

NNSS 船位誤差의 偏差를 利用한 速度誤差消去에 關한 研究

梁 昌 珍*

A Study of Eliminating NNSS Speed Error by Use of Deviation
of NNSS Position Error

Chang-Jin, Yang

(目 次)	
Abstract	算
記號說明	2-5. 衛星 仰角의 計算
1. 序 論	3. 시뮬레이션에 依한 考察
2. 理論的인 考察	3-1. 仰角別 位置의 分散 檢計
2-1. 衛星의 位置 計算	3-2. 船速誤差 消去를 爲한 알고리즘
2-2. 受信點의 位置 計算	4. 結 論
2-3. 衛星과 受信點 間 距離變化의 計 算	參考文獻
2-4. 도플러 測定值에 依한 船位의 計 算	附錄: 電算 프로그램 및 計算結果

Abstract

As the NNSS system calculates ship's position by the doppler shift of the NNSS radio waves caused by the change of the distance between Transit Satellite and the ship, ship's speed error inevitably results in the position error, and moreover this kind of error is most dominant compared with other errors especially in high speed ships and airplanes.

Most NNSS receivers now in use have adopted successive short doppler counts as positioning data and by investigating the dispersion of several successive positions calculated and by neglecting the mean position having dispersion of over certain threshold level, more accurate and safe position is to be achieved.

This paper proposes the method of finding ship's true speed by selecting a speed having least position dispersion for given successive doppler counts.

And by computer simulation it was verified that the method proposed here is reasonable in finding the ship's desired correct speed together with the correct ship's position.

* 正會員, 濟州大學

記 號 說 明

t_p ; 近地點 通進時刻(Time of Perigee) (min)	i ; 軌道 傾斜角(Inclination Angle) (deg)
Δt_k ; t_p 로 부터 Dopler 測定時까지 經過한 時間(min)	GHA γ ; 近地點 通過時의 春分點의 Greenwich 時角(deg)
n ; 衛星의 平均 運動(Mean Motion) (deg/min)	ω ; 地球의 自轉角速度(deg/min)
ϵ ; 衛星軌道의 離心率	φ ; 船位의 緯度(deg)
A ; 軌道의 長半徑(nm)	λ ; 船位의 經度(deg)
w ; 近地點 引數(Argument of Perigee), (deg)	R ; 地球의 長半徑(nm)
w_0 ; 衛星의 近地點 通過時의 w . (deg)	f ; 地球의 偏平率
\dot{w} ; w 의 變化率(deg/min)	N ; Doppler Count 積算值
Ω ; 昇交點 赤經(Longitude of ascending node) (deg)	Δf ; 受信裝置의 基本 周波數와 送信周波數의 差 $\times 60(H_z)$
Ω_0 ; 近地點 通過時의 Ω (deg)	Δt ; Doppler Count의 時間間隔(min)
$\dot{\Omega}$; Ω 의 變化率(deg/min)	λ_L ; 受信裝置內의 基準 發振器의 發振周波數의 波長(nm)

1. 序 論

全世界的이며 全天候의 航法인 人工衛星航法의 하나로 TRANSIT 衛星航法, 即 NNSS로 불리는 美海軍航海衛星方式(Navy Navigation Satellite System)은 現在 實用化되어 一般 商船 및 艦船은 물론 漁船에까지 搭載되어 海上에서 信賴度 높은 航法으로 精度 높은 船位를 提供하고 있다.

다만 本 航法의 가장 큰 脆弱點은 平均 2時間에 1回 程度인¹⁾ 船位 測定頻度의 問題와 本船의 船速을 比較的 正確히 알아야만 正確한 船位를 求할 수 있다는 問題이다.

이 中에서 前者는 沿岸 接近航海의 境遇 肉眼에 依하거나 RADAR 및 他 航海計器에 依하여 船位를 測定할 수 있어 이를 並用하면 問題가 없고, 大洋에서는 容認될 수 있는 制約으로 보인다.

다만 後者의 境遇는 船位의 精度와 관련된 問題인 만큼 本 方式의 成敗를 左右하는 重要한 問題로 登場되고 있다.

一般적으로 NNSS의 船位誤差를 誘發하는 原因으로는

1. 衛星 및 利用者의 機器에 關한 誤差.
2. 電波 傳播上 生기는 誤差.
3. 衛星軌道 豫測上의 誤差.
4. 船舶의 針路 및 速度에 依한 誤差.
5. 利用者의 空中線 높이 誤差.

등을 들 수 있겠으나 이들 中에서 1, 2, 3, 5 項의 原因으로 因한 誤差는 現在까지의 研究結果로 一般航海에서 要求되는 精度를 充分히 만족하는 범위로 줄일 수 있음이 알려져 있다.

다만 4項의 船速誤差로 因한 船位誤差는 本 方式이 衛星의 Doppler를 測定하고 있는 관계상 船位誤差가 船速誤差의 絕對值에 比例하며, 따라서 高速船이나 航空機일수록 甚하게 나타나 實用上 큰

障碍가 되고 있다.

多幸히도 NNSS方式에 있어서는 一定量의 速度誤差가 있을 境遇에도 船位誤差는 衛星의 仰角에 依해 變化되고 있으며, 現用의 NNSS受信器의 尙當수가 Short Doppler方式을 採擇하여 Data를 처리하고 있는데 이들 約 24秒 單位로 受信되는 Doppler Count로 數回 내지 數十回의 連續된 位置를 求하고, 이들 位置의 平均値에 對한 分散을 檢討하여 分散이 一定値에 達하면, Data의 不良으로 看做하여 測定船位를 포기하는 方式을 取함으로서, 豫期值 낮은 큰 誤差의 介入으로 因한 危險을 排除하고 있다.

過大한 船速誤差로 因하여 船位에 큰 誤差가 生긴 境遇에도 勿論 이 方法에 依하여 危險을 排除할 수 있다.

本 論文에서는 仰角의 變化에 따르는 船位誤差의 分散이 船速誤差가 클수록 커질 것을 豫想하여, log에서 測定한 船位附近에서 船速을 變化시켜 位置의 平均値에 對한 分散을 檢討하여 分散이 最小가 되는 船速을 찾아 眞船速으로 하고 이에 對한 船位를 함께 出力케 하는 方式을 採擇했으며, 萬一分散程度가 一定 臨界值 以下로 줄어 들지 않으면 Data不充分으로 取扱하여 偶發的인 船位誤差의 發生을 막도록 하는 方法을 提案하였다.

本 論文에서는 衛星情報로는 衛星으로 부터의 軌道情報를 使用하고 本船의 眞位置(任意)에서 船速에 誤差가 介入한 境遇의 計算 Doppler值를 測定 Doppler로 看做하여 眞船速을 逆算하는 電算機 Simulation에 依한 檢討를 行한 結果 良好한 結果를 얻었으며, 勿論 船速誤差도 現用의 方式에 比하여 크게 줄일 수 있음을 確認하였다.

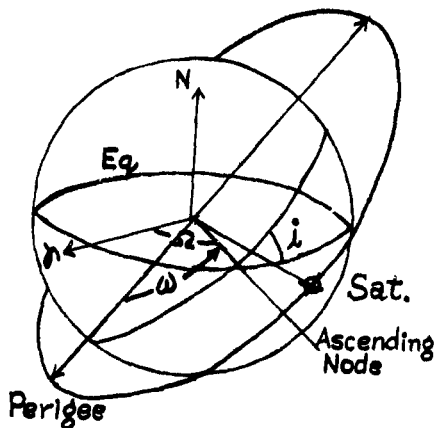


Fig. 1. Element of Orbit

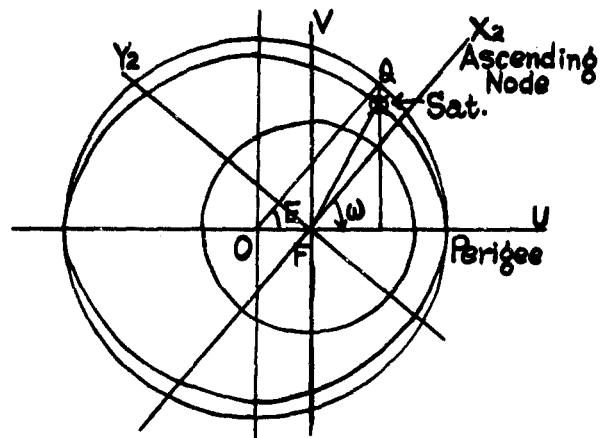


Fig. 2. Co-ordinates Rotation by ω

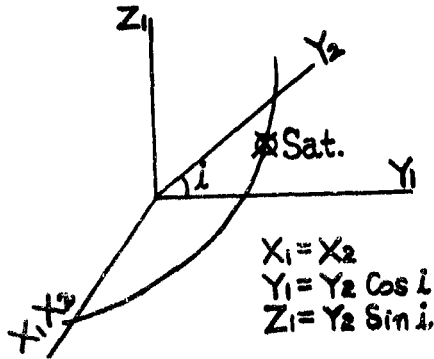


Fig. 3. Co-ordinates Rotation by i

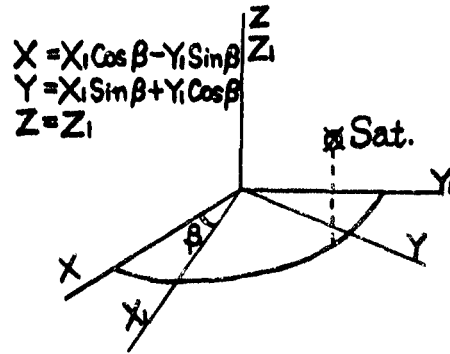


Fig. 4. Co-ordinates Rotation by β
(= Ω -GHA γ)

2. 理論的인 考察

地球의 實際모양은 상당한 起伏을 갖인 Geoid形이나 그 起伏은 空中線 높이와의 合으로 地球半徑의 增減에 依해 調節하여, 本 論文에서는 完全한 回轉橢圓體로 看做한다.

또 地球의 주위에는 大氣가 둘러싸고 있어서 衛星으로부터 傳達되는 電波는 大氣層에서 屈折하나 本 論文에서는 이에 對한 考察은 除外한다.

Simulation을 爲하여 衛星으로부터의 軌道情報을 使用하여 橢圓軌道上 衛星의 位置를 求하고, 回轉橢圓體인 地球 表面上 船位와 共通된 Cart座標界上에 表示하기 爲하여 地球 中心을 原點으로 하고 北極方向을 Z軸, 赤道面에서 經度 0° 의 方向을 X軸, 經度 $90^\circ E$ 의 方向을 Y軸으로 하는 直交座標界를 設定한다.

2-1. 衛星의 位置 計算

近地點을 基準으로 하여 地球中心에서 본 衛星의 運動角 平均值인 Doppler測定時의 平均 近點離角을 M_k (接尾文學 k는 t_k 時의 값을 表示하며, 以下 같다)라 하면

$$M_k = n \times \Delta t_k$$

로 表現되며 Doppler 測定時의 衛星을 通하여 近地點과 橢圓中心을 잇는 線에 垂直인 線을 그어 橢圓軌道의 外接圓과 만난 點과 近地點이 橢圓軌道 中心에서 만든 角(그림 2에서 $\angle QOP$)인 離心近點離角 E_k 는 Kepler方程式²⁾

$$E = M + \epsilon \sin E$$

로 表現되나 이 式은 超越方程式으로 간단히 解가 나오지 않으므로, NNSS에서는 衛星軌道가 거의 圓에 가까우므로 $\sin E$ 대신 $\sin M$ 으로 簡易化하고 E 값의 短時間 變動值 ΔE_k 를 加減하여 使用하면 다음 式이 된다.³⁾

$$E_k = M_k + \varepsilon \sin M_k + \Delta E_k \dots \dots \dots (2.1)$$

軌道의 平均 長半徑의 短時間 變動值 ΔA_k 를 考慮한 값, 即 測定時 長半徑 A_k 는 다음 式으로 表現된다.

$$A_k = A + \Delta A_k$$

軌道橢圓上 衛星의 位置는 그림 2에서 地球中心 F를 原點으로 하고 近地點方向을 U軸, 이의 直角方向을 V軸이라 하면 衛星의 座標는¹⁾

$$\left. \begin{aligned} U_k &= A_k (\cos E_k - \varepsilon) \\ V_k &= A_k \sqrt{1 - \varepsilon^2} \sin E_k \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2.2)$$

U_k 와 V_k 로 表示되는 t_k 時의 軌道橢圓上 衛星의 位置는 近地點 引數(ω), 軌道 傾斜角(i), 昇交點 赤經(Ω)을 考慮하여 그림 2.3 및 4와 같이 3回의 座標變換을 거쳐 Cart 座標界上의 3要素를 求하면 衛星의 座標 X_s, Y_s, Z_s 는

$$\left. \begin{aligned} X_{sk} &= X_2 \cos \beta_k - Y_2 \cos i \sin \beta_k \\ Y_{sk} &= X_2 \sin \beta_k + Y_2 \cos i \cos \beta_k \\ Z_{sk} &= Y_2 \sin i \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2.3)$$

$$\begin{aligned} \text{但 } \beta_k &= \Omega_0 + \dot{\Omega} \times \Delta t_k - \text{GHA } \gamma - \omega_s \times \Delta t_k \\ X_2 &= U_k \cos \omega_k - V_k \sin \omega_k \\ Y_2 &= U_k \sin \omega_k + V_k \cos \omega_k \\ \omega_k &= \omega_0 + \omega \times \Delta t_k \end{aligned}$$

다만 (2.3)式은 衛星軌道의 橫方向 變化 η_k 를 考慮치 않은 式이나 實用上 η_k 는 極히 微小하여 Simulation에 影響을 주지 않으므로 이를 無視하였다.

2-2. 受信點의 位置 計算

嚴密히는 Doppler 測定時의 受信點은 海面上에서 空中線까지 높이와 Geoid 높이를 고려한 地球表面上 位置를 말하므로 $X \cdot Y \cdot Z$ 座標上의 受信點의 位置 X_n, Y_n, Z_n 은 다음 式으로 整理된다.

$$\left. \begin{aligned} X_{nk} &= (R^2/D_k + h) \cos \varphi_k \cos \lambda_k \\ Y_{nk} &= (R^2/D_k + h) \cos \varphi_k \sin \lambda_k \\ Z_{nk} &= \left(\frac{R^2(1-f)^2}{D_k} + h \right) \sin \varphi_k \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (2.4)$$

$$\begin{aligned} \text{但 } D_k &= R \{ \cos^2 \varphi_k + (1-f)^2 \sin^2 \varphi_k \}^{\frac{1}{2}} \\ h &= \text{Geoid 高} + \text{Antenna 高} \end{aligned}$$

地球上 受信點의 移動은 衛星의 移動에 比하여 대단히 微弱하므로 地球를 眞球로 假定하면 分當 經緯度 變化는 船舶의 針器를 CO. 速度를 $V_{(KTS)}$ 라 할 때

$$\left. \begin{aligned} \frac{d\varphi}{dt} &= \frac{V \times \cos co}{60 \times 60} \text{ (deg)} \\ \frac{d\lambda}{dt} &= \frac{V \times \sin co}{60 \times 60 \cos \varphi} \text{ (deg)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(2.5)$$

로 나타낼 수 있다.

2-3. 衛星과 受信點間的 距離變化 計算

衛星과 受信點 間的 Doppler 測定時 距離는 (2.3)式과 (2.4)式으로부터 다음 式으로 求할 수 있다.

$$D_i = \{(X_{sk} - X_{nk})^2 + (Y_{sk} - Y_{nk})^2 + (Z_{sk} - Z_{nk})^2\}^{1/2} \dots\dots\dots(2.6)$$

따라서 Doppler 測定時 計算距離 變化는

$$D_{c_k} = D_i - D_{i-1} \dots\dots\dots(2.7)$$

과 같이 求할 수 있으며, 反面 Doppler Count에 依한 實測距離 變化는 NNSS의 基本式을¹⁾ 使用하여 求할 수 있다.

$$D_{c_k} = \lambda_L(N_k - \Delta t \Delta f) \dots\dots\dots(2.8)$$

2-4. Doppler 測定值에 依한 船位 計算

位置線은 t_{k-1} 과 t_k 時의 衛星位置를 焦點으로 하여 距離差 D_{c_k} 를 갖는 回轉雙曲面과 地表面과의 交線이 되며, 마찬가지로 t_k 와 t_{k+1} 時間에 對해서도 位置線을 求할 수 있어, 隔時 觀測法(Running Fix)으로 本船의 位置를 求할 수가 있다.

그러나 上記 方式이 複雜하여 直接 計算하기 힘들므로 一般的으로 推測位置(D. R. P.)를 修正하여 眞位置를 求하는 修正差法을 使用한다.

推測 經緯度를 φ , λ , 船位 修正量을 各各 $\Delta\varphi$, $\Delta\lambda$ 라 하면 t_{k-1} 과 t_k 時間에서 다음 式을 얻는다.

$$\left(\frac{\partial D_k}{\partial \varphi} - \frac{\partial D_{k-1}}{\partial \varphi} \right) \Delta\varphi + \left(\frac{\partial D_k}{\partial \lambda} - \frac{\partial D_{k-1}}{\partial \lambda} \right) \Delta\lambda = D_{c_k} - D_{c_{k-1}} \dots(2.9-A)$$

마찬가지로 t_k 와 t_{k+1} 時間에서는 다음 式을 얻는다.

$$\left(\frac{\partial D_{k+1}}{\partial \varphi} - \frac{\partial D_k}{\partial \varphi} \right) \Delta\varphi + \left(\frac{\partial D_{k+1}}{\partial \lambda} - \frac{\partial D_k}{\partial \lambda} \right) \Delta\lambda = D_{c_{k+1}} - D_{c_k} \dots(2.9-B)$$

上記 2個의 式의 左邊項은 (2.6)式의 微分式이나 煩雜을 避하기 爲하여 電算機에 依한 強制微分을 行했다. 卽

$$\frac{\partial D_k}{\partial \varphi} = \frac{D_k(\Delta t_k, \varphi + 1.0 \times 10^{-8}, \lambda) - D_k(\Delta t_k, \varphi, \lambda)}{1.0 \times 10^{-8}} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$\frac{\partial D_k}{\partial \lambda} = \frac{D_k(\Delta t_k, \varphi, \lambda + 1.0 \times 10^{-8}) - D_k(\Delta t_k, \varphi, \lambda)}{1.0 \times 10^{-8}} \dots\dots\dots(2.11)$$

(2.9-A)와 (2.9-B)式을 聯立方程式으로 풀어 $\Delta\varphi$ 와 $\Delta\lambda$ 를 얻을 수 있으나 (2.9-A)와 (2.9-B)式이 Taylor級數의 2階 以上の 項을 省略한 近似式이므로 推測位置의 誤差가 클 때에는 求해진 $\Delta\varphi$

와 $\Delta\lambda$ 를 加減한 φ 와 λ 를 다시 推測位置로 하여 反復計算함으로써 精密한 船位를 求할 수 있다.

本 論文에서는 倍精度 Gauss法에 依해 計算하였고 推測位置의 誤差가 1 Radian 미만에서 收斂하며 3~5回 反復計算으로 船位 修正量이 各各 10^{-10} Radian 以內가 됨을 確認하였다.

2-5. 衛星의 仰角 計算

Vecctor論에서 두개의 線分이 이루는 角 θ 는 다음과 같이 표현된다.¹⁾

$$\cos \theta = \frac{(X_S - X_N)X_N + (Y_S - Y_N)Y_N + (Z_S - Z_N)Z_N}{D \times K}$$

Doppler 測定時의 仰角을 α_k 라 하면 $\cos \theta = \cos \alpha_k + 90^\circ = \sin \alpha_k$ 이므로

$$\alpha_k = \sin^{-1} \left\{ \frac{(X_{sk} - X_{nk})X_{nk} + (Y_{sk} - Y_{nk})Y_{nk} + (Z_{sk} - Z_{nk})Z_{nk}}{D_k \cdot R} \right\} \dots (2.12)$$

豫想 高度仰角은 時間變化에 따른 仰角變化를 計算하여 Newton法에 의한 極值探索法을 使用했다.

〈表 1〉 衛星으로부터의 Data와 整理

Data	$t_k(\text{min})$	$\Delta E_k(\text{deg})$	$\Delta A_k(\text{km})$	$\eta_k(\text{km})$
40293015	0652	0.0029	3.01	0.0
40442983	0654	0.0044	2.98	—
40592885	0656	0.0059	2.88	0.3
40722703	0658	0.0072	2.70	—
00842465	0700	0.0084	2.46	0.6
.....
.....
43854143	$t_P = 1385.4143 \text{ min}$			
83736588	$n = 3.3736588 \text{ deg/min}$			
82256501	$\omega_0 = 225.6501 \text{ deg}$			
80021122	$\omega = 0.0021122 \text{ deg/min}$			
80004012	$\epsilon = 0.004012$			
80745237	$A = 7452.37 \text{ km}$			
82234649	$\Omega_0 = 223,4649 \text{ deg}$			
90000517	$\dot{\Omega} = -0.0000517 \text{ deg/min}$			
80012966	$\sin i = 0.012966$			
83248936	$\text{GHA}7 = 324.8936 \text{ deg}$			
80030140	$\text{SAT. No} = 30140$			
86620242	$\text{Julian Day} = 242$			
80999916	$\text{Cos } i = 0.999916$			

3. Simulation에 의한 考察

韓國海洋大學에 設置된 美溯 Magnavox社 製品 NNSS 受信器 MX 702을 使用하여 1979年 Julian Day 243日(8月 30日) GMT 0656의 衛星番號 30140의 軌道情報을 採取하였고, NNSS에 On-Line 으로 設置된 專用 Micro-Computer 美溯 Hewlett, Packard社 製品인 2100-A Computer 에 依한 計算結果을 보면 最高仰角 43°이고, 北에서 여서 東向觀測되는(GEOM N-E) 衛星이었다.

地球의 測地系는 WGS-72를 使用했으며, 受信點의 推測位置는 35°-00'.0N, 129°-00'.0E로 入力했다.

Geoid高는 測地系變換圖에⁸⁾ 依해 釜山地方의 20meters로 하고, Antenna 높이는 韓國海洋大學의 本館 높이를 考慮하여 26 meters를 使用하였다.

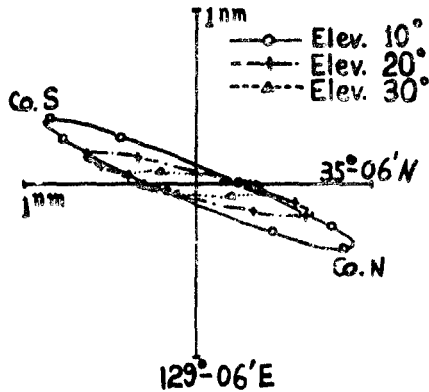


Fig5-A Position Dispersion at Elev. 10°~30°, Sp.Err. 2^{kts} in Each Course(Geom N-E, Max. Elev. 43°)

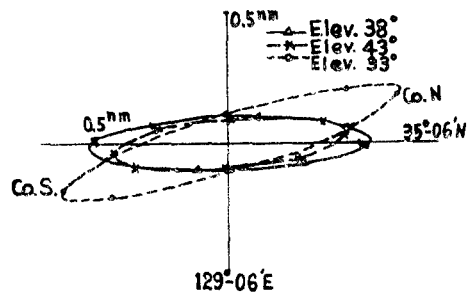


Fig.5-B Position Dispersion at Elev. 38°-43°-33°, Sp.Err. 2^{kts} in Each Course(Geom N-E, Max. Elev.43°)

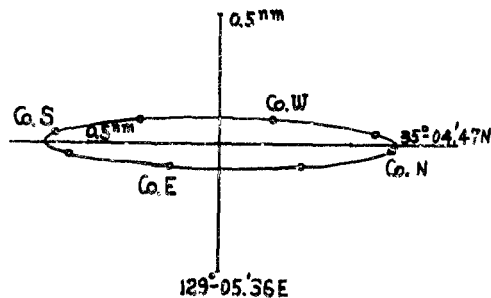


Fig.6. Position Dispersion by NNSS at Sp. Err. 2^{kts} in Each Course(Geom N-E, Max. Elev,43°)

Doppler Count에 依한 實測距離差는 眞位置를 35°-06'.0N, 129°-06'.0E로 잡고 眞位置에서 衛星까지 計算距離를 求하여 使用하였다.

Simulation은 韓國海洋大學에 設置된 Mini-Computer인 日本製品 FACOM U-300을 倍精度로 하여 使用하였다.

使用된 軌道情報과 整理된 結果는 <表1>과 같다.

3-1 仰角別 位置의 分散 檢討

本船의 速度가 0인 位置, 即 停點에서 速度誤差가 -1.0^{kts}, -0.5^{kts}, 0^{kts}, 0.5^{kts}, 1.0^{kts}, 1.5^{kts}, 2.0^{kts}가 있다고 各各 入力했을 때, 8方

位點의 仰角別 船位 變化를 觀察하기 爲하여 30140衛星이 Doppler測定 開始 以後 豫想最大仰角 以前에서 任意의 4分間, 卽 Short Doppler System에서 Doppler Count 10個를 선택하여 仰角變化가 約 $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 인 경우와 最高仰角 附近인 $38^{\circ}\sim 43^{\circ}\sim 34^{\circ}$ 인 경우의 位置를 針路別로 그림 5-A와 5-B에 表示하였다.

그림에 依하면 대체로 船舶의 針路가 東과 西附近에서 船位가 약간 南北으로 偏向하고, 南北針路附近에서 크게 東西로 偏向하는 橢圓 軌跡을 이루고 있으며, 最高仰角 附近에서 誤差圓이 가장 작아지며, 誤差橢圓의 長軸도 經度를 軸으로 하여 反對로 移動하고 있다.

이는 隔時觀測에 依한 영향으로 最高仰角 附近에서 位置線 交角이 좋아져 誤差圈이 작아지는 것으로 思料된다.

實際 NNSS에서 實測한 Doppler Count에 依한 眞速力의 位置를 내고, 自體에 內裝된 Recompute Mode를 使用하여 針路別 速度誤差를 주어 再計算한 結果, 그림 6과 같은 現狀을 보여 Simulation時 最高仰角 部近과 같은 傾向을 보이고 있다.

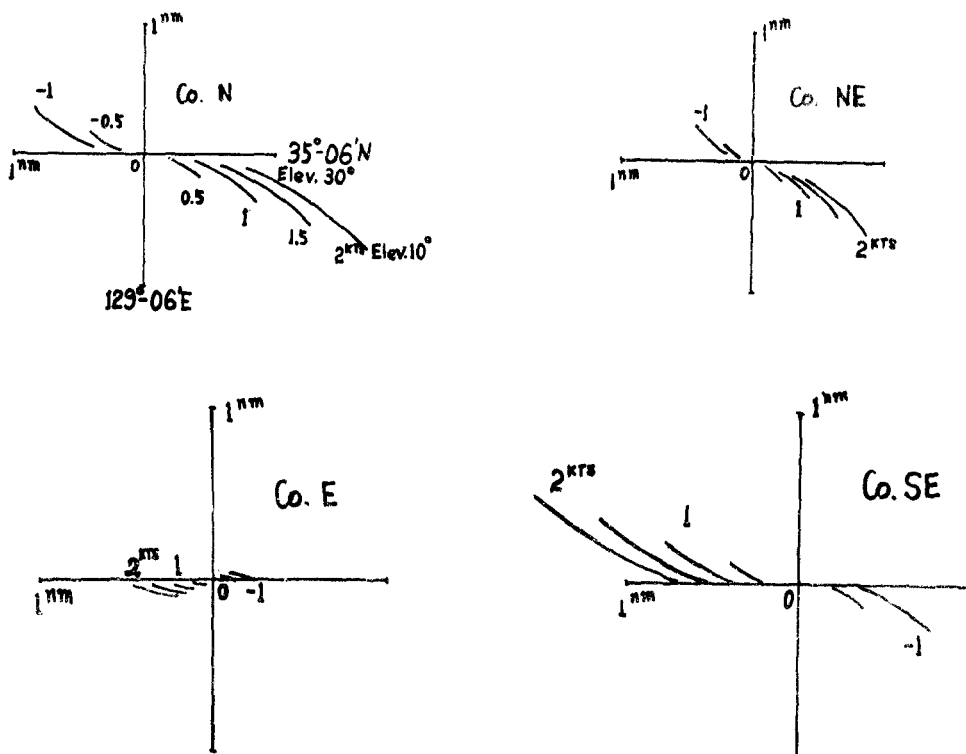


Fig. 7. Position Dispersion at Elev. $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ (Geom N-E, Max. Elev. 43°)

仰角變化에 따른 位置를 入力速力別로 기점하면, 衛星의 上昇時는 그림 7과 같고, 最高仰角 附近에서는 그림 8과 같으며, 反對方向의 針路에서는 같은現狀을 反對로 보이고 있다.

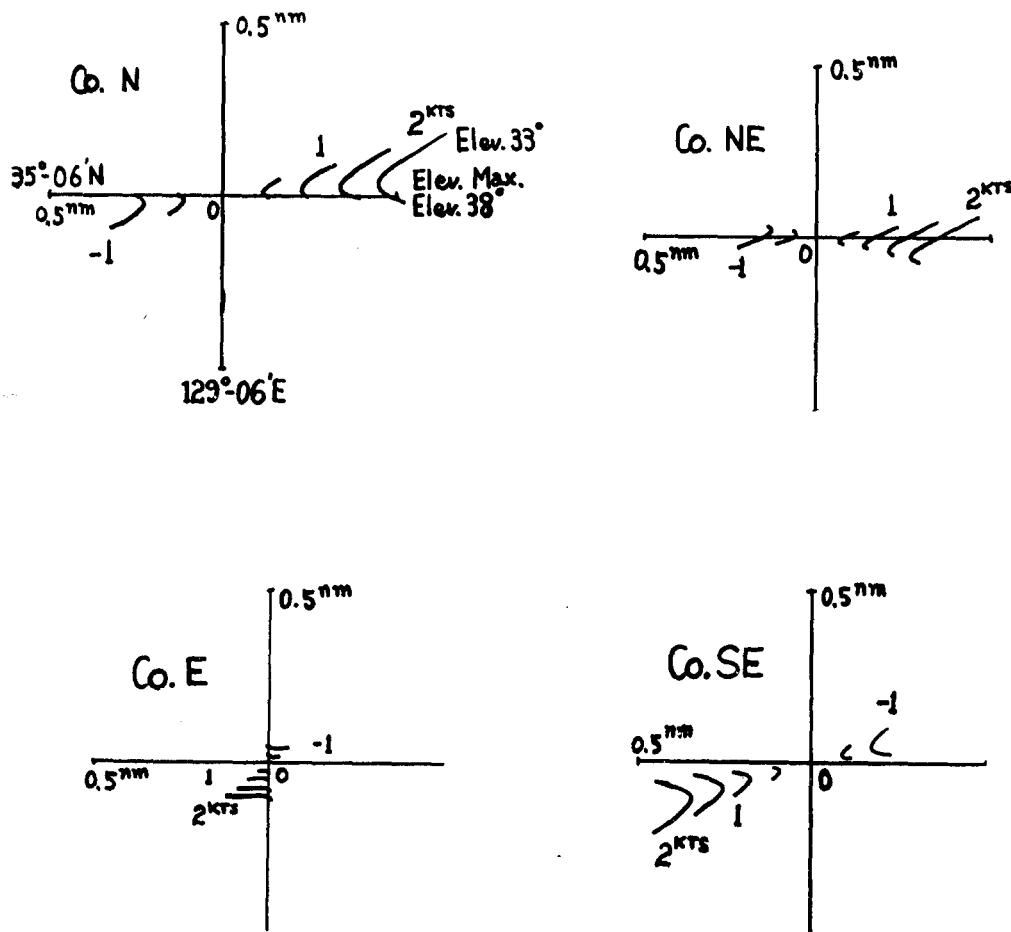


Fig. 8. Position Dispersion at Elev 38°-43°-33° (Geom N-E, Max. Elev. 43°)

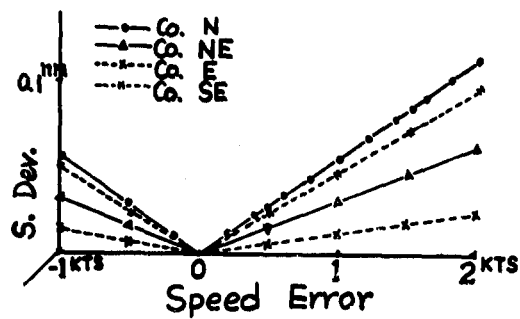


Fig. 9. Standard Deviation of Position at Elev. 10°-30° in Various Sp. Err.

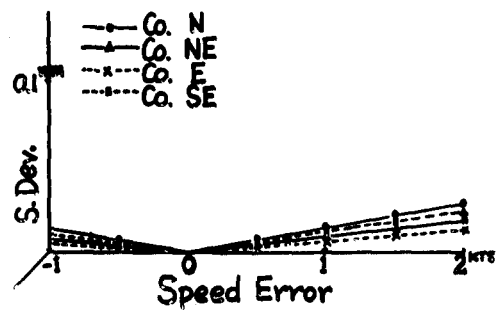


Fig. 10. Standard Deviation of Position at Elev. 38°-43°-33° in Various Sp. Err.

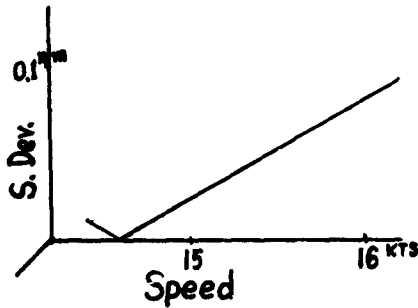


Fig. 11. Standard Deviation of Position at Elev $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ v.s. Speed near 16^{KTS}

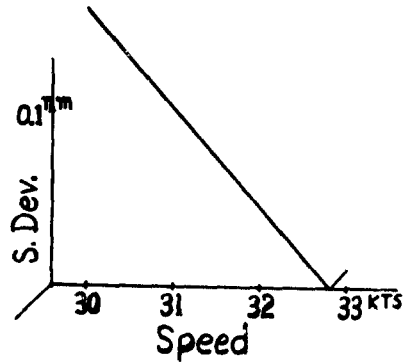


Fig. 12. Standard Deviation of Position at Elev $10^{\circ}\sim 30^{\circ}$ v.s. Speed near 30^{KTS}

이들 位置를 速度別로 算術平均을 算出하고 이를 中心으로 한 標準偏差를 그림 9와 10에 表示하였는데, 이들 位置의 仰角에 對한 偏差는 針路가 南이나 北에서 크고, 東이나 西에서 작으며, 仰角變化가 작은 最高仰角 附近에서는 작아져 완만한 傾斜를 이루고 있다.

그러나 眞速度인 0^{KTS} 에서는 偏差가 周邊速度과 比較해 현저히 最小點을 보이고 있어 쉽게 識別되고 있다.

그림 11과 12는 眞速度 14.6^{KTS} 인 船舶이 推測船速을 16^{KTS} 로 入力시켰을 경우와, 眞船速 32.8^{KTS} 인 船舶이 推測船速 30^{KTS} 를 入力시켰을 경우, 眞船速을 探索하는 過程에서 關係速度에 對한 標準偏差를 表示한 것이며, 그림 6, 7과 같이 偏差의 最小點이 眞船速임을 알 수 있다.

3-2 船速誤差 消去를 爲한 Algorithm

前節에서 밝힌 바와 같이 仰角別 位置의 偏差는 眞船速에서 最小이므로, 實際에서 仰角의 變化에 依한 位置를 될 수 있는 限 多數 測定 計算하여 標準偏差의 信賴度를 높이고, 速度變化에 따른 偏差變化를 連續 計算하여 最小值를 찾으면 眞速度를 求할 수 있음을 알았다.

本 論文에서는 推測速度에서 10個의 位置에 依한 標準偏差를 求하고, 推測速度를 增減시켜 偏差가 最小가 되는 方向으로 反復計算 함으로써 偏差의 最小點을 찾고, 最小點에서의 速度과 船位를 眞速度와 眞位置로써 出力시키는 Program을 提示했다.

實例로서 眞速度 0^{KTS} , 14.6^{KTS} , 32.8^{KTS} 의 경우, 推測速度를 各各 2^{KTS} , 16^{KTS} , 30^{KTS} 로 入力시킨 경우의 出力結果를 添付했다.

4. 結 論

本 論文에서는 連續되는 數回の 船位의 分散을 最小로 하는 船速을 찾아냄으로써 船速誤差로 因한 船位誤差를 除去하는 方法을 提示하였고 測定한 Doppler Count가 正確하다면 本船의 速度計 없이도 本船의 船速 및 正確한 船位를 計算할 수 있음을 計算機 Simulation에 依하여 立證하였다.

本 論文에서는 觀測한 Doppler 代身に 假定한 眞位置로부터의 計算距離差를 使用하였으므로 送受信器의 狀態不良으로 因한 Doppler 測定值의 誤差가 介入되는 境遇에는 正確한 船速 및 船位를 計算할 수 있다는 保證은 없으나, 이러한 危險은 觀測回數를 增加시킴으로써 除去할 수 있다고 思料된다.

또한 本 方式에서는 眞針路와 豫想針路가 同一한 경우만을 取扱하였으나 本 論文에서 提示한 手法를 擴張하면 眞速力뿐 아니라 眞針路도 求할 수 있을 것이며, 앞으로는 이 問題와 아울러 上記한 送受信器 不良으로 因한 Doppler 測定值 誤差가 本方式에 미치는 影響을 계속하여 研究해 보고져 한다.

參 考 文 獻

- 1) 鄭世謨: '船速誤差가 NNSS 船位에 미치는 影響에 關한 研究', 韓國海洋大學 論文集(自然科學編) Vol. 14. pp.37-43.
- 2) 虎研正久: '宇宙航行의 數學', 森北出版株式會社, pp.9-13.
- 3) 木村小一: '衛星航法', 海文堂, pp.59-60.
- 4) Angus E, Talyor; 'Calculus with Analytic Geometry' Rentice Hall Inc, pp.74-76.
- 5) 酒井進: '地文航海學', 海文堂, pp.44-45.
- 6) 鄭世謨: '人工衛星 航法の 現況과 展望' 韓國航海學會誌. Vol. 1. pp.75-82.
- 7) 張起元: '高等 微分積分學', 大韓教科書株式會社, pp.111.
- 8) 進士晃: '測地系 變換圖 刊行', 日本航海學會誌(航海), Vol. 50. pp.47.

PANAFACOM UMOS/D E004 FORTRAN VO1/L05 -760501-

```

ISN STNO.          SOURCE STATEMENT
C      FINDING MINIMUM DEVIATION OF FIXES
C      B; SHIPS SPEEDS          DDEV; DEVIATION
C      AVEY; AVERAGE OF DIFFERENCE LONGITUDE FROM D. R. FIX
C      AVEX; AVERAGE OF DIFFERENCE LATITUDE FROM D. R. FIX
C
1      DOUBLE PRECISION B, C, EE, DE, A, DA, WW, DW, R, DB, AG, WE,
      1F, H, RO, PPO, QQO,
      1PX, QY, AVEX, AVEY, DV33, DV11, DV22, BI, APP, AQQ
2      WRITE(6,999)
3      999 FORMAT(///, 30X, 'DEVIATION & AVERAGE FIX AT ELEVATION 10-30
      DEG. ON
      1EACH SPEED', /, 20X, 'TRUE FIX...35.1 N, 129.1 E, TRUE SPEED...
      20.0 KTS, MAXIMUM ELFEVATION...43. DEG. ', /)
C
4      B=2.
5      READ(5,100) C, DE, DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQO
6      100 FORMAT(8F10.3/4F10.3)
7      CALL ERR(B, C, DE, DA, WW, DW, R, DR, AG, F,H,PPO,QQO, AVEX,
      1AVEY, DV22)
8      GO TO 33
C
9      44 DV22=DV33
10     33 B=B+0.2
11     READ(5,100)C, DE, DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQO
12     CALL ERR(B,C,DE,DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQO, AVEX,
      1AVEY, DV33)
13     IF(DV22/DV33-1. 0)11, 22, 44
14     11 B=B-0.2
15     GO TO 15
C
16     12 DV22=DV11
17     15 B=B-0.2
18     READ(5, 100)C, DE, DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQO
19     CALL ERR(B, C, DE, DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQO, AVEX,
      1AVEY, DV11)‡
20     IF(DV22/DV11-1.0)23, 22, 12
C
21     23 B=B+0.2
22     READ(5, 100)C, DE, DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQO
23     CALL ERR(B,C,DE,DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQO, AVEX,
      1AVEY, DV22)
C
24     22 WRITE(6,222)B, DV22
25     222 FORMAT(1H /, 30X, 'TRUE SPEED OF SHIP', 23X, F12. 5, /, 30X,
      2'DEVIATION ON TRUE SPEED', 19X, D20.10)
26     WRITE(6,888)PPO, QQO
27     888 FORMAT(1H ,29X, 'D.R. POSITION', 29X, F12.5, /, 30X, 'D. R. POSITION',
      29X, F12.5)
28     APP=AVEX/60. +PPO
29     AQQ=AVEY/60. +QQO

```

```

C
30 WRITE(6, 777)APP, AQQ
31 777 FORMAT(1H , 29X, 'TRUE POSITION LATITUDE', 19X, , F12. 5, /, 30X,
1 'TRUE POSITION LONGITUDE', 18X, F12.5)
32 WRITE(6, 223) AVEX, AVEY
33 223 FORMAT(1H , 29X, 'DIFF. LATITUDE FROM D.R.POSITION', 9X, F12.5,
1/, 30X, 'DIFF. LONGITUDE FROM D. R. POSITION', 8X, F12.5)
34 IF(DV11. GT. 0.1) GO TO 66
35 GO TO 77
36 66 WRITE(6, 666)
37 666 FORMAT(1HO, 20X, 'UNUSABLE DATAS')
38 77 STOP
39 END
ISN STNO. SOURCE STATEMENT
1 SUBROUTINE ERR(B, C, DE, DA, WW, DW, R, DR, AG, F, H, PPO, QQQ,
1AVEX, AVEY, DDEV)
C DT; DOPPLER RECEIVING TIME COUNTED FROM PERIGEE TIME
C E; CENTAL ANGLE FROM PERIGEE C; MEAN MOTIOM
C EE; ECENTRICITY F; COSINE OF INCLINATION ANGLE
C A: SEMI-MAJOR AXIS W:ARGUMENT OF PERGEE R:ASCENDING NODE
C PP; LATITUDE OF SHIP QQ; LONGITUDF OF SHIP
C RO; MAJOR SEMI DIAMETER ON EQUARTER
C
2 REAL MAXEL
3 DOUBLE PRECISION A, C, DA, DE, DT, E, EE, DDDPP, DDDQQ, DOP, DI
1ST, U, V, W, X, Y, Z, XS, YS, ZS, XN, XSN, YN, YSN, ZN, ZSN, R, DR,
1DW, AG, WE, RE, PP, Q 2Q, RO, EL, ELEV, CO, RAD, DDT, B, APP, AQQ
4 DOUBLE PRECISION DPP, DQQ, D1, D2, D3, T1, T, TT, WW, DD, G, DEV,
1DIRE, MAXEL, E 1PS, AVEX, AVEY, D, PX, QY, DDEV, RDIST, EDI-
1ST, S, CCO, BBB, DPD, DQD, PPPZ, QQQZ, 2PAI, DEG, PPPP, QQQ
5 DIMENSION G(2, 3)
6 DIMENSION PX(10), QY(10)
C
7 E(DT) = C*DT + EE*DSIN(C*DT) + DE
C
8 U(DT) = A*(DCOS(E(DT)) - EE)
9 V(DT) = A*DSQRT(1.0 - EE**2)*DSIN(E(DT))
C
10 W(DT) = WW - ABS(DW)*DT
11 S(DT) = (R + DR*DT) - AG - WE*DT
C
12 X(DT) = U(DT)*DCOS(W(DT)) - V(DT)*DSIN(W(DT))
13 Y(DT) = U(DT)*DSIN(W(DT)) + V(DT)*DCOS(W(DT))
C
14 XS(DT) = X(DT)*DCOS(S(DT)) - Y(DT)*F*DSIN(S(DT))
15 YS(DT) = X(DT)*DSIN(S(DT)) + Y(DT)*F*DCOS(S(DT))
16 ZS(DT) = Y(DT)*0.99991
C
17 RE(PP) = DSQRT(DCOS(PP**2 + 0.99999*DSIN(PP)**2)*RO
C
18 XN(PP, QQ) = (RO**2/RE(PP) + H)*DCOS(PP)*DCOS(QQ)
19 YN(PP, QQ) = (RO**2/RE(PP) + H)*DCOS(PP)*DSIN(QQ)
20 ZN(PP) = (RO**2*0.99999/RE(PP) + H)*DSIN(PP)
C

```

```

21      XSN(DT, PP, QQ) = XS(DT) - XN(PP, QQ)
22      YSN(DT, PP, QQ) = YS(DT) - YN(PP, QQ)
23      ZSN(DT, PP) = ZS(DT) - ZN(PP)
24      C      DIST(DT, PP, QQ) = DSQRT(XSN(DT, PP, QQ)**2 + YSN(DT, PP, QQ)**
25      C      2 + ZSN(DT, PP)**2)
26      DDDQQ(DT, PP, QQ) = (DIST(DT, PP, QQ+1.0D-8) - DIST(DT, PP, QQ))
27      1/1.0D-8
28      DDDPP(DT, PP, QQ) = (DIST(DT, PP+1.0D-8, QQ) - DIST(DT, PP, QQ))
29      1/1.0D-8
30      C      RDIST(PP, QQ) = DSQRT(XN(PP, QQ)**2 + YN(PP, QQ)**2 + ZN(PP)**2)
31      EDIST(DT, PP, QQ) = (XSN(DT, PP, QQ)*XN(PP, QQ) + YSN(DT, PP, QQ)
32      1*YN(PP, QQ) + ZSN(DT, PP)*ZN(PP))/ (DIST(DT, PP, QQ)*RDIST(PP,
33      1QQ))
34      EL(DT, PP, QQ) = DATAN(EDIST(DT, PP, QQ)/DSQRT(1. -EDIST(DT, PP,
35      1QQ)**2))
36      C      DOP(N) = 4.046875D - 0.4*(N - 0.4*1.92D 06)
37      C      RAD(PP) = PP/180.0*3.14159265359D 00
38      DEG(PP) = PP*180.0/3.14159265359D 00
39      C      PAI = 3.14159265359D 00
40      WE = 0.25068448D 00
41      RO = 3443.934
42      EE = 0.004012
43      A = 4023.9578
44      A = A + DA
45      PPPP = 35.1
46      QQQQ = 129.1
47      PPPP = RAD(PPPP)
48      QQQQ = RAD(QQQQ)
49      WW = RAD(WW)
50      DW = RAD(DW)
51      WE = RAD(WE)
52      AG = RAD(AG)
53      DR = RAD(DR)
54      R = RAD(R)
55      C = RAD(C)
56      DE = RAD(DE)
57      C      C0 = 0.0
58      AVEX = 0.
59      AVEY = 0.
60      DDEV = 0.
61      DO 1000 K = 1, 10
62      DT = 470.5857 + DFLOAT(K)*0.4
63      C      PP = PPO
64      QQ = QQO
65      PP = RAD(PP)
66      QQ = RAD(QQ)

```

```

61      CO=RAD(CO)
62      C
63      DDT=0.4
64      DPP=RAD(DCOS(CO)*B/1800. /5. )
65      DQQ=RAD(DSIN(CO)*B/(1800. *5. *DCOS(PP)))
66      CO=DEG(CO)
67      ELEV=0.0
68      ELEV=EL(DT, PP, QQ)*180.0/PAI
69      C
70      BBB=0.0
71      CCO=0.
72      CCO=RAD(CCO)
73      DPD=RAD(DCOS(CCO)*BBB/1800. /5. )
74      DQD=RAD(DSIN(CCO)*BBB/(1800. *5. *DCOS(PP)))
75      C
76      20 D1=DIST(DT-DDT, PP-DPP, QQ-DQQ)
77      D2=DIST(DT, PP, QQ)
78      D3=DIST(DT+DDT, PP+DPP, QQ+DQQ)
79      C
80      G(1, 1)=DDDPP(DT, PP, QQ)-DDDPP(DT-DDT, PP-DPP, QQ-DQQ)
81      G(1, 2)=DDDQQ(DT, PP, QQ)-DDDQQ(DT-DDT, PP-DPP, QQ-DQQ)
82      G(2, 1)=DDDPP(DT+DDT, PP+DPP, QQ+DQQ)-DDDPP(DT, PP, QQ)
83      G(2, 2)=DDDQQ(DT+DDT, PP+DPP, QQ+DQQ)-DDDQQ(DT, PP, QQ)
84      G(1, 3)=DIST(DT, PPPP, QQQQ)-DIST(DT-DDT, PPPP-DPD, QQQQ-
85      1DQD)-D2+D1
86      G(2, 3)=DIST(DT+DDT, PPPP+DPD, QQQQ+DQD)-DIST(DT, PPPP,
87      1QQQQ)-D3+D2
88      C
89      CALL GAUELD(G, 2, 2, 3, 1. 0D-20, ILL)
90      IF(ILL)3, 10, 3
91      3 WRITE(6, 222)ILL
92      222 FORMAT(1H, 5X, 'ILL', I10)
93      10 CONTINUE
94      C
95      QQ=QQ+G(2, 3)
96      PP=PP+G(1, 3)
97      IF((G(1, 3)**2+G(2, 3)**2). LT. 1. 0D-15)GO TO 30
98      GO TO 20
99      C
100     30 PP=DEG(PP)
101     QQ=DEG(QQ)
102     CCO=DEG(CCO)
103     PX(K)=(PP-PPO)*60.
104     QY(K)=(QQ-QQO)*60.
105     C
106     AVEX=AVEX+PX(K)
107     AVEY=AVEY+QY(K)
108     1000 CONTINUE
109     L=10
110     RL=L
111     AVEX=AVEX/RL
112     AVEY=AVEY/RL
113     DO 6 M=1, L

```



```

104      DDEV = DDEV + (AVEX - PX(M) ** 2 + (AVEY - QY(M) ** 2
105      5 CONTINUE
106      DDEV = DSQRT(DDEV) /RL
      C
107      APP = AVEX/60. + PPO
108      AQQ = AVEY/60. + QQO
109      WRITE(6, 111)B. APP. AQQ, AVEX, AVEY, DDEV
110      111 FORMAT(1H, 15X, 'SPD', F6.2, 'A.LAT', F9.5, 'A. LON', F10.5, 'A.
      1DLAT', F9.5, 'A. DLON', F9.5, 'DEV' D15.7)
111      RETURN
112      END
    
```

DEVIATION & AVERAGE FIX AT ELEVATION 10-30 DEG. ON EACH SPEED

TRUE FIX...35.1 N, 129.1 E, TRUE SPEED...0.0 KTS, MAXIMUM ELEVATION...43. DEG.

```

SPD 2.00 A. LAT 35.09357 A. LON 129.12079 A. DLAT 5.61434 A. DLON 7.24731 DEV 0.1146107D 00
SPD 2.20 A. LAT 35.09293 A. LON 129.12287 A. DLAT 5.57581 A. DLON 7.37217 DEV 0.1260821D 00
SPD 1.80 A. LAT 35.09421 A. LON 129.11871 A. DLAT 5.65286 A. DLON 7.12247 DEV 0.1031411D 00
SPD 1.60 A. LAT 35.09435 A. LON 129.11738 A. DLAT 5.66114 A. DLON 7.04293 DEV 0.9188177D-01
SPD 1.40 A. LAT 35.09550 A. LON 129.11455 A. DLAT 5.72989 A. DLON 6.87282 DEV 0.8020767D-01
SPD 1.20 A. LAT 35.09614 A. LON 129.11247 A. DLAT 5.76841 A. DLON 6.74802 DEV 0.6874378D-01
SPD 1.00 A. LAT 35.09678 A. LON 129.11039 A. DLAT 5.80692 A. DLON 6.62322 DEV 0.5728178D-01
SPD 0.80 A. LAT 35.09742 A. LON 129.10831 A. DLAT 5.84543 A. DLON 6.49844 DEV 0.4582166D-01
SPD 0.60 A. LAT 35.09807 A. LON 129.10623 A. DLAT 5.88394 A. DLON 6.37368 DEV 0.3436342D-01
SPD 0.40 A. LAT 35.09871 A. LON 129.10415 A. DLAT 5.92245 A. DLON 6.24892 DEV 0.2290707D-01
SPD 0.20 A. LAT 35.09935 A. LON 129.10207 A. DLAT 5.96095 A. DLON 6.12418 DEV 0.1145260D-01
SPD 0.00 A. LAT 35.09999 A. LON 129.09999 A. DLAT 5.99945 A. DLON 5.99945 DEV 0.6822307D-08
SPD-0.20 A. LAT 35.10063 A. LON 129.09791 A. DLAT 6.03795 A. DLON 5.87473 DEV 0.1145071D-01
SPD 0.00 A. LAT 35.09999 A. LON 129.09999 A. DLAT 5.99945 A. DLON 5.99945 DEV 0.6822307D-08
    
```

```

      TRUE SPEED OF SHIP                0.00000
      DEVIATION ON TRUE SPEED           0.6822307222D-08
      D. R. POSITION                       35.00000
      D. R. POSITION                       129.00000
      TRUE POSITION LATITUDE               35.09999
      TRUE POSITION LONGITUDE              129.09999
      DIFF. LATITUDE FROM D. R. POSITION   5.99945
      DIFF. LONGITUDE FROM D. R. POSITION  5.99945
    
```

```

SPD 16.00 A. LAT 35.09550 A. LON 129.11457 A. DLAT 5.72973 A. DLON 6.87434 DEV 0.8034382D-01
SPD 16.20 A. LAT 35.09485 A. LON 129.11666 A. DLAT 5.69120 A. DLON 6.99938 DEV 0.9182908D-01
SPD 15.80 A. LAT 35.09614 A. LON 129.11249 A. DLAT 5.76827 A. DLON 6.74932 DEV 0.6886046D-01
SPD 15.60 A. LAT 35.09678 A. LON 129.11041 A. DLAT 5.80681 A. DLON 6.62431 DEV 0.5737900D-01
SPD 15.40 A. LAT 35.09742 A. LON 129.10832 A. DLAT 5.84534 A. DLON 6.49931 DEV 0.4589942D-01
SPD 15.20 A. LAT 35.09806 A. LON 129.10624 A. DLAT 5.88387 A. DLON 6.37433 DEV 0.3442174D-01
SPD 15.00 A. LAT 35.09871 A. LON 129.10416 A. DLAT 5.92240 A. DLON 6.24936 DEV 0.2294595D-01
SPD 14.80 A. LAT 35.09935 A. LON 129.10207 A. DLAT 5.96093 A. DLON 6.12440 DEV 0.1147205D-01
SPD 14.60 A. LAT 35.09999 A. LON 129.09999 A. DLAT 5.99945 A. DLON 5.99945 DEV 0.3763373D-07
SPD 14.40 A. LAT 35.10063 A. LON 129.09791 A. DLAT 6.03797 A. DLON 5.87452 DEV 0.1147009D-01
SPD 14.60 A. LAT 35.09999 A. LON 129.09999 A. DLAT 5.99945 A. DLON 5.99945 DEV 0.3763373D-07
    
```

```

      TRUE SPEED OF SHIP                14.60000
      DEVIATION ON TRUE SPEED           0.3763373045D-07
      D. R. POSITION                       35.00000
      D. R. POSITION                       129.00000
      TRUE POSITION LATITUDE               35.09999
      TRUE POSITION LONGITUDE              129.09999
      DIFF. LATITUDE FROM D. R. POSITION   5.99945
      DIFF. LONGITUDE FROM D. R. POSITION  5.99945
    
```

DEVIATION CHECK FIXES AT ELEVATION 10-30 DEG. ON EACH SPEED

TRUE FIX...35.1 N, 129.1E, TRUE SPEED...32.8 KTS, MAXIMUM ELEVATION...43. DEG.

SPP 30.0 A. LAT 35.10898 A. LON 129.07079 A. DLAT 6.53899 A. DLON 4.24769 DEV 0.1607520D 00
 SPD 30.20 A. LAT 35.10834 A. LON 129.07288 A. DLAT 6.50046 A. DLON 4.37274 DEV 0.1492819D 00
 SPD 30.40 A. LAT 35.10770 A. LON 129.07496 A. DLAT 6.46193 A. DLON 4.49780 DEV 0.1378100D 00
 SPD 30.60 A. LAT 35.10706 A. LON 129.07705 A. DLAT 6.42341 A. DLON 4.62286 DEV 0.1263361D 00
 SPD 30.80 A. LAT 35.10641 A. LON 129.07913 A. DLAT 6.38488 A. DLON 4.74795 DEV 0.11485.4D 00
 SPD 31.00 A. LAT 35.10577 A. LON 129.08122 A. DLAT 6.34634 A. DLON 4.87304 DEV 0.1033828D 00
 SPD 31.20 A. LAT 35.10513 A. LON 129.08330 A. DLAT 6.30781 A. DLON 4.99815 DEV 0.9190328D-01
 SPD 31.40 A. LAT 35.10449 A. LON 129.08539 A. DLAT 6.26927 A. DLON 5.12327 DEV 0.8042190D-01
 SPD 31.60 A. LAT 35.10385 A. LON 129.08747 A. DLAT 6.23073 A. DLON 5.24840 DEV 0.6893863D-01
 SPD 31.80 A. LAT 35.10352 A. LON 129.08909 A. DLAT 6.21111 A. DLON 5.34514 DEV 0.5757823D-01
 SPD 32.00 A. LAT 35.10256 A. LON 129.09165 A. DLAT 6.15365 A. DLON 5.49870 DEV 0.4596643D-01
 SPD 32.20 A. LAT 35.10192 A. LON 129.09373 A. DLAT 6.11510 A. DLON 5.62387 DEV 0.3447749D-01
 SPD 32.40 A. LAT 35.10128 A. LON 129.09582 A. DLAT 6.07655 A. DLON 5.74905 DEV 0.2298666D-01
 SPD 32.60 A. LAT 35.10633 A. LON 129.09790 A. DLAT 6.03800 A. DLON 5.87425 DEV 0.1149393D-01
 SPD 32.80 A. LAT 35.09999 A. LON 129.09999 A. DLAT 5.99945 A. DLON 5.99946 DEV 0.6920660D-06
 SPD 33.00 A. LAT 35.09935 A. LON 129.10208 A. DLAT 5.96089 A. DLON 6.12468 DEV 0.1149721D-01
 SPD 32.60 A. LAT 35.10063 A. LON 129.09790 A. DLAT 6.03800 A. DLON 5.87425 DEV 0.1149393D-01
 SPD 32.80 A. LAT 35.09999 A. LON 129.09999 A. DLAT 5.99945 A. DLON 5.99946 DEV 0.69206600-06

TRUE SPEED OF SHIP	32.80000
DEVIATION ON TRUE SPEED	0.6920660213D-06
D. R. POSITION	35.00000
D. R. POSITION	129.00000
TRUE POSITION LATITUDE	35.09999
TRUE POSITION LONGITUDE	129.09999
DIFF. LATITUDE FROM D. R. POSITION	5.99945
DIFF. LONGITUDE FROM D. R. POSITION	5.99946