

GPS 음영지역 극복을 위한 이동로봇의 실험적 위치추정

Localization Performance Enhancement on GPS Interfering Spot

김지용, 이지홍, 변재민

Jiyong Kim, Jihong Lee, Jaemin Byun

Abstract - This paper presents localization performance enhancement on GPS interfering spot for mobile robot. Localization system applied Extended Kalman filter algorithm that utilized Differential GPS and odometry, inertial sensors. In this paper, different noise covariance is applied to Extended Kalman Filter according to the GPS quality. Experiment results show that proposed localization system improve considerably localization performance of mobile robots.

Key Words : GPS, dead reckoning, extended Kalman filter, localization, mobile robot.

1장 서론

GPS(Global Positioning System)는 항법위성을 이용하여 전 세계 어디에서나 위치정보를 알려주는 전파 항법시스템이다. 이러한 GPS는 자신의 위치에 대한 절대 좌표를 제공하기 때문에 위치추정 분야에서 필수적인 센서로 자리를 잡았다. 하지만 위성의 개수에 따라 정확도가 달라지며 주위에 고층빌딩이 있거나 숲이 우거져 하늘이 좁게 보이는 경우에는 정확도가 떨어지거나 수신율이 안 좋게 되는 단점이 발생하게 된다. 이러한 GPS의 단점을 보완하기 위해서는 DR(Dead Reckoning) 기법을 이용할 수가 있다. DR 기법은 이동로봇의 주행계로부터 센서 값을 이용하여 위치를 추정할 수 있지만, 시간이 지날수록 오차가 누적되는 단점이 발생하게 된다. 본 논문에서는 이러한 GPS와 DR 기법의 단점을 보완하고 융합하기 위해 확장칼만필터(Extended Kalman Filter)를 적용하였다. 확장칼만필터 알고리즘을 통해 비선형 시스템인 이동 로봇의 모델을 선형화 시킨 후, 각 센서 정보들을 이용하여 위치오차를 보정하였다. 또한 본 연구에 사용된 DGPS(Differential GPS)는 GPS quality 정보에 따라 각기 다른 정확도를 가진다. quality가 2일 때는 DGPS 모드로 작동하여 평균오차가 1m인 절대 좌표를 제공하지만 quality가 1일 때는 일반 GPS 모드로 작동하여 평균 오차가 2~3m이상인 절대 좌표를 제공한다. GPS가 수신되지 않을 때는 quality 정보가 0을 알려주어 이때는 DR 기법만을 이용하여

위치를 추정하게 된다. GPS quality에 따라 각각 다른 센서 공분산을 적용하여 보다 더 정밀한 위치 추정을 할 수 있도록 하였다. 본 논문에서는 주행 경로의 약 50%가 GPS 음영지역인 곳에서의 실험을 통해 GPS 데이터와 확장칼만필터로 추정된 데이터를 비교하여 위치추정 성능이 향상되었음을 검증하였다.

2장 본론

2.1 시스템 구성

본 연구에 사용된 이동 로봇은 그림 1과 같다. 이 이동 로봇은 한국전자통신연구원에서 Golf cart를 개조하여 만든 차량으로 각각의 센서들이 장착되어 있어 위치추정을 하기 위해 필요한 데이터들을 실시간으로 받을 수가 있다. 차량의 handle 부분과 양쪽 뒷바퀴에는 encoder가 장착되어 있어 이동 로봇의 회전 각도 및 속도에 대한 정보를 알 수가 있다. 차량의 지붕에는 Gyro 센서 및 GPS 안테나가 장착되어 있어 이동 로봇의 절대 각도 및 절대 위치에 대한 정보를 제공 받는다.

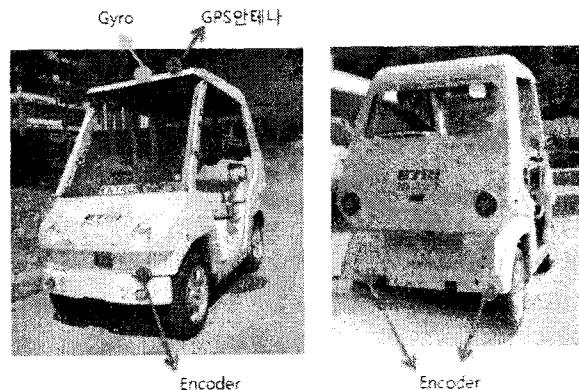


그림 1. 실험에 사용된 이동 로봇

저자 소개

- * 김 지 용 : 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단
- ** 이 지 홍 : 충남대학교 BK21 메카트로닉스사업단
- *** 변 재 민 : 한국전자통신연구원
- ※ 본 연구는 방위사업청/민군겸용기술센터와 정보통신부/정보통신연구진흥원의 민군겸용기술개발사업의 일환으로 수행하였음[06-DU-LC-01, 네트워크 기반 다목적 전마형 로봇 기술 개발].

DR 기법 및 확장칼만필터 알고리즘에 이동 로봇을 적용하기 위해서는 기구학적 모델링이 필요하다.

이동 로봇의 기구학 모델은 다음과 같다[1].

$$\begin{aligned} \dot{x} &= v \cdot \cos(\theta) \\ \dot{y} &= v \cdot \sin(\theta) \\ \dot{\theta} &= \omega = v \cdot \frac{\tan(\phi)}{L} \end{aligned} \quad (1)$$

그림 2를 보면 x, y축은 이동 로봇의 절대 위치에 대한 좌표이며, L은 앞바퀴와 뒷바퀴 간의 거리를 나타낸다. 그리고 θ 는 이동 로봇이 향하고 있는 방향을 뜻하고 v와 ϕ 는 각각 이동 로봇의 속도와 회전 각도를 나타낸다.

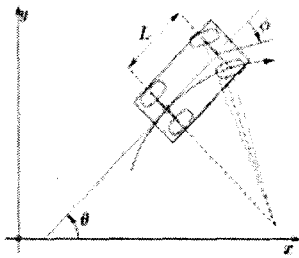


그림 2. 이동 로봇의 기구학 모델

2.2 확장칼만필터 알고리즘

2.2.1 Linearization

일반적으로 사용되는 칼만필터 기본식은 다음과 같다[2].

$$\begin{aligned} x_k &= Ax_{k-1} + u_k + w_{k-1} \\ z_k &= Hx_k + v_k \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 로봇의 상태 벡터 x는 로봇의 위치와 각도, 입력 값 u는 로봇의 속도와 회전 각도를 나타낸다. 또한 이 기구학 모델의 잡음을 가우시안이라고 가정하면 오차모델은 $w \sim N(0, Q)$ 와 같다. 여기서 Q는 상태들의 공분산행렬을 나타내며 다음과 같다.

$$Q_i = \begin{pmatrix} \epsilon, v^2 & 0 \\ 0 & \epsilon, \phi^2 \end{pmatrix} \quad (3)$$

센서 측정 값 z는 GPS와 Gyro 센서로부터 각각 로봇의 위치 및 각도 값을 구할 수 있다. 각 센서의 잡음 v가 가우시안이라고 가정하면, 오차모델은 $v \sim N(0, R)$ 와 같으며 공분산 행렬 R은 다음과 같다.

$$R = \begin{pmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\theta^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

본 논문에서 사용된 이동 로봇은 비선형 모델이기 때문에 칼만필터를 적용하기 위해서는 기구학적 모델링을 선형화하는 과정이 필요하다[3,4]. 수식 (1)에서 정의한 비선형 시스템 방정식을 상태변수로 편미분하여 행렬 A를 구하였다.

$$\nabla_x f = A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -v(t)\sin\theta(t)\Delta t \\ 0 & 1 & v(t)\cos\theta(t)\Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

그리고 비선형 시스템방정식을 속도와 회전 각도로 각각 편미분하여 행렬 W를 구하였다.

$$\nabla_u f = W = \begin{bmatrix} \cos\theta(t)\Delta t & 0 \\ \sin\theta(t)\Delta t & 0 \\ \frac{\tan\phi(t)\Delta t}{L} & \frac{v(t)\Delta t}{L\cos^2\phi} \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2.2 알고리즘

DR 기법을 이용하기 위해서 이동 로봇의 속도와 회전 각도 값이 제어 입력으로 사용되었다. 예측 단계에서 속도와 회전 각도 값을 이용하여 이동 로봇이 어느 위치에 있을 것이라고 예측한 후, 보정단계에서는 GPS 및 Gyro 센서 값을 통해 예측한 위치 정보를 보정하게 된다. 이와 같은 단계를 반복하는 확장칼만필터 알고리즘을 통해 이동 로봇의 현재 위치를 실시간으로 추정하게 된다.

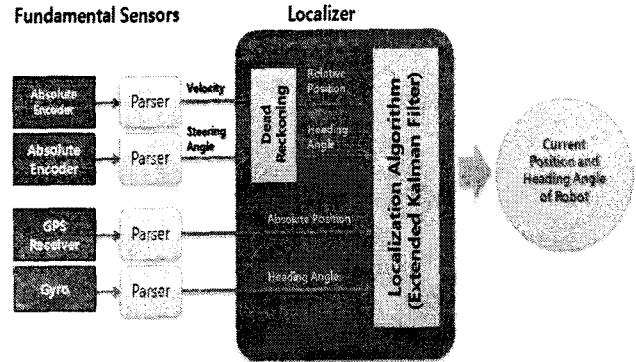


그림 3. Data Flow Chart

본 연구에서는 GPS 음영지역에서의 위치추정 성능을 향상시키기 위해 위성 개수에 따라 달라지는 GPS의 quality 정보를 이용하여 각각의 경우에 따라 다른 공분산 행렬 값을 적용하였다. GPS quality가 2일 때는 DGPS 모드로 작동하여 평균오차가 1m인 좌표 값을 제공하지만, quality가 1일 때는 일반 GPS 모드로 작동하여 DGPS 모드일 때보다 더 큰 오차가 포함된 좌표 값을 주게 된다. quality가 0일 때는 GPS가 수신되지 않음을 의미하므로 이 때는 확장칼만필터 알고리즘을 적용하지 않고, DR 기법만을 이용하여 이동 로봇의 위치를 추정하게 된다.

2.3 실험 결과

그림 4는 위치 추정 실험을 실시한 실험 장소를 나타내며, 주행경로의 약 50%가 고층빌딩 및 산으로 인한 GPS 음영지역이다. 실제 실험시 고층건물 앞 구간과 산 옆 도로 구간에서는 GPS가 수신이 되지 않거나 GPS quality가 1이었고, 나머지 구간에서는 GPS quality가 2를 나타내었다.

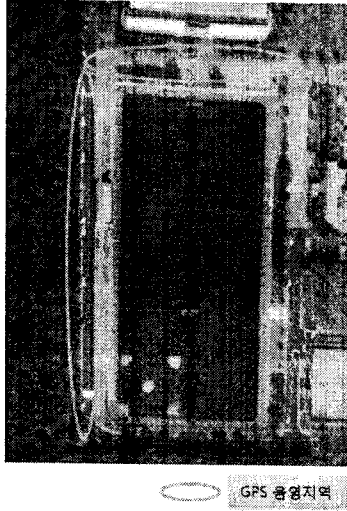


그림 4. 실험장소

본 논문에서는 GPS 데이터와 확장칼만필터를 적용한 실험 결과를 비교하기 위해 GPS 음영지역에서의 실험결과를 Plot 하여 데이터를 분석하였다.

그림 5는 고층 건물 앞 도로에서 직선 주행시 실험 결과를 나타내며 EKF 추정치와 GPS 데이터가 주행 경로를 잘 추정하다가 GPS 데이터가 약 2m정도 튀는 것을 알 수가 있다. 이에 반해 EKF 추정치는 주행경로를 잘 추정하고 있다는 것을 알 수가 있다.

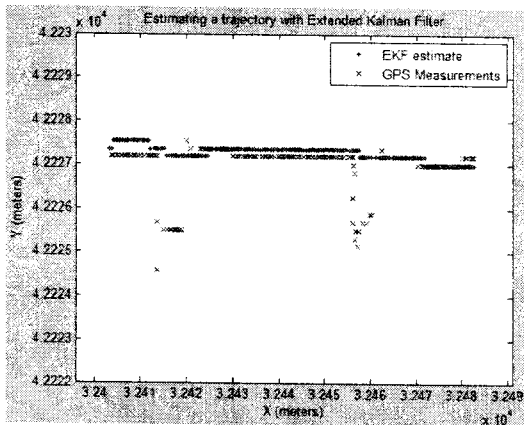


그림 5. 실험결과 1

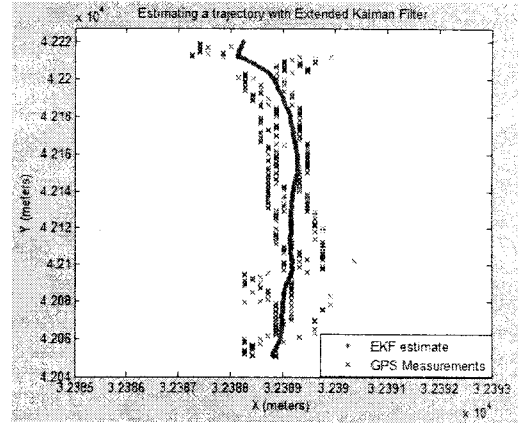


그림 6. 실험결과 2

그림 6은 GPS 음영지역인 산 옆 도로 구간에서의 실험결과를 나타낸다. GPS 데이터를 보면 산에 있는 나무들에 의해 GPS 수신율이 저하가 되어 GPS 데이터가 약 3m 정도의 분산을 보이며 넓게 퍼져있는 것을 알 수 있다. 반면에 EKF 추정치는 GPS 데이터에 비해 분산이 작으며 주행경로를 비교적 잘 추정했다는 것을 알 수가 있다.

3장 결론

실외환경에서의 위치추정 분야에서는 주로 GPS와 주행계 데이터를 최적으로 융합하는 방법에 대해 초점이 맞추어져 왔다. GPS는 성능에 따라 다양한 정확도를 가지지만, 약 1m 내외의 오차를 가지는 고가의 GPS 경우라도 GPS수신이 저하되는 지역에서는 양질의 데이터를 제공해줄 수가 없다.

본 논문에서는 GPS 음영지역에서도 정확한 위치 추정이 가능한 알고리즘을 제안하였으며, 실험결과를 통해 성능을 검증하였다.

참 고 문 헌

- [1] K.Rebai, O.Azouaoui, M.Benmami, A.Larabi, "Car-like robot navigation at high speed", in Proc. 2007 IEEE Int. Conf. Robotics and Biomimetics, pp.2053-2057. Dec. 2007
- [2] Greg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", UNC-Chapel Hill, TR 95-041, July 24, 2006.
- [3] K. Ohno, T. Tsubouchi, B. Shigematsu, S. Maseyama, and S.Yuta, "Outdoor navigation of a mobile robot between buildings based on DGPS and odometry data fusion," Proc. of IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation, pp. 1978-1984, 2003.
- [4] R. Madhavan and H. F. Durrant-Whyte, "2D map-building and localization in outdoor environments," Journal of Robotic Systems, vol. 22, pp. 45-63, 2004.