

## 第十九章：全球衛星定位系統

(一) 發展背景 1957 年美國約翰霍普金斯大學 (John Hopkins University) 開發一套由人造衛星的無線電訊號飄移 ( frequency shift ) 的多普勒系統 ( Doppler Effect )。一套衛星導航的早期系統，用來定出個別的衛星運行軌道參數，計算出個別物體在地球上的位置。美國和蘇聯在 1960 至 1970 年間，開始研究利用人造衛星為空軍及海軍作導航用途。

第二次大戰期間，美國麻省理工學院，無線電實驗室開發精密的電子導航系統，採用以陸上無線電基地為架構的導航系統，利用無線電波的波長及電波到達的時間，以三角定位法 ( Triangulation )，由計算機算出所在位置。雖然誤差值達 1,000 米以上，在 GPS 未現世之前，是大部份飛機和船舶所能依賴的導航裝置。

1958 年 12 月，美國海軍武器實驗室開始建立一套美國海軍軍艦導航的衛星系統，「海軍導航衛星系統」 ( Navy Navigation Satellite System, NNSS )，又稱為「子午儀系統」 ( Transit )，1974 年，美國國防部為軍事定時、定位與導航目的，整合所有導航系統，將美國海軍所開發的 TIMATION ( TIME And navigaTION ) 系統和美國空軍的 621B 兩個系統合併，並改名為「全球衛星定位系統」 ( NAVSTAR / GPS, NAVigation Satellite Timing And Ranging / Global Positioning System )，簡稱為 GPS 以衛星導航為基礎的技術，構成主要的無線電導航系統，滿足導航技術的要求。從 80 年代後期開始，所有 NAVSTAR 系統的運作均歸屬美國運輸部屬下之美國海岸防衛隊負責。現在 GPS 成為美國國家主要導航資訊服務，取代以地面基地為架構的無線電導航系統/導航定位技術。

(二) 系統發展 「全球衛星定位系統」，早期由美國國防部 ( Department of Defence, DoD ) 計劃發展，目的主要針對軍事用途，例如戰機、船艦、車輛、人員、攻擊目標等精確度定位。

GPS 所使用的衛星稱為 NAVSTAR。第一顆 GPS 衛星於 1978 年 2 月 22 日發射昇空。繼阿波羅登月與太空梭發展計劃後，為美國的第三大太空國防計劃。計劃是利用 GPS 衛星發射高精確度電波訊號，提供定時、定位及導航使用，不受電波干擾及時間、地點和天候所影響，提供使用者全天候、即時的位置與時間資訊，所能達到的精度，較高於以往的導航及測量方法。

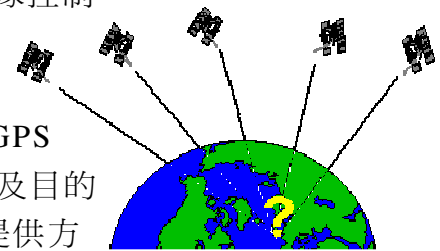
1993 年 12 月 8 日，第 24 顆 GPS 衛星進入太空軌道運行後，GPS 已達到初步操作能力 ( Initial Operational Capability, IOC )，24 顆 GPS 衛星 ( 包含初期測試用的 Block I 與量產型 Block II / IIA ) 提供全球全天候 24 小時定位與導航資訊。

美國空軍太空司令部 ( U.S. Air Force Space Command, AFSC ) 於 1995 年 4 月 27 日宣布 GPS 已達到完整操作能力 ( Full Operational Capability, FOC )，

將 IOC 中的 Block I 衛星淘汰更換，24 顆衛星全部為 Block II/IIA 衛星所組成，成功地滿足軍事實務的操作。

GPS 衛星佈署在離地球表面約 20,200 千米上空的圓形軌道上，採圓形軌道，目的在於可增大地面可見範圍及增強全球均勻覆蓋。它們平均分佈於 6 個軌道面上，每個軌道面上各有 4 顆，呈  $55^\circ$  角傾斜繞行地球運轉，每 11 小時 58 分繞行地球一周，不論任何時間、地點，同時至少有 4 顆以上的衛星出現在我們的上空。

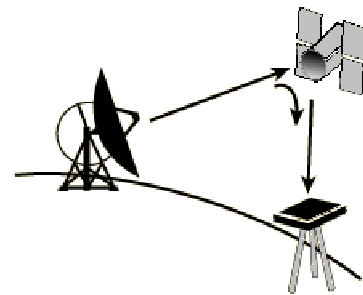
GPS 的運用技術迅速發展，使得民間的應用需求與日俱增，對傳統導航方式更有革命性的影響。GPS 操作簡便、迅速，成果精確，其用途甚為廣泛，除軍事用途外，更大量運用在民用航空、航海、車輛車隊控制、油源探測、大氣、地球科學等，特別是協助交通運輸、環境、生態、森林、地質等資訊之調查管理與土地測量等。目前外國已大量在汽車上安裝 GPS 接收儀並配合電子地圖，以幫助駕駛者找到捷運及目的地，同時如徒步、登山及狩獵者亦可利用 GPS 提供方位讀數。



### (三) 系統概述

全球定位系統架構可分為三部份：

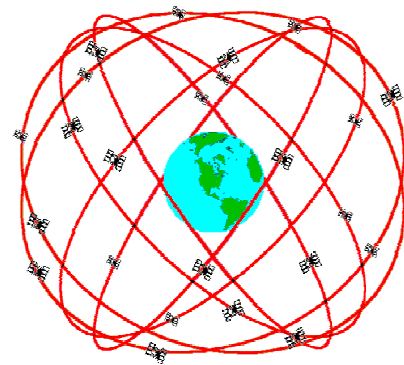
- A. 太空部份 (the space segment) ，
- B. 控制部份 (the control segment) ，
- C. 使用者部份 (the user segment) 。



#### A. 太空部份 (the space segment)

GPS 系統之太空部由 27 顆衛星 (24 顆操作衛星、3 顆備用衛星) 所組成，3 顆備用衛星的功能主要在作為衛星失效時之備用及加強衛星之幾何分佈。在平時，這些衛星也可用於定位，故為主動預備 (active spare) 方式運作。衛星的種類有 Block I、II、IIA、IIR (Replenishment)、IIF

(Follow-on) 五種型號。27 顆衛星分佈於 6 個軌道面上，每個軌道面上至少各有 4 顆，軌道面與另一軌道面上的衛星則相差  $40^\circ$ ，距離地面高度 20,183 千米，軌道平均分隔赤道面，呈  $55^\circ$  傾斜角，繞行地球運轉，離心率小於 0.03，每 11 小時 58 分繞行地球一周，每日可繞行地球 2 周。地面使用者，在全球各地，任何時刻可以同時觀測到 4 顆以上的衛星，以利實施三度空間之定位測量。每個衛星重量約 1,900 磅，太陽能接收板長度約 17 呎，預期壽命為 7.5 年，第 24 顆衛星於 1994 年發射在軌道上。



GPS 定位為被動定位原理，關鍵在於高穩定性的頻率標準。每個 GPS 衛星必須安置高精確的時鐘， $1 \times 10^{-9}$  秒的時間誤差會引起 30 公分的距離誤差（測站與衛星距離），時鐘的優劣主要決定於頻率的穩定性。原子鐘一般能提供高穩定的頻率標準。

每顆工作衛星裝設有四台高精度原子鐘，兩台銣鐘（rubidium atomic）及兩台銫鐘（cesium atomic），並計劃未來採用更穩定的氫原子鐘。GPS 雖然發送幾種不同頻率的信號，但均源於一個基準信號（其頻率為 10.23Mhz），所以只使用一台原子鐘，其餘作為備用。

#### B. 控制部份（the control segment）

GPS 地面監控系統傳送衛星星曆，一系列描述衛星運動及其軌道的參數；依據衛星傳送的星曆，計算得知衛星動態的已知點，提供導航定位。衛星進入軌道運行後，由地面設備進行監測和控制，各種設備之正常運作、運行預定軌道等。地面監控系統還要保持各衛星處於同一時間標準（GPS 時間系統）。地面監控系統監測各衛星的時間，且計算它們的有關改正數，進而由導航訊息傳送給用戶，以確保處於 GPS 時系。

GPS 的操作控制系統於 1985 年 9 月完全運作。整個系統的控制部份包括：

1 個主控制站（Master Control Station，MCS）：

(i) 科羅拉多泉（Colorado Springs）。

3 個地面天線注入站（Ground Antenna，GA）：

(i) 亞欣森群島（Ascension Island）、

(ii) 迪戈加西亞（Diego Garcia）、及

(iii) 馬紹爾群島，夸賈林環礁（Kwajalein）。

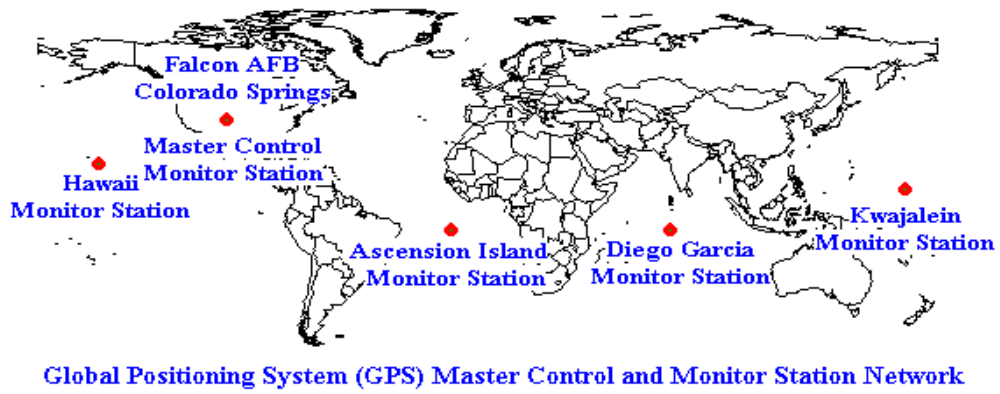
5 個地面監測站（Monitor Station，MS）：

(i) 科羅拉多泉（Colorado Springs）、

(ii) 夏威夷，瓦胡島（Hawaii, Ohau Island）、

(iii) 馬紹爾群島，夸賈林環礁（Kwajalein）、

(iv) 亞欣森島（Ascension Island）、及



(v) 迪戈加西亞 (Diego Garcia) 。

每個監測站均有一部 GPS 雙頻接收儀、標準原子鐘、氣象感測器及資料處理器，監測站座標均經前美國國防製圖局（DMA），現改名為美國國防影像製圖局（NIMA）；精密測量而得。每個監測站，利用 GPS 接收儀，接收 GPS 發出之訊號，24 小時連續追蹤觀測每一顆導航衛星，並將每 1.5 秒之虛擬距離觀測量及觀測所得的氣象資料及電離層資料，聯合求解得每 15 分鐘一組之勻化數據（Smoothed measurements），並將導航資料傳送回主控制站。

蒐集數據：主控制站蒐集各監測站所測得的虛擬距離與積分都普勒（Doppler）觀測值、氣象要素、衛星時鐘和工作狀態的數據及監測站本身的狀態數據。

計算導航訊息：根據所蒐集的資料計算每一顆衛星的星曆、時鐘改正、狀態數據、衛星信號的大氣傳播改正數據，依一定的格式編制成導航訊息，傳遞給地面天線。

診斷狀態：監測整個地面監測系統是否正常運作，檢查傳遞到地面天線將發送給衛星的導航訊息是否正確，監測衛星是否正常傳送導航訊息給使用者。

調度衛星：當 GPS 衛星偏離軌道位置太遠時，主控制站可以對它進行軌道修正。當某顆衛星失效時，主控制站可以調度備用衛星來取代。

### C. 使用者部份（the user segment）

使用者部份所指的是能接收 GPS 衛星訊號及資料處理的接收儀。GPS 的廣泛運用，使用者部份可依不同的目的而有不同的功能、精度的接收儀及應用對象而有所不同的特性。依用途性質，可分為軍用及民用兩種，兩者的差異主要是民用的接收儀無法解譯軍用碼。

定位系統結合電子技術及電腦工業，隨著科技的快速發展，1980 年第一台商用接收儀面世後，定位系統亦隨科技之進步而更新，研究出小巧、輕便、價格低廉，精度又高的迷你新型 GPS 衛星接收儀，大小已縮至與手持計算機一般大小，並成為個人用導航、定位儀器。GPS 產品依照應用場合不同，可以分為袖珍式、背負式、車載式、船用式、機載式、彈載式及星載式等類型。

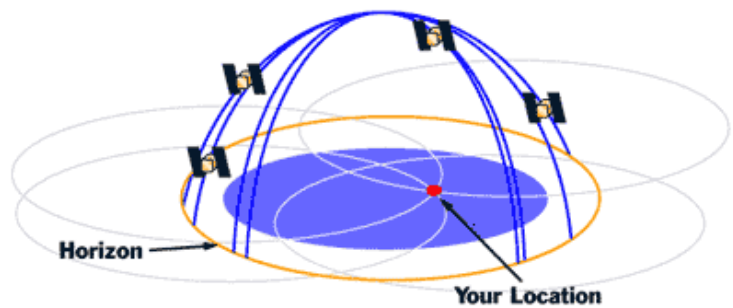
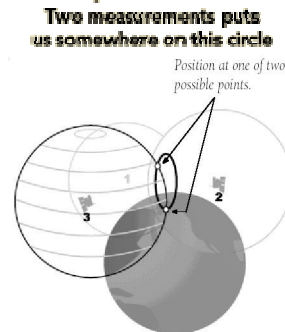
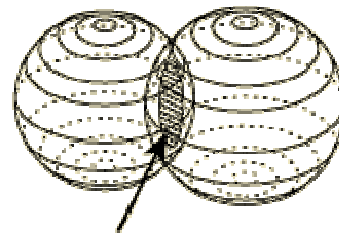
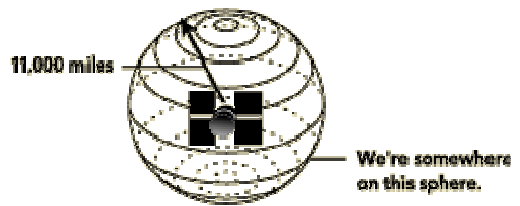
GPS 接收儀之基本結構、GPS 接收儀的類別、GPS 接收儀天線要求及 GPS 接收儀關鍵技術等項分述如下：

GPS 接收儀之基本結構：

- i. 天線及前置放大器；
- ii. 信號處理器—用於信號識別和處理；
- iii. 微處理器—用於接收儀的控制、數據蒐集和計算；
- iv. 訊息傳輸—含操作、顯示器和數據記錄器；
- v. 精密振盪器—用於產生標準頻率；
- vi. 電源。

(四) 定位原理

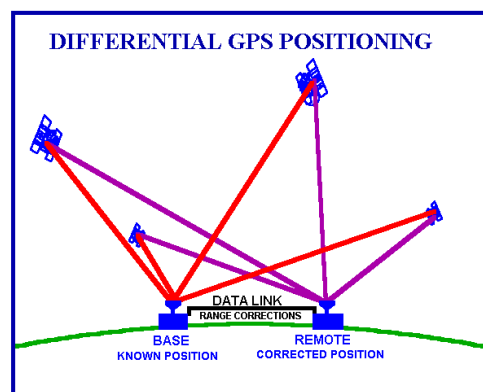
GPS 定位是利用衛星基本三角定位原理，接收裝置以測量無線電信號的傳輸時間來量測距離，以距離來判定衛星在太空中的位置，這是一種高軌道與精密定位的觀測方式。衛星在 11,000 英哩高處，以 11,000 英哩為半徑，首先以此衛星為圓心畫一圓，測量距離，位置正處於球面上。再假設第二顆衛星距離我們 12,000 英哩，而我們正處於這二顆球所交集的圓周上。



現在我們再以第三顆衛星做精密定位，假設高度 13,000 英哩，我們即可進一步縮小範圍到二點位置上，但其中一點為非我們所在的位置極有可能在太空中的某一點，因此，我們捨棄這一點參考點，選擇另一點為位置參考點。

要獲得更精確的定位，必須要再測量第四個顆衛星。以訊號傳輸的時間乘以速度，即是我們與衛星的距離。將此測得的距離稱為虛擬距離，在 GPS 的測量上是無線信號，速度達 18 萬 6 千哩

/Sec 的光速，時間非常短，甚至只要 0.06 秒，時間的測量需要 2 個不同的時錶，一個時錶裝置於衛星上，記錄無線電信號傳送的時間；另一個時錶裝置在接收器上，記錄無線電信號接收的時間，雖然衛星傳送信號至接收器的時間極短，但時間上並不同步。假設衛星與接收器同時發出聲音，會聽到二種不同的聲音，聲音從 11,000 哩遠的衛星傳來，所以會有時間的延遲 (Time Delay)。因此，從延遲的時間和傳送速度，就是接收器到衛星的距離，此即為 GPS 的基本定位原理。



## (五) 差分全球定位系統 (Differential Global Positioning System, DGPS)

### 1. DGPS 定位原理

在導航應用上，由於載具不斷的變動，使得利用載波相位觀測方式定位甚困難，而需採用電碼之虛擬距離定位。在 P 電碼受限制使用，C/A 電碼精度不高的情況下(在 SA 開啓後)，對要求較高精度的導航系統，需要一套系統改善 C/A 電碼定位的精度。DGPS 是針對改善 GPS 利用電碼定位之精度而發展出來的系統。其原理係採用相對定位的原理。對兩不同測點利用差分方式消去大部分共同誤差而獲取較高的精度。

### 2. GPS 的校正

在一個已知位置的點上，建立一個 DGPS 站台(Reference Station)，放一個 GPS 接收器。因為自己的位置已知，所以所有誤差也可以偵察得到。那個 DGPS 站台便利無線電把誤差傳送出去。GPS 的衛星最近也是離開接收者 20200km。而那個造站台的覆蓋範圍有限，我們可以假設在那站台的覆蓋範圍之內，所受到的誤差也是一樣，精確度降到幾米。

DGPS 發送機的設備，將 SA 和大氣層折射帶來的影響降為最低。它是一個固定的 GPS 接收器（在一個勘探現場 100km~200km 的半徑內設置）接收衛星的信號，確切地知道理論上衛星信號傳送到的精確時間是多少，然後將它與實際傳送時間相比較，計算出“差”，這十分接近於 SA 和大氣層折射的影響，它將這個差值發送出去，其他 GPS 接收器就可以利用它得到一個更精確的位置讀數（5m~10m 或者更少的誤差）。

用者只要手持一部可以接收該 DGPS 站台的接收機，便可以得知該區的誤差，從而加以修正。

## (六) GPS 的應用

第一台商用 GPS 接收儀自 1980 年面世後，由於其高精度、快速、經濟、全天候等優點，經多年發展，廣泛運用於不同用途。舉凡需要做地面定位的工作，均可利用 GPS 來達成。

GPS 使用者所使用的接收器可分為單頻及雙頻兩種，雙頻接收器可消除掉大部份的電離層效應 (Ionospheric Effect)，但價格較貴，較不普及。所以一般接收器均使用單頻接收器。

### 1. 地理資訊系統 (Geographic Information System; GIS) :

一套整合性資訊化、完整豐富、率高的地理資料庫，整合各項相關地理資料的作業系統。具有資料擷取、編修、更新、儲存、查詢、處理、分析及展示等不同功能，兼具查詢、顯示、分析、資料管理等。例如：都市資訊系統、土地監控系統、地籍資訊系統、交通資訊系統及環境監控系統、流域管理系統等等。

### 2. 資源調查，土地探測

森林區、山坡地開發查報工作。使用 GPS 可順利導航至可疑之變異點，並直接查詢調閱地籍圖等相關資料以利研判。

### 3. 導航定位：車輛、航空、航海

汽車衛星導航系統，於美國、日本已相當風行。在可預見的未來，所有的飛行器將使用 **GPS** 做導航的標準設備，在飛機起降的時候，無須依賴機場地面的導航設備。

### 4. 大地測量、一般測量

傳統的三角測量，在一些地面三角測量點缺乏，地標不明顯的地方，測量工作是一件困難的工作。**GPS** 定位無須倚仗地面控制點，在沒有遮蔽的情況下，不受地形地物的限制。以 **GPS** 作為測量的工具，大大改善了傳統測量的不便。

### 5. 製圖（電子地圖製作及粗略地形圖製作）

地圖的數化有很多種－將已存在的紙面地圖轉為數位版數位化、或使用掃描器將掃描紙面地圖至電腦中，再進行螢幕數化或自動數位化。可在車輛行進的時候使用 **GPS**，將道路點（Waypoint）記錄下來，製成粗略的數碼化地圖。

### 6. 任務派遣：警政、消防、救護、貨運

將 **GPS** 配合無線電傳輸，將各車輛所在動態位置傳回派遣中心，以利調度工作。如果運用在集體運輸工具，可利於一般大眾於候車時了解班車抵達的狀況。

### 7. 登山定位、山難搜尋

**GPS** 可準確的定位、定向，在開闊的地方使用 **GPS** 定位，配合地形圖可以準確地了解目前所在位置，不會為錯誤判斷而迷路。我們也可將 **GPS** 配合無線電傳輸，將登山人員所在位置傳送至山難搜尋中心，以利救難搜尋工作。

### 8. 精確定時

由於 **GPS** 定位需要非常精確的時間，每顆 **GPS** 衛星上都有精密的原子鐘（Atomic Clocks），所以 **GPS** 接收機可以接收到精確的時間資訊。

### 9. 軍事

**GPS** 發展目的，本來是用作軍事的用途，所以戰機、戰艦、戰車、飛彈、相關軍事人員及攻擊目標物定位，均利用 **GPS** 來達成。

#### （七）GPS 的一般用途及對遠足的應用及影響

**GPS** 接收器根據不同的用途例如航海或航空等而有不同的設計，基本上是一樣。透過特別為陸地使用而設計的接收器，可以配合電子地圖，令使用更加方便，近期出現的汽車導航地圖便是極佳例子。現時一般的 **GPS** 接收器皆有上百的地點記憶，可以將整個行程表預先輸入接收器的記憶內，於行進間隨時使用，行進間亦可以準確計算行進速度，所在位置及高度亦可以即時測知。環球定位系統的實際用途十分廣泛，亦正在不斷發展之中，遠足導航只會是其中的一個小環節。





香港現時使用的地圖網格 WGS84，是現時全世界通用的網格標準，調節 GPS 所需的座標系統，顯示屏上面所出示的是現時的座標、高度、時間等的準確資料，

GPS 在戶外活動應用的優點：

定位系統接收器與傳統的指南針在陸上遠足導航時的優點：

1. 非常準確及快捷；極難發生錯誤；
2. 功能十分強大，用途極之廣泛；
3. 發展潛力極大，可配合電子地圖使用；
4. 夜間使用較方便；
5. 以一般戶外情況來說，不易受外界干擾，包括天氣、磁場及電纜等。

GPS 在戶外活動應用的缺點：

1. 價錢十分昂貴，雖然已降至港幣一千元左右，但仍比一般裝備較昂貴。
2. 現時所有類型之環球定位系統接收器均較為耗電，行進間必須勁常保持開啓，六枚 AA 鹼性電芯只能維持一天左右。在電源短缺後，電子儀器便失去所有功能，所以不能代替傳統指南針在戶外活動的功能。
3. 需要費時學習，由於其功能強大，使用上亦需要更多技巧；
4. 不同牌子及型號的接收器在操作原理上是一致的，但在功能及用法上均有所不同，缺乏一致性，令訓練及使用上皆較傳統的指南針運用來得困難。
5. 重量較大，除接收器外亦要帶備大量後備電池；
6. 因現在之系統，需要接收 3 部衛星的訊號才可發揮系統功能，在室外沒有電波障礙阻擋的地方才可發揮功能，但一般戶外活動的困難不大；
7. 因結構複雜，較難抵抗撞擊；防水能力亦較低；
8. 接收器的技術快速發展，很短時間便會有功能更強、價錢更低的型號出現。