

Dead-Reckoning과 Image-Processing을 이용한 메카넘 휠 이동로봇의 궤도 추정 성능 향상에 대한 연구

천효석, 윤태성, 박승규
창원대학교 전기공학과

A Study on Mecanum Wheeled Mobile Robot Improved Trajectory Estimation Performance Using Dead-Reckoning and Image-Processing

Hyoseok Cheon, Taesung Yoon, Seungkyu Park
Department of Electrical Engineering, Changwon National University

Abstract - 본 논문에서는 카메라, 엔코더를 이용하여 메카넘 휠을 장착한 이동로봇의 궤도 추정 성능을 높이는 방법을 제안한다. 제이기가 포함된 이동로봇의 실제 실험에서 기존 궤도 추적을 위해 카메라를 이용한 라인 트레이싱 방법을 사용한다. 궤도 추정 성능의 향상을 위해서 카메라를 통한 데이터와 엔코더를 이용한 위치추정 결과 데이터를 획득한다. 이 데이터들을 이용하여 Image-processing을 거친 데이터가 음영으로 인해 취득되지 않을 때 Dead-reckoning을 이용한 방법으로 로봇의 위치를 추정한다. 이를 통해 궤도 추적 중 이동로봇의 기준 궤적 이탈이나 추적 성능 하락을 방지한다. 따라서 최종적인 결과가 이동로봇의 궤도 추정 성능이 향상됨을 실제 실험을 통해 확인한다.

1. 서 론

메카넘 휠을 장착한 이동로봇은 4개의 바퀴의 회전 방향의 조합으로 전방위 이동이 가능하다. 이러한 특징을 가지는 로봇을 이용하여 궤도 추정을 할 경우 자기 위치 추정은 아주 중요한 문제이다[1]. 자기 위치를 추정하는 방법으로 절대적 위치 추정과 상대적 위치 추정이 있다.

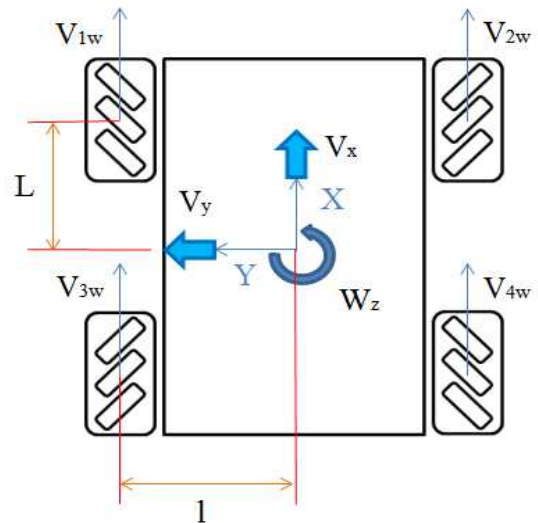
절대적 위치 추정은 GPS, Sensor Network, RFID 등을 이용하여 위치를 추정하는 방법으로 정확도는 높으나 연산량이 많고 외부에 시스템을 설치해야 되는 단점이 있다[2]. 상대적 위치 추정은 엔코더 등과 같은 장치들을 이용하여 이전의 위치를 기반으로 다음의 위치를 추정하는 방식이다. 엔코더만으로는 정확한 위치를 추정하기 어렵고 시간이 지날수록 누적 오차를 발생시킨다[3].

본 연구에 사용된 이동로봇은 기본적으로 외부 센서인 카메라를 이용한 Image-processing을 통해 정해진 기준 궤적을 추적하는 라인 트레이싱 방식을 사용한다. 카메라를 이용할 경우 다른 센서들을 이용하는 경우보다 다양한 방법을 이용해 데이터를 처리할 수 있기 때문에 유연한 대응이 가능하다. 하지만 영상 처리 데이터의 누락 혹은 에러가 발생하여 제대로 추적하지 못할 경우가 발생하기도 하는데, 이런 단점을 보완하여 성능을 향상시키기 위해 모터에 설치된 내부 센서인 엔코더를 이용한 Dead-reckoning을 적용하여 이동로봇의 다음 위치를 추정하도록 한다. 이를 통해 궤도 추적 주행을 확보하며 전체적으로 메카넘 휠 장착 이동로봇의 궤도 추적에 대한 안정도와 성능을 향상시키는 방법을 본 논문에서 제안한다. 그리고 실험을 통해 제안한 방법의 적용 전/후의 결과를 확인한다.

2. 본 론

2.1 메카넘 휠 이동로봇

메카넘 휠을 장착한 이동로봇은 보통의 휠을 장착한 일반적인 이동로봇과는 다르게 바퀴 4개의 조합을 통해 전방향으로 이동이 가능한 특성이 있다. 즉 2차원 이동과 회전을 독립적으로 할 수 있다. 그림 1은 메카넘 휠을 장착한 이동로봇을 그림으로 간략화된 형상을 표현하였다.



<그림 1> 메카넘 휠을 장착한 이동로봇

로봇에 대한 역기구학은 식 (1)과 같이 표현된다[4]. 식 (1)의 V_w 는 직각 좌표계에서의 속도 벡터이다. 식 (2)의 V_0 는 각속도에 해당하는 휠의 속도 벡터이다.

$$V_w = J_0 \cdot V_0, \quad V_w = [V_{1w} \ V_{2w} \ V_{3w} \ V_{4w}]^T \quad (1)$$

$$V_0 = [v_x \ v_y \ w_z]^T \quad (2)$$

식 (3)의 J_0 는 변환 행렬이다. L과 l은 각각 x, y 축에 대해 로봇의 중심에서부터 바퀴 중심까지의 거리이다.

$$J_0 = \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(l+L) \\ 1 & 1 & +(l+L) \\ 1 & 1 & -(l+L) \\ 1 & -1 & +(l+L) \end{bmatrix} \quad (3)$$

로봇의 위치와 방향을 $[v_w \ v_w \ \theta]^T$ 벡터로 나타내고 식 (4)와 같이 표현되는 회전 행렬을 정의한다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_w \\ \dot{y}_w \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ w_z \end{bmatrix} \quad (4)$$

최종적으로 메카넘 휠 이동로봇의 역기구학 모델과 순기구학 모델은 식 (5)와 같이 정리할 수 있다.

$$V_w = J(\theta) \begin{bmatrix} \dot{x}_w \\ \dot{y}_w \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \dot{x}_w \\ \dot{y}_w \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = J^+(\theta) V_w \quad (5)$$

$$J(\theta) = \begin{bmatrix} \sqrt{2} \sin(\theta_1) & -\sqrt{2} \cos(\theta_1) & -(l+L) \\ \sqrt{2} \cos(\theta_1) & \sqrt{2} \sin(\theta_1) & (l+L) \\ \sqrt{2} \cos(\theta_1) & \sqrt{2} \sin(\theta_1) & -(l+L) \\ \sqrt{2} \sin(\theta_1) & -\sqrt{2} \cos(\theta_1) & (l+L) \end{bmatrix} \quad (6)$$

2.2 Image-processing

메카넴 휠 이동로봇의 궤도 추적은 기본적으로 영상 처리를 이용한 라인 트레이싱 방식을 사용한다. 영상처리보다는 라즈베리 파이, 로봇 제어는 아두이노를 사용하였다. 영상 처리는 카메라를 통해 영상을 실시간으로 취득하여 그레이스케일 변환, 엣지 추출, 도형화, 히스토그램 등의 과정을 거쳐 영상에서의 기준 궤도를 인식하고 그 결과를 바탕으로 기준 궤도가 로봇의 중앙에 위치하도록 메카넴 휠 이동로봇의 바퀴를 제어한다.

2.3 Dead-reckoning

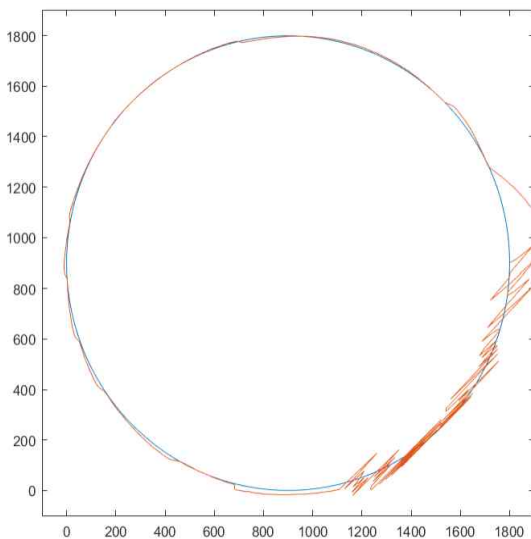
추측항법은 로봇의 초기 값을 알면 다음 위치까지의 자세를 지속적으로 추적하는 것으로 엔코더를 이용한 속도 계산 및 이동로봇의 수학적 모델을 사용하면 이러한 연산이 가능하다. 로봇의 연속적인 위치를 찾기 위해 오일러 공식, Runge-Kutta 방법 등이 있으며 다음 식 (7)은 Runge-Kutta 공식을 기반으로 한다[5].

$$\begin{bmatrix} x_w(k+1) \\ y_w(k+1) \\ \theta(k+1) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_w(k) \\ y_w(k) \\ \theta(k) \end{bmatrix} + T \frac{(J^+(\theta(k)) V_w(k) + J^+(\theta(k+1)) V_w(k+1))}{2} \quad (7)$$

$$J(\theta)^+ = (J(\theta)^T J(\theta))^{-1} J(\theta)^T \quad (8)$$

여기서, T 는 샘플링 시간이다.

2.2.1 실험 및 결과

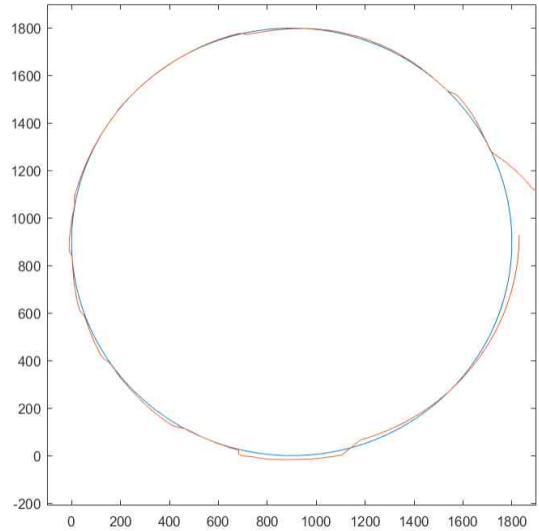


<그림 2> 영상처리를 이용한 궤도 추적

메카넴 휠을 장착한 이동로봇의 영상 처리만을 사용한 궤도 추적과 영상 처리와 추측 항법을 동시에 사용한 실험을 통한 결

과는 각각 그림 2, 그림 3과 같다.

먼저 영상 처리 기법만을 이용해 궤도를 추적하는 실험에서는 그림 2와 같이 초기 오차를 포함하여 충분히 기준 궤도 추적을 잘 하지만 일정 지역에서 영상의 데이터의 손실 및 처리 불능 상황이 발생하게 되면 궤도 추적을 제대로 하지 못하는 결과를 가져온다. 이 때 음영이 발생하는 영역에서 엔코더를 이용한 추측항법을 사용하여 데이터를 보완하였을 때의 결과는 그림 3과 같이 음영지역에서도 궤도를 추정하여 추적하는 성능이 마비되지 않고 향상되었음을 확인할 수 있다.



<그림 3> 영상 처리 및 추측항법을 이용한 궤도 추적

3. 결 론

본 논문에서는 메카넴 휠을 장착한 이동로봇의 궤도 추정 성능 향상에 대한 연구를 하였다. 실제 실험에서 메카넴 휠 이동로봇의 궤도를 추정하여 추적하는 결과를 확인할 수 있었는데, 외부 센서를 이용한 로봇의 자기 위치 추정은 비교적 정확하지만 데이터 값의 망실 등의 문제가 발생 시 궤도 추적 성능이 취약해진다. 따라서 내부 센서인 엔코더를 이용하여 취약 부분에 대한 보완을 통해 이러한 문제를 해결함과 동시에 안정적인 궤도 추적이 가능하며 추정성능이 향상되는 결과를 확인하였다.

[참 고 문 헌]

- [1] Adachi, N., Fukao, T., and Nakagawa, H., "Adaptive tracking control of a nonholonomic mobile robot," IEEE Transactions on Robotics Automation, Vol. 16, No. 5, pp. 609-615. 2000.
- [2] D.-K. Lee, J.-S. Im, and S.-B. Kim, "A study on map building of mobile robot using RFID technology and ultrasonic sensor," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 16, no. 3, pp. 239-244, Mar. 2010.
- [3] S.-Y. Kim and K.-S. Yoon, "Improved ultrasonic satellite system for the localization of mobile robots," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 17, no. 12, pp. 1240-1247, Oct. 2011.
- [4] P. Viboonchaicheep, A. Shimada, and Y. Kosaka, "Position rectification control for Mecanum wheeled omni-directional vehicles," The 29th Annual Conference of the IEEE, vol. 1, pp. 854-859, 2003.
- [5] C.-C. Tsai, F.-C. Tai and Y.-C Wang, "Global localization using Dead-reckoning and KINECT sensors for robots with omnidirectional mecanum wheels" Journal of Marine Science and Technology, Vol 22, No. 3. 2014