

차량항법시스템을 위한 새로운 GPS/DR Integration 필터

A New GPS/DR Integration Filter for a Car Navigation System

*김세환**, 박상현*, 윤상준*, 이상정*

**국방과학연구소 (Tel: 821-4416; Fax: 821-2224)

*충남대학교 전자공학과 (Tel: 825-3991; Fax: 823-4494; E-mail: shpark@cslab.chungnam.ac.kr)

Abstract This paper describes a GPS/DR integration filter for a car navigation system. A new GPS/DR integration filter is derived for obtaining more accurate and reliable position data. The covariance analysis results and simulation results are shown for evaluating the performance of the proposed GPS/DR integration filter.

Keywords GPS/DR Integration, CNS, hybrid navigation, ITS

1. 서론

미래의 도로/수송시스템의 일환으로 활발하게 연구되고있는 ITS(Intelligent Transport System)의 핵심분야중 하나인 차량항법시스템(Car Navigation System, CNS)은 운전자에게 차량의 위치정보를 알려주고 운전자가 지정한 목적지까지의 최적경로를 계산하여 계산된 경로를 따라 주행할 하도록 안내하는 시스템이다.

이러한 목적을 수행하기위하여는 차량의 위치를 정확히 아는 것이 필수적이다. 차량의 위치를 계산하는 방법에는 크게 추측항법(Dead Reckoning, DR), GPS 측위시스템, 비이콘항법, 지도매칭법(Map Matching, MM)과 이들을 혼합한 혼합항법(Hybrid navigation)이 있다. 추측항법은 관성센서 등을 이용하여 외부의 도움없이 초기위치 및 자세로부터 현재위치 및 자세를 계산하는 방법으로 측정에 연속성이 있는 반면에 센서들이 갖고있는 오차에 의해 시간이 흐름에 따라 오차가 누적되는 단점이 있다. GPS 측위시스템은 고도 약20,200km를 운행하는 24개의 항법위성으로부터의 신호를 이용하여 전세계 어디서나 약100m 이내의 오차로 사용자의 위치를 손쉽게 알아낼 수 있는 시스템으로 시간에 따른 누적오차는 없지만 도심의 빌딩숲이나 산악지형, 터널 등과 같은 신호를 제대로 받을수 없는곳에서는 이용할 수 없는 단점이 있다. 비이콘항법은 노변이나 도로주위에 설치되어있는 비이콘망을 이용하여 차량의 위치 및 기타정보를 높은 정확도로 얻을수 있는 반면 시설구축에 많은 비용이 소요된다. 지도매칭법은 추측항법이나 GPS 측위시스템으로부터 구한 차량의 궤적과 지도데이터중의 도로형상, 교차로 위치등을 비교하여 차량의 위치를 지도데이터의 정확도 이내로 보정하는 방법이다. 이러한 방법들은 각각 장단점이 있으며 2가지이상의 항법기술을 혼합, 각각의 장점을 살려 차량의 위치를 연속적으로 정확하게 알아낼수 있는 방법이 혼합항법이다.

본 논문에서는 추측항법과 GPS 측위시스템을 혼합한 혼합항법을 이용하여 보정이 수행되는 궤환형 GPS/DR integration 필터를 구성하고(그림 1), 모의실험을 통해 그 성능을 입증하였다. 추측항법센서로는 주행거리를 측정할수 있는 Odometer와 회전각을 측정하기위한 광섬유자이로(FOG)를 사용하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 필터를 구성하기위한 오차모델과 새로운 GPS/DR Integration 필터를 유도하였고, 3장에서는 모의

실험 결과를 기술하였다. 4장에서는 결론으로 향후 추진방향에 대하여 언급하였다.

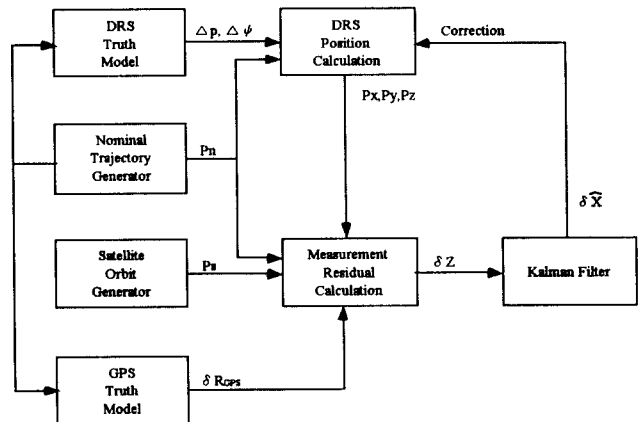


그림 1. GPS/DR Integration 필터의 구성
Fig. 1. Block Diagram of GPS/DR Integration Filter

2. GPS/DR Integration 필터설계

본장에서는 새로운 궤환형 GPS/DR Integration 필터를 설계하기 위하여, 추측항법센서(DRS)의 측정치로부터 위치 및 회전각을 계산하고, DRS와 GPS에 대한 오차모델링을 수행하며, 차량과 DRS에 대한 오차 동력학을 유도하여 상태방정식을 유도한다. 그리고 DRS와 GPS 측정치로부터 측정오차(Measurement residual) 및 측정방정식을 유도한다.

2.1 추측항법에 의한 위치 및 회전각 계산

Odometer에서는 샘플링시간(Δt) 동안 이동한 주행거리가 측정되며 다음과 같다.

$$\Delta P = S_n \cdot N = V \cdot \Delta t \quad (1)$$

여기서 S_n = Odometer의 nominal scale factor

N = 샘플링시간 동안의 주행거리에 비례하는 펄스수

V = 차량의 속도

광섬유자이로(FOG)는 샘플링시간 동안 회전한 각을 측정하며 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta\psi = V_{rs} - V_n \quad (2)$$

$$\psi(k) = \psi(k-1) + \Delta\psi \quad (3)$$

여기서 V_{rs} = 광섬유자이로 출력

V_n = 광섬유자이로 바이어스

Odometer와 광섬유자이로 측정치로부터 V_n 과 V_e 를 구한다.

$$F_E = V_E = V \cdot \sin\psi = \Delta P \cdot \sin\psi / \Delta t \quad (4)$$

$$F_N = V_N = V \cdot \cos\psi = \Delta P \cdot \cos\psi / \Delta t \quad (5)$$

위에서 구한 속도와 위도 ϕ 에서의 지구반경(R_ϕ)으로부터 차량의 현재 위치를 구하면

$$\text{위도는 } \dot{\phi} = \frac{V_N}{R_\phi + h} \quad (6)$$

$$\phi(k) = \phi(k-1) + \frac{\Delta P \cdot \cos\psi}{R_\phi + h} \quad (7)$$

$$\text{경도는 } \dot{\lambda} = \frac{V_E}{(R_\phi + h)\cos\phi} \quad (8)$$

$$\lambda(k) = \lambda(k-1) + \frac{\Delta P \cdot \sin\psi}{(R_\phi + h)\cos\phi} \quad (9)$$

이렇게 구한 위도,경도(고도는 0라 가정)로부터 WGS-84 지구중심좌표계(ECEF)로 좌표변환을 수행하면 차량의 현재 위치를 계산할 수 있다. $(\phi, \lambda, h) \rightarrow (P_x, P_y, P_z)$

$$P_x = (R_\phi + h)\cos\phi \cos\lambda \quad (10)$$

$$P_y = (R_\phi + h)\cos\phi \sin\lambda \quad (11)$$

$$P_z = ((1-e^2)R_\phi + h)\sin\phi \quad (12)$$

$$R_\phi = \frac{a}{(1-e^2 \cdot \sin^2\phi)^{1/2}} \quad (13)$$

2.2 GPS와 DRS 오차모델링

2.2.1 GPS 오차모델링

짧은 시간에서는 GPS clock bias와 drift를 random walk로 가정하여 다음과 같이 모델링한다.

$$\delta X_c = \begin{bmatrix} c\delta b \\ \delta f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\delta b \\ \delta f \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} u_b \\ u_f \end{bmatrix} \quad (14)$$

그리고 GPS의 code loop 오차, 전리층 지연 오차, 이온층 지연 오차를 1차 Gauss Markov process로, 위성 clock bias 오차를 random constant로 모델링한다.

$$\begin{bmatrix} \delta R_{cl} \\ \delta R_{trop} \\ \delta R_{ion} \\ \delta R_{clocks} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_{cl} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \beta_{trop} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \beta_{ion} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta R_{cl} \\ \delta R_{trop} \\ \delta R_{ion} \\ \delta R_{clocks} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_{cl} \\ w_{trop} \\ w_{ion} \\ 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\beta_{cl} = -1, \beta_{trop} = -1/500, \beta_{ion} = -1/1500 \quad (16)$$

GPS로부터 위성까지의 실제거리를 제외한 GPS 오차성분은

$$\delta R_{gps} = \delta R_{cl} + \delta R_{trop} + \delta R_{ion} + \delta R_{clocks} + c\delta b + v \quad (17)$$

이되며, GPS에서 측정된 의사거리(pseudorange)를 구할 수 있다.

$$R_{gps} = R_t + \delta R_{gps} \quad (18)$$

GPS에서 가장 큰 오차성분으로는 SA(Selective Availability)가 있으며, 보통 2차 Gauss Markov process로 모델링한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_p \\ \dot{x}_v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -w_0^2 & -2\beta w_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_p \\ x_v \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ c \end{bmatrix} u \quad (19)$$

필터모델에서는 GPS clock bias와 clock drift만을 모델링하였다.

2.2.2 DRS 오차 모델링

DRS에 대한 오차모델링으로 Odometer의 scale factor 오차와 광섬유자이로(FOG)에 의한 회전각오차를 random constant로 모델링하였다.

2.3 차량과 DRS에 대한 오차 동역학(Error dynamics) 유도

필터 설계를 위한 상태방정식을 유도하기 위하여 식 (4), (5)에서 Odometer scale factor 오차 (δS_f)와 회전각 오차 ($\delta \psi$)에 기인하는 위치오차를 perturbation시키면

$$\begin{aligned} \delta P_E &= F_E(DRS) - F_E(true) \\ &= V(1 + \delta S_f) \sin(\psi + \delta \psi) - V \sin \psi \\ &\approx V \cos \psi \delta \psi + V \sin \psi \delta S_f \end{aligned} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \delta P_N &= F_N(DRS) - F_N(true) \\ &= V(1 + \delta S_f) \cos(\psi + \delta \psi) - V \cos \psi \\ &\approx -V \sin \psi \delta \psi + V \cos \psi \delta S_f \end{aligned} \quad (21)$$

와같이 된다.

평면상을 주행하는 것으로 간주하여 $\delta P_U = 0$ 이라 가정하고 식 (20), (21)을 행렬형태로 바꾼다.

$$\delta X_n = \begin{bmatrix} \delta P_U \\ \delta P_E \\ \delta P_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ V \cos \psi & V \sin \psi \\ -V \sin \psi & V \cos \psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \psi \\ \delta S_f \end{bmatrix} = A \cdot \delta X_{drs} \quad (22)$$

$$\delta X_e = \begin{bmatrix} \delta P_x \\ \delta P_y \\ \delta P_z \end{bmatrix} \text{ 라하면,}$$

$$\delta X_e = C_e^* \delta X_n, \quad \delta X_n = C_n^* \delta X_e \quad (23)$$

여기서 Direction Cosine Matrix C_e^* 과 C_n^* 는 위도와 경도의 함수로 다음과 같이 주어진다.

$$C_e^* = \begin{bmatrix} c\phi & 0 & s\phi \\ 0 & 1 & 0 \\ -s\phi & 0 & c\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c\lambda & s\lambda & 0 \\ -s\lambda & c\lambda & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$= \begin{bmatrix} c\phi c\lambda & c\phi s\lambda & s\phi \\ -s\lambda & c\lambda & 0 \\ -s\phi c\lambda & -s\phi s\lambda & c\phi \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$C_n^* = (C_e^*)^T \quad (25)$$

식 (23), $\delta X_e = C_e^* \delta X_n$ 의 양변을 미분하여 정리하면

$$\begin{aligned} \delta \dot{X}_e &= \dot{C}_e^* \delta X_n + C_e^* \dot{\delta X}_n \\ &= \dot{C}_e^* C_n^* \delta X_e + C_n^* A \delta X_{drs} \end{aligned} \quad (26)$$

이되며, Direction Cosine Matrix에 대한 미분은 다음과 같다.

$$\dot{C}_e^* = \begin{bmatrix} -\dot{\phi} s\phi c\lambda - \dot{\lambda} c\phi s\lambda & -\dot{\lambda} c\lambda & -\dot{\phi} c\phi c\lambda + \dot{\lambda} s\phi s\lambda \\ -\dot{\phi} s\phi s\lambda + \dot{\lambda} c\phi c\lambda & -\dot{\lambda} s\lambda & -\dot{\phi} c\phi s\lambda - \dot{\lambda} s\phi c\lambda \\ \dot{\phi} c\phi & 0 & -\dot{\phi} s\phi \end{bmatrix} \quad (27)$$

DRS를 random constant로 모델링하였으므로

$$\delta \dot{X}_{drs} = 0 \quad (28)$$

이되고, $\dot{C}_e^* C_n^*$ 과 $C_n^* A$ 를 계산하여 정리하면

$$F_{11} = (-\dot{\phi} s\phi c\lambda - \dot{\lambda} c\phi s\lambda) c\phi c\lambda + \dot{\lambda} c\lambda s\lambda - (-\dot{\phi} c\phi c\lambda + \dot{\lambda} s\phi s\lambda) s\phi c\lambda \quad (29)$$

$$F_{12} = (-\dot{\phi} s\phi c\lambda - \dot{\lambda} c\phi s\lambda) c\phi s\lambda - \dot{\lambda} c\lambda c\lambda - (-\dot{\phi} c\phi c\lambda + \dot{\lambda} s\phi s\lambda) s\phi s\lambda \quad (30)$$

$$F_{13} = (-\dot{\phi} s\phi c\lambda - \dot{\lambda} c\phi s\lambda) s\phi + (-\dot{\phi} c\phi c\lambda + \dot{\lambda} s\phi s\lambda) c\phi \quad (31)$$

$$F_{21} = (-\dot{\phi} s\phi s\lambda + \dot{\lambda} c\phi c\lambda) c\phi c\lambda + \dot{\lambda} s\lambda s\lambda - (-\dot{\phi} c\phi s\lambda - \dot{\lambda} s\phi c\lambda) s\phi c\lambda \quad (32)$$

$$F_{22} = (-\dot{\phi} s\phi s\lambda + \dot{\lambda} c\phi c\lambda) c\phi s\lambda - \dot{\lambda} s\lambda c\lambda - (-\dot{\phi} c\phi s\lambda - \dot{\lambda} s\phi c\lambda) s\phi s\lambda \quad (33)$$

$$F_{23} = (-\dot{\phi} s\phi s\lambda + \dot{\lambda} c\phi c\lambda) s\phi + (-\dot{\phi} c\phi s\lambda - \dot{\lambda} s\phi c\lambda) c\phi \quad (34)$$

$$F_{31} = \dot{\phi} c\phi c\phi c\lambda + \dot{\phi} s\phi c\phi c\lambda \quad (35)$$

$$F_{32} = \dot{\phi} c\phi c\phi s\lambda + \dot{\phi} s\phi s\phi s\lambda \quad (36)$$

$$F_{33} = 0 \quad (37)$$

$$F_{14} = -s\lambda Vc\psi + s\phi c\lambda Vs\psi \quad (38)$$

$$F_{15} = -s\lambda Vs\psi - s\phi c\lambda Vc\psi \quad (39)$$

$$F_{24} = c\lambda Vc\psi + s\phi s\lambda Vs\psi \quad (40)$$

$$F_{25} = c\lambda Vs\psi - s\phi s\lambda Vc\psi \quad (41)$$

$$F_{34} = -c \Phi V_s \Psi \quad (42)$$

$$F_{35} = c \Phi V_c \Psi \quad (43)$$

그러므로 시스템 천이행렬은 다음과 같다.

$$F = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} & F_{14} & F_{15} & 0 & 0 \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} & F_{24} & F_{25} & 0 & 0 \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} & F_{34} & F_{35} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (44)$$

2.4 측정오차(Measurement residual) 계산

필터를 구동하기 위한 정보로서 측정오차는 DRS로부터 구한 의사거리와 GPS 의사거리의 차가 된다.

위성의 위치 (P_{xs}, P_{ys}, P_{zs}) 는 위성신호에 들어있는 궤도정보(ephemeris data)로부터 케플러 방정식을 풀어 만들며, DRS로부터의 측정치인 주행거리와 회전각으로부터 DRS 위치를 계산하면, 위성의 위치와 DRS 위치로부터 의사거리를 계산할 수 있다.

$$R_{drsi} = [(P_x - P_{xs})^2 + (P_y - P_{ys})^2 + (P_z - P_{zs})^2]^{1/2} \quad (45)$$

여기서 (P_x, P_y, P_z) : DRS에 의해 계산된 차량의 위치
Nominal trajectory data와 위성의 위치정보로부터 실제거리(True range)를 계산한다.

$$R_k = [(P_{xn} - P_{xs})^2 + (P_{yn} - P_{ys})^2 + (P_{zn} - P_{zs})^2]^{1/2} \quad (46)$$

여기서 (P_{xn}, P_{yn}, P_{zn}) 는 Nominal trajectory position.

GPS 의사거리는 GPS에 대한 오차모델링에 의해 구한 오차성분과 실제거리를 더해 계산된다.

$$R_{gpsi} = R_k + \delta R_{gpsi} \quad (47)$$

따라서 측정오차(Measurement residual)는 식 (45)의 DRS 의사거리와 식 (47)의 GPS 의사거리의 차가 되며, 필터의 Measurement Update에 이용된다.

$$\delta z_{gps} = R_{drsi} - R_{gpsi} \quad (48)$$

2.5 관측행렬(observation matrix) 계산

DRS 의사거리(DRS predicted pseudorange)로부터 현재의 최상의 추정치를 중심으로 1차 테일러 전개를 수행하면

$$R_{drsi} = [(P_x - P_{xs})^2 + (P_y - P_{ys})^2 + (P_z - P_{zs})^2]^{1/2} \quad (49)$$

$$R_{drsi} = R_i + \frac{\partial R_{drsi}}{\partial X_x} \delta X_x + \frac{\partial R_{drsi}}{\partial X_y} \delta X_y + \frac{\partial R_{drsi}}{\partial X_z} \delta X_z$$

$$= R_i + \frac{P_x - P_{xs}}{|R_{drsi}|} \delta P_x + \frac{P_y - P_{ys}}{|R_{drsi}|} \delta P_y + \frac{P_z - P_{zs}}{|R_{drsi}|} \delta P_z \quad (50)$$

가 되며, 여기서 P_x, P_y, P_z 는 최상의 추정치이다.

$$\delta z_{gps} = R_{drsi} - R_{gpsi}$$

$$= \frac{P_x - P_{xs}}{|R_{drsi}|} \delta P_x + \frac{P_y - P_{ys}}{|R_{drsi}|} \delta P_y + \frac{P_z - P_{zs}}{|R_{drsi}|} \delta P_z + c \delta b + v \quad (51)$$

최소 4개의 위성으로부터 신호가 수신되어야만 GPS clock bias가 포함된 GPS 의사거리로부터 차량의 위치를 구할 수 있으므로 측정오차는 4개로 구성된다.

$$\delta z_{gps} = [\delta z_{gps1} \quad \delta z_{gps2} \quad \delta z_{gps3} \quad \delta z_{gps4}]^T$$

$$= H \cdot \delta X + v \quad (52)$$

여기서 관측행렬(observation matrix)을 시스템 상태와의 관계로서 식 (51)로부터 구할 수 있다.

$$H = \begin{bmatrix} \frac{P_x - P_{xs1}}{|R_{drsi1}|} & \frac{P_y - P_{ys1}}{|R_{drsi1}|} & \frac{P_z - P_{zs1}}{|R_{drsi1}|} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{P_x - P_{xs2}}{|R_{drsi2}|} & \frac{P_y - P_{ys2}}{|R_{drsi2}|} & \frac{P_z - P_{zs2}}{|R_{drsi2}|} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{P_x - P_{xs3}}{|R_{drsi3}|} & \frac{P_y - P_{ys3}}{|R_{drsi3}|} & \frac{P_z - P_{zs3}}{|R_{drsi3}|} & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \frac{P_x - P_{xs4}}{|R_{drsi4}|} & \frac{P_y - P_{ys4}}{|R_{drsi4}|} & \frac{P_z - P_{zs4}}{|R_{drsi4}|} & 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (53)$$

2.6 칼만필터링 및 좌표변환

식 (44)의 시스템 천이행렬과 식 (53)의 관측행렬을 이용하고, 3개의 위치오차와 회전각오차, Odometer의 scale factor 오차 그리고 GPS의 clock bias와 drift를 error state로 하여 필터 방정식을 세웠다.

$$\delta X = [\delta P_x \quad \delta P_y \quad \delta P_z \quad \delta \psi \quad \delta S_f \quad c \delta b \quad \delta f]^T \quad (54)$$

상태방정식과 공정잡음은 아래와 같으며

$$\delta \dot{X} = F \cdot \delta X + u \quad (55)$$

$$u = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad u_b \quad u_f]^T \quad (56)$$

이를 아래와 같이 이산화시킨다.

$$\Phi_F = e^{F \Delta t} \approx I + F \cdot \Delta t + \frac{F^2 \cdot \Delta t^2}{2} \quad (57)$$

양의 대칭 행렬을 특성을 보장하는 Joseph form을 사용한 칼만 필터식을 쓰면,

$$P^- = \Phi_F \cdot P \cdot \Phi_F^T + Q \quad (58)$$

$$K = P^- \cdot H^T (H \cdot P^- \cdot H^T + R)^{-1} \quad (59)$$

$$P = (I - K \cdot H) P^- (I - K \cdot H)^T + K \cdot R \cdot K^T \quad (60)$$

$$X = K \cdot \delta R_{gps} \quad (61)$$

이 되고, 필터링에 의해 추정된 error state를 사용하여 다음과 같이 보정(correction)을 수행한다.

$$\text{위치 보정: } P_x = P_x - \delta P_x \quad (62)$$

$$P_y = P_y - \delta P_y \quad (63)$$

$$P_z = P_z - \delta P_z \quad (64)$$

$$\text{회전각 보정: } \psi = \psi - \delta \psi \quad (65)$$

$$\text{차량속도 보정: } \Delta S_f = \Delta S_f + \delta S_f \quad (66)$$

$$V = V (I - \Delta S_f) \quad (67)$$

$$\text{GPS clock bias 보정: } CB = CB - c \delta b \quad (68)$$

$$R_{gps} = R_{gps} - CB \quad (69)$$

보정된 차량의 위치를 DRS 위치계산에 이용하기 위하여 WGS-84 지구중심좌표계 (P_x, P_y, P_z) 로 표현된 위치를 위도, 경도 (ϕ, λ, h) 로 표현한다. 좌표변환방법에는 근사화를 이용한 대략적 방법과 반복수행을 통하여 비교적 정확하게 구하는 방법이 있다.

4. 모의 실험 결과

구성된 Integration Filter에 대해 Covariance analysis를 수행한 결과 (그림2) 정상임을 확인하였고, 2가지의 trajectory (\square , Γ)에 대해 GPS SA가 없다고 간주하고 모의 실험을 수행하여 그림3에 \square trajectory에 대한 결과를, 그림4에 Γ trajectory에 대한 결과를 보였으며, 추측방법만에 의한 위치계산 결과와 비교해 볼 때 매우 양호한 성능을 나타냄을 알 수 있다.

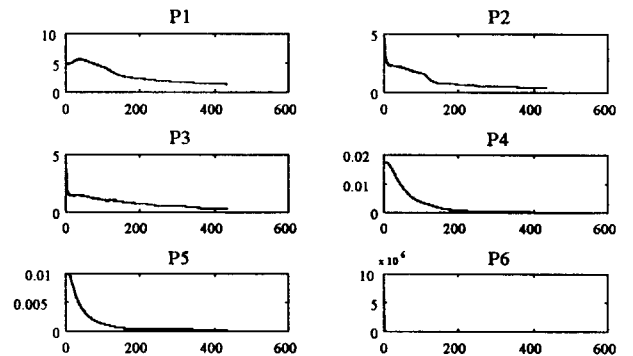


그림 2. Covariance Analysis 결과.

Fig. 2. The result of covariance analysis.

5. 결 론

차량항법시스템을 위한 feedback GPS/DR Integration filter를 새로운 방법으로 유도하였으며, 모의실험을 수행한 결과 성능이 많이 향상됨을 알 수 있었고 향후 추진 방향으로는

- 1) 새로운 지도매칭법과 GPS SA 추정방법을 개발하고,
- 2) 탑재시험을 수행하여 위의 결과를 입증하고자한다.

참 고 문 헌

- [1] E. Abbott, "An Examination of the Relative Merits of Various Sensors for Vehicle Navigation," *Proceedings of the ION GPS-95*, pp. 1269-1284, 1995.
- [2] R. Da et al., "Nonlinear Smoothing of Dead Reckoning Data with GPS measurements," *Proceedings of the ION GPS-95*, pp. 1285-1294, 1995.
- [3] J. J. Dougherty et al., "Use of the Global Positioning System for Evaluation Inertial Measurement Unit Errors," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 17, no. 3, 1984.
- [4] R. L. French, "Map Matching Origins, Approaches and Applications," *Proceedings 2nd International Symposium on Land Vehicle Navigation*, pp. 93-116, 1989.
- [5] M. H. Kao et al., "Multiconfiguration Kalman Filter Design for High-Performance GPS Navigation," *IEEE Trans. on AC*, vol. AC-28, no. 3, March, 1983.
- [6] E. J. Krakiwsky et al., "A Kalman Filter for Integrating DR, MM, and GPS positioning," *PLANS-88*, pp. 39-46, 1988.
- [7] B. W. Parkinson et al., *Global Positioning System : Theory and Applications*. vol 1,II, American Institute of Aeronautics and Astronautics. Inc., 1996.
- [8] R. Zickel et al., "GPS aided Dead Reckoning Navigation," *Proceedings of the 1994 National Technical Meeting -Navigating the Earth and Beyond*, pp. 577-586, 1994.
- [9] 성태경, "차량항법시스템," *제어, 자동화, 시스템 공학회지* 제 2권 제3호, pp. 3-14, 1986.

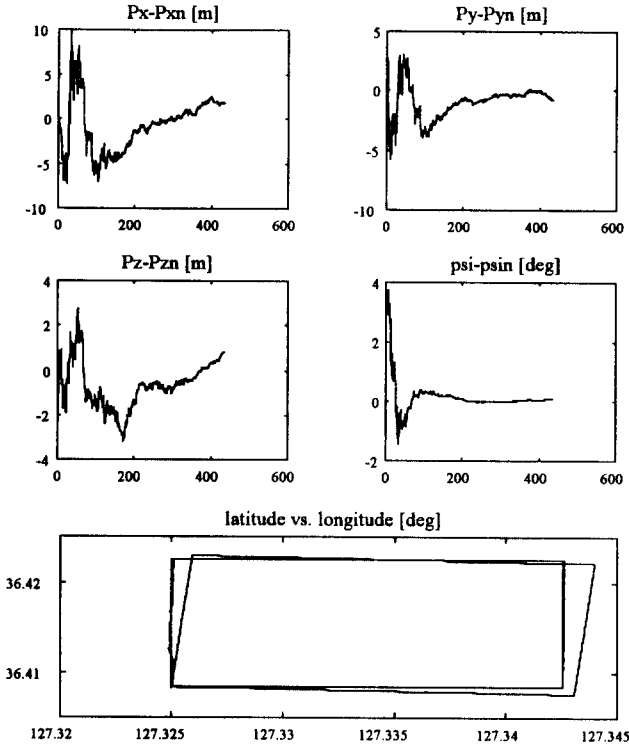


그림 3. □ trajectory에 대한 위치 및 회전각 추정 결과
Fig. 3. Estimation Results of position and heading for □ trajectory

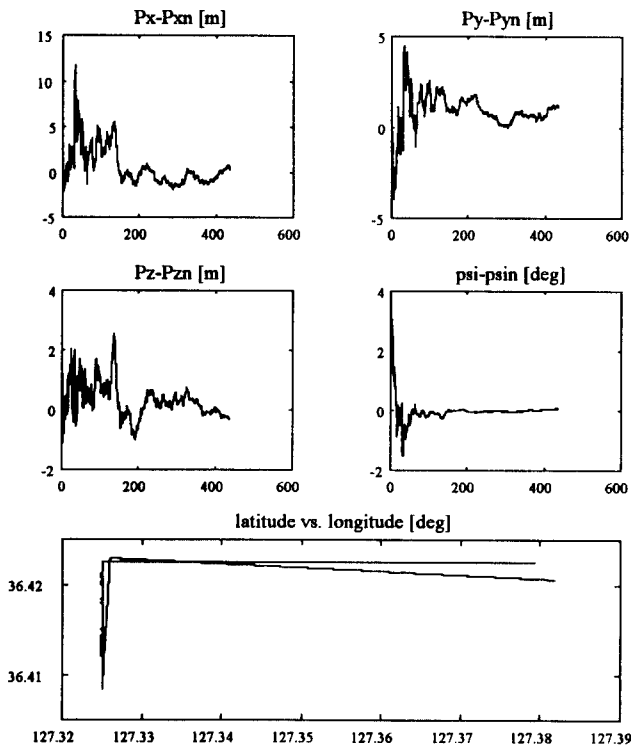


그림 4. ▭ trajectory에 대한 위치 및 회전각 추정 결과
Fig. 4. Estimation Results of position and heading for ▭ trajectory