

관성센서를 이용한 SLAM 기반의 위치 추정 보정 기법에 관한 연구

강신혁, 염문진, *권오상, 이응혁

한국산업기술대학교 지식기반기술 에너지대학원 정보통신공학과, *경기공업대 자동화로봇과

A Study on the Compensating of the Dead-reckoning Based on SLAM Using the Inertial Sensor

Shin-Hyuk Kang, Moon-Jin Yeom, *Oh-Sang Kwon, Eung-Hyuk Lee

Department of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University

*Department of Automation and Robot, Kyonggi College

Abstract - 로봇은 오도메터리 정보를 이용해 위치추정을 할 수 있다. 그러나 주행하는 동안 발생하는 슬립현상에 의해 오도메터리 정보만으로는 로봇의 정확한 위치추정을 할 수 없다. 정확한 위치추정을 위해서 관성센서를 이용하여 오도메터리 정보를 보정한 위치추정 방법이 있다. 실제 이동로봇에 적용하려면 관성센서는 소형이어야 하는데, 그에 따라 노이즈는 심해지고, 정확성도 낮아지는 문제가 있다. 그래서 현재까지는 이런 문제를 갖고 있는 관성센서를 실제 이동로봇의 위치추정의 정확성을 높이기 위해 비관성센서 또는 카메라 영상을 조합하는 연구들을 하고 있다. 그러나 이러한 연구들은 대부분 관성센서의 성능 실험과 시뮬레이션에 결론을 내리고 있어 실제 실험에 따른 정확성을 확인할 수 없다. 또한 최근 영상 SIFT 알고리즘을 적용한 SLAM 연구에서도 나타나는 문제는 이동로봇의 위치추정의 부정확성이다. 따라서 본 논문은 SLAM에서 문제가 되는 위치추정의 부정확성을 최소화하기 위해 자이로와 가속도계를 이용하여 정확한 위치추정을 하고자 한다.

여기서 K_g 는 sensor gain value, S_t 는 sampling time, θ_1 는 자이로 출력 값을 샘플링하여 적분한 값, θ' 는 각속도 그리고 θ 는 누적 값을 의미한다.

2.2 가속도계

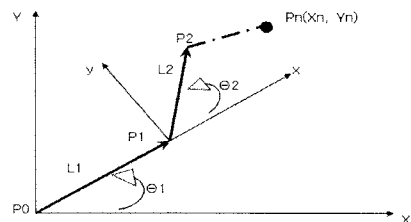
가속도계는 외부에서 인가된 가속도나 중력에 의한 중력 가속도를 전기적인 신호로 변환하여 그 가속도량을 측정할 수 있는 센서이다. 가속도계의 출력 신호는 $g(9.8m/s^2)$ 단위로 표현이 되고, 기계식, 압전소자 방식, MEMS등으로 분류한다. 소형의 MEMS 가속도계는 가속도계 내의 관성 질량에 압전 소자에 관성력을 전달하여 압전 소자의 기계적 변형으로 압전소자 양단에 얇은 전극판 위에 압전소자의 변형 정도에 비례하는 전하 밀도의 변화 정도를 측정함으로써 가속도를 측정할 수 있다. 수식 2.2는 가속도계에서 나오는 가속도 값을 적분하여 속도를 구하는데 사용된다.

$$v_x(t) = \int_{x=0}^t a_x(\tau) d\tau + v_x(t=0) \quad (\text{수식 2.2})$$

a_x 는 가속도계에서 출력되는 가속도 값이고, 샘플링시간 동안 적분하여 이전까지의 속도 v_x 를 더하면 t초 동안의 속도 $v_x(t)$ 를 구하게 된다. 구해진 속도를 다시 적분하면 거리를 구할 수 있다.

2.3 자립항법의 알고리즘

관성센서를 로봇의 위치추정에 사용하기 위해서는 자립항법을 필요로 한다. 자립항법은 초기위치로부터 이동로봇이 움직이는 순간마다 방향과 거리의 증가 값을 계속 누적하여 현재 위치를 계산하는 방법을 사용하기 때문에 관성센서를 이용한 로봇의 위치추정에 용이하다. 초기위치 $P_0(X_0, Y_0)$ 로부터 실제 로봇의 주행위치인 $P_n(X_n, Y_n)$ 을 그림 1과 같이 나타내며, 그 계산식은 수식 2.3과 같이 표현할 수 있다[5].



<그림 1> 자립항법을 이용한 로봇의 위치 결정 방법

$$X_n = X_0 + \sum_{i=0}^n \Delta X_i = X_0 + \sum_{i=0}^n \Delta L_i \cos \theta_i$$

$$Y_n = Y_0 + \sum_{i=0}^n \Delta Y_i = Y_0 + \sum_{i=0}^n \Delta L_i \sin \theta_i \quad (\text{수식 2.3})$$

3. 실험

3.1 관성센서 구성

그림 2는 본 논문에서 사용한 관성센서의 시스템 구성도이다. 자이로는 로봇의 회전각을 계산하는데 사용되며 가속도계는 로봇의 직선 방향 움직임을 계산하는데 사용한다. 실제 로봇에서의 실험을 위해 관성센서 모듈을 한울로보틱사의 휠 로봇(RD)과 엔코더를 포함한 모션제어기 및 UMPC로 구성하고, 관성센서와 연결하기 위해 USB 통신 방법을 사용했다. 이렇게 구성된 관성센서 시스템은 로봇의 오도메터리 정보를 보정하여 위치추정의 오차를 최소화시킬 수 있게 한다.

1. 서 론

휠(wheel)구동 로봇의 위치추정은 사용자가 원하는 위치로 이동하는데 필요하다. 그래서 엔코더를 구동모터와 연결하여 주행 거리 및 회전각을 계산하고 현재 위치를 추정한다. 그러나 이렇게 계산된 로봇의 위치추정은 실제 로봇이 주행한 위치와 차이가 있다. 주행하는 동안 휠과 주행 마다면 사이에서 슬립현상이 발생되기 때문이다[2]. 슬립현상에 따른 위치추정 오차를 최소화하기 위한 방법 중에서 관성센서를 이용한 오도메터리(odometry) 정보를 보정하는 방법이 있다. 하지만 관성센서는 시간에 따라 오차가 누적되는 문제를 갖고 있어 누적 오차를 최소화 하기 위한 연구가 진행되고 있다 [1]. 또한 관성센서의 물리적 구조에 따라 노이즈 및 정확성에도 차이가 있는데, 실제 이동로봇에 적용할 수 있는 관성센서의 구조는 소형이어야 하고 무게가 적어야 한다. 하지만 이러한 물리적 구조를 갖는 관성센서는 발생하는 노이즈가 많고 정확성도 낮아지는 문제점이 있다. 실제 이동로봇의 위치추정에 사용하기 위해 비관성센서 또는 카메라의 영상을 조합하여 위치추정의 정확성을 높여려는 연구들을 하고 있다[1][3][4]. 그러나 이러한 연구들도 대부분 관성센서의 성능 실험과 시뮬레이션에서 결론을 내리고 있어 실제 실험에 따른 정확성을 확인할 수 없다. 영상을 이용한 SLAM(simultaneous localization and mapping)의 연구에서도 위치추정의 오차를 최소화 할 수 있는 방법이 필요하다[6]. 본 논문은 본문에서는 관성센서의 원리와 관성센서를 활용하기 위한 자립항법의 알고리즘을 설명하고, 실험에서는 관성센서의 오차 실험 및 실제 로봇에 관성센서를 장착하여 오도메터리 정보를 보정한 주행 실험을 하였다. 또한 영상 SIFT 알고리즘을 사용한 SLAM에서의 오도메터리 정보를 보정하여 위치추정의 정확성을 높일 수 있는 방안을 연구하였다. 향후에는 관성센서의 오차를 최소화할 수 있는 알고리즘을 개선하고, 실제 SLAM에서 위치추정의 정확성을 높이는 연구를 하고자 한다.

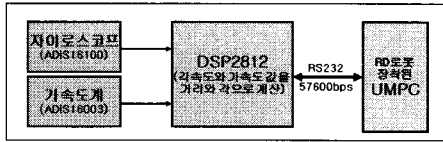
2. 본 론

2.1 자이로스코프

자이로스코프는 측정원리에 따라 크게 기계적 방식, 광학방식 그리고 MEMS 방식 등으로 분류할 수 있다. MEMS형 자이로스코프는 정전기적인 힘에 의해 구조물이 특정 방향으로 진동 상태에 있을 때 측정하고자 하는 각속도가 인가되면 진동의 직각 방향으로 코리올리스(coriolis) 힘이 작용하게 된다. 이때 코리올리스 힘에 의해 작용된 진동이 관성체와 전극사이에 점진용량의 변화를 가져오는데, 이 변화 정도를 통해 인가된 각속도의 정도를 측정한다. 자이로스코프에 의한 각도 산출은 자이로스코프를 통해 출력된 값들을 S/H(sample hold)와 A/D converter에 의해 수집한 값을 자이로의 gain값으로 나누고 발생된 각속도 값들을 적분하여 각도를 산출한다. 수식 2.1은 자이로의 출력 값에 대한 각도 산출 관계식을 보여준다[6].

$$\theta_1 = K_g * (\theta' * S_t)$$

$$\theta = \theta + \theta_1 \quad (\text{수식 2.1})$$



〈그림 2〉 관성센서 시스템 구성도

본 연구에서 로봇의 방향을 계산하기 위해 사용한 자이로스코프는 Analog Device사의 MEMS형 ADIS16100 모델로, 각속도 측정 범위는 ± 300 deg/sec이고, 로봇의 움직인 거리를 계산하기 위해 사용한 가속도계는 Analog Device사의 MEMS형 ADIS16003이다.

3.2 관성센서 실험

자이로스코프의 성능 실험을 위해 스테핑 모터 구조의 실험기구를 제작하여, 등속으로 360도 회전 실험해서 계산된 회전각 오차를 측정했다. 가속도계의 성능 실험은 AC서보모터 구조의 실험기구를 제작하여, 100cm 직선거리를 움직이고 거리 오차를 측정했다. 표 1은 자이로스코프, 표 2는 가속도계의 성능 실험에 따른 오차 값을 나타낸다.

〈표 1〉 자이로스코프의 오차 실험

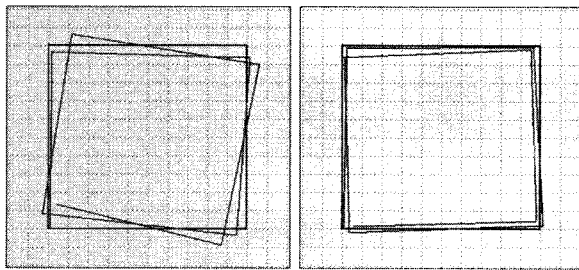
360도 회전 좌회전 (degree)	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	오차평균
좌회전 (degree)	0.08	0.12	0.18	0.84	0.27	0.26	0.21	0.57	0.3
우회전 (degree)	0.56	0.33	0.27	0.82	0.63	0.32	0.58	0.83	0.54

〈표 2〉 가속도계의 오차 실험

100cm 거리실험	1회	2회	3회	4회	5회	6회	7회	8회	평균
100cm기준 오차(cm)	1.7	3.1	3.2	1.9	1.3	4.7	5.5	1.4	2.85

실험 결과 자이로스코프의 경우 오차 값은 360도 회전 시 0.5도 미만의 오차를 확인할 수 있었다. 그리고 가속도계의 경우 오차 값은 100cm 직선거리 실험에서 3cm 미만의 오차를 확인할 수 있었다.

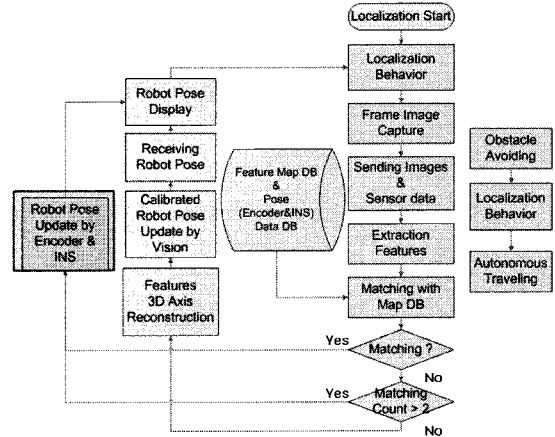
또한 이동로봇에 관성센서를 장착하여 주행 동안의 위치추정 오차를 확인했다. 다음 그림 3은 주행동안의 위치추정 결과를 나타낸다. 오도메터리 정보에만 의존한 주행(그림 3 좌측)과 관성센서를 이용한 오도메터리 정보를 보정한 주행(그림 3 우측)실험 결과를 나타낸다. 그림 3에서 청색 선은 로봇이 주어진 경로이며, 적색 선은 실제 로봇의 주행 경로를 나타낸다. 실험 방법은 일반적인 사무실 복도에서 이동로봇을 200cm 간격의 사각형 주행 경로를 2회 반복하여 로봇을 이동하는 방법으로 했다. 실험 결과 관성센서를 이용하여 오도메터리 정보를 보정하면 오도메터리 정보만을 이용한 것보다 로봇의 위치추정을 더 정확하게 보정할 수 있었다.



〈그림 3〉 실제 오도메터리에 의한 주행(좌)과 보정 주행(우) 실험 결과

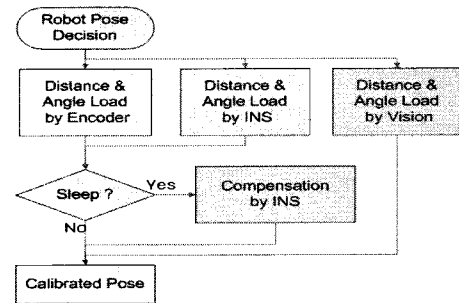
4 영상기반 SLAM에서 관성센서 적용한 위치 보정 방안 제시

주위 환경에 대하여 랜드마크를 인식해서 특징점으로 추출하는 영상 SIFT 알고리즘에 의한 SLAM은 로봇이 주행을 하면서 일정간격마다 카메라 영상을 획득하고 특징점들을 추출한다. 또한 연속한 두 영상 프레임간의 주행 거리 및 방향 정보는 오도메터리 정보를 통하여 3D좌표로 생성한다. 그리고 이동로봇이 다시 주행했을 때, 현재 위치에서 찍은 영상과 이전에 작성된 영상에서의 특징점들을 비교한다. 즉 기록한 퓨처맵(Feature map)과 매칭시켜서 로봇이 이전에 주행했던 경로인지를 판단한다. 이전 주행 경로인 경우 현재 로봇의 위치와 방향을 알아낼 수 있다. 만약 매칭되는 점을 찾지 못한다면, 새로운 경로 주행을 판단하고 현재의 위치와 방향을 계산하여 3D좌표로 생성한다. SLAM에서 오도메터리 정보는 이동로봇의 자기 위치추정에 반드시 필요하다. 그러나 앞서 언급했듯이 주행하는 동안에 슬립현상으로 오도메터리 정보에 의한 위치추정은 실제 로봇의 위치와 차이가 발생한다. 그래서 본 논문에서는 관성센서를 가지고 오도메터리 정보를 보정하여 영상 SIFT 알고리즘을 이용한 SLAM에서도 마찬가지로 위치추정 오차를 최소화할 수 있는 가능성을 확인했다. 다음 그림 4는 SLAM 흐름도이다.



〈그림 4〉 SLAM 흐름도

위치추정의 오차를 최소화하기 위한 방법은 이전 영상에서 현재 영상 동안의 변화 거리 및 방향을 관성센서로 계산하고, 오도메터리 정보를 보정할 수 있는 과정을 추가한다. 그림 5는 SLAM에서 로봇의 위치를 결정하는 과정을 나타내는데, 본 논문에서 제시하는 방법은 오도메터리 정보와 관성센서에 의해 계산된 위치 정보를 우선 비교하고 슬립이 발생한 량을 판단하고 그에 따른 로봇의 위치정보를 새로 계산한다.



〈그림 5〉 SLAM에서 로봇의 위치 결정 흐름도

5. 결 론

본 논문은 관성센서의 성능을 실험하기 위해 실제 로봇에 관성센서 모듈을 장착한 실험을 했고, 그 결과 관성센서를 이용해 오도메터리 정보를 보정하는 주행방법은 보정하지 않은 주행보다 위치추정 오차가 줄어들음을 확인했다. 또한 영상 SIFT 알고리즘을 사용한 SLAM에서도 오도메터리 정보를 보정하여 위치추정의 정확성을 높일 수 있는지를 연구하였다.

향후에는 오도메터리 정보를 보정할 수 있는 관성센서의 오차를 최소화할 수 있도록 관성센서모듈을 설계하고 알고리즘을 개선하여, 영상 SIFT 알고리즘을 사용한 SLAM에 관성센서를 이용하여 위치추정오차를 최소화하기 위한 적용실험을 하겠다.

〈참 고 문 헌〉

[1] Tarin Sauer, C. Brugger, H. Hofer, E.P. Tibken, B. "Odometry error correction by sensor fusion for autonomous mobile robot navigation", Instrumentation and Measurement Technology Conference, IMTC 2001, Proceedings of the 18th IEEE, Volume 3, 21-23 May, pp.1654-1658. 2001.
 [2] KyuCheol. Park, Dohyoung. Chung, Hakyoung Chung, JangGuy Lee, "Dead reckoning navigation of a mobile robot using an indirect Kalman filter", Multisensor Fusion and Integration for Intelligent Systems, IEEE/SI CE/RSJ International Conference on 8-11 Dec. 1996, pp.132-138.
 [3] Hugh.Liu, "Accelerometer for Mobile Robot Positioning", Industry Applications, IEEE Transaction, Volume 37, Issue 3, pp.812-819. 2001.
 [4] R.Sim, M.Griffin, A.Shyr, J.Little, "Scalable real-time vision-based SLAM for planetary rover", IEEE IROS Workshop on Robot Vision for Space Applications, 2005.
 [5] 김상겸, 유환신, 김정하 "차량 항법용 자이로 센서의 특성분석 및 혼합 항법 알고리즘 개발에 관한 연구, 한국자동차공학회논문집, 제12권, 제5호, pp.171-179, 2003.
 [6] S.G.Kim, J.H.Choi, J.H.Kim, J.H.Chun, "Characteristic Analysis of the Gyro Sensor & Development of Hybrid Algorithm for the Car Navigation System", KSAE Spring Conference Proceedings, pp.619-624, 1997.