

메카넘 휠 이동로봇의 바퀴 슬립을 고려한 위치 추정 연구

오인진¹⁾ · 권건우¹⁾ · 양현석^{*,1)}

¹⁾ 연세대학교 기계공학과

A Study of Position Estimation Considering Wheel Slip of Mecanum Wheeled Mobile Robot

Injin Oh¹⁾ · Gunwoo Kwon¹⁾ · Hyunseok Yang^{*,1)}

¹⁾ Department of Mechanical Engineering, Yonsei University, Korea

(Received 28 December 2018 / Revised 29 April 2019 / Accepted 24 May 2019)

ABSTRACT

In this paper, the position estimation considering wheel slip of mecanum wheeled mobile robots is discussed. Since the mecanum wheeled mobile robot does not need a space to rotate, it is very suitable in narrow industrial fields. However, the slip caused by the roller attached to the wheel makes it difficult to estimate the position precisely. Due to these limitations, mecanum wheels are rarely applied to unmanned mobile robots in automation factories. In this paper, a method to compensate the orientation and distance error caused by the slip is proposed. The exact orientation is measured by fusing gyro and magnetometer sensor data with application of Kalman filter. In addition, the kinematic model accounting slip effects will be defined to compensate the distance error.

Key Words : Mecanum Wheel(메카넘 휠), Slip Coefficient(슬립 계수), Kinematic Model(운동학적 모델), Kalman Filter(칼만필터), Position Estimation(위치 추정)

1. 서론

메카넘 휠(Mecanum wheel)은 바퀴에 부착된 45도 기울어진 여러 개의 롤러의 미끄러짐을 이용하여 조향 장치 없이 전-방향 기동이 가능한 구동방식이다(Fig. 1). 일반적인 바퀴로 기동할 경우 전진 또는 후진만 가능하고, 방향 전환을 위한 별도의 공간이 필요한 반

면, 메카넘 휠은 방향전환을 위한 공간이 없어도 회전 및 전후좌우 기동이 가능하여 협소한 현장에서 공간 사용 효율성을 극대화 할 수 있다(Fig. 2). 현재 스마트 공장 및 창고의 이송로봇, 지게차, 작업 보조로봇 등 다양한 장비에 메카넘 휠이 적용되고 있다^[1]. 하지만 메카넘 휠을 적용한 구동 방식은 구조적 특성에 의해 바퀴 미끄러짐(Slip)이 일반 바퀴보다 크게 발생하여 정확한 위치 추정이 제한되는 문제점이 있다. 자동차와 같은 일반적인 바퀴를 이용한 구동방식은 주행거리계 정보를 이용하여 비교적 높은 정확도의 위

* Corresponding author, E-mail: hsyang@yonsei.ac.kr
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

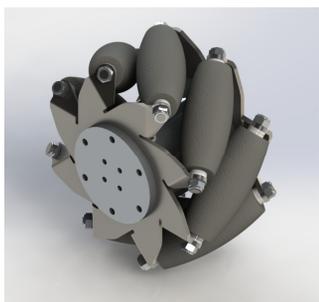


Fig. 1. Mecanum wheel

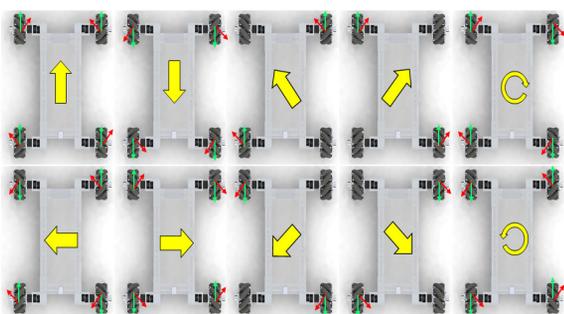


Fig. 2. Driving principles of robot with mecanum wheel

치 추정이 가능하나, 메카넘 휠의 경우 주행거리계 정보만 가지고 위치를 추정할 때 바퀴 슬립에 의한 오차가 발생하여 위치 추정 정확도가 떨어진다. 이러한 단점으로 인해 자동화된 산업현장에서 메카넘 휠 구동 방식을 적용하는 것이 제한되고 있다.

이러한 메카넘 휠 이동 로봇의 제한사항을 개선하기 위하여 다양한 센서를 융합하여 위치추정 정확도를 높이는 연구들이 진행 되었다. Kumra^[2]와 Kim^[3]은 자이로-가속도계-주행거리계 센서 정보를 칼만필터로 융합하는 관성항법 방법을 제안하였다. Nagatani^[4]는 비전 센서(optical flow) 정보를 주행거리계와 융합하는 방법을 제안하였다. Lee^[5]는 레이저 네비게이션(Laser navigation) 센서 정보를 주행거리계와 융합하는 방법을 제안하였다. Kuo^[6]는 자이로-가속도계-자력계 센서 정보를 융합하여 방위 오차를 보상하는 방법을 제안하였다. Chu^[7]는 초음파 센서 정보를 주행거리계와 융합하는 방법을 제안하였다. Roehrig^[8]는 바닥에 설치된 전자태그(RFID)와 주행거리계 센서 정보를 융합하여 전역 위치를 추정하는 방법을 제안하였다.

메카넘 휠 이동로봇의 바퀴 슬립에 의한 위치 추정 오차를 보상하기 위한 다른 접근법으로 슬립을 고려

한 운동학적 모델(Kinematic Model)을 정립하는 연구가 선행되었다. Taheri^[9]는 메카넘 휠 이동로봇의 바퀴 위치 및 롤러의 각도 등을 고려한 세부적인 운동학적 모델을 제안하였다. Gracia^[10]는 바퀴 슬립을 고려한 기본적인 운동학적 모델을 제안하였다. Han^[11]은 바퀴 슬립 요소를 분석하여 슬립 계수를 부여함으로써 새로운 운동학적 모델을 제안하였다.

이러한 선행연구들을 통해 위치 추정의 정확도는 다소 향상되었으나, 여전히 바퀴 슬립으로 인한 오차 누적은 정확한 위치 추정에 제한사항이 되고 있다.

본 논문에서는 바퀴 슬립 요소를 고려한 운동학적 모델을 정립하고, 다양한 센서를 융합하여 바퀴 슬립으로 인해 발생하는 오차를 보완하는 위치 추정 알고리즘을 제안한다. 기본적으로 자이로와 자력계 센서 정보를 이용하여 정확한 방위를 추정하고, 가속도계와 주행거리계 센서를 이용하여 위치를 추정할 것이다. 이후 바퀴 슬립계수를 부여한 메카넘 휠 이동 로봇의 운동학적 모델을 이용하여 바퀴 슬립으로 인해 발생하는 거리 오차를 보완 할 것이다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 바퀴 슬립을 고려한 운동학적 모델을 정립하고 슬립계수를 추정하는 방법을 제안한다. 3장에서는 칼만필터로 다양한 센서를 융합하여 위치를 추정하는 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안하는 알고리즘을 이용하여 정밀한 위치추정이 가능함을 실험을 통해 보인다.

2. 운동학적 모델

2.1 바퀴 슬립을 고려하지 않은 운동학적 모델

메카넘 휠 이동로봇의 운동학적 모델을 정립하기 위해 많은 선행 연구들이 진행되었다. 본 논문에서는 Taheri^[9]의 연구를 참고하여 바퀴 슬립을 고려하지 않은 운동학적 모델을 식 (1), (2), (3)과 같이 설정하였다.

$$V_{body\ x} = \frac{r}{4}(\omega_1 - \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \tag{1}$$

$$V_{body\ y} = \frac{r}{4}(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \tag{2}$$

$$\dot{\varphi} = \frac{r}{4(W+L)}(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \tag{3}$$

여기서 V_{body} 는 이동 로봇의 중심을 기준으로 하여 횡 방향을 X축, 종 방향을 Y축으로 할 때 몸체의 이동 속도이며, $\dot{\varphi}$ 는 Yaw 각속도이다. 다음으로 이동 로봇의 회전 중심축에서 바퀴 중심까지 가로 축 거리를 W , 세로 축 거리를 L 로 설정하였으며, r 은 바퀴의 반경이다. 마지막으로 ω_k 는 k 번째 바퀴의 회전 속도를 나타낸다.

2.2 바퀴 슬립을 고려한 운동학적 모델

방위 및 거리 오차를 유발하는 바퀴 슬립 요소를 분석 하여 2가지의 슬립 계수를 반영하였다. 첫 번째 계수는 바퀴에 부착 된 롤러와 바닥면 사이의 미끄러짐 계수(K)이다. 바퀴 모터 회전으로 인한 전체 토크가 이동 로봇의 운동으로 전환시 메카넘 휠의 구조적 특성에 의해 에너지의 손실이 발생하게 된다. 이러한 손실을 고려하여 식 (1), (2), (3)에 미끄러짐 계수(K)를 반영 하였다.

두 번째 계수는 기계적 구조 등으로 인해 바퀴 회전 방향의 수직 방향으로 발생하는 손실이다. 베어링 및 차축과 같은 기계적 구조의 영향으로 인해, 회전 부품을 완전히 자유 회전시키는 것은 제한된다. 또한, 이동 로봇이 바퀴 모터 회전 방향과 평행한 방향(종 방향)으로 기동하는 것에 비해 바퀴 모터 회전 방향의 수직인 방향(횡 방향)으로 기동하는 것은 더 많은 에너지 손실이 발생하게 된다. 이러한 요소를 고려하여 식 (1)에 손실 계수(A)를 반영하였다.

이 논문에서 제안하는 바퀴슬립을 고려한 운동학적 모델은 식 (4), (5), (6)과 같다.

$$V_{body\ x} = \frac{r}{4}(\omega_1 - \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 + K_x) \cdot A_{xy} \quad (4)$$

$$V_{body\ y} = \frac{r}{4}(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4 + K_y) \quad (5)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{r}{4(W+L)}(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4 + K_w) \quad (6)$$

여기서 K_x 와 K_y 는 이동 로봇의 몸체를 기준으로 한 X, Y축 속도에 각각 영향을 주는 미끄러짐 계수이다. K_w 는 Yaw 각속도에 영향을 주는 미끄러짐 계수이다. 미끄러짐 계수 K 는 바퀴의 회전속도에 그 값이 비례하는 변수이다.

다음으로 A_{xy} 는 바퀴 회전 방향과 수직인 횡 방향으로 기동시 발생하는 손실을 나타내는 계수이다. 이 값은 기계적 구조 및 바닥 재질 등에 의해 고정되는 상수 값이다.

2.3 슬립 계수 추정 및 측정

이 절에서는 미끄러짐 계수(K)에 대한 추정 방법과 손실 계수(A)에 대한 측정 방법을 제시한다. 먼저, 미끄러짐 계수를 추정하기 위해 슬립을 고려한 운동학적 모델 식 (6)에서 추정한 요 각속도가 실제 값과 동일하다고 가정하고 각각에 슬립을 고려하지 않은 운동학적 모델 식 (3)을 빼주면 K_w 값을 구할 수 있다. 이때 실제 값은 다음 장에서 설명하는 칼만필터 방위 추정 값을 적용하였다. 이를 통해 K_w 값은 식 (7), (8)과 같이 추정할 수 있다.

$$\dot{\varphi}_{kf}(\approx \dot{\varphi}_{real}) - \dot{\varphi}_{noslip} = \dot{\varphi}_{slip} - \dot{\varphi}_{noslip} \quad (7)$$

$$K_w = \frac{4(W+L)}{r}(\dot{\varphi}_{kf} - \dot{\varphi}_{noslip}) \quad (8)$$

여기서 $\dot{\varphi}_{kf}$ 은 칼만 필터에서 추정한 Yaw 각속도 값이다. 또한, $\dot{\varphi}_{noslip}$ 은 식 (3)에서 슬립을 고려하지 않은 운동학적 모델의 Yaw 각속도 추정값이고, $\dot{\varphi}_{slip}$ 은 식 (6)에서 슬립을 고려한 운동학적 모델의 Yaw 각속도 추정값이다. 최종적으로 미끄러짐 계수 K_w 는 상수와 측정값으로 이루어진 식 (8)에 의해 구할 수 있다.

다음으로 미끄러짐 계수(K)는 바퀴 회전 속도에 비례하므로 식 (9), (10), (11)과 같이 나타낼 수 있다

$$K_x = \alpha(\omega_1 - \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \quad (9)$$

$$K_y = \alpha(\omega_1 + \omega_2 + \omega_3 + \omega_4) \quad (10)$$

$$K_w = \alpha(-\omega_1 + \omega_2 - \omega_3 + \omega_4) \quad (11)$$

위 식을 이용하여 K_w 에 관한 식으로 변환하면 식 (12), (13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_x = K_w - 2\alpha(\omega_1 - \omega_2) \quad (12)$$

$$K_y = K_w - 2\alpha(\omega_1 + \omega_3) \quad (13)$$

α 는 고정된 상수 값으로 검증을 위한 시뮬레이션 시 위치 추정 오차를 최소화 하는 값으로 설정하였다.

다음으로 손실 계수(A_{xy})는 메카닉 휠 이동 로봇을 대각선 방향으로 이동시켜 X, Y축 방향 이동거리의 비율로 측정하였다. ω_1 과 ω_4 는 등속 회전, ω_2 과 ω_3 은 정지 상태로 대각선 기동하여 미끄러짐 계수 K_x 와 K_y 값을 동일하도록 설정하였다. 이를 통해 A_{xy} 값은 식 (14), (15), (16)과 같이 측정하였다.

$$V_{body\ x} = \frac{r}{4}(\omega_1 + \omega_4 + K) \cdot A_{xy} \quad (14)$$

$$V_{body\ y} = \frac{r}{4}(\omega_1 + \omega_4 + K) \quad (15)$$

$$A_{xy} = \frac{\int_0^t V_{body\ x} dt}{\int_0^t V_{body\ y} dt} = \frac{S_x}{S_y} \quad (16)$$

3. 위치 추정 알고리즘

3.1 위치 추정 알고리즘 모델

우리가 제안하는 위치 추정 알고리즘 모델은 두개의 칼만 필터와 한 개의 계산 파트로 구성되어 있다. 첫번째 칼만 필터는 자이로와 자력계 센서값을 융합하여 요각을 추정한다. 두번째 칼만 필터는 바퀴 슬립을 고려한 운동학적 모델을 반영한 주행거리계 센서 값과 가속도계 센서 값을 융합하여 이동로봇 몸체 기준 속도를 추정한다. 마지막 파트에서는 두 칼만 필터에서 추정한 각도와 속도 값을 이용하여 전역 위치를 계산한다.

3.2 방위 추정 칼만필터

방위 추정 칼만필터의 알고리즘은 Fig. 3과 같다. 이때, 메카닉 휠 이동로봇의 운용 환경을 기울기 변화가 없는 평평한 건물 내부라 가정하여 롤(Roll), 피치(Pitch) 각의 변화 없이 요(Yaw) 각의 변화만 있다고 설정하였다. 또한, 이동로봇 운영 장소는 자장에 영향을 주는 물체가 없다고 가정하였다. 이에 따라 자이로

는 Z축 각속도(G_k), 자력계는 X, Y축 자기값(M_x, M_y)을 센서 측정 값으로 사용하였으며, 각 센서의 자체 오차 외 주변 환경에 의한 노이즈는 반영하지 않았다. 상태변수(state variable)는 요각(φ)과 요각속도($\dot{\varphi}$)로 설정하여 추정토록 하였다. 자이로 센서 값을 이용하여 시스템 모델(system model)을 설계하고, 자력계 센서 값을 이용하여 관측 모델(observation model)을 설계하였다. 시스템 모델의 잡음 공분산 행렬(Q)과 관측 모델의 잡음 공분산 행렬(R)은 실험적으로 측정하였다. 알고리즘을 구성하는 주요 변수의 행렬식은 다음과 같다.

$$\hat{x}_{k-1} = \begin{bmatrix} \varphi_{k-1} \\ G_k \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

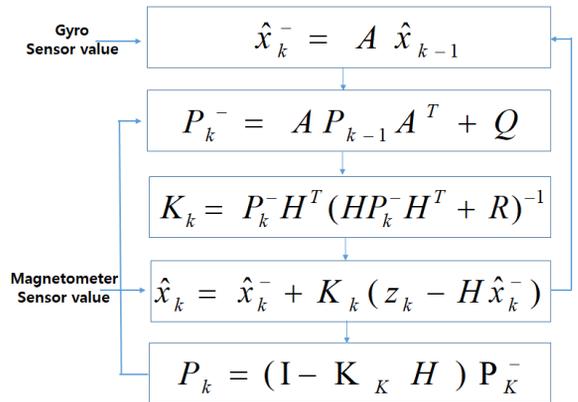


Fig. 3. The orientation estimation kalman filter algorithm

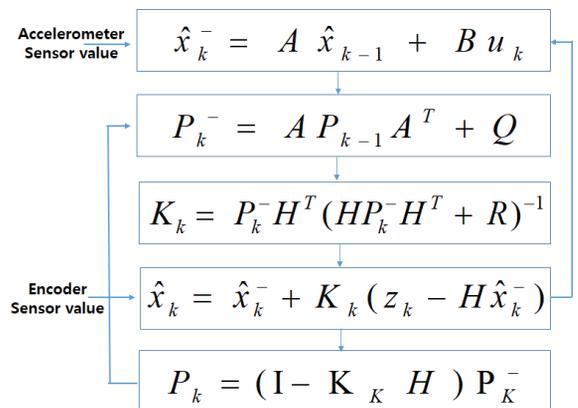


Fig. 4. The velocity estimation kalman filter algorithm

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad Z_k = \begin{bmatrix} \tan^{-1}\left(\frac{M_{yk}}{M_{xk}}\right) \\ \frac{\tan^{-1}\left(\frac{M_{yk}}{M_{xk}}\right) - \varphi_{k-1}}{\Delta t} \end{bmatrix} \quad (18)$$

3.3 속도 추정 칼만필터

속도 추정 칼만필터의 알고리즘은 Fig. 4와 같다. 이때, 가속도계는 이동로봇의 몸체를 기준으로 한 X,Y축 방향 가속도(a_x, a_y), 주행거리계는 각 바퀴의 회전속도($\omega_1 \sim \omega_4$)를 센서 측정 값으로 사용하였다.

상태변수(state variable)는 이동로봇의 몸체를 기준으로 한 X, Y축 방향 속도(V_{bodyx}, V_{bodyy})로 설정하여 추정토록 하였다. 가속도계 센서 값을 이용하여 시스템 모델(system model)을 설계하고, 주행거리계 센서 값을 이용하여 관측 모델(observation model)을 설계하였다. 이때, 관측 모델에 바퀴 슬립을 고려한 운동학적 모델 식 (4), (5)을 반영 하였고 슬립계수는 식 (8), (12), (13)을 사용하여 추정하였다. 시스템 모델의 잡음 공분산 행렬(Q)와 관측 모델의 잡음 공분산 행렬(R)은 실험적으로 측정하였다. 알고리즘을 구성하는 주요 변수의 행렬식은 다음과 같다. 여기서, Δt 는 k-1번째 센서 측정 시점부터 k번째 센서 측정시까지 소요 시간으로 칼만필터 갱신 주기와 같다. 또한, \hat{a}_{k-1} 은 k-1번째 결과값(\hat{x}_{k-1})과 이전차례 결과값(\hat{x}_{k-2})을 시간 차분을 통해 구한 가속도 값이다.

$$\hat{x}_{k-1} = \begin{bmatrix} V_{bodyx_{k-1}} \\ V_{bodyy_{k-1}} \end{bmatrix} \quad A = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad B = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} \Delta t & 0 \\ 0 & \Delta t \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$u_k = \begin{bmatrix} a_{xk} + \hat{a}_{x_{k-1}} \\ a_{yk} + \hat{a}_{y_{k-1}} \end{bmatrix} \quad H = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (20)$$

$$Z_k = \begin{bmatrix} \frac{rA_{xy}}{4}(\omega_{1k} - \omega_{2k} - \omega_{3k} + \omega_{4k} + K_{xk}) \\ \frac{r}{4}(\omega_{1k} + \omega_{2k} + \omega_{3k} + \omega_{4k} + K_{yk}) \end{bmatrix} \quad (21)$$

3.4 위치 추정

최종적으로 칼만필터를 통해 추정된 요각과 이동로봇 몸체를 기준으로 한 X, Y축 속도를 이용하여 전역 좌표계의 속도 및 위치를 계산하였다. 그 과정은

식 (22) ~ (25)와 같다.

$$V_{Globalx} = V_{bodyx} \cos\varphi - V_{bodyy} \sin\varphi \quad (22)$$

$$V_{Globaly} = V_{bodyx} \sin\varphi + V_{bodyy} \cos\varphi \quad (23)$$

$$S_{xk} = S_{x_{k-1}} + V_{Globalxk} \cdot \Delta t \quad (24)$$

$$S_{yk} = S_{y_{k-1}} + V_{Globalyk} \cdot \Delta t \quad (25)$$

4. 시뮬레이션 및 검증

4.1 시뮬레이션 환경 구성

제안한 위치추정 알고리즘을 검증하기 위해 ROS (Robot Operating System) Gazebo Mobile Simulator를 이용하여 시뮬레이션 환경을 구성하였다.

4개의 메카닉 휠 바퀴를 장착한 이동 로봇에 자이로, 가속도계, 주행거리계, 자력계 센서를 탑재하여 시뮬레이션 Platform을 구축하였다.

다음으로, 메카닉 휠 이동로봇의 동적 모델(Dynamic model)에 반영되는 주행거리계(encoder) 센서 값에 임의의 에러(White Gaussian)를 주입하여 시뮬레이션 상 바퀴 슬립을 반영토록 하였다. 또한, 각 센서는 보정(Calibration)이 완료된 상황으로 가정하여 편향(bias)은 반영하지 않았으나, 측정 오차 등으로 발생하는 노이즈는 반영하였다.

시뮬레이션은 메카닉 휠 이동로봇을 종방향, 횡방향, 대각선 방향으로 각각 기동하는 동안 센서 값을 측정하여 진행하였다. 탑재된 센서 값을 측정하여 제안한 알고리즘으로 위치를 추정하였고, 이를 실제 위치와 비교하여 정확도를 확인하였다. 또한, 기존의 칼만 필터 추정 방식(슬립 계수 미반영)과 비교하여 성능을 검증하였다.

4.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과는 Fig. 5~7 및 Table 1과 같다. 그림에서 이동로봇의 실제 위치는 검은색 선으로 표시하였으며, 제안한 알고리즘으로 추정한 위치는 빨간색 선으로 표시하였다.

그림에서 보는 바와 같이 제안한 알고리즘으로 추정한 위치(빨간)가 다른 비교군 대비 보다 실제 값(검정)에 더 근접함을 알 수 있다. 주행거리계 만으로 추정

한 위치(녹색)는 시간이 지남에 따라 오차가 누적되어 발산하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 슬립계수를 반영하지 않은 칼만 필터의 위치 추정 값(핑크)과 일부 슬립계수(A)만 반영한 칼만 필터의 위치 추정 값(파랑) 대비 모든 슬립계수(K,A)를 반영한 칼만필터의 위치 추정값(빨강)이 보다 정확한 것을 확인할 수 있다.

표에서 보는 바와 같이 슬립계수를 반영하지 않는 칼만 필터 위치 추정 평균제곱근편차(RMSE)가 횡방향 226.4 mm, 종방향 25.4 mm, 대각 방향 318 mm 였지만, 슬립계수를 모두 반영한 칼만 필터의 위치추정 평균제곱근편차(RMSE)가 횡방향 18.7 mm, 종방향 24.1 mm, 대각 방향 82.2 mm 으로 위치 추정 정확도가 향상됨을 확인할 수 있었다.

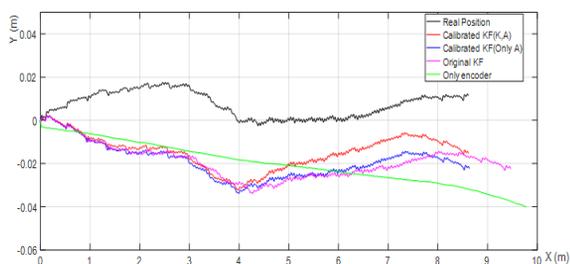


Fig. 5. Simulation results(Direction : Side)

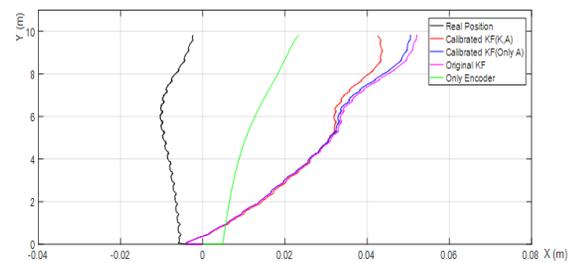


Fig. 6. Simulation results(Direction : Straight)

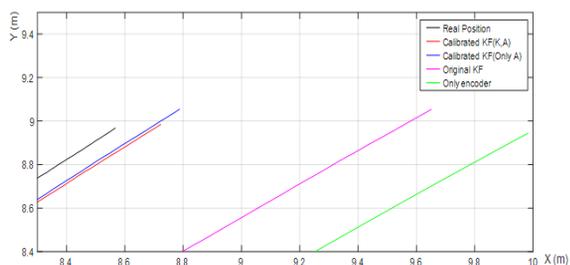


Fig. 7. Simulation results(Direction : Diagonal)

Table 1. Simulation results

-		Only Encoder	Kalman Filter	Calibrated KF(A)	Calibrated KF(K,A)
Side	RMSE	0.3864	0.2264	0.0224	0.0187
	Max.Er	0.8263	0.6023	0.0337	0.0335
Straight	RMSE	0.0146	0.0254	0.0250	0.0241
	Max.Er	0.0190	0.0401	0.0391	0.0358
Diagonal	RMSE	0.5053	0.3180	0.0949	0.0822
	Max.Er	1.0013	0.7690	0.1676	0.1239

단, 특이사항으로 종방향 주행시 주행거리계 센서 정보만으로 추정한 위치가 제안한 위치추정 알고리즘으로 추정한 위치보다 더 정확하였다. 이것은 칼만필터 시스템 모델에 입력되는 가속도계 센서 값이 가지고 있는 에러가 보다 많이 반영된 결과로 판단된다. 이를 개선하기 위해 칼만 필터의 시스템 공분산(Q) 값을 수정하면 보다 좋은 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 수정된 시스템 공분산(Q)을 횡방향, 대각선 방향 기동에 적용시 평균제곱근편차(RMSE)가 증가하는 문제가 발생하였다. 차후 이를 개선하기 위해 최적의 시스템 공분산(Q)과 잡음 공분산(R) 값 식별이 필요하다.

5. 결론

본 논문에서는 메카닉 휠의 구조적 특성으로 인해 발생하는 바퀴 슬립을 운동학적 모델 기반 관성항법을 통해 메카닉 휠 기반 이동로봇의 위치 추정 정확도를 향상시키는 연구를 하였다.

제안된 위치 추정 알고리즘은 메카닉 휠의 바퀴 슬립 요소를 반영한 계수를 설정하여 이동로봇의 운동학적(Kinematic) 모델에 반영하였고, 이를 자이로-자력계-주행거리계-가속도계 센서를 융합한 칼만필터에 반영 하여 위치를 추정하였다.

제안된 위치 추정 알고리즘을 검증하기 위해 ROS Gazebo Mobile Simulator 환경에서 종방향, 횡방향, 대각 방향으로 각각 주행하였을 때 위치 추정 정확도를 분석하였다. 실험 결과 제안된 위치 추정 알고리즘의 평균 오차가 종방향, 횡방향, 대각방향 주행시 각각 18.7 mm, 24.1 mm, 82.2 mm 발생됨을 확인할 수 있

었으며, 기존 방식 대비 위치 추정 정확도가 향상됨을 확인 할 수 있었다.

향후 최적의 시스템 공분산(Q)과 잡음 공분산(R)을 실험적으로 구할 것이며, 상대적으로 평균오차가 큰 대각방향 주행에 대해 원인을 분석하여 개선할 것이다. 또한 제안한 알고리즘을 반영한 메카넘 휠 이동로봇을 제작하여 실제 실험 환경에서 알고리즘의 유효성을 검증 할 것이다.

후 기

이 연구는 2016년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(10073129).

References

- [1] Adăscăliței, Florentina, and Ioan Doroftei, "Practical Applications for Mobile Robots based on Mecanum Wheels-A Systematic Survey," *The Romanian Review Precision Mechanics, Optics and Mechatronics* 40 : pp. 21-29, 2011.
- [2] Kumra, Sulabh, Rajat Saxena, and Shilpa Mehta, "Navigation System for Omni-directional Automatic Guided Vehicle with Mecanum Wheel," *IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering(IOSRJEEE)* ISSN 2278.1676 : pp. 35-39, 2012.
- [3] Kim, Jungmin, et al., "Inertial Navigation System for an Automatic Guided Vehicle with Mecanum Wheels," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 13.3 : pp. 379-386, 2012.
- [4] Nagatani, Keiji, et al., "Improvement of Odometry for Omnidirectional Vehicle using Optical Flow Information," *Intelligent Robots and Systems, 2000 (IROS 2000). Proceedings, 2000 IEEE/RSJ International Conference on.* Vol. 1, IEEE, 2000.
- [5] Lee, In Seong, et al., "Kalman Filter-based Sensor Fusion for Improving Localization of AGV," *Advanced Materials Research*, Vol. 488, Trans Tech Publications, 2012.
- [6] Kuo, Chung-Hsien, "Trajectory and Heading Tracking of a Mecanum Wheeled Robot using Fuzzy Logic Control," *Instrumentation, Control and Automation (ICA), 2016 International Conference on.* IEEE, 2016.
- [7] Chu, Baeksuk, "Position Compensation Algorithm for Omnidirectional Mobile Robots and its Experimental Evaluation," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing* 18.12 : pp. 1755-1762, 2017.
- [8] Roehrig, Christof, et al., "Global Localization and Position Tracking of Automatic Guided Vehicles using Passive RFID Technology," *ISR/Robotik 2014; 41st International Symposium on Robotics; Proceedings of. VDE*, 2014.
- [9] Taheri, Hamid, Bing Qiao, and Nurallah Ghaeminezhad, "Kinematic Model of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot," *International Journal of Computer Applications* 113.3, 2015.
- [10] Gracia, Luis, and Josep Tornero, "Kinematic Modeling of Wheeled Mobile Robots with Slip," *Advanced Robotics* 21.11 : pp. 1253-1279, 2007.
- [11] Han, Kyung-Lyong, Hyosin Kim, and Jin S. Lee, "The Sources of Position Errors of Omni-Directional Mobile Robot with Mecanum Wheel," *Systems Man and Cybernetics(SMC), 2010 IEEE International Conference on.* IEEE, 2010.