

지자기 센서와 무선통신을 이용한 PMS의 스마트폰 인터페이스 구현

Implementation of a Smartphone Interface for a Personal Mobility System Using a Magnetic Compass Sensor and Wireless Communication

김연균* · 김동현**†

Yeongyun Kim, and Dong Hun Kim†

*경남대학교 첨단공학과, **경남대학교 전기공학과

† Department of Electrical Engineering, Kyungnam University

요 약

본 논문에서는 지자기센서와 스마트폰을 사용하여 개인이동시스템(PMS)을 구현한다. 지자기센서를 사용한 PMS 제어 시스템은 탑승자가 원하는 방향으로 스마트폰을 향하게 하면 PMS는 탑승자가 원하는 방향으로 이동한다. 본 논문에서 제안한 스마트폰 제어 PMS는 지자기센서를 사용함으로써 버튼 조작에 의한 제어보다 더 직관적으로 PMS를 제어하므로 사용자에게 더욱 편리한 인터페이스를 제공한다. 그리고, PMS에 장착된 모터의 기계적 특성을 보정하기 위하여 지자기센서가 사용되었다. 또한, 본 논문은 지자기센서 기반의 PMS의 제어방법으로 절대방향과 상대방향 제어방법을 제안한다. 실험 결과로서 제안된 두 가지 방법으로 지자기센서 기반의 PMS가 편리하고 효과적으로 제어되었다.

키워드 : 안드로이드, 스마트폰, 지자기센서, 개인이동시스템, 인터페이스.

Abstract

In the paper, a smartphone-controlled personal mobility system(PMS) based on a compass sensor is developed. The use of a magnetic compass sensor makes the PMS move according to the heading direction of a smartphone controlled by a rider. The proposed smartphone-controlled PMS allows more intuitive interface than PMS controlled by pushing a button. As well, the magnetic compass sensor makes a role in compensating for the mechanical characteristics of motors mounted on the PMS. For adequate control of the robot, two methods: absolute and relative direction methods based on the magnetic compass sensor and wireless communication are presented. Experimental results show that the PMS is conveniently and effectively controlled by the proposed two methods.

Key Words : Android, Smartphone, Compass Sensor, PMS, Interface.

1. 서 론

최근 스마트폰의 대중화로 인하여 많은 사람들이 일상생활

에서 스마트폰을 이용하여 보다 편리한 삶을 누리고 있다. 이와 더불어 스마트폰에 장착되어져 있는 가속도센서, 자이로센서, 카메라등과 같은 센서와 장치를 이용하여 로봇을 효과적으로 제어하는 연구가 많이 이루어지고 있다 [1-5]. 기존의 조이스틱과 같은 컨트롤러는 단지 로봇을 제어하기 위한 목적으로만 제작되고 사용된다. 또한, 기존의 연구되었던 대부분의 PMS는 기계적인 풀을 이용하여 PMS의 이동방향을 제어하였다[6-9]. 하지만, 로봇을 제어하기 위하여 스마트폰을 사용하는 경우에는 스마트폰에 장착되어져 있는 여러 가지 센서와 장치를 사용하기 때문에 별도의 무선제어기가 필요없게 된다. 스마트폰을 무선제어기로 사용하려면 어플리케이션(Application(App))이 필요하고, 어플리케이션은 소프트웨어이기 때문에 스마트폰에 설치하여 사용하면 된다.

기존의 스마트폰에 의해 제어되는 로봇은 대부분 버튼이

Received: Sep. 15, 2014

Revised : Dec. 13, 2014

Accepted: Feb. 4, 2015

† Corresponding author(dhkim@kyungnam.ac.kr)

본 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (2013R1A1A2005206).

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

나 조그셔틀 인터페이스를 채택하였다. 버튼 형식의 인터페이스[10-13]는 사용자가 누르기 편하도록 스마트폰의 화면에서 버튼의 위치를 고려하여야 한다. 버튼의 위치는 이동로봇을 제어하기 위하여 스마트폰 화면의 상·하·좌·우 중앙에 위치시키고, 인식되는 영역을 설정하였다[13]. 버튼의 인식영역을 설정함으로써 인하여 사용자는 버튼을 누르기 위하여 스마트폰의 화면을 확인하는 동작을 하는 경우가 발생할 수 있다. 조그셔틀(jog shuttle) 인터페이스에 의한 로봇 제어[14,15]는 조그(jog)의 위치와 영역을 고려하여야 한다. 저자의 논문 [15]에서는 PMS를 제어하기 위하여 조그셔틀 인터페이스를 채택하였다. 조그셔틀 인터페이스는 스마트폰 화면에 위치하고 있는 조그를 눌러서 원하는 방향으로 이동시켜야 한다. 그리고 이동된 조그가 지정된 영역의 안에 위치하지 않으면 원하는 명령은 PMS에 제대로 전달되지 못한다. 버튼이나 조그셔틀 인터페이스 두 방식 모두 사용자가 방향을 고려해서 버튼을 눌러야 하므로 직관적 인터페이스는 아니다.

지자기센서(magnetic compass sensor)는 지구의 자남(magnetic south)에서 자북(magnetic north)으로 형성되는 지구 자기장의 세기를 측정하여 자북을 기준으로 절대 방위각 정보를 제공한다. 지자기센서로부터 제공된 절대 방위각 정보는 지자기센서가 장착된 장치에서 일정하게 측정된다. 이러한 지자기센서의 특징을 이동로봇에 적용하면 이동로봇에 장착된 모터의 기계적 특성과 잘못된 바퀴의 정렬위치(wheel alignment)로 인하여 발생하는 비동기화(non synchronization) 문제점을 해결할 수 있다[15]. 따라서, 본 연구에서는 이러한 스마트폰의 편리성 때문에 스마트폰에 장착되어 있는 지자기센서를 이용하여 탑승자가 가고자하는 방향으로 스마트폰을 향하여 직관적으로 제어 가능한 PMS를 구현하려고 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 제안된 지자기센서 기반의 PMS의 시스템과 H/W에 대해 설명한다. 3장에서는 지자기센서 기반의 PMS 제어방법, 인터페이스, 통신방법에 대해 제안한다. 4장은 각도변화 장치와 탑승자에 의하여 PMS를 제어하는 실험 내용과 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론과 향후 연구방향에 대해 제시한다.

2. 문제정의

본 연구에서는 지자기센서의 방향정보를 이용하여 PMS에 탑승한 사람의 방향과 PMS의 방향을 일치시키는 방법으로 PMS를 제어한다. 그림 1 (a)와 같이 사용자가 PMS에 탑승하게 되면 사용자와 PMS는 바라보는 방향이 같게 된다. 탑승자는 손에 쥐고 있는 스마트폰의 좌·우 방향을 그림 1 (b)와 같이 가고자하는 방향으로 움직이면, PMS는 그림 1 (c)처럼 스마트폰이 향하는 좌·우 방향으로 움직인다. 이러한 원리를 이용하여 탑승자는 로봇을 원하는 방향으로 이동시킬 수 있다.

스마트폰을 이용한 로봇제어 연구는 대부분 스마트폰의 터치인터페이스를 이용한 버튼형식의 구조를 가진다. 버튼형식 기반의 터치인터페이스 로봇제어 시스템은 로봇에 원하는 제어명령을 전달하기 위하여 스마트폰의 화면의 버튼의 위치를 확인하고 버튼을 손가락으로 눌러야 한다. 이러한 버튼형식 기반의 터치인터페이스 로봇제어 시스템을

PMS에 적용할 경우에는 탑승자가 PMS에 탑승하여 원하는 방향으로 이동하기 위하여 버튼을 눌러야한다. 이러한 인터페이스는 직관적이지 않고, 좌·우 조정시 길게, 짧게 조절하는 점에서도 편리성을 제공하지 못한다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 스마트폰과 PMS의 지자기센서를 이용하여 탑승자가 이동 중에 스마트폰의 화면을 확인하지 않고, 이동로봇을 원하는 방향으로 안전하게 이동할 수 있는 PMS를 개발한다.

본 연구에서 제안하는 PMS는 탑승자의 안전을 위하여 스마트폰에 그림 1(b)와 같이 시작버튼을 넣어서 탑승자가 시작버튼을 누르지 않고 동작을 시킬 경우에는 PMS에 정지명령을 전송하여 탑승자가 스마트폰을 떨어뜨렸을 경우에 PMS의 오작동을 방지한다. 그리고, 탑승자가 PMS 어플리케이션을 실행하고 있을 때 전화가 오는 경우에는 PMS 어플리케이션이 강제종료되어 탑승로봇이 오작동할 수 있다. 이러한 경우를 방지하기 위하여 PMS 어플리케이션에 전화수신알림기능을 추가한다.

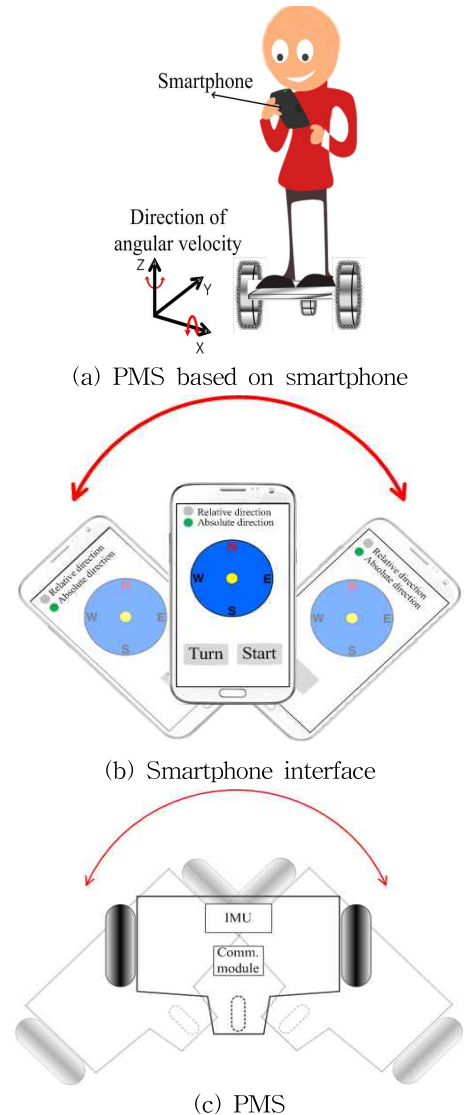
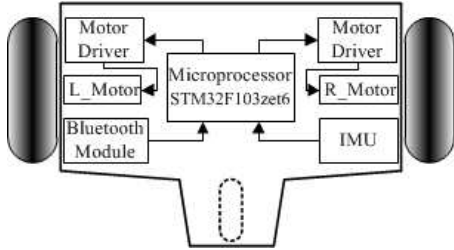
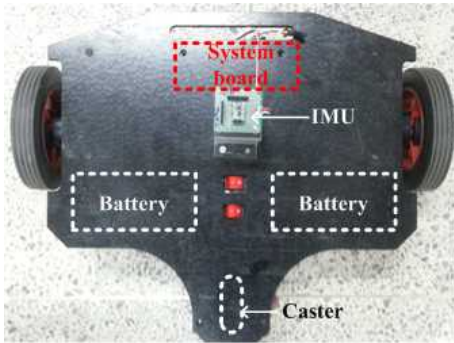


그림 1. 지자기센서를 이용한 인터페이스
Fig. 1. Interface based on compass sensor

PMS는 개인이 옮기기에 불편함이 없어야 한다. 탑승자가 PMS를 이용하여 실내나 실외에서 이동 중에 계단과 같이 PMS가 구동할 수 없는 지형에 직면할 수 있다. 탑승자는 혼자서 어려움 없이 이러한 지형을 벗어나야 한다. 따라서, 본 연구에서는 개인이 쉽고 간단하게 PMS를 옮길 수 있는 크기와 무게로 개발한다. 그림 2는 본 연구에서 제작한 PMS의 H/W 구조와 외관을 보여준다. 제작된 PMS는 저자가 조그서를 인터페이스를 사용한 스마트폰 제어연구[15]에서 사용된 로봇과 같다.



(a) H/W configuration



(b) Appearance of PMS

그림 2. 제작된 PMS

Fig. 2. Implemented PMS

표 1. 제안된 PMS의 H/W 구성

Table 1. Hardware configuration of Proposed PMS

H/W	model name	purpose
MCU	STM32F103zet6	system control
BLDC motor	BG90-S024300	wheel actuating
motor driver	SBDM-25A	BLDC motor control
Bluetooth module	ESD110	communication with smartphone
IMU	EBIMU-9 DOF	measurement of direction and ang. vel.

표 1은 PMS의 H/W 구성을 나타낸다. PMS의 MCU(Micro Controller Unit)는 32비트 마이크로 컨트롤러인 STM32F103zet6를 장착하여 통신패킷 분석과 모터 제어등과 같이 PMS를 전체적으로 제어하는 역할을 한다. 그리고 스마트폰과 통신을 위하여 블루투스 무선통신 모듈이 장착되었고, PMS가 바라보고 있는 절대방향을 알기위하여 지자기센서가 내장된 IMU(Inertial Matrix Unit)모듈을 장착하였다.

3. 로봇 모델 및 지자기센서 기반의 방향 제어

3.1 로봇 모델

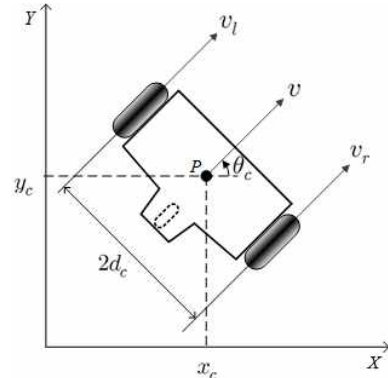


그림 3. 차등 구동 로봇 모델

Fig. 3. Differential drive robot model

본 연구에서 구현된 PMS는 그림 3과 같이 차등 구동 로봇 모델로 구성되어 있다. 차등 구동 로봇모델은 세 개의 벡터로 표현 된다. 여기서 세 개의 벡터는 현재 위치와 기준 프레임에 대한 방위각이다. P점에서 로봇의 바퀴가 지면에 대해 미끄러짐이 없다고 가정할 때 수식은 다음과 같다[16].

$$\Delta x_c \sin \theta_c - \Delta y_c \cos \theta_c = 0 \tag{1}$$

여기서, P는 양쪽 바퀴사이의 중심이고, Δx_c 와 Δy_c 는 x축과 y축 방향으로 변화한 거리를 의미한다. 그리고 θ_c 는 PMS의 회전각을 의미 한다. 이 자연적 제한은 적분 불가능하다. 즉 로봇 모델은 논홀로노믹 제한이 있다. 다시 말해 로봇은 곧 바로 한번에 x 또는 y 방향으로 이동할 수 없다. 로봇의 선속도 v와 각속도 ω 는 다음과 같다[16].

$$\Delta x_c \cos \theta_c + \Delta y_c \sin \theta_c = v, \Delta \theta_c = \omega \tag{2}$$

따라서, 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \Delta x_c \\ \Delta y_c \\ \Delta \theta_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_c & 0 \\ \sin \theta_c & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ \omega \end{bmatrix} \tag{3}$$

v와 ω 는 다음과 같이 구해진다.

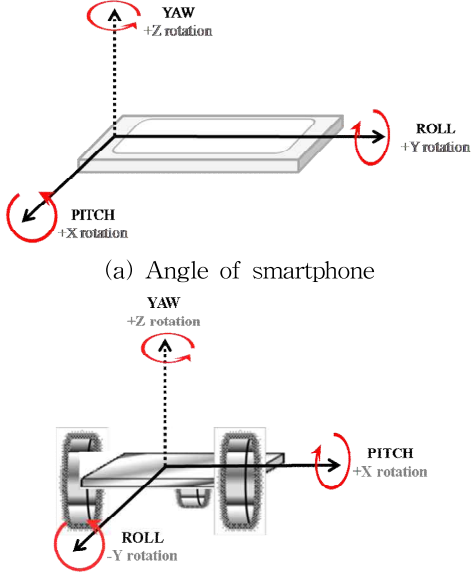
$$v = \frac{v_r + v_l}{2}, \omega = \frac{v_r - v_l}{2d_c} \tag{4}$$

여기서, v_l 과 v_r 은 각각 왼쪽과 오른쪽 모터의 PWM(Pulse Width Modulation)값이고 $2d_c$ 는 PMS의 양쪽 바퀴 사이의 수평거리이다.

스마트폰에 의해 제어되는 PMS는 스마트폰으로부터 수신한 통신패킷에 포함된 명령에 의해 PMS에 장착된 양쪽

모터를 제어한다. 본 연구에서 PMS의 제어는 지자기센서 기반의 절대방향 제어와 상대방향 제어로 나누어진다.

3.2 지자기센서 기반의 절대방향 제어

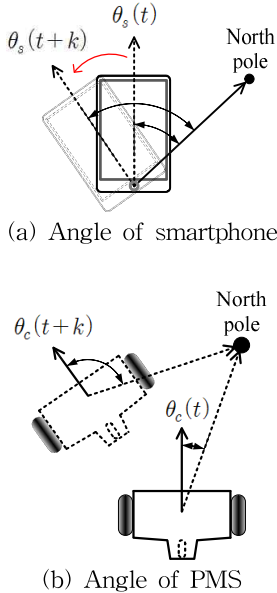


(a) Angle of smartphone
(b) Angle of PMS

그림 4. 스마트폰과 PMS의 방향각

Fig. 4. Heading angles of a smartphone and PMS

그림 4는 스마트폰과 PMS의 방향각을 보여준다. 스마트폰과 PMS에서 측정된 지자기센서의 측정값은 그림 4의 Y 축과 지구의 자기 북극점 사이의 각도이며, 요우(YAW)인 Z축을 기준으로 한 회전 각도이다. 스마트폰의 요우는 값이 변화할 때마다 지자기센서에 의하여 측정되고, PMS의 요우는 IMU에 장착되어진 지자기센서에 의하여 30[ms]마다 측정되어진다.



(a) Angle of smartphone
(b) Angle of PMS

그림 5. 절대방향 제어에서 방향제어를 위한 방향각
Fig. 5. Angle direction in absolute direction control.

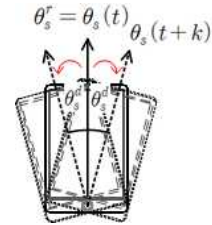
지자기센서 기반의 절대방향 제어는 자기북극을 기준으로 한 지자기센서의 측정값인 방향각을 이용하여 스마트폰의 방향각에 PMS의 방향각을 같도록 PMS를 제어하는 것이다. PMS에 서있는 탑승자가 스마트폰을 이용하여 PMS가 원하는 방향으로 이동하기 위하여 제어할 때에는 스마트폰의 화면에 표시되어진 시작 버튼에 손가락을 놓고, 원하는 방향으로 스마트폰을 좌·우로 회전시키면 스마트폰은 그림 5(a)와 같이 스마트폰의 지자기센서로 부터 자기 북극을 기준으로 한 절대방향각인 θ_s 를 측정한다. θ_s 는 명령패킷에 포함되어 100[ms] 간격으로 블루투스 무선통신을 통하여 PMS에 전달한다. PMS는 스마트폰으로부터 수신한 명령패킷을 분석하여 θ_s 를 파싱(parsing)한다. PMS는 스마트폰으로부터 수신한 절대방향각 θ_s 와 PMS 자신의 절대방향각 θ_c 을 일치시키기 위하여 양쪽에 장착되어진 모터를 구동한다. 지자기센서 기반의 절대방향 제어를 위한 양쪽 모터속도 v_l 과 v_r 은 다음과 같이 설계한다.

$$\begin{aligned} v_l &= s_m + k_p(\theta_s - \theta_c) \\ v_r &= s_m + k_p(\theta_s + \theta_c) \end{aligned} \quad (5)$$

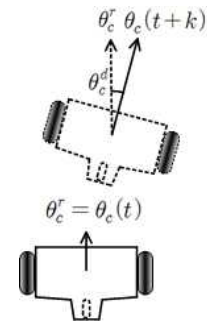
여기서, s_m 은 PMS의 전진을 위한 속도 값이고, $k_p(\theta_s \pm \theta_c)$ 는 PMS의 절대방향각에 대한 비례제어기이다. k_p 는 로봇의 방향에 대한 비례상수이다.

PMS는 출발과 정지 시에 탑승자의 안전을 위하여 800[ms]동안 PMS의 전진 입력 속도인 s_m 을 8단계로 나누어서 증가시키거나 감소시킨다.

3.3 지자기센서 기반의 상대방향 제어



(a) Angle of smartphone



(b) Angle of PMS

그림 6. 상대방향 제어에서 방향제어를 위한 방향각
Fig. 6. Angle direction in relative direction control.

지자기센서 기반의 상대방향 제어는 절대방향 제어와 달리 스마트폰에 장착된 지자기센서의 측정 변화값을 PMS에

전송하여 PMS가 스마트폰의 지자기센서 변화 값만큼 방향을 전환한다. 그림 6 (a)는 PMS의 상대방향 제어를 위한 스마트폰의 방향각을 보여준다. PMS에 탑승한 탑승자가 시작버튼을 누르면, 스마트폰은 탑승자가 시작버튼을 처음 누른 순간 스마트폰의 지자기센서 측정값을 기준방향 θ_s^r 으로 정한다. 스마트폰은 기준방향으로 정해진 θ_s^r 과 100[ms] 간격으로 측정되어진 스마트폰의 지자기센서 측정값인 θ_s 와 비교한 각도값인 θ_s^d 를 통신패킷에 포함시켜서 PMS에 전송한다.

그림 6 (b)는 상대방향 제어방법으로 PMS를 제어하는 경우에 PMS의 방향각 변화를 보여준다. PMS의 모터속도 v_l 과 v_r 은 다음과 같이 설계한다.

$$\begin{aligned} v_l &= s_m + k_p(\theta_s^d - \theta_c^d) \\ v_r &= s_m + k_p(\theta_s^d + \theta_c^d) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서, $k_p(\theta_s^d \pm \theta_c^d)$ 는 PMS의 상대방향각에 대한 비례제어기이다. θ_s^d 는 스마트폰으로부터 수신한 스마트폰의 상대방향각으로 $\theta_s^d = \theta_s^r - \theta_s(t+k)$ 이다. 그리고, θ_c^d 는 PMS의 상대방향각으로 $\theta_c^d = \theta_c^r - \theta_c(t+k)$ 이다.

PMS를 상대방향 제어방법으로 제어 할 경우, PMS는 스마트폰으로부터 수신한 통신패킷에서 명령모드와 θ_s^d 를 파악한다. 상대방향 제어 명령을 처음 수신한 PMS는 PMS에 장착된 지자기센서의 측정값인 θ_c 를 PMS의 기준각인 θ_c^r 로 정한다. PMS는 매 스텝마다 기준각인 θ_c^r 과 PMS의 방향각인 θ_c 를 비교하여 θ_c^d 를 구하고, θ_s^d 와 θ_c^d 를 이용하여 양쪽 모터의 속도를 정한다.

3.4 통신패킷

본 연구는 스마트폰에서 PMS에 일정한 시간 간격으로 명령을 송신하여 PMS를 제어한다. PMS를 제어하는 통신패킷은 그림 7과 같이 구성된다. 여기서 사각형 한 개는 1 바이트를 의미한다. 첫 번째 바이트는 "#", "\$", "&", "%", 또는 "!" 문자로 동작모드를 의미한다. "#"은 절대방향 이동모드, "%"는 절대방향 회전모드, "\$"는 상대방향 이동모드, "&"는 상대방향 회전모드, 그리고 "!"는 정지모드이다. 나머지 1 바이트는 방향각을 의미한다. 방향각은 절대와 상대방향 모드에 따라 의미가 다르다. 방향각은 절대방향 모드에서 360°를 0 ~ 180 사이의 값으로 나타내고, 상대방향 모드에서는 기준각과 현재 방향각의 차이를 0 ~ 180 사이의 값으로 나타낸다.

Mode	Direction
#, \$, &, %, or !	

그림 7. 통신패킷
Fig. 7. Communication packet

4. 실험 결과

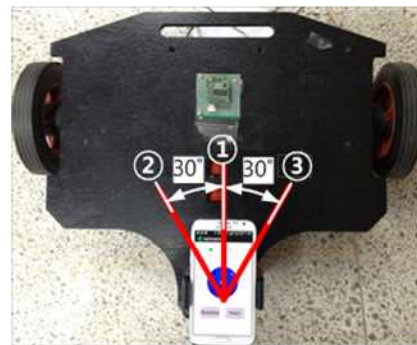
스마트폰과 지자기센서 기반의 PMS 제어 실험은 3장에서 설명된 절대방향과 상대방향 제어방법을 이용하여 각도 변화장치를 이용한 제어와 탑승자에 의한 제어로 실험을 진행하였다. 본 연구에서 제작된 PMS의 직진속도는 30 ~ 90 [cm/s]로 설정하였다.

4.1 각도 변화장치를 이용한 실험

각도 변화장치에 의한 PMS 제어는 그림 8과 같이 PMS에 PMS가 바라보는 방향을 기준으로 좌측과 우측으로 30° 범위 안에서 스마트폰의 방향을 변화 시켜서 PMS를 이동시킨다. 실험에서 제안된 각도 변화장치는 로보티즈사의 RX-10 서보모터와 CM-700 제어기로 구성되어 있고, 그림 8과 같이 PMS와 스마트폰 거치대에 연결되어 있다. 스마트폰은 블루투스 무선통신을 통하여 PMS와 통신하며, 스마트폰의 회전 각도가 PMS에 무선으로 전달되어 PMS를 움직인다.



(a) Side



(b) Upper side

그림 8. 각도변화 장치

Fig. 8. Equipment for varying angles.

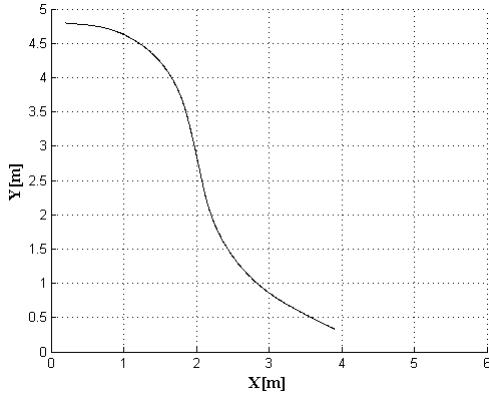
각도 변화장치에 의한 스마트폰의 방향각은 그림 8의 PMS가 바라보는 방향 ①에서 26.6°/sec의 회전속도로 좌측 ②로 30°를 회전하여 2초 동안 방향각을 유지한 후, 26.6°/sec의 회전속도로 우측 ③으로 60° 회전한 후 2초 동안 방향각을 유지한다. 그리고, 각도 변화장치는 26.6°/sec의 회전속도로 PMS의 바라보는 방향 ①로 30° 회전한 후 정지한다.

그림 9 (a)와 (b)는 각도 변화장치를 PMS에 장착하여 절대방향 제어 방법에 대하여 실험한 PMS의 이동궤적이

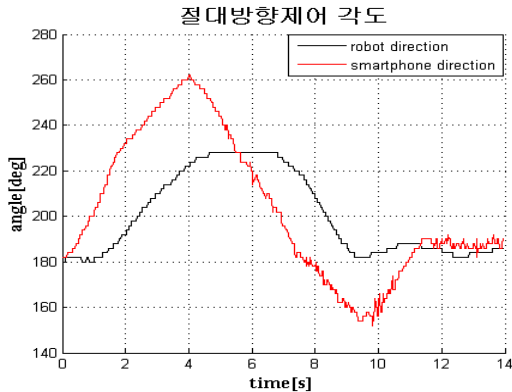
다. 그림 9(c)는 그림 9(a)와 같이 사인 형태의 궤적으로 움직일 때 실험에서 획득한 PMS와 스마트폰에 장착된 지자기 센서의 방향각에 대하여 보여준다. PMS와 스마트폰은 시작할 때 같은 방향을 향하도록 설정하였다. 하지만, 그림 9(c)에서 PMS와 스마트폰의 지자기센서로부터 획득한 시작 부분의 각도는 8° 차이가 있는 것을 알 수 있다. 절대방향 제어방법에서 PMS와 스마트폰의 방향각 차이는 PMS를 제어할 때 오작동을 발생 시킬 수 있다. 본 연구에서는 이러한 오작동을 발생하지 않게 하기 위하여 스마트폰의 방향각이 PMS의 방향각과 좌·우측으로 5° 차이 이내는 직진명령으로 인식하게 하였다. 실험의 결과로서, 본 논문에서 제안한 절대방향 제어방법은 이러한 각도 차이에 의한 오작동을 방지할 수 있었다.



(a) Snapshot of experiment



(b) Moving trajectory by encoder



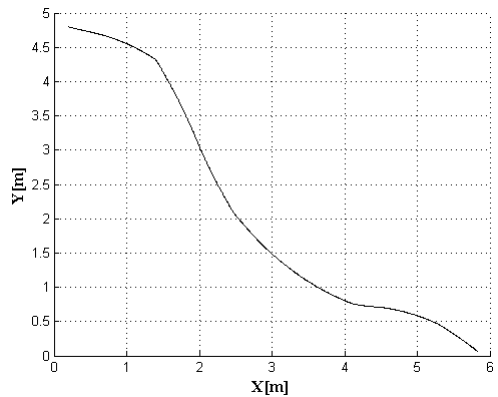
(c) Heading angle of smartphone and PMS

그림 9. 각도변화 장치에 의한 절대방향 제어결과
Fig. 9. Result of absolute direction control by an equipment for varying angles.

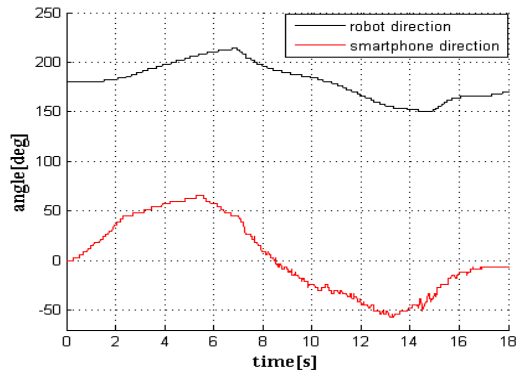
그림 10 (a)와 (b)는 각도 변화장치를 장착하여 상대방향 제어 방법에 의하여 실험한 PMS의 이동궤적이다. 그림 10(c)는 그림 10 (a)와 같이 사인 형태의 궤적으로 움직일 때 실험에서 획득한 PMS와 스마트폰에 장착된 지자기센서의 방향각을 보여준다. 상대방향 제어방법은 PMS와 스마트폰 각각의 기준각에서 현재의 방향각 차이를 비교하여 PMS를 제어한다. 절대방향 제어방법에서 생길 수 있는 PMS와 스마트폰의 방향각 차이에 의한 오작동은 특별한 조정(setting)없이도 방지할 수 있다. 그림 10(c)에서 PMS의 방향각이 스마트폰의 기준각과 비교하였을 때 유사한 각도차이 변화로 동작하는 것을 알 수 있다.



(a) Snapshot of experiment



(b) Moving trajectory by encoder



(c) Heading angle of smartphone and PMS

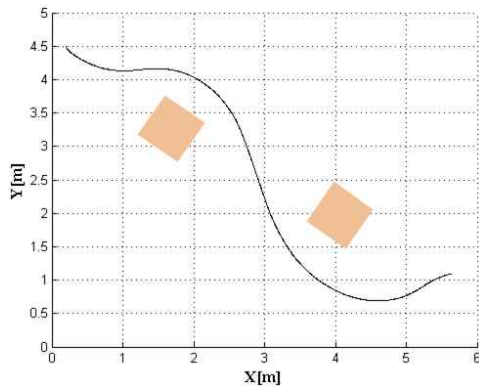
그림 10. 각도변화 장치에 의한 상대방향 제어결과
Fig. 10. Result of relative direction control by an equipment for varying angles.

4.2 탑승자에 의한 실험

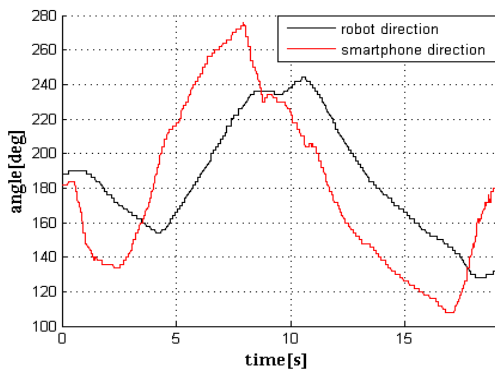
탑승자에 의한 PMS 제어는 그림 11 (a)와 같이 탑승자가 PMS에 탑승하여 원하는 방향으로 스마트폰을 향하게 하여 PMS가 원하는 방향으로 이동시킨다. 탑승자에 의한 PMS 제어실험은 각도 변화장치에 의한 실험과 같은 환경에서 절대방향과 상대방향 제어방법으로 진행하였다.



(a) Snapshot of experiment



(b) Moving trajectory by encoder



(c) Heading angle of smartphone and PMS

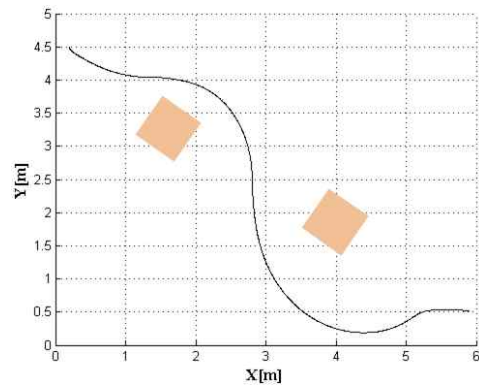
그림 11. 탑승자에 의한 절대방향 제어결과
Fig. 11. Result of an absolute direction control by a rider.

그림 11(b)는 절대방향 제어방법을 이용하여 탑승자가 PMS에 탑승하여 PMS를 그림 11(a)처럼 두 개의 장애물을 회피하며 이동한 PMS의 이동궤적이다. 그림 11(b)는 PMS와 스마트폰 간의 방향각 오차가 있음에도 불구하고, 절대방향 제어방법을 이용하여 PMS를 원하는 방향으로 이동시킬 수 있음을 보여준다. 그림 11(c)는 PMS와 스마트폰의 방향각을 보여준다.

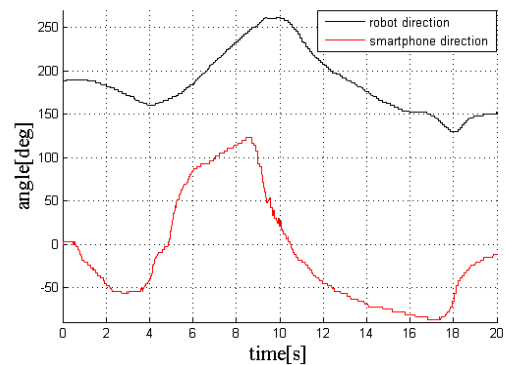
그림 12는 상대방향 제어방법을 이용하여 절대방향 제어방법과 같이 탑승자가 두 개의 장애물을 회피하며 PMS를 원하는 방향과 위치로 이동시킨 이동궤적을 보여준다. 그림 12(b)를 통하여 상대방향 제어방법을 이용하여 PMS를 장애물을 회피하며 원하는 방향과 위치로 이동시킬 수 있음을 알 수 있다. 그림 12(c)는 PMS가 이동할 때, PMS의 방향각과 스마트폰의 기준각과 비교한 스마트폰의 각도 차이 값을 보여준다.



(a) Snapshot of experiment



(b) Moving trajectory by encoder



(c) Heading angle of smartphone and PMS

그림 12. 탑승자에 의한 상대방향 제어결과
Fig. 12. Result of a relative direction control by a rider.

두 가지 제어방법을 통하여 얻어진 실험결과에서는 그림 11(c)와 그림 12(c)가 보여주듯이 상대방향을 이용한 제어방법이 더 쉽게 PMS를 제어할 수 있음을 보여준다. 즉, 사용자의 스마트폰 각도제어에 대하여 PMS가 더 유사하게 반응하여 사용자에게 더 효과적인 인터페이스를 제공하였다. 그리고, 본 연구에서 제안된 두 가지 제어방법은 실험결

과인 그림 11과 그림 12에서 보여주듯이 방향각 1° 이내의 정밀제어는 힘들지만 탑승자가 장애물을 회피하며 원하는 위치와 방향으로 이동할 수 있음을 알 수 있다.

절대방향 제어방법에서 PMS의 직진이동은 스마트폰과 PMS의 절대방향각을 일치하게 제어하므로 절대방향각에 대한 의존도가 높아서 스마트폰과 PMS의 절대방향각 오차로 인한 오작동이 발생하였다. 상대방향 제어방법은 스마트폰과 PMS의 기준각이 서로 다르게 설정된다. 서로 다르게 설정된 각각의 기준각은 스마트폰과 PMS의 방향각 오차를 보정하였다. 따라서, 상대방향 제어방법에서 PMS의 직진이동은 절대방향에서 발생하던 오작동이 현저히 적게 발생하였다. 그리고, 두 가지 제어방법 모두 지자기센서를 사용함으로써 모터의 기계적 특성과 잘못된 바퀴의 정렬위치로 인하여 발생하는 비동기화 문제점을 보정하였다.

5. 결론

본 연구에서는 스마트폰과 PMS의 지자기센서를 사용하여 PMS를 구현하였다. 지자기센서를 사용한 PMS 제어는 탑승자가 원하는 방향으로 스마트폰을 향하게 하면 PMS는 탑승자가 원하는 방향으로 이동한다. 본 논문에서 제안된 스마트폰의 지자기센서를 이용한 탑승형 로봇의 무선제어는 처음으로 시도된 연구로서, 지자기센서를 사용함으로써 버튼 조작에 의한 제어보다 더 직관적으로 PMS를 제어하므로 사용자에게 더욱 편리한 인터페이스를 제공할 수 있었다. 본 연구에서 개발된 PMS는 공장이나 공항과 같은 넓은 지역에서 개인이 신속하게 이동해야 하는 경우에 사용할 수 있다. 향후 연구계획은 스마트폰에서 지원하는 구글맵과 GPS를 사용하여 실외에서 사용자가 개입하여 제어가능한 반자율 주행모드를 개발하는 것이다.

References

- [1] B. S. Kwak, J. H. Lee, "Smartphone Application Interface for Intelligent Human-Robot Interactions" *Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol. 37, pp. 399-403, 2010.
- [2] H. F. Chen, C. Y. Chiang, S. J. Yang, and C. C. Ho, "Android-based patrol robot featuring automatic license plate recognition," *Computing, Communications and Applications Conf (ComComAp)*, pp. 117-122, 2012.
- [3] J. C. Yepes, J. J. Yepes, J. R. Martinez, and V. Z. Perez, "Implementation of an Android based tele-operation application for Controlling a KUKA-KR6 robot by using sensor fusion," *Health Care Exchanges (PAHCE)*, pp. 1-5, 2013.
- [4] H. Jung, and D. H. Kim, "Study of iPhone Interface for Remote Robot Control Based on WiFi Communication," *Journal of Korean Institute of intelligent Systems*, vol. 22, no. 5, pp. 669-674, 2012.
- [5] H. Jung, and D. H. Kim, "Control of a Mobile Robot Based on a Tangible Interface using iPhone," *Journal of Korean Institute of intelligent Systems*, vol. 21, no. 3, pp. 335-340, 2011.
- [6] S. C. Lin, C. C. Tsai, and H. C. Huang, "Adaptive robust self-balancing and steering of a two-wheeled human transportation vehicle," *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 62, pp. 103-123, 2011.
- [7] T. Schamm, M. Strand, T. Gump, R. Kohlhaas, J. Zollner, and R. Dillmann, "Vision and ToF-based driving assistance for a personal transporter," *International Conf on Advanced Robotics*, pp. 1-6, 2009.
- [8] T. Takei, O. Matsumoto, and K. Komoriya, "Simultaneous estimation of slope angle and handling force when getting on and off a human-riding wheeled inverted pendulum vehicle," *IEEE/RSJ International Conf on Intelligent Robots and Systems(IROS)*, pp. 4553-4558, 2009.
- [9] M. Fiacchini, A. Viguria, R. Cano, A. Prieto, F. R. Rubio, J. Aracil, and C. Canudas-de-Wit "Design and experimentation of a personal pendulum vehicle", *Proc. 7th Portuguese Conf. Autom. Control*, pp. 11-13, 2006.
- [10] Y. H. Jeon and H. Ahn, "A multimodal ubiquitous interface system using smart phone for human-robot interaction," *8th International Conf on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, pp. 764-767, 2011.
- [11] B. H. Lee, S. H. An, and D. R. Shin, "A remote control service for OSGi-based unmanned vehicle using smartphone in ubiquitous environment," *Third International Conf on Computational Intelligence, Communication Systems and Networks (CICSyN)*, pp. 158-163, 2011.
- [12] H. K. Oh, and I. C. Kim, "Hybrid control architecture of the robotic surveillance system using smartphones," *8th International Conf on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI)*, pp. 782-785, 2011.
- [13] Q. Wang, W. Pan, and M. Li, "Robot's remote real-time navigation controlled by smart phone," *IEEE International Conf on Robotics and Biomimetics (ROBIO)*, pp. 2351-2356, 2012.
- [14] N. Abaid, J. Bernhardt, J. A. Frank, V. Kapila, D. Kimani, and M. Porfiri, "Controlling a robotic fish with a smart phone," *Mechatronics*, vol. 23, pp. 491-496, 2013.
- [15] Y.G. Kim, D. H. Kim, "Development of a Personal Riding Robot Controlled by a Smartphone Based on Android OS" *Institute of Control, Robotics and Systems*, vol. 19, no. 7, pp. 592-598, 2013.
- [16] Dong Hun Kim, "Self-organization of Unicycle Swarm Robots Based on a Modified Particle Swarm Framework," *International Journal of Control, Automation and Systems*, vol. 8, no. 3, pp. 622-629, Jun. 2010.

저 자 소 개



김연균(Yeon-Gyun Kim)

2009년 : 경남대학교 전기전자공학부
공학사
2012년 : 경남대학교 대학원 첨단공학과
공학석사.
2012년 ~ 현재 : 경남대학교 대학원
첨단 공학과 박사과정.

관심분야 : 지능제어, 스웜로보틱스.
Phone : +82-10-2787-5025
E-mail : grantkyg@gmail.com



김동현(Dong Hun Kim)

2001년 : 한양대학교 전기공학과 공학박사
2001년~2003년 : 미국 듀크대학교 연구원
2003년~2004년 : 미국 보스턴대학교
연구원
2004년~2005년 : 일본 동경대학교 박사 후
과정
2012년~2013년 : 영국 에식스대학교
방문교수.

2005년~현재 : 경남대학교 전기공학과 교수.

관심분야 : 스웜 시스템, 이동로봇 경로계획, 지능로봇 제어.
Phone : +82-55-249-2629
E-mail : dhkim@kyungnam.ac.kr