

전방향 이동로봇 위치제어 알고리즘과 실험적 검증

주백석^{a*}, 조강익^a, 성영휘^bPosition Control Algorithm and Experimental Evaluation of an
Omni-directional Mobile RobotBaeksuk Chu^{a*}, Gangik Cho^a, Young Whee Sung^b^a Department of Intelligent Mechanical Engineering, Kumoh National Institute of Technology,
61, Daehak-ro, Gumi-si, Gyeongbuk-do 730-701, Korea^b School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology,
61, Daehak-ro, Gumi-si, Gyeongbuk-do 730-701, Korea

ARTICLE INFO

Article history:

Received	4	February	2015
Revised	31	March	2015
Accepted	7	April	2015

Keywords:

Omni-directional mobile robot
Position control
Mecanum wheel
Ultrasonic sensor
Experimental evaluation

ABSTRACT

In this study, a position control algorithm for an omni-directional mobile robot based on Mecanum wheels was introduced and experimentally evaluated. Multiple ultrasonic sensors were installed around the mobile robot to obtain position feedback. Using the distance of the robot from the wall, the position and orientation of the mobile robot were calculated. In accordance with the omni-directional velocity generation mechanism, the velocity kinematics between the Mecanum wheel and the mobile platform were determined. Based on this formulation, a simple and intuitive position control algorithm was suggested. To evaluate the control algorithm, a test bed composed of artificial walls was designed and implemented. While conventional control algorithms based on normal wheels require additional path planning for two-dimensional planar motion, the omni-directional mobile robot using distance sensors was able to directly follow target positions with the simple proposed position feedback algorithm.

1. 서론

복수개의 위치에서 작업을 수행하거나 이동 자체가 목적이 되는 다양한 이동로봇 중에서 바퀴 형태의 이동수단을 갖는 이동로봇의 구조적인 특징이 바퀴와 지면 사이에서 발생하는 마찰과 슬립(slip) 현상이다. 이 현상은 필연적으로 이동로봇의 위치제어 정밀도를 저해하는 요인으로 작용한다. 이는 바퀴 축에 부착된 회전형 엔코더로 위치제어를 수행하는 dead-reckoning 등의 기법만으로는 정밀한 위치제어를 수행하기가 어렵게 되는 상황을 야기한다. 따라서

상당수의 이동로봇은 높은 위치정밀도를 요구하지 않는 곳에서 사용자가 조종 장치를 유연하게 조작하여 원하는 이동목적을 달성하는 경우가 많다. 그리고 사용자의 직접적인 조작이 어려운 경우에는 바닥에 유도 케이블을 부설하여 케이블의 전류를 감지하거나, 이동하는 경로 상에 특정 형태의 패턴을 갖는 마크를 부착하고 이를 인식하는 등의 방법을 사용하여 진행할 방향 및 위치를 판단하게 된다^[1]. 그러나 경우에 따라 비교적 높은 위치정밀도가 요구되는 작업을 수행하는 이동로봇의 경우에는 비전시스템과 같은 별도의 센서를 추가하여 주변 환경 정보를 파악하고 자신의 위치 및

* Corresponding author. Tel.: +82-54-478-7398

Fax: +82-54-479-7319

E-mail address: bachu@kumoh.ac.kr (Baeksuk Chu).

방향 등의 정보를 획득한다^[2]. 이 연구에서는 이동로봇의 위치 인식을 위한 수단으로 비교적 저가이면서 우수한 정밀도를 갖는 초음파센서(ultrasonic sensor)를 사용하였다. 복수개의 초음파센서를 이동로봇 주변에 부착하여 주위 벽면과 이동로봇과의 거리정보를 획득하고 이를 통하여 작업공간 안에서 이동로봇의 절대 위치 및 방향을 계산한다.

이 연구에서는 다양한 종류의 이동로봇 중에서 일반적인 형태의 바퀴를 갖는 전통적인 이동 플랫폼이 아니라 전방향 바퀴(omni-directional wheel)^[3]를 채용한 이동로봇을 제안하였다. 4개의 바퀴로 구동되는 일반적인 차량 형태의 이동로봇의 경우 기존의 전통적인 바퀴와 차동구동형(differential drive) 조향방법을 이용하여 방향전환을 할 때 최종 위치와 방향을 모두 만족시키기 위해서는 이동 시 복잡한 경로계획(path planning)이 필요하다^[4]. 또 일반적인 차량 형태의 방향전환 전략이 아니라 4개의 바퀴를 독립적으로 제어하는 방식을 취한다고 할지라도, 로봇의 기구적인 정보를 포함한 회전-이동-회전 등으로 구성되는 최소 몇 단계의 경로생성 및 이동 전략이 필수적이다. 그러나 이 연구의 대상인 전방향 이동로봇은 모든 방향으로의 순간적인 방향전환 및 이동이 가능하므로 복잡한 경로생성 없이 현재 위치 및 방향과 원하는 위치 및 방향 사이의 오차 정보만으로 즉각적인 제어가 가능하다.

메카넘휠(mecanum wheel)에 기반을 둔 전방향 이동로봇이 이 연구에서 설계 및 제작되었다^[5]. 본문에서는 개발된 이동로봇과 메카넘휠에 대한 소개와 전방향 이동로봇 위치제어 알고리즘이 제시된다. 우선 초음파센서를 이용하여 이동로봇의 위치 인식을 수행하는 메카니즘을 제안하고 개발된 전방향 이동로봇에 대한 위치제어 알고리즘 적용 실험을 통하여 기본 성능을 검증하고자 한다.

2. 전방향 이동로봇 시스템 구성

2.1 전방향 이동로봇 특성 및 메카넘휠의 구조

자동차와 같은 차동구동형 조향방법을 갖는 이동 플랫폼은 2차원 평면상에서의 병진 및 회전 등의 3자유도 운동이 가능하지만 각각의 자유도가 독립적으로 제어되지 않는 비홀로노믹(non-holonomic) 특성을 갖는다. 예를 들어 조향장치가 있는 차동구동형 이동 플랫폼은 전진 및 후진은 가능하지만 방향전환 없는 즉각적인 횡방향 이동이 불가능하다. 그리고 이와 같은 동작을 위해서는 조향장치를 이용하여 전후진을 반복하는 다소 복잡한 경로계획과 조작이 필요하다. 이러한 문제는 기구적 설계뿐만 아니라 제어시스템 구현에 있어서도 손쉽게 접근할 수 있어야 하는 산업용 로봇 플랫폼의 개발 목적에 반하는 것이라고 할 수 있다.

반면에 이 연구에서 제안하고 있는 전방향 바퀴를 이용할 경우 기존의 전통적인 형태의 바퀴형 이동로봇에서 구현할 수 없었던

다양한 장점들을 확보할 수 있다. 기존의 바퀴형 이동로봇은 좌우로 이동하기 위하여 회전을 할 때 일정 공간을 확보하고 로봇 자체의 방향을 전환하여야만 이동이 가능하였다. 그러나 전방향 바퀴를 채용할 경우 로봇 자체의 방향전환 없이 바퀴의 구조적인 특성에 의해 순간적으로 좌우이동이 가능하다. 뿐만 아니라 방향전환도 추가 공간이 전혀 없이 가능하므로 매우 협소한 공간에서도 자유롭고 유연하게 회전 및 이동을 하면서 원하는 작업위치까지 접근이 가능하다. 즉, 순간적으로 모든 방향으로의 움직임이 가능한 홀로노믹(holonomic) 특성 때문에 전방향 바퀴는 2차원 평면 공간에서 유연한 전후/좌우/회전 3자유도 운동이 가능하여 직관적인 조작을 할 수 있으므로 제어시스템을 단순하게 구현할 수 있다.

이 연구에서는 다양한 전방향 바퀴 중에서 산업용으로 가장 많이 사용되고 있는 메카넘휠을 사용한다. Fig. 1은 이 연구에서 개발된 메카넘휠의 설계도와 실제 제작된 시작품을 보여준다^[6]. 개발된 메카넘휠은 특정 각도로 배치된 서브롤러(sub-roller)를 중앙의 림휠(centered rim wheel)이 양쪽에서 감싸는 형태로 설계되었다. 메카넘휠의 전체 직경은 200 mm이며 Fig. 1(c)는 45도의 각도로 부착된 서브롤러로 구성된 측면형상을 보여준다.

2.2 이동로봇 제어시스템

이동로봇의 제어시스템을 구현하기 위하여 이 연구에서는 National Instrument사의 CompactRIO(cRIO)와 C시리즈 모션 모듈 및 I/O모듈이 사용되었다. 독립형 임베디드 실시간 프로세서인 cRIO는 다양한 센서와 액추에이터를 위한 신호처리 및 I/O모듈을 장착할 수 있어 제어 및 데이터 획득 시스템에 종종 활용되는 장비이다. 특히 이 연구에서 사용된 모델인 NI cRIO-9082는 8개

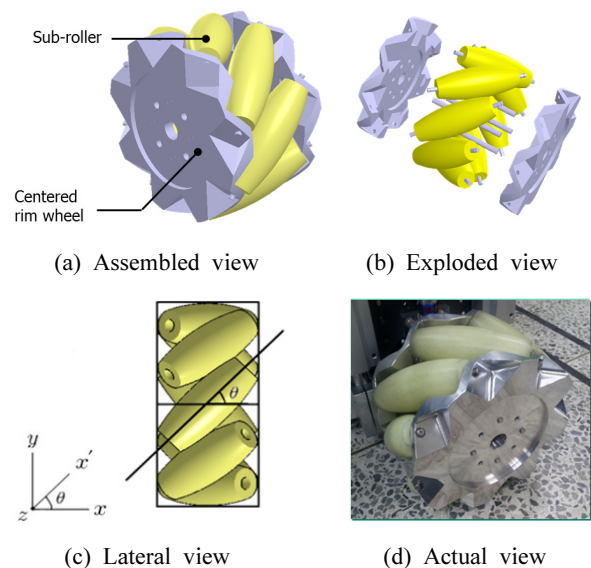


Fig. 1 Design of the mecanum wheel

의 슬롯이 있는 사시를 내장하고 있어 복수개의 C시리즈 모션모듈과 I/O모듈을 삽입할 수 있는 독립형 실시간 제어기이다. 이동로봇을 구성하고 있는 4개의 메카넘휠을 독립적으로 제어하기 위해 4개의 NI 9512 모션모듈이 채용되었으며, 아날로그 및 디지털 신호의 획득 및 생성을 위해서 NI 9205 및 NI 9403 I/O모듈이 사용되었다. 4개의 800W급 서보모터와 Yaskawa사의 시그마시리즈 서보팩이 메카넘휠의 구동을 위하여 이용되었다.

Fig. 2는 이 연구에서 개발된 전방향 이동로봇 제어시스템의 하드웨어 구성도를 보여준다. 이 그림에서 설명되고 있는 조이스틱(HFX-44R10, CH Products)은 이동로봇의 기본적인 이동을 위한 수동 조작 장치이며, 이동로봇의 위치 인식을 위한 초음파센서(PID616110, SensComp)는 다음 장에 자세히 소개된다. 이 연구에서 제안한 전방향 이동로봇의 제어알고리즘을 구현하기 위한 소프트웨어로 National Instrument사의 LabVIEW가 사용되었다. LabVIEW는 기존의 텍스트 기반의 언어와는 달리 블록다이어그램의 형식을 프로그래밍에 접목한 그래픽 기반의 범용 프로그래밍 언어로 제어 및 계측 분야에 주로 활용된다.

2.3 위치 피드백을 위한 초음파 센서

작업영역 안에서 이동로봇의 위치 및 방향을 인식하여 비교적 정밀한 위치제어를 수행하기 위한 측정 수단으로 이 연구에서는 초음파센서가 사용되었다. 초음파센서는 기존에 이동로봇의 위치 인식에 사용되어 온 레이저 센서에 비해 상대적으로 저가이나 수밀리미터 이내의 비교적 높은 정밀도를 가지고 있다. 따라서 기본적인

이동은 수동 조작 장치나 엔코더를 이용한 dead-reckoning을 활용하고, 이동로봇이 최종 목적지 근방에 도달하였을 때 근거리에서의 정밀도 개선을 위한 방안으로 이용이 가능하다. Table 1은 이 연구에서 채용된 초음파센서의 상세 스펙이다. 이 센서는 주변 벽면과의 거리에 비례하는 아날로그 전압신호를 생성하며, 이 신호는 NI 9205 아날로그 입력 모듈을 경유하여 NI cRIO-9082 실시간 제어기로 전송된다. 본 실험에서 활용하는 거리 영역인 200 mm에서 1,200 mm를 각각 최소값 및 최대값으로 설정하고 각 위치에서의 전압을 측정하여 초음파센서의 캘리브레이션을 수행하였다. 그 결과 식 (1)과 같은 거리와 전압에 관한 비례식을 획득하였다. 이 식에서 V 는 측정된 전압(volt)을 의미하고 d 는 이 식으로부터 계산된 거리(mm)이다. 이 관계식의 정밀도를 확인하기 위해 100 mm 간격으로 활용 거리 영역에 관한 거리 측정 실험을 5회씩 반복한 결과 오차율 +/-0.5%의 정밀도를 보여주었다.

$$d = 23.26 V + 15.12 \tag{1}$$

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{d3^* - d2^*}{h}\right) \tag{2}$$

$$x^* = \left(\frac{d2^* + d3^* + k}{2}\right)\cos\phi, \quad y^* = \left(d1^* + \frac{h}{2}\right)\cos\phi \tag{3}$$

이 연구에서는 복수개의 초음파센서를 이동로봇 주변에 부착하여 주위 벽면과 이동로봇과의 거리정보를 획득하고 이를 통하여

Table 1 Specification of the ultrasonic distance sensor

Model type	#616110 (SensComp)
Distance range	0.15 ~ 6.1 m
Accuracy	+/- 0.1%
Output Voltage (analog)	0 ~ 5VDC
Power requirement	8 ~ 24VDC

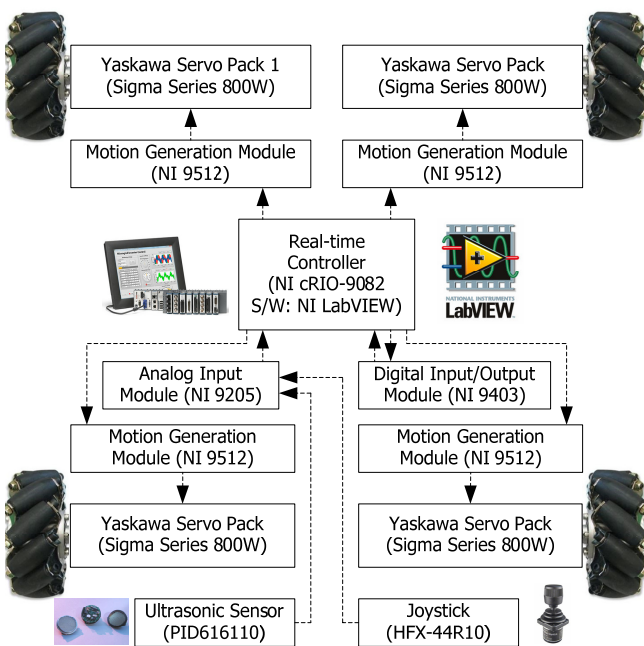


Fig. 2 Control system hardware of the omni-directional mobile robot

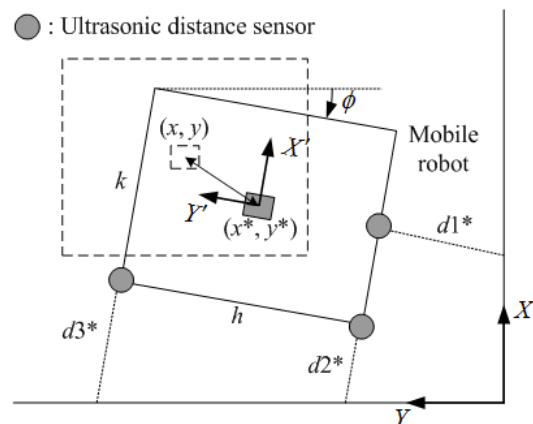


Fig. 3 Schematic diagram of sensor arrangement and measurement situation

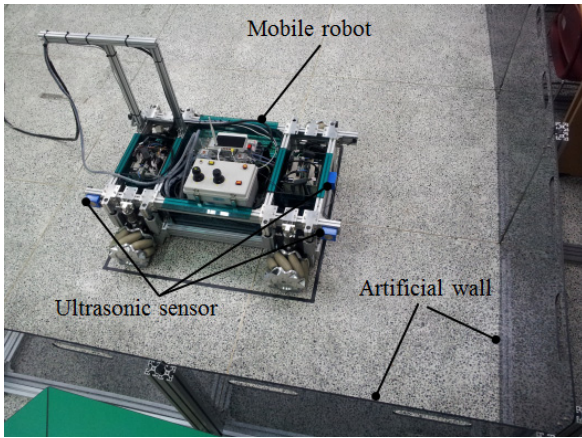


Fig. 4 Laboratory view for experiments

작업공간 안에서 이동로봇의 절대 위치 및 방향을 계산한다. Fig. 3은 이동로봇에 배치된 센서의 위치 및 주변 벽면과의 거리 측정 상황을 나타낸 것이다. 전방에 1개의 센서가 배치되어 있고 측면에 2개의 센서가 존재한다. 현재 그림의 실선으로 표시된 바와 같이 이동로봇이 벽면과 비스듬하게 기울어져 있고 이동로봇의 길이가 h , 폭이 k 이며 각 센서로부터 벽면까지의 거리가 그림과 같이 $d1^*$, $d2^*$, $d3^*$ 일 때, 이동로봇이 Y축과 비교하여 기울어진 각도 ϕ 는 식 (2)에 의하여 계산된다. 그리고 이동로봇의 중심부가 이 작업영역 안에서 위치한 좌표 (x^* , y^*)는 식 (3)에 의해 계산된다. 이동로봇의 최종 목표 위치가 그림의 점선으로 표시된 상황일 경우 식 (2)와 (3)을 사용하여 이동로봇의 중심부의 위치를 계산할 수 있으며 현재 위치와 목표 위치와의 차이인 위치오차와 이동로봇이 기울어진 각도를 계산하여 이동로봇의 제어입력으로 활용할 수 있다. Fig. 4는 초음파신호를 반사하기 위하여 설치된 인공 벽면으로 둘러싸인 실험 환경과 이동로봇에 부착된 초음파센서의 위치를 보여준다.

3. 전방향 이동로봇 위치제어 알고리즘

3.1 전방향 속도생성 원리

Fig. 1과 같이 설계된 메카넘휠의 경우 구동축에서 발생한 회전력은 림휠을 거쳐 서브롤러를 매개로 하여 지면에 전달되는데, 서브롤러는 구동축의 회전력을 서브롤러의 회전방향 분력과 축방향 분력으로 나눈다. 이 때, 서브롤러의 회전방향 분력은 서브롤러의 수동 회전에 의해 소멸되고 오직 축방향 분력만이 남는다. 따라서 일반적인 형태의 바퀴가 구동축의 회전력을 구동축에 수직인 방향으로 변환하여 추진력을 생성해내는 반면에 메카넘휠은 45도의 각도로 부착된 서브롤러로 인하여 구동축에 45도 기울어진 방향의 추진력을 생성하게 된다. 즉, 전후방향의 속도성분뿐만 아니라 좌우방향의 속도성분이 생성되므로 이동로봇에 배치된 메카넘휠의

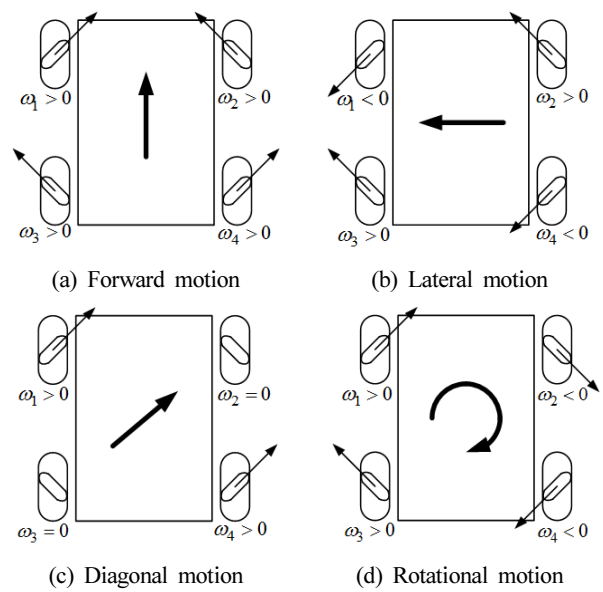


Fig. 5 Robot motion according to the direction of the wheels

회전을 독립적으로 제어하여 각각의 분력을 적절히 조합할 경우 임의의 방향으로의 최종 합력을 생성해낼 수 있다. 따라서 메카넘휠에 기반을 둔 전방향 이동로봇은 차체의 방향의 변화 없이 최종 힘 벡터가 향하는 전방향으로 이동이 가능하다.

3.2 전방향 이동로봇 위치제어 알고리즘

Fig. 5는 4개의 메카넘휠로 구성된 전방향 이동로봇이 전후, 좌우, 대각선 그리고 회전 운동을 하도록 각 바퀴의 속도성분이 조합되는 상황을 보여준다. 이 때 $w_i (i = 1, \dots, 4)$ 는 각 바퀴의 각속도를 의미한다. 예를 들어 메카넘휠의 각속도가 모두 같은 크기이고 동시에 양의 방향으로 회전하고 있는 경우 서브롤러의 축방향을 따라 Fig. 5(a)와 같은 속도 분력이 각각의 메카넘휠에 발생한다. 이 때 좌우 방향의 속도 분력은 서로 상쇄되고 오직 전진 방향의 속도 분력만이 남아 이동로봇의 전진 방향 선속도가 생성된다.

Fig. 3과 같이 이동로봇의 전후진 방향을 Y'축으로 하고 좌우방향을 X'축으로 하는 X'-Y'좌표계가 이동로봇의 중심에 고정되어 로봇과 함께 이동한다고 가정하면, 메카넘휠의 각속도와 이동로봇의 선속도 사이의 순속도 기구학과 역속도 기구학은 식 (4)와 (5)와 같이 주어진다^[4].

$$\begin{bmatrix} v_{y'} \\ v_{x'} \\ w_z \end{bmatrix} = \frac{R}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \\ \frac{1}{l_1+l_2} & \frac{1}{l_1+l_2} & -\frac{1}{l_1+l_2} & \frac{1}{l_1+l_2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_4 \\ \omega_3 \\ \omega_2 \\ \omega_1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{bmatrix} \omega_4 \\ \omega_3 \\ \omega_2 \\ \omega_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{R} \begin{bmatrix} 1 & 1 & -(l_1+l_2) \\ 1 & -1 & l_1+l_2 \\ 1 & -1 & -(l_1+l_2) \\ 1 & 1 & l_1+l_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_{y'} \\ v_{x'} \\ w_z \end{bmatrix} \quad (5)$$

이 때 v_x 과 v_y 은 이동로봇의 선속도이고 ω_z 은 이동로봇 자체가 회전하는 각속도이다. 그리고 l_1 과 l_2 는 각각 이동로봇의 차체 크기와 관련된 상수로 Fig. 3의 $k/2$ 와 $h/2$ 와 같다. R 은 메카넘휠의 외경이다.

이 연구에서는 초음파센서로부터 획득한 이동로봇의 위치정보를 이용하여 계산된 목표 위치 및 방향과 현재 위치 및 방향 사이의 오차를 제어입력으로 설정하는 방법을 취한다. 즉, Fig. 3의 위치 및 오차에 해당하는 (x^*-x, y^*-y, ϕ) 를 식 (5)로 표현되는 역속도 기구학의 이동로봇 속도입력 (v_x, v_y, ω_z) 에 대응시키는 방법을 통하여 4개의 메카넘휠의 각속도를 생성한다. 식 (6)에서 표현된 바와 같이 단순한 P-제어 형태를 통해 2차원 평면의 3자유도 위치 및 방향 오차를 직접적으로 최소화하는 피드백 위치제어가 실현된다. 이 때 제어 게인은 시행착오적인 방법을 통하여 설정하였다 ($K_x = 1, K_y = 1, K_z = 0.02$).

$$\begin{aligned} v_{x'} &= K_x(x^* - x) \\ v_{y'} &= K_y(y^* - y) \\ \omega_{z'} &= K_z\phi \end{aligned} \quad (6)$$

이와 같이 생성된 속도신호는 식 (5)에 따라 각 바퀴의 속도로 변환되고 이 신호가 제어 입력이 되어 각 바퀴의 모터드라이브에 입력되도록 LabVIEW 코드가 구성된다. 특히 본 연구에서는 NI사의 모션모듈인 NI9512를 각 바퀴의 구동을 위하여 사용하고 있으며, LabVIEW 프로그램 내에서는 soft motion이라는 함수그룹이 사용되어 이 부분에 인가된 제어 입력이 NI9512와 연동되어 이동로봇이 제어된다.

기존의 전통적인 방식의 바퀴를 채용한 이동로봇의 경우 목표 위치 및 방향으로의 위치제어를 수행하기 위해서는 비홀로노믹 특성으로 인해 전후진 및 회전을 포함하는 다소 복잡한 경로생성 알고리즘이 추가로 요구되었다. 그리고 경로생성 알고리즘에 의해 이동하는 중간에 추가적으로 발생하는 오차에 대한 보상은 이루어지지 않았다. 그러나 전방향 이동로봇의 경우 모든 방향으로의 이동 및 회전이 즉각적으로 이루어지기 때문에 별도의 경로계획 없이 입력된 위치오차를 직접 줄이는 방향으로 제어가 이루어진다. 따라서 제어알고리즘이 매우 단순하고 직관적이며 최종 목표위치로 도달할 때까지 지속적인 제어가 실행된다.

4. 위치제어 알고리즘의 실험적 검증

제안된 위치제어 알고리즘을 검증하기 위하여 이 연구에서 개발된 전방향 이동로봇을 대상으로 다양한 실험이 수행되었다. 실험은 이동로봇이 최종목표로부터 X-Y방향 위치오차가 존재하는 경우, Z방향 회전오차가 존재하는 경우, 그리고 두 가지가 모두 존재하는

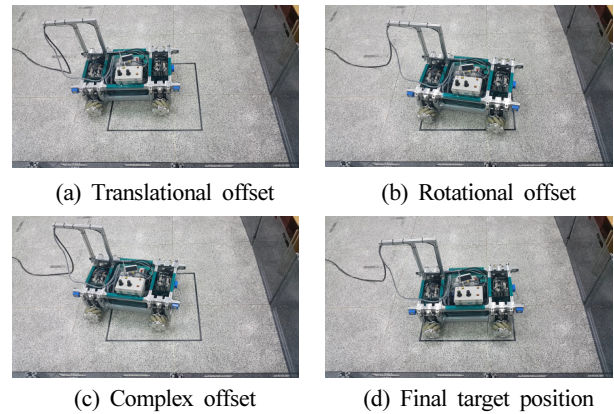
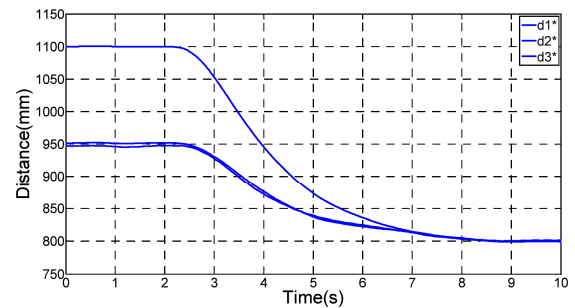
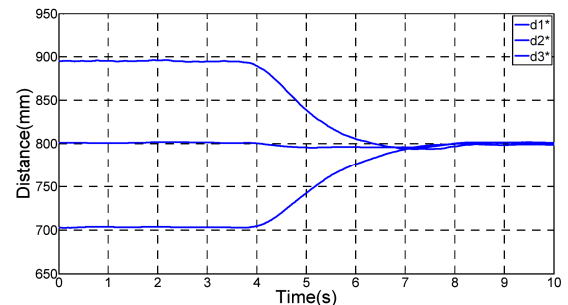


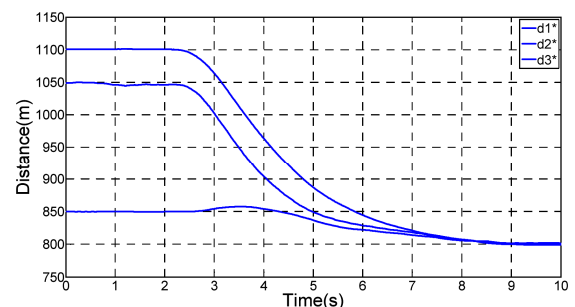
Fig. 6 Cases for position control and final target position



(a) Translational offset



(b) Rotational offset



(c) Complex offset

Fig. 7 Distance measured from the ultrasonic distance sensors for 3 cases

복합오차의 경우까지 총 3가지에 관하여 수행되었다. Fig. 6은 3가지 종류의 오차가 발생할 수 있는 상황에서의 이동로봇의 초기 자세와 최종 목표 위치 및 방향을 보여준다. 이 때 최종 목표 위치는

각 센서가 벽면으로부터 800 mm로 동일한 거리만큼 떨어진 지점 이고 따라서 목표 방향은 벽면과 기울어짐이 없는 0도이다.

Fig. 7은 위치제어가 수행되는 전체 시간동안 이동로봇에 부착 된 초음파센서로부터 획득된 센서별 거리정보를 보여준다. 여기서 $d1^*$, $d2^*$, $d3^*$ 는 Fig. 3에 표시한 3개의 초음파센서가 측정한 거리 이다. 이 그래프에서 센서의 초기값들은 이동로봇이 초기에 위치한 자세에 따라 각각 다른 값을 갖는다. 그러나 제어가 진행됨에 따라 모든 값이 800 mm로 수렴하는 양상을 보여주고 있다. 그리고 각 상황 별 이동로봇의 초기 위치 및 방향과 위치제어가 수행된 이후 이동로봇의 최종 위치 및 방향을 계산한 결과는 Table 2에 나타내 었다. 3가지 경우가 모두 이동로봇의 초기 위치는 다르지만 최종 위치는 (1,115 mm, 1,350 mm) 근처로, 최종 방향은 0도 근처로 동일하게 수렴하는 결과를 보여준다.

Fig. 8은 3가지 경우 중에서 위치 및 방향 오차를 모두 포함하는 경우에 관한 이동로봇의 중간 이동경로 및 방향을 그림으로 표현한 것이다. 우측 상단이 초기 위치 및 방향을 나타내는데 최종 목표 위치인(1,115 mm, 1,350 mm)로부터 약 (130 mm, 275 mm)만

큼 떨어져있고 각도 오차는 약 10도 가량 존재한다. 이 그림에서 이동로봇은 위치와 방향 오차가 동시에 감소하며 제어되는 현상을 보여준다. 이와 같이 2차원 평면상에서 위치와 방향을 포함하는 3 자유도에 관한 오차가 모두 존재하는 경우 제안된 전방향 이동로봇 은 홀로노믹한 이동 특성 때문에 단순한 피드백제어 기법과 거리센서 로부터 획득한 정보만으로 간단하고 직관적으로 위치오차를 감 소시키는 결과를 보여주었다.

5. 결론

이 연구에서는 메카넘휠에 기반을 둔 전방향 이동로봇에 관한 위치제어 알고리즘이 소개되고 이를 실험적으로 검증하는 작업이 수행되었다. 이동로봇의 위치를 인식하여 제어 피드백으로 사용하 기 위한 방안으로 복수개의 초음파센서가 사용되었고 이를 이동로 봇의 주변에 장착하고 위치 및 방향을 계산하기 위한 수식이 유도 되었다. 메카넘휠의 구조에 따른 전방향 속도생성 원리에 기반하여 메카넘휠의 각속도와 이동로봇의 선속도 사이의 순속도 기구학과 역속도 기구학이 전개되고 이를 바탕으로 전방향 이동로봇의 위치 제어 알고리즘이 제안되었다. 개발된 위치제어 알고리즘을 검증하 기 위한 다양한 실험을 수행하기 위하여 인공벽면으로 구성된 테스트베드가 마련되었다. 2차원 평면상에서 위치와 방향을 포함하는 3자유도 오차가 모두 존재하는 상황에서 기존의 전통적인 방식의 이동로봇이 별도의 경로계획 알고리즘을 추가적으로 요구하는 반면에, 전방향 이동로봇은 거리센서를 기반으로 한 단순한 피드백 위치제어 알고리즘만으로 목표 위치를 직접적으로 추종하는 결과 를 획득하였다.

Table 2 Experimental results of 3 cases for position control

Cases		Translational offset	Rotational offset	Complex offset
x (mm)	Initial position	1264.7	1097.7	1244.6
	Final position	1115.5	1114.5	1115.4
y (mm)	Initial position	1650.0	1331.3	1624.8
	Final position	1350.8	1351.2	1350.6
ϕ (deg)	Initial position	-0.2	9.8	10.1
	Final position	0.1	0.1	0.1

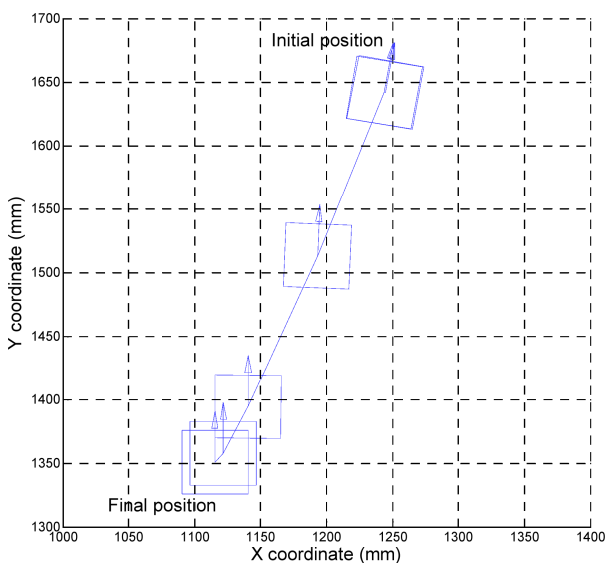


Fig. 8 Position and orientation from the initial position to final position of the complex offset case

후기

본 연구는 금오공과대학교학술연구비에 의하여 연구된 논문임.

References

- [1] Clark, S., Durrant-Whyte, H., 1998, Autonomous Land Vehicle Navigation Using Millimeter Wave Radar, Proceedings - IEEE International Conference on Robotics and Automation, 4 3697-3702.
- [2] Wang, L., Shu, J., Emura, T., Kumagai, M., 2000, A 3D Scanning Laser Rangefinder and its Application to an Autonomous Guided Vehicle, Vehicular Technology Conference Proceedings, 1 331-1178.
- [3] Muir, P. F., Neuman, C. P., 1987, Kinematic Modeling for Feedback Control of an Omnidirectional Wheeled Mobile Robot, Proceedings -

- IEEE International Conference on Robotics and Automation, 4
1172-1178.
- [4] Doroftei, I., Grosu, V., Spinu, V., 2007, Omnidirectional Mobile Robot
- Design and Implementation, Bioinspiration and Robotics: Walking
and Climbing Robots, I-Tech Education and Publishing, Vienna,
511-528.
- [5] Chu, B., Sung, Y. W., 2013, Mobile Performance Evaluation of a
Mecanum Wheeled Omni-directional Mobile Robot, Journal of the
Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, 23:4
374-379.
- [6] Jeong, J., Kwon, S. -J., Chu, B., Park, J., 2014, Unified-type Design and
Structural Analysis for Mecanum Wheel Performance Improvement,
Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers,
13:2 117-123.