

논문 2014-09-37

칼만 필터를 이용한 이동 로봇의 간이 복합 항법 시스템 설계

(A Design of a Simplified Hybrid Navigation System for a Mobile Robot by Using Kalman Filter)

배 설 봉, 김 민 지, 신 동 협, 권 순 태, 백 운 경, 주 문 갑*

(Seol B. Bae, Min J. Kim, Dong H. Shin, Soon T. Kwon, Woon-Kyung Baek, Moon G. Joo)

Abstract : In this paper, a simple version of the hybrid navigation system using Kalman filter is proposed. The implemented hybrid navigation system is composed of a GPS to measure the position and the velocity, and a IMU(inertial measurement unit) to measure the acceleration and the posture of a mobile robot. A discrete Kalman filter is applied to provide the position of the robot by fusing both of the sensor data. When GPS signal is available, the navigation system estimates the position of the robot from the Kalman filter using position and velocity from GPS, and acceleration from IMU. During the interval until next GPS signal arrives, the system calculates the position of the robot using acceleration from IMU and velocity obtained at the previous step. Performance of the navigation system is verified by comparing the real path and the estimated path of the mobile robot. From experiments, we conclude that the navigation system is acceptable for the mobile robot.

Keywords : Hybrid navigation, IMU, GPS, Kalman filter

I. 서론

항법 시스템은 운동체의 위치, 자세, 운동 상태를 파악하는 시스템으로 항공, 지상, 해양 등 다양한 분야에서 사용되는 유/무인 운동체에 필수적이다. 최근 해양 분야에서 항법 시스템은 수중 로봇을 활용하여 수중의 기뢰를 탐지 및 제거하고, 수중 지형을 탐색하는 등의 다양한 임무 활동에 활용되고 있다[1, 2].

항법 시스템의 항법 기술은 GPS를 사용하는 위성 항법 시스템과 IMU를 사용하는 관성 항법 시스템으로 분류된다. 위성 항법 시스템은 다수의 위성

*Corresponding Author(gabi@pknu.ac.kr)

Received: 12 May 2014, Revised: 2 July 2014,

Accepted: 29 July 2014.

S.B. Bae, M.J. Kim, W.K. Baek, M.G. Joo: Pukyong National University

D.H. Shin: SL Corporation

S.T. Kwon: Hanwha Corporation

※ 본 논문은 산업통상자원부 및 한국산업기술진흥원의 재원으로 산업기술개발기반구축사업의 지원을 받아 수행한 연구임(N0000706).

신호를 받아 삼각측량 방식으로 운동체의 위치를 정밀하게 계산하는 측위 시스템으로 사용 시간에 따른 오차의 발산이 없다는 장점이 있다. 반면 위성 신호의 수신 강도가 약하거나 터널과 같은 수신 불가능 지역인 지역에서는 운동체의 위치 정보를 획득할 수 없는 단점이 있다. 관성 항법 시스템은 외부의 도움을 받지 않고 자이로와 가속도계로부터 측정된 관성 정보를 활용하여 위치, 속도, 자세를 제공하는 자립형 시스템으로 측정 샘플링 주파수가 높아 짧은 시간 동안 높은 정확도를 유지하는 장점이 있다. 반면 가속도 및 각속도에서 속도 성분으로 적분하는 과정에서 오차가 누적되어 시간이 경과함에 따라 항법 오차가 증가하는 단점이 있다. 이러한 관성 항법 시스템과 위성 항법 시스템은 서로 결합함으로써 서로의 단점을 보완하고 시너지 효과를 이끌어 낼 수 있다[3-5].

관성 항법 시스템과 위성 항법 시스템의 결합에 관한 기초/응용 기술 연구는 국내외 대학, 연구소, 산업체 등에서 최근까지 활발히 진행되고 있다. 두 시스템의 결합은 주로 칼만 필터와 같은 베이시안 추정 기법을 사용한다. 칼만 필터는 불확실한 정보로부터 관심 있는 정보를 추정하기 위한 추정의 한

방식이며, 시스템의 동적 모델과 측정 모델이 선형이고, 공정 잡음과 측정 잡음이 가우시안 확률 분포를 갖는 경우에 최적인 추정 성능을 보이는 기법이다[6-8].

관성 항법 시스템과 위성 항법 시스템을 결합한 기존의 복합 항법 시스템은 운동체의 위치, 속도, 자세, 가속도계 및 자이로의 바이어스 등 15개 이상의 상태 변수를 사용한다. 따라서 본 논문에서는 운동체의 위치, 속도, 자세 9개의 상태 변수를 사용하여 간이형 복합 항법 시스템을 설계한다. 15개 이상의 상태 변수를 사용하는 기존의 복합 항법 시스템은 계산이 복잡하여 연산속도가 오래 걸리며, 시스템의 구조가 복잡하다. 간이형 항법 복합 항법 시스템은 계산이 간단하여 연산 속도가 빠르고, 항법 시스템의 구조가 간단하여 시스템을 구현하기 용이하다. 간이형 복합 항법 시스템은 관성 항법 시스템과 위성 항법 시스템을 결합하고, 이에 칼만 필터를 적용한다. 노이즈에 영향을 받은 관성 항법 시스템과 위성 항법 시스템의 데이터는 칼만 필터를 통하여 필터링되고, 이동 로봇의 속도와 위치 정보로 계산된다. 논문의 구성은 2장에서 복합 항법 시스템 개발에 대하여 기술하고, 3장에서는 실험 결과를 제시하며, 4장에서 결론으로 논문을 맺는다.

II. 복합 항법 시스템 개발

1. 복합 항법 시스템 구성

복합 항법 시스템은 관성 항법 시스템의 IMU 센서와 위성 항법 시스템의 GPS 센서를 결합하고 DPS에 구현된 칼만 필터를 적용하여 설계한다. 그림 1은 구현한 복합 항법 시스템을 보여준다.



그림 1. 복합 항법 시스템의 구현

Fig. 1 A implementation of hybrid navigation system

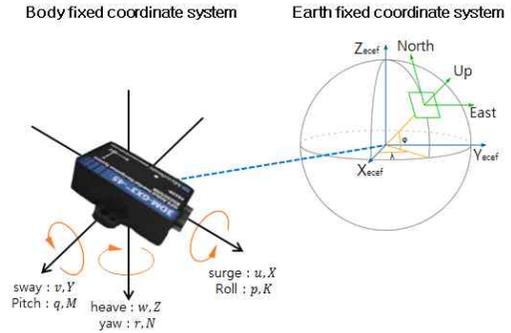


그림 2. 복합 항법 시스템의 좌표계 시스템

Fig. 2 Coordinate system of the navigation system

관성 항법 시스템의 IMU 센서는 이동 로봇의 각속도, 가속도, 자세를 측정하고, 위성 항법 시스템의 GPS 센서는 이동 로봇의 위도, 경도, 고도를 측정한다. 두 센서 데이터는 칼만 필터가 구현된 DSP 프로세서를 통하여 하나의 복합 항법 시스템으로 결합된다. IMU 센서는 micro strain사의 3DM-GX25 모델을 사용하고, GPS 센서는 ascen GPS사의 GPS641 모델을 사용한다. DSP 프로세서는 texas instruments사의 TMS320F28335 모델을 사용한다.

2. 좌표계와 데이터의 변환

복합 항법 시스템은 이동 로봇의 위치를 인식하기 위해 먼저 좌표계를 정의해야 된다. 복합 항법 시스템의 좌표계는 이동 로봇의 위치, 속도, 가속도를 표현하기 위한 NED (north east down) 좌표계로 정의한다. 그림 2는 IMU 센서의 동체 고정 좌표계와 정의된 NED 좌표계를 보여준다. IMU 센서는 동체 고정 좌표계를 중심으로 이동 로봇의 자세 (ϕ, θ, ψ) 및 가속도(a_x, a_y, a_z)를 측정한다. IMU 센서로부터 측정된 데이터는 좌표계 변환 과정을 통하여 NED 좌표계의 가속도(A_x, A_y, A_z)로 바뀌어 적용된다.

식 (1)은 IMU 센서 데이터를 동체 고정 좌표계에서 NED 좌표계로 변환하는 식이다. 식 (1)에서의 R_{zyx} 은 좌표계 변환을 위한 Z, Y, X 축 회전 순서의 회전 행렬을 나타낸다[9].

$$\begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \end{bmatrix} = R_{zyx} \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 9.81 \end{bmatrix}, R_{zyx} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

여기서

$$\begin{aligned}
 R_{11} &= \cos(\theta)\cos(\psi) \\
 R_{12} &= \sin(\phi)\sin(\theta)\cos(\psi) - \cos(\phi)\sin(\psi) \\
 R_{13} &= \cos(\phi)\sin(\theta)\cos(\psi) + \sin(\phi)\sin(\psi) \\
 R_{21} &= \cos(\theta)\sin(\psi) \\
 R_{22} &= \sin(\phi)\sin(\theta)\sin(\psi) + \cos(\phi)\cos(\psi) \\
 R_{23} &= \cos(\phi)\sin(\theta)\sin(\psi) - \sin(\phi)\cos(\psi) \\
 R_{31} &= -\sin(\theta) \\
 R_{32} &= \sin(\phi)\cos(\theta) \\
 R_{33} &= \cos(\phi)\cos(\theta).
 \end{aligned}$$

GPS 센서는 WGS-84 좌표계를 사용하여 이동 로봇의 위도(ϕ), 경도(λ), 고도(h)를 측정한다. 측정된 GPS 센서 데이터는 좌표계 변환 과정을 통하여 복합 항법 시스템에 적용된다. 식 (2)는 GPS 센서 데이터를 WGS-84 좌표계에서 TM 좌표계로 변환하는 식으로서 NED 좌표계의 위치(P_x, P_y, P_z)로 사용한다. 식 (2)에서의 R_N 과 R_E 는 각각 북쪽 자오선 방향과 동쪽 방향 곡률 반경을 의미하며, R_0 와 e 는 각각 지구 타원의 장축과 이심률이다.

$$\begin{bmatrix} P_x \\ P_y \\ P_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_N + h & 0 & 0 \\ 0 & (R_e + h)\cos(\phi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \phi - \phi_0 \\ \lambda - \lambda_0 \\ h \end{bmatrix}, \quad (2)$$

여기서

$$R_N = \frac{R_0(1 - e^2)}{(1 - e^2\sin^2(\phi))^{3/2}}, \quad R_E = \frac{R_0}{(1 - e^2\sin^2(\phi))^{1/2}}.$$

식 (3)은 이동 로봇의 각 축방향 속도를 계산하기 위한 식을 나타낸다. 이동 로봇의 각 축방향 속도는 TM 좌표계로 변환된 GPS 센서 데이터를 이용하여 NED 좌표계의 속도(V_x, V_y, V_z)로 계산된다. 식 (3)에서 변수 P_x, P_y, P_z 는 이동 로봇의 현재 위치 데이터이며, 변수 $preP_x, preP_y, preP_z$ 는 이동 로봇의 이전 위치 데이터이다[4].

$$\begin{aligned}
 V_x &= (P_x - preP_x)/dt, \\
 V_y &= (P_y - preP_y)/dt, \\
 V_z &= (P_z - preP_z)/dt.
 \end{aligned} \quad (3)$$

3. 상태 방정식

이동 로봇의 위치 인식을 위한 상태 방정식은 식 (4)와 같이 간략한 이산 시간 선형 시스템으로 표현한다.

$$\begin{aligned}
 \hat{x}(k+1) &= A\hat{x}(k) + H(0, \sigma_x), \\
 \hat{y}(k) &= \hat{x}(k) + Q(0, \sigma_r),
 \end{aligned} \quad (4)$$

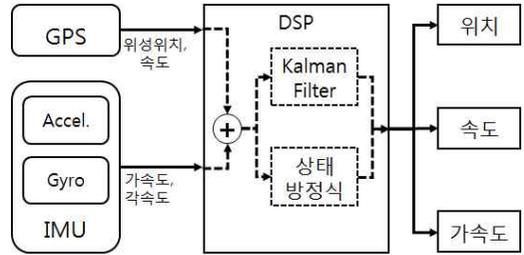


그림 3. IMU/GPS를 사용한 칼만 필터로 구현된 복합 항법 시스템의 구조

Fig. 3 Structure of navigation system with Kalman filter using IMU/GPS

$$\text{여기서 } A = \begin{bmatrix} 100dt & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 100 & dt & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 100 & dt & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & dt \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \hat{x} = \begin{bmatrix} \hat{P}_x \\ \hat{P}_y \\ \hat{P}_z \\ \hat{V}_x \\ \hat{V}_y \\ \hat{V}_z \\ \hat{A}_x \\ \hat{A}_y \\ \hat{A}_z \end{bmatrix}.$$

식 (4)에서 상태 방정식의 9개 상태 변수는 NED 좌표계에서의 이동 로봇의 추정된 위치($\hat{P}_x, \hat{P}_y, \hat{P}_z$), 속도($\hat{V}_x, \hat{V}_y, \hat{V}_z$), 가속도($\hat{A}_x, \hat{A}_y, \hat{A}_z$)를 나타낸다. 시스템 변수 $H(0, \sigma_x), Q(0, \sigma_r)$ 은 공분산 행렬로서 평균이 0이고, 분산이 σ_x, σ_r 인 시스템 노이즈와 측정 노이즈이다.

4. 칼만 필터와 복합 항법

칼만 필터는 잡음이 포함된 선형 및 비선형 시스템의 상태를 추적하는 재귀 필터이다. 칼만 필터는 시스템의 확률적인 모델과 측정값을 이용하여 시스템의 상태를 추정한다. 즉, 실제 상태값과 추정된 상태값의 오차 공분산을 최소화하는 알고리즘이다[10]. 그림 3은 복합 항법 시스템과 칼만 필터의 결합 시스템을 보여준다.

제안된 간이형 복합 항법 시스템은 GPS 신호가 수신되는 순간에는 GPS로부터 얻어지는 위치와 속도, IMU로부터 구해지는 가속도를 측정값으로 하는 칼만 필터를 통하여 로봇의 위치를 추정, 통계적으로 최적의 위치를 결정한다.

다음 GPS 신호가 수신되기 전까지의 구간에서는, IMU로부터 측정되는 가속도와 전 단계에서 얻어진 가장 최근의 속도 및 위치를 시작점으로 하는

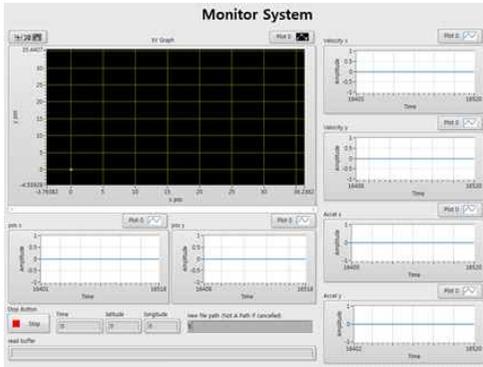


그림 4. 모니터링 시스템

Fig. 4 Monitoring system

추측 항법(dead reckoning)을 통하여 로봇의 위치를 결정한다. 이때 가속도와 속도의 적분으로 인하여 누적되는 위치 오차는 다음 GPS 신호가 수신될 때 칼만 필터를 통하여 보정된다.

복합 항법 시스템에 적용하기 위한 칼만 필터는 네 단계로 분류하여 식 (5)와 같이 설계한다. 첫 번째 단계는 예측 단계로 다음 세 단계 계산에서 사용할 변수인 추정값(\hat{x}_p)과 오차 공분산(P_p)을 예측한다. 두 번째 단계는 칼만 이득(K)을 계산하고, 세 번째 단계에서는 GPS와 IMU로부터의 측정값(z)을 이용하여 추정값(\hat{x})을 보정한다. 마지막인 네 번째 단계에서는 오차 공분산(P)을 계산한다[11].

- 1 단계. $\hat{x}_p = A \times \hat{x}$
 $P_p = A \times P \times A^T + Q$
- 2 단계. $K = P_p \times H \times (H \times P_p \times H^T + R)^{-1}$ (5)
- 3 단계. $\hat{x} = \hat{x}_p + K \times (z - H \times \hat{x}_p)$
- 4 단계. $P = P_p - K \times H \times P_p$

식 (6)~(9)는 칼만 필터에서 사용되는 측정값(z) 및 추정값(\hat{x})과 시스템 모델 변수 A , H , Q , R 을 나타낸다. 칼만 필터의 측정값은 IMU 센서로부터 측정된 이동 로봇의 가속도 데이터와 GPS 센서로부터 측정된 이동 로봇의 위치, 속도 데이터로서 식 (1)~(3)을 통하여 구해진다. 칼만 필터의 추정값은 칼만 필터를 통하여 계산된 이동 로봇의 위치, 속도, 가속도 데이터이다. 시스템 모델 변수 A , H 는 항법 시스템의 상태 방정식 (1)을 dt 의 샘플링 타임으로 이산화한 것이다. 시스템 모델 변수 Q , R 은 노이즈의 공분산으로 Q 는 시행 오류를 통하여 설정하고 R 은 측정값 또는 알려진 값들을 사용한다. P

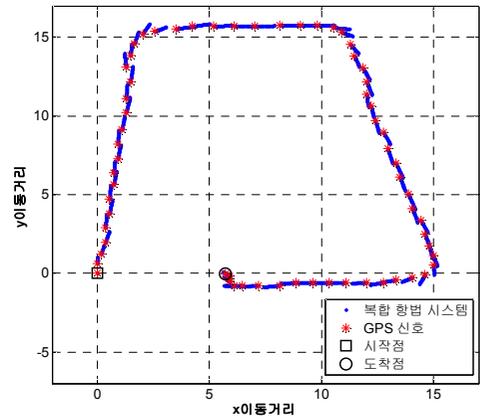


그림 5. $q = 0.1$ 일 때의 실험 결과

Fig. 5 Test result when $q = 0.1$

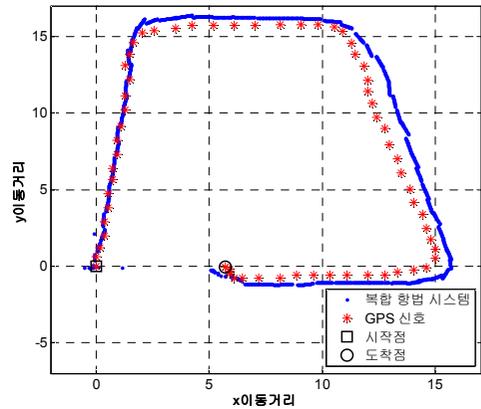


그림 6. $q = 0.0000001$ 일 때의 실험 결과

Fig. 6 Test result when $q = 0.0000001$

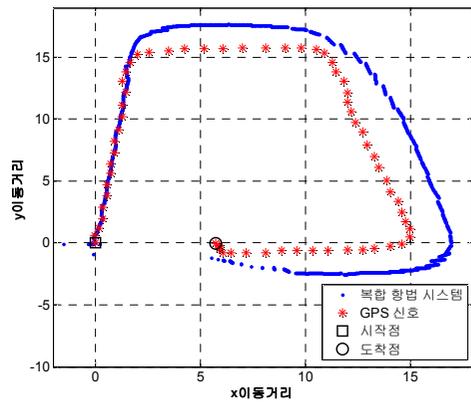


그림 7. $q = 0.00000001$ 일 때의 실험 결과

Fig. 7 Test result when $q = 0.00000001$



그림 8. 실제 이동 경로와 항법 시스템의 경로와의 비교

Fig. 8 Comparison between the real path and the path from the navigation system

의 초기치는 설계 변수로서 시행 오류를 통하여 정한다[12].

$$z = [P_x P_y P_z V_x V_y V_z A_x A_y A_z]^T \quad (6)$$

$$H = \text{diag}(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1) \quad (7)$$

$$Q = q \cdot \text{diag}(1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1) \quad (8)$$

$$R = \text{diag}(R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9) \quad (9)$$

여기서

$$R_1 = 8.86844 \times 10^{-7}, \quad R_2 = 1.35094 \times 10^{-7}$$

$$R_3 = 1.6540699 \times 10, \quad R_4 = 1.9244 \times 10^{-2}$$

$$R_5 = 2.1373 \times 10^{-2}, \quad R_6 = 2.0102 \times 10^{-2}$$

$$R_7 = 3.585 \times 10^{-1}, \quad R_8 = 2.854 \times 10^{-1}$$

$$R_9 = 3.585 \times 10^{-1}.$$

III. 실험 결과

칼만 필터를 결합한 복합 항법 시스템의 성능은 구현된 항법 장치를 자동차에 장착한 후, 실제 이동 경로와 항법 시스템의 계산된 이동 경로를 비교하는 실험을 통하여 확인한다. 복합 항법 시스템의 GPS 센서는 데이터 출력 주기를 1Hz로 설정하고, IMU 센서는 데이터 출력 주기를 25Hz로 설정하였다. 즉, $dt = 0.04$ 이다. 오차 공분산(P)의 초기값은 10^{15} 로 설정하였다. 이동 경로는 부경대학교 대연 캠퍼스로 설정하였다. 이동 경로와 복합 항법 시스템을 통한 계산 결과는 LabVIEW로 구현한 모니터링 시스템을 통하여 실시간으로 확인하고 데이터를

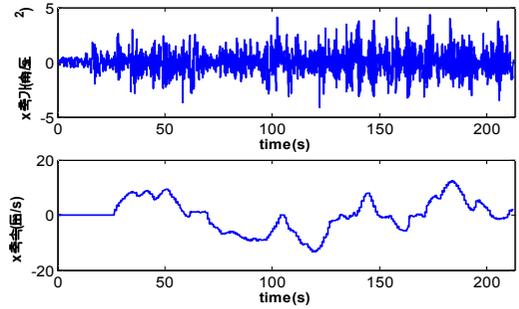


그림 9. 이동 로봇의 x축 가속도 및 속도

Fig. 9 Acceleration and velocity of mobile robot on x-axis

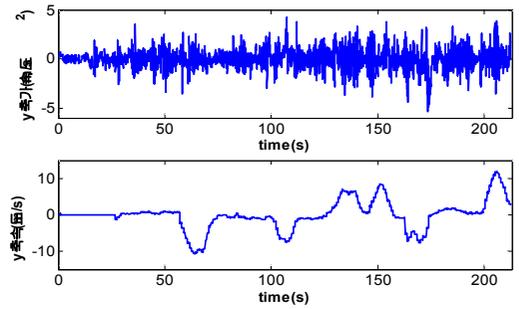


그림 10. 이동 로봇의 y축 가속도 및 속도

Fig. 10 Acceleration and velocity of mobile robot on y-axis

저장한다. 그림 4는 LabVIEW로 구현한 모니터링 시스템을 보여준다.

그림 5~7은 칼만 필터의 시스템 변수 Q 값의 변화에 따른 칼만 필터의 측정값과 추정값의 관계를 보여주는 실험 결과이다. 그림 5는 사각형 형태의 기본 이동 경로를 식 (8)의 시스템 변수 $q = 0.1$ 로 설정하고 수행한 결과, 그림 6은 $q = 0.0000001$ 로 설정하고 수행한 결과, 그림 7은 $q = 0.00000001$ 로 설정하고 수행한 실험 결과이다. 실험 결과를 통하여 시스템 모델 변수 Q 값은 실제 이동 경로와 비슷 계산된 이동경로가 가장 비슷한 $q = 0.1$ 로 설정한다.

그림 8은 이동 로봇의 실제 이동 경로와 복합 항법 시스템의 계산된 이동 경로를 비교한 결과를 보여준다. 그림 9는 복합 항법 시스템을 통하여 계산된 이동 로봇의 x축 가속도 및 속도를 나타내고, 그림 10은 복합 항법 시스템을 통하여 계산된 이동 로봇의 y축 가속도 및 속도를 나타낸다.

IV. 결 론

본 논문에서는 이동 로봇의 위치를 인식하기 위한 간이형 복합 항법 시스템을 설계하고 구현하였다. 복합 항법 시스템은 칼만 필터를 사용하여 기존의 관성 항법 시스템과 위성 항법 시스템을 결합하여 설계하였다. 복합 항법 시스템의 성능은 이동 로봇의 실제 이동 경로와 계산된 이동 경로를 비교하여 검증하였다. 실험 결과를 통하여 복합 항법 시스템에 의하여 계산된 이동 로봇의 이동 경로가 이동 로봇의 실제 이동 경로와 서로 일치하는 결과를 확인하였다. 따라서 구현된 간이형 복합 항법 시스템은 이동 로봇의 이동 경로를 계산할 수 있음을 확인하였다.

추후에는 관성 항법 시스템과 위성 항법 시스템을 결합한 복합 항법 시스템을 수중 및 지상 등 다양한 환경에서 운용되는 이동 로봇에 적용하여 이동 로봇의 이동 경로를 확인할 계획이다.

References

- [1] T.Y. Kim, J.W. Kim, H.T. Choi, "Terrain-referenced Underwater Navigation using Rao-Blackwellized Particle Filter," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 19, No. 9, pp. 682-687, 2013 (in Korean).
- [2] S.P. Hong, Y.S. Han, "Performance Analysis of Navigation System for Guidance and Control of High Speed Underwater Vehicle System," Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 17, No. 9, pp. 2227-2232, 2013 (in Korean).
- [3] J.H. Lee, H.S. Kim, "A Study of High Precision Position Estimator Using GPS/INS Sensor Fusion," Journal of The Institute of Electronics Engineers of Korea, Vol. 49, No. 11, pp. 159-166, 2012 (in Korean).
- [4] J.Y. Jeong, H.S. Kim, "A Study on the GPS/INS Integration and GPS Compensation Algorithm Based on the Particle Filter," Journal of The Institute of Electronics Engineering of Korea, Vol. 50, No. 6, pp. 267-275, 2013 (in Korean).
- [5] W.K. Seo, J.M. Lee, "Precise Outdoor Localization of a GPS-INS Integration System Using Discrete Wavelet Transforms and Unscented Particle Filter," Journal of The Institute of Electronics Engineering of Korea, Vol. 48, No. 6, pp. 82-90, 2011 (in Korean).
- [6] J.D. Park, M.W. Kim, H.S. Kim, J.Y. Lee, H.K. Lee, "Lever Arm Error Compensation of GPS/INS Integrated Navigation by Velocity Measurements," Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Science, Vol. 41, No. 6, pp. 481-487, 2013 (in Korean).
- [7] S.Y. Cho, M. Enkhtur, K.H. Kim, "Modified UKF Considering Real-Time Implementation of the Multi-Rate INS/GPS Integrated Navigation System," Journal of Institute of Control, Robotics and System, Vol. 19, No. 2, pp. 87-94, 2013 (in Korean).
- [8] S.W. Jeon, S. Jung, "Localization and Control of an Outdoor Mobile Robot Based on an Estimator with Sensor Fusion," Journal of Institute of Embedded Engineering of Korea, Vol. 4, No. 2, pp. 69-78, 2009 (in Korean).
- [9] L.A. Cooney, "Dynamic Response Maneuvering Strategies of a Hybrid Autonomous Underwater Vehicle in Hovering," M.S. Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, USA, 2009.
- [10] C.K. Yang, D.S. Shim, "Performance Investigation of the Ensemble Kalman Filter for Tightly-coupled GPS/INS Integration," Proceedings of ICROS, Vol. 40, pp. 629-632, 2011 (in Korean).
- [11] K.H. Eom, S.H. Kang, J.W. Kim, "Modified Kalman Filter Method for the Position Estimation of an Autonomous Mobile Robot," Journal of The Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 12, No. 4, pp. 781-790, 2008 (in Korean).
- [12] D.S. Yun, H.S. Yu, "Development of the Optimized Autonomous Navigation Algorithm for the Unmanned Vehicle using Extended Kalman Filter," Transactions of KSAE, Vol. 16, No. 3, pp. 7-17, 2008 (in Korean).

저 자 소 개

배 설 봉



2013년 부경대학교 전자
정보통신공학전공 학사.
현재, 동 대학원 석사과정.
관심분야: 지능제어 및
임베디드 시스템

Email: bsb362@pknu.ac.kr

권 순 태



2010년 부경대학교 전자
정보통신공학전공 학사.
2012년 부경대학교 정보
통신공학과 석사.
현재, (주)한화 종합연구소
무인화체계사업단 연구원.

관심분야: 공장 자동화, 임베디드 시스템, 무인
기 시스템

Email: happy772@hanwha.com

김 민 지



2014년 부경대학교 정보
통신공학과 공학사.
현재, 동 대학원 석사과정.
관심분야: 임베디드 소프
트웨어 및 지능 제어

Email: kaymayjay@pknu.ac.kr

백 윤 경



1978년 서울대 농업기계과
졸업.
1986년 아이오와대학교
대학원 석사.
1990년 동 대학원 박사.
현재, 부경대학교 기계
자동차공학과 교수.

관심분야: 수송체 동역학모델링 및 제어

Email: baekwk@pknu.ac.kr

신 동 협



2012년 부경대학교 전자
정보통신공학전공 학사.
2014년 부경대학교 정보
통신공학과 석사.
현재, SL Corporation
샤시사업부 샤시전자팀
연구원.

관심분야: 지능제어 및 임베디드 시스템

Email: dhshin@slworld.com

주 문 갑



1992년 포항공대 전자
전기공학과 공학사.
1994년 포항공대 정보
통신공학과 석사.
2001년 포항공대 전자
컴퓨터공학부 박사.

현재, 부경대학교 정보통신공학과 부교수.

관심분야: 지능 제어 및 공장자동화

Email: gabi@pknu.ac.kr