

數字城市基礎設施 --- 香港衛星定位參考站網

郭志和

香港地政總署 測繪處 大地測量組

電話：(852) 22313489 傳真：(852) 21160778

電郵：LNDLSLG@Landsd.gov.hk

[摘要] 衛星定位參考站網是數字城市空間基礎設施建設的重要內容之一。香港特別行政區地政總署組織建設的城市衛星定位參考站網日前已完成第一期工程，進入試運行階段。該參考站網作為香港信息港重要的空間參考系統，將為整個香港地區提供滿足測繪、氣象、地震、交通、導航及科研等方面多用途空間定位信息服務。本文介紹了香港空間參考基礎設施的架構、衛星定位參考站網的系統設計思想、工程方案、設備構成和運行目標，並提供了數據處理的方法和潛在的應用方向。

[關鍵字] GPS 衛星定位 差分定位 參考站 空間參考基礎設施 參考框架

1. 概述

隨著九十年代空間技術和信息技術的飛躍性發展，“數字城市”乃至“數字地球”已經越來越得到人們的重視並正在從理念變為現實。作為一個重要的衛星測量技術，GPS 可以為地球數字化或 GIS 提供一個高精度、統一的空間參考框架和一個高效率的數據採集手段。

在這裏，“統一的空間參考框架”帶有雙重含義。首先，由於 GPS 直接得到的是空間三維座標，所以傳統測量上分離的平面控制和高程控制在此得到了統一。其次，由於各個國家或地區對基準、參考系統和測量規範的定義不同，所建立的傳統平面控制和高程控制也因而不相同。自 1994 年以來，國際 GPS 服務組織 (International GPS Services for Geodynamics, 縮寫 IGS) 使用全球定位系統 (GPS), 衛星激光測距 (SLR), 甚長基線干涉測量 (VLBI) 等太空技術和利用分佈全球各國的衛星定位跟蹤站所採集的數據，建立了達到厘米級精度的國際地面參考框架 (International Terrestrial Reference Frame, 縮寫 ITRF), 從而為全球各地的 GPS 測量和應用提供了一個統一的高精度空間參考框架。

香港作為一個國際性都市，自九十年代以來一直在致力於建設一個現代化“數字信息港”所必須的空間參考設施，並已取得顯著成就和大量經驗。1991 年，香港第一代 GPS 控制網建成並獲得了香港大地基準 (HK80 座標系) 與 1984 年世界大地座標系 (WGS 84) 之間的轉換參數；2000 年，香港 GPS 網得到大規模加密並採用 ITRF 作為

參考基準；2001 年，香港衛星定位參考站網的一期工程完成並投入試運行。目前，參考站網的二期工程正在積極準備之中並計劃於 2002 年建成並正式投入運行。建成後的香港衛星定位參考站網除了可以為香港地區提供一個可靠的高精度基準以外，還可以為許多領域，如測繪、氣象、地震、交通、導航及科研等提供大量服務。所以，從功能上來界定，香港衛星定位參考站網是一個衛星定位綜合服務網。

本文將介紹香港空間參考基礎設施的架構，特別是香港城市衛星定位參考站網的系統設計思想、工程方案、設備構成和運行目標；同時，還將介紹參考站網數據中心的數據處理方法和一些潛在的應用方向。

2. 香港空間參考基礎設施的架構

香港空間參考基礎設施分為被動控制系統和主動控制系統兩個部份。被動控制系統（passive control system）是指哪些非自動化的、需要測量人員於點上架設儀器進行觀測的控制網，包括傳統的平面控制網、高程控制網、和近年建立的 1991 及 2000 GPS 控制網。被動控制系統由於控制點數量多、分佈廣、易維護並且兼容了傳統和現代的不同測量手段，所以目前對大多數測量應用來說仍舊是空間參考基礎設施的主體。1991 GPS 控制網由 16 個點組成，其中大部份與傳統首級三角網控制點共站，並且多數位於山頂和海島制高點等便於地面通視但卻相當難以進入的地域。2000 GPS 控制網在 1991 GPS 控制網的基礎上進行了大量加密，使控制點個數增加到 46 個，點間平均距離縮少為 10 公里，而且新控制點都位於平地交通便利的地點。2000 GPS 控制網點間相對精度達到 0.2 ppm。圖 1 顯示了 2000 GPS 控制網的佈局圖。



圖 1：香港 2000 GPS 網

為了將 2000 GPS 網與 ITRF 國際參考框架銜接，2 個香港 GPS 參考站（粉嶺和交椅洲）與 6 個全球級精度的 IGS 跟蹤站（中國和上海和拉薩，日本的 Tsukuba、太平洋的關島、澳大利亞的 Yarragadee、印度洋的 Cocos Island）進行了連續 2 個月的 GPS 聯測。圖 2 顯示了這些 IGS 跟蹤站的分佈圖。聯測基線的長度約為 1200 至 5500 公里。

聯測解算所得的香港參考站 ITRF96 地心座標的精度為優於 2 厘米。

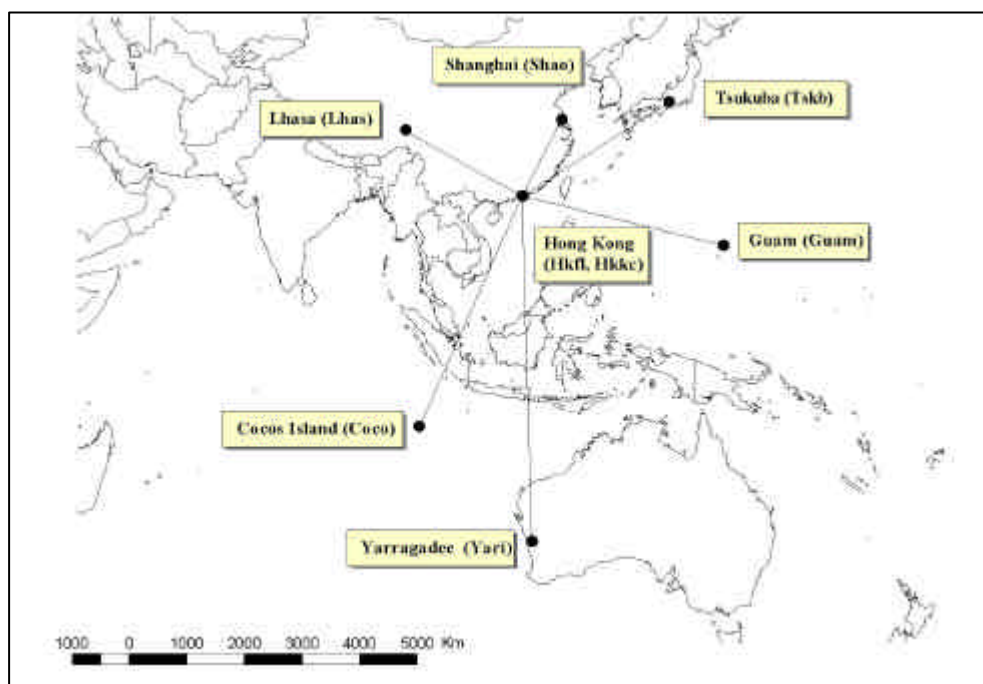


圖 2：香港 2000 GPS 網與 ITRF96 參考框架的聯測

主動控制系統（active control system）是個自動化的系統，能主動地收集參考站的衛星數據、檢定質量、然後實時或事後發放給用戶。用戶使用主動控制系統便無須像使用被動控制系統哪樣在 GPS 控制點上設置參考站，從而實現只使用一台接收機即可進行高精度 GPS 相對定位，因此，大幅降低了測量工作的設備投資、人力成本和操作時間。主動控制系統一般包括兩個組成部份：衛星定位參考站網和數據控制中心。

衛星定位參考站網由一系列連續運行的 GPS 參考站組成。每個 GPS 參考站包括台站型 GPS 接收機、特殊設計的穩固測量墩標、氣象傳感器、墩標傾斜儀、電源、調制解調器、以及其它輔助設備，並通過通訊網與數據中心相連接。數據控制中心按功能劃分包括數據傳輸單元、質量監測單元、數據存儲單元、數據發放單元、以及數據分析單元。

為了進一步提升香港 2000 GPS 控制網的服務水平，香港地政總署現正建立香港主動控制系統，亦即香港衛星定位參考站網，目標是為廣大用戶提供自動化、可靠快速的參考站數據服務。建成後，其產品可以廣泛地為測繪、地面型變、天氣預報、大氣研究、交通和地球科學等多領域服務，為“數字城市”建設提供了一個高效率的數據獲取渠道。

3. 香港衛星定位參考站網

香港衛星定位參考站網由 12 個連續運行的參考站組成，分兩期建設。一期工程建造 6 個站，已於 2001 年完成。二期工程建設 6 個站，將於 2002 年竣工。圖 3 是整個參考站網的分佈圖。參考站間的距離約為 10 至 15 公里。這樣的分佈設計可以確保用戶在香港大部分地區在 10 公里半徑內能找到至少 2 個參考站供測量使用。這樣的圖形分佈為測量定位提供了冗餘基線，以作獨立檢核和提供質量指標。冗餘數據是質量保證的重要因素，為測量的可靠性提供了量度基礎。圖 4 是香港參考站網的冗餘度圖。



圖 3：香港衛星定位參考站網

參考站網站的佈局使用戶基線長度少於 10 公里。這樣，只需要接收 10 至 15 分鐘 GPS 數據，便可使用載波相位觀測值和相對定位方法，進行快速靜態測量，達到厘米級精度。這大大縮短野外工作時間。另外，因為基線長度較短，用戶可使用單頻 (L1) 接收機亦可達到厘米級精度。單頻接收機的價格比雙頻 (L1 / L2) 機便宜很多，因此可節省大量儀器成本。

維持基線長度少於 10 公里還可以保持動態測量 (kinematic survey) 的精度不會因距離參考站太遠而下降至不能滿足厘米級定位質量的要求。這樣的參考網站分佈，能實現快速的後處理動態測量。也為將來計劃提供的實時動態測量服務 (real time kinematic survey service) 建立了基礎。

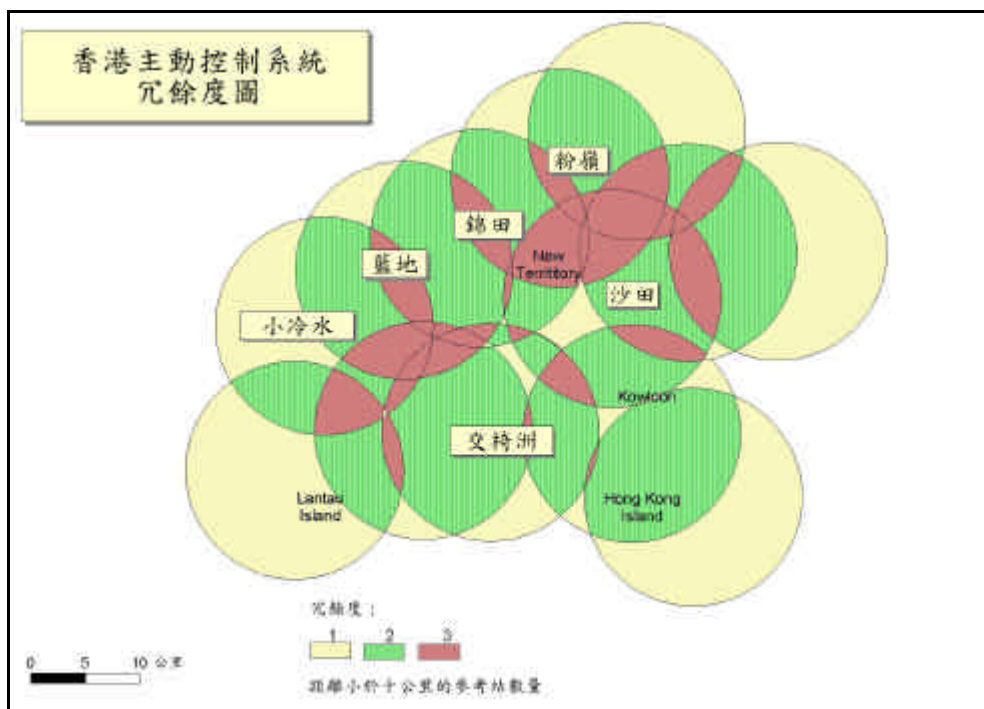


圖 4：香港衛星定位參考站網冗餘度圖

每個參考站的選擇都要確保能夠連續運行、位置穩定、且便於維護。參考站的選址考慮了地質穩定性、滑坡、地面沉降等多種因素。參考站的地基設計和主體結構必須能抵禦正面吹襲香港的颱風。確保 10 號風球時的強風亦不會吹動 GPS 接收天線的位置。

參考站大多位於露天空曠的地方，容易遭受雷電轟擊。所以，每個參考站都配有防雷設備，佈設了引下線，將電流導引至接地體，從而保護接收機、電源及通訊設備在雷雨天氣亦能不間斷地運行。另外，為防範山火，在一些附近有草木的參考站周圍還特別鋪設了防火三合土層。為防止人為破壞，每個參考站都裝有防護圍欄。圖 5 是連續不斷運作的衛星定位參考站。

參考站裝有 GPS 接收機和天線，接收 L1 / L2 載波相位、偽距原始觀測數據。系統可以輸出 RINEX 格式的數據，供厘米級、高精度的測量使用；同時亦能輸出偽距差分數據、實時動態 (RTK) 數據，提供導航及實時定位服務。

每個參考站設有氣象傳感器，用來收集精確的大氣壓力、溫度、濕度資料，以供有關大氣層和氣象的科學研究。參考站還裝有傾斜儀，監測參考站 5 米高的柱體的穩定性和分析 GPS 天線非正常移位的原因。

為保證參考站能連續運作，參考站的設計中，主要考慮了三個重要因素：電源、通訊設備、系統操作溫度。參考站的主要電源是交流電，由於市電的電線杆容易被颱風吹襲折斷。所以每個參考站都設有後備電池，能夠於市電停電的情況下提供連續數天的後備供電，保證了在維修工作完成前，系統仍能運作。

參考站的數據，主要由固定網絡的電話線傳送至數據中心，但電話線杆同樣亦容易受颱風吹倒，因此參考站還裝有無線電話，用作後備通訊設備。參考站的選址，位於無線電話網絡覆蓋範圍內。在未來的第三代（3G）無線電話技術普及後，數據傳送任務將可能主要通過無線寬頻數據傳輸來實現。

戶外參考站的儀器均保存於防盜設備箱內。於夏天氣候炎熱時、戶外的高溫可能令儀器失效。因此設備箱裝有溫度調節系統，使系統能保持於正常操作溫度範圍內。



圖 5：連續不斷運作的衛星定位參考站

4. 數據控制中心

衛星定位參考站網的神經中樞是數據控制中心。它是個自動化系統，負責的任務包括：數據下載、系統完整性監測、數據質量檢定、數據儲存、數據發放。數據控制中心系統由四個子系統組成：包括 (1) 數據傳輸及質量監測系統、(2) 數據處理系統、(3) 數據儲存系統、(4) 數據發放系統。

數據傳輸系統的工作是遙遠控制分佈全香港各區的參考站，讓系統管理人員，不需離開數據中心，便可操作、調校戶外參考站的 GPS 接收機。系統的主要功能是依據預定的時間表，自動地將 GPS 原始數據，由參考站傳送至數據中心。現時參考站 24 小時不斷地收集 5 秒採樣間隔的 GPS 數據、氣象數據、傾斜度資料。「數據傳輸系統」每 15 分鐘，收集數據一次。

系統於收集了 GPS 數據後，便立即執行數據質量監測。系統採用了「單採樣模糊度解算」方法，配合自動化網平差，快速地檢定每一個曆元的 GPS 數據質量，並監察整個系統的完整性。圖 6 表示了系統的數據質量監察成果。

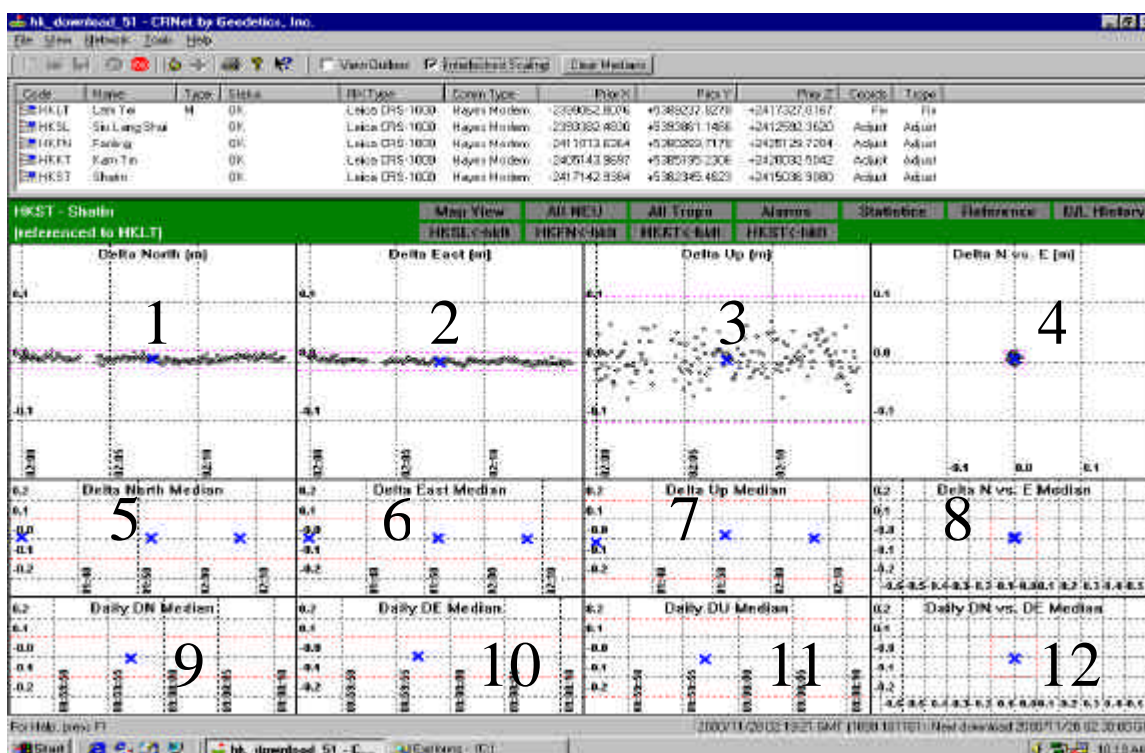


圖 6：快速檢測衛星數據質量的監察成果

小圖 (1) 至 (4) 是 15 分鐘時段內，使用每一個「5 秒間隔曆元」的數據，以「單採樣模糊度解算」方法、及自動化網平差，測定的參考站的位置。平面位置 (Delta North, Delta East, Delta N vs E) 的重覆性約為 2 cm。高程位置 (Delta Up) 的重覆性約為 10 cm。小圖 (5) 至 (8) 是 1 天時段內，每 15 分鐘的監察的成果。這圖表示了因大氣層的變化、衛星數量和位置的改變，而引起的參考站位置平差結果變化。平面位置 (Delta North, Delta East, Delta N vs E) 的重覆性達 2 至 3 cm。高程位置 (Delta Up) 的重覆性約為 15 cm。小圖 (9) 至 (12) 是幾個月至一年時間內，使用每 24 小時的數據來解算的成果。這圖表示了參考站的「每日」位置。平面位置 (Delta North, Delta East, Delta N vs E) 的重覆性為 5 至 10 mm。高程位置 (Delta Up) 的重覆性約為 2 至 3 cm。

自動監測系統將監察的成果，與預定的質量標準比較。如發現數據未能完整傳送到中心、衛星數據質量差劣、參考站的衛星天線位置不正常移位、參考站的整體位置有長期性移動，系統便立即發出警告，通知系統管理人員，作出補救行動，並停止發放不符合質量標準的數據。

數據處理系統的工作是對收集了的數據，作後處理、分析。系統除了作快速的質量檢查，亦於每天的晚上，利用全天 24 小時的數據，平差整個參考站網的「每日」位置，以毫米級的精度，準確地監察系統的可靠性。並比較每月、每年時段內，因慢性地殼移動、土地沉降，而引起的「香港空間參考基礎設施」的位置變化。

數據儲存系統的工作是將收集了的數據，整理歸檔，拷貝於資料庫、光碟上。衛星數據除了可應用於測量、定位外，亦可用於地球科學、氣象研究等多方面。因此衛星數據是非常有用，需要長期保存。

數據發放系統的工作，是將轉換成「公開格式」的數據，發放給用戶。第一期的主動控制系統，使用互聯網，將「15 分鐘時段，5 秒採樣間隔，RINEX 格式」的雙頻 GPS 數據檔，送給用戶。用戶可以於「每 15 分鐘時段」後的 10 分鐘，從系統下載參考站數據。如果用戶帶備上網工具作外業測量，他們可於工地上，立即下載參考站數據，並配合自己接收的數據，便可很快地計算得流動站的厘米級精度位置。然後利用這成果再作其他的測量工作。比較以前，需自己收集參考站數據的情況；主動控制系統提供的服務，大大提高了測量工作的效率。

第二期的主動控制系統，計劃提供數據處理服務。測量隊若使用數據自動處理服

務，便不需要自己計算流動站的位置，亦不需要下載多個參考站的數據。他們只需將自己接收的數據，上載至數據中心，系統會使用流動站附近，幾何圖形分佈最佳的 3 個參考站來計算結果。然後將流動站的位置傳給用戶。這服務減少了測量隊使用數據處理軟件的困難，不但保證了數據處理質量的，亦同時降低了對測量人員的訓練成本。

主動控制系統的長遠目標，希望能提供實時動態 (RTK) 數據服務。實現高精度、RTK 實時定位數據服務，需要制定實際的「定位精度的質量指標表達方法」，因為實時動態定位的精度，非常容易受大氣的變化、和流動站的環境影響。質量保證，是個重要問題，要進一步研究。

要實現 RTK 數據服務，亦要解決數據中心對大量用戶，同時發放數據的通訊技術問題。快將出現的第三代 (3G) 流動電話、電子商貿 (e-business) 系統、內容發放 (content distribution) 工具等創新科技，會為主動控制系統，帶來不少機會。

5. 數字城市空間基礎設施的發展路向：於多方面為社會作貢獻

衛星定位參考站網為基礎測繪提供了一個數字化、及時、可靠的空間參考框架。它全面地發揮了衛星差分定位的好處，不但改進了測量精度、大大提高了測量工作的效率，更降低了測量成本。

衛星定位參考站網是數字城市空間基礎設施建設的重要內容之一。不單只為測繪服務，亦能夠於多方面為社會作貢獻。在交通服務方面，它能提供導航數據、支援車隊管理。在資訊科技的應用上，它有機會提供空間定位數據給個人化的流動系統 (mobile computing)、位置資訊服務 (location-based service) 等。在氣象方面，它能提供數據作短期天氣預報、大氣層研究，減低雷暴、風雨帶來的災害。

在全球性服務方面，衛星定位參考站，已於地球科學、環境保護領域上，發揮了很顯著的功用。為地震監測、海洋變化、全球性氣候改變等人類關注的問題提供服務。香港地政總署亦有參加國際合作工作，利用香港主動控制系統提供衛星定位數據，以幫助了解全球性問題的出現原因及找尋解決方法。