

Civil-Net 作業實務與應用趨勢

嘉南藥理科技大學 應用空間資訊系講師 陳鴻聖

森泰儀器有限公司 副總經理 陳鴻聖

目前 eGPS 的使用已漸普及，但與用戶接觸後，發現有極大部份用戶對 eGPS 仍一知半解，知其然不知其所以然，很大一群人都誤以為儀器拿出來，以 eGPS 定位後，儀器顯示的坐標值就是 TWD97 系統下的坐標值，而不知道其實是 WGS84 系統下的坐標值。

這個觀念已經在某些用戶的腦中根深柢固，很難打動，而當我們向他說明時，有時候會變成抬槓。但這個問題又不是三言兩語可以解釋得清楚的。今天有這個機會，主辦單位提了這個題目，正好可以為各位說明 eGPS 作業實務，並帶出其未來可能的應用趨勢。本文將以庶民語言代替專業術語，儘量用最淺顯的方式將 eGPS 說清楚，學者專家請多多包涵本文中經常出現的非專業形容詞。

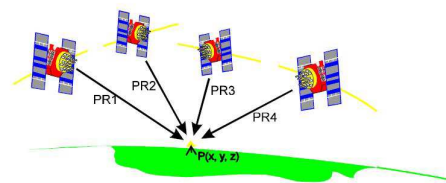
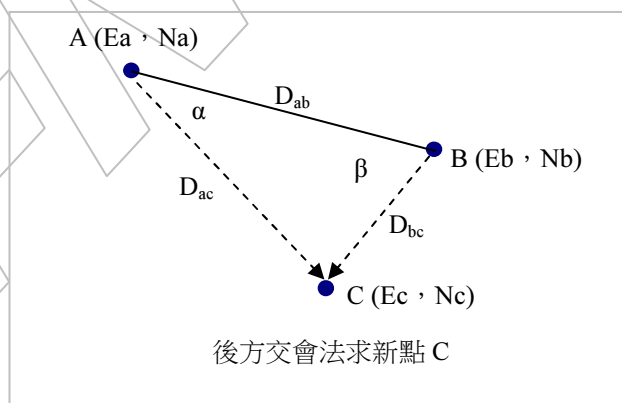
eGPS 是什麼

想要知道 eGPS 是什麼，必需從 GPS 的定位原理開始講起。

GPS 定位其實只是很簡單的幾何原理：後方交會。在平面上，由已知兩個點(已知其坐標)，加上距離觀測量，就可以得到待測點的坐標。在二度空間的平面上，如右圖，由兩個點可以交會出一個點；而在三度空間的立體空間中，則需由三個點交會出一個點。理論上，只要已知點坐標正確，距離觀測量正確，待測點的坐標就絕對正確。且為唯一解，不會有精度的問題。

即然如此，那為什麼 GPS 定位會不準？

那是因為 GPS 中含有許多誤差。



數學位置 vs. 實際位置

剛才提到，「只要已知點坐標正確，距離觀測量正確，待測點的坐標就絕對正確」。在 GPS 衛星定位中，這句話中的已知點是指天上的 GPS 衛星，其坐標已知。為什麼坐標已知？因為每顆衛星都有它的運行軌道，每 12 小時繞地球一圈，因此由星曆資料，利用軌道公式，可以算出在某一時間，衛星一定會在軌道

上的某個位置，所以衛星坐標已知。我們稱其為**數學位置**。

但實際上，太空中並沒有真正的實體軌道讓 GPS 衛星貼著運行，GPS 衛星是以蛇行方式向前行進，由地面上的控制中心監視其位置，並時時修正其航向，把它拉回軌道上。此一 GPS 實際行進的位置，我們稱其為**實際位置**。

發現誤差來源了嗎?**數學位置≠實際位置**。測量員手中的接收儀計算衛星坐標時是用**數學位置**代入**後方交會公式**，但 GPS 衛星其實並不在那個位置上，因此算出來的坐標就有誤差了。這是第一個誤差，稱為衛星坐標差(專業術語是**衛星軌道誤差**)。

計算的距離 vs. 實際距離

再回到這句話：「只要已知點坐標正確，距離觀測量正確，待測點的坐標就絕對正確」。這句話中的**距離觀測量正確**也有問題：衛星以固定波長發射訊號，波長乘以波數，就可以計算出距離。但由於大氣層中的**電離層**及**對流層**吸收掉不少訊號，造成波數不正確，致使計算出的距離並非實際距離而是**虛擬距離**，用這個有誤差的**虛擬距離**計算出的坐標當然也有誤差。這是第二個誤差，(專業術語是**電離層及對流層遲滯誤差**)或(**虛擬距離誤差**)。

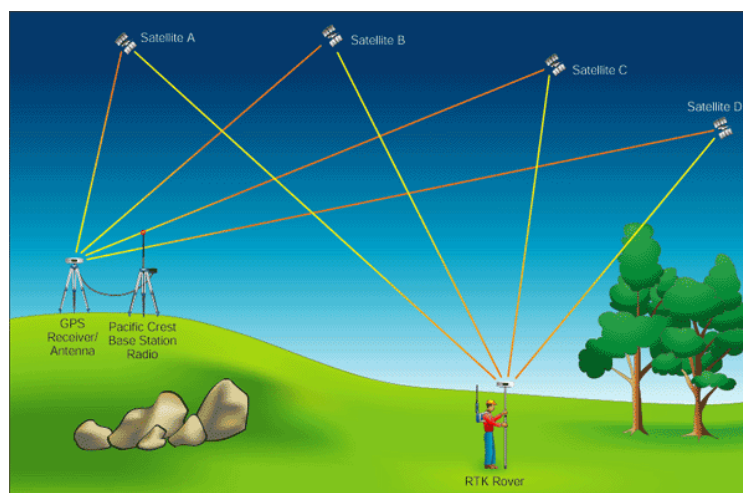
時間的誤差

前述的距離觀測量同時會以第二個算法求解，就是以(速度 X 時間=距離)。這個時間是以接收儀內部時鐘之石英振盪器模擬訊號走過的時間，依頻率自行計數，記錄下來的整數值，計算出**虛擬距離**。接收儀的時間與 GPS 衛星上的時鐘若不同步，又是另一個誤差源，也讓 GPS 定位不準。這是第三個誤差，稱為**衛星時鐘誤差及接收儀時鐘誤差**。

eGPS vs. RTK

以上種種，都是造成 GPS 定位不準的原因，而這些誤差是可以解出來的，如果能把誤差量解出來，送到用戶的接收儀中，把以上所有誤差消除掉，精度就提高了。這就是 eGPS 的概念。eGPS 不是 RTK 的延伸，概念也不同。

RTK 是利用已知點的已知條件與觀測量相比較，解得**誤差修正量**，在假設



基地站與移動站兩邊誤差相等的條件下，將**誤差修正量**提供給移動站，修正掉共同誤差，提高移動站精度。

eGPS 則是直接修正掉 GPS 衛星的位置誤差、訊號誤差等，使「已知點坐標正確，距離觀測量正確，待測點的坐標就絕對正確」。

Civil-NET 如何求解誤差修正量-FKP 技術

地面追蹤站是關鍵

所有地面追蹤站都是與 GPS 衛星系一致的 WGS84 坐標系統，所有追蹤站都有精確的絕對位置。再回頭看一下**後方交會原理**：「已知點坐標正確，距離觀測量正確，待測點的坐標就絕對正確」。我們反過來思考：既然地面上所有追蹤站的坐標絕對精確，當我們又有了衛星觀測量以及衛星的已知高度(因為軌道已知，高度就已知)，那麼是不是可以反向求解每顆衛星的正確坐標呢?沒錯！三個追蹤站就可以求解一顆衛星的絕對位置，二十個追蹤站就有 17 個多餘觀測，加上衛星高度的約制條件，平差後就可求得每顆衛星的正確坐標。

當每顆衛星的正確坐標求得，再比對每顆衛星的數學位置，就可以知道每顆衛星的坐標差，此為第一個修正量，就是每顆衛星的坐標改正量(專業術語是軌道誤差改正量)。

有了精確的地面追蹤站坐標及 GPS 衛星的精確坐標，便可以由距離公式計算出追蹤站至每顆衛星的精確距離，再比對衛星發射的訊號所算出來的距離，就可以解出每顆衛星發射訊號的**距離改正數**，此為第二個修正量。

有了這兩個改正量，用戶在接收衛星訊號的同時，Civil-NET 便將每顆衛星的距離改正數及坐標改正數送給用戶，立刻修正每顆衛星的坐標差及訊號誤差，當然計算得到的就是絕對精確的 WGS84 坐標了。

Civil-NET 為何效果特別好

Civil-NET 在全省各地架設了數十個衛星追蹤站，追蹤站使用加拿大 NovAtel 公司的高精度**雙星六頻**衛星接收儀，可同時接收美國 GPS 及蘇俄 GLONASS 兩種衛星及接收 L1/L2/L2C/L5 等衛星訊號，經由**光纖網路**送到雲端運算中心，解出前述的所有誤差改正量，再經由無線網路送到用戶接收儀中；整個過程**由追蹤站接收資料-到解算完成-到送出改正數到用戶儀器中，全程不到 0.1 秒**，在一秒鐘內用戶接收到 GPS 衛星也同時接收到改正訊號，這個同步的改正訊號才是有效的改正訊號，才能修掉所有的誤差得到最佳解；有效的系統使得解算速度超快，用戶往往在開機同時，就已得到最佳解(Fixed 解)。

如果因為網路太慢、或控制中心解算速度太慢、或追蹤站儀器處理速度太慢...或任何原因讓改正訊號延遲，使得用戶收到的是前一分鐘、或前 30 秒、或前 5 秒、甚至是前一秒的改正量，此時天上的 GPS 衛星已經離開當時的位置，收到的改正數對應不到現在的 GPS 位置，這種改正訊號只是無效訊號。

eGPS 的坐標系統

由前面的敘述可知，整個 eGPS 是在 WGS84 系統下運作。eGPS 定位雲端服務系統提供的是一把精度絕對準確的尺，尺的一端是測量基準點，加上量測值後，尺的另外一端則是(基準點+量測值)後的成果值。由此可知，尺的另一端(成果值)為何，就看儀器是以那個測量基準點做起點的。

因此在作業前，每台衛星定位儀必需將儀器內部坐標系統強制符合到測區的控制點系統上，我們把這個強制符合的動作稱為“坐標歸零”。例如地政單位，要將儀器內部系統坐標歸零到地籍控制點；河川局要坐標歸零到河川斷面樁上；建築工地，要坐標歸零到控制點上；台電、自來水、中油、公路局、林務局...都有自己的控制點，經過坐標歸零後就與測區一致了。

讓我們再用一個簡單的比喻來說明“坐標歸零”的概念：每天早上，菜市場歐巴桑在開市前，都會把磅秤的指針對準/調整到“0”的位置，接著才開始做生意。那麼，用戶手中的 GPS 衛星定位儀，其內部的坐標系統有“對準”到現地的坐標系統嗎？

坐標歸零的參考點可以是 TWD97 或 TWD67 或...任何自訂系統、局部坐標系統，只要做過坐標歸零，便可確保與測區的坐標系統一致。

為什麼要坐標歸零？

台灣是個海島，猶如一艘航空母艦，假設我們在航空母艦上埋設了許多控制點，航空母艦不管怎麼漂流，這些控制點間的相對距離並不會改變，但它相對於地球上的坐標却是在變動的-而且時刻在變。

三角點系統就是如此，三角點在台灣本島上--彼此相對位置幾乎不變，但對以地球為坐標系的 GPS 衛星而言，台灣這艘航空母艦上的三角點却是每天都在變。因此測量時，需要將衛星接收儀的坐標符合到三角點的值，使兩者**顯示值**一致。



eGPS 作業實務

實務上，不見得每個單位使用的控制點都是 TWD97 系統，就算是 TWD97 系統，眼前這個控制點真的是在 16 年前相同的位置上嗎？

要知道這個答案其實很簡單，只要把衛星定位儀拿出來接收一個坐標，將這個坐標與內政部的公告值相比較，就知道這 16 年來它移動了多少。

實際作業程序可以歸納如下：

1. 在測區的控制點上測一個坐標
2. 平移到公告值
3. 接著開始測量作業

平移的動作，只有在第一次作業時需要做，不用每天重覆做，除非儀器多日未使用，或期間有大地震造成地殼變化...等情況，才需要重新”坐標歸 0”。

地政事務所若有多組人用 eGPS 作業，當所有組都由同一個歸零點開始作業時，則彼此的作業成果是可以接圖的。時日一久，轄區所有成果將逐漸統一。

eGPS 的應用趨勢

有「高精度定位需求」的客群

既然 eGPS 可以讓定位精度很輕易的就達到 1 公分，那麼把精度放寬為 1 公尺就更不是問題了；但它會讓硬體成本降低至少一百倍，民眾的接受度就很高了，也使得它的應用面充滿了想像空間。

目前 GPS 應用，以導航定位市場為大宗，包括汽車導航、追蹤器，都在 15~50 公尺精度範圍，對車輛導航而言，看似足夠；但對人員定位就差太遠了。因此高精度的 eGPS 設備，初期的市場可以聚焦在以”人”為對象的應用上，包括：

- 失智老人安全
- 孩童安全追蹤
- 警察抓小偷
- 登山客安全追蹤
- 國家公園、風景區人員安全追蹤
- 保育動物追蹤
- 電子腳鐐
- 罪犯追蹤
- ...等

當「高精度」成為一般性商品時...

當高精度的 eGPS 設備銷量夠大時，自然而然的價格就會逐漸低廉；而當高精度的 eGPS 硬體價位趨於平價時，在售價差異不大的情況下，人們自然會選擇較高精度的 eGPS 定位產品，低精度的產品也將被淘汰；eGPS 將普遍應用於定位技術做物件管理的工作，包括：

- 公車管理
- 捷運管理
- 高鐵管理
- 貨車管理
- 計程車管理
- 物流追蹤
- 車輛派遣
- ...取代所有現有的導航 GPS

eGPS 系統為何需要認證？

全站儀也是高精度的測角測距儀器，使用全站儀的單位，無論是國家單位或私人公司，都了解儀器校驗的重要，不會有任何單位聲稱：「因為我們是國家單位，所以使用的全站儀不需要驗證」。eGPS 系統提供的是一把精度絕對準確的尺，eGPS 服務系統如同全站儀，我們提供給用戶使用的 eGPS 服務系統，其系統精度當然更不能有問題、更需要驗證，因此 Civil-NET 委由國家一級實驗室(量測中心)進行系統精度與效能認證，確保用戶使用的是絕對精確有效的產品。不但服務端的 Civil-NET 系統要驗證，其實用戶端使用的衛星定位儀也要驗證，證明儀器本身的精度可達公分級；以確保觀測成果的正确可靠。

「Civil-NET™雙星 eGPS 定位雲端服務系統」¹這把尺的精度可達 1cm 內，已由國家一級實驗室-工研院量測中心-實證並公開發表，Civil-NET™的精度與效能是**唯一經過國家認證的雙星 eGPS 定位服務系統**。



¹ 「Civil-NET™雙星 eGPS 定位雲端服務系統」為森泰儀器公司之產品註冊商標。