個簡單而有效率的資料處理方法，利用一般 GPS 接收器，來修正感測器的速度誤差，並根據這些累積的修正經驗，即使 GPS 發生短時間斷訊，感測器也能繼續提供移動速度，供系統作定位使用。

Improvement on GPS positioning performance with G-sensor

Student : Po-Wei Cheng

Advisors : Dr. Ruei-Chuan Chang

Degree Program of Computer Science

National Chiao Tung University

ABSTRACT

Recently, the research of GPS system was concentrated on the integration with the INS (Inertial Navigation System). The GPS, with accurate positioning capability, helps the INS to correct its errors. The INS, effective even in the poor signal quality environment, can support the GPS when the latter works abnormally. The main goal of this study is to design a simple and effective data processing method to reduce the errors inherited in the low-cost sensors through the velocity provided by the GPS receiver. Moreover, with error correction, the INS can keep positioning even in a short period of GPS signal loss.

誌 謝

以一個上班族的身份，還能完成這份論文，沒有許多貴人的幫助，根本是不可能的任務。

我真的很幸運！

沒有遇到張瑞川教授，我不會想到要參加碩士考試；沒有張教授的啟發，論文還無從想起；沒有張教授的鼓勵和指導，這篇論文，可能難產！感謝您，張瑞川教授！

這一年多來，論文的內容與修正，沒有大緯教授不厭其煩的耐心指導，不會這麼順利完成。感謝您，張大緯教授！

即使是專班的身份，實驗室的同學、學長，仍然給予我熱心的幫忙和指導，我很感激你們！

當然要感謝我的家人，這些日子中的點點滴滴，我們是共同承擔，當然最後的成果也要一起分享。沒有你們的叮嚀和鼓勵，不會有這個成果！

我實在是很幸運！

最後，要獻給我已過世的父親，因為有您，讓曾想放棄的我，再次投入此篇論文的研究。不能將這份成果與您分享，是身為人子的我最大的遺憾！

目 錄

| | | |
|-------|-----------------|-----|
| 中文摘要 | | i |
| 英文摘要 | | ii |
| 誌謝 | | iii |
| 目錄 | | iv |
| 表目錄 | | vi |
| 圖目錄 | | vii |
| 一、 | 緒論 | 1 |
| 1.1 | 前言 | 1 |
| 1.2 | 研究動機 | 1 |
| 1.3 | 文獻回顧 | 2 |
| 1.4 | 論文架構 | 2 |
| 二、 | 導航系統及最小平方法介紹 | 3 |
| 2.1 | 全球定位系統 | 3 |
| 2.1.1 | GPS 基本介紹 | 3 |
| 2.1.2 | GPS 整體組成 | 4 |
| 2.1.3 | GPS 定位原理 | 5 |
| 2.1.4 | GPS 誤差來源 | 6 |
| 2.1.5 | GPS 資料格式 | 8 |
| 2.1.6 | GPS 的定位資料 | 9 |
| 2.2 | 慣性導航系統 | 10 |
| 2.2.1 | 重力感測器 | 10 |
| 2.2.2 | 方位推估法 | 12 |
| 2.3 | GPS 與 INS 整合系統 | 14 |
| 2.4 | 最小平方法介紹 | 14 |
| 三、 | 實驗內容與方法 | 16 |
| 3.1 | 實驗裝置 | 16 |
| 3.2 | 重力感測器控制與校正 | 17 |
| 3.3 | GPS 與重力感測器 系統整合 | 18 |
| 四、 | 實驗結果與討論 | 20 |
| 4.1 | 重力感測器靜態誤差修正 | 21 |
| 4.2 | GPS 與重力感測器 整合測試 | 21 |
| 4.2.1 | 實際路測 | 21 |
| 4.2.2 | 速度差調整 | 23 |
| 4.2.3 | 加速度差調整 | 25 |
| 4.3 | GPS 斷訊以感測器輔助 | 27 |
| 4.3.1 | 預測修正點 | 27 |

| | | |
|-------|---------|----|
| 4.3.2 | 預測修正速度值 | 29 |
| 五、 | 結論與展望 | 34 |
| 5.1 | 結論 | 34 |
| 5.2 | 未來展望 | 34 |
| 參考文獻 | | 36 |
| 自傳 | | 38 |



表目錄

| | |
|-------------------------------------|----|
| 表 1 GPS 衛星資料格式..... | 8 |
| 表 2 NMEA 0183 Version 2.0 資料格式..... | 9 |
| 表 3 速度差修正數據..... | 23 |
| 表 4 加速度差修正數據..... | 26 |
| 表 5 預測各修正點之數據..... | 28 |
| 表 6 預測修正點 82 之數據..... | 29 |
| 表 7 預測修正點 87 之數據..... | 30 |
| 表 8 預測修正點 112 之數據..... | 30 |
| 表 9 預測修正點 117 之數據..... | 30 |
| 表 10 預測修正點 92 之數據..... | 31 |
| 表 11 預測修正點 97 之數據..... | 32 |
| 表 12 預測修正點 100 之數據..... | 32 |
| 表 13 預測修正點 106 之數據..... | 32 |
| 表 14 預測修正點 109 之數據..... | 33 |

圖目錄

| | |
|--------------------------------|----|
| 圖 1 GPS衛星軌道..... | 4 |
| 圖 2 單點衛星定位系統..... | 6 |
| 圖 3 表面微機電感測單元的組成元件..... | 11 |
| 圖 4 G-cell 的實體模型..... | 11 |
| 圖 5 傾斜角和重力感測器 ADC 輸出位元的關係..... | 12 |
| 圖 6 方位推估法..... | 12 |
| 圖 7 利用重力感測器來實現方位推估..... | 12 |
| 圖 8 方位推估的誤差對定位所造成的影響..... | 13 |
| 圖 9 GPS/INS整合式定位誤差修正示意圖..... | 14 |
| 圖 10 實驗裝置..... | 17 |
| 圖 11 靜態感測器 X 軸偏差統計..... | 21 |
| 圖 12 GPS 速度與感測器速度比較..... | 21 |
| 圖 13 GPS 速度與感測器未經修正值積分後速度..... | 22 |
| 圖 14 感測器經靜態偏差修正前後比較..... | 23 |
| 圖 15 GPS 速度與速度差=1 修正結果比較..... | 24 |
| 圖 16 GPS 速度與速度差=5 修正結果比較..... | 25 |
| 圖 17 GPS 速度與速度差=9 修正結果比較..... | 25 |
| 圖 18 利用加速度差修正與速度差=9 之結果比較..... | 26 |

| | |
|------------------------------------|----|
| 圖 19 GPS 接收訊號中斷與感測器之速度比較 | 27 |
| 圖 20 速度差=9 之調整點與預測之修正點對照..... | 28 |
| 圖 21 速度差=9 及加上預測法之速度比較..... | 31 |
| 圖 22 加速度差 (含速度差=9) 加上預測法之速度比較..... | 33 |



第一章 緒論

1.1 前言

近年來，隨著美國軍方開放全球定位系統(Global Positioning System, GPS)，GPS更廣泛的應用在人們日常的生活當中；而隨著需求的增加，在GPS的技術發展和應用，也越來越廣泛。目前，單一的GPS接收器，不但價格便宜，而且在三軸速度方面，也能提供相當的精準度，大大提高GPS在車輛的定位、即時監控和導航方面的應用。

在GPS尚未使用之前，早期的車輛導航定位是以慣性導航系統(Inertial Navigation System, INS)為基礎，利用汽車位置的軌跡即時的顯示於數位地圖上。而隨著近年來微機電(Micro-Electrical Mechanical Systems, MEMS)的製造技術蓬勃發展，許多研發導航感測元件的廠商也以此為基礎，開發出許多微型的導航感測器，感測器的價格和體積大幅減小，也提高其在導航上的使用。

雖然GPS可提供足夠精準的定位與速度，由於GPS常常受到地形環境的遮蔽，或是天候因素影響，會發生訊號無法接收的現象；而慣性導航的感測器本身有偏差(biases)和飄移(drifts)現象而產生誤差，隨著時間的累積而增加發散。

1.2 研究動機

GPS是一套即時性定位系統，具有長期穩定的優點，只要使用者之接收機與衛星不被遮蔽，可提供地球上任何一個使用者三度空間的位置，具有快速定位、可信度高的優點；但是在人口密集的城市中，遇到街道、隧道、地下道，室內停車場等，容易造成衛星脫鎖的問題；而在兩邊高建築物狹窄的小巷內，常容易造成衛星多重路徑效應(multi-path effects)導致導航準確性和可靠性的降低。

慣性導航(Inertial Navigation System, INS)是利用慣性感測器如陀螺儀、加速儀等等，量取載具之加速度向量及角速度向量，再利用導航系統之動態方程式，求得載具在慣性座標之位置、姿態，而得定位資訊。此法不受天候、地形之影響，是一個自主性(Autonomous)系統，但慣性感測器本身有偏差(biases)

和飄移 (drifts) 現象而產生誤差，這些誤差經由積分而逐漸累積，使得INS誤差隨著時間增加而發散，故於長時間使用下須靠GPS作校正誤差。

基於以上兩者之特性，我們可以利用長期穩定的GPS去修正INS的誤差，抑制其發散，而INS可以彌補GPS因周遭環境影響所產生中斷訊號之不足，此兩種系統複合設計與應用，對導航系統定位的精度有很大提昇的效果，這是產生本研究的動機。

1.3 文獻回顧

近年來，結合慣性感測器和GPS的研究，受到大家的重視。在低頻率 (1-5 Hz) 的GPS量測中，以慣性裝置來估算並更新位置[1,2]，或是當GPS發生短暫運行中斷時，利用慣性原件[3,4]。融合GPS和方位推估 (Dead Reckoning, DR) 系統於路面自動車控制[5-7]。

而INS方面，低價慣性感測原件，由於產生偏差而影響了導航的效能，因而需要更準確，且無偏差的量測能力，才能提供導航等較精準的使用。這方面也有些研究，例如，因行車方向變化而導致慣性裝置的飄移 (drift) [8,9]，使用GPS估測感測器因感測誤差及行車動態偏差[9,10]。

本研究的目標，則是利用價廉輕便的GPS接收器，快速的修正感測器的誤差，並根據之前修正的經驗 (Database)，繼續估測系統速度，當GPS失效時，即可輔助GPS，使其達到導航的要求。

1.4 論文架構

本論文共分為六章，其概要分別敘述如下：

第一章：緒論

內容包括本論文之簡介，文獻回顧，研究動機以及論文架構。

第二章：導航系統與最小平方法介紹

本節將簡介GPS系統，慣性導航系統平台，感測器工作原理，最小平方法的推導及利用。

第三章：實驗內容與方法

本節將介紹本實驗所使用的裝置、環境，以及實驗的步驟和方法。

第四章：實驗結果與討論

本節將介紹如何使用GPS來調整感測器的誤差，並討論速度差法、加速度差法及預測法對於系統效能的提升。

第五章：結論與建議

最後將針對本論文之研究心得作一總結，並提出一些建議以及對未來展望。



第二章 導航系統及最小平方法介紹

2.1 全球定位系統（Global Positioning System，GPS）[14,15]

2.1.1 GPS 基本介紹

為美國國防部開發，利用規模遍及全球的人造衛星之航法系統，是一種結合衛星及通訊發展的技術，原本是美國國防部因應軍事定時、定位及導航系統之目的而發展，現多作為商業及測量用途。

目前太空中有24顆GPS衛星可供定位運用，其中包括三個預備衛星，它們平均分佈於6個軌道面，每個軌道面上各有4顆，距離地面高度約10,900海哩（大約20,000公里），呈55°角傾斜繞行地球運轉，繞行地球一周需12恆星時，每日可繞行地球2周，這也就是說，不論任何時間、任何地點，至少有4顆以上的衛星出現在我們的上空。每顆衛星都對地表發射涵蓋本身軌道面的座標、運行時間的無線電訊號，地面的接收單位可依據這些資料做為定位、導航、地標等精密測量。



圖1 GPS衛星軌道

2.1.2 GPS 整體組成

全球衛星定位系統整體運作上可分成三部份：太空部分、訊號部分以及地面部分。

1. 太空部分

主要由21顆GPS衛星和三顆備用衛星組成，均勻分布於六條繞極軌道上運行，衛星環繞地球一周約12小時，任何時刻地面上都可同時觀察到4至7顆衛星訊號。

2. 訊號部分

GPS 衛星產生兩組隨機電碼，一組稱為C/A 碼，一組稱為P 碼。C/A 碼主要開放給民間使用，因此在精度上刻意降低，P 碼則是美國國防部保留為其軍事用途的電碼，精度比C/A 碼高很多，因此設有密碼，一般民間使用者無法解讀。

3. 地面部分

地面設施部分主要包含 GPS 監控站與使用者接收設備兩部份。

- 監控站

包括一個主要控制站（Master Control Station）、五個監測站（Monitor Station）、三個地面控制站（Ground Control Station）等。監測站主要負責追蹤所有衛星的運行位置、時間、氣象資料及電離層資料等，將每15秒觀測到所有資料，計算出每15分鐘一組的平滑化數據（Smoothed Data），傳送到主控制站後，由主控制站加以統合，計算出衛星星曆、時錶修正量、電離層改正係數，再轉換成導航訊息，以維護衛星系統的精度與正常運作，此部份由美國國防部負責，使用者無從瞭解也毋需瞭解此部份的技術。

- 使用者接收設備

主要是一個衛星訊號接收器，依照不同的目的而有不同的定位能力，基本的功能是接收L1 載波，分離出C/A 電碼，進行最簡單的虛擬距離定位，也是一般車輛定位所使用的機型。其中必須注意的是：GPS 衛星產生兩種不同的載波來承載所有電碼與訊息，其中C/A 碼僅調置在L1 載波上，P 碼則分別調置在L1 與L2 載波上，並區別為P1 與P2 電碼，但美國軍方目前僅開放C/A 碼供民間使用。

2.1.3 GPS 定位原理[16]

GPS 之定位乃是利用接收機本身產生的GPS 複製電碼，與接收到的衛星電碼相比較而得到時間延遲，乘上光速而轉成虛擬距離(Pseudo range)，其單點定位原理如圖2 所示。虛擬距離數學式可表示為：

$$PR = \rho + C * (\delta_s - \delta_r) + d_{ion} + d_{trop} + \varepsilon \quad (1)$$

其中：

PR ：接收機所量測的虛擬距離

ρ ：衛星到接收機真實距離

C ：光速

δt_s ：衛星的時表誤差

δt_r ：接收機的時表誤差

d_{ion} ：電離層誤差

d_{trop} ：對流層誤差

ε ：為虛擬距離觀測量之雜訊

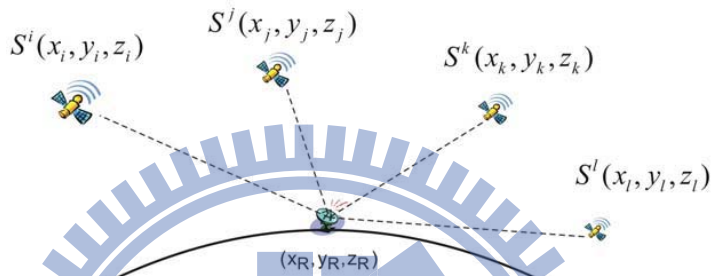


圖 2 單點衛星定位系統

假設電離層誤差，對流層誤差及雜訊可由GPS 訊息傳送之修正模型修正，而且同時觀測到四顆以上衛星，則 (1) 式可改寫成 (2) 式。

$$\begin{aligned}
 PR_i &= \sqrt{(X_i - X_R)^2 + (Y_i - Y_R)^2 + (Z_i - Z_R)^2} + C\delta t_R \\
 PR_j &= \sqrt{(X_j - X_R)^2 + (Y_j - Y_R)^2 + (Z_j - Z_R)^2} + C\delta t_R \\
 PR_k &= \sqrt{(X_k - X_R)^2 + (Y_k - Y_R)^2 + (Z_k - Z_R)^2} + C\delta t_R \\
 PR_l &= \sqrt{(X_l - X_R)^2 + (Y_l - Y_R)^2 + (Z_l - Z_R)^2} + C\delta t_R
 \end{aligned} \tag{2}$$

其中 (X_n, Y_n, Z_n) ; $n=i, j, k, l$ 為衛星 i, j, k, l 的瞬間位置。

2.1.4 GPS 誤差來源

1. 氣層上的延遲誤差

當GPS 訊號經過電離層 (Ionosphere) 上一些帶電性的粒子及對流層 (Troposphere) 上的水汽時，訊號便會產生角度的偏離而產生遲滯的現象。

2. 多路徑訊號傳送誤差 (Multipath Error)

GPS 訊號傳送並非從衛星上直接到達地面接收器，在到達接收器時，通常會經過各種地面物質的反射，因此會有一種訊號多重定位的疊合誤差，這種情形就類似您有時在電視上會看到影像重疊不合的鬼影現象，即是此種誤差效應的影響。

3. 衛星時表誤差 (Ephemeris Error)

即使衛星是非常的精密複雜，它可以計算出一些極微小的訊息資訊，如原子鐘 (Cesium) 即是如此一個精準的裝置，但是精準並不代表完美，因此仍會有一些微小的誤差產生，即使衛星的定位會持續的被監控著，但並不是每一秒都處於被監視的狀態之中，這期間一旦有微小的定位誤差或衛星星曆的誤差產生，便會影響到接收器在定位計算時的準確性。

4. 幾何精度稀釋 (Geometric Dilution of Precision, GDOP)

幾何精度稀釋聽起來相當的複雜抽象，其實它的原理非常的簡單，在上述我們所提到的，一個接收器可以在同一時間得到許多顆衛星定位資訊，但在精密定位上，只要四顆衛星訊號即已足夠了，一個好的接收器便可判斷如何在這些衛星靠近的訊號來計算，如果接收器所選取的訊號當中，有二顆衛星距離甚近，則這二顆衛星訊號在角度較小的地方會有一個重疊的區域產生，隨著距離愈近，此區域便愈大，影響精度的誤差亦愈大。如果選取的衛星彼此相距有一段距離，則訊號相交之處便較為明確，誤差當然就縮減了不少。

5. 接收器內部誤差 (Receiver Error)

市面上GPS 接收器琳瑯滿目，目前世界上GPS 接收機之機型已超過一百種，有五十家以上的製造廠商。好的接收器可精準計算出一個位置方位量，相對的，較差的接收器亦可能存在著自己本身的誤差，而嚴重的影響了精度，接收器除了訊號的接收及計算能力之外，誤差的修正能力也是一個好的接收器所必須考慮的重點，當然，接收器穩定性及壽命亦是影響精度的其中因素。

6. 選效誤差 (Selective Availability, SA)

這是美國國防部花了一千二百萬美元所發展的干擾衛星定位精度的技術，其目的在於防止不法之徒或恐怖組織，利用GPS 來發展高精密的武器，危害到國家安全，因此基於國家安全的考量，美國國防部會不定期的傳送一些不正確的軌道訊號及干擾訊號至衛星，而使其精度降低，只有國防軍事用的接

表 1 GPS 衛星資料格式

2.1.6 GPS 的定位資料[16]

現在 GPS 定位資料的輸出格式皆使用美國航海協會（National marine Electronics Association，NMEA）的 0183 Version 2.0 ASCII 格式，其鮑率為 4800Hz，其基本輸出資料如表 2 所列：

| 內容 | 所描述資料 |
|------|-------------------------------------|
| \$GA | 時間、位置等定位相關資料 |
| GLL | 現在位置的經度、緯度及時間資料 |
| GSA | 定位偏差資訊以及定位時的衛星使用狀況 |
| GSV | 天空中衛星資訊如可視範圍的衛星數目、編號、仰角、方位角及訊號的SNR值 |
| MSS | 訊號的SNR值、強度、頻率及差分定位站所傳送的資料速率 |
| RMC | 時間、日期、位置及速度資料（方向及速率） |
| VTG | 對地方向及對地速度 |

表 2 NMEA 0183 Version 2.0 資料格式

本研究採用 RMC 資料格式，說明如下：

\$GPRMC,<1>,<2>,<3>,<4>,<5>,<6>,<7>,<8>,<9>,<10>,<11>,<12>*hh<CR><LF>

<1> UTC 時間，hhmmss（時分秒）格式

<2> 定位狀態，A=有效定位，V=無效定位

<3> 緯度 ddmm.mmmm（度分）格式（前面的 0 也將被傳輸）

<4> 緯度半球 N（北緯）或 S（南緯）

<5> 經度 dddmm.mmmm（度分）格式（前面的 0 也將被傳輸）

<6> 經度半球 E（東經）或 W（西經）

<7> 地面速率（000.0~999.9 節，前面的 0 也將被傳輸）

<8> 地面航向（000.0~359.9 度，以真北為參考基準，前面的 0 也將被傳輸）

<9> UTC 日期，ddmmyy（日月年）格式

<10> 磁偏角（000.0~180.0 度，前面的 0 也將被傳輸）

<11> 磁偏角方向，E（東）或 W（西）

<12> 模式指示（依 NMEA0183 3.00 版本輸出，A=自主定位，D=差分，E=估算，N=數據無效）

上列資料中的<7>，即為我們使用之 SOG（Speed Over Ground，SOG），指示目前的速度，乘上 1.852 單位即轉換為 km/h。

2.2 慣性導航系統 (Inertial Navigation System, INS) [15-17]

慣性導航系統是利用慣性感測原件，如加速儀 (Accelerometer) 與陀螺儀 (Gyroscope) 等感測元件。同時快速地獲得載體本身的運動參數，利用運動過程中所量測出的載體加速度與角速度，加速度經過積分計算後，求出載體在空間中的方位變化與載體的運動姿態。系統本身不受天候、地勢的影響，乃一自主性 (Autonomous) 的系統，在短時間內能有很高的精密度，不須自外部輸入電磁訊號，因此不會有GPS系統所存在的訊號涵蓋範圍的限制，且具有完全不受地形地物影響的優勢。但一方面感測器本身也會有感測誤差。此外，透過積分運算所產生的誤差會隨時間增加而累積，使得慣性導航系統無法長時間的應用，為慣性導航系統最大的缺點。

2.2.1 重力感測器[17]

本研究中所採用的重力感測器，即為上述的加速宜的一種，而此種採用固態微機電 (MEMS) 製程的重力感測器具有體積小、低耗電、低單價和高自主性等優點。和里程表相比，本三軸重力感測器可同時偵測三個軸向的運動，而里程表則僅能偵測一個軸向的運動。另外，重力感測器的資料率也遠高於里程表，因此更適合用在 DR。就便利性來說，重力感測器屬於自主性元件，不須依靠外部輔助資訊，里程表則須仰賴車輪轉速的輔助資訊才能進行位移計算。表面微機電 (Surface Micromachined) 技術和體型微機電 (Bulk Micromachined) 技術的差異，在於前者是將感測器單元建構在矽晶圓的表面，而後者是利用蝕刻 (Etch) 技術將感測器單元蝕刻在矽晶圓內部。利用表面微機電的技術，可經訊號條件電路 (Signal Conditioning Circuitry) 製作在感測器單元的周邊。重力感測器一般是由利用表面微機電技術所製作的感測器單元、訊號條件電路和 ADC (Analog to Digital Conversion) 所組成。以飛思卡爾 (Freescale) 的重力感測器為例，其感測器單元為一電感性的感測細胞 (G-cell)，是利用半導體多晶矽材料，以及光罩和蝕刻製程所製造的一種機械結構，並由彈簧、橫樑材質 (Beam Masses) 和栓繩 (Tether) 所組成，見圖 3。

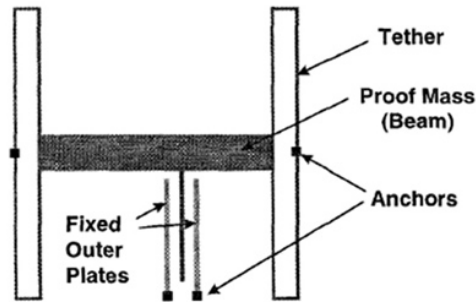


圖 3 表面微機電感測單元的組成元件

想像 G-cell 是由一組三個橫樑所構成的一種機械結構，中間橫樑是可移動的，而兩側橫樑則是固定住。當系統產生加速度時，便可利用中間移動式的橫樑和兩側固定式橫樑的位移差計算出重力加速度值。當系統維持靜止狀態或處於等速運動時，栓繩便會將中間可移動的橫樑拉至中心位置，類似彈簧的原理。

圖 4 為 G-cell 實體模型，利用三個橫樑可形成兩個背對背的電感。電感的計算公式為 $C = A\epsilon/D$ ，其中， C 為電容， A 為橫樑的表面積， ϵ 為介電係數， D 為兩根橫樑間的距離。當有加速度產生時，中間橫樑朝著加速度的相反方向位移導致電容值變動，利用電容值的改變進而推算出重力加速度的大小。

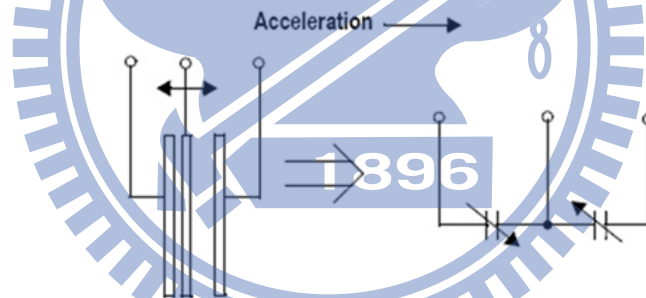


圖 4 G-cell 的實體模型

訊號條件電路利用切換電容技術來量測 G-cell 的電容值，並利用兩個電容間的差值解算出重力加速度。訊號條件電路對切換電容的輸出訊號進行訊號條件處理後，再經過低通濾波器產生一個輸出電壓，基本上此輸出電壓會和系統所遭受的重力加速度有關。圖 5 為傾斜角和 ADC 輸出的關係，不同的傾斜角會遭受不同重力加速度。

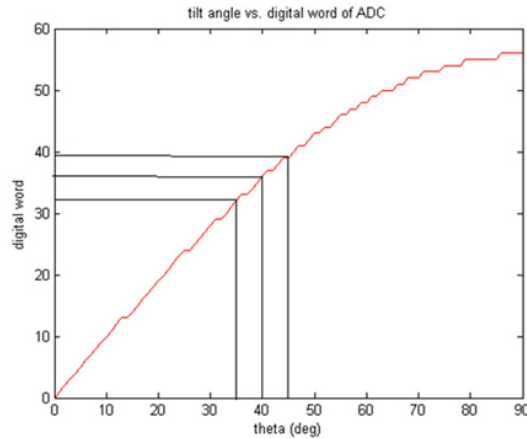


圖 5 傾斜角和重力感測器 ADC 輸出位元的關係

2.2.2 方位推估法 (Dead Reckoning, DR) [17,18]

方位推估法為慣性導航系統 (Inertial Navigation System, INS) 最主要用來定位的演算法。慣性導航系統 (INS) 在進行定位演算時完全以其慣性元件運作，即使無 GPS 導航系統仍然可以提供定位值，其利用力學運動方程式並量測載具目前的行進方向及行進速度，從已知位置推測載具下一個位置點，如圖6所示。

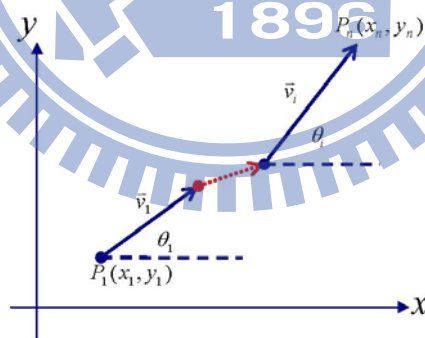


圖 6 方位推估法

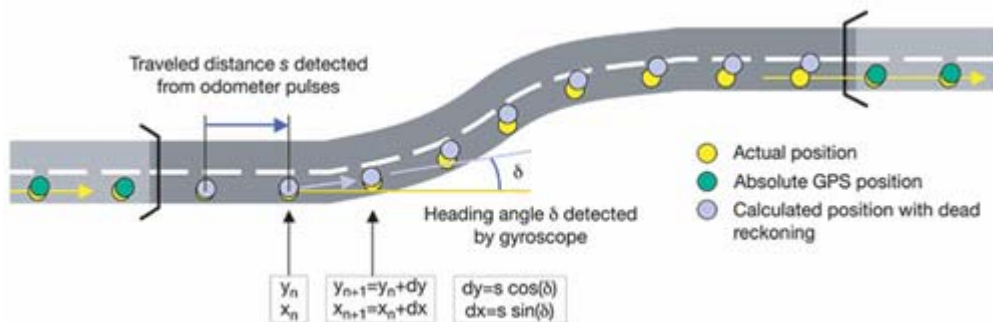


圖7 利用重力感測器來實現方位推估

而其操作可由一個以知位置的參考點 $P(n) = (X_n, Y_n)$ ，則下一點的位置 $P(n+1)$ 可由下列式子所計算出來，見圖7。

$$\begin{aligned} Y_{n+1} &= Y_n + dy \\ X_{n+1} &= X_n + dx \\ dx &= s \sin \delta \\ dy &= s \cos \delta \end{aligned} \tag{3}$$

其中：

(X_n, Y_n) ：位置的 $P(n)$ 二維座標

(X_{n+1}, Y_{n+1}) ：位置 $P(n+1)$ 的二維座標

dx ：X 軸的位移量

dy ：Y 軸的位移量

σ ：利用陀螺儀所偵測出來的方位角 (Heading)

如前述，慣性導航系統有一個主要的缺點，即位移和方位角因為對時間積分的緣故會造成誤差量的累積，時間越久誤差量越大。誤差的來源主要有感測器本身的精確度、類比數位轉換器 (ADC) 量化雜訊、時間刻度等，如圖8。

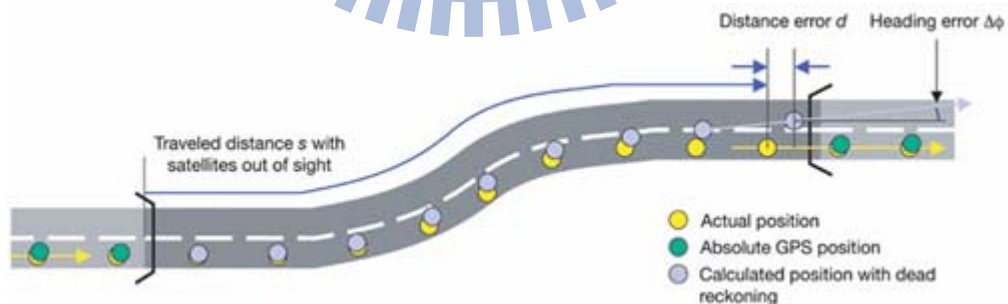


圖8 方位推估的誤差對定位所造成的影響

由上述可知，方位推估法其實是一種累加的過程，隨著慣性感測元件本身誤差的累加，其定位精準度誤差也會越來越大。

2.3 GPS與INS整合系統

在導航定位上，GPS 與INS 各有其獨特之優點。GPS 具全球涵蓋、長時間穩定等優點，而INS 則具有自主性、不易受外界干擾之特性。因此導航系統均採用GPS 與INS 結合二者之優點並彼此互補的特性。整合GPS與INS 有許多優點。例如：INS 的誤差會隨時間之增加而累積，GPS 可以提供位置、速度的修正以限制誤差之增大，圖9 說明此一現象。另一方面，GPS 訊號受到遮蔽、脫鎖、或受其干擾時。INS 的自主性提供位置、速度、姿態足以彌補GPS 訊號中斷或異常之空窗期。因此整合GPS 與INS可以得到較精確、較持續、較平滑及較完整的導航解。

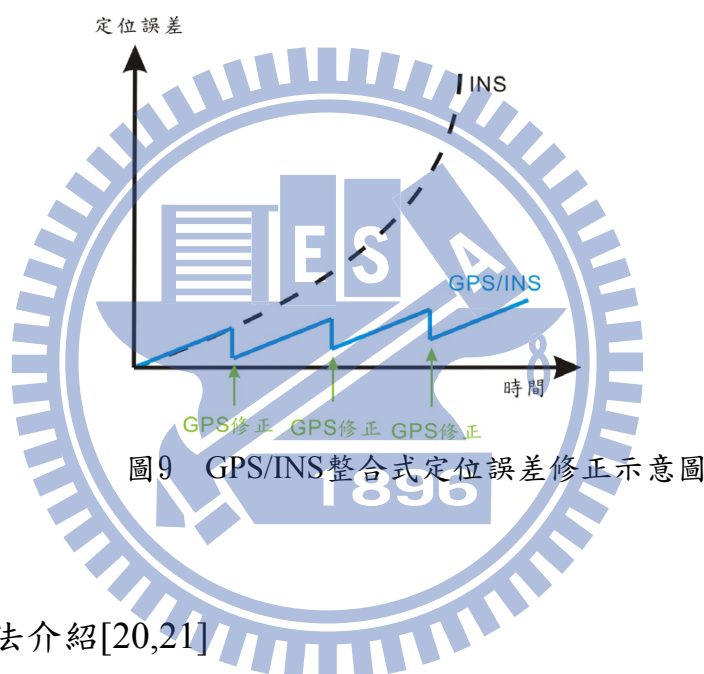


圖9 GPS/INS整合式定位誤差修正示意圖

2.4 最小平方法介紹[20,21]

最小平方法（Least Square method，LS），是找一條曲線（多項式），使所有數據點到曲線的垂直距離的平方總和為最小。若用 (x_i, y_i) 表示數據點， $f(x)$ 是根據最小平方法所畫出的曲線（least squares regression line），它必須滿足

$E = \sum (f(x_i) - y_i)^2$ 的值為最小的條件，其中 E 為縱向距離平方之總和，當 E 為

最小時，也就是使得所有數據點到曲線的垂直距離的平方的總和為最小。

設有 n 個數據點，最小平方法曲線為 $f(x) = mx + b$ ， m 為斜率， b 為截距，皆為未知，待求。則：

由定義知，欲使 $E = \sum (f(x_i) - y_i)^2 = \sum (mx_i + b - y_i)^2$ 為最小，其條件為：

$$\frac{\partial E}{\partial m} = 0 \Rightarrow \sum [-2y_i x_i + 2bx_i + 2mx_i^2] = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial b} = 0 \Rightarrow \sum [-2y_i + 2b + 2mx_i] = 0$$

由上二式聯立可得：

$$\sum y_i = \sum b + m \sum x_i = nb + m \sum x_i$$

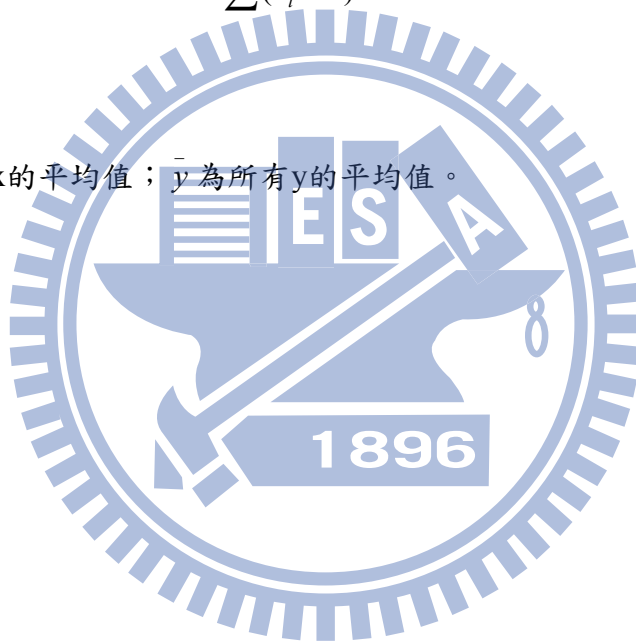
$$\sum x_i y_i = m \sum x_i^2 + b \sum x_i$$

故可得：

$$m = \frac{n \sum x_i y_i - (\sum x_i - \sum y_i)}{n \sum x_i^2 - \sum x_i} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

$$b = \bar{y} - m \bar{x}$$

其中， \bar{x} 為所有x的平均值； \bar{y} 為所有y的平均值。



第三章 實驗內容與方法

經由前面的介紹，我們知道 GPS 的優點在於偏差量不會累積，因此可提供較為準確的定位資訊，其缺點在於容易受到建築物 and 地形地物遮蔽影響造成定位的中斷。而利用重力感測器 (G-sensor) 以方位推估 (DR) 方式的慣性導航 (INS)，不會有 GPS 系統所存在的訊號涵蓋範圍的限制，但因偏移誤差 (Error Drift) 量的累積會造成使用時間越久，偏移誤差越大的現象。

根據牛頓第二運動定律，加速度是指一個物體速度對時間的變化率，而速度則是該物體的位置對時間的變化率。速度即加速度對時間的積分：

$$V_t = \int a_t dt$$

當得知某物體的加速度資訊時，便可利用連續兩次積分將加速度的資訊轉換成位移 (Displacement) 的資訊。

本研究希望藉由 GPS 結合重力感測器的使用；當載具移動時，將感測器所反應出來的平面加速度 (X 軸)，經由積分而得到速度，並與當時 GPS 所接收到的速度作比較，並適時修正感測器所累積的誤差，並將其所得最後之速度曲線與 GPS 本身之速度曲線作比較。

接著，模擬當 GPS 於某段時間失去訊號時，在這期間，本系統如何預測某些修正點及其對應之速度調整值，使得修正後感測器之速度曲線仍接近原先 GPS 正常接收時之速度曲線；其代表意義為，即使短時間的 GPS 失效，僅有感測器的運作，仍能使系統發揮正常定位功能，而達到 GPS 與重力感測器二者優點相互結合之目的。

3.1 實驗裝置

重力感測器原本在 Z 軸就受有地球重力的影響，為減少可能受到的干擾因素，影響實驗結果與分析，本實驗使用嵌入式系統 (Embedded System) 平台整合重力感測器以及 GPS 接收機，並透過 FreeRTOS 嵌入式作業系統所開發的整合程式來同步接收 GPS 與感測器訊號，測試裝置實體 (DUT) 如下圖 10 所示：

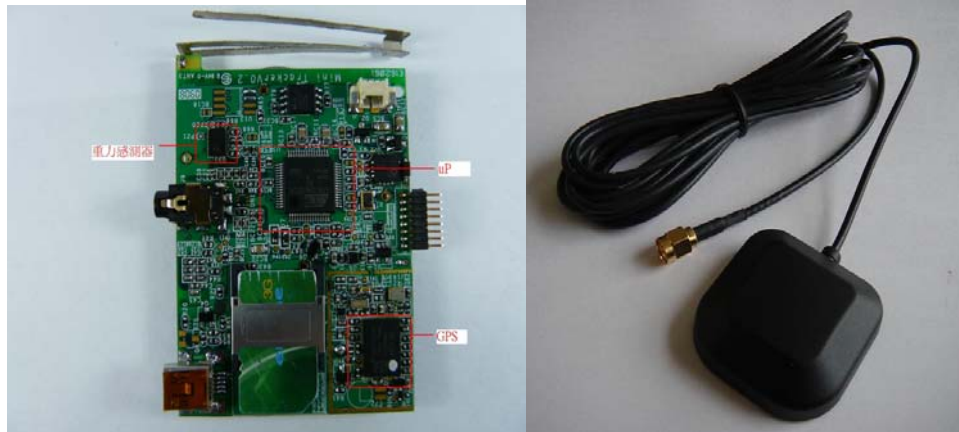


圖 10 實驗裝置

μP : ATMEL-AT91SAW7S128

GPS : SiRF Star III

G-sensor : Freescale-MMA7455L

介面控制：

1. 外接一條主動天線，使 GPS 透過訊號增益，強化其訊號接收能力，並以 1 Hz 的頻率產生定位資訊。
2. Microcontroller 與 GPS 之間以 UART 連接，並以 baud rate 115200 的方式，每秒取得 GPS 的定位資訊。
3. 重力感測器 (G-sensor) 三軸皆以 125 Hz 的頻率偵測加速度的變化並經過內部 A/D 轉換為數位訊號輸出，計算公式為 $1\text{ g} = 64$ 。
4. Microcontroller 經由 SPI bus 讀取重力感測器所感測之數值，乘上 9.81 m/sec^2 並除以 64，即為該軸當時的加速度。
5. Microcontroller 可經由 USB 將所得到 GPS 定位資訊或重力感測器之數值，透過 Hyper Terminal 顯示於電腦上或儲存起來。

3.2 重力感測器控制與校正

從前面所介紹微機電感測器的構造與原理，我們可以知道，當感測器“感覺到”外部的瞬時移動時，其內部必定先有一個相當於 0 g 的參考位準，才可以“衡量”出此時所“感受到”的加速有多大；此為零點位準校正。

另外，考量實際工作時，即使是靜態（未移動）環境下，仍可能因輕微震動、或些微傾斜等環境變因，造成感測器量測所得之數據產生誤差，因此，我們在進行實驗時，必須要採取某些作法，以修正數據的誤差；此為靜態偏差 (Bias) 修

正。

二者皆於靜態環境下施行。所不同的是，前者於使用程式控制時，就必須完成（每次開機，都會自動執行）；後者則於實驗進行時，程序上需執行此一步驟。

零點位準校正：

1. 感測器調為『量測模式』。
2. 從 offset register 讀取量測值。
3. 將讀取值填入 drift register 中，進行 offset compensation。
4. 重複 2~3，直到從 offset register 中所讀取值為 0。
5. 結束校正。

靜態偏差修正：

感測器是用來感應載具姿態的變化情形，然後將輸出的加速度資料對時間積分，因此，若感測器本身存在著偏差，那麼導航誤差便會隨著時間而遞增。在本研究的實驗中，將感測器靜置於平面上一段時間，並取這段時間內的若干筆加速度資料加以平均。因為此時的感測器處於靜止狀態，所以加速度的平均值便是感測器的靜態 Bias。接著將 Bias 從整筆實驗所得的加速度資料中扣除，再利用積分得到修正後的速度曲線。

3.3 GPS 與重力感測器 系統整合

目前GPS在各種動態及靜態的測試定位精度，已經可以達數公尺甚至公分級以下的誤差。然而，在即時定位應用中，由於GPS 訊號仍受到各種人為或環境因素影響，而產生訊號中斷，無法即時定位現象。另一方面，目前慣性導航系統雖可提供連續的各項導航定位資訊，然而系統中感測器的誤差常導致累積性的系統定位偏差，於是整合GPS與重力感測器成為最佳的定位系統架構。

本實驗以汽車為載具並行駛於東西向快速道路。

1. 首先將DUT置於一木板上，並以束線帶綁緊並固定於前座擋風玻璃下方平台。
2. 隨後啟動DUT，本實驗中，GPS的輸出取樣頻率為1 Hz，感測器的工作感應頻率為125 Hz，但輸出取樣頻率亦為1 Hz。

3. 整合實驗結束後，依照前面所述之靜態偏差修正法，將Bias從感測器所量測的加速度中扣除。
4. 資料處理時以GPS的輸出時間為主。將兩者的接收與感應輸出值，以Hyper Terminal記錄並儲存於電腦內，主要目的在於使GPS與感測器的時間相符合。
5. 最後，將感測器的加速度與積分後的速度資料，與GPS的速度作比較，並以GPS的速度作修正。如此，所積分出來的速度資料會和GPS的速度資料接近，而可作為短時間內GPS斷訊時的可靠替代。



第四章 實驗結果與討論

此研究的目標為利用 GPS 之速度資訊，藉由簡單的計算，快速修正感測器的誤差，以達到所需的導航目標。實驗數據以在東西向快速道路直線前進所量測，並以感測器之 X 軸數據為主進行分析。

首先將測試裝置放置於平台上，靜置一段時間，量測此段時間內的感測器靜態偏差值。

在汽車實驗中，先將測試裝置水平放置於車中，由靜止開始加速然後維持一定速，繼續前進，然後煞車停止，並接著開始加速至一定速前進後煞車停止。比較其間GPS速度與感測器量測值偏差情形。

將以上所得之數據以off-line方式進行分析討論，並討論以GPS之速度為參考而調整感測器速度之方法與效果；接著，模擬當GPS於某段時間失去訊號時，於這段時間，本系統如何預測某些修正點及其對應之速度調整值，使得修正後感測器之速度曲線仍接近原先GPS正常接收時之速度曲線。

4.1 重力感測器靜態誤差修正

方式：將測試裝置放置於平台上，靜置一段時間，量測此段時間內的感測器靜態偏差值。

結果：如圖 11，共有 600 筆加速度值，將其依平均法，可得到靜態偏差為：0.137，換算成加速度為： $-0.021\text{m}/\text{sec}^2$ 。此後的車載實驗所得之數據，都會先扣除此一靜態偏差。

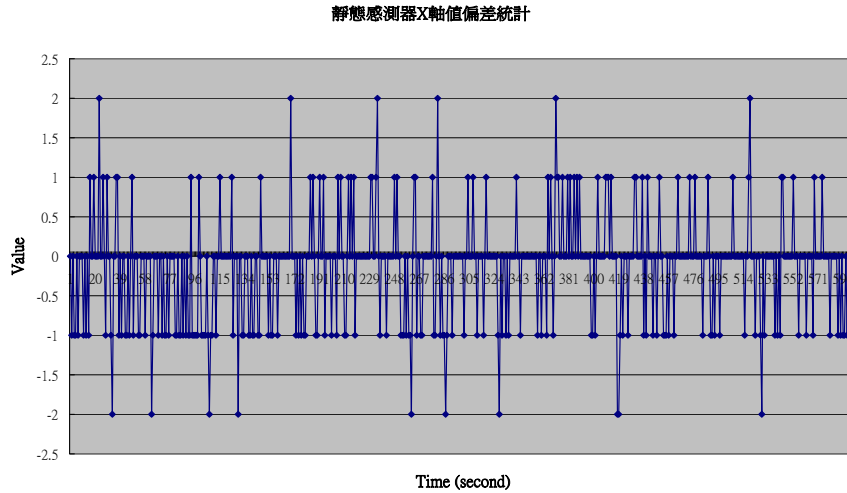


圖11 靜態感測器X軸偏差統計

4.2 GPS與重力感測器 整合測試

4.2.1 實際路測

方式：在汽車行駛實驗中，速度由靜止開始加速至一定速，繼續前進，後煞車停止。接著同樣由靜止開始加速至一定速前進後煞車停止。

結果：從圖12，我們發現實驗開始時，汽車先靜止18秒後，開始加速前進，加速儀在第19秒時，有明顯加速度的變化，反映出車子速度的改變，但GPS的SOG速度，卻在第24秒時，才有明顯變化，因此判定GPS輸出速度有5秒鐘的延遲，有可能為GPS本身運算定位所需的時間較長所造成。

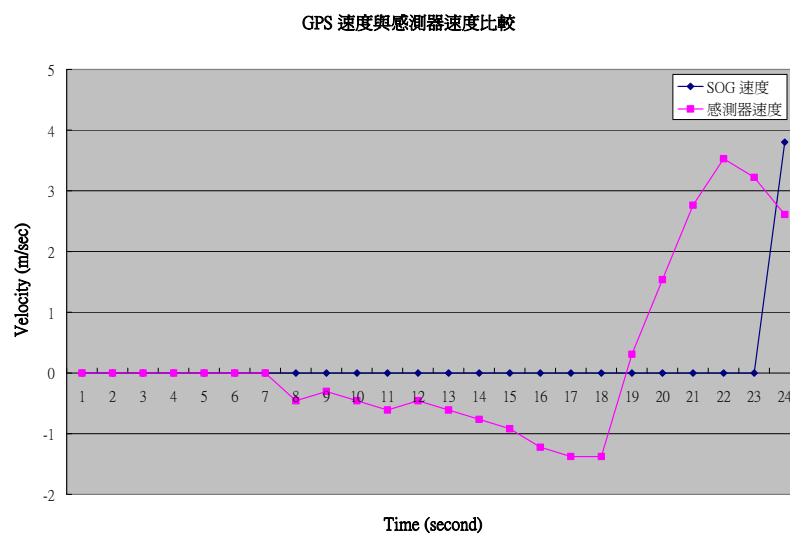


圖12 GPS速度與感測器速度比較

圖13，為感測器未經修正前，加速度經積分後所得之結果與GPS的速度比較。此時感測器量測值未經修正。從圖上可清楚的看出，感測器加速度積分後所得的速度，明顯受到bias值的影響，使整個圖形有偏移的趨勢。參考圖12，0~7秒間有一偏移趨勢，7秒以後又有另外一種趨勢，造成這兩種趨勢的原因為0~7秒時汽車的排檔為N檔(空檔)，而7秒以後則轉為D檔(前進檔)，故可判定在換檔後汽車的引擎震動大幅的傳到感測器上，使得感測器的加速度受到干擾，進而影響bias值。因而此後所討論時間，將從7秒之後開始。

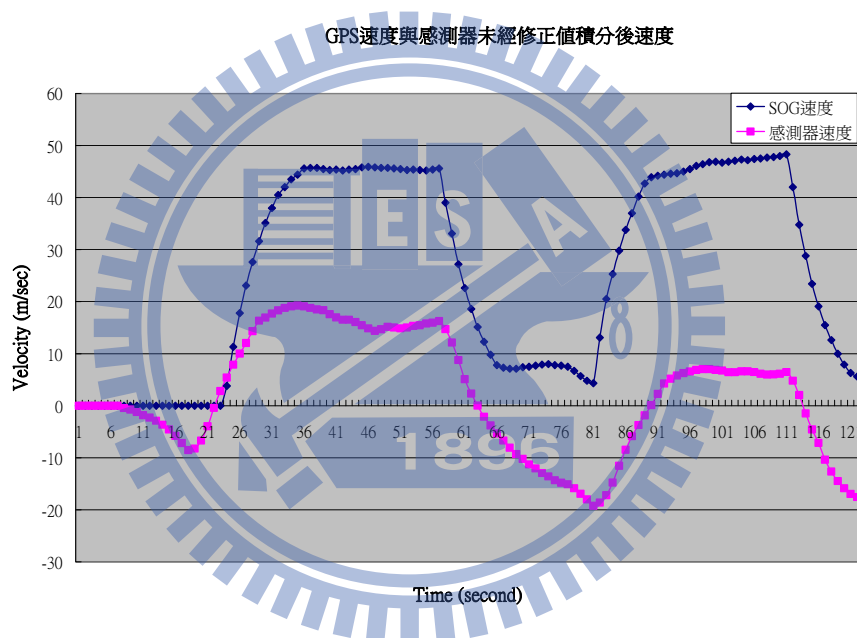


圖13 GPS速度與感測器未經修正值積分後速度

另外，從圖中可發現，除了因為bias所造成的累積誤差致使速度的積分結果偏離GPS的速度外，它的大小變化情形幾乎和GPS速度的圖形一樣。

再參考圖14，為感測器經過靜態偏差修正前與後之比較圖。從圖中可看出，二者在速度的表現上，非常接近。雖然bias不僅是靜態的偏差而已，還有動態上的偏差等；根據圖12和圖13的結果，我們可以大膽的直接使用GPS的速度，來動態修正感測器的動態速度偏差。

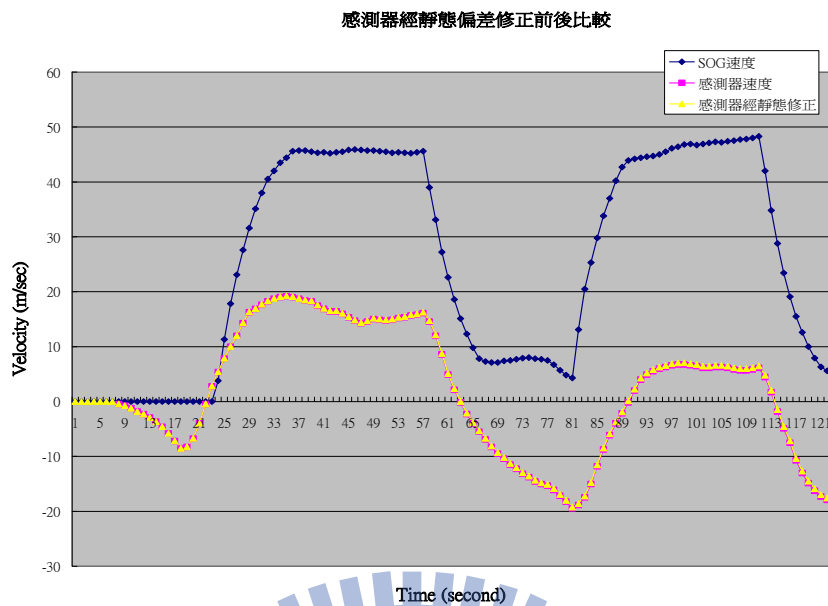


圖14 感測器經靜態偏差修正前後比較

4.2.2 速度差調整

方式：根據感測器加速度積分後的速度變化圖形，與SOG所接收的速度變化圖形十分接近；於是，我們可以將任一時間與GPS速度值有差距的點挑出，直接以當時的GPS速度取代，然後，繼續積分出速度，再重複比較，取代的過程，直到最後。此種速度差之調整法結果如下。

結果：如圖15、16、17所示，分別是使用速度差=1，及速度差=5及速度差=9的結果。其所經過修正的時間點與次數如表3所示。

| 項目 | 修正次數 | 修正點 |
|-------|------|---|
| 速度差=1 | 48 | 24~34, 36, 40, 43, 45, 47, 52, 58~60, 62, 63, 65, 68~71, 73, 75, 81~85, 87, 88, 91, 92, 94, 100, 107, 112~116, 119, 121 |
| 速度差=5 | 13 | 26, 28, 31, 36, 59, 63, 73, 82, 83, 87, 112, 114, 118 |
| 速度差=9 | 8 | 27, 31, 45, 59, 82, 85, 113, 121 |

表3 速度差修正數據

速度差=1之實驗結果，雖然與GPS之速度變化十分接近，表示其修

正的效果十分良好。但考量到實際應用，卻發現其修正次數過多及間隔時間過短，而當GPS遭遇遮蔽而訊號中斷時，將無法提供適時的修正，也達不到和GPS整合之功能。故放大與GPS之差距值，而有速度差=5，速度差=9之實驗產生。由實驗結果可得，當速度差越大，感測器所需修正的次數越少，而時間間格也較大。這當然是很理想的方式，但其修正後之速度變化與GPS的變化相比較，卻又不十分理想。從圖16中，我們可以發現，其偏離較大的部分，都是在加速度開始減緩，也就是車子改為定速時或煞車後之末速和緩移動時。據此，我們可以提出另一種同時考量加速度變化之方法，來改善感測器之速度推估的能力。

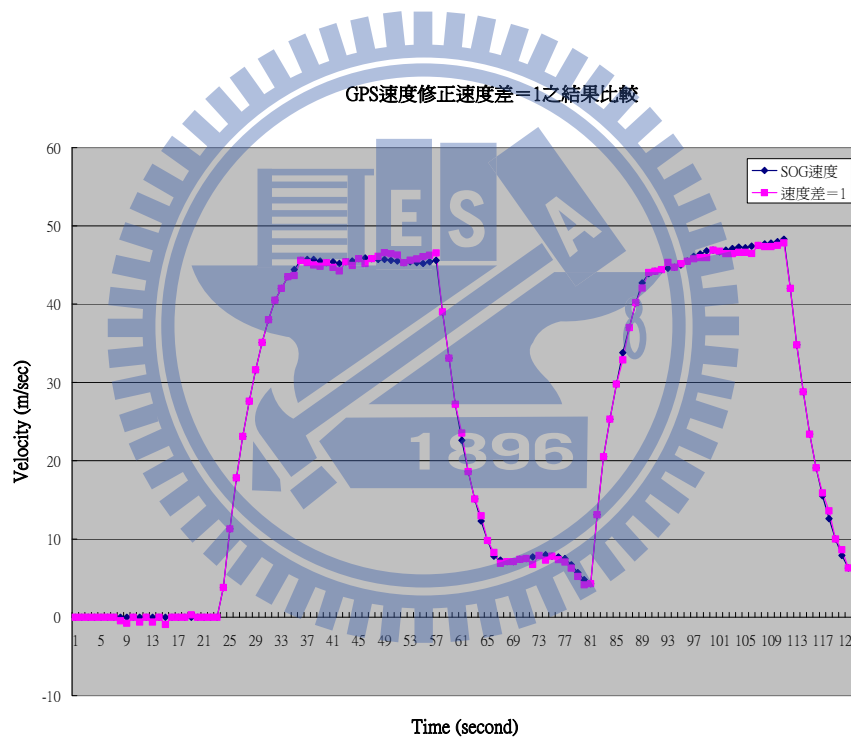


圖15 GPS速度與速度差=1修正結果比較

GPS速度修正速度差=5之結果比較

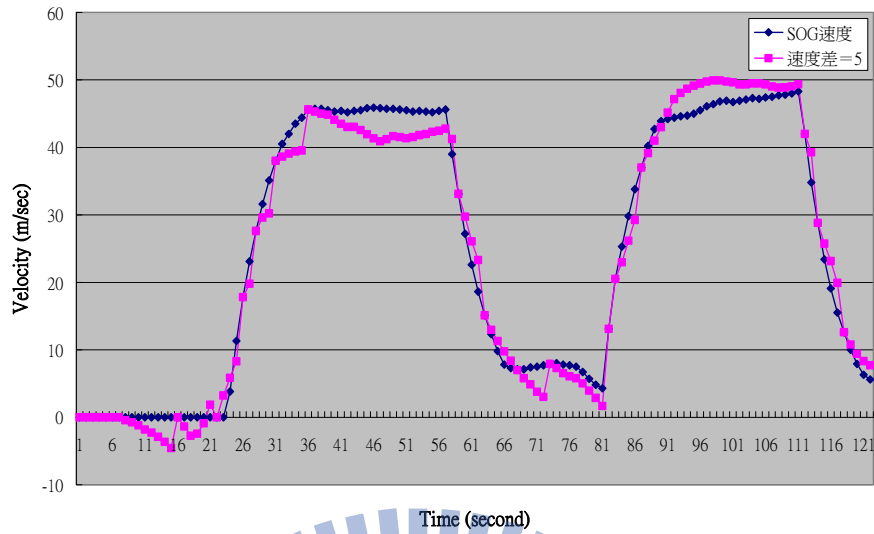


圖16 GPS速度與速度差=5修正結果比較

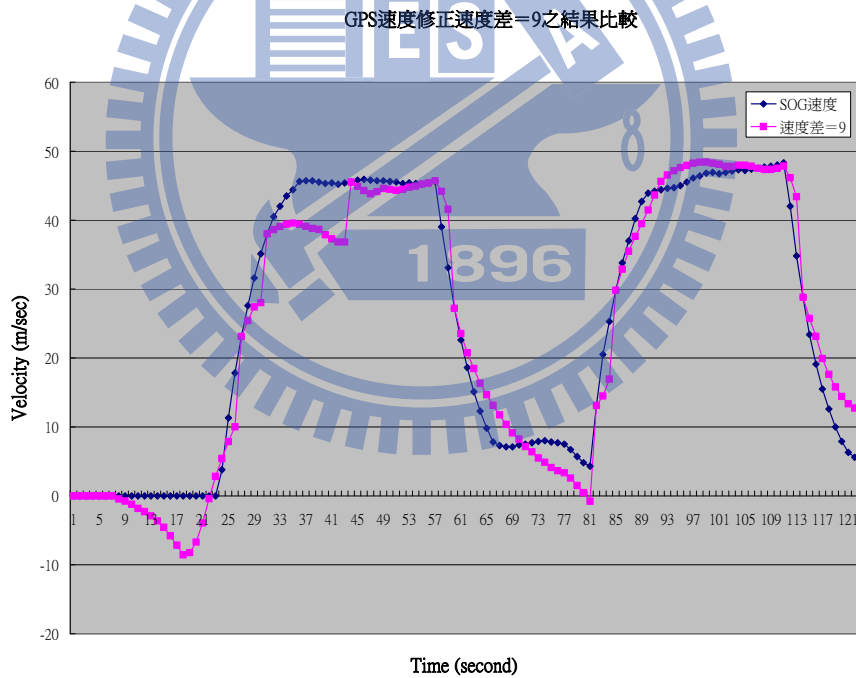


圖17 GPS速度與速度差=9修正結果比較

4.2.3 加速度差調整

方式：除了考量GPS與感測器之間速度的差值條件外，同時考量感測器本身所量測到的加速度變化。本實驗使用的條件為：當連續三次前後之加速度差的絕對值低於 ≤ 1 時，即取用當時的GPS速度值來取代。

舉例說明：當感測器測得一串加速度值為：13, 4, 5, 4, 3, 2, 1, -1, -2, -2 則於 3 這個時間點，應執行速度的修正。

結果：從表4中，利用加速度差的方法，感測器的速度修正次數，比速度差=9的方法多9次，這是因為本方法需同時考慮，速度差=9與感測器本身加速度差此二條件，當汽車行駛時的加速度變化減緩時，會產生符合加速度差條件的情況，所以需修正的次數會增加。

由圖18，與速度差=9的速度圖比較，可以清楚發現，其修正後的速度變化情形，更接近GPS所接收到的速度變化情形。亦即，這方法對於感測器本身存在的bias問題的修正，可以具有十分良好的效果。

| 項目 | 修正次數 | 修正點 |
|----------|------|---|
| 速度差=5 | 13 | 26, 28, 31, 36, 59, 63, 73, 82, 83, 87, 112, 114, 118 |
| 速度差=9 | 8 | 27, 31, 45, 59, 82, 85, 113, 120 |
| 連續3次加速度差 | 17 | 27, 31, 33, 39, 47, 55, 60, 68, 82, 85, 92, 97, 100, 106, 109, 113, 120 |

表4 加速度差修正數據

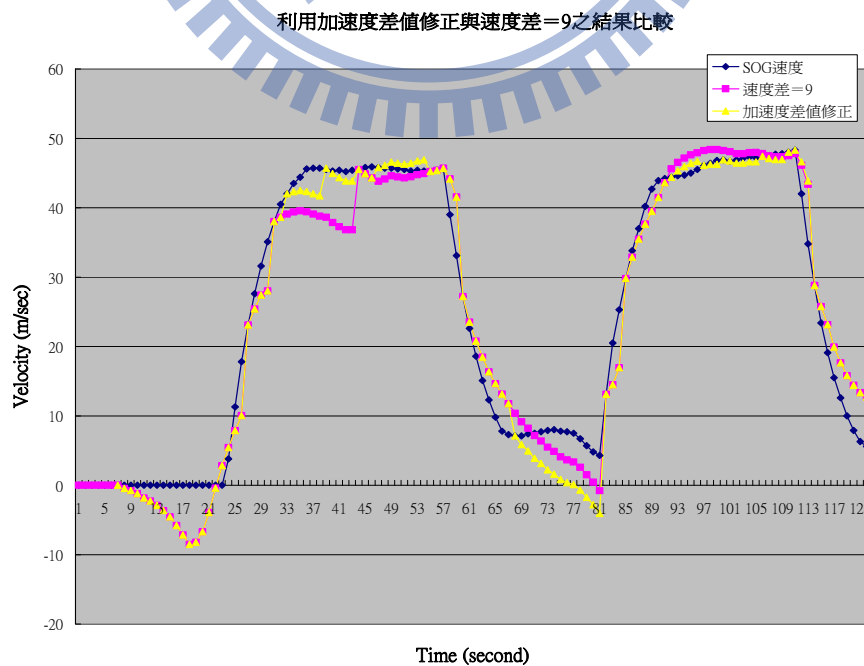


圖18 利用加速度差修正與速度差=9之結果比較

4.3 GPS 斷訊以感測器輔助

在GPS的使用，常因所處環境中的高樓、隧道等遮蔽，造成訊號中斷而無法及時定位。此時，經過速度修正之感測器即可適時補足此缺陷。

本實驗模擬GPS訊號中斷後，以之前經由GPS修正過速度之感測器，經由預測法，預測需修正的點位及其應調整的速度值，所得的結果與原本正常工作的GPS速度曲線相比較。

由圖19，GPS於74秒時接收訊號中斷，所以此後以虛線表示；同時，感測器仍持續反應加速度積分後速度的變化。在74秒之前，由於GPS正常接收衛星定位資料，如4-2所述，分別以速度差=9及加速度差調整感測器，而得此速度變化比較，並做接下來以預測法，預測待調整的修正點及其速度值。

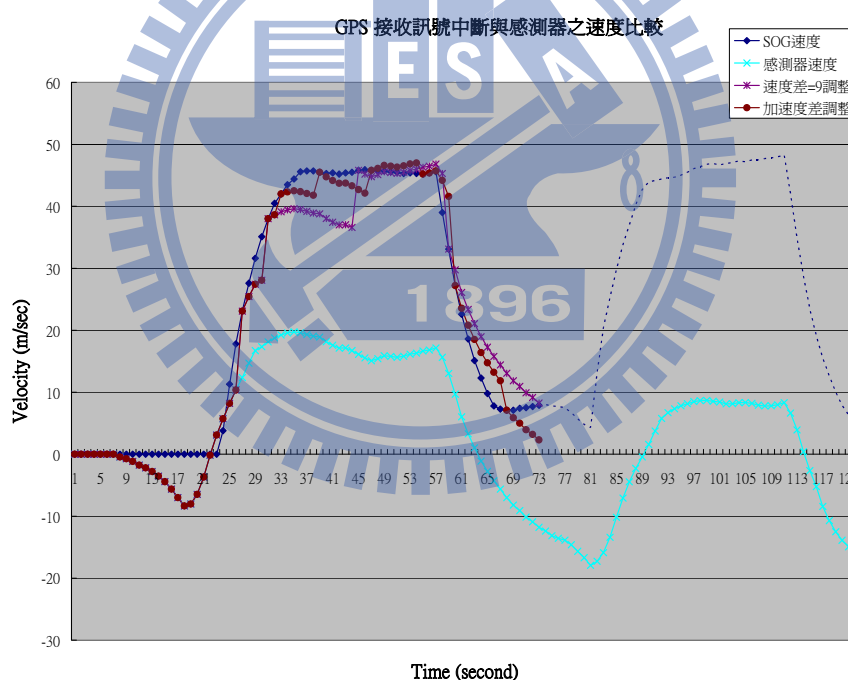


圖19 GPS接收訊號中斷與感測器之速度比較

4.3.1 預測修正點

方式：參考上圖19，使用感測器所量測未經修正的速度曲線，由啟始點開始，一點接一點累加方式，每一次並以最小平方法（Least Square，LS）計算新加入點所形成的新直線之斜率。我們由最後所得之各直線之斜

率變化中，發現：基本上，各斜率值通常以遞增或遞減變化，所以當各斜率之間的差值產生變化時的點或其前後的點，就是我們預測的修正點。

| 修正點 | 參考點 | 速度變化 | 斜率變化 | 斜率差值變化 |
|-----|-----|------|-------|---------------------|
| 25 | 27 | 往上加速 | 遞增→遞減 | -0.21→ -0.03→ 0.03 |
| 30 | 31 | 往上加速 | 遞減 | 0.15→ 0.48→ 0.28 |
| 43 | 45 | 停止加速 | 遞減 | 0.052→ 0.027→ 0.025 |
| 58 | 59 | 往下加速 | 遞增→遞減 | 0.018→ -0.04 |
| 82 | 82 | 往上加速 | 遞增 | -0.04→ -0.03→ -0.04 |
| 87 | 85 | 往上加速 | 遞增→遞減 | 0.07→ -0.03 |
| 112 | 113 | 往下加速 | 遞減→遞增 | 0.04→ 0.03→ 0.04 |
| 117 | 120 | 往下加速 | 遞增→遞減 | 0.08→ 0.09→ 0.08 |

表5 預測各修正點之數據

結果：表5中，參考點欄是由4-2-2的速度差=9實驗所得之原先調整點。比較這些參考點和我們所預測的修正點，如圖20所示，我們所預測的修正點與原先用來調整的點，都相當接近，因此，當74秒後GPS斷訊期間，以LS法所推估出的點，將是我們所要取的修正點。

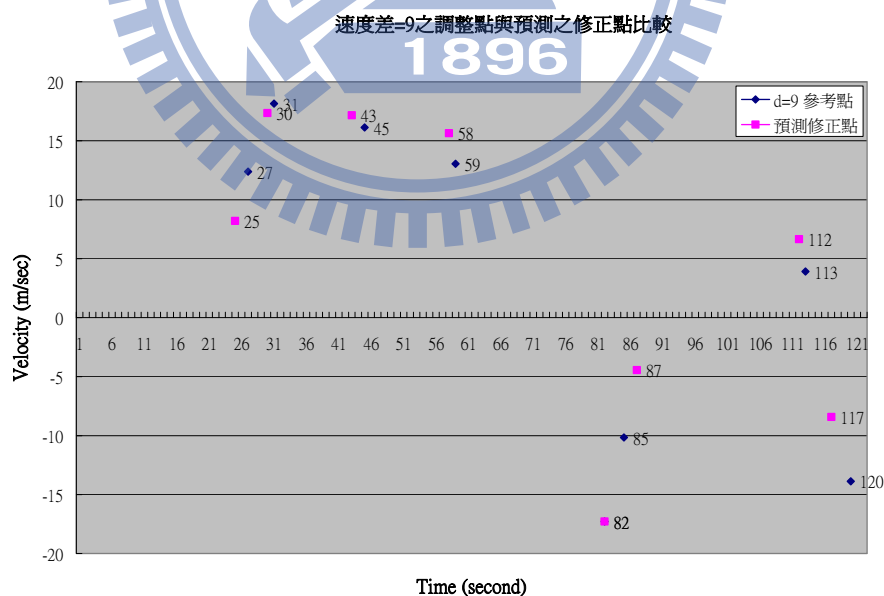


圖20 速度差=9之調整點與預測之修正點對照

故以速度差=9模式，我們預測74秒後，需修正的時間點為：第82秒、87秒、112秒、117秒；同樣的，以加速度差模式，根據4-2-3，

則需額外考慮第92秒、97秒、100秒、106秒、109秒這5點。接下來，我們所要探求的，是在沒有GPS的速度可供參考情況下，各點需要調整的速度值。

4.3.2 預測修正速度值

在4-2中，我們利用速度差=9或加速度差方法，是以GPS的速度（SOG）來取代而調整感測器的速度，使最後結果接近GPS所接收到的速度曲線。在74秒以後，即無GPS速度可參考情形下：

1. 針對每一個預測之修正點，從之前已調整過速度的眾多點中，選擇一個加速度變化相近的點當參考點，並求出此點於速度差=9模式下調整後的值，與此點之GPS速度之差值。
2. 將預測的修正點之速度差=9模式下的值，減去此差值，即為此修正點之虛擬GPS速度。
3. 以此速度為起始，與此後各點（非預測點）加速度做積分而得到速度。
4. 當遇到下一個預測點時，循1~3，直到結束。

如此，便能於缺乏GPS速度參考之下，仍能求得與GPS速度曲線接近之感測器之速度曲線，以輔助GPS斷訊時的即時速度資訊。

方式：速度差=9模式

見表6左方，預測點82及其前後點的數據分別為：感測器所量測之加速度、積分後之速度、以速度差=9方法所量測之速度。觀察點82，正好是從靜止開始加速的第一點，所以我們選擇相同情況之點19為點82的參考點，其各項數據如表6右方所列。 據此，我們可以計算出

$$\text{點82之虛擬 SOG}(82) = 2.77 - (-8.03 - 0) = 10.8$$

此即為點82之速度預測值。

| SOG(82) | | | | SOG(19) | | | |
|----------|--------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| Point | 81 | 82 | 83 | | 18 | 19 | 20 |
| 加速度 | -8 | 4 | 9 | | -9 | 2 | 10 |
| 積分後速度 | -17.91 | -17.28 | -15.88 | | -8.35 | -8.03 | -6.47 |
| 速度差=9之速度 | 2.14 | 2.77 | | | -8.35 | -8.03 | -6.47 |
| SOG | | ? | | | 0 | 0 | 0 |

表6 預測修正點82之數據

同理，對點87，與點82相隔5點，並且由前後點加速度變化相似條件下，可選已知點24為參考點：

所以 $SOG(87) = 23.63 - (5.72 - 3.8) = 21.71$ ，此即為點87之速度預測值。

| | | | | | | | |
|----------|-------|-------|-------|---------|------|------|------|
| SOG(87) | | | | SOG(24) | | | |
| Point | 86 | 87 | 88 | | 23 | 24 | 25 |
| 加速度 | 20 | 17 | 14 | | 21 | 17 | 16 |
| 積分後速度 | -7.08 | -4.45 | -2.28 | | 3.10 | 5.72 | 8.20 |
| 速度差=9之速度 | 21.0 | 23.63 | | | 3.10 | 5.72 | 8.20 |
| SOG | | ? | | | 0 | 3.8 | 11.3 |

表7 預測修正點87之數據

同理，對點112，且根據前後點加速度變化相似條件下，可選已知點57為參考點：

所以 $SOG(112) = 34.73 - (46.82 - 45.6) = 33.51$ ，此即為點112之速度預測值。

| | | | | | | | |
|----------|-------|-------|------|---------|-------|-------|-------|
| SOG(112) | | | | SOG(57) | | | |
| Point | 111 | 112 | 113 | | 56 | 57 | 58 |
| 加速度 | 2 | -11 | -18 | | 2 | -10 | -17 |
| 積分後速度 | 8.32 | 6.65 | 3.91 | | 16.82 | 17.14 | 15.63 |
| 速度差=9之速度 | 36.39 | 34.73 | | | 46.49 | 46.82 | 45.31 |
| SOG | | ? | | | | 45.6 | |

表8 預測修正點112之數據

同理，對點117，可選已知點63為參考點：

所以 $SOG(117) = 18.44 - (21.07 - 15.1) = 12.47$ ，此即為點117之速度預測值。

| | | | | | | | |
|----------|-------|-------|--------|---------|-------|-------|-------|
| SOG(117) | | | | SOG(63) | | | |
| Point | 116 | 117 | 118 | | 62 | 63 | 64 |
| 加速度 | -17 | -21 | -15 | | -18 | -15 | -14 |
| 積分後速度 | -5.22 | -8.42 | -10.70 | | 3.30 | 21.07 | 18.95 |
| 速度差=9之速度 | 21.64 | 18.44 | | | 23.35 | 21.07 | 45.31 |
| SOG | | ? | | | | 15.1 | |

表9 預測修正點117之數據

結果：將上述所得之修正點及其相對應的模擬速度值，代入感測器之加速度變化中，在此速度差=9模式中將呈現如圖21所示。可以發現，此速度差=9模式含預測法所得之結果，已經較圖19感測器之結果，接近實際GPS速度曲線。

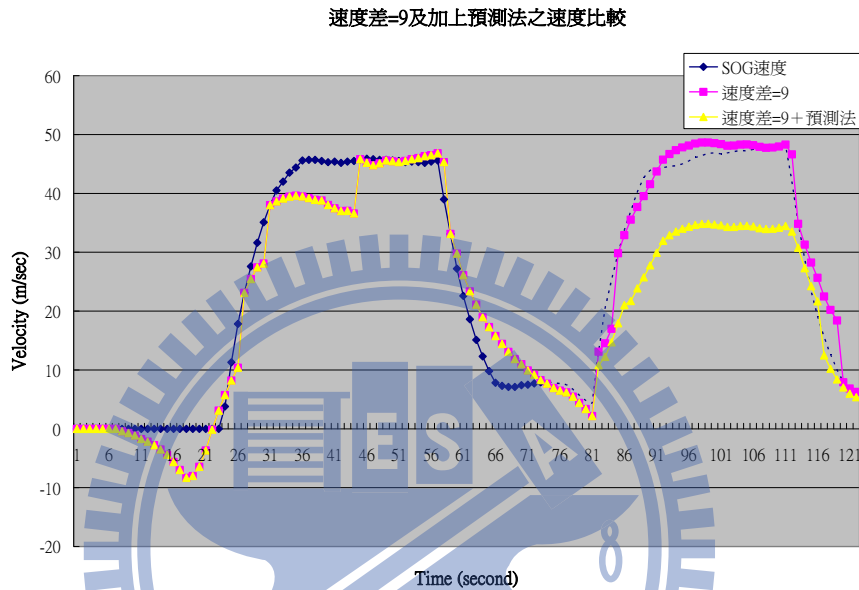


圖21 速度差=9及加上預測法之速度比較

方式：加速度差（含速度差=9）模式

如4-3-1所述，在此模式下，預測之修正點，除上述各點之外，尚有點92、97、100、106、109此5點，皆為當時之加速度差值 ≤ 1 所導致；因此，我們對於各相對應之參考點選擇，除了速度差=9模式中所需條件之外，亦需符合加速度差值 ≤ 1 條件之已知點。

據此，對於點92，以已知點33為參考點，我們可以估計其虛擬 $SOG(92) = 31.93 - (39.11 - 42) = 34.82$ ，此即為點92之速度預測值。

| SOG(92) | | | | SOG(33) | | | |
|---------|-------|-------|------|---------|-------|-------|-------|
| Point | 91 | 92 | 93 | | 62 | 63 | 64 |
| 加速度 | 14 | 13 | 6 | | 4 | 3 | 2 |
| 積分後速度 | 2.17 | 5.77 | 6.71 | | 18.77 | 19.25 | 19.57 |
| 加速度差之速度 | 29.91 | 31.93 | | | 38.63 | 39.11 | |
| SOG | | ? | | | | 42 | |

表10 預測修正點92之數據

對於點97，以已知點39為參考點，我們可以估計其
 虛擬SOG(97) = 37.53-(41.67-45.5) = 41.36，此即為點97之速度
 預測值。

| SOG(97) | | | | SOG(39) | | | |
|---------|-------|-------|------|---------|-------|-------|-------|
| Point | 96 | 97 | 98 | | 38 | 39 | 40 |
| 加速度 | 2 | 2 | 1 | | -2 | -1 | 5 |
| 積分後速度 | 8.15 | 8.48 | 8.66 | | 19.04 | 18.91 | 18.17 |
| 加速度差之速度 | 37.20 | 37.53 | | | 38.63 | 41.67 | |
| SOG | | ? | | | | 45.5 | |

表11 預測修正點97之數據

對於點100，以已知點47為參考點，我們可以估計其
 虛擬SOG(100) = 41.42-(41.68-45.8) = 45.54，此即為點100之速
 度預測值。

| SOG(100) | | | | SOG(47) | | | |
|----------|-------|-------|------|---------|-------|-------|-------|
| Point | 99 | 100 | 101 | | 38 | 39 | 40 |
| 加速度 | 0 | -1 | -1 | | -4 | -3 | 2 |
| 積分後速度 | 8.68 | 8.54 | 8.41 | | 15.53 | 15.10 | 15.42 |
| 加速度差之速度 | 41.56 | 41.42 | | | 42.12 | 41.68 | |
| SOG | | ? | | | | 45.8 | |

表12 預測修正點100之數據

對於點106，以已知點52為參考點，我們可以估計其
 虛擬SOG(106) = 45.21-(46.52-45.3) = 43.99，此即為點106之速
 度預測值。

| SOG(106) | | | | SOG(52) | | | |
|----------|-------|-------|------|---------|-------|-------|-------|
| Point | 105 | 106 | 107 | | 51 | 52 | 53 |
| 加速度 | 0 | -1 | -2 | | -1 | 1 | 2 |
| 積分後速度 | 8.34 | 8.21 | 7.92 | | 15.64 | 15.81 | 16.14 |
| 加速度差之速度 | 45.34 | 45.21 | | | 46.34 | 46.52 | |
| SOG | | ? | | | | 45.3 | |

表13 預測修正點106之數據

對於點109，以已知點55為參考點，我們可以估計其

虛擬SOG(109) = 44.8 - (46.32 - 45.2) = 43.68，此即為點109之速度預測值。

| SOG(109) | | | | SOG(55) | | | |
|----------|-------|-------|------|---------|-------|-------|-------|
| Point | 108 | 109 | 110 | | 54 | 55 | 56 |
| 加速度 | -1 | 0 | 1 | | 1 | 2 | 1 |
| 積分後速度 | 7.79 | 7.81 | 7.99 | | 16.32 | 16.64 | 16.82 |
| 加速度差之速度 | 44.78 | 44.80 | | | 47.02 | 46.32 | |
| SOG | | ? | | | | 45.2 | |

表14 預測修正點109之數據

結果：將上述所得之修正點及其相對應的模擬速度值，代入感測器之加速度變化中，在此加速度差+速度差=9模式中將呈現如圖22所示。可以發現，此加速度差+速度差=9及預測法所得之結果，已經較圖20感測器之結果，又更接近實際GPS速度變化。

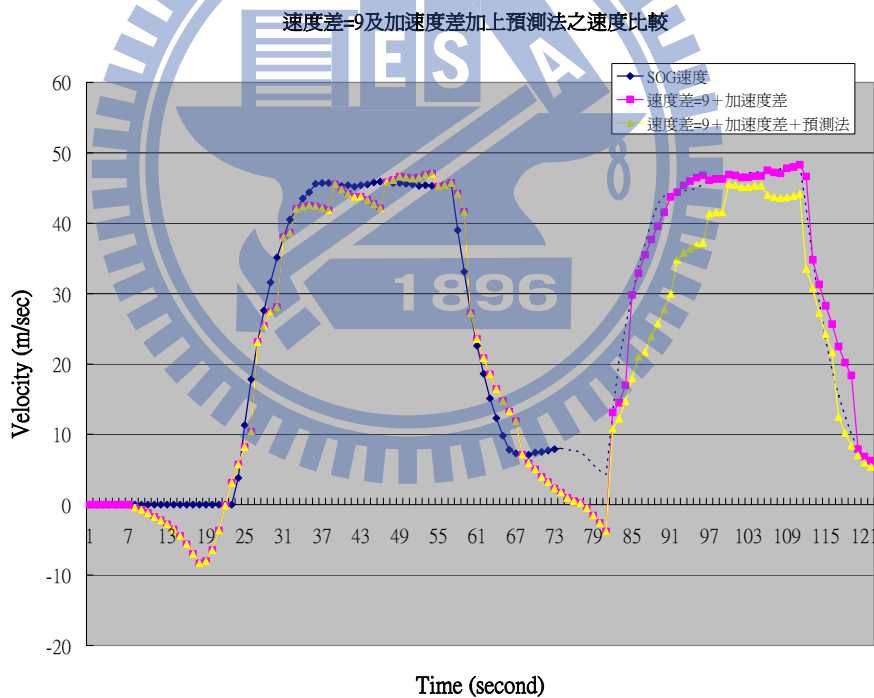


圖22 加速度差 (含速度差=9) 加上預測法之速度比較

第五章 結論與展望

5.1 結論

1. 在重力感測器的系統測試中，使用靜態偏差修正法將靜態Bias從加速度扣除後，對積分後的速度變化影響不大。而長時間使用感測器的狀況下，積分後的速度變化仍然會因為系統性的誤差導致發散。在動態實驗方面，本研究以汽車為載具對感測器進行測試，結果顯示出感測器在移動的過程中，動態Bias會嚴重影響感測器的加速度偏差，進而導致加速度積分後的速度變化誤差。因此，當動態誤差增大時，感測器仍需借助外在的定位系統以進行誤差的修正。
2. 在GPS/重力感測器系統整合測試中，GPS能提供較精確的即時速度給感測器進行誤差修正，使感測器積分後的速度變化誤差不至於發散。而同時使用速度差與加速度差的修正方法，可改善感測器產生比較正確的速度值，也能符合當GPS系統因遮蔽等干擾而暫時無法定位時之輔助。因此，當感測器於戶外使用時，可使用GPS訊號輔助修正其偏差，讓感測器的輸出值更趨近於實際應用。
3. 在GPS/重力感測器系統整合測試中，短時間內，當GPS因訊號中斷而無法提供速度供感測器調整時，系統可根據先前感測器已修正調整之數據，以此為資料庫，預測一些修正點並調整此段時間內速度變化，而達到輔助GPS之效能。

5.2 未來展望

1. 雖然我們可以利用LS法預測出所要的修正點，但是在估算其所需調整的速度值時，相關參考點的選取法則上，目前根據感測器的加速度變化“大致”相近條件判斷；未來，如果做更長時間的實驗，有更多的資料庫可供分析，應該可以找出數據式的方法，來選擇恰當的參考點，而得到較精確的調整值。
2. 本實驗僅討論“X軸”方向的速度變化，GPS接收器所得的數據，

於三軸的精準度上，都有不錯的效果；若是增加其他軸向的實驗，分別搭配不同感測器並加以修正和調整，相信與GPS的整合使用會更加準確和全面。

3. 目前全球在GPS與INS整合系統的發展上，偏重於將INS所感測的資料，與GPS所接收的資料，利用互補的特性以及權重混合(Weighting Mix)的觀念，依據GPS接收訊號的情況調整權重係數來實現導航系統的最佳化；因此，未來此方面的研究，配合某些濾波器來模擬定位的情況，會有更貼和實際的效果。



參考文獻

- [1] Dedes, R. Da G., and Shubert, K., 1996, “Design and Analysis of a high-Accuracy Airborne GPS/INS System,” *Proceedings of the 9th International Technical Meeting of the Satellite Division of The Institute of Navigation (ION GPS-96)*, September 1996, pp. 955–964.
- [2] Gebre-Egziabher, D., Hayward, R. C., and Powell, J. D., 1998, “A Low-Cost GPS/Inertial Attitude Heading Reference System ~AHRS! for General Aviation Application,” *Proceedings of the 1998 IEEE Position Location and Navigation Symposium*, pp. 518–525.
- [3] Berman, Z., and Powell, J. D., 1998, “The Role of Dead Reckoning and Inertial Sensors in Future General Aviation Navigation,” *Proceedings of the 1998 IEEE Position Location and Navigation Symposium*, pp. 510–517.
- [4] Masson, A., Burtin, D., and Sebe, M., 1996, “Kinematic DGPS and INS Hybridization for Precise Trajectory Determination,” *Proceedings of the ION GPS Meeting*, pp. 965–973.
- [5] Bevly, D. M., Rekow, A., and Parkinson, B., 1999, “Evaluation of a Blended Dead-Reckoning and Carrier Phase Differential GPS System for Control of an Off-Road Vehicle,” *Proceedings of the ION GPS Meeting*, Nashville, TN, pp.2061–2069.
- [6] Farrell, J., Givargis, T., and Barth, M., 2000, “Real-Time Differential Carrier Phase GPS-Aided INS,” *IEEE Trans. Control Syst. Technol.*, **8**(4), pp. 709–721.
- [7] Yang, Y., and Farrell, J. A., 2003, “Magnetometer and Differential Carrier Phase GPS-Aided INS for Advanced Vehicle Control,” *IEEE Trans. Rob. Autom.*,**19**(2), pp. 269–282
- [8] Nishio H., Tozu, K., Yamaguchi, H., Asano, K., and Amano, Y., “Development of Vehicle Stability Control System Based on Vehicle Sideslip Angle Estimation,”SAE Paper No. 2001-01-0137.
- [9] Bevly, D. M., Sheridan, R., and Gerdes, J. C., 2001, “Integrating INS Sensors With GPS Velocity Measurements for Continuous Estimation of Vehicle Sideslip and Tire Cornering Stiffness,” *Proceedings of the American Control Conference*, Arlington, VA, pp. 25–30.
- [10] Ryu, J., Rossetter, E. J., and Gerdes, J. C., 2002, “Vehicle Sideslip and Roll Parameter Estimation Using GPS,” *Proceedings of the International Symposium on Advanced Vehicle Control*.
- [11] David M. Bevly, 2004, “A Low-Cost Velocity Sensor for Correcting Inertial Sensor Errors on Ground Vehicles,” *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, Vol. 126, pp. 255-263.

- [12] ISAAC SKOG, "A Low-Cost GPS Aided Inertial Navigation System for Vehicular Applications," *Master of Science Thesis Stockholm, Sweden 2005-03-09*, 2005.
- [13] Georg zur Benson, Daniel Amman, Michael Amman, "Continuous Navigation," *GPS World 2005 Apr*, 2005.
- [14] 吳玉珍, 王穆衡, 何毓芬, "車用導航系統之初探", 交通部運輸研究所, 2001。
- [15] 黃良吉, "GPS與感測器整合於三維地面車輛訂位之應用", 碩士論文, 台灣科技大學機械工程研究所, 2006。
- [16] 趙益生, "基於二維微機電慣性元件定位系統之初步研究", 碩士論文, 成功大學航太研究所, 2004。
- [17] 賴盈霖, "結合GPS/重力感測器/陀螺儀 DR功能進駐導航裝置", 新電子雜誌, 2008。
- [18] 鄭瑞府, "方位推估法應用於雙洞遙控載具之定位誤差分析", 碩士論文, 成功大學水利暨海洋研究所, 2005。
- [19] 黃坤祥, "GPS虛擬距離與加速儀之卡門濾波整合定位", 碩士論文, 台灣科技大學機械工程研究所, 2005。
- [20] "數據分析-最小平方", 東海大學物理系, 普物實驗室。
- [21] 邱韻如, "數據分析與處理-最小平方做圖法", 長庚大學, 普物實驗室。



自 傳

出生年月：民國 55 年 4 月 11 日

從81年投入職場，至今已有17個年頭。

人格特質，誠實面對自己，誠懇與人相待。

個人專長，無線及網路通訊產品軟體研發、整合、測試與部門管理。

生涯規劃，自投入工作職場至今，經歷研發工程師之基礎學習設計、產品開發計畫執行、客戶協調與部門管理等多種層面，在各個階段中獲得不同的成長及體驗；在每一份工作上皆投注了自己的熱忱及創新協調的能力。

之前的每一段訓練，就像是『起、承、轉』的經歷；在人生的下一步，希望能將過去工作上所學習、所體驗到的，應用到未來的工作，達到『合』的境界。

