

이중 잡음모델을 채용한 통합 GPS/DR 시스템의 측위성능 개선

Position-Fix Improvement of Integrated GPS and DR System Using Two-Level Noise Model

남찬웅*, 임상석*

Chan Woong Nam* and Sang Seok Lim*

요 약

본 논문에서는 저가이면서 높은 정확도를 갖는 GPS와 DR의 통합시스템 및 이 시스템의 위치 결정에 수반되는 오차문제를 고려한다. 이 통합 GPS/DR 시스템은 실시간 또는 비 실시간으로 고정밀도의 위치 정보를 제공하는 성능을 갖는다. DR 측정치에 영향을 주는 주요 오차 요인을 분석하여 이를 8개의 상태 변수의 모델로 표현하였다. 이들 변수의 상태 방정식을 사용하여 DR신호가 제공되는 때 순간에서 상태 변수값을 추산하기 위한 통합시스템용 비선형 필터를 개발한다. 1Hz의 DR 측정치와 3Hz로 제공되는 GPS 위치 정보를 위치 추산치에 대해 이 통합시스템의 정확도를 평가한다. 시뮬레이션을 통해 GPS신호가 정전되는 기간동안 통합 시스템의 성능을 두 가지 서로 다른 잡음모델에 대해 비교 검토한다. 두 잡음모델 중 하나는 단일잡음을 사용하는 반면에 또 다른 모델은 이중 잡음 모델을 채용한다. 시뮬레이션 결과로부터 이중 잡음 모델을 채용하는 GPS/DR 통합 시스템은 단일 잡음 모델을 이용하는 경우에 비하여 측위성능이 우수함을 확인하였다.

Abstract

This paper presents a low cost and high accuracy integrated Global Positioning System (GPS)/dead reckoning (DR) system. The integrated GPS/DR system is capable of providing highly accurate position data in real-time or in post processing. Based on the analysis of the main error source affecting the DR measurements, an eight-state mathematical model for the integrated system has been developed to represent these errors. This eight-state model has been used to build a nonlinear filter for the estimation of the state vector at every epoch when DR measurements are available. The accuracy of the system has been evaluated using 1Hz DR measurements and 3Hz continuous GPS position estimates. Through numerical simulation the system performance during periods with GPS outage has been investigated by comparing two different noise models. While one model is the position estimation filter containing a single noise model, the other filter includes two-level noise model. The simulation results have shown that the estimation filter containing two-level noise model for computing the position error of the integrated GPS/DR system yields better performance than that the filter including the single-level noise model does.

* 한국항공대학교 항공전자공학과 (Dept. of Avionics, Hankuk Aviation Univ.)

· 논문번호 : 98-2-1

· 접수일자 : 1998년 7월 10일

I. 서 론

목적지까지의 길 안내 등 운전자가 필요로 하는 정보를 화상, 음성으로 전하는 최초의 차량 항행 장치(Car Navigation System)로는 1981년에 일본의 혼다와 알파인사가 공동으로 개발한 장착품으로 상품화한 제품이 있다. 1990년대에 들어와서 미국의 Trimble Navigation사와 Pioneer 사가 합작회사를 설립하여 민간으로는 처음으로 전 지구적 측위 시스템(GPS)를 이용한 차량 항행 장치를 상업용으로 팔았다. 미국 국방성(DOD)의 GPS(Global Positioning System)는 1989년부터 발사된 24개의 위성을 사용한 측위 시스템으로 지표상의 측위 정확도는 30~100m(군용으로는 수m) 정도이다. 고도 21,000km의 궤도상을 돌고 있는 24개의 GPS 위성으로부터의 발사되는 전파를 수신하여 현재 위치를 계산한다. 일반적으로 4개의 위성을 사용해야 측위가 가능한 GPS 리시버 탑재기종이 발매되고 있으며, 정확도 보정을 위하여 DGPS(Differential GPS)를 채용하기도 한다.

지금까지의 차량 항행 장치는 GPS방식 이 중심이지만, 1994년부터는 하이브리드(hybrid) 방식이 증가하여 현재 50% 이상이 이 방식을 채용하고 있는 것으로 알려져 있다. 단일 GPS방식은 항법화면(지도 소프트웨어)에 자기 차량 좌표를 표시하기 위해 최저 3개의 위성으로부터 동시 수신을 필요로 한다. 이 방식의 장점은 자이로 등의 센서가 필요 없기 때문에 시스템을 간결하게 수납할 수 있고, 차량 탑재의 자유도가 높기 때문에 차내에 설치도 가능하다. 단점은 위성의 전파가 닿지 않는 장소 또는 위치에서는 당연히 현재 위치측정을 할 수 없다는 점이다. 터널이나 지하는 말할 것도 없고, 고가 밑, 고층 빌딩 숲과 같은 도심, 무성한 나무 밑 등에서는 측위 할 수 없다는 제약도 있다. 그리고 시간대에 따라서 위성의 배치 사정에 따라 전파를 수신하기 곤란한 경우가 발생한다. 하이브리드 방식에서는 GPS에 자립 항행시스템을 추가하여 위치를 결정한다. 자립 항행에서는 자이로나

거리 센서 등을 사용하여, 자동차의 방향, 이동거리를 산출해서 자기 차량의 위치를 표시하는 DR(Dead-Reckoning), INS(Inertial Navigation System)등이 있다. 자이로 센서는 가격과 성능이 비례하고 있는데 높은 정확도를 가지나 가격이 비싸기 때문에 값비싼 광파이버 자이로 대신에 값싸고 부품 실장성이 우수한 진동 자이로 채용이 많아지고 있다. 하이브리드 방식의 시스템은 구성하는 부품이 많고, 자동차로부터 신호를 취하기 위한 배선이나 자이로 센서의 설치 등에 전문적인 기술을 필요로 한다. 이러한 차량 항행시스템의 연구가 미국, 일본 등에서 활발히 진행되고 있다.

본 논문에서는 차량 항행장치로서 위치 계산에 사용되는 통합 시스템인 GPS/DR의 성능 개선에 대해 고려한다. 이 통합 시스템의 상태방정식에 단일 측정잡음 모델을 사용하는 확장형 칼만 필터를 적용하면 차량이 곡선운동을 하거나 GPS신호를 상실하는 경우 측위오차가 크게 증가한다. 이러한 취약점은 GPS/DR 통합시스템을 사용하는데 있어서 큰 장애가 되고 있다. 이러한 위치 추정 오차를 감소시키기 위한 방안으로 본 논문은 이중잡음모델의 채용을 제시한다. 이중잡음모델을 채용하는 적용필터는 측위오차를 감소시킬 뿐만 아니라 측정오차에 대해 χ^2 -테스트를 이용하여 쉽게 적용할 수 있어 편리하다. 이중잡음모델을 측정방정식에 적용하면 GPS 신호정전으로 야기되는 추정오차를 상당히 감소시킬 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 예증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 다음 절에서는 GPS/DR 통합 시스템을 상태 방정식으로 기술하고, 제 3절에서는 이 시스템의 위치 결정에 수반되는 오차를 감소시키기 위해 사용할 필터를 제시한다. 이 필터는 두 가지 다른 잡음 모델을 적용할 수 있는 구조를 갖도록 설계한다. 이 필터의 측위 오차 개선에 대한 성능을 제 4절에서 시뮬레이션을 통해 입증한다.

II. 시스템 모델

자립 항법 시스템인 DR과 위성 항법시스템인 GPS를 통합하고 이 통합 시스템에서 나오는 두 신호를 MMSE(Minimum Mean Square Estimate) 필터를 사용하여 최적의 차량위치를 추산해낸다.

2-1 GPS (Global Positioning System)

GPS는 지구상의 일정 궤도에서 운행되는 24개의 인공위성에서 방사되는 정보를 수신하여 수신기의 위치, 속도 및 시간을 구하는 측위 시스템이다. GPS위성을 이용한 기본 위치 측정 방법은 수신기가 궤도상의 인공위성으로부터 궤도 정보와 신호의 송신 시각을 받게 된다. 수신기가 인공위성의 정보를 수신한 시각과 송신 시각의 차이로부터 인공위성과 수신기 사이의 거리를 구하게 된다. 이 거리를 의사거리(pseudo range)라고 한다. 인공위성의 궤도 정보로부터 인공위성의 위치를 구할 수 있기 때문에, 수신기의 위치를 구할 수 있게 된다. 수신기의 위치를 구하기 위해서는, 수신기의 위치를 지구상의 한 점에 표시하는 위도, 경도, 고도 세 개의 미지수와 위성 탑재 시계와 수신기의 시계의 시간차이인 시계바이어스를 알아야 한다. 그러므로 관측되는 위성의 수가 4개 이상이 되면, 수신기의 위치를 구할 수 있다. GPS 측정오차에는 의사거리 오차, SA>Selective Availability에 의한 오차 등 여러 오차들이 존재한다. 본 논문에서는 GPS신호를 위치 정보 측정치로만 이용하기 때문에 상세한 GPS 오차모델은 생략한다[3].

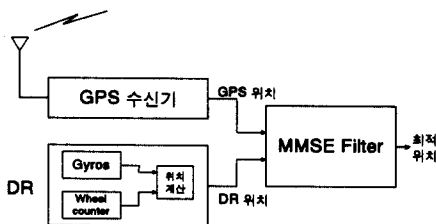


그림 1. GPS/DR 통합시스템의 구성

2-2 추측항법(Dead Reckoning)

추측항법(DR, Dead Reckoning)은 관성센서 등을 이용하여 외부의 도움 없이 자기 위치 및 자세를 알아낼 수 있는 자립형 항법기술이다. DR센서는 차속계, 주행거리계 등 주행 거리를 측정하는 센서와 지자기 센서, 자이로스코프, 차동 주행거리계 등의 회전각을 측정하기 위한 센서로 분류할 수 있으며, 이들을 적절히 조합하여 DR 시스템을 구성한다. DR센서들은 초기 위치와 자세에 대한 상대적인 값을 제공하며, 이들로부터 측정된 단위 시간당 주행 거리 및 방위각의 변화를 적분하여 차량의 위치를 구한다. 즉, 초기위치 $P_0(x_0, y_0, z_0)$ 와 초기 자세각 (α_0, β_0) 에 대하여 주행속도와 방위각 변화율을 적분하여 위치 $P_k(x_k, y_k, z_k)$ 를 계산한다. DR의 목적은 GPS 정보가 갱신되거나 위성신호를 잃었을 때 차량의 위치정보를 제공하는 것이다. Loss-of-lock현상은 나무, 터널, 빌딩 등 다른 예상치 못한 장애물로 인하여 GPS 위성의 관측이 장애를 받을 때 일어나고 DR를 통해 이 문제를 해결한다. DR은 자이로와 wheel counter의 측정을 통해 차량의 위치를 계산한다.

본 논문에서 사용할 DR 시스템은 그림 2와 같이 수직 자이로와 수평 자이로가 포함된 gyro package로 되어 있어 방위각과 자세 정보를 제공한다. 브레이크 드럼의 60개의 톱니모양의 바퀴센서는 움직인 거리의 바퀴회전 측정센서처럼 디지털 자장을 통해 바퀴회전을 측정한다.

그림 2에서 $x_e(k), y_e(k), z_e(k)$ 는 ECEF 좌표계에서의 $t=k$ 일 때의 차량의 위치를 나타낸다. Δb 는 $t=k$ 와 $t=k+1$ 때의 바퀴 센서에서 측정된 출력 차이를 나타내며, $f(k)$ 는 바퀴센서 비례인자(scale factor) 이고, α, β 는 각각 방위각과 양각을 나타낸다. 이들의 관계를 나타내면 그림 3과 같다.

수신자의 위도와 경도를 각각 ϕ, λ 로 나타내면 ENU 좌표계에서 ECEF 좌표계로의 좌표변환 행렬 C_n^e 는 다음과 같이 주어진다[2].

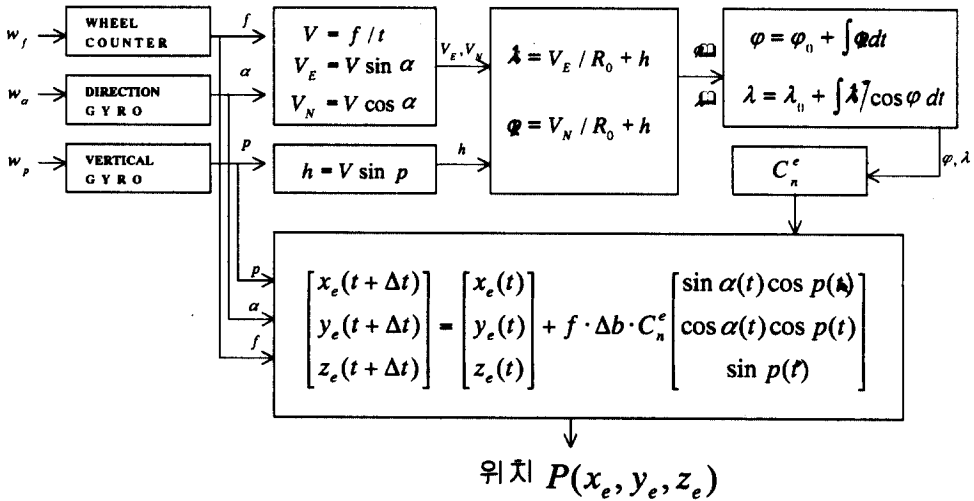


그림 2. DR 시스템의 구성

$$C_n^e = \begin{bmatrix} -\sin \lambda & -\sin \phi \cos \lambda & \cos \phi \cos \lambda \\ \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \sin \lambda \\ 0 & \cos \phi & \sin \phi \end{bmatrix} \quad (1)$$

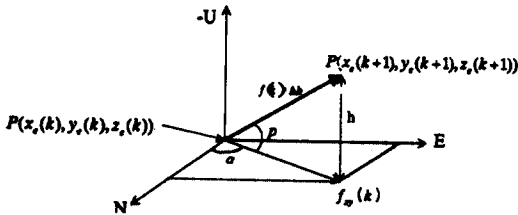


그림 3. DR의 위치 측정 좌표계

DR 시스템을 구성하는 수평 자이로, 수직 자이로 및 바퀴센서로부터 $f(k)$, α , p 를 구하기 위한 오차 모델은 다음과 같이 나타낼 수 있다[1].

2-2-1 바퀴센서(Wheel Counter)

바퀴센서는 다음과 같이 표현된다.

$$f(k) = f^* + \Delta f(k) \quad (2)$$

$$\Delta f(k+1) = \tau_f \Delta f(k) + w_f(k) \quad (3)$$

여기서 f^* 는 nominal wheel counter scale factor

를 나타내고, Δf 는 1차 마르코프 프로세스로 모델화된 불확실한 random scale factor uncertainty를 나타낸다. τ_f 는 시정수이며, w_f 는 가우시안 백색 잡음을 나타낸다.

2-2-2. 수평 자이로(Direction Gyro)

수평 자이로 모델은 아래와 같다.

$$a_m(k) = a(k) + a_0 + \Omega \sin \phi(k) \Delta T + \Delta a_1(k) \quad (4)$$

여기서 $a_m(k)$ 는 측정 방위각이고 α 는 실제 방위각을 나타낸다. a_0 는 초기 방향 바이어스(편차)를 나타내고, Ω 는 지구자전 속도 ($7.2921159 \cdot 10^{-5}$ rad/s) 이다. ΔT 는 자이로의 데이터 샘플 간격이고, Δa_1 는 자이로 측정오차와 수평 자이로의 초기 설정 불확실성 오차값이며 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta a_1(k+1) = \Delta a_1(k) + \Delta a_2(k) \Delta T + w_{a1}(k) \quad (5)$$

$$\Delta a_2(k+1) = \tau_a \Delta a_2(k) + w_{a2}(k) \quad (6)$$

여기서 Δa_2 값은 시정수 τ_a 를 갖는 1차 마르

코프 프로세스를 나타낸다. 그리고 w_{a1}, w_{a2} 는 가우시안 백색잡음을 나타낸다.

2-2-3 수직 자이로(Vertical Giro)

$$p_m(k) = p(k) + p_0 - \Omega \cos \phi(k) \cos \alpha(k) \Delta T + \Delta p_1(k) \quad (7)$$

여기서 $p_m(k)$ 는 측정 피치각이고 p 는 실제 피치각이다. p_0 는 초기 방향 바이어스를 나타내고, Δp_1 는 자이로 측정 오차와 불확실한 자이로의 초기 설정값을 나타내며 다음과 같이 표현된다.

$$\Delta p_1(k+1) = \Delta p_1(k) + \Delta p_2(k) \Delta T + w_{p1}(k) \quad (8)$$

$$\Delta p_2(k+1) = \tau_a \Delta p_2(k) + w_{p2}(k) \quad (9)$$

Δp_2 는 시정수 τ_p 를 갖는 1차 마르코프 프로세스이고, w_{p1}, w_{p2} 는 가우시안 백색 잡음을 나타낸다.

2-3 통합 GPS/DR 모델

시스템의 상태 벡터를 다음과 같이 정의하면

$$x(k) = [x_e(k), y_e(k), z_e(k), \Delta f(k), \Delta \alpha_1(k), \Delta \alpha_2(k), \Delta p_1(k), \Delta p_2(k)]^T \quad (10)$$

GPS/DR 통합 시스템의 상태 방정식과 측정 방정식은 각각 다음과 같이 표현된다.

1) 상태 방정식

$$x(k+1) = G(x(k), k) + u(k) \quad (11)$$

여기서 $G(k) = [g_1(k), g_2(k), g_3(k), g_4(k), g_5(k), g_6(k), g_7(k), g_8(k)]^T$ 이다. 시스템의 잡음벡터 $w(k) = [0, 0, 0, w_f(k), w_{a1}(k), w_{a2}(k), w_{p1}(k), w_{p2}(k)]^T$ 는 공분산 $Q(k)$ 를

갖는 백색잡음이다. 또 $C_v = [\sin \alpha(k) \cos p(k), \cos \alpha(k) \cdot \cos p(k), \sin p(k)]^T$, $C_n^e = [C_{n1}, C_{n2}, C_{n3}]^T$ 라 할 때, 이들의 각 요소 $g_i(k)$, $i=1, 2, \dots, 8$ 는 다음과 같다.

$$g_1(k) = x_e(k) + f(k) \Delta b(k) C_{n1} C_v \quad (12)$$

$$g_2(k) = y_e(k) + f(k) \Delta b(k) C_{n2} C_v \quad (13)$$

$$g_3(k) = z_e(k) + f(k) \Delta b(k) C_{n3} C_v \quad (14)$$

$$g_4(k) = \tau_f \Delta f(k) \quad (15)$$

$$g_5(k) = \Delta \alpha_1(k) + \Delta \alpha_2(k) \Delta T \quad (16)$$

$$g_6(k) = \tau_a \Delta \alpha_2(k) \quad (17)$$

$$g_7(k) = \Delta p_1(k) + \Delta p_2(k) \Delta T \quad (18)$$

$$g_8(k) = \tau_p \Delta p_2(k) \quad (19)$$

2) 측정 방정식

시스템의 측정치 $y(k) = [x_e(k), y_e(k), z_e(k)]^T$ 는 GPS로부터 얻어지며 다음과 같다.

$$y(k) = H(k)x(k) + \Gamma(k) v(k) \quad (20)$$

여기서 $H(k) = [I_{3 \times 3} \ 0_{3 \times 5}]$ 이고, $v(k)$ 는 GPS의 측정잡음으로서 공분산 $R(k)$ 를 갖는 백색잡음이다. 계수 행렬 $\Gamma(k)$ 는 GPS의 정전 등의 장애 상태를 감안하기 위하여 사용한다. 신호 수신상태가 정상이면 $\Gamma(k) = \text{diag.}(1, 1, 1)$ 을 사용하고, 비정상이면 $\Gamma(k) = \text{diag.}(\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3)$ 을 적용한다.

III. Filter 방정식

확장형 칼만 필터는 비선형 함수로 기술되는 상태추정에 흔히 사용되는 방법이다. GPS/DR 통합 시스템의 적용에 문제로 남아있는 GPS 신호정전 등의 장애 상황은 위의 측정방정식에서 언급한 바와 같이 이중 잡음 모델을 사용하면 필터의 성능을 개선할 수 있다. 이중 잡음 모델은 기동표적의 추적에 흔히 적용되는 방식이다[8],[9].

3-1 Extended Kalman Filter

위의 시스템 및 측정 방정식에 확장형 칼만 필터[4]를 적용하면 다음의 방정식을 얻는다.

예측 방정식(Time Update Equations)

$$\hat{x}(k+1 | k) = G\hat{x}(k | k), k \quad (21)$$

$$P(k+1 | k) = \Phi(\hat{x}(k | k), k)P(k | k)\Phi^T(\hat{x}(k | k), k) + Q(k) \quad (22)$$

여기서

$$\Phi(\hat{x}(k | k), x) = \frac{\partial G(x(k), k)}{\partial x(k)} \Big|_{x(k)=\hat{x}(k | k)} = \begin{bmatrix} I_{3 \times 3} & C_n^a(k)A(k)_{3 \times 5} \\ 0_{5 \times 3} & B(k)_{5 \times 5} \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$A(k) = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} & a_{15} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} & a_{25} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} \end{bmatrix} \quad (24)$$

여기서

$$\begin{aligned} a_{11} &= \Delta b(k) \sin \hat{\alpha}(k | k) \cos \hat{\beta}(k | k) \\ a_{21} &= \Delta b(k) \cos \hat{\alpha}(k | k) \cos \hat{\beta}(k | k) \\ a_{31} &= \Delta b(k) \sin \hat{\beta}(k | k) \\ a_{12} &= -\hat{r}(k) \Delta b(k) \cos \hat{\alpha}(k | k) \cos \hat{\beta}(k | k) \\ a_{22} &= \hat{r}(k) \Delta b(k) \sin \hat{\alpha}(k | k) \cos \hat{\beta}(k | k) \\ a_{14} &= \hat{r}(k) \Delta b(k) \sin \hat{\alpha}(k | k) \sin \hat{\beta}(k | k) \\ a_{24} &= \hat{r}(k) \Delta b(k) \cos \hat{\alpha}(k | k) \sin \hat{\beta}(k | k) \\ a_{34} &= \hat{r}(k) \Delta b(k) \cos \hat{\beta}(k | k) \\ a_{13} &= a_{23} = a_{32} = a_{33} = a_{15} = a_{25} = a_{35} = 0 \end{aligned}$$

$$B(k) = \begin{bmatrix} \tau_f & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \Delta T & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tau_a & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta T \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \tau_p \end{bmatrix} \quad (25)$$

필터 방정식(Measurement Update Equations)

$$\hat{x}(k+1 | k+1) = \hat{x}(k+1 | k) + K(k+1) [y(k+1) - H(k+1)\hat{x}(k+1 | k)] \quad (26)$$

$$K(k+1) = P(k+1 | k)H^T(k+1)[H(k+1)P(k+1 | k) \times H^T(k+1) + \hat{R}(k+1)]^{-1} \quad (27)$$

$$P(k+1 | k+1) = (I - K(k+1)H(k+1)) \cdot P(k+1 | k) \quad (28)$$

$$\hat{R}(k+1) = \Gamma(k+1)R(k+1)\Gamma^T(k+1) \quad (29)$$

3-2 이중 잡음 모델에 대한 필터의 수정

GPS/DR 통합 시스템에서는 GPS신호를 측정치로 사용하는데 수신이 잘못되거나 또는 수신이 전혀 되지 않는 상태에서의 위치 추정 오차를 개선하기 위하여 이중 잡음모델을 사용할 수 있다. 이중 잡음모델을 필터에 적용하면 실제로는 필터 방정식(27)의 $\hat{R}(k)$ 를 변화시킴으로써 추정오차를 감소시키는 효과를 가져온다. 이것을 개념적으로는 그림 4와 같이 나타낼 수 있다. 수신된 GPS신호가 정상적인 것으로 판정되면 스위치1이 동작되어 확장형 칼만필터에서 정상적인 수준(즉, $\Gamma(k) = I_{3 \times 3}$)의 $R(k)$ 값을 사용하고, 장애물이나 수신기 이상으로 인하여 GPS신호가 비정상적인 경우로 판정되면 제어는 스위치2에 연결되어 $\Gamma(k) = \text{diag.}(\gamma_1(k), \gamma_2(k), \gamma_3(k))$ (여기서 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3 \geq 1$)에 대응되는 $\hat{R}(k)$ 이 적용되면 측정치의 잡음의 공분산이 증가되어 추정 오차를 감소시켜준다.

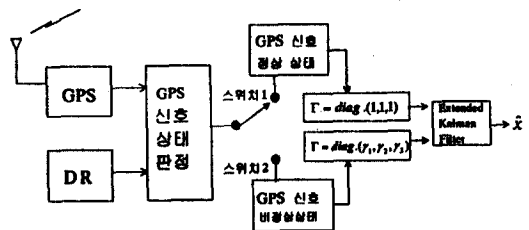


그림 4. 이중 잡음 모델을 사용한 필터의 구조

따라서 위의 필터를 적용하기 위해서는 먼저 GPS신호의 상태를 판정하고 이에 따라 적용할 필터선택을 위한 스위칭 기능이 필요하다. 이 스위칭 제어는 χ^2 테스트(chi-square test)에 의하여 수행되며 다음과 같다. 우선 p -자유도를 갖는 χ^2 랜덤변수 $\zeta(k)$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\zeta(k) = \nu^T(k) S^{-1}(k) \nu(k) \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \nu(k) &= y(k) - H(k)\hat{x}(k | k-1) \\ &= H[x(k) - \hat{x}(k | k-1)] + v_k \end{aligned} \quad (31)$$

여기서 $\nu(k)$ 는 p 차원을 갖는 측정값과 추정치 간의 차이(innovation)이며 그 공분산은

$$S(k) = [H(k)P(k | k-1)H^T(k) + R(k)] \quad (32)$$

이다. μ 를 χ^2 -분포표를 통해 선택된 상태판정기준이라 하자[7]. 그러면 식 (30)의 변수를 이용하여 GPS 신호의 측정상태를 판정할 수 있다. 만일 $\zeta(k) \geq \mu$ 이면 GPS 측정치는 믿을 수 없는 경우로 간주하고, $\zeta(k) < \mu$ 인 경우는 신뢰할 수 있는 것으로 판정한다.

IV. 시뮬레이션

여기서는 위의 GPS/DR 통합 시스템 모델에 대한 필터의 위치 추정 성능을 시뮬레이션을 통해 평가한다. 그림 5는 실험에 이용된 차량의 가상의 경로를 나타낸다. 이 경로는 실제의 차량의 운행조건과 비슷하게 구현하기 위해 경로 자체를 서울 여의도의 실제 도로의 형태와 유사하게 만들었고, 속력은 시속 약 70Km인 경우를 기준으로 하여 직선코스과 곡선이 섞인 여러 형태의 주행상황을 고려할 수 있도록 하였다. 이 시뮬레이션에서 DR은 약 25m(1- σ) 정도의 오차를 가지고, DR의 자이로의 오차는 20도/h, 바퀴센서는 0.5%의 오차를 포함하는 것으로 가정했다. 또 잡음의 공분산은 $Q = \text{diag.}(0,0,0, 0.25, 5.5e-3, 5.5e-3, 5.5e-3, 5.5e-3)$, $R = \text{diag.}(100,100,100)$ 를 사용하였다. GPS 신호오

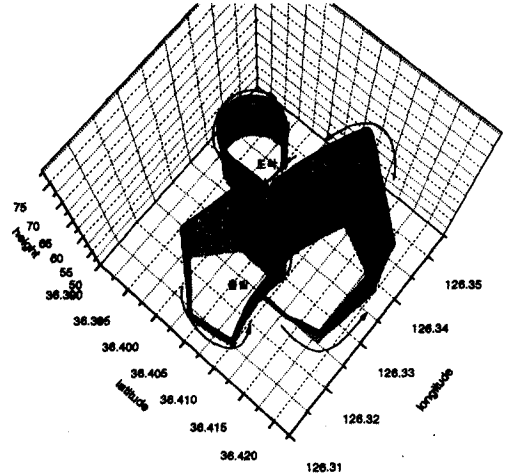


그림 5. 차량의 3차원 이동경로

차는 10m(1- σ) 정도이고, DR신호는 매초 측정하지만 GPS 신호는 3초마다 갱신되는 것으로 가정한다.

경로 중에서 $t=305$ 초에서 $t=335$ 초까지 30초 동안 GPS 신호 정전이 발생한 것을 가정하였다. 이러한 신호정전을 포함하는 경로에 대하여 위의 필터를 사용한 위치 추정오차를 그림 6에 나타내었다. 이 GPS 신호정전 기간동안에는 수정필터를 위하여 $\Gamma(k) = \text{diag.}(3,3,3)$ 을 사용하였다.

이 결과를 보면 GPS 신호가 정상적으로 수신되면 $\Gamma(k) = \text{diag.}(1,1,1)$ 인 필터(단일잡음모델을 사용한 필터)와 $\Gamma(k) = \text{diag.}(3,3,3)$ 인 필터(이중잡음모델을 위한 수정필터)가 동일한 위치 추정 오차를 나타낸다. GPS 신호가 정전되면 전반적으로 위치오차가 증가한다. 그러나 GPS신호 정전기 동안 발생한 오차는 수정필터를 사용하면 위치 추정오차가 약 1.25m 정도 개선되는 것을 확인할 수 있는데 이것은 8%정도의 성능 개선을 의미한다.

V. 결 론

본 논문에서는 차량 항행장치로서 위치 계산에 사용되는 DR 시스템과 GPS의 통합 시스템인 GPS/DR의 성능 개선에 대해 고려하였다. 이 통합

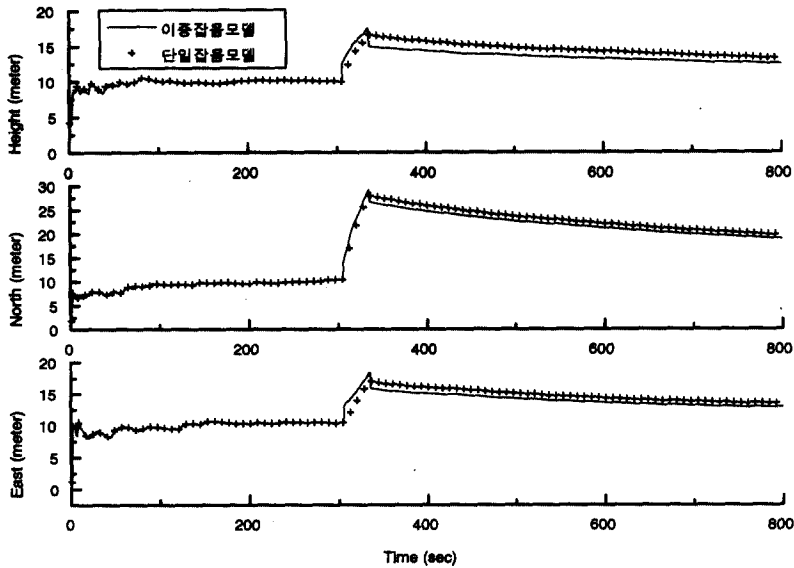


그림 6. 단일잡음모델과 이중잡음모델에 의한 RMS 오차 비교

시스템의 상태방정식에 단일 측정잡음 모델을 사용하는 확장형 칼만 필터를 적용하면 차량이 곡선운동을 하거나 GPS신호를 상실하는 경우 위치오차가 크게 증가한다. 이러한 취약점은 GPS/DR 통합시스템의 적용에 있어서 큰 장애가 되고 있다. 이것을 개선하기 위해서 이중잡음모델을 채용하여 위치 추정 오차를 감소시켰다. 이 이중잡음모델방식에 의한 적용필터는 측정오차에 대한 χ^2 -테스트를 사용하여 쉽게 적용할 수 있다는 특성을 가진다. 시뮬레이션을 통하여 이중잡음모델을 측정방정식에 적용하면 GPS 신호정전으로 야기되는 추정오차를 상당히 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

참고 문헌

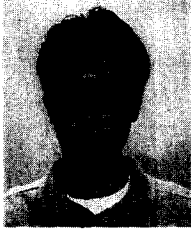
- [1] Ren Da and George Dedes, "Nonlinear Smoothing of Dead Reckoning Data With GPS measurements," *Proceedings of ION GPS-95. Part 2 of 2*, pp. 1285~1294, Sep. 1995.
- [2] G. Minkler and J. Minkle, "Aerospace Coordinate Systems and Transformations," McGraw-Hill Book Company, Baltimore, MD, 1990.
- [3] Bradford W. Parkinson and James J. Spilker Jr, "Global Positioning System: Theory and Applications. Volume I II," American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc. 1996.
- [4] M. S. Grewal, A. P. Andrews, *Kalman Filtering-Theory and Practice*, Prentice-Hall, New Jersey, 1993.
- [5] Y. Bar-Shalom and K. Birmiwal, "Variable Dimension Filter for Maneuvering Target Tracking," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol. 18, no. 5, Sep. 1982.
- [6] J. R. Cloutier, Ching-Fang Lin and Chun Yang, "Enhanced Variable Dimension Filter for Maneuvering Target Tracking," *IEEE Transaction on Aerospace and Electronic System*, vol. 29, no. 3, July. 1993.
- [7] Alberto Leon-Garcia, "Probability and Random processes for Electrical Engineering," Addison-wesley Publishing Company, May. 1994.

[8] F. R. Castella, "An Adaptive Two-Dimensional Kalman tracking Filter", *IEEE Trans. Aerospace & Electronic Systems*, vol. AES-

16, Nov. 1980, pp. 822-829.

[9] H. W. Sorenson(Ed.), *Kalman Filtering: Theory and Application*, IEEE Press, 1985.

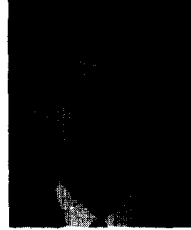
남 찬 웅(南璨雄)



1972년 11월 27일 생
 1997년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과 공학사
 1997년~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 대학원 재학중
 관심분야 : GPS를 이용한 항공기, 인공위성, 차량 항행장치시스

템, 필터설계 및 응용 등

임 상 석(林尙石)



1955년 3월 15일 생
 1976년 2월 : 한국항공대학교 항공전자공학과(공학사)
 1984년 10월 : Ottawa 대학교 대학원(공학석사)
 1990년 5월 : Ottawa 대학교 대학원(공학박사)

1976년 3월~1982년 7월 : 국방과학연구소
 1984년 11월~1987년 8월 캐나다 국방성 DREO
 1990년 6월~1992년 5월 : Royal Military College, Canada
 1992년 6월~1995년 2월 : 캐나다 국방성 DREO
 1995년 3월~현재 : 한국항공대학교 항공전자공학과 조교수
 관심분야 : CNS/ATM, 항행전자시스템, Target Tracking, Filter 설계 및 응용