

논문 2016-53-4-17

운전자 체중 이동을 이용한 전방향 전동 보드의 제어

(Control of an Omni-directional Electric Board using Driver Weight Shift)

최 용 준*, 류 정 래*

(Yong Joon Choi and Jung Rae Ryoo[Ⓢ])

요 약

본 논문에서는 운전자의 체중 이동을 활용한 메카넘 휠 기반 전방향 전동 보드 제어 방법을 제안한다. 운전을 위한 별도의 운전 장치를 사용하지 않으며, 다수의 센서를 활용하여 측정된 체중 분포로부터 무게 중심의 위치를 구하여 전방향 전동 보드의 병진 운동과 회전 운동의 3 자유도 운전 명령을 생성한다. 체중 이동은 운전 명령으로 반영됨과 동시에 관성력을 극복하기 위한 운전자의 동작과 일치하여 직관적인 장점이 있다. 전체 제어 구조를 제시하며, 실험에 적용하여 제안된 방식의 타당성을 확인한다.

Abstract

This paper presents a control method of a mecanum wheel-based omni-directional electric board using driver weight shift. Instead of a steering device such as a joystick or a remote controller, 3 degree-of-freedom driving command for translational and rotational motion of the omni-directional electric board is generated from position of center of gravity measured from weight distribution. The weight shifting motion is not only a driving command but also an intuitive motion to overcome inertial forces. The overall control structure is presented with experimental results to prove validity of the proposed method.

Keywords : Omni-directional electric board, Mecanum wheel, Weight shift, Center of gravity

I. 서 론

전방향 이동 로봇(omni-directional mobile robot)은 2차원 평면에서의 이동 방향과 헤딩 방향을 독립적으로 제어할 수 있는 기구학적 특성을 가지며, 전방향 이동성을 확보하기 위해서는 옴니 휠(omni-wheel)^[1]이나 메카넘 휠(Mecanum wheel)^[2] 등의 특별한 구조의 바퀴를 사용한다. 볼봇(ballbot)^[3]도 전방향 이동성을 가지는데, 이는 공 내부 또는 위에 탑재된 전방향 이동 로봇의 특성에서 기인한다. 전방향 이동 로봇은 어떠한 자세에서

도 모든 방향으로 이동할 수 있는 특성으로 인하여 좁은 공간에서도 경로 계획 및 주행을 자유롭게 수행할 수 있는 장점이 있다.

이러한 장점으로 인하여 이동 로봇에 관한 다양한 연구에서 전방향 이동 로봇이 널리 활용되는데, 전방향 이동 로봇의 기구학 및 동역학^[4], 그리고 제어 방법^[5]에 관한 연구가 수행되었으며, 전방향 이동 로봇을 사람의 이동 수단으로 활용하는 응용 연구가 수행되었다. 장애인을 위한 이동 수단으로 전방향 이동성을 가진 전동 휠체어에 대한 연구^[6] 외에도 공장 환경에서 장애인의 물건 이송 작업을 보조하는 이동 로봇^[7]도 전방향 이동 로봇 기술을 바탕으로 연구되었다. 이러한 전방향 이동 로봇의 활용에 관한 연구에서는 전방향 이동성을 활용하는 응용 기술이 주로 연구된 반면 전방향 이동 로봇의 운전을 위한 운전자의 명령 방법으로는 전통적인 조이스틱 등의 조종 장치를 활용하는 방식 외에는

* 정회원, 서울과학기술대학교 전기정보공학과
(Dept. of Electrical and Information Eng., Seoul National University of Science and Technology)

Ⓢ Corresponding Author(E-mail: jrryoo@seoultech.ac.kr)

※ 이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었습니다.

Received ; March 8, 2016

Revised ; March 22, 2016

Accepted ; March 24, 2016

연구가 많이 이루어지지 않았다.

일반 이동 로봇을 이동 수단으로 활용한 시스템에서 운전자의 직관적인 운전 명령 방식을 사용한 예로는 세그웨이(Segway) 형식의 2륜 전동 스쿠터에서 가감속을 위한 명령으로 운전자의 체중을 앞뒤로 이동^[8-9]하거나 조향 제어를 위해서 체중을 좌우로 이동^[10]하는 방식이 소개되었다. 이는 이동 수단에서 관성력을 극복하려는 탑승자의 자연스러운 동작을 운전 명령으로 활용하는 방법이다.

본 논문에서는 메카넘 휠을 활용한 전방향 이동 로봇에 운전자가 두 발로 서서 탑승하는 전방향 전동 보드를 소개하고, 운전자의 체중 이동을 활용한 전방향 전동 보드의 운전 제어 방식을 제안한다. 조이스틱이나 조향 핸들과 같은 운전을 위한 별도의 조정 장치를 사용하지 않으면서 운전자의 체중 이동을 감지하여 3 자유도의 운전 명령을 생성한다. 운전자의 체중 이동을 감지하기 위하여 발판에 체중 분포를 측정하기 위한 센서를 설치하는데, 전방향 전동 보드는 전방향 이동 로봇의 기구학적 특성을 가지므로 2차원 평면상의 병진 운동(translational motion)과 회전 운동(rotational motion)을 독립적으로 결정하기 위하여 다수의 센서를 활용하여 운전자의 체중 분포를 측정한다. 측정된 체중 분포로부터 3 자유도의 운전 명령을 생성하는데, 이 과정에서 관성력(inertial force)을 극복할 수 있는 운전자의 자세를 반영한다. 마지막으로, 3 자유도의 운전 명령으로부터 전방향 이동 로봇의 역기구학을 활용하여 각 바퀴의 회전 속도를 결정한다. 제안된 전방향 전동 보드의 운전 제어 방식을 실제 시스템에 적용하고, 그 결과를 제시함으로써 제안하는 방식의 타당성을 확인한다.

II. 메카넘 휠을 사용한 전방향 이동 로봇

이동 로봇은 평면상의 2차원 위치와 헤딩 각도가 바퀴의 회전에 의하여 결정된다. 속도 관점에서 기술하면 2차원 수평 이동 속도와 회전 속도로 표현할 수 있는데, 전방향 이동 로봇에서는 이 3개의 상태를 독립적으로 제어할 수 있다. 메카넘 휠은 이를 가능하게 하는 특별한 바퀴의 한 예이다. 그림 1에는 4개의 메카넘 휠을 장착한 전방향 이동 로봇을 나타내었다. 4개의 바퀴 회전 속도 ω_{wi} ($i = 1, 2, 3, 4$)를 제어하여 수평 이동 속도 v_x 와 v_y , 그리고 회전 속도 ω_z 를 독립적으로 결정할 수

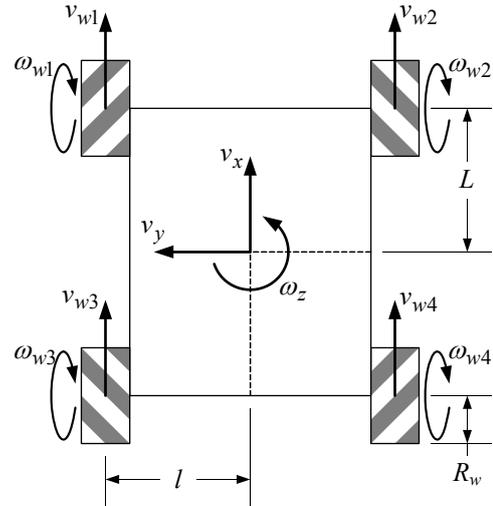


그림 1. 메카넘휠을 사용한 전방향 이동 로봇^[4]

Fig. 1. Omni-directional mobile robot using Mecanum wheels^[4].

있다. 그림 1의 이동 로봇은 다음의 기구학식으로 표현된다^[4].

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} &= J \begin{bmatrix} \omega_{w1} \\ \omega_{w2} \\ \omega_{w3} \\ \omega_{w4} \end{bmatrix} \\ &= \frac{R_w}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \\ -\frac{1}{L+l} & \frac{1}{L+l} & -\frac{1}{L+l} & \frac{1}{L+l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_{w1} \\ \omega_{w2} \\ \omega_{w3} \\ \omega_{w4} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서 R_w 는 바퀴의 반지름이고, J 는 자코비안(Jacobian) 행렬이다.

(1)에서 제어할 이동 로봇의 상태는 $[v_x \ v_y \ \omega_z]^T$ 의 3 자유도인데 반하여 제어할 수 있는 바퀴의 회전 속도는 $[\omega_{w1} \ \omega_{w2} \ \omega_{w3} \ \omega_{w4}]^T$ 의 4 자유도이므로 여유 자유도를 가지고 있으며, 그 결과 이동 로봇을 특정 상태로 만드는 바퀴 회전 속도의 조합은 다음의 일반 해(general solution)로 표현된다.

$$\begin{bmatrix} \omega_{w1} \\ \omega_{w2} \\ \omega_{w3} \\ \omega_{w4} \end{bmatrix} = J^+ \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} + (I - J^+ J)k \quad (2)$$

여기서 $J^+ = J^T(J \cdot J^T)^{-1}$ 는 J 의 의사 역행렬(pseudo inverse matrix)이며, $k \in R^{4 \times 1}$ 는 임의의 벡터

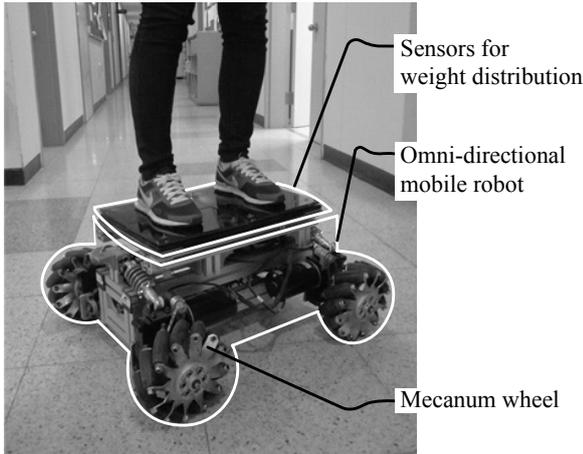


그림 2. 메카넘 휠을 장착한 전방향 전동 보드
Fig. 2. Omni-directional electric board using Mecanum wheels.

이다. $k = 0$ 으로 설정한 특별한 경우를 생각하면 다음의 역기구학식과 같다^[4].

$$\begin{bmatrix} \omega_{w1} \\ \omega_{w2} \\ \omega_{w3} \\ \omega_{w4} \end{bmatrix} = J^+ \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} = \frac{1}{R_w} \begin{bmatrix} 1 & -1 & -(L+l) \\ 1 & 1 & (L+l) \\ 1 & 1 & -(L+l) \\ 1 & -1 & (L+l) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_x \\ v_y \\ \omega_z \end{bmatrix} \quad (3)$$

III. 전방향 전동 보드 제어

1. 전방향 전동 보드

그림 2에는 앞에서 설명한 전방향 이동 로봇을 사람의 이동 수단으로 활용하는 전방향 전동 보드의 개념을 나타내었다. 운전자는 전방향 전동 보드에 두 발로 서서 탑승한다. 운전을 위한 조이스틱과 같은 별도의 조정 장치는 없으며 운전자는 이동하려는 방향으로 자신의 체중을 이동한다. 이는 역진자형 전동 스쿠터인 세그웨이에서 사용하는 운전 명령 전달 방식이다^[10].

운전자의 무게 중심 위치를 확인하기 위하여 체중 분포를 측정하는 센서를 운전자의 발밑에 설치한다. 무게 중심의 위치는 센서 측정치를 상대적으로 비교하여 확인하게 되므로 체중계 또는 일반 저울에서 필요한 절대 정밀도의 확보는 불필요하며, 사이즈와 가격 등을 고려하여 FSR(Force Sensing Resistor) 센서를 활용한다. 본 논문에서는 FSR 센서에서 측정된 운전자의 체중 분포로부터 운전자의 무게 중심 위치를 추정하여 운전 명령을 생성한 후 각 바퀴의 회전 속도를 제어하여 운전자의 의도를 반영한다.

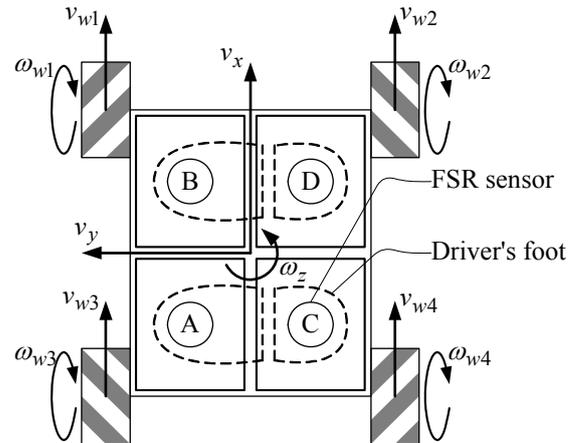


그림 3. FSR 센서 패널
Fig. 3. FSR sensor panel.

2. 운전자 체중 분포로부터 운전 명령 생성

본 절에서는 FSR 센서를 통해 측정된 체중 분포로부터 전방향 전동 보드의 이동 명령을 생성하는 방식을 설명한다. 그림 3에는 운전자의 체중 분포 측정을 위한 FSR 센서 패널을 나타내었다. 센서 패널을 4개의 영역으로 분할하고, 운전자는 자신의 두 발을 4개의 영역에 걸쳐 위치시킨다. X축 방향으로 이동하기 위해서 운전자는 자신의 체중을 우측 발쪽으로 이동시킨다. 이는 세그웨이 등에 사용되는 직관적인 조작 방식이며, 또한 전동 보드의 X축 방향으로의 이동으로 인한 관성으로 운전자의 몸이 반대 방향인 좌측으로 쓰러지는 것을 미연에 방지하는 자세이다. Y축 방향도 X축 방향과 동일한 방식을 적용한다. Z축 방향 회전과 관련해서는 운전자가 회전하려는 방향으로 몸을 회전시키는데, 이는 회전 관성을 극복하는 동작으로 볼 수 있다.

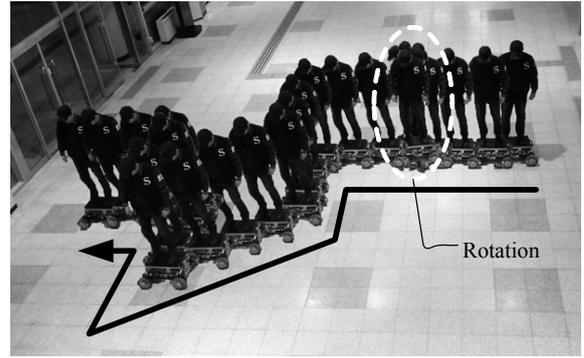
각 영역에는 FSR 센서를 설치하여 해당 영역에 분포된 체중을 측정한다. 4개의 센서 A, B, C, D에서 측정된 체중 분포를 F_A, F_B, F_C, F_D 라 할 때, 앞에서 설명한 운전자의 체중 이동 동작을 바탕으로 다음과 같은 운전 명령 v_{xr} 과 v_{yr} , 그리고 ω_{zr} 을 생성한다.

$$\begin{aligned} v_{xr} &= K_x((F_B + F_D) - (F_A + F_C))/F_S \\ v_{yr} &= K_y((F_A + F_B) - (F_C + F_D))/F_S \\ \omega_{zr} &= K_z((F_B + F_C) - (F_A + F_D))/F_S \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $F_S = F_A + F_B + F_C + F_D$ 는 체중 분포를 정규화(normalization)하기 위한 체중 분포의 합으로서 체중이 서로 다른 사람에 대해서도 동일한 운전 명령이 생성되도록 한다. 또한, K_x, K_y , 그리고 K_z 는 운전 명

표 1. 시험 주행의 센서 및 바퀴 회전 요약
Table 1. Summary of sensor and wheel rotation in experimental navigation.

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
센서A	○	●	○	●	●	○	○
센서B	●	○	●	●	●	○	●
센서C	○	○	○	○	○	●	○
센서D	●	●	●	○	●	●	●
휠1	+	+	+	-	0	+	+
휠2	+	-	+	+	+	-	+
휠3	+	+	+	+	+	-	+
휠4	+	-	+	-	0	+	+



(a)

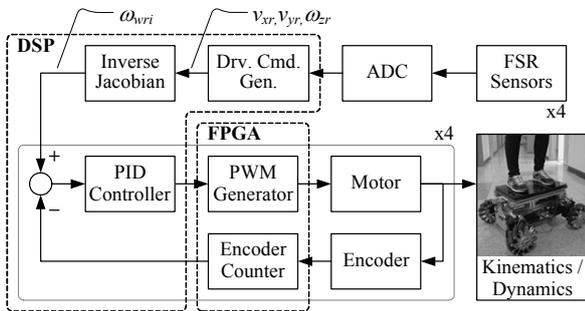
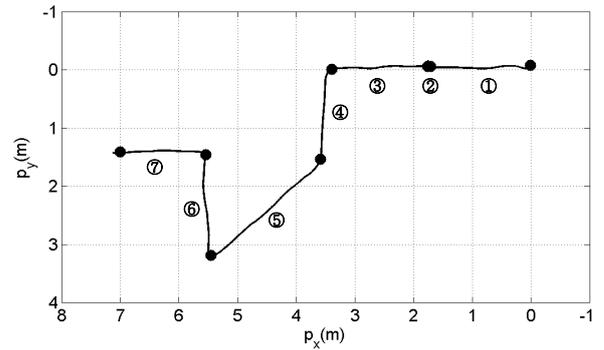


그림 4. 전체 시스템 블록선도
Fig. 4. Block diagram of the overall system.



(b)

그림 6. 실험 결과 (a) 주행 동작 (b) 운동 궤적 추정
Fig. 6. Experimental results (a) Navigation motion (b) Estimated motion trajectory.

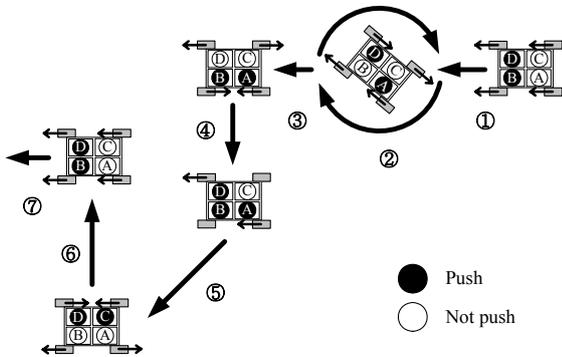


그림 5. 시험 주행 경로
Fig. 5. Experimental navigation path.

령의 감도(sensitivity)에 해당하는 상수이다.

생성된 운전 명령으로부터 (3)의 역기구학식을 바탕으로 다음과 같이 각 바퀴의 지령 회전 속도 ω_{wri} ($i = 1, 2, 3, 4$)를 생성하여 각 바퀴의 회전 속도 제어에 반영한다.

$$\begin{bmatrix} \omega_{wr1} \\ \omega_{wr2} \\ \omega_{wr3} \\ \omega_{wr4} \end{bmatrix} = J^+ \begin{bmatrix} v_{xr} \\ v_{yr} \\ \omega_{zr} \end{bmatrix} \quad (5)$$

IV. 실험 및 결과

1. 실험 환경

운전자 체중 이동을 운전 명령으로 활용한 전방향 전동 보드를 구현하고 실험을 통하여 그 타당성을 검증한다. 그림 4에는 전체 시스템 구조를 나타내었다. FSR 센서는 가해지는 힘 또는 압력에 대해 전기적 저항의 역수인 전도도(conductance)가 비례한 특성이 있다. 저항 분배 회로에서 분배 전압을 ADC로 측정하여 인가된 체중으로 환산한다^[10]. 4개의 FSR 센서에서 측정된 운전자 체중 분포를 활용하여 각 바퀴를 구동하는 모터의 지령 회전 속도를 연산하는 과정과 각 모터의 회전 속도 제어기는 DSP의 FW에서 처리한다. 또한, 각 모터에 장착된 엔코더로부터 회전 속도를 측정하고, 속도 제어기에서 연산된 제어 입력을 PWM으로 변환하는 기능은 FPGA를 활용한다. 제어 시스템의 샘플링 주파수는 1kHz를 적용하였다. 참고로 실험에 사용된 전방향 전동 보드의 중심에서 각 바퀴 중심까지의 가로 및 세로 길이 L 과 l 은 각각 0.26 m와 0.27 m이며, 사용된 메카닉 휠의 반지름 R_w 는 0.11 m이다. 실험에는 체중 약

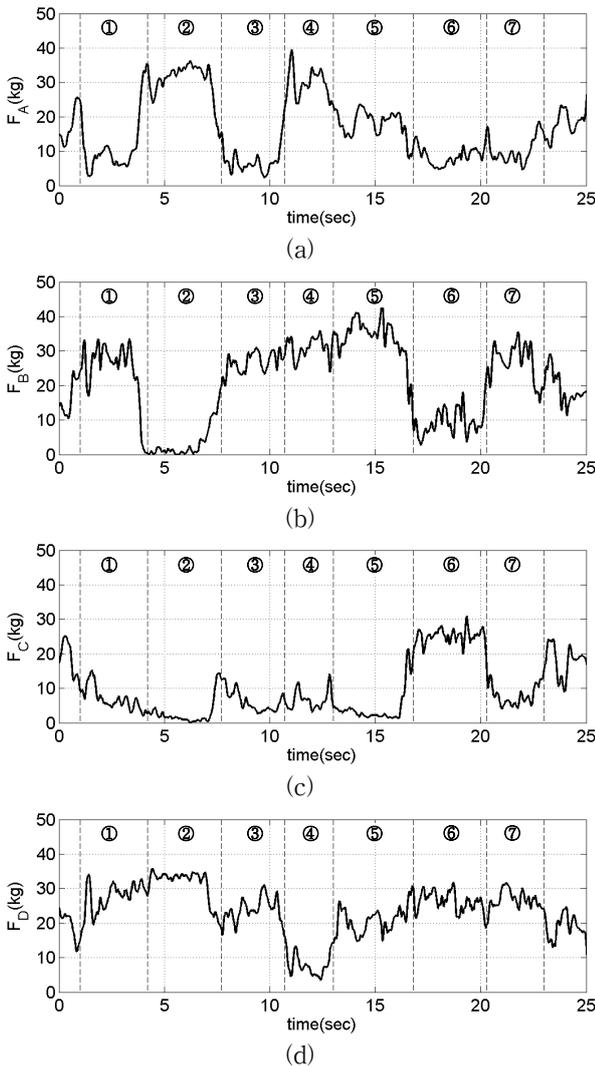


그림 7. FSR 측정 무게 (a) F_A (b) F_B (c) F_C (d) F_D
Fig. 7. Weights measured by FSRs (a) F_A (b) F_B (c) F_C (d) F_D .

75 kg의 운전자가 참여하였으며, 체중 이동을 활용한 운전의 타당성 검증에서 안전성 확보를 위하여 운전 감도를 $K_x = K_y = 1.0$ 과 $K_z = 2.0$ 으로 설정함으로써 최대 이동 및 회전 속도를 각각 약 1 m/s와 약 120 deg/s로 제한하였다.

2. 전방향 전동 보드 실험

전방향 전동 보드를 운전자의 체중 이동으로 제어한 시험 주행 결과를 제시한다. 그림 5에는 시험 주행에 적용한 경로 및 동작을 요약하여 나타내었는데, 운전자가 체중을 실은 센서 위치와 각 바퀴의 회전 방향을 표 1에 요약하여 제시하였다. 그림 6에는 시험 주행 결과를 나타내었다. 그림 6(a)에는 실제 주행 동작을 나타내

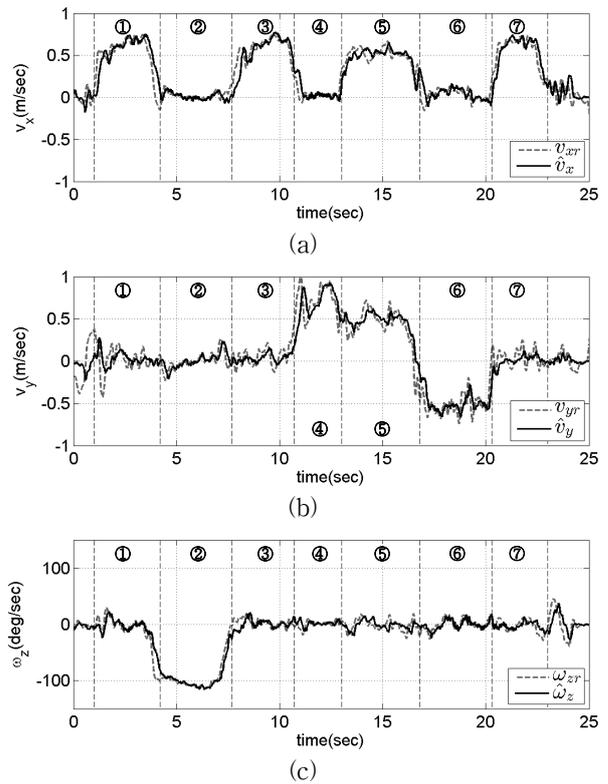


그림 8. 운전 명령 및 엔코더 추정 속도 (a) v_{xr}, \hat{v}_x (b) v_{yr}, \hat{v}_y (c) $\omega_{zr}, \hat{\omega}_z$
Fig. 8. Driving command and encoder-estimated velocity (a) v_{xr}, \hat{v}_x (b) v_{yr}, \hat{v}_y (c) $\omega_{zr}, \hat{\omega}_z$.

었으며, 엔코더로 측정된 바퀴의 회전 속도로부터 2차원 평면상의 운동 궤적을 추정하면 그림 6(b)와 같다. 다만, 추정된 운동 궤적에는 바퀴의 미끄러짐과 속도를 위치로 누적하는 과정에서 발생하는 오차가 포함되었음을 감안한다.

그림 6의 실험 결과에 대한 세부 사항을 확인하기 위하여 FSR 측정 체중 분포, 운전 명령과 엔코더 추정 운동 속도, 각 바퀴의 지령 회전 속도 및 측정 회전 속도, 그리고 엔코더 추정 운동 위치를 그림 7에서 10에 나타내었다. 우선, 그림 7의 FSR 측정 체중 분포를 그림 5(a) 및 표 1에 요약한 체중이 많이 실리는 FSR 센서와 운동 구간별로 비교하면 서로 일치함을 확인할 수 있다. 체중 분포 측정 데이터 과형에는 메카넘 휠에 사용된 풀러의 모양 및 장착 위치 오차로 인한 주행 과정에서의 진동 성분이 다소 불규칙한 잡음처럼 반영되어 있다.

그림 8에는 측정된 체중 분포로부터 (4)를 활용하여 생성한 운전 명령 $v_{xr}, v_{yr}, \omega_{zr}$ 과 엔코더 측정 회전 속도로부터 (1)을 활용하여 추정한 운동 속도 $\hat{v}_x, \hat{v}_y,$

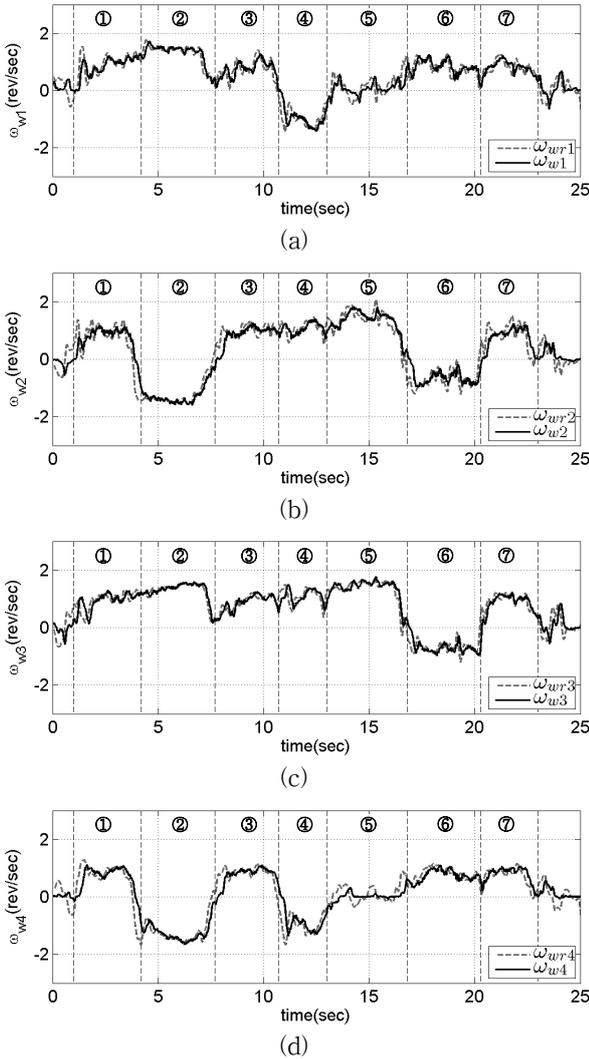


그림 9. 바퀴 지령 회전 속도 및 측정 회전 속도 (a) $\omega_{wr1}, \omega_{w1}$ (b) $\omega_{wr2}, \omega_{w2}$ (c) $\omega_{wr3}, \omega_{w3}$ (d) $\omega_{wr4}, \omega_{w4}$
 Fig. 9. Reference and measured rotational velocities of wheels (a) $\omega_{wr1}, \omega_{w1}$ (b) $\omega_{wr2}, \omega_{w2}$ (c) $\omega_{wr3}, \omega_{w3}$ (d) $\omega_{wr4}, \omega_{w4}$.

$\hat{\omega}_z$ 를 같이 표시하였다. 추정된 운동 속도에는 운전 명령 대비 약간의 시간 지연 증상이 확인되지만 전반적으로 운전 명령을 충실히 추종하고 있다. 또한, 그림 5에 표시한 구간별 운동과 비교했을 때, 방향성이 일치함을 확인할 수 있다.

생성된 운동 명령에 (5)의 역기구학을 적용하여 생성한 바퀴의 지령 회전 속도와 엔코더에서 측정한 실제 회전 속도는 그림 9에 나타내었다. 그림 9의 바퀴 회전 속도 극성을 그림 5 및 표 1에 요약한 바퀴 회전 방향과 구간별로 비교하면 역시 일치함을 확인할 수 있다. 마지막으로 그림 10에는 그림 8의 엔코더 측정 바퀴 회

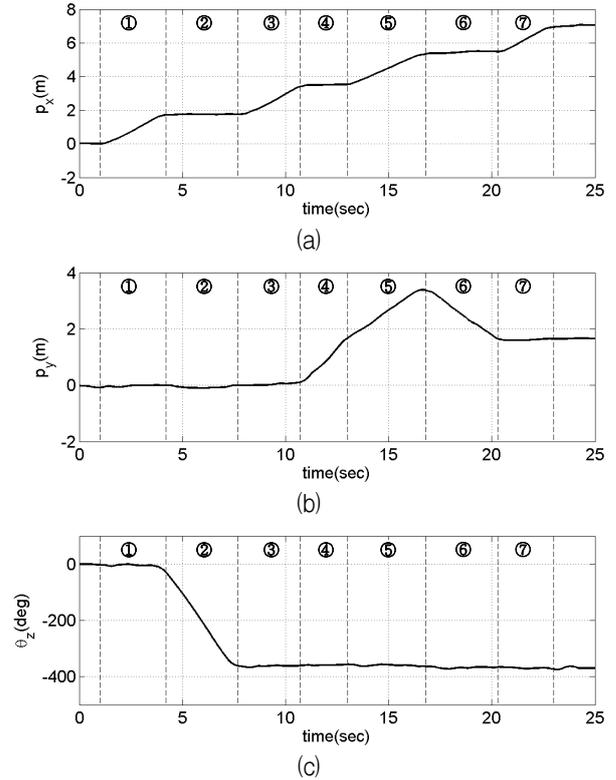


그림 10. 추정 위치 및 헤딩 각도 (a) \hat{p}_x (b) \hat{p}_y (c) $\hat{\theta}_z$
 Fig. 10. Estimated position and orientation (a) \hat{p}_x (b) \hat{p}_y (c) $\hat{\theta}_z$.

전 속도로부터 추정된 운동 속도를 적분하여 각 축별 추정 위치 \hat{p}_x, \hat{p}_y 및 추정 각도 $\hat{\theta}_z$ 를 나타내었다. 그림 10(a)와 (b)의 \hat{p}_x 와 \hat{p}_y 를 2차원 평면에 표시한 결과가 그림 6(b)이며, 그림 10(c)의 회전 각도는 시계 방향으로 회전하여 -360 deg 상태를 유지하고 있다. 실험 결과를 종합하여 보면 운전자의 체중 이동을 활용한 전방향 전동 보드의 운전 제어 방식이 충분히 타당함을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 전방향 전동 보드를 운전자의 체중 이동으로 제어하는 방법을 제안하였다. FSR 센서를 활용하여 측정된 체중 분포로부터 운전자의 무게 중심 위치를 구하고, 전방향 전동 보드의 병진 운동과 회전 운동의 3 자유도 운전 명령을 생성하였다. 운전자는 조이스틱 등의 별도 조종기 없이 이동하려는 방향으로 체중을 이동함으로써 운전 명령을 전달할 수 있을 뿐만 아니라 이러한 동작은 관성력을 극복하려는 직관적인 동작과 일치한다. 제안하는 운전 방식을 실제 시스템에 적용하

여 타당성을 확인하였다. 본 논문에서는 사람의 이동 수단으로 활용하는 응용 사례를 연구하였으나 동일한 원리는 물론 이송을 위한 전동 카트에도 활용이 가능하다. 또한, 운전 명령 적용에 따른 동특성을 고려한 알고리즘으로 확장하는 연구가 추후에 필요하다.

REFERENCES

- [1] H.-S. Choi, D.-I. Kim, and J.-B. Song, "Simultaneous path tracking and orientation control for three-wheeled omni-directional robots," *Journal of Korea Robotics Society*, vol. 10, no. 3, pp.154-161, Sep. 2015.
- [2] A. Gfrerrer, "Geometry and kinematics of the Mecanum wheel," *Computer Aided Geometric Design*, vol. 25, no. 9, pp. 784-791, Dec. 2008.
- [3] J.H. Park, S.C. Kim, and S. Yi, "Development of stable ballbot with omnidirectional mobility," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 19, no. 1, pp.40-44, Jan. 2013.
- [4] P. Viboonthaicheep, A. Shimada, and Y. Kosaka, "Position rectification control for Mecanum wheeled omni-directional vehicles," *Proceedings of the 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, vol. 1, pp. 854-859, Roanoke, VA, USA, Nov. 2003.
- [5] K.-L. Han, O.-K. Choi, J. Kim, H. Kim, and J. S. Lee, "Design and control of mobile robot with Mecanum wheel," *Proceedings of ICROS-SICE International Joint Conference 2009*, pp. 2932-2937, Japan, Aug. 2009.
- [6] U. Borgolte, H. Hoyer, C. Buhler, H. Heck, and R. Hoelper, "Architectural concepts of a semi-autonomous wheelchair," *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 22, no. 3-4, pp. 233-253, Aug. 1998.
- [7] J. W. Kang, B. S. Kim, and M. J. Chung, "Development of omni-directional mobile robots with Mecanum wheels assisting the disabled in a factory environment," *Proceedings of International Conference on Control, Automation and Systems 2008*, pp. 2070-2075, Seoul, Korea, Oct. 2008.
- [8] H. Lee and S. Jung, "Balancing control of a two wheeled mobile robot system," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control*, vol. 48, no. 6, pp.1-7, Nov. 2011.
- [9] J.-W. Joh and G.-T. Park, "Hardware design methods for Segway type 2-wheeled mobile robots," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea - System and Control*, vol. 46, no. 5, pp.1-7, Sep. 2009.
- [10] Y. J. Choi, J. R. Ryoo, and T.-Y. Doh, "Steering system in a self-balancing electric scooter," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 20, no. 9, pp.942-949, Sep. 2014.

저 자 소 개



최 용 준(정회원)
2012년 서울과학기술대학교 제어
계측공학과 학사 졸업.
2014년 서울과학기술대학교 전기
정보공학과 석사 졸업.
2014년~현재 단암시스템즈(주)
주임연구원.

<주관심분야 : 서보 제어, FPGA를 활용한 디지털 제어 시스템, 영상 신호 인터페이스>



류 정 래(정회원)
1996년 한국과학기술원 전기및전
자공학과 학사 졸업.
1998년 한국과학기술원 전기및전
자공학과 석사 졸업.
2004년 한국과학기술원 전자전산
학과 박사 졸업.

2005년~현재 서울과학기술대학교 전기정보공학과 부교수.

<주관심분야 : 강인 동작 제어, DSP 기반 디지털 제어 시스템 설계, 실시간 영상 처리>