

센서융합에 의한 이동로봇의 주행성 연구

A Study In Movement of Wheeled Mobile Robot Via Sensor Fusion

신 회 석*, 홍 식 교*, 좌 동 경*

HuiSeok Shin, Suk-Kyo Hong, Dongkyoung Chwa

Abstract -In this paper, low cost inertial sensor and compass were used instead of encoder for localization of mobile robot. Movements by encoder, movements by inertial sensor and movements by complementary filter with inertial sensor and compass were analyzed. Movement by complementary filter was worse than by only inertial sensor because of imperfection of compass. For the complementary filter to show best movements, compass need to be compensated for position error.

Key Words : sensor fusion, INS, mobile robot, complementary filter, dead-reckoning

1. 서 론

최근 연구 개발이 활발히 이루어지고 있는 이동로봇은 다 른 종류의 산업용 로봇에 비하여 이동성과 조작성이 우수할 뿐만 아니라, 센서 기술 및 컴퓨터 기술의 발달과 함께 각종 산업 현장에서 사람을 대신할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 로봇의 연구는 위치추정(Localization), 경로계획(Path - planning), 경로추정(Path - following), 장애물 회피(Obstacle avoidance)등이 있고 서로 병행되어 연구된다.

이동로봇은 위치 추정에 있어 정보의 획득을 GPS와 같은 외부의 도움 없이 주행기록계와 같은 Dead-reckoning 시스템에 의존하게 된다. Dead-reckoning 시스템은 한번 발생한 오차는 계속 누적되기 때문에 주행기록계에서 발생할 수 있는 바퀴의 미끄러짐이나 마찰 그리고 기구학적 오류는 이동 로봇의 위치추정에 큰 오류를 발생시킬 수 있다. 관성센서 시스템(INS)은 이러한 오류를 최소화할 수 있으나 자체적으로 가지고 있는 오차들이 있다.

본 논문에서는 주행기록 시스템에서의 로봇의 주행과 저가의 자이로스코프와 지자기 센서를 사용하여 각각의 센서의 오차를 실험적으로 보정한 후, 자이로스코프만을 이용한 로봇의 주행과 상보필터를 이용한 로봇의 주행성을 비교 분석하였다.

2. 이동로봇 시스템

2.1 시스템 구성

본 연구에서 제어 대상을 선택한 이동로봇은 그림 1과 같은 형태를 하고 있으며 엔코더를 내장한 2개의 직류모터가 이동로봇의 두 바퀴를 구동하고 두 개의 보조 바퀴가 있다. 동작 중 이동로봇의 위치와 방향은 두 바퀴에 장착된 엔코더에 의해 측정된다.

바퀴의 미끄러짐은 일반적으로 로봇이 가속 중이거나 회전하는 동안 측면으로 미끄러지려는 원심력에 의해 발생한다. 가속 시 발생하는 미끄러짐은 이동로봇에 맞는 충분한 곡률 반경을 설정하여 주고 회전 시 발생하는 미끄러짐은 이동로봇에 맞는 충분한 곡률 반경을 설정하여 움직임을 제한하거나 비대칭적인 로봇의 무게를 분산하여 측면 힘이 바퀴에 작용하지 않도록 하여 줄일 수 있다. 실험에서 차체는 0.07m/sec로 주행하였다.

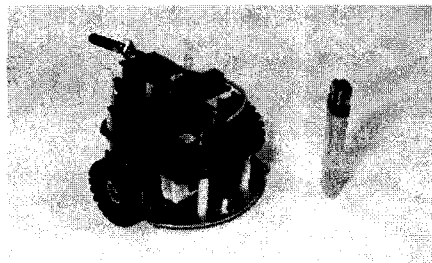


그림 [1] 자체 제작한 자율이동로봇

2.2 이동로봇 궤적오차 분석

이동로봇의 궤적오차는 로봇이 추정해야 되는 경로에 있을 때 로봇의 원하는 위치와 실제 로봇의 위치가 그림 [2]에서 보이는 것처럼 주어지면 방향오차(Orientation error), 위치오차(Position error)를 정의할 수 있다.

저자 소개

*亞洲大學 電子工學部 碩士課程

**亞洲大學 電子工學部 教授

***亞洲大學 電子工學部 助教授

위치오차는 $e_t = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$ 와 같이 정의할 수 있다. 방향 오차는 현재 로봇의 방향각과 원하는 로봇 방향각 차로 정의 된다. 방향오차는 다음 순간에 위치오차의 원인이 되기 때문에 가정 중요한 오차이다.

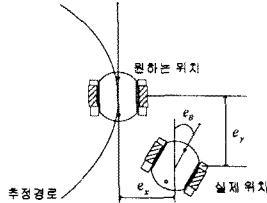


그림 [2] 동작오차 분석

3. 센서 시스템

3.1 관성센서

실험에 사용된 관성센서는 그림 3의 Analog Devices사의 1축 자이로스코프 adxrs300이 사용되었다. adxrs300은 각속도에 비례하는 DC전압을 출력한다(그림 [3]).

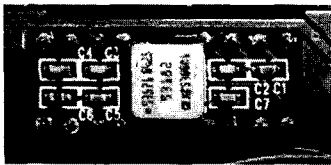


그림 [3] 실험에 사용된 adxrs300

자이로스코프의 바이어스 오차를 구하기 위해 정지 상태에서 1초 간격으로 1시간동안 정보를 수집하였다. 여러 차례 반복 결과, 10분 이후에 그림 [4],[5]에 보듯이 자이로스코프의 정보가 수렴됨을 확인할 수 있다.

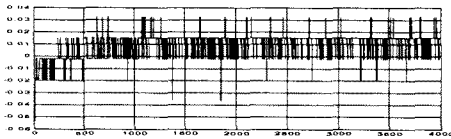


그림 [4] 자이로스코프의 정지 상태 응답

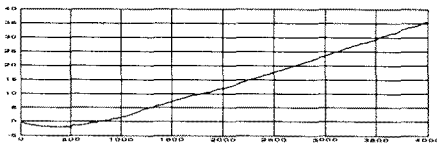


그림 [5] 자이로스코프 정지 상태 응답의 적분값

3.2 지자기센서

실험에 사용된 지자기 센서는 Philips사의 자기장센서 KM251을 사용한 CMP03-robot compass 모듈이 사용되었다(그림 [6]). CMP03는 듀티비에 의한 출력과 I2C통신 방식에 의한 출력을 지원한다.

CMP03 모듈은 분해능이 255/360deg이지만, 방향의 분포가

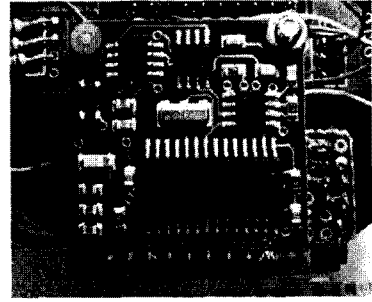


그림 [6] 실험에 사용된 CMP03 모듈

균일하지 않기 때문에 실험을 통해 값을 구한 후 푸리에 급수(1)로 가정하여 비선형최소자승법을 이용하여 계수(2)를 구하였다. 그림 [7]은 실험 정보와 푸리에 급수를 이용하여 얻은 정보를 분석한 결과이다.

$$radian = a_0 + a_1 \cos(ux) + b_1 \sin(ux) + a_2 \cos(2ux) + b_2 \sin(2ux) \quad (1)$$

$$a_0 = 1.27, a_1 = 2.999, b_1 = 3.669, a_2 = 1.738, b_2 = -0.4605, w = 0.009048 \quad (2)$$

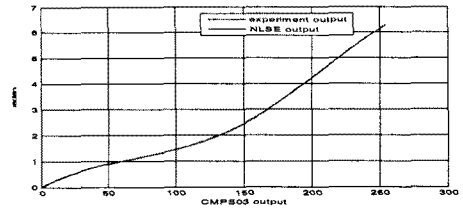


그림 [7] 비선형최소자승법을 이용한 지자기센서추정

4. 실험

4.1 주행기록 시스템

모터에 부착되어 있는 엔코더에서의 정보만을 이용한 이동

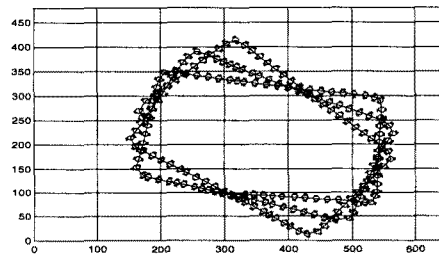


그림 [8] 엔코더를 이용한 이동로봇의 주행 로봇의 주행 궤적이다. 그림 8은 주행 바닥 면 위쪽에 USB 카메라를 설치하여 실시간으로 Matlab 내에서 이미지를 처리한 결과이다. 카메라는 640X480의 분해능을 가지고 있으며, 이미지는 흑백이미지로 바꾼 뒤, 로봇영역을 레이블링한다. 그 이후에 중심점을 찾는 알고리즘을 이용하였다. 저가의 장난감 바퀴를 사용한 결과, 로봇 차체의 직진 성

능은 물론 방향 전환에 있어서도 기준치를 정확히 추종하지 못하여 오차가 계속 누적됨을 확인할 수 있다.

4.2 상보필터 시스템

이동로봇은 방향각에 의한 오차가 지배적이기 때문에 자이로스코프와 지자기 센서를 융합하여 방향각에 대한 정보를 얻을 수 있다. 상보필터는 각 센서의 전달함수의 합이 1이 되도록 차단 주파수를 정하는 것이다(그림 [8]).

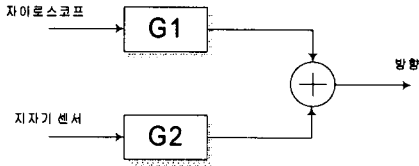


그림 [8] 상보필터의 개념도

$$G_1(s) = \frac{k_1}{s+k_1}, \quad G_2(s) = \frac{s}{s+k_1} \quad (3)$$

$$\alpha(s) = \frac{k_1}{s+k_1} \cdot \alpha_c(s) + \frac{s}{s+k_1} \cdot \frac{w_g(s)}{s} \quad (4)$$

$\alpha(s)$ 는 로봇의 방향각 α_c 는 지자기 센서의 각도 값, w_g 는 자이로스코프의 각속도 값이고, k_1 은 차단 주파수를 나타낸다. 수식을 살펴보게 되면, 저주파에서는 지자기 센서를 고주파에서는 자이로스코프의 정보를 이용하게 된다. 그림 [9]와 같이 주행기록 시스템보다 우수한 주행 성능을 보이고 있다.

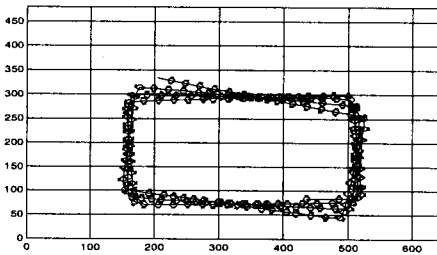


그림 [9] 상보필터를 이용한 이동로봇의 주행

4.3 관성센서 시스템

자이로스코프에서의 정보만을 이용하여 이동로봇의 방향각을 얻었다. 로봇은 전원 인가 후 자이로스코프가 안정화된 10분 이후에 사용하였다. 그림 [10]은 로봇의 궤적을 보여주고 있다. 직사각형의 기준좌표를 설정했지만 로봇내의 제어기의 설계에 따라 약간 틀어진 사각형의 주행궤적이 나타난다. 하지만 전체적인 오차의 누적은 오히려 상보필터를 사용한 주행보다 우수한 측면을 보였다.

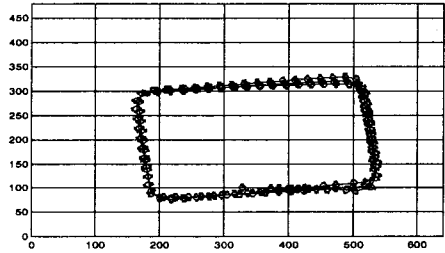


그림 [10] 관성센서를 이용한 이동로봇의 주행

5. 결 론

저가의 관성센서와 지자기 센서를 사용하더라도 주행기록 시스템보다 좋은 주행성을 보여주었다. 그러나 실제적으로 상보필터를 사용한 주행은 관성센서만을 사용한 주행보다 좋은 주행을 보여주지 못했다. 원인은 상보필터에서 사용되는 지자기 센서가 고정된 위치에서는 안정된 출력을 나타냈지만 위치가 바뀔 때 따라 주변의 자장에 반응해 위치에 따라 다른 응답을 나타내 오히려 관성센서만을 이용한 주행보다 그 성능이 떨어지게 만드는 원인이 되었다. 추후 연구 내용으로는 지자기 센서에 대한 보정을 통해 장시간에 걸친 주행에도 뛰어난 성능을 기대할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] L. Feng, Y. Koren and J. Borenstein, "A Model Reference Adaptive Motion Controller for a Differential-Drive Mobile Robot," Proc. of the 1994 IEEE Inter. Conf. on Robotics and Automation, pp. 3091-3095.
- [2] J. Borenstein and L.Feng "Gyrodometry: A new method for combining data from gyros and odometry in mobile robot," Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation, April 1996
- [3] R. Siegwart and I. R. Nourbakhsh, "Autonomous Mobile Robots" The MIT Press, 2004
- [4] <http://www.robot-electronics.co.uk/htm/cmeps3doc.shtml>
- [5] A. Pascoal, I. Kaminer, and P. Oliveira "Navigation system design using time-varying complimentary filters", IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems, vol. 36, no. 4, October 2000.