

두 개의 광류센서를 이용한 소형무인로봇의 위치 추정 기술

Localization with Two Optical Flow Sensors for Small Unmanned Ground Vehicles

허진욱* 강신천* 현동준**
Jinwook Huh Sincheon Kang Dongjun Hyun

ABSTRACT

Localization is very important for the autonomous navigation of Unmanned Ground Vehicles; however, it is difficult that they have a precise Inertial Navigation System(INS) sensor, especially Small Unmanned Ground Vehicle(SUGV). Moreover, there are some condition such as denial of global position system(GPS), GPS/INS integrated system is not robust. This paper proposes the estimation algorithm with optical flow sensor and INS. Being compared with previous researches, the proposed algorithm is suitable for skid steering vehicles. We revised the measurement model of previous research for the accuracy of side direction position. Experimental results were performed to verify the algorithm, and the result showed an excellent performance.

Keywords : Optical Flow Sensor(광류센서), Localization(위치인식), Small Unmanned Ground Vehicle(소형 지상 무인 차량)

1. 서론

최근기술의 발전과 인명중시로 인해 전장 및 위험 환경에서의 자율로봇의 활용의 필요성이 점차 커지고 있다. 특히 군사용으로는 도시지역 및 소규모 전투에서 소형로봇이 많이 이용·배치되어 있고 감시정찰 및 전투용 무인차량들도 개발되고 있다.

그러나 무인차량 운용시 통신이 재밍되거나 통신이 열악한 환경에서는 원격제어를 통한 운용하기 힘들다

는 단점이 있어서 최근에는 제한적인 자율주행 기능을 부여하거나, 통신 두절시 스스로의 위치로 돌아오는 자율 경로복귀 기술이 연구 중에 있다^[1]. 자율주행 또는 자율 경로복귀에서 가장 중요한 기술은 현재의 위치를 추정하는 기술로써, 대부분의 위치 추정 기술은 INS(Inertial Navigation Sensor) 센서 및 GPS(Global Position System)를 이용하지만^[2] 실내 및 협로 또는 수풀이 우거진 야지와 같은 환경에서는 GPS를 활용할 수가 없고 INS 센서의 경우는 장시간 사용시 발산하게 되는 단점이 있어서 항법센서가 아닌 다른 센서를 이용한 위치추정 기술이 필요하다.

따라서 소형로봇에 장착되어 있는 영상 및 레이저 센서를 이용한 위치 추정 기술이 많이 제시되고 있으나^[3], 영상 및 레이저 센서를 이용하는 위치 추정 기술

† 2013년 2월 18일 접수~2013년 3월 15일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

** 한국원자력연구원

책임저자 : 허진욱(jwhuh@add.re.kr)

은 많은 계산량을 요구할 뿐만 아니라 별도의 고가의 영상 및 레이저 센서를 필요로 한다는 단점이 있다. 또한 휠의 이동 정보(Odometry)를 이용하여 위치를 보정하는 알고리즘의 경우 휠 이동 정보는 오차를 많이 포함하고 있을 뿐만 아니라 군사용 자율로봇에 적용되는 스키드 차량의 경우에는 정확한 위치 추정에 도움이 되기 어렵다.

따라서 최근에는 마우스에 이용하는 저가의 소형 광류 센서를 이용하여 이동 정보를 얻는 방법이 많이 연구되고 있다⁴⁻⁷. 특히 소형 광류 센서와 저가의 MEMS INS 센서 정보를 가지고 칼만 필터를 적용하여 위치를 추정한 연구는 장시간 운용에도 거의 발산하지 않으며 저가로 구성할 수 있다는 장점이 있다^{8,9}. 그러나 기존 연구에서는 광류센서의 횡 방향 정보와 항법 센서와 광류센서의 위치 차이를 고려하지 않았다. 이에 본 연구에서는 횡 방향 정보 활용하고 또한 센서의 위치 차이를 보상하였을 때의 발생하는 영향을 분석하고자 하였다. 또한 광류센서를 한 개를 사용하였을 때 스키드 차량의 경우 차량의 동적 움직임으로 인해 위치추정을 실패하는 경우가 발생하므로 광류센서를 두 개를 사용하여 위치추정을 했을 때 개선되는 것을 제시하고자 한다.

2. 본 론

가. 광류센서 시스템

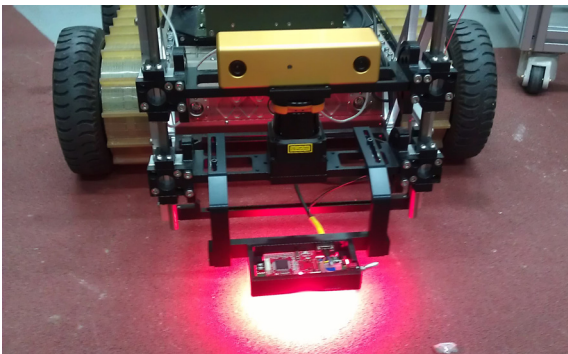


Fig. 1. 소형무인로봇의 광류 센서

본 장에서 설명하는 광류 센서는 기존 연구에서 제시한 방법과 동일하게 구성하였으며⁹ 장착된 로봇은 Fig. 1과 같다. 기존의 연구와 달리¹⁰ 광류센서를 앞뒤

로 장착하였으며 획득된 광류 정보들을 소형로봇에 장착된 항법센서 정보와 실시간으로 처리할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 광류 처리 센서는 마우스 등에 이용되는 Avago Technologies 사의 ADNS6010 모델을 사용하였다. 또한 마이크로 렌즈 및 LED 광원을 사용하였다.

나. 위치추정 알고리즘

위치 추정 알고리즘은 기본적으로 기존 연구⁸와 유사하게 Multi-Rate EKF(Extended Kalman Filter)를 적용하였으나 기존 연구와 다르게 Size Effect 및 횡방향 정보를 추가로 활용하였다. 또한 두 개의 Measurement를 활용하여 정확도를 높였다. 자세한 이론은 기존 문헌^{9,10}에 기술되어 있으므로 본 논문에서는 기존의 연구와 다른 부분을 중심으로 기술하고자 한다.

1) Size Effect

항법센서의 중심이 차량의 무게 중심과 일치하지 않을 때 차량의 회전 운동에 의해 IMU의 가속도계에 구심가속도가 측정되는 현상을 Size effect라고 한다. Size effect에 의한 구심가속도는 식 (1)과 같다.

$$\begin{aligned} a_x &= -(\omega_y^2 + \omega_z^2)x_0 \\ a_y &= -(\omega_x^2 + \omega_z^2)y_0 \\ a_z &= -(\omega_x^2 + \omega_y^2)z_0 \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ 는 각 축에 인가된 각속도, x_0, y_0, z_0 는 차량의 중심과 항법센서 사이의 차이를 나타낸다. x_0, y_0, z_0 이 작은 경우에는 그 값이 미비하므로 큰 영향이 없으나 차량이 커지거나 회전 속도가 빠를 경우에는 Size Effect를 고려해야 한다. 본 논문에서는 IMU의 가속도 정보에서 Size Effect를 고려하여 계산함으로써 정확도를 높였다.

2) Measurement Model

먼저 Measurement State는 다음과 같이 구성하였다.

$$\begin{aligned} z_k &= [z_1^T \ z_2^T \ z_3^T \ z_4^T]^T \\ &= [a^T \ \omega^T \ \Delta p_{Fr-Optical}^T \ \Delta p_{Rr-Optical}^T]^T \end{aligned} \quad (2)$$

기존의 연구에서는 $\Delta p_{Optical}^T$ 를 다음과 같이 구성하였으나,

$$\Delta p_{Optical}^T = T\vec{v} + \frac{1}{2}T^2\vec{a} \quad (3)$$

이 경우는 광학센서와 항법센서의 좌표축 중심이 일치할 경우에만 해당된다. 따라서 본 연구에서는 다음과 같이 보정하였다.

$$\Delta p_{Optical}^T = T(\vec{v} + \vec{R} \times \vec{w}) + \frac{1}{2}T^2\vec{a} \quad (4)$$

따라서 Measurement Model은 다음과 같이 된다.

$$\begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} & I_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & TI_{3 \times 3} & \frac{T^2}{2}I_{3 \times 3} & T[R_{Fr} \times] & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & TI_{3 \times 3} & \frac{T^2}{2}I_{3 \times 3} & T[R_{Rr} \times] & 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

여기서 $[R_{Fr} \times]$ 및 $[R_{Rr} \times]$ 는 다음과 같다.

$$[R_{Fr} \times] = \begin{bmatrix} 0 & -z_0 & y_0 \\ z_0 & 0 & -x_0 \\ -y_0 & x_0 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$[R_{Rr} \times] = \begin{bmatrix} 0 & -z_1 & y_1 \\ z_1 & 0 & -x_1 \\ -y_1 & x_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

x_0, y_0, z_0 는 전방 광류센서의 중심과 항법센서 사이의 차이를 나타내고, x_1, y_1, z_1 는 후방 광류센서의 중심과 항법센서 사이의 차이를 나타낸다. 이와 같이 Measurement Model을 수정하여 반영하였다.

다. 실험결과

실험은 Fig. 2의 시험장비 및 소형무인로봇을 이용하여 진행하였으며 항법센서는 저가의 Xsens사의 MTi를 사용하였다. 실험 장소는 실내와 실외 두 조건에서 실험하였다. 실내 환경은 표면의 거칠기는 양호하고 진동 등이 없다는 장점이 있으나 표면에 무늬에 대한 구별이 적어 광류센서가 좋은 성능을 갖기 힘든 조건이다. 반대로 실외 환경은 아스팔트 노면 조건으로 진동이 심하지만 광류센서의 성능은 양호한 조건이다.

첫 번째 실험은 본 논문에서 제시한 횡 방향 및

Size-Effect를 적용한 것과 기존의 연구결과를 비교 실험을 실내 환경에서 수행되었고, 두 번째 실험은 실외 환경에서 두 방법을 비교 분석하였으며, 마지막으로 광류센서를 한 개 사용한 결과와 두 개를 사용했을 때의 비교 분석 실험을 실외 환경에서 진행하였다. 두 번째와 세 번째 실험 환경 조건인 아스팔트 노면에서는 스키드 차량이 조향시 차량의 동적 거동이 많이 발생하게 되어 항법센서의 정보와 광류센서의 정보의 차이가 나타나 많은 오차요인으로 작용하였다.

1) 실내 실험 결과 및 분석

실내 실험은 Fig. 2와 같은 환경에서 특정 위치에서 출발하여 출발점으로 돌아왔을 때 위치 오차를 이용하여 정확도를 확인하였으며 동일한 실험 데이터를 이용하여 기존 연구 방법과 제안된 방법에서의 추정 결과를 비교 분석 하였다. Fig. 3은 실내 실험 이동 궤적 결과이고, Table 1은 두 추정 방법의 최종 위치이다.



Fig. 2. 광류센서 실험 장비

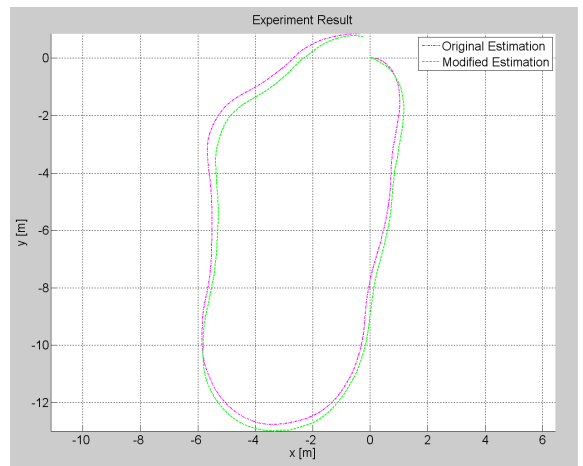


Fig. 3. 실내 실험 결과 비교

Table 1. 실내 실험 최종 위치

	X Position (m)	Y Position (m)
Original Estimation	-0.37	0.85
Modified Estimation	-0.26	0.74

최종 위치 확인 결과 Table 1과 같이 제안된 추정 방법 결과가 기존의 추정 방법의 결과보다 오차가 더 적음을 알 수 있으나 두 추정 방법 모두 오차가 매우 작아 어느 방법이 성능이 우수하다고 판단할 수 없다. 그러나 Fig. 4에서는 이동 궤적에서 차이가 있음을 알 수 있는데 정확한 위치를 확인할 수 있는 위치정보를 갖고 있지 않아서 두 방법 중 어느 방법이 더 정확하다고 단정할 수는 없다. 그러나 Table 1에서 확인하였듯이 최종 위치의 오차가 제안된 방법이 좀 더 적으므로 제안된 방법이 좀 더 정확하다고 예상할 수 있다.

2) 실외 실험 결과 및 분석

두 번째 실험은 실내실험과 동일하게 특정 위치에서 출발하여 돌아왔을 때 오차를 확인하였으며 동일한 실험 데이터를 이용하여 기존 연구 방법과 제안된 방법으로의 추정 결과를 비교 분석 하였다 Fig. 4는 실험 결과이고, Table 2는 두 추정 방법의 최종 위치이다.

Table 2. 실험 최종 위치

	X Position (m)	Y Position (m)
Original Estimation	-29.42	31.59
Modified Estimation	-6.65	5.06

실험 결과 Fig. 4와 Table 1과 같이 기존의 방법은 요우 방향에 대한 오차가 상당히 심하지만 제안된 방법은 기존의 방법에 비해 훨씬 수렴성이 좋다는 것을 알 수 있다. 원인은 스키드 조향시 차량 중심 쪽에 위치한 항법센서와 전방에 위치한 광류센서에서 요우 방향 및 횡방향의 정보의 변화의 차이가 심하게 나타나게 되므로 횡 방향 정보와 Size-Effect 고려 여부에 따라 차이가 심하게 나타나게 된다. 또한 동적 거동에 의한 오차가 제안된 방법이 훨씬 적게 나타나게 되는 것을 알 수 있다.

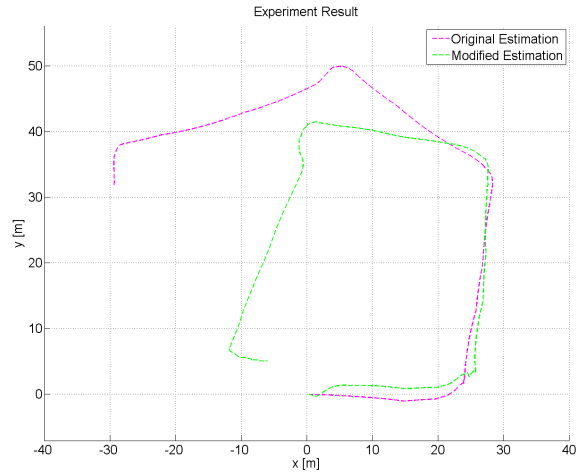


Fig. 4. 실험 결과 비교

3) 광류센서 개수에 따른 비교 실험 결과

실외 실험과 동일한 장소에서 동일한 방식으로 실험 하였으며 전방과 후방의 광류센서를 각각 기존의 방법으로 추정한 것과 두 개의 정보를 이용하여 추정한 결과를 비교 분석 하였다. 광류센서는 Fig. 5와 같이 전후에 장착하여 실험하였다.



Fig. 5. 소형무인로봇의 광류 센서

실험 결과 Fig. 6과 Table 3과 같이 기존의 방법으로 추정한 전방과 후방의 결과는 요우방향의 오차가 심하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그렇지만 제안된 방법은 두 개의 광류센서 정보를 모두 이용함으로써 기존의 방법에 비해 훨씬 수렴성이 좋다는 것을 알 수 있다. EKF 특성상 Measurement 개수가 늘어날수록 정확도가 높아지는 것은 당연하지만 위의 실험결과 스키드 차량에서는 최소 두 개 이상의 광류센서를 사용하는

것이 좀 더 좋은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 위의 실험결과와 원인은 스키드 조향시 차량 중심 쪽에 위치한 항법센서와 전방에 위치한 광류센서에서 요우 방향 및 횡방향의 정보의 변화의 차이가 심하게 나타나게 되므로 횡방향 정보와 Size-Effect를 고려 여부에 따라 차이가 심하게 나타나게 된다. 또한 동적 거동에 의한 오차가 제안된 방법이 훨씬 적게 나타나게 되는 것을 알 수 있다.

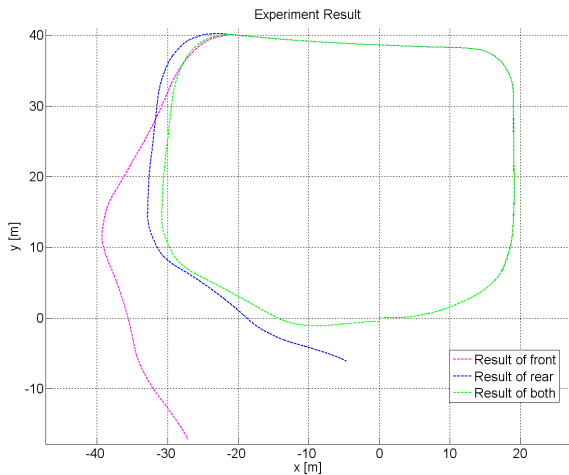


Fig. 6. 광류센서 개수에 따른 결과 비교

Table 3. 실험 최종 위치

Estimation	X Position (m)	Y Position (m)
Front Estimation	-27.16	-17.11
Rear Estimation	-4.634	-6.104
Modified Estimation	0.032	-0.513

3. 결론

본 논문에서는 INS 센서 및 GPS를 이용한 위치추정 기술이 아닌 광류 센서를 이용한 위치 추정 기술을 스키드형 무인로봇에 적용하여 그 가능성을 확인하였고, 또한 기존 연구에서 이용하지 않았던 횡방향의 광학 흐름 정보 및 Size-Effect를 보상하여 성능을 개선하였으며 또한 두 개의 광류센서를 이용하여 횡방향 및 요우방향에 대한 정확성 및 신뢰도를 높였다.

기존의 방법과 달리 저가로 구성할 수 있으며 계산량이 적다는 장점이 있으나, 지면 사이의 진동으로 인한 외란 및 노면 상태에 따른 광학 센서의 성능 문제 등은 여전히 해결해야 할 문제로 남아 있다. 추후 이에 대한 보완 방안에 대해 연구하고자 한다.

References

- [1] S. Golberg, M. Maimone and L. Matthies, "Stereo Vision and Rover Navigation Software for Planetary Exploration", Proc. IEEE Aerospace Conference, Big Sky, USA, March 2002.
- [2] Ji-Hoon Choi, Yong-Woon Park, Jae-Bok Song, and In-So Kweon, "Localization using GPS and VISION aided INS with an Image Database and a Network of a Ground-based Reference Station in Outdoor Environments", International Journal of Control, Automation, and Systems 9(4):716-725, 2011.
- [3] 최지훈, 박용운, "무인로봇 정밀위치추정을 위한 전술통신 및 영상 기반의 통합항법 성능 분석", 한국군사과학기술학회지 제14권 제2호, 271~280, 2011.
- [4] Andrea Bonarini and Matteo Matteucci and Marcello Restelli, "A Kinematic-Independent Dead-Reckoning Sensor for Indoor Mobile Robotics", Proceedings of International Conference on Intelligent Robots and Systems, Sendai, Japan, Sept. 3750-3755, 2004.
- [5] Andrea Bonarini, Matteo Matteucci and Marcello Restelli, "Automatic Error Detection and Reduction for an Odometric Sensor based on Two Optical Mice", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, April 2005 1675-1680, 2005.
- [6] J. Palacin, I. Valganon and R. Pernia, "The Optical Mouse for Indoor Mobile Robot Odometry Measurement", Sensors and Actuators A 126 141-147, 2006.
- [7] Daisuke Sekimori and Fumio Miyazaki, "Self-Localization for Indoor Mobile Robots Based on Optical Mouse Sensor Values and Simple Global Camera Information", Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics

- 605-610, 2005.
- [8] Dongjun Hyun, Minsu Jegal and Hyun Seok Yang, “Compact Self-Contained Navigation System with MEMS Inertial Sensor and Optical Navigation Sensor for 3-D Pipeline Mapping”, The IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems Oct., Taipei, Taiwan, 1688-1493, 2010.
- [9] Dongjun Hyun, Hyun Seok Yang, Hye Ri Park and Hyuk-Sung Park, “Differential Optical Navigation Sensor for Mobile Robots”, Sensors and Actuators A 156 296-301, 2009.
- [10] 허진욱, 강신천, 이용철, 현동준, “광류센서를 이용한 소형 무인 차량의 위치 보정 기술”, 한국군사과학기술학회 종합학술대회, 2012.