

衛星定位測量

全球衛星定位系統組成

- 全球衛星定位系統（英語：Global Positioning System，簡稱GPS），是美國國防部研製和維護的中距離圓型軌道衛星導航系統。GPS是利用衛星所發射之無線電信號測定點位三維坐標的定位系統，具有地面覆蓋廣且連續、精度高、定位速度快等優點。
- GPS定位由三個部分組成：
 1. 空間部分系統
 2. 地面控制系統
 3. 用戶端設備

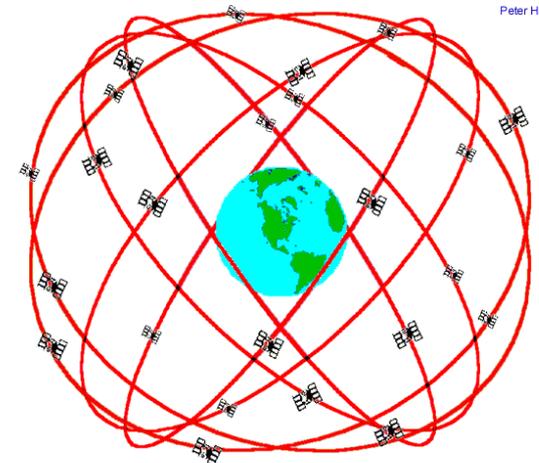


太空部分

- 太空(衛星)部分系統：
 - 六個軌道面
 - 平均高度20200KM
 - 週期11hr58min
 - 原設計21顆正式衛星加上3顆備用衛星(現有31顆在軌)
- GPS衛星：搭載天線與原子鐘，能接收與儲存導航電文、生成與發送定位訊號。



gps.gov

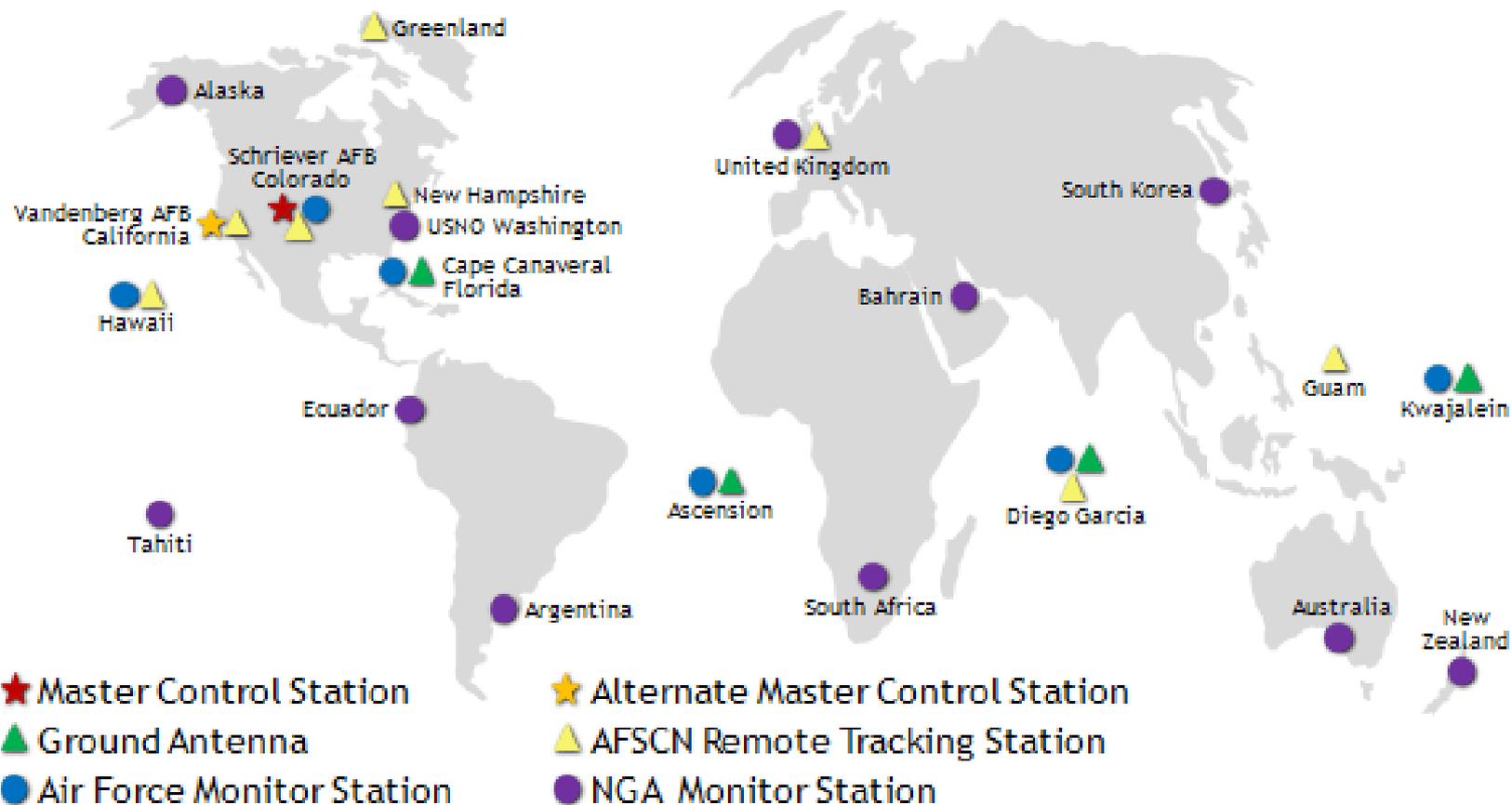


GPS Nominal Constellation
24 Satellites in 6 Orbital Planes
4 Satellites in each Plane
20,200 km Altitudes, 55 Degree Inclination

地面控制

- 地面控制系統：地面控制部分主要由1個主控站 (Master Control Station)、12個地面天線站 (Ground Antenna) 和16個監測站 (Monitor Station) 組成。
- 主控站：位於美國科羅拉多州的空軍基地，為整個地面控制系統的管理與技術中心。功用為管理地面控制系統、收集監控站資料編製導航電文並送至注入站、監控衛星狀態等。
- 監測站：接收衛星數據和當地的環境數據，並將數據傳送至主控站。
- 注入站：將主控站計算得到的衛星星歷、導航電文等資訊注入到相應的衛星。

地面控制



用戶端

- 用戶端設備：由使用者與信號接收器組成。
- 接收器包含天線及處理器。
- 信號接收器主要功用為接收GPS衛星所發出的信號，並利用這些信號進行定位與導航。

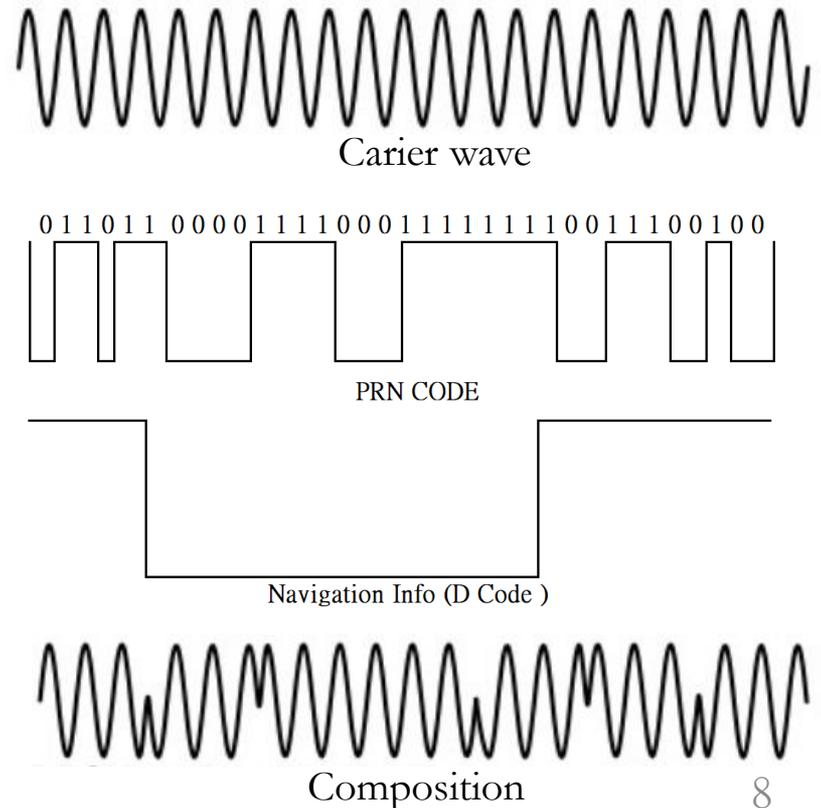
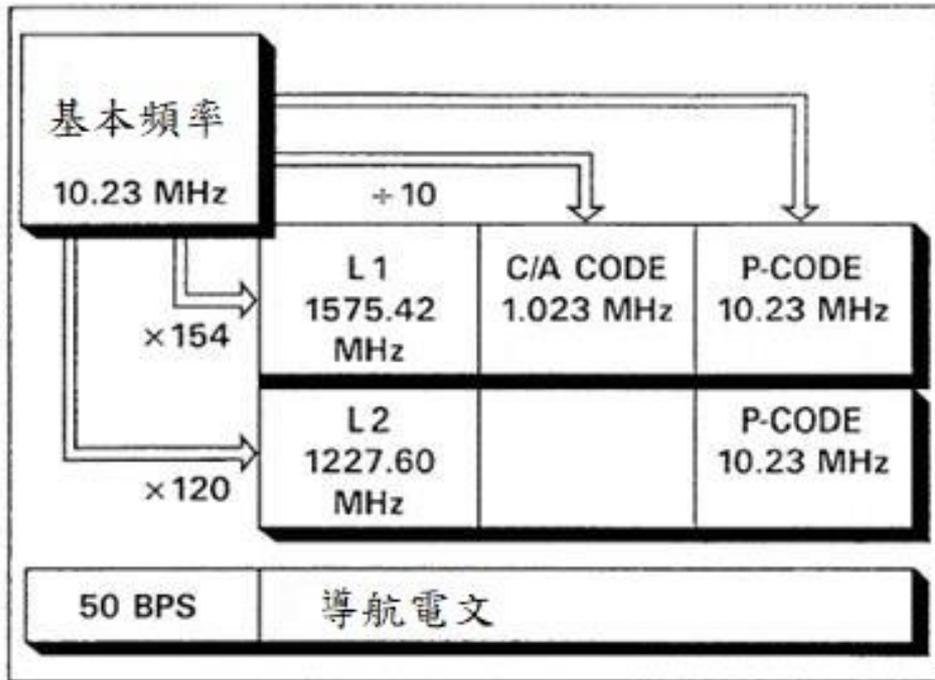


衛星信號組成

- GPS衛星信號的組成部分：
 1. 基本頻率：衛星上的原子鐘直接產生，為 10.23MHz
 2. 載波 (*Carrier*)：包含 $L1$ 、 $L2$ (2010年起開放 $L5$)。雙頻可消除電離層延遲，作為信號的傳輸載體，由於頻率非常高，相應測量精度也很高
 3. 測距碼 (*Ranging Code*)： C/A 碼 (被調製在 $L1$ 上)、 $P(orY)$ 碼 (被分別調製在 $L1$ 和 $L2$ 上)。 C/A 碼又稱粗碼，用來捕獲 P 碼； P 碼頻率是粗碼10倍，精度也是粗碼定位的10倍； Y 碼為 P 碼的加密碼
 4. 導航電文 (*Message*)： D 碼或稱數據碼，包含衛星軌道參數、衛星鐘參數、電離層延遲修正參數、衛星狀態訊息、其他訊息

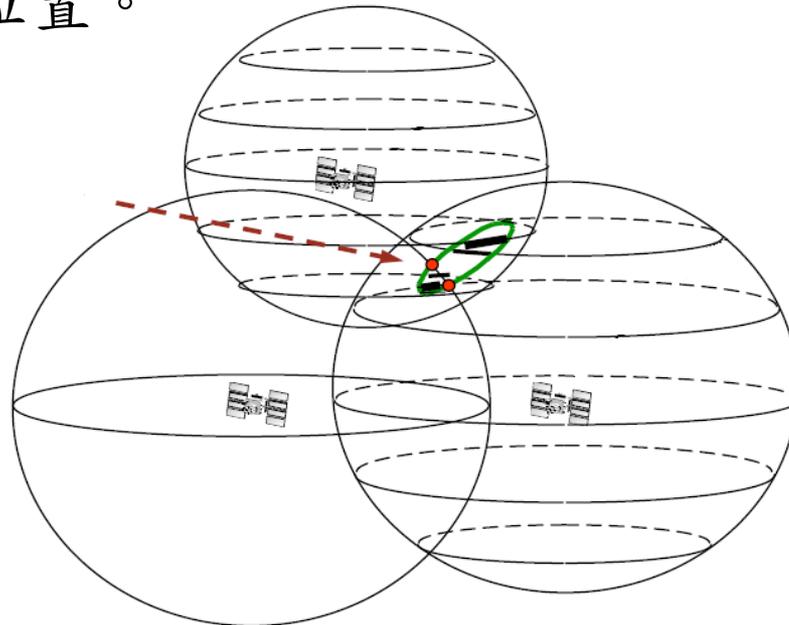
衛星信號組成

- GPS信號結構：



定位原理

- GPS定位原理為觀測GPS衛星所發射之無線電信號，包含虛擬距離或稱偽距(*Pseudo range*)觀測與載波相位觀測。
- 不論採電碼觀測的虛擬距離或是載波相位，皆是以距離交會原理求解接收器三維坐標。只要同時觀測三顆衛星藉以獲得接收器與衛星間的空間距離，並由各顆衛星的廣播星曆算出各衛星空間位置後，利用空間後方交會方式，求解出接收器的位置。



偽距測量定位原理

- 偽距：偽距是指衛星定位過程中，地面接收機到衛星之間的大概距離。假設衛星鐘和接收機鐘嚴格保持同步，根據衛星信號的發射時間與接收機接收到信號的接收時間就可以得到信號的傳播時間，再乘以傳播速度就可以得到衛地距離。然而兩個時鐘不可避免存在鐘差，且信號在傳播過程中還要受到大氣折射等因素的影響，所以通過這種方法直接測得的距離並不等於衛星到地面接收機的真正距離，於是把這種距離稱之為偽距。
- 現已知衛星定位原理為後方距離交會，因此為了解算接受器坐標，需解決兩項問題：
 1. 確定衛星位置：根據廣播星曆計算衛星位置(克卜勒6參數)
 2. 測量接受器與衛星間距離

偽距測量定位原理

- 測量接受器與衛星間距離：

1. 觀測偽距： $\tilde{\rho} = c \cdot \Delta t = c \cdot (t_R - t_S)$

t_R :接收器接收訊號時刻 (接收機鐘)

t_S :信號離開衛星時刻(衛星鐘)

2. 進行接收機鐘與衛星鐘的改正：

設真實時刻 $\tau_R = t_R + \nu_R$ 、 $\tau_S = t_S + \nu_S$

真實偽距： $\rho = c \cdot (\tau_R - \tau_S) = c \cdot (t_R - t_S) + c\nu_R - c\nu_S$

3. 加入電離層與對流層改正：

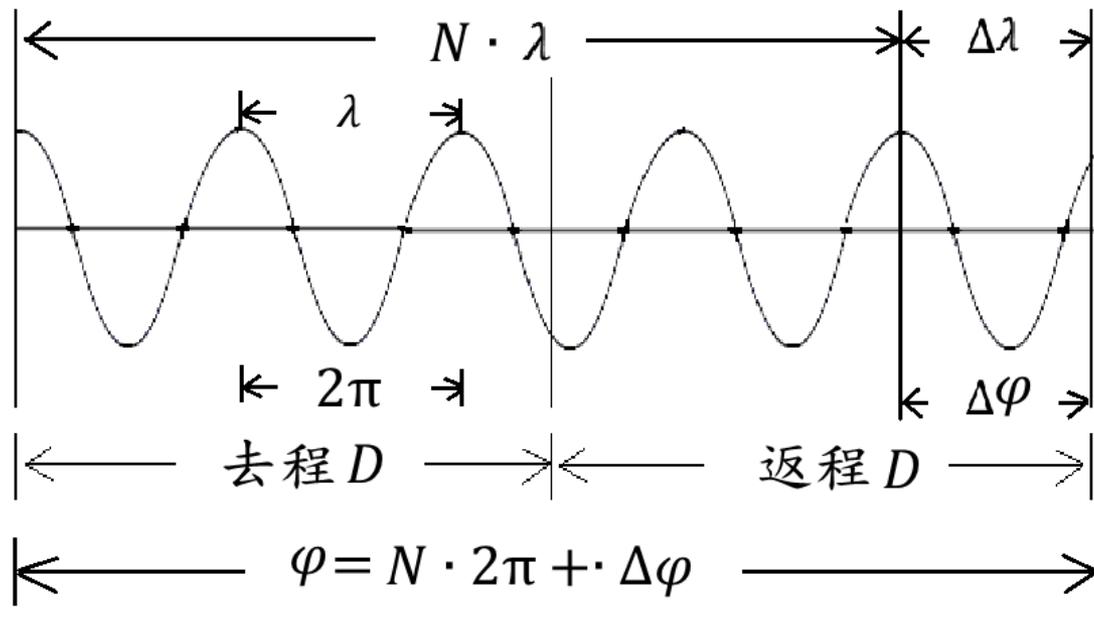
觀測方程式： $\rho = \tilde{\rho} + c\nu_R - c\nu_S + V_{ion} + V_{trop}$

載波相位測量定位原理

- 相位式電子測距儀：

– 調製光全程相位差： $\varphi = N \cdot 2\pi + \Delta\varphi = 2\pi(N + \frac{\Delta\varphi}{2\pi})$

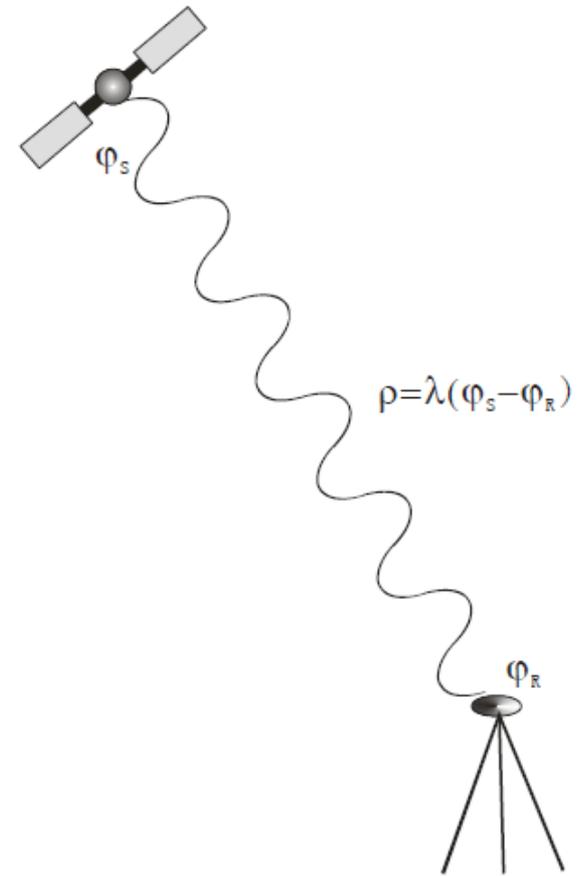
– 測線距離： $D = \frac{1}{2}(N\lambda + \Delta\lambda) = \frac{\lambda}{2}(N + \frac{\Delta\lambda}{\lambda})$



載波相位測量定位原理

- 載波相位測距原理：

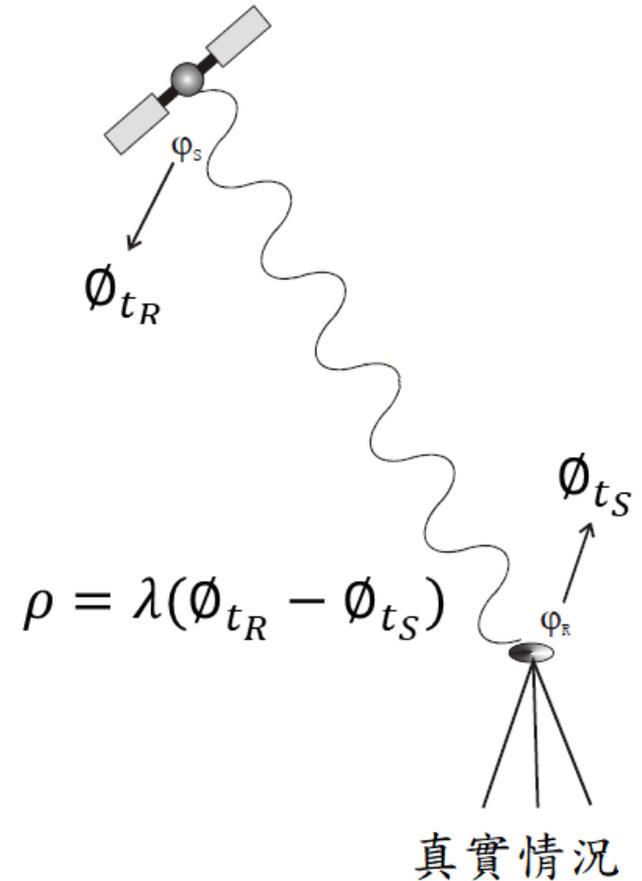
1. 衛星於 t_S 時刻發出信號，相位為 φ_S
2. 接收機於 t_R 時刻接收到衛星信號，
相位為 φ_R
3. 測得距離為 $\rho = \lambda(\varphi_S - \varphi_R)$



理想情況

載波相位測量定位原理

- 載波相位測距實際情形：
 1. 接收機載根據接收機鐘在 t_R 時刻複製信號的相位 ϕ_{t_R}
 2. 接收機根據接收機鐘在 t_R 時刻所接收到衛星於 t_S 時刻所發送信號相位 ϕ_{t_S}
 3. $\rho = \lambda(\phi_{t_R} - \phi_{t_S})$



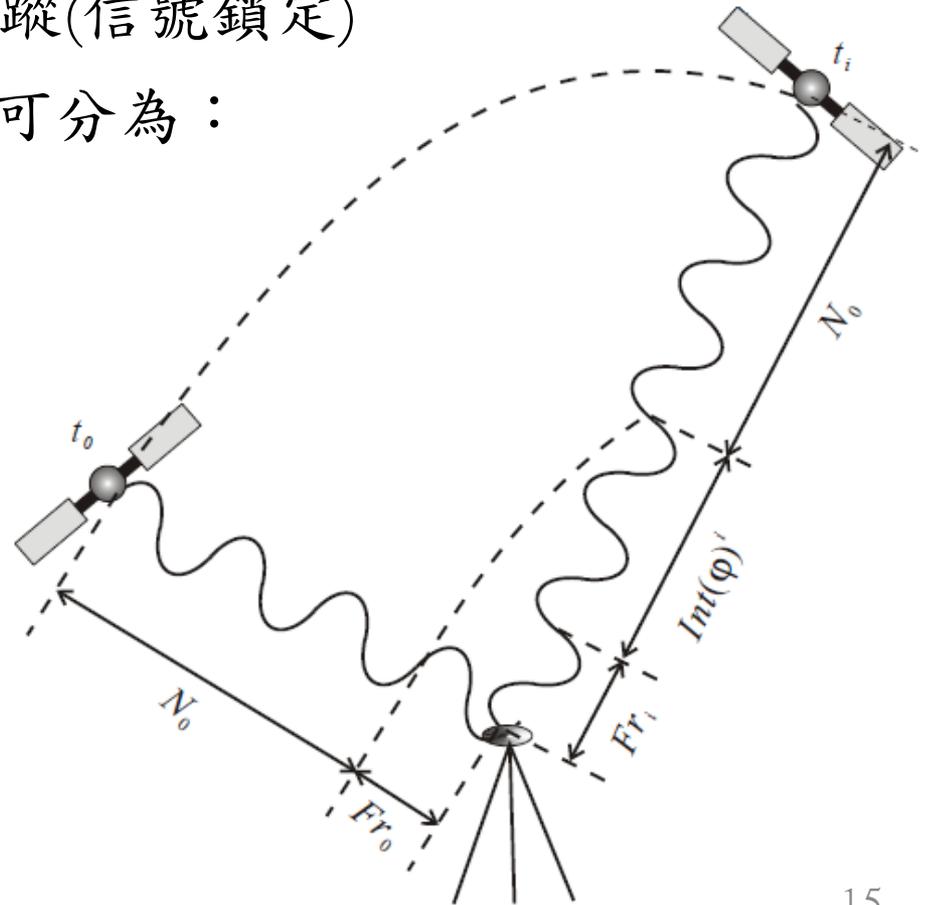
載波相位測量定位原理

- 測量接受器與衛星間距離：
 1. 衛星在起始曆元 t_0 被追蹤(信號鎖定)
 2. 於後任何曆元 t_i 的信號可分為：

$$\tilde{\varphi} = N_0 + \text{Int}(\varphi)^i + Fr_i$$

N_0 :(整)周波未定值

$\text{Int}(\varphi)^i$:整周計數



載波相位測量定位原理

- 載波相位測量特點：
 1. 接收機只能測量載波相位不足整數部分與一段時間內的變化部分。因此每個載波相位觀測值都存在一常量未知數，稱為周波未定值
 2. 接收機保持對衛星連續跟蹤時，載波相位觀測值是連續且均含同一周波未定值
 3. 解算出周波未定值後(偽距法、三差法等)，利用定位原理可透過四顆以上衛星的觀測值求得公分級精度的定位成果
 4. 若追蹤衛星期間因原因失鎖，則信號中斷使計數器無法正常累積，則整周計數即會發生周跳，而需進行周跳修復

載波相位測量定位原理

- 觀測方程式：

$$\text{原：} \rho = \tilde{\rho} + cv_R - cv_S + V_{ion} + V_{trop}$$

$$\text{載波：} \rho = (\varphi_i + N_i) \cdot \lambda_i + cv_R - cv_S + V_{ion} + V_{trop}$$

$$\text{觀測方程式：} \rho = \varphi_i \cdot \lambda_i + cv_R - cv_S + V_{ion} + V_{trop} + N_i \cdot \lambda_i$$

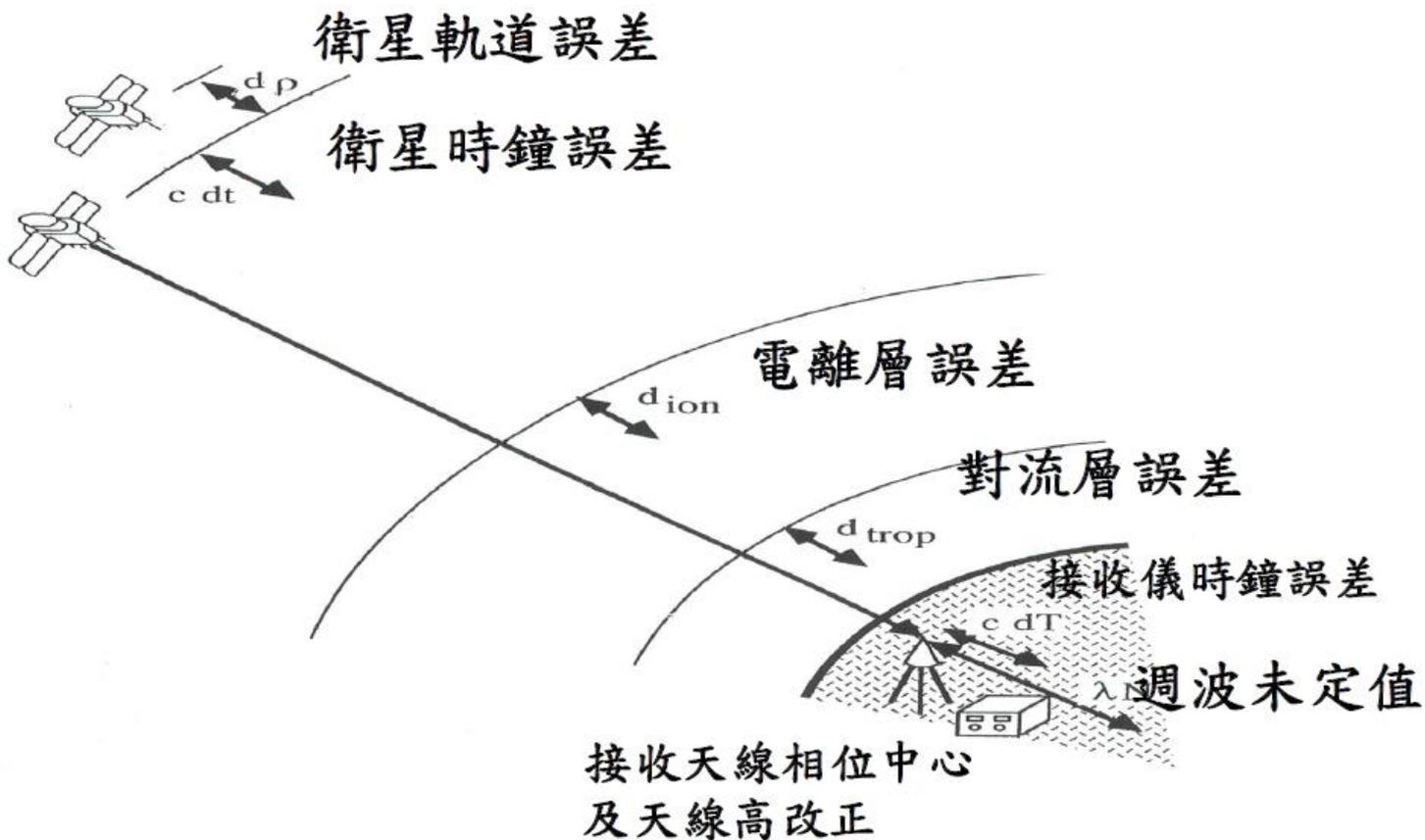
以載波為單位，同除 λ 並將相位移至等號左側：

$$\varphi = \frac{f}{c}\rho - f(v_R - v_S) + N + d_{atm}$$

- 載波相位觀測優點：精度高
- 載波相位觀測缺點：需解算周波未定值並解決周跳問題

誤差來源

- 誤差來源：



誤差來源

- 誤差來源：
 1. 衛星軌道(星曆)誤差：差分消除
 2. 衛星、接收儀鐘錶(相對論)誤差：差分消除
 3. 電離層、對流層延遲誤差：改正模型、差分消除
 4. 週跳(週波脫落)：偵錯
 5. 整週波未定值：解算
 6. 多路徑效應：長期觀測消除
 7. 天現相位中心誤差：自動改正
 8. SA效應：差分消除

誤差來源

- *SA*：選擇可用性政策(*Selective Availability*，*SA*)，是美國為防止敵對方利用全球定位系統危害美國的國家安全，利用在衛星的廣播星曆中人為地加入誤差（即所謂的 ϵ 技術）和以及使衛星鐘頻產生快速抖動（所謂的 δ 技術），從而降低*C/A*碼單點實時定位的精度。
- 隨著*GPS*產業的發展以及差分*GPS*技術產生，*SA*政策的實施受到多方面的挑戰。故2000年5月1日，美國政府停止了*SA*技術。
- *AS*：反電子詐欺(*Anti - Spoofing*，*AS*)，在*P*碼上加上*W*碼，加密形成*Y*碼。

衛星定位測量方式

- 衛星定位方式分類：

1. 定位模式：

- 單點定位
- 相對定位
- 差分定位

2. 接收機天線運動狀態

- 靜態定位：

天線相對地固坐標系靜止

- 動態定位：

天線相對地固坐標系運動

3. 獲得定位結果時間：

- 後處理定位
- 即時定位

4. 觀測值類型：

- 偽距測量
- 載波相位測量

單點定位

- 單點定位：利用一台接收機確定該點於地固坐標系中絕對位置，定位結果與所用星曆同坐標系統(WGS84、ITRF)。優點為觀測與數據處理簡單、可即時定位，缺點為精度受系統誤差影響相當低，較適用低精度導航。
- 精密單點定位：觀測載波相位並使用精密星曆及較複雜的改正模型，精度約可達數十公分。
- 進行單點定位時，定位精度取決於：
 1. 觀測衛星在空間的幾何分布(精度因數)
 2. 觀測量精度
- 精度因數 DOP (*Dilution of Precision*)：與衛星空間分布有關，亦稱圖形強度因數。假設觀測站與四顆衛星圍成的體積為 V ，則 $GDOP$ 與 V 成反比，即體積越大，因數越小，定位精度越高。

相對定位

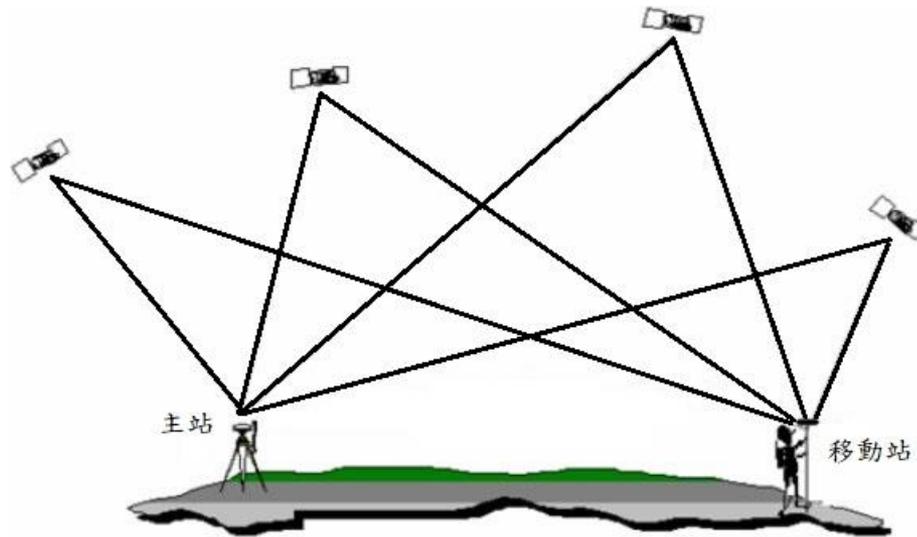
- 相對定位：決定同步觀測的接收機間相對位置的定位方式，定位結果為與所用星曆同一坐標系統之基線向量及精度資料。優點為觀測精度高，缺點為需多台接收機同時作業、且數據處理複雜、無法獲得絕對位置。一般應用於高精度測量定位與導航。
- 基線向量：含有兩個方位基準(水平與垂直)、及一個尺度基準，不含位置基準。
- 相對定位原理為透過不同接收機對相同衛星的觀測方程式進行線性組合，藉以消除或削弱誤差，提高定位精度。

相對定位

- 相對定位類型：
 1. 靜態定位：
 - 普通靜態：觀測時間約1小時，精度達公分級
 - 快速靜態：觀測時間約8~20分鐘，透過解算法快速解出周波未定值
 2. 動態定位：
 - 普通動態
 - 即時動態：結合無線通訊設備，搭配已知坐標的固定參考站，搭載 *OTF(On - the - Fly)* 相位未定值演算法與差分技術即時解算移動物體的位置

RTK

- 載波相位差分定位(即時定位動態定位) *Real – time kinematic, RTK* 技術維為即時處理兩個測站(主站及移動站)的載波相位觀測量，並即時提供移動站公分級精度三維坐標的衛星定位技術。
- 主站將載波相位觀測值與坐標傳送給移動站，移動站除了接收主站資料外，本身也同時觀測衛星之載波相位觀測量，透過主站與基準站間的空間相關性，組成差分觀測值，並解算出移動站坐標。
- *RTK* 定位精度與主站與移動站間的觀測環境相關性有關，因此 *RTK* 定位精度隨站間距離增加而下降。



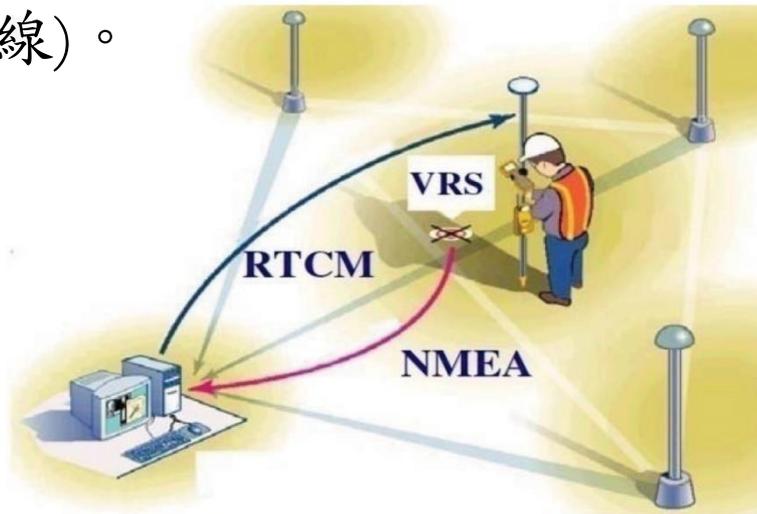
e – GNSS

- *e – GNSS*：又稱網路RTK、虛擬主站即時動態定位系統。由GNSS衛星定位基準網、控制與計算中心以及移動站用戶組成。
- 透過即時傳輸建置於全國各地之衛星定位基準站每天24小時每1秒之連續性衛星觀測資料，經由控制及計算中心對於各基準站衛星觀測資料之整合計算處理後，只要在可以同時接收5顆GPS衛星訊號的地方，都可以利用GPRS等無線上網的方式，在極短的時間內，獲得高精度之定位坐標成果。

$e - GNSS$

- $e - GNSS$ 原理：

1. 計算中心利用均勻分布基準站(追蹤站)的觀測資料運算生成誤差模型。
2. 用戶端將移動站近似坐標傳送給計算中心。
3. 計算中心將用戶近似坐標作為虛擬主站，計算該點各項改正數並將其改正數與虛擬主站的虛擬載波相位觀測值傳送給用戶端。
4. 用戶端利用該虛擬主站位置及虛擬觀測值進行RTK定位(超短基線)。



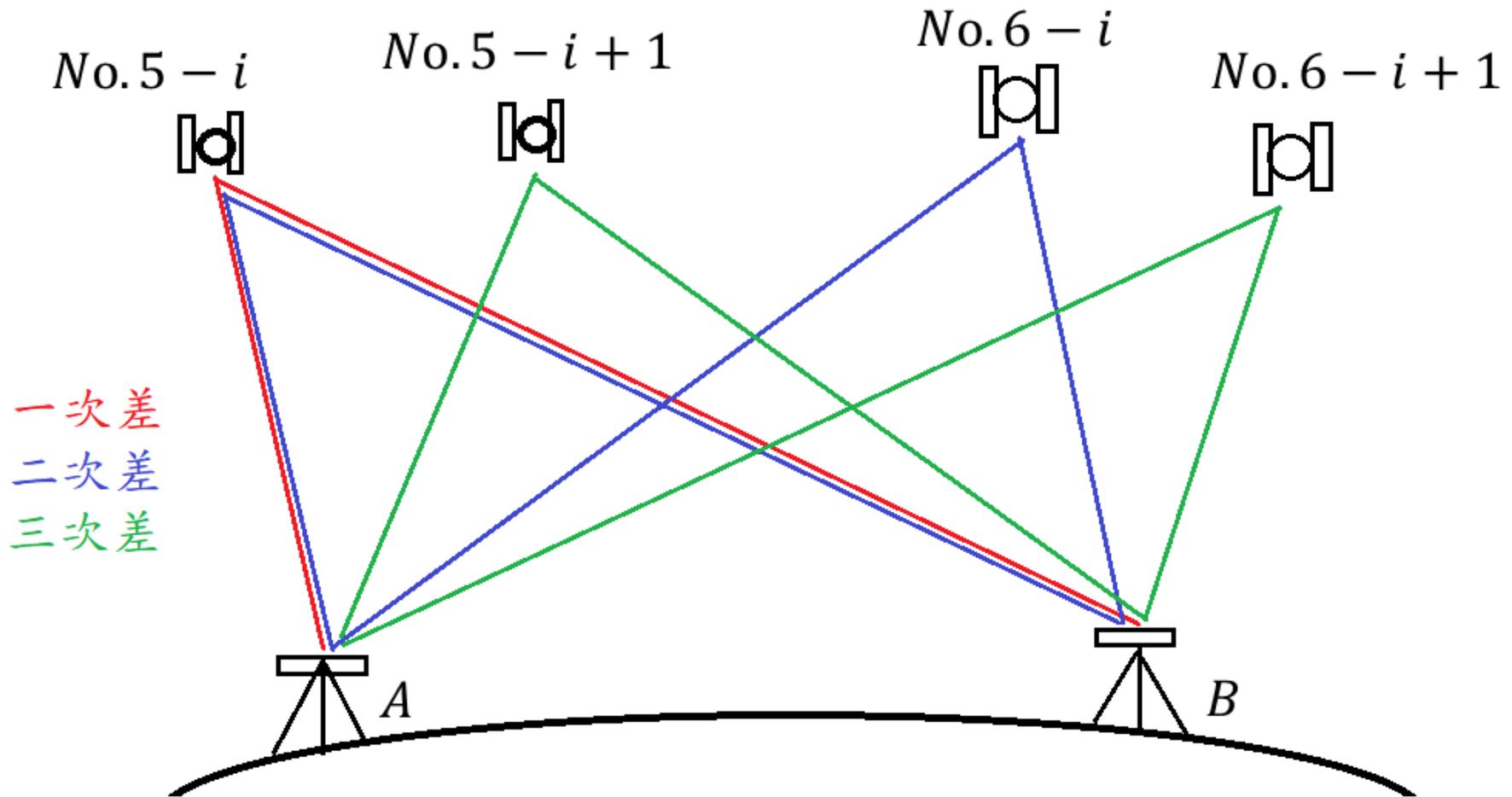
差分定位

- 利用設置在已知坐標點(基準站)上的接收機測量定位誤差，並將其改正量發送或組成新的組合觀測值，藉此提高在一定範圍內其他接收機定位精度的方式。
- 依照改正數內容分類可分為：位置差分、偽距差分與載波相位差分。
- 根據追蹤站布設可分為：單站差分、局部區域差分、廣域差分。

差分定位

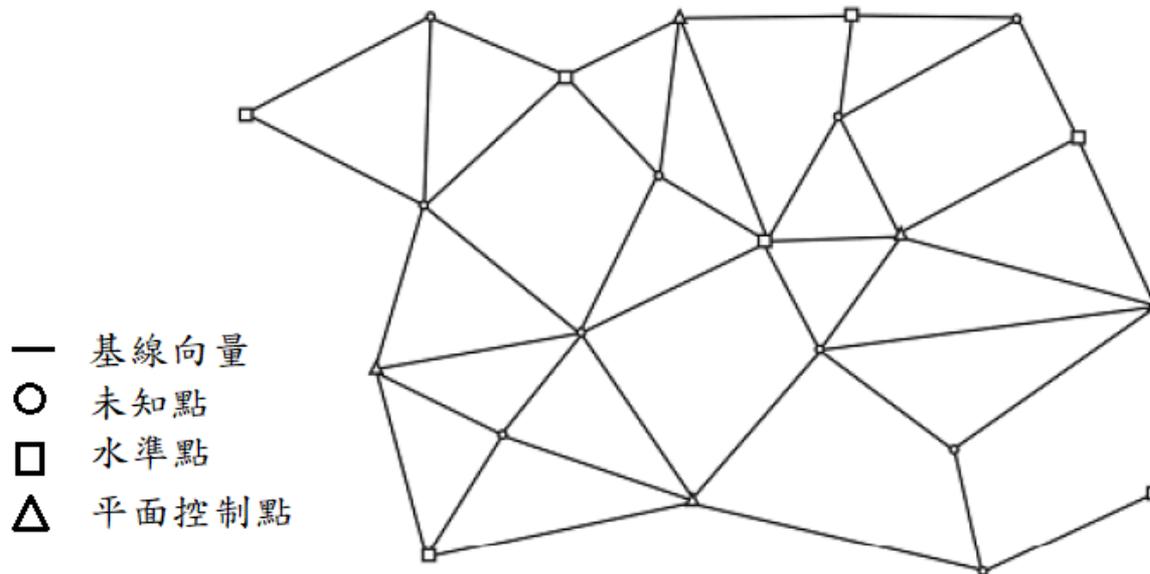
- 常見差分線性組合：
 1. 一次差、單差、站間差分
 2. 二次差、雙差、星間差分
 3. 三次差、三差、曆元間差分
 4. 寬巷線性組合：利於求解周波未定值
 5. 窄巷線性組合：波長減短利於精密定位
 6. 無電離層線性組合：消除電離層誤差
 7. 無幾何相關線性組合：周跳修復

差分定位



網型平差

- 網型平差：目的為消除觀測量與以知量間存在的誤差在幾何條件上引起的不符值。
- 須滿足條件有閉合條件、重複條件、附合條件等。
- 網型平差可分為最小約制平差、約制平差。



網型平差

- 最小約制平差又稱自由網平差，約制條件為無或最少，網型中的點為僅受觀測資料(基線向量)影響，不會使網型變型。最小約制自由網直接反應觀測資料品質，常用來偵錯。
- 約制平差有較多的約制條件，例如將網型中某些特定點強制複合至固定坐標，因此會使網型變型，目的為確定各點在指定坐標系的坐標。

網型平差程序

1. 執行最小約制平差，檢視點位坐標精度及基線觀測值改正數。
2. 剔除不良基線，將改正數較大的基線或不佳的重複基線剔除。
3. 執行約制平差，將 GPS 網約制到指定的坐標基準，並進行平差解算求得最後成果。

GLONASS

- 全球導航衛星系統，*GLONASS*：俄羅斯維護運作。
- *GPS*每顆衛星的訊號頻率和調頻方式相同，不同衛星的訊號靠不同的偽碼區分，*GLONASS*的衛星靠頻率不同來區分，每組頻率的偽隨機碼相同。

參數	GLONASS	NAVSTAR GPS
設計衛星數	21+3	21+3
軌道平面數	3	6
軌道傾角	64.8°	55°
軌道高度	19100km	20180km
軌道週期	11 ^h 15 ^{min}	12 ^h
衛星信號	FDMA	CDMA
L1 頻率	1602~1615MHz 頻道間隔 0.5625MHz	1575MHz
L2 頻率	1246~1256MHz 頻道間隔 0.4375MHz	1228MHz

GALILEO

- *GALILEO*：由歐盟通過歐洲太空總署和歐洲導航衛星系統管理局建造。
 - 設計衛星數：27+3
 - 軌道平面有3個，軌道傾角 56°
 - 軌道高度 23222km
 - 信號頻道：E5a, E5b, E6, E2 – L1 – E1

各系統參數

Parameter	GPS	GLONASS	Galileo	Beidou
First launch	22-Feb-78	12-Oct-82	28-Dec-05	13-Apr-07
FOC	17-Jul-95	18-Jan-96	2012	2013
Services	military	military	commercial	authorized
	civil	civil	open	open/commercial
Number of SV	31	24	27	27
Orbital planes	6	3	3	3
Inclination	55°	64.8°	56°	55°
Semi-major Axis [Km]	26560	25508	29601	27840
Period	11h58m	11h15m	14h05m	12h50m
Coordinate frame	WGS-84	PZ-90	GTRF	CGCS2000
Time system	GPST	UTC (SU)	GST	China UTC
Coding	CDMA	FDMA	CDMA	CDMA
Frequencies [MHz]	L1:1575.42	G1:1602	E1:1575.42	B1-2:1589.74
	L2:1227.60	G2:1246	E5a:1176.45	B-1:1561.1 (E2')
	L5:1176.45	G3:TBD	E5b:1207.14	B2:1207.14 (E5b)
			E6:1278.75	B3:1268.52 (E6)