

GPS/DR 통합 DLM 필터를 이용한 위치 정확도 향상 방안

전병철*, 김영호**

*부산대학교 정보시스템공학과

**부산대학교 전기전자정보컴퓨터공학과

e-mail : tupi@juno.cs.pusan.ac.kr

Improved method of positioning accuracy using GPS/DR integration DLM filter

Byung-Cheol Jun*, Young-Ho Kim**

*Dept of Information System Engineering, Pusan National University

**School of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University

요 약

본 논문에서는 차량항법시스템에서 위치정확도 향상을 위한 방법으로 GPS/DR 통합시스템을 사용하여 DLM(Dynamic Linear Model) 알고리즘을 적용한 개선된 통합필터를 제안하였다. GPS/DR 통합 시스템의 성능을 개선하기 위해서는 DR 센서의 오류요소를 정확히 모델링 하여야 한다. GPS 로부터 위치를 계산하기 위해서는 적어도 3 개 이상의 가시위성이 필요하다. 그러나 도심지에서는 고층빌딩이나 가로수 등에 의한 장애물로 인해서 3 개 이상의 가시위성을 확보하기가 힘든 경우가 많다. 본 논문에서는 가시위성의 확보가 힘든 고층 빌딩이나 가로수길 등에서도 우수한 성능을 보이는 GPS 의사거리 및 의사거리율 정보를 이용하는 GPS/DR 통합 DLM 필터를 이용하여 성능을 개선시키는 방법을 제시한다.

1. 서론

차량항법장치는 GPS 등의 항법 장치를 이용하여 사용자에서 현재 위치뿐만 아니라 목적지까지의 최적 경로, 최단 경로를 안내해 주는 시스템이다.[4] GPS(Global Positioning System)는 NavSTAR(Navigation System with Timing And Ranging) GPS 라고도 불리며, 미국 국방성이 1970년대부터 군사용으로 개발한 위성을 이용한 위치 측정 시스템이다. 이 시스템은 20,200Km 상공의 전세계를 커버하는 24 개의 위성군을 이용하여 지구상의 모든 지역에서 경도와 위도의 정확한 위치 좌표를 파악할 수 있도록 한 시스템이다. 이 GPS 위성은 6 개의 궤도에 궤도당 4 개의 위성이 배치되어 있는 24 개의 위성이 12 시간의 주기로 자신의 주어진 궤도를 정확하게 돌고 있으며, GPS 위성이 자신의 식별코드(ID code)와 궤도위치, 시간 정보를 송출하면 GPS 수신기는 상기 위성에서 방사되는 전파간 도달 속도 차이를 연산하여 지상의 위치좌표를 계산하게 된다.[9]

자이로센서와 차속센서 혹은 가속도 센서를 이용한 DR(Dead-Reckoning)은 차량에 장착된 주행 거리계 혹은 바퀴에 장착된 휠 센서에 의한 속도정보, 자성 센서를 이용한 차량의 방위각 정보를 이용하여 초기 위치로부터 다음 순간까지 이동 거리에 대한 정보를 계산해 차량의 위치를 구하는 방식으로, 이 방식은 외부로부터의 정보 입력 없이 자체적인 정보만을 이용한다는 장점이 있으나, 일반적으로 센서들의 위치 측정 오차가 누적된다는 단점이 있다. 따라서 GPS 와 DR 을 함께 사용하면 두 항법 장치의 단점들을 보완할 수 있다.[4][5]

이 두 시스템을 통합한 GPS/DR 통합 시스템은 두 시스템간에 상호 보완적인 관계를 유지할 수 있으며, 최근에는 두 시스템의 통합필터에 대한 연구가 널리 진행되고 있다. 차량항법용 DR 센서로는 일반적으로 진동형 자이로스코프(혹은 지자기 센서)와 차속센서(혹은 가속도계)를 이용한다. 이 중에서 지자기 센서는 절대적인 항체 자세각을 알아낼 수 있다는 장점은

있으나 지구 자장 이외에 외부의 자기에 영향을 받는 특성이 있다는 단점이 있으며, 가속도계는 장착의 편리성은 좋으나 항체의 가속도 이외에 지구 중력의 영향을 받는다는 단점이 있다. 따라서 최근에는 DR 센서로 진동형 자이로스코프와 차속센서만을 이용하거나 이들 센서 이외에 고도 측정용 센서나 가속도계를 추가로 사용한다. [1]

진동형 자이로스코프의 출력은 바이어스 오차와 환산계수의 오차를 포함하며, 차속센서의 출력은 환산계수 오차를 포함하고 있다. 따라서 정확한 DR 센서 보정을 위해서는 이러한 오차성분을 포함하는 오차 모델을 이용하여야 한다. DR 센서 오차 모델을 이용한 기존의 일반적인 통합방법에서는 GPS 위치 정보만을 이용하여 DR 센서의 오차 요소를 보정하였으나, GPS 위치 해에 포함되어 있는 바이어스 오차로 인하여 부정확한 보정이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 GPS/DR 통합 필터로서 GPS 위성의 의사거리 및 의사거리를 정보를 이용하여 오차를 보정하는 방법을 사용하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 DR 항법 알고리즘에 대해서 소개하고, 3 장에서는 GPS/DR 통합 항법 알고리즘 방식에 대해서 설명하고, DR 센서 오차 모델링을 세운 후, 의사거리 및 의사거리를 정보를 이용하여 DLM 알고리즘에 적용시켜서 GPS/DR 통합 필터를 제안한다. 4 장에서는 차량항법시스템에서의 향후 방향에 대해서 제시하고, 결론을 맺는다.

2. DR 항법 알고리즘

DR 항법은 자이로스코프 및 속도센서 등을 이용하여 항체의 이전 위치와 주어진 시간 동안의 이동방향과 속도정보로부터 외부의 도움 없이 차량이 이동한 거리와 방향을 알아냄으로써 차량의 위치를 결정하는 자립형 항법으로서 측정된 진행방향, 속도 및 방위각을 이용하여 초기 위치에 대한 항체의 위치 및 자세를 계산한다. 그러나 항체의 자세, 위치 및 속도 데이터는 오차의 누적으로 인해 일반적으로 불안정하지만, 이러한 에러의 특성은 사용되는 센서의 형태에 의존한다. k 시간에서 항체의 위치를 알고 있는 경우 시간 k+1 에서 항체의 위치는 식 (1), (2)와 같다.

$$P_E(k+1) = P_E(k) + \frac{V \cos \varphi \cdot \cos \theta}{R_e} \quad (1)$$

$$P_N(k+1) = P_N(k) + \frac{V \sin \varphi \cdot \cos \theta}{R_e \cdot \cos P_E} \quad (2)$$

여기서 P_E , P_N 은 위도, 경도 V 는 차량의 속도, R_e 는 지구반경이다. 초기위치로부터, 식 (1), (2)를 이용하면 차량의 위치를 경위도 좌표계에서 구할 수 있게 된다. 그리고 위도와 경도의 운동방정식은 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{P}_E = V_E = \frac{V \cos \varphi}{R_e} \quad (3)$$

$$\dot{P}_N = V_N = \frac{V \sin \varphi}{R_e \cos P_E} \quad (4)$$

V_E 는 위도방향 성분의 속도, V_N 는 경도방향 성분의 속도, φ 는 방향각이다.

차량의 초기 위치 오차가 없다고 가정하고 속도를 적분하면 실제의 차량의 위치를 계산할 수 있으며, 여기서 차속센서로부터 측정되는 차량의 속도의 식은 (5)와 같다.

$$V = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{N \cdot Sf_N}{\Delta t} \quad (5)$$

V 는 차량의 속도, Δp 는 이동거리, Δt 는 측정시간, N 은 차속센서의 출력 펄스 개수, Sf_N 은 환산계수이다. 또한 차량의 자세각은 차량에 장착되어 있는 자이로의 출력 값에서 바이어스 전압을 뺀 후 환산계수를 곱한 다음 다시 이 값을 적분하면 구할 수 있다. 차량에 장착된 자이로의 출력전압을 V_g 라 하면, 이 차량의 자세각 변화율은 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\dot{\varphi} = Sf_G (V_g - V_{nom}) \quad (6)$$

또한 이 차량의 초기 방위각 φ_0 라 하면, 압전진동 자이로스코프로부터 측정되는 방위각(φ)은 식 (7)과 같다.

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi_0 + \Delta \varphi = \varphi_0 + \int_0^{\Delta t} [Sf_G (V_g - V_{nom})] dt \\ &\cong \varphi_0 + \sum_{n=1}^N \frac{\Delta}{N} Sf_G (V_g - V_{nom}) \\ &= \varphi_0 + \Delta t \cdot Sf_G \left(\frac{1}{N} \sum V_g - V_{nom} \right) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\Delta \varphi$ 는 차량의 자세각 변화량, Sf_G 는 자이로 환산계수(deg/sec/Volts), V_g 는 자이로의 출력전압 (Volts), V_{nom} 은 자이로의 바이어스 전압(Volts), N 은 1 초 동안의 샘플링 개수, Δt 는 측정시간이다.

3. GPS/DR 통합 항법 알고리즘

일반적으로 GPS 에서 제공하는 위치정보는 단시간 안정도는 나쁘지만 절대 위치 정보를 제공하기 때문에 장시간 안정도는 우수하다. 이에 반해 DR 에서 제공하는 위치 정보는 단시간 안정도는 우수하지만 시간에 따라 오차가 누적되어 장시간 안정도가 나쁘다. 또한 DR 은 주위 환경에 영향 받지 않고 항법 정보를 얻을 수 있는 반면에 GPS 는 외부 환경의 영향을 비교적 많이 받는다. 따라서 특성이 다른 두 시스템인 GPS 와 DR 을 통합하는 방법은 두 시스템의 단점을 상호 보완하여 연속적으로 정확한 항법 해를 제공할 수 있는 방법이다. 본 논문에서는 GPS/DR 통합 필터의 위치정확도를 향상시키는 방안으로서 의사거리 및 의사거리를 정보를 이용하는 DLM 필터를 이용하여

설계하였다.

3.1 오차 모델링

본 논문에서는 차속센서와 자이로스코프를 이용하여 DR 센서를 구성하였다. GPS/DR 통합 항법 알고리즘을 구현하기 위해서는 DR 센서의 오차모델이 필요하며, 일반적으로 DR 센서에 대한 오차 모델을 세울 때는 상태변수를 방위각 오차와 차속센서의 환산계수를 사용하지만, 본 논문에서는 DR 센서에 대한 모델을 정의할 때 방위각 오차와 차속센서의 환산계수 뿐만 아니라, 자이로의 환산계수 및 자이로의 출력 바이어스 전압을 함께 포함하는 모델을 유도하였다. 제안된 모델을 이용하면 자이로의 환산계수 및 자이로의 출력 바이어스 전압을 연속적으로 추정하여 DR 센서의 보정에 사용할 수 있다. 이 통합필터에서는 GPS의 의사거리 및 의사거리율 측정치를 이용하여 DR 센서를 보정하고, 위치오차가 누적되는 현상을 막아준다. 환산계수, 방위각 오차, 위도, 경도를 상태변수로 시스템의 오차방정식을 유도하면 식 (9), (10)과 같다.

$$\delta \dot{X}_E^k = \frac{V \cos \phi}{R_e} \delta S f_G - \frac{V \sin \phi}{R_e} \delta \phi \quad (9)$$

$$\delta \dot{X}_N^k = \frac{V \sin \phi}{R_e \cos \phi} \delta S f_G + \frac{V \cos \phi}{R_e} \delta \phi - \frac{V \sin \phi \sin \phi}{R_e \cos^2 \phi} \delta \phi \quad (10)$$

환산계수 오차와 자이로의 바이어스 전압을 랜덤상수로 가정하면 (11)과 같다.

$$\delta S f_G = 0, \dot{X}_{nom} = 0 \quad (11)$$

DR 센서 중에 자이로에 대한 모델을 세우고 선형화하여 정리하면 식 (12)와 같다.

$$\begin{bmatrix} \delta \dot{\phi} \\ \delta \dot{S} f_G \\ \delta \dot{X}_{nom} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & (V_g - V_{nom}) & -S f_G \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta \phi \\ \delta S f_G \\ \delta V_{nom} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} w_\phi \\ w_{Sf_G} \\ w_{V_{nom}} \end{bmatrix} \quad (12)$$

3.2 위치 정보를 이용한 GPS/DR 통합 칼만 필터

기존의 제시된 GPS와 DR을 통합하는 필터를 설계할 때에는 그림 1과 같이 GPS의 위치 정보 및 DR의 정보를 이용하는 방법을 많이 사용하였다.

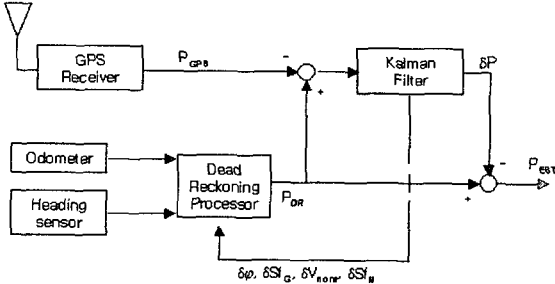


그림 1. GPS 위치 정보를 이용한 GPS/DR 통합 칼만 필터 구조

그림 1과 같이 GPS의 위치 보정만을 이용하여 DR 센서에 대한 오차 및 위치 오차 보정을 동시에 할 수 있다. 그러나 GPS 가시위성이 3개 미만인 경우에는 GPS의 위치정보를 계산할 수 없게 되므로, DR 센서에만 의존하게 된다. 따라서 DR 센서 오차와 위치오차의 누적을 피할 수 없게 된다.

본 논문에서는 GPS의 의사거리 및 의사거리율 정보를 이용하여 가시위성이 3개 미만인 경우에도 DR 센서의 오차 보정이 가능하도록 하였다. 본 논문에서 제시하는 DLM 필터는 그림 2와 같은 구조를 갖는다.

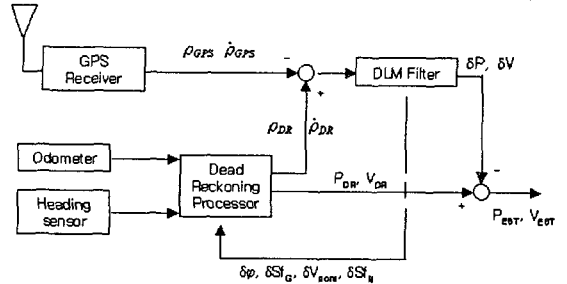


그림 2. GPS의 의사거리 및 의사거리율 정보를 이용한 통합 DLM 필터

DLM 필터의 상태방정식은 식 (13)과 같다.

$$\delta X(k+1) = \Phi(k) \cdot \delta X(k) + w(k) \quad (13)$$

여기에서

$$\delta X(k) =$$

$$[\delta P_E(k) \delta P_N(k) \delta V_E(k) \delta V_N(k) c \delta b(k) \delta f(k) \quad (14)$$

$$\delta \phi(k) \delta S f_G(k) \delta V_{nom}(k) \delta S f_N(k)]^T$$

로 나타내며, 상태전이 행렬 $\Phi(k)$ 는 Δt 에 대하여

$e^{F \Delta t} \approx I + F \Delta t$ 로 구할 수 있다.

$$\Phi(k) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & \frac{-V \sin \phi}{R_e} \Delta t & 0 & 0 & \frac{V \cos \phi}{R_e} \Delta t \\ \frac{-V \sin \phi \sin \phi}{R_e \cos^2 \phi} \Delta t & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \frac{V \cos \phi}{R_e} \Delta t & 0 & 0 & \frac{V \sin \phi}{R_e \cos \phi} \Delta t \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \Delta t & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & (V_g - V_{nom}) \Delta t & -S f_G \Delta t & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$\delta X(k) =$$

$$[w_{P_E}(k) w_{P_N}(k) w_{V_E}(k) w_{V_N}(k) w_{c \delta b}(k) w_f(k) \quad (16)$$

$$w_\phi(k) w_{S f_G}(k) w_{V_{nom}}(k) w_{S f_N}(k)]^T$$

$$(16)$$

$$\text{cov}(w(k)) = Q(k), E\{w(k)\} = 0 \quad (17)$$

이고, $\delta P_E(k)$, $\delta P_N(k)$ 는 항법 좌표계에서 위치해

의 오차를 의미하고, $\delta V_E(k)$, $\delta V_N(k)$ 는 항법 좌표계에서의 속도오차를 의미하며, $c\delta b(k)$ 와 $\delta f(k)$ 는 추정된 수신기 시계 바이어스와 드리프트 오차, $\delta\phi(k)$ 는 방향각 오차, $\delta Sf_G(k)$ 는 자이로 환산계수 오차, $\delta V_{nom}(k)$ 는 자이로 바이어스 전압 오차, $\delta Sf_N(k)$ 는 차속센서 환산계수 오차, V 는 진행방향으로의 속력을 의미한다.

측정방정식은 다음과 같다.

$$\delta z_i(k) = H(k) \cdot \delta X(k) + v(k) \quad (18)$$

여기에서

$$\delta z_i(k) = \begin{bmatrix} \rho_{i-DR}(k) - \rho_{i-GPS}(k) \\ \hat{\rho}_{i-DR}(k) - \hat{\rho}_{i-GPS}(k) \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$H(k) = \begin{bmatrix} \frac{\partial \rho_i}{\partial P_E} & \frac{\partial \rho_i}{\partial P_N} & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{\partial \rho_i}{\partial P_E} & \frac{\partial \rho_i}{\partial P_N} & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$v(k) = v_{\rho_i}(k) \quad (21)$$

$$\text{cov}\{v(k)\} = R_{\rho_i}(k), \quad E\{v(k)\} = 0 \quad (22)$$

이고, ρ_{i-DR} 및 ρ_{i-GPS} 는 위성에 대한 의사거리 추정치 및 측정치이다. $\hat{\rho}_{i-DR}$ 및 $\hat{\rho}_{i-GPS}$ 는 위성의 의사거리오차에 대한 추정치 및 측정치이다. v_{ρ_i} 는 측정치 오차이다.

$[\frac{\partial \rho_i}{\partial P_E}, \frac{\partial \rho_i}{\partial P_N}, \frac{\partial \rho_i}{\partial P_U}]^T$ 는 항체의 초기위치

$P_0 = [P_{E_0}, P_{N_0}, P_{U_0}]^T$ 일 때 위성의 기하학적인 배치로부터 i 번째 위성의 부분 도함수 벡터를 나타낸다.[8]

본 논문에서는 GPS 의사거리 및 의사거리오차 정보를 이용하여 DLM 필터를 구성하였다. DLM 모델은 베이저안 예측 및 동적모델을 적용하였다. 상태방정식에서 상태천이행렬 $\Phi(k)$ 를 Δt 에 대해서 보정해 줌으로서 정확도를 개선하였으며, 의사거리 및 의사거리오차 정보를 이용하여 가시위성이 3개 미만일 경우에도 오차보정이 가능하도록 모델링 하였다.

4. 결론

본 논문에서는 항체의 위치오차를 개선하기 위하여 GPS/DR 통합 DLM 필터를 제안하였다. 제안된 DLM 필터는 가시위성이 3개 미만인 경우에도 효율적으로 DR 센서를 보정하기 위하여, 위성의 의사거리 및 의사거리오차 정보를 사용하여 오차를 보정하였다. 이에 따라 장애물이 많은 도심지역에서도 좀 더 효과적인 항체의 추적이 가능하게 된다.

향후과제로서 차량항법 시스템에 있어서 발생하는 디지털 맵의 오차 및 복잡한 도로에 있어서의 모호한 위치결정에 따른 오차를 보정하기 위한 향상된 맵매칭 알고리즘이 요구되어진다.

참고문헌

- [1] 서흥석, 성태경, 이상정 "분리형 GPS/DR 통합 칼만 필터의 구현" 제어.자동화.시스템 공학논문지 Vol. 1, No. 1 January, 1999.
- [2] 박찬식 "GPS를 이용한 위치 결정에서의 오차 해석" 제어.자동화.시스템 공학회 논문지 Vol. 7, No. 6 June 2001.
- [3] Mike West Jeff Harrison, "Bayesian Forecasting and Dynamic Models" Second Edition, pp. 97-177
- [4] Craig A. Scott, "Improved Positioning of Motor Vehicles Through Secondary Information Sources" pp.34, pp. 149-182.
- [5] 김욱, "차량항법장치에서의 지도매칭법을 이용한 향상된 위치 결정" 서울대학교 석사학위논문 pp.11-14, 1997. 2.
- [6] "제 6 차 GPS workshop International symposium on GPS/GNSS" pp. 601-606, 1999. 12.
- [7] Wei, William W.S., "Time Series Analysis" February 1994.
- [8] Robert Grover Brown, Patrick Y. C. Hwang, "Introduction To Random Signals And Applied Kalman Filtering"
- [9] Bradford W. Parkinson, Pennina Axelrad, "Global Positioning System: Theory and Applications Volume 1"