



作者：徐業良(2008-04-15)；推薦：徐業良(2008-04-15)。

附註：本文發表於汽車購買指南雜誌，2008年五月號，史丹福專欄。

## 淺談GPS全球定位系統原理

過年的那一陣子，情緒一直很低落，後來決定要買個禮物鼓舞自己一下，就到賣場中選了一支最貴的PDA手機送給自己。

拿著新手機把玩許久，很不願意承認我也是LKK一族，不聽MP3，不喜歡拿手機自拍，手機上網又慢又貴…新手機即使有一百項功能，我大概也只用得到其中一項而已，打電話。

加上老婆知道新手機的價格以後，一直在旁邊碎碎念，有些後悔自己不該一時衝動買那麼高檔的手機。突然看到手機裡有那麼一支程式，PaPaGo 衛星導航，又開始興奮起來，撐著老花眼認真地按照字體很小的使用手冊，一步一步學習如何使用手機裡這個衛星導航功能。

接下來那幾天開車常常被老婆罵，因為自己不管開車上哪兒，都要拿出手機、啟動導航系統，聽到那一句「歡迎使用 Pa-Pa-Go 衛星導航」，測試測試。

測試的感想是，wow，我怎麼到現在才發現這個好東西！

有了新手機，開車出門安全感大增，即使到從沒去過的陌生地方，也不需要事前Google找地圖，只要聽手機指示左轉右轉就成了。家裡比較會迷路的其實是老婆，後來每次老婆開車不太知道路，我都逮著機會嘲笑回去，「早告訴妳要買一隻有衛星導航功能的手機吧！」

二十年前在美國當留學生的時候，常常看到航空系的同學開著一部汽車，車頂上頂著個巨大的高科技設備，天線之類的東西，在校園裡開來開去，很神氣地說是在做

GPS – Global Positioning System，全球定位系統的研究。二十年後，當年的尖端科技已經成了裝在口袋裡的隨身配備。

噢，當有人提到「我的手機有 GPS」時，其實他們的意思是，「我的手機有 GPS 接收器」。真正的 GPS 全球定位系統，指的是一群 27 個在地球軌道上運行的人造衛星。這 27 個 GPS 人造衛星當中，有 24 個衛星實際在運作，3 個額外的衛星是防止有衛星失效時替代用的。這個 GPS 衛星網路是由美國軍方研發、佈建，原本的目的是作軍事用途的導航系統，但現在 GPS 衛星的訊號已經對所有人公開，包括我口袋裡這支手機，也是接收美國軍方這組 GPS 衛星網路的訊號。

這些 GPS 衛星每個重量在 1500~2000 公斤，比一部汽車重一些，使用太陽能動力，在距離地球大約兩萬公里高的固定軌道上，每天繞著地球轉兩圈。這 24 顆人造衛星的軌道也經過特別規劃，每天、每個時刻、在地球上任何地點，仰望天空都可以同時「看到」至少 4 顆 GPS 衛星。

您手機中 GPS 接收器的主要功能，便是在接收您所在位置「看得到」的這 4 顆或更多的 GPS 衛星訊號，根據衛星訊號推算自己目前的位置到每一顆 GPS 衛星的距離，再用一些數學上幾何、三角的概念來計算自己目前的位置。

怎麼計算呢？GPS 的基本原理其實還相當簡單而直覺，Mmm，三維空間定位的幾何關係有些複雜，這裡先從二維空間的幾何關係討論起。

閱讀接下來這一段之前先給您出個作業，準備一張 A4 的白紙、一枝鉛筆、一把尺、一個圓規。首先在白紙的中央點一個點，在旁邊標明這個點代表「目前位置」；拿出您的尺，從「目前位置」這個點，往任意方向畫一條 4 公分長直線，在直線的尾端再點一個點，在旁邊標明這個點代表「衛星 A」；從「目前位置」這個點，往另一個方向畫一條 5 公分長直線，在直線的尾端再點一個點，在旁邊標明這個點代表「衛星 B」；再從「目前位置」這個點，往另一個方向畫一條 6 公分長直線，在直線的尾端再點一個點，在旁邊標明這個點代表「衛星 C」。

OK，您所畫的圖是，在 A4 白紙這個二維空間上，如何由目前的位置到三個衛星的距離，推算出目前位置的所在。噢，這時候您應該假設完全不知道自己在什麼位置，所以請您把紙上代表「目前位置」的點和那三條直線擦掉，只留下代表「衛星 A」、「衛星 B」、「衛星 C」的三個點。

想像您完全迷路了，您的 GPS 接收器收到了衛星 A 的訊號，經過計算，您目前位置距離衛星 A 有 4 公分。請您在紙上以代表衛星 A 的點為圓心，畫一個半徑 4 公分的圓（稱作圓 A），您目前位置可能在這個圓上的任何一點。

接下來您的 GPS 接收器收到了衛星 B 的訊號，經過計算，您目前位置距離衛星 B 有 5 公分。請您在紙上以代表衛星 B 的點為圓心，畫一個半徑 5 公分的圓（稱作圓 B），您目前位置可能在這個圓上的任何一點。

咦，這個半徑 5 公分的圓 B 和前面一個半徑 4 公分的圓 A 交會在兩點，您的位置既要在圓 A 也要在圓 B 上，那麼您的位置一定是這兩點其中的一點嘍！

到底是哪一點呢？您又向衛星 C 求助，衛星 C 回答，您目前位置距離衛星 C 有 6 公分。沒錯，請您以衛星 C 為圓心，畫一個半徑 6 公分的圓（稱作圓 C）。

賓果！圓 A、圓 B、圓 C 正好交會在一點，那個點就是您目前所在的位置。

做完這個二維空間定位的練習，GPS 三維空間定位的原理也是一模一樣，只是前面畫圓的地方要改成「畫球」。有點兒難的樣子，三維空間的練習，我們用想像的好了。

前面的程序重新來一次。想像您完全迷路了，您的 GPS 接收器收到了衛星 A 的訊號，經過計算，您目前位置距離衛星 A 有 4 公分。想像以代表衛星 A 的點為圓心，畫一個半徑 4 公分的球（稱作球 A），您目前位置可能在這個球上的任何一點。

接下來您的 GPS 接收器收到了衛星 B 的訊號，經過計算，您目前位置距離衛星 B 有 5 公分。想像以代表衛星 B 的點為圓心，畫一個半徑 5 公分的球（稱作球 B），您目前位置可能在這個球上的任何一點。

您的位置既要在球 A 也要在球 B 上，再想像一下，兩個球面相交，得到的是一個圓，也就是說您的位置一定是這個圓上。

您又向衛星 C 求助，衛星 C 回答，您目前位置距離衛星 C 有 6 公分。以衛星 C 為圓心，畫一個半徑 6 公分的球（稱作球 C）。再努力想像一下，球 A 和球 B 相交得到的個圓，和球 C 交會在兩個點。

所以這時候您需要第四個衛星的訊號，知道您與衛星 D 的距離，畫出第四個球，才能夠確認您目前確實的位置是在這兩個點中的哪一點。其實地球本身也可以擔當這個「第四個球」的角色，球 A、球 B、球 C 相交得到的這兩個點，只有一個點會在地

球球面上，那個點便是您目前所在的位置了。不過通常 GPS 接收器還是會儘量利用第四個，甚至第五個、第六個 GPS 衛星的訊號，來做精確度的校調。

沒錯，GPS 定位的原理的確不難，精確度才是 GPS 最大的技術所在。

GPS 衛星不斷向地球送出高頻率低能量的無線電波，您手機中的 GPS 接收器最主要的功能，便是在接收這些電波，然後計算出和發射電波的 GPS 衛星距離有多遠。比較好的裝置有好幾組 GPS 接收器，可以同時接收好幾組 GPS 衛星的無線電訊號。

計算距離原理上也不怎麼難，只要知道無線電波行進的速度、無線電波從 GPS 衛星傳送到您手機的 GPS 接收器所需要的時間，速度乘以時間，就得到距離了。

時間怎麼計算呢？所有 GPS 衛星會反覆傳送一組固定模式的訊號，所有 GPS 接收器也會在同一個時間反覆產生同樣一組固定模式號。當 GPS 接收器接收到 GPS 衛星訊號時，和自身產生的訊號比對，訊號模式會有一點落後，GPS 接收器便從這個訊號模式的落後，推估訊號從 GPS 衛星傳送到手機上 GPS 接收器所需的時間。

問題在於，這些 GPS 衛星無線電訊號傳遞的速度是光速，每秒 30 萬公里。在汽車導航的應用上，距離的誤差可能不超過 3 公尺，大略估算一下，GPS 接收器對於時間的計算，誤差不能超過一億分之一秒。

Wow。為了達到這個時間精確度，每一個 GPS 衛星上都有一個造價十萬美金左右的「原子鐘(atomic clock)」，24 個 GPS 衛星時間完全同步，精確到一億分之一秒。您的手機當然不可能用原子鐘，只能用一般的石英鐘，然後經常和 GPS 上的原子鐘「對時」。「對時」的方法就是前面提到 GPS 接收器會利用第四個，甚至第五個、第六個 GPS 衛星的訊號，來做精確度的校調。不管收到幾個衛星訊號，所有的 GPS 衛星都共用同一個精確的標準時間，也唯有以這個時間做計算，前面提到所畫出的四個、五個、六個球面才會精確地交會在同一點。GPS 接收器內便有一個簡單的演算法，根據這個原理來反推 GPS 衛星精確的標準時間，然後再 GPS 衛星傳送到手機上 GPS 接收器所需的時間。

噢，除了要知道目前位置和各個 GPS 衛星之間的距離之外，手機上 GPS 接收器還得知道各個 GPS 衛星在天空中所在的位置。這一點倒是不難，24 個 GPS 衛星運行的軌道都十分固定，可以完整儲存在 GPS 接收器中。月球和太陽的引力可能會稍微影響 GPS 衛星的位置，不過美國國防部都持續監控這些 GPS 衛星，有任何位置調整，資訊也會附在 GPS 衛星訊號中傳送給 GPS 接收器做資料變更。

GPS 接收器計算出您所在位置，是以北緯、東經多少度之類的方式來表達，像是 PaPaGo 這樣的資訊公司的工作，便是在建構各個地方的地圖，將您的位置標示在地圖上，再建構一些路徑規劃的演算法。接下來使用的方式您就都知道了，先讓手機找到您目前的位置，設定好要前往的目的地，您的手機便會用甜美的聲音，不斷提醒您接下來的路口要左轉還是右轉等等。

最近讀到一項報導，國外某個市場研究機構預測，未來五年全球定位服務收入將從目前的 5.15 億美元成長到 133 億美元，可說是商機無限。目前來說，美國完全壟斷了 GPS 衛星。歐盟在 2002 年開展了一項「伽利略計劃」，目標是建立一個覆蓋全球的衛星導航系統，規劃在 2013 年底發射 30 顆衛星，提供誤差不到 1 公尺的精確全球定位服務。但由於技術和資金等原因，伽利略計劃的進展不太順利，迄今僅有一顆試驗衛星在 2005 年底發射升空，看起來美國可能還要壟斷好一陣子。

仔細想想，這真的是了不起的科技，手機上的 GPS 接收器，就可以讓您知道您在地球上的位置。許多廠商不斷地想像除了汽車導航之外，GPS 各種可能的應用。像是利用 GPS 作失智老人的定位與協尋；許多高級車上內建的衛星定位系統，可以幫助車主找回失竊的車輛。日前報導高雄縣有一項計畫，透過 GPS 定位管理監控縣府所轄每一輛砂石車行駛路線，成效良好，最近縣府正計劃進一步應用於救護車管理。還有廠商推出 GPS「桿弟機」，將全球一萬多個高爾夫球場的地圖內建其中，不論擊球者是否能看見球洞目標，都能提供擊球者與果嶺及與球洞等之距離、方位資訊，避免視覺誤差。

最新的新聞是大甲媽祖出巡也要 GPS 一下，鎮瀾宮為媽祖的鑾轎裝了即時定位追蹤，民眾若想隨時掌握媽祖鑾轎行蹤，只要手機上網，在鎮瀾宮網頁點進遶境進香專區，再連結大甲媽祖鑾轎即時衛星定位，就可找得到大甲媽祖了。

現在幾乎完全沒有辦法想像，十幾年前沒有手機時，人們是怎麼過日子的。手機帶在身上，隨時可以和外界聯繫，心中很有安全感。習慣使用手機的 GPS 功能之後，開車出門心裡更是踏實許多，手機帶來的安全感倍增。

衛星導航，我的手機的第二個功能。