

全球衛星定位系統於船位監測之應用

GPS Application for Vessel Position Monitoring

張在欣

2015.03.30

GPS於船位監測之應用

目錄

一、摘要

二、前言(GPS觀測量)

三、GPS導航資料檢測

四、自適應式卡爾曼濾波器(Adaptive Kalman Filter)

五、模擬分析與實驗佈局

六、結論

摘要

- 為滿足船舶進出港及內陸水道航行高精度定位需求，並更迅速的參與搜索及救難協助，GPS船位報告系統提供一個獲取、分析及建立此類觀測量之方法。
- 本文將藉由載波相位差分定位法(Carrier-phase Differential GPS, CDGPS)，以消弭共同的誤差項，利用長時間觀測載波相位，進而求取較佳的船舶定位精度。
- 加入時鐘及星曆資料檢測項目，確保長期觀測GPS衛星資料之穩定性。以避免航行於大海，受海水溫濕度、雜訊、老化及電壓變化影響而造成錯誤之時脈訊號。

- 採用自適應式卡爾曼濾波器(Adaptive Kalman Filter, AKF) ，根據狀態方程式、量測方程式等資訊對狀態或參數做最佳估測(optimal solution)，進行有效之船位監測。
- 本文所採行之方式應於船位監控，確可達到穩定及精度之需求，有效的確保人命及財產安全。

前言

- 無論在大洋、港灣或內陸水道航行時，船位的控管極為重要，GPS接收機可提供虛擬距離及載波相位兩種觀測量以供導航者定位。
- 載波相位觀測量

$$\Phi_A^j = (\rho - d_{ion} + d_{trop})_A^j - c \cdot (dt^j - dT_A) + \lambda \cdot N_A^j + \varepsilon_A^j \quad (1a)$$

$$\Phi_B^j = (\rho - d_{ion} + d_{trop})_B^j - c \cdot (dt^j - dT_B) + \lambda \cdot N_B^j + \varepsilon_B^j \quad (1b)$$

where

Φ_A^j : 載波相位觀測量，

λ : 載波波長， ρ : 真實距離，

d_{ion} : 電離層延遲誤差， d_{trop} : 對流層延遲誤差，

dt^j : 衛星時表誤差， dT_A : 接收機時表誤差，

c : 光速， N : 相位整數週波未定值，

ε : 隨機誤差

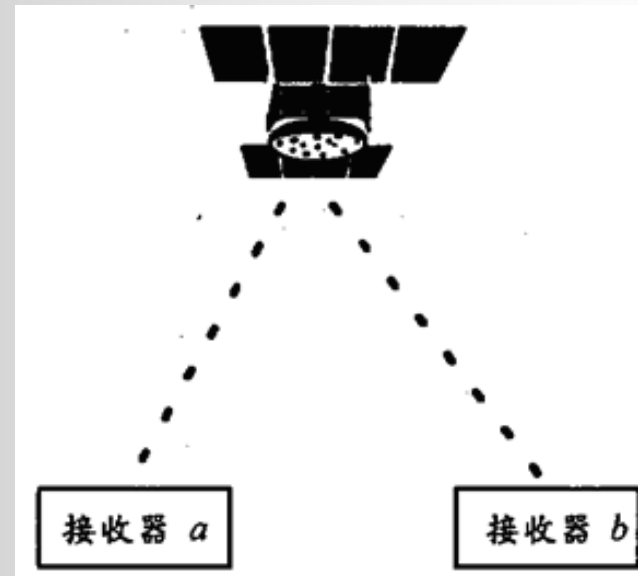
- 當兩接收機A,B鎖上相同的衛星數且均大於4顆時，可將兩接收機在同一時刻 t 且同一衛星 j 的載波相位觀測量作一次差分量

$$\begin{aligned}SD_{\Phi}(j,t) &= \Phi_B^j(t) - \Phi_A^j(t) \\ &= \rho_{BA}^j + c \cdot (dT_B - dT_A) + \lambda \cdot N_{BA}^j + \varepsilon_{BA}^j\end{aligned}\quad (2)$$

where

$$\rho_{BA}^j = \rho_B^j - \rho_A^j$$

$$\varepsilon_{BA}^j = \varepsilon_B^j - \varepsilon_A^j$$



接收機A與B非常的接近，從同一衛星發射的訊號所行進的路徑可視為相同，經由一次差分可消除衛星時表誤差、電離層及對流層延遲效應。

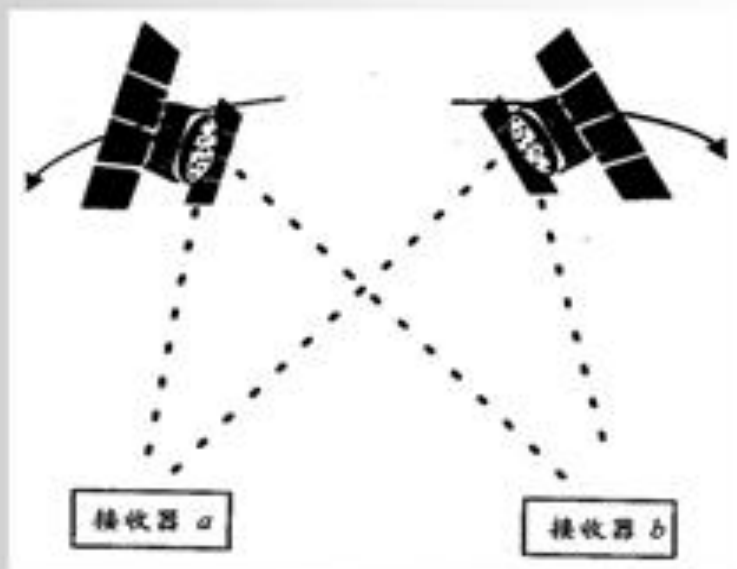
- 將衛星 k 與 j 的載波相位一次差分量再做一次相減，即得到載波相位二次差分量

$$\begin{aligned} DD_{\Phi}(k, j, t) &= SD_{\Phi}(k, t) - SD_{\Phi}(j, t) \\ &= \rho_{BA}^{kj} + \lambda N_{BA}^{kj} + \varepsilon_{BA}^{kj} \end{aligned} \quad (3)$$

where

$$\rho_{BA}^{kj} = \rho_{BA}^k - \rho_{BA}^j$$

$$\varepsilon_{BA}^{kj} = \varepsilon_{BA}^k - \varepsilon_{BA}^j$$

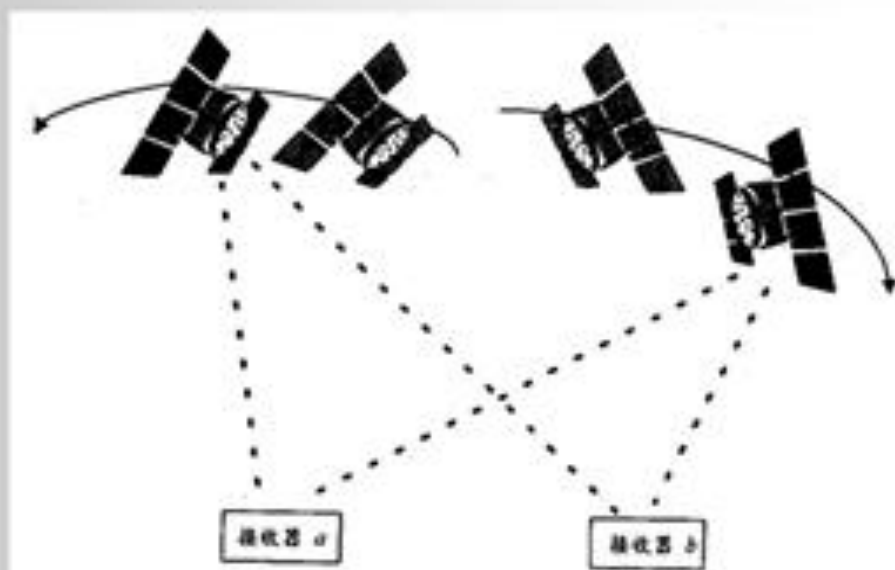


- 將不同觀測時刻 t 與 t_0 的載波相位二次差分量相減以消去整數週波未定值，即為載波相位三次差分量

$$\begin{aligned}TD_{\Phi}(k, j, t, t_0) &= DD_{\Phi}(k, j, t) - DD_{\Phi}(k, j, t_0) \\ &= \rho_{BA}^{kj}(t) - \rho_{BA}^{kj}(t_0) + \varepsilon_{BA}^{kj}(\Delta t)\end{aligned}\quad (4)$$

where

$$\varepsilon_{BA}^{kj}(\Delta t) = \varepsilon_{BA}^{kj}(t) - \varepsilon_{BA}^{kj}(t_0)$$



■ (1)式中，衛星 j 至接收機 A 間的真實距離，即

$$\rho_A^j = \sqrt{(x_A - x^j)^2 + (y_A - y^j)^2 + (z_A - z^j)^2} \quad (5)$$

接收機 A 附近點 Π 作泰勒展開，
忽略二階以上各項可得一線性方程

$$\rho_A^j \cong \rho_{\Pi}^j + \rho_{\Pi}^{'j} \bullet (\bar{X} - \bar{\Pi}) \quad (6)$$

where

$$\begin{cases} \rho_{\Pi}^j = \sqrt{(x_{\Pi} - x^j)^2 + (y_{\Pi} - y^j)^2 + (z_{\Pi} - z^j)^2} \\ \rho_{\Pi}^{'j} = \frac{1}{\rho_{\Pi}^j} [(x_{\Pi} - x^j) \quad (y_{\Pi} - y^j) \quad (z_{\Pi} - z^j)]^T \\ \bar{\Pi} = (x_{\Pi}, y_{\Pi}, z_{\Pi})^T \\ \bar{X} = (x_A, y_A, z_A)^T \end{cases}$$

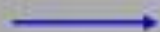
- 若兩接收機在 t 及 t_0 時刻均鎖上4顆相同編號的衛星 k, j, m, n ，則將(4)式代入(6)式，並且忽略隨機誤差項可得

$$\begin{bmatrix} TD_{\Phi}(k, j, t, t_0) \\ TD_{\Phi}(m, j, t, t_0) \\ TD_{\Phi}(n, j, t, t_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [\dot{\rho}_{\Pi}^k(t) - \dot{\rho}_{\Pi}^j(t)]^T \\ [\dot{\rho}_{\Pi}^m(t) - \dot{\rho}_{\Pi}^j(t)]^T \\ [\dot{\rho}_{\Pi}^n(t) - \dot{\rho}_{\Pi}^j(t)]^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_B(t) - x_A(t) \\ y_B(t) - y_A(t) \\ z_B(t) - z_A(t) \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$- \begin{bmatrix} [\dot{\rho}_{\Pi}^k(t_0) - \dot{\rho}_{\Pi}^j(t_0)]^T \\ [\dot{\rho}_{\Pi}^m(t_0) - \dot{\rho}_{\Pi}^j(t_0)]^T \\ [\dot{\rho}_{\Pi}^n(t_0) - \dot{\rho}_{\Pi}^j(t_0)]^T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_B(t_0) - x_A(t_0) \\ y_B(t_0) - y_A(t_0) \\ z_B(t_0) - z_A(t_0) \end{bmatrix}$$

以矩陣式表示為

$$TD_{\Phi t} = H_t b_t - H_0 b_0$$



$$\tilde{b}_t = [H_t^T H_t]^{-1} H_t^T (TD_{\Phi t} + H_0 b_0)$$

GPS導航資料檢測

- 為提升船舶定位精度，本文除考慮一般幾何精度因子值(DOP)外，另考慮時鐘及星曆檢測項目，以確保船舶長程航行時，觀測GPS衛星資料之穩定性。

GPS時鐘修正

基本上，衛星上之時鐘應與GPS時間同步。

但實際上，衛星上之時鐘受環境之影響會有誤差與漂移。

GPS衛星傳送時鐘修正參數，以供使用者進行修正

————→ 更新現行星曆參數

資料名稱	位元數	資料名稱	位元數
離心率 e	16	昇交角 Ω_0	24
星曆參考時間 t_{oa}	8	近地夾角 ω	24
傾斜角修正量 δ_i	16	平均角 M_0	24
昇交角變化率 Ω'	16	衛星時鐘偏差量 a_{f0}	11
半長軸開根號	16	衛星時鐘漂移量 a_{f1}	11

$$\text{GPS系統時間} \quad t = t_{sv} - \Delta t_{sv} \quad (8)$$

$$\Delta t_{sv} = a_{f0} + a_{f1}(t - t_{oa}) \quad (9)$$

- 採用U-blox接收機所輸出之星曆資料，將其進行解算，並至YUMA更新星曆參數。

——→ 修正平均角 M 、傾斜角 i 、昇交點經度 Ω

$$\begin{cases} M = M_o + n_o(t - t_{oa}) \\ i = 55^\circ + \delta i \\ \Omega = \Omega_o + \Omega'(t - t_{oa}) \end{cases}$$

——→ 推算出衛星位置，以作為船舶定位計算之用。

自適應式卡爾曼濾波器(Adaptive Kalman Filter)

- 長期監控船位，可利用先前的定位資訊作為觀測量，避免當次接收到的衛星資料誤差量，完全反映在定位的結果上。

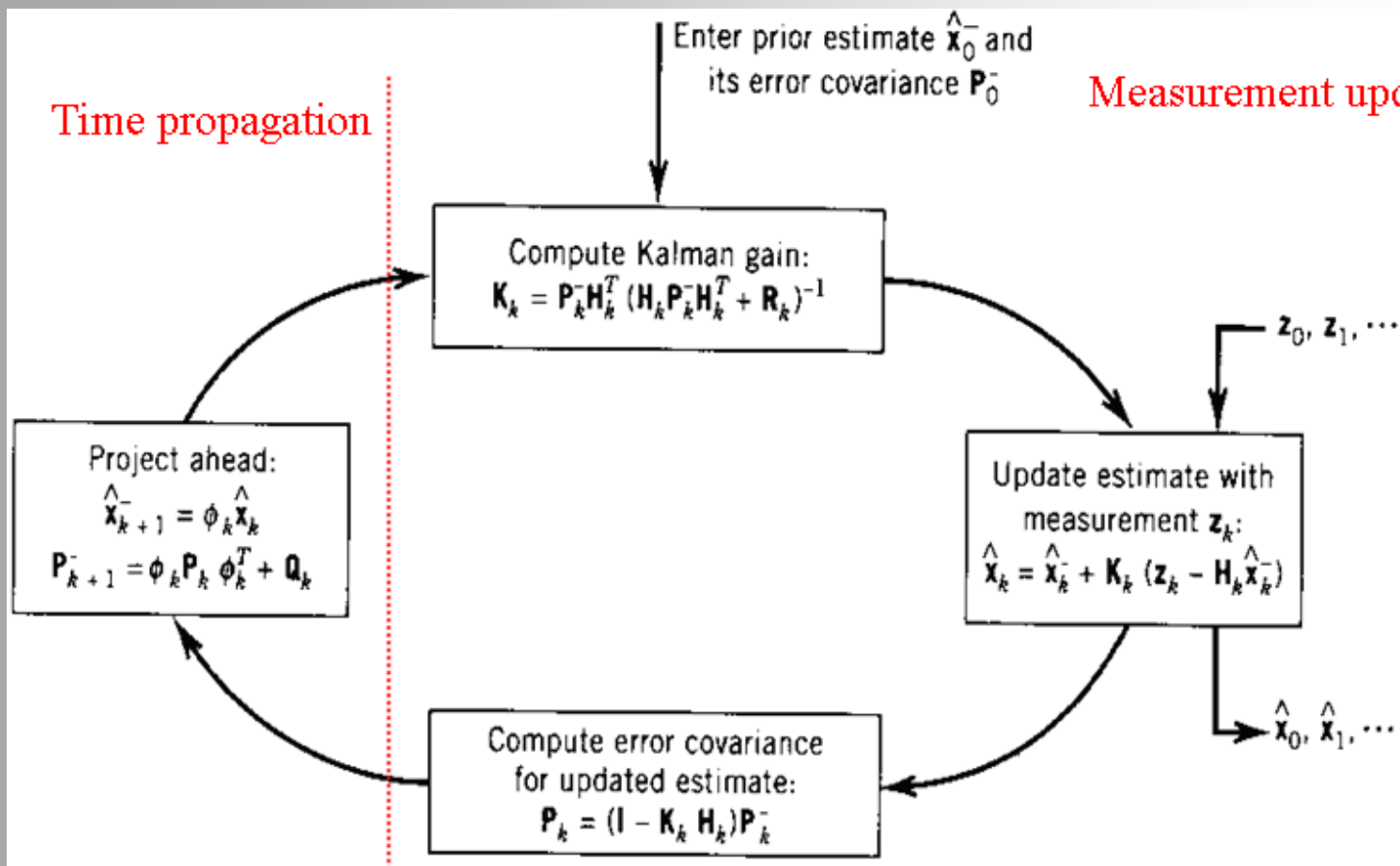
$$\text{狀態方程} \quad \mathbf{x}(k) = \Phi(k-1)\mathbf{x}(k-1) + \Gamma(k-1)\omega(k-1) \quad (10)$$

$$\text{量測方程} \quad \mathbf{z}(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{n}(k) \quad (11)$$

$$\text{系統雜訊} \begin{cases} \mathbf{Q}(k) = E \langle \omega(k)\omega(k)^T \rangle \\ \mathbf{R}(k) = E \langle \mathbf{n}(k)\mathbf{n}(k)^T \rangle \end{cases} \quad (12)$$

Time propagation

Measurement update



- 卡爾曼濾波器的架構可使定位結果利用先前的定位資訊，避免資料誤差量直接進入定位演算法，其定位精準度相較於最小平方方法而言較為平滑且準確。一般假設其系統雜訊共變異數 $\mathbf{Q}$, $\mathbf{R}$ 為定值並不符合實際狀況。

————— (innovation-based)

$$\mathbf{v}_k = \mathbf{z}_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_k^- \quad (13)$$



$$\mathbf{C}_{v_k} = E(\mathbf{v}_k \mathbf{v}_k^T) = \mathbf{H}_k \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}_k^T + \mathbf{R}_k \quad (14)$$

$\mathbf{C}_{v_k}$ 統計樣本變異數估算

$$\hat{\mathbf{C}}_{v_k} = \frac{1}{N} \sum_{j=j_0}^k \mathbf{v}_j \mathbf{v}_j^T \quad (15)$$

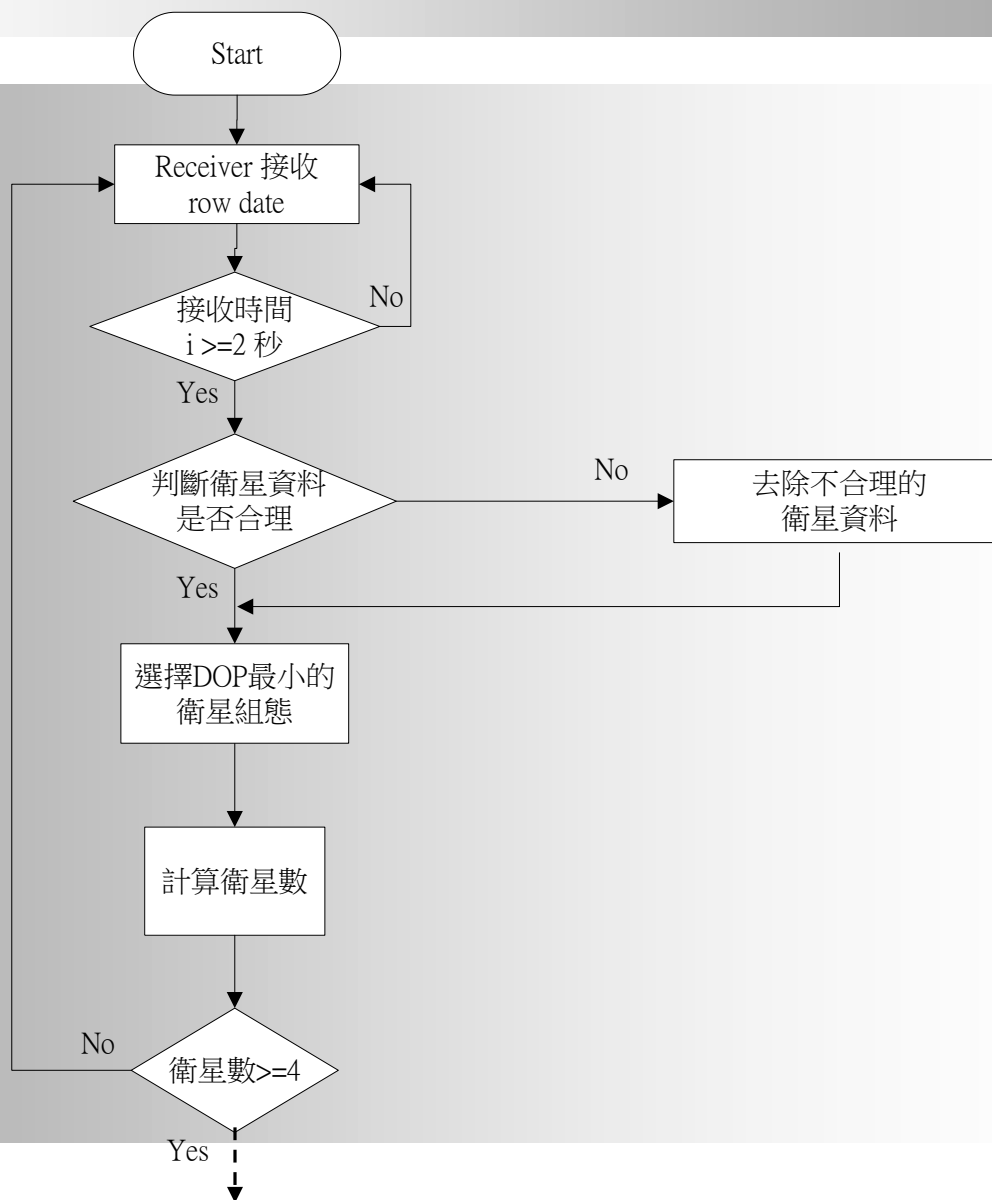
where

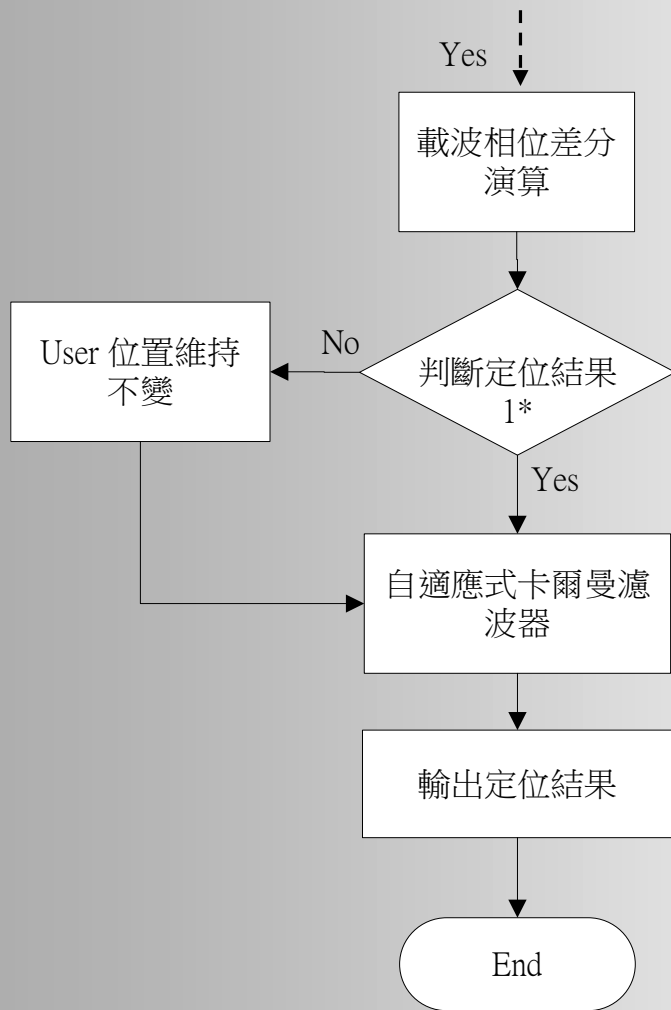
$j_0 = k - N + 1$, N : window size

$$\begin{cases} \hat{\mathbf{R}}_k = \hat{\mathbf{C}}_{v_k} - \mathbf{H}_k \mathbf{P}_k^{-1} \mathbf{H}_k^T \\ \hat{\mathbf{Q}}_k = \frac{1}{N} \sum_{j=j_0}^k \Delta \mathbf{x}_j \Delta \mathbf{x}_j^T + \mathbf{P}_k - \Phi_k \mathbf{P}_{k-1} \Phi_k^T \end{cases} \quad (16)$$

- 將接收到的raw data利用不同的方式消除以模型化的誤差，
例如:由星曆(Ephemeris)更正衛星的時鐘誤差，由ICD2000
標準更正對流層電離層的誤差等等，再由已更正過的數據
，利用最小平方法或最佳濾波的方式來進行定位演算。

流程圖

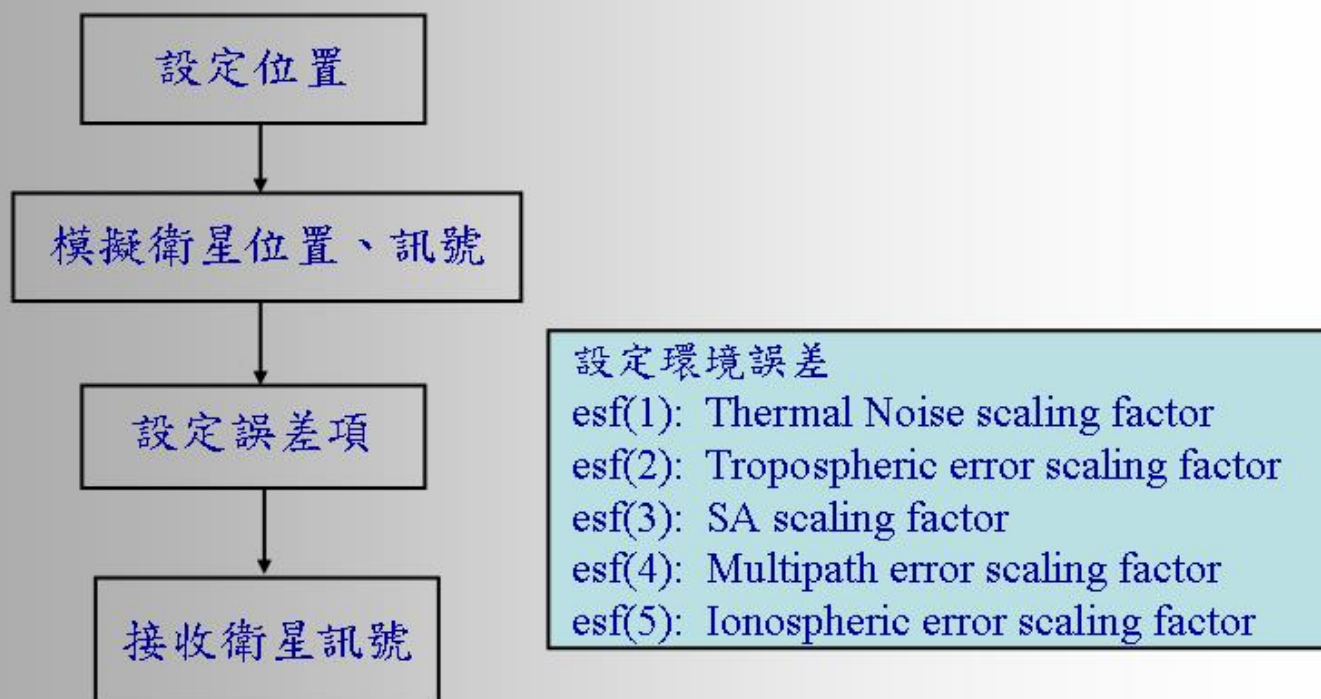


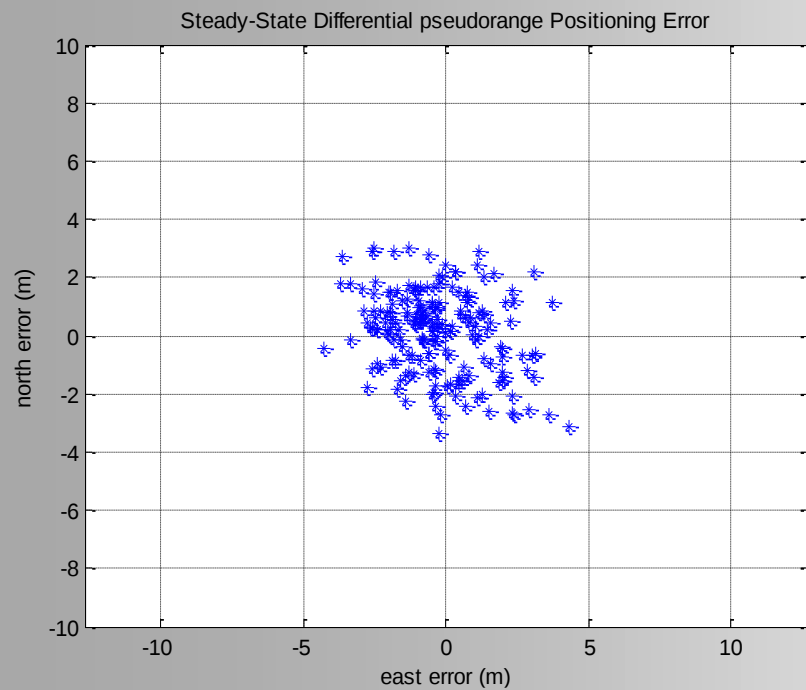


1 * Clock drift in two bounds and
 $Dop \leq 10$ (GPS定位規範,1995)

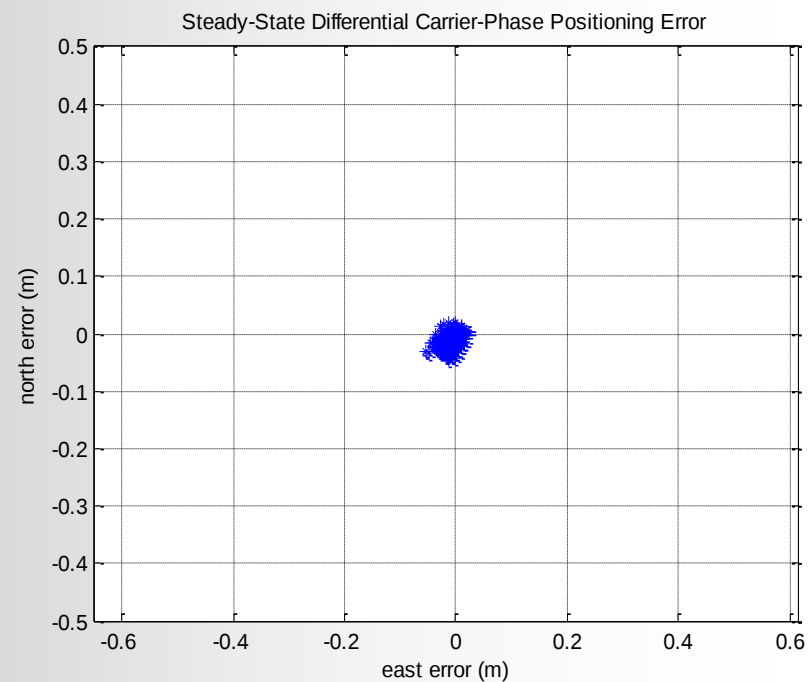
模擬分析與實驗規劃

- 模擬分析採用 Matlab 7.01 version software，分別比較虛擬距離量測值與載波相位量測值之差分定位差異。





Pseudorange Positioning Error



Carrier Phase Positioning Error

數值結果

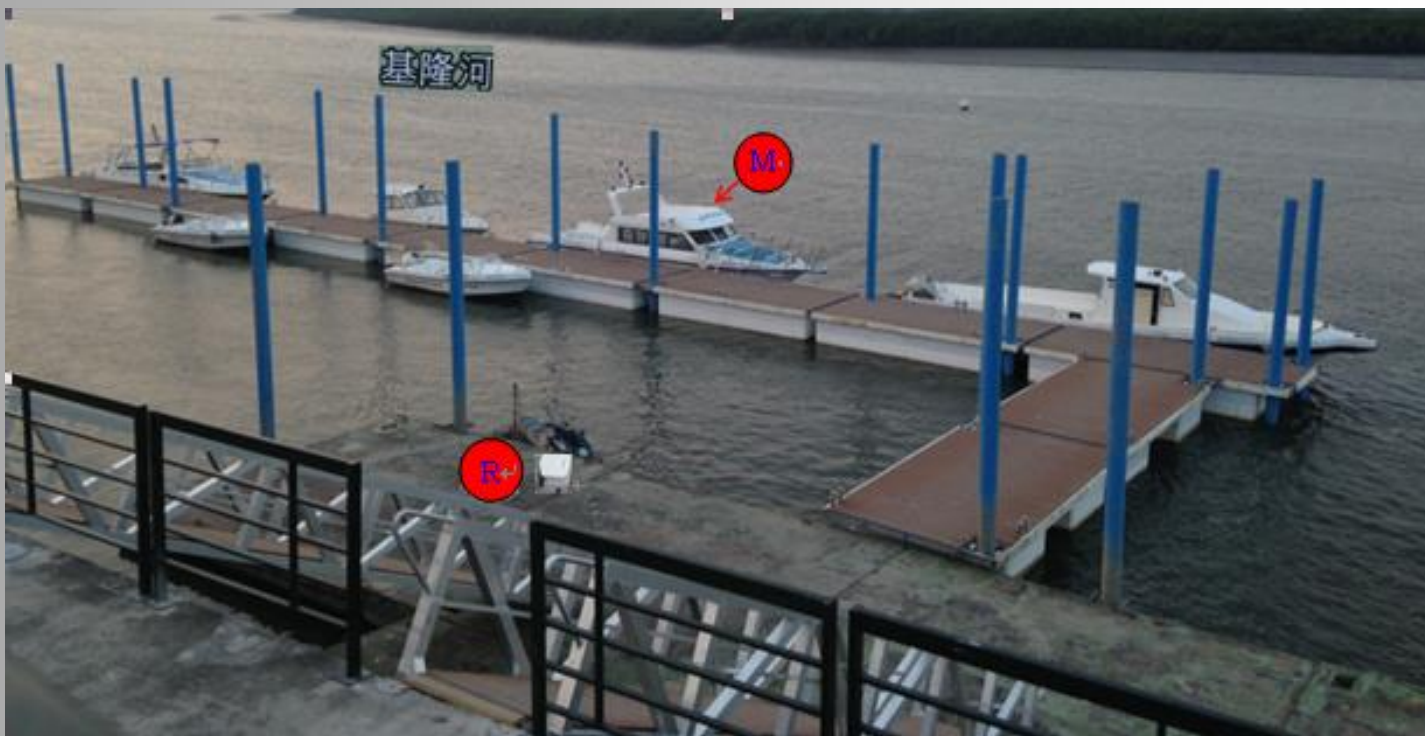
std_x (m)	u1	u2	u3
u1	<u>34.5369</u>	<u>0.0370</u>	<u>0.0426</u>
u2	<u>0.0368</u>	<u>34.5546</u>	<u>0.0447</u>
u3	<u>0.0408</u>	<u>0.0424</u>	<u>34.5277</u>

std_y (m)	u1	u2	u3
u1	<u>17.2200</u>	<u>0.0169</u>	<u>0.0190</u>
u2	<u>0.0172</u>	<u>17.2271</u>	<u>0.0200</u>
u3	<u>0.0202</u>	<u>0.0213</u>	<u>17.2189</u>

std_z (m)	u1	u2	u3
u1	<u>20.9171</u>	<u>0.0172</u>	<u>0.0179</u>
u2	<u>0.0176</u>	<u>20.9070</u>	<u>0.0193</u>
u3	<u>0.0213</u>	<u>0.0211</u>	<u>20.9018</u>

- 模擬結果顯示，差分式載波相位相較於虛擬距離觀測量可提供較精確之定位服務，在船舶定位上可針對觀測載波相位進行演算處理進而達到較佳之定位精度。
- 本研究將規劃以動力小船為實驗研究對象，實驗地點將設置於台北海洋技術學院小艇碼頭。

- 實驗佈局將以R點為參考點，擬採用柱裝型天線，監測點位M點置於於動力小船船頂，使用車載天線。藉由監控小船運動模式，驗證測試差分演算程式，以確實掌控動力小船定位情形。



GPS船位監測實驗研究配置 示意圖

結論

- 依據國際海事組織典範課程 7.03 (International Maritime Organization Model Course 7.03)要求，定位及導航電子系統為負責當值航行員之必備項目，準確之船舶定位技術對於航行安全與搜索及救難協助極為重要。
- 本文以差分式載波相位演算法，配合星曆更新及時鐘檢測並利用自適應式卡爾曼濾波器進行推估，以避免GPS接收機受溫溼度等環境因子影響，提供船舶定位最佳解。
- 模擬結果顯示差分式載波相位演算法較虛擬距離測量技術，可獲取更高精度之船舶定位服務。
- 本研究將持續進行實驗分析，利用動力小船進行船位動態偵測，建構船舶定位之完整性。



Thanks for your attention.

