논문 2010-47SC-1-10

경사도로에서 다중 센서를 이용한 이동로봇의 위치추정 성능 개선

(Localization Performance Improvement for Mobile Robot using Multiple Sensors in Slope Road)

김 지 용*, 이 지 홍**, 변 재 민***, 김 성 훈***

(Jiyong Kim, Jihong Lee, Jaemin Byun, and Sunghun Kim)

요 약

본 논문에서는 실외환경에서 주행하는 이동로봇의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안한다. 실외환경은 실내와 다르게 바닥이 고르지 않고, 경사진 지형 등 지면에 대한 불확실성을 포함한다. 이러한 환경에서 로봇의 진행 방향을 추정하기 위해 magnetic 센서 또는 IMU(Inertial Measurement Unit)가 예전부터 많이 사용되어 왔다. Magnetic 센서는 진행방향에 대한 절대 각도를 알려주며, IMU는 센서 내부에서 자이로스코프와 가속도계, 전자 나침반을 사용하여 각도 정보를 제공한다. 하지만 본 연구에 사용된 이동로봇은 전기자동차로써 자기장의 영향을 많이 받기 때문에 위 두 센서를 사용할 수가 없는 실정이다. 그래서 자기장의 영향을 받지 않는 1축 자이로 센서 3개를 이용한 자이로 모듈을 구성하여 진행방향을 추정하는 알고리즘을 구현하였다. GPS와 엔코더, 자이로 센서 모듈 등을 통해 얻은 정보를 융합하여 확장 칼만 필터 알고리즘에 의한 이동로봇의 위치추정 알고리즘을 개발하였고 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 검증하였다.

Abstract

This paper presents localization algorithm for mobile robot in outdoor environment. Outdoor environment includes the uncertainty on the ground. Magnetic sensor or IMU(Inertial Measurement Unit) has been used to estimate robot's heading angle. Two sensor is unavailable because mobile robot is electric car affected by magnetic field. Heading angle estimation algorithm for mobile robot is implemented using gyro sensor module consisting of 1-axis gyro sensors. Localization algorithm applied Extended Kalman filter that utilized GPS and encoder, gyro sensor module. Experiment results show that proposed localization algorithm improve considerably localization performance of mobile robots.

Keywords : Extended Kalman Filter, localization, mobile robot, multiple sensors, sensor fusion

I. 서 론

최근 무인 차량, 무인 항공기, 무인 순찰 로봇 등 무인 시스템에 대한 관심이 증가하고, 다양한 센서들의 개발이 이루어짐에 따라 위치를 정확하게 인식하는 연구들이 활발하게 진행되어 오고 있다. 이동 로봇의 경우 전시장에서의 안내 역할을 하는 안내 로봇, 집안에서 스스로 청소를 하는 청소로봇 등의 서비스 로봇이 개발이 되고 있으며, 현재 상용화 단계에 있거나 시중

* 학생회원, ** 정회원, 충남대학교 BK21 메카트로닉스 사업단
(BK21 Mechatronics Group at Chungnam National University)
*** 정회원, 한국전자통신연구원 지능형로봇연구단
(Intelligent Robot Research Division at Electronics and Telecommunication Research Institute)
※ 본 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2009-0065440)
접수일자: 2009년10월7일, 수정완료일: 2010년1월7일

에 판매가 되고 있는 실정이다. 이러한 이동 로봇을 사용자의 목적에 맞게 원활한 제어를 하기 위해서는 로봇의 위치를 정확하게 아는 것이 필수적이다. 이와 관련하여 현재 국내외에서 많은 연구들이 진행 중에 있으며, GPS(Global Positioning System)와 관성항법시스템(Inertial Navigation System, INS) 등을 통합한 연구가 주를 이루고 있다.

관성항법시스템은 외부의 도움 없이 항체의 자세, 위치, 속도를 결정하는 항법시스템으로 자이로와 가속도계로부터 획득한 회전 각속도와 가속도를 이용하여 위치정보를 제공한다. 그러나 회전 각속도와 가속도를 적분하는 연산과정으로 인해 시간이 증가함에 따라 오차가 누적되어 발산하게 되는 특성이 있다. 이러한 관성항법시스템의 단점을 보완하기 위해서 GPS가 많이 사용되고 있다. GPS는 항법위성을 이용하여 전 세계 어디에서나 위치정보를 알려주는 전파 항법시스템으로 위성 신호의 도달 시간으로부터 계산되는 의사거리(pseudorange)를 이용하여 항법 정보를 얻는다. GPS 정보는 전리층 변화에 영향을 많이 받게 되며, 주위에 고층빌딩이 많거나 숲이 우거져 하늘이 좁게 보이는 경우에는 정확도가 떨어지거나 수신율이 안 좋게 된다. 그러나 관성항법시스템과 달리 GPS 항법 오차는 시간의 증가에 따른 누적이 없으며 장시간 동안 안정적인 정보를 제공한다. GPS와 관성항법시스템의 서로 상호 보완적인 특성을 이용한 GPS/INS 결합 항법시스템은 서로의 단점을 보완하여 정확하고 안정적인 정보를 제공하게 된다[1~3].

본 논문에서는 실외환경에서 주행하는 이동로봇의 위치를 추정하였다. 실외환경은 실내와 다르게 바닥이 고르지 않고, 경사진 지형 등 지면에 대한 불확실성을 포함한다. 이러한 환경에서 로봇의 자세를 추정하기 위해 3축 자이로 센서 또는 IMU(Inertial Measurement Unit) 등이 널리 사용되고 있다. 그러나 본 연구에서 대상으로 하는 이동로봇은 전기자동차로서 구동부 및 제어부에서 자기장을 발생하기 때문에 센서 내부의 전자나침반에 의해 회전각 정보를 보정하는 3축 자이로 센서와 IMU를 본 시스템에 사용을 할 수가 없는 실정이다. 로봇의 자세 정보를 획득하기 위해서 자기장의 영향을 받지 않는 1축 자이로 센서 3개를 이용하여 진행방향을 추정하는 알고리즘을 구현하였다. 위 알고리즘으로 구한 자세 정보와 GPS, 엔코더 등을 통해 얻은 정보를 융합하여 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter) 알고리즘에 의한 이동로봇의 위치추정 알고리즘을 개발하였고 실험을 통하여 제안한 알고리즘의 성능을 검증하였다.

II. 문제 제시

엔코더와 GPS, 1축 자이로 등의 센서 정보를 이용하여 그림 1에 보이는 실외환경에서 이동로봇의 위치를 추정하는 실험을 하였다. 위 실험 구간은 그림 상으로는 평면으로 보이지만 실제로는 경사면 및 과속방지턱 등 다양한 불확실성을 포함하고 있는 지형이다. 그림 2는 실험구간을 한 바퀴 주행하여 출발점에 다시 도착했을 때의 실험 결과를 나타낸다. 확장 칼만 필터에 의해

그림 1. 실험 구간
Fig. 1. Experiment path.

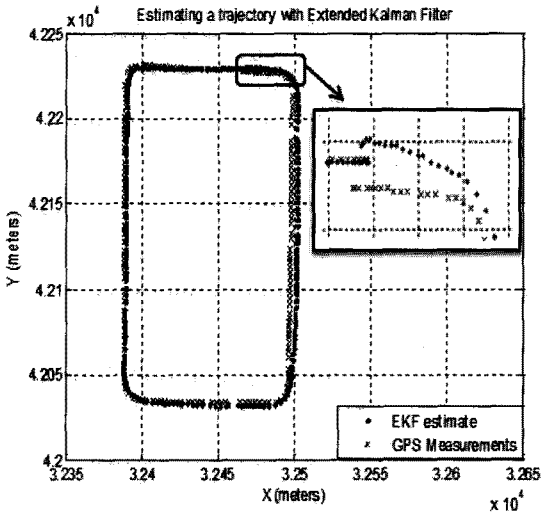


그림 2. 위치추정 실험 결과
Fig. 2. Localization experiment result.

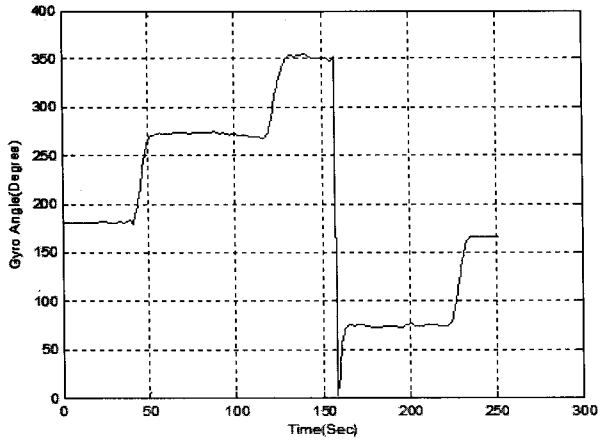


그림 3. 자이로 실험 결과
Fig. 3. Gyro experiment result.

그림 4. 경사도로
Fig. 4. Slope road.

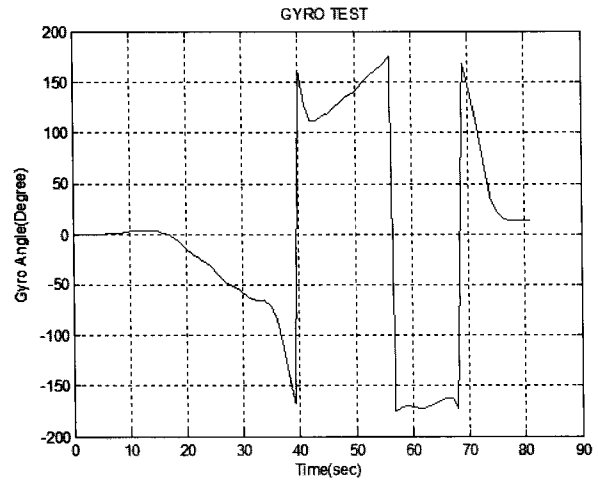


그림 5. 경사도로에서의 자이로 실험 결과
Fig. 5. Gyro experiment result in slope road.

추정된 위치정보는 실제 이동로봇의 진행 방향과 오차를 나타내며 최종위치에서 약 1m 정도의 거리오차를 보였다. 진행방향에 대해 영향을 주는 엔코더와 자이로 센서에 대한 실험을 각각 해본 결과 엔코더의 오차는 작은 반면에 자이로 센서의 오차가 크게 나오는 것으로 확인이 되었다.

그림 3은 위 실험 시 확장 칼만 필터에 적용된 자이로 센서의 정보를 나타낸다. 실제 출발점에서의 각도 정보는 180°를 나타내었지만, 한 바퀴 주행하고 다시 출발점에 도착하였을 때는 165°를 나타냄으로써 약 15°의 오차를 보였다. 확장 칼만 필터의 성능이 우수하더라도 센서 정보가 참값과 15°의 차이를 나타내면 위 실험결과와 같이 이동로봇의 위치를 정확하게 추정할 수 없게 된다. 경사진 구간에서 1축 자이로 센서의 오차가 발생되는 것으로 추정되어 이를 확인하기 위해 경사가 큰 구간에서 자이로 센서에 대한 실험을 진행하였다.

그림 4와 같이 경사가 큰 구간에서의 자이로 센서에 대한 실험을 진행하였고 그 실험결과를 확인해보았다. 그림 5는 이동로봇이 경사가 큰 도로를 올라갔다가 내려와서 다시 출발점에 도착하였을 때의 자이로 각도 정보를 나타낸다. 0°가 나오는 것이 이상적인 정보지만, 실험 결과 약 13°의 오차를 포함하는 것을 알 수가 있었다. 본 실험을 통해 경사진 면에서 진행 방향에 대한 오차를 줄여야 실외환경에서 이동로봇의 위치 추정 성능을 높일 수 있다고 판단되어 진행 방향 추정 알고리즘을 개발하게 되었다.

III. 시스템 구성

1. CPU Board

본 연구에 사용된 CPU Board는 코어벨 社에서 제작된 LDS4000 Board로 그림 6과 같다. 초소형 크기의 적층 구조로 이루어져 있으며 크게 Processor Board와 I/O Board로 나누어진다. Processor Board에는 Intel PXA270(520MHz) processor와 128Mbytes DRAM 그리고 64Mbytes flash memory가 내장되어 있으며 Ethernet port와 serial port가 각각 1개씩 있다. I/O Board는 RS232 port 3개, ttl232 port 4개, 485 port 1개로 이루어져 있으며 총 10개의 IO port를 가지고 있어

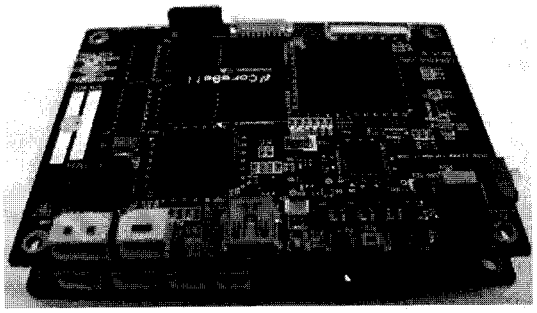


그림 6. CPU Board
Fig. 6. CPU Board.

여러 센서와의 인터페이스가 가능하다.

이동로봇에 장착된 센서들과 시리얼 통신을 통해 정보를 전송받아, LDS 4000 Board 내부에 내장된 확장 칼만 필터 알고리즘에 의해 위치오차가 최소화된 이동로봇의 위치 정보를 출력으로 내보내게 된다.

2. 센서장치

가. 엔코더 카운팅 모듈

이동로봇의 양쪽 바퀴와 핸들에는 엔코더가 장착되어 있어 모터의 회전 속도를 측정하여 로봇의 위치와 회전 각도를 계산하게 된다. 주행계로부터 얻은 정보를 이용하여 이동로봇의 위치를 추정하기 위해서는 기구학적 모델링이 필요하다.

이동로봇의 기구학 모델은 다음과 같다[4].

$$\begin{aligned} \dot{x}_t &= v_t \cos\theta \\ \dot{y}_t &= v_t \sin\theta \\ \dot{\theta}_t &= \omega_t = v_t \frac{\tan\phi}{L} \end{aligned} \tag{1}$$

그림 7을 보면 x, y축은 이동로봇의 절대 위치에 대한 좌표이며, L은 앞바퀴와 뒷바퀴간의 거리를 나타낸다. 그리고 θ는 이동로봇이 향하고 있는 방향을 뜻하고, v와 ϕ는 각각 이동로봇의 속도와 회전 각도를 나타낸다.

이동로봇의 양쪽 뒷바퀴와 핸들에 장착된 Incremental encoder와 Absolute encoder를 이용하여 속도와 회전 각도를 계산할 수 있도록 엔코더 카운팅 모듈을 구현하였다. 엔코더 카운팅 모듈은 uPD4702, uPD4704 2개의 카운팅 소자를 사용하였으며, ATmega2560을 이용하여 속도와 회전 각도 값을 연산

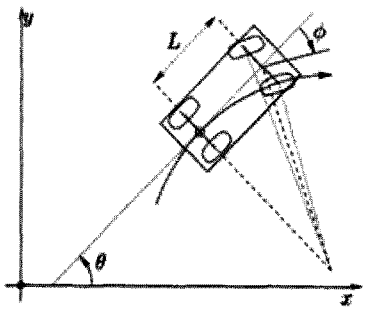


그림 7. 이동로봇의 기구학 모델
Fig. 7. Kinematic model of mobile robot.

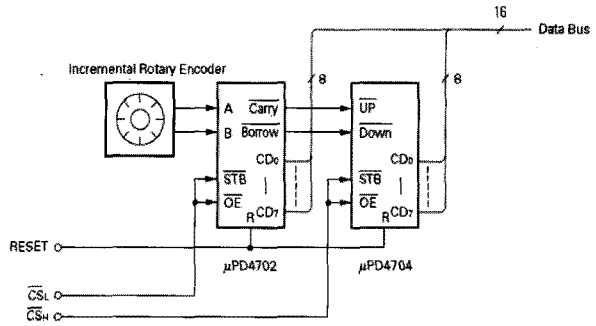


그림 8. 엔코더 카운팅 다이어그램
Fig. 8. Encoder counting diagram.

한 후 LDS4000 Board로 전송하게 된다.

Incremental Encoder의 A상과 B상 출력이 uPD4702의 A, B 입력 핀에 연결이 되어있다. Incremental Encoder가 카운팅을 시작하면 uPD4702에서 하위 비트 연산을 하게 되고 카운트 값이 FF_H일 때 업 카운트를 하면 Carry핀을 통해 uPD4704로 데이터를 전송하여 상위 비트 연산을 하게 된다. 반대로 다운 카운트의 경우에도 같은 방식으로 데이터를 전송하게 된다. D_0-D_7 출력 핀은 $\overline{OE}$ 핀이 low 일 때 활성화가 되어 각각 ATmega2560으로 데이터가 전송이 된다. PA0, PA1, PA2 핀을 이용하여 uPD4702, uPD4704 chip을 control 한다. Absolute Encoder의 총 13개의 출력선이 ATmega2560의 입력으로 데이터가 전송된다. 전송된 데이터는 BCD로 각 자리별 연산이 필요한 형태로 ATmega2560에서 연산하여 이동 로봇의 조향 각도를 계산한다.

나. GPS

이동로봇에 대한 절대 좌표 위치를 알기위해 Mobile

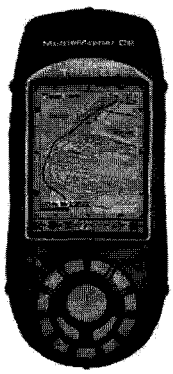


그림 9. Mobile Mapper CE
Fig. 9. Mobile Mapper CE.

Mapper CE를 사용하였다. Mobile Mapper CE는 NMEA(National Marine Electronic Association) 메시지를 출력하며 1초에 한 번씩 위도, 경도, 고도 및 가시 위성의 개수 등의 정보를 출력한다. 수신 가능한 위성의 개수가 4개 이상이면 일반적인 5M 내외의 위치 오차를 갖는 GPS 위치 정보를 수신하며, 수신 가능한 위성의 개수가 5개 이상이고 일정한 시간이 경과되면 1M 내외의 위치 오차를 갖는 DGPS 위치 정보를 수신하게 된다.

다. Gyro 모듈

본 논문에 사용된 이동 로봇은 전기자동차로써 구동부 및 제어부에서 발생하는 자기장의 세기가 크기 때문에 센서 내부의 전자 나침반에 의해 회전각 정보를 보정하는 3축 자이로 센서와 IMU를 본 시스템에 사용을 할 수가 없는 실정이다. 이러한 환경에서 이동로봇에 대한 각도 정보를 얻기 위해 자기장의 영향을 받지 않는 1축 자이로 3개를 합친 자이로 모듈을 이용하여 자세 추정 알고리즘을 구현하였다.

그림 10은 본 연구에 사용된 1축 자이로 센서를 나타낸다. 이 센서는 모델명이 XG1010으로 마이크로인피니티 社에서 제작되었다. 입력전압은 5V이고 전력 소비가 적으며 높은 정확성을 특징으로 한다. 또한 RS232 또는 USB 방식으로 각속도와 각도 정보를 출력하므로 보드와의 인터페이스가 간편하다. 센서 중심 축을 중심으로

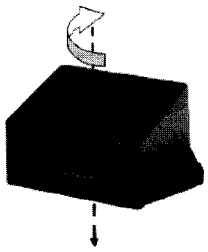


그림 10. 1축 자이로 센서
Fig. 10. 1-axis gyro sensor.

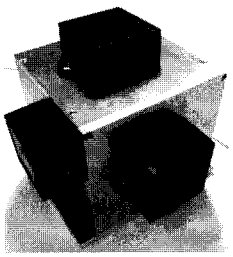


그림 11. 자이로 센서 모듈
Fig. 11. Gyro sensor module.

회전하는 각도를 측정하기 때문에 3차원 공간에 적용하기 위해 roll, pitch, yaw 정보를 주는 자이로 센서 3개를 사용하였다.

그림 11은 1축 자이로 센서 3개를 모듈에 고정시킨 그림이다. 기준 좌표축에서 3개의 센서가 각각 한 축의 회전 방향을 측정하므로 정확하게 고정시키는 것이 중요하다. 원점 좌표에서 각 센서까지의 거리가 동일해야 하며, 기준 좌표축과 센서에 의해 형성된 좌표축이 일치해야 정확한 진행방향 추정 알고리즘 구현이 가능하다.

Ⅳ. 진행방향 추정 알고리즘

그림 12와 같이 기준 좌표계를 설정하여 자이로 센서 모듈로부터 각각 roll, pitch, yaw에 대한 정보를 실시간으로 얻게 된다. 회전할 때마다 roll, pitch, yaw의 변화량을 회전 행렬 수식에 적용하여 현재의 좌표계가 기준 좌표계로부터 얼마큼 회전하였는지를 알 수 있다. 각 축이 회전하고 나서 결과적인 오리엔테이션은 다음과 같다.

$$
\begin{aligned}
R_{\phi,\theta,\psi} &= R_{z,\phi}R_{y,\theta}R_{x,\psi} \\
&= \begin{bmatrix} C\phi & -S\phi & 0 \\ S\phi & C\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} C\theta & 0 & S\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -S\theta & 0 & C\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & C\psi & -S\psi \\ 0 & S\psi & C\psi \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} C\phi C\theta & C\phi S\theta S\psi - S\phi C\psi & C\phi S\theta C\psi + S\phi S\psi \\ S\phi C\theta & S\phi S\theta S\psi + C\phi C\psi & S\phi S\theta C\psi - C\phi S\psi \\ -S\theta & C\theta S\psi & C\theta C\psi \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{2}
$$

위 수식을 이용하여 처음에 설정한 기준 좌표계로부터 회전한 좌표계를 구할 수가 있다. 각 축이 회전하게 되면 자이로 센서 모듈로부터 받는 roll, pitch, yaw의 변화량을 실시간으로 위 수식에 적용하여 회전된 좌표계를 연산하게 된다. 위 행렬 수식에서 1열, 2열, 3열은

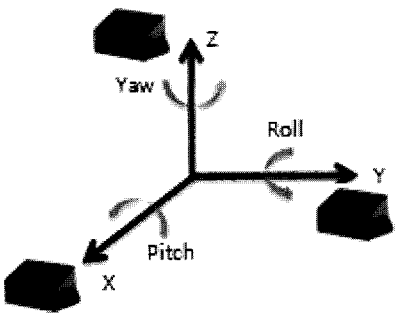


그림 12. 기준좌표계
Fig. 12. Reference coordinate.

각각 z축, y축, x축을 중심으로 회전한 각도 정보를 나타내며, 이동로봇의 진행 방향에 대한 정보는 1행1열과 2행1열의 값을 이용하여 구할 수 있게 된다.

$$\hat{\phi} = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{S\phi C\theta}{C\phi C\theta}\right) \tag{3}$$

V. EKF 기반의 위치추정 알고리즘

위치추정시스템의 데이터 흐름도는 그림13과 같다. 엔코더로부터 받는 이동로봇의 속도와 회전 각도 값이 제어 입력으로 사용되었다. 예측 단계에서 속도와 회전 각도 값을 이용하여 이동 로봇이 어느 위치에 있다고 예측한 후, 보정단계에서는 GPS 및 자이로 센서 값을 통해 예측한 위치 정보를 보정하게 된다. 이와 같은 단계를 반복하는 확장 칼만 필터 알고리즘을 통해 이동로봇의 현재 위치를 실시간으로 추정하게 된다.

일반적으로 사용되는 칼만필터 기본식은 다음과 같다[5].

$$x_k = Ax_{k-1} + u_k + w_{k-1}$$

$$z_k = Hx_k + v_k \tag{4}$$

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~N(0, Q)와 같다. 여기서 Q는 상태들의 공분산행렬을 나타내며 다음과 같다.

$$Q_t = \begin{bmatrix} \varepsilon_v v^2 & 0 \\ 0 & \varepsilon_\phi \phi^2 \end{bmatrix} \tag{5}$$

센서 측정 값 z는 GPS와 자이로 센서 모듈로부터 각 로봇의 위치 및 각도 값을 구할 수 있다. 각 센서의 잡음 v가 가우시안이라고 가정하면, 오차모델은 v~N(0, R)와 같으며 공분산 행렬 R은 다음과 같다.

$$R_t = \begin{bmatrix} \sigma_x^2 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_y^2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_\theta^2 \end{bmatrix} \tag{6}$$

본 논문에서 사용된 이동 로봇은 비선형 모델이기 때문에 칼만 필터를 적용하기 위해서는 기구학적 모델링을 선형화하는 과정이 필요하다[3~4]. 수식 (1)에서 정의한 비선형 시스템방정식을 상태변수로 편미분하여 행렬 A를 구하였다.

$$\nabla_x f = A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -v_t \sin\theta_t \Delta t \\ 0 & 1 & v_t \cos\theta_t \Delta t \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{7}$$

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

$$\nabla_u f = W = \begin{bmatrix} \cos\theta_t \Delta t & 0 \\ \sin\theta_t \Delta t & 0 \\ \dfrac{\tan\phi_t \Delta t}{L} & \dfrac{v_t \Delta t}{L\cos^2\phi} \end{bmatrix} \tag{8}$$

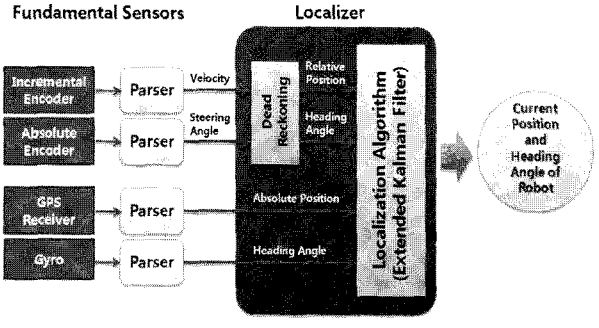


그림 13. 데이터 흐름도
Fig. 13. Data flow chart.

VI. 시뮬레이션 및 실험

1. 시뮬레이션

실험에 앞서 확장 칼만 필터의 성능을 알아보기 위해 시뮬레이션을 해보았다. 이동로봇의 속도를 2m/s로 유

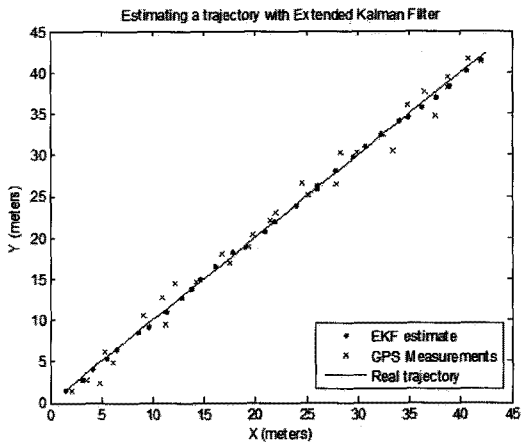


그림 14. 직선 주행 시뮬레이션 결과
Fig. 14. Straight path simulation result.

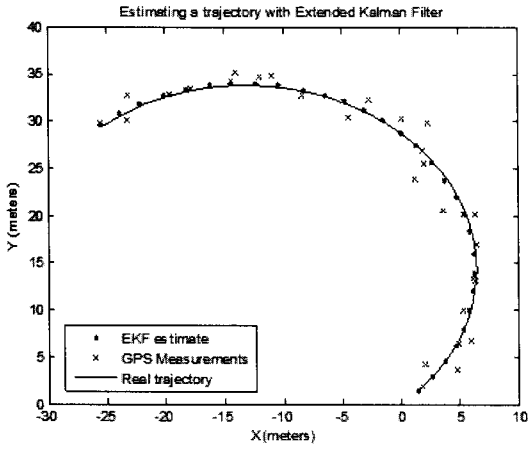


그림 15. 곡선 주행 시뮬레이션 결과
Fig. 15. Curve path simulation result.

지하고 직선 주행하였을 경우에 시뮬레이션 결과는 그림 14와 같다. GPS로 이동로봇의 위치를 측정하였을 경우보다 센서 정보를 융합하여 확장 칼만 필터에 적용하였을 때 이동로봇의 실제 이동경로에 가깝게 위치 추정을 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

두 번째 시뮬레이션은 이동로봇의 속도를 2m/s로 유지하고 회전 각도 값을 5°로 변화시켜보았다. 시뮬레이션 결과는 그림 15와 같이 나왔다. 확장 칼만 필터로 추정한 위치 정보는 실제 이동로봇의 경로를 잘 추정하는 반면에 GPS로 측정한 정보는 이동로봇이 회전할 때 오차가 크게 발생하는 것을 확인할 수가 있다.

2. 경사면에서의 진행 방향 추정 실험결과

그림 16은 이동로봇의 진행 방향 추정 알고리즘을 적용하여 경사가 큰 지형을 올라갔다가 다시 출발점에 도착하였을 때의 각도 정보를 나타낸다. 1축 자이로 센서를 사용하였을 경우와는 달리 원점에서의 오차가 약 1° 내외로 이동로봇의 진행방향을 정확하게 추정하는 것을 확인하였다.

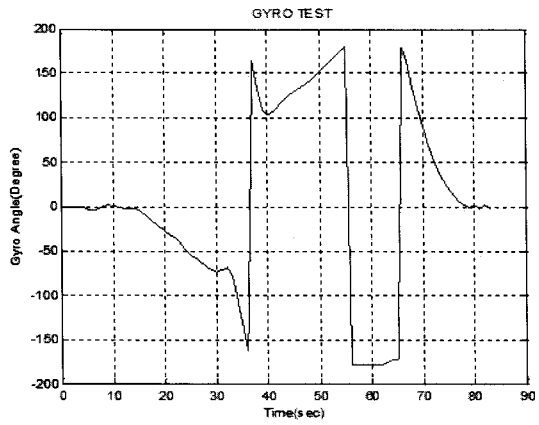


그림 16. 경사도로에서 자이로 센서 모듈 실험 결과
Fig. 16. Gyro sensor module experiment result in slope road.

3. EKF 알고리즘을 이용한 위치추정 실험

그림 17은 이동로봇에 장착된 엔코더로부터 받는 속도와 회전 각도 정보를 이용하여 적분을 통해 얻은 주행 경로와 GPS로부터 획득한 정보를 비교한다. 주행계의 오차가 누적이 됨에 따라 실제 주행 경로를 크게 벗어난다는 것을 알 수가 있다.

그림 18은 엔코더, 자이로, GPS 정보를 융합하여 확장 칼만 필터 알고리즘을 통한 결과와 실제로 획득한

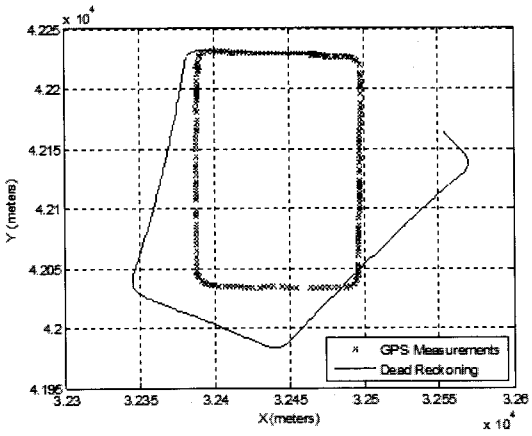


그림 17. 엔코더를 이용한 위치와 GPS에서 획득한 위치
Fig. 17. The calculated position from encoder and the measured data from GPS.

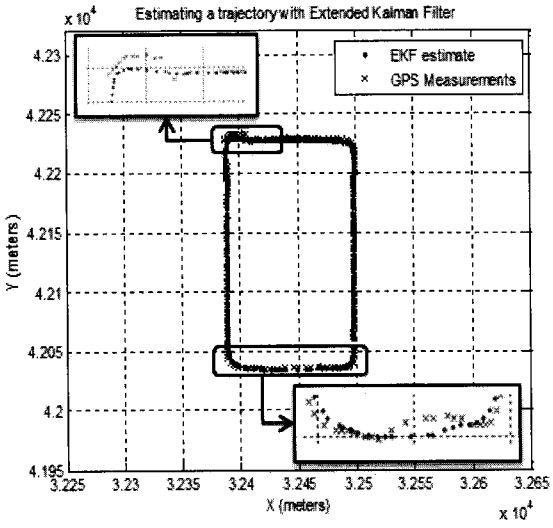


그림 18. 확장 칼만 필터를 이용한 위치추정 결과
Fig. 18. Localization result using Extended Kalman filter.

GPS 정보를 비교한 결과를 나타낸다. GPS 정보는 많은 순간 오차를 보이나 확장 칼만 필터에 의해 추정된 위치정보는 이러한 GPS 잡음의 크기를 줄였으며, 엔코더만을 이용했을 때의 오차를 바로 잡았음을 알 수가 있다.

Ⅶ. 결 론

본 논문은 여러 불확실성을 가지는 실외환경에서 주행하는 이동로봇의 위치를 추정하는 알고리즘을 제안하고, 이동로봇에 적용하여 안정적인 위치추정을 할 수 있음을 보였다. 또한 지자계 센서를 사용할 수 없는 시스템 환경에서 경사도로에서의 오차 발생 문제를 해결하기 위해 진행 방향 추정 알고리즘을 구현하였으며, 이를 확장 칼만 필터에 적용하여 이동 로봇의 위치추정 성능을 개선하였음을 실험을 통해 검증하였다.

향후에는 비전센서 또는 랜드마크 등을 이용하여 자이로 센서의 특성상 장시간 사용하게 되면 생기는 오차 누적 문제를 해결하고 이동로봇의 위치추정 성능을 향상시키는 방향으로 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] 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.

[3] H. Chung, L. Ojeda, and J. Borenstein, "Sensor fusion for mobile robot dead reckoning with a pecision-calibrated fiber optic gyroscope," in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom., Seoul, Korea, May 2001, pp.3588 - 3593.

[4] 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

[5] Greg Welch and Gary Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter", UNC-Chapel Hill, TR 95-041, July 24, 2006.

[6] 진태석, 이장명, "단일 초음파 센서모듈을 이용한 이동로봇의 위치추정 및 주행," 전자공학회논문지, 제42권 SC편, 제 2호, 1-10쪽, 2005년 3월

[7] 구자일, 홍준표, 이원석, "동기 구동형 이동로봇의 자율주행을 위한 위치측정과 경로계획에 관한 연구," 전자공학회논문지, 제43권 IE편, 제 1호, 59-66쪽, 2006년 3월

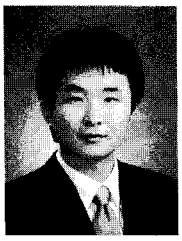
[8] R. Thrapp and C.Westbrook, "Robust localization algorithms for an autonomous campus tour guide," in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom.,Seoul, Korea, May 2001, pp. 2065 - 2071.

[9] T. Pilarsky, M. Happold, H. Pangels, M. Ollis, K. Fitzpatrick, and A.Stentz, "The demeter system for automated harvesting," Auton. Robots,vol. 13, pp. 9 - 20, 2002.

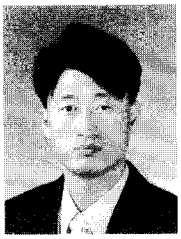
[10] 유성구, 정길도, "단일 영상과 거리센서를 이용한 SLAM 시스템 구현," 전자공학회논문지, 제45권 SC편, 제 6호, 149-156쪽, 2008년 11월

[11] S. Scheding, G. Dissanayake, E. M. Nebot, and H.Durrant-Whyte,"An experiment in autonomous navigation of an underground mining vehicle,"IEEE Trans. Robot. Autom., vol. 15, no. 1, pp. 85 - 95, Feb. 1999.

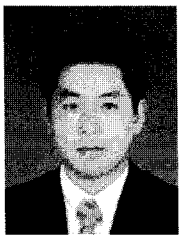
저 자 소 개



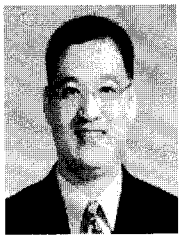
김 지 용(학생회원)
2008년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 학사 졸업.
2008년~현재 충남대학교 대학원 메카트로닉스공학과 석사과정 재학중.
<주관심분야 : 로보틱스, 위치추정, 지능제어>



이 지 홍(정회원)
1983년 서울대학교 전자공학과 학사 졸업.
1985년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.
1991년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.
1994년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 정교수.
<주관심분야 : 로보틱스, 위치추정, 경로계획>



변 재 민(정회원)
1997년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 학사 졸업.
2007년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 석사 졸업.
<주관심분야 : 실내외 이동로봇, 영상 처리 , 환경 인식 및 모델링, 자율 주행>



김 성 훈(정회원)
1995년 광운대학교 전자공학과 학사 졸업.
1997년 광운대학교 전자공학과 석사 졸업.
2007년 한양대학교 전자공학과 박사 수료.
<주관심분야 : 자율주행, 영상처리, 시스템S/W, 로봇S/W 아키텍쳐>