

논문 2022-17-16

# 임베디드 보드 기반의 교육용 차동 구동 로봇 플랫폼 개발 (Development of Embedded Board-based Differential Driving Robot Platform for Education)

최현주, 이동현\*

(Hyeon-Ju Choi, Dong-Hyun Lee)

Abstract : This paper proposes a mobile robot platform for education that can experiment with various autonomous driving algorithms such as obstacle avoidance and path planning. The platform consists of a robot module and a remote controller module, both of which are based on the Arduino Nano 33 IoT embedded board. The robot module is designed as a differential drive type using two encoder motors, and the speed of the motor is controlled using PID control. In the case of the remote controller module, a command to control the robot platform is received with a 2-axis joystick input, and an elliptical grid mapping technique is used to convert the joystick input into a linear and angular velocity command of the robot. WiFi and Zigbee are used for communication between the robot module and the remote controller module. The proposed robot platform was tested by measuring and comparing the linear velocity and angular velocity of the actual robot according to the linear velocity and angular velocity commands of the robot generated by the input of the joystick.

Keywords : Educational mobile robot platform, A differential driving robot, PID control, Joystick mapping

## I. 서론

교육용 모바일 로봇 플랫폼은 모바일 로봇 시스템의 구조, 모터 제어기법 학습뿐 아니라 장애물 회피, 경로 추정 등의 자율주행 알고리즘 학습 및 성능 테스트 등의 용도로 활용할 수 있다. 본 논문에서는 IoT 기반의 저가형 임베디드 보드인 아두이노 33 IoT를 활용한 차동 구동형 모바일 로봇 플랫폼을 제안한다. 차동 구동 로봇 플랫폼에 사용되는 차동 구동 구조는 좌우 구동바퀴 각각의 회전수를 같거나 다르게 하여 직진이나 좌회전 및 우회전을 할 수 있도록 한다. 선회시 안쪽 바퀴의 회전 속도를 줄이고 바깥쪽 바퀴의 회전 속도를 높임으로써 선회가 가능하다 [1, 2].

아두이노는 저렴한 가격과 높은 접근성으로 공학 프로그래밍 교육에서 많이 활용된다. 이러한 아두이노를 활용한 C 언어 교육, 주어진 센서로 프로젝트를 진행하는 수업 등을 통해 프로그램에 흥미와 학습 효율을 높인다는 연구결과가 있다 [3, 4]. 하지만 아두이노를 활용한 모바일 로봇 플랫폼 개발과 관련된 자료가 부족하여 교육 및 실험을 목적으로 한 모바일 로봇 플랫폼의 설계 및 구현에 어려움이 있다 [5]. 차동구동 원리가 적용된 교육용 로봇 플랫폼으로 마인드스톱이나 아두이노 보드 등이 활용되어 제작되었다 [6, 7]. 아두이노를 이용한 로봇 플랫폼 제작하기보다 IoT 공기청정

기, 드론배송 무인 수취함 등 로봇 제작과는 다른 프로젝트이기 때문에 로봇 설계, 제작 과정을 기술한 자료가 부족하여 구현의 어려움이 있다 [8]. 또한 기존 연구는 UI시스템, 응용프로그램의 구조 등을 중심으로 기술되어 로봇 플랫폼 구현에 대한 로봇 스펙, 제작에 대한 구체적인 내용이 나오지 않아 로봇 플랫폼 제작에 참고하기에 부족한 부분이 있다 [9]. 이 연구는 로봇 스펙과 제작 과정에 대한 내용을 상세히 기술하였고 아두이노 나노 33 IoT를 중심으로 접근성이 높은 저가형 상용 모듈들을 활용하여 무선통신이 가능한 교육용 차동 구동형 로봇 플랫폼을 개발한다.

본 논문은 아두이노 나노 33 IoT, L298N 모터 드라이버, 레귤레이터, DC모터를 사용한 저가형 교육용 모바일 로봇 플랫폼 구조 설계법을 제안한다. IoT를 구현하기 위한 통신 칩은 ESP32기반으로 만들어진 NINA W102 칩을 사용하여 WIFI, 및 Bluetooth 통신이 가능하다. 또한, 저전력 디지털 라디오를 이용하여 통신망 구성이 가능한 ZigBee 모듈을 활용할 수 있도록 설계하였다. 로봇 모듈에서 바퀴의 제어를 위하여 PID 기법을 사용하였으며, 제어를 위한 임베디드 컨트롤러로 아두이노를 사용하여 제작하였다.

## II. 로봇 플랫폼 설계 및 제작

### 1. 로봇 플랫폼의 설계 및 제작

본 논문에서 제안하는 교육용 로봇 플랫폼은 로봇 모듈, 원격 조종 모듈 두 가지로 나뉜다. 로봇 모듈은 하드웨어를 구성하는 모듈과 인코더를 부착한 DC 모터, ZigBee 모듈로

\*Corresponding Author (donglee@kumoh.ac.kr)  
Received: Oct. 15, 2021. Revised: Nov. 10, 2021, Accepted: Dec. 9, 2021.  
H.J. Choi: Kumoh National Institute of Technology (B.S)  
D.H. Lee: Kumoh National Institute of Technology (Assoc. Prof.)  
※ 이 연구는 금오공과대학교 대학 학술연구비로 지원되었음 (2021).

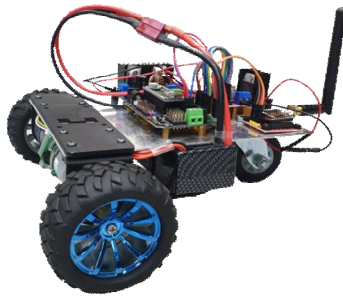


그림 1. 교육용 로봇 플랫폼  
Fig. 1. An educational robot platform

구성된다. 원격 조종 모듈은 로봇 모듈에 선속도와 각속도를 송신하기 위한 통신 모듈과 조이스틱 모듈 및 SAMD21 마이크로 컨트롤러로 구성된다. 하드웨어 설계 시 최소한의 모듈을 사용하도록 구성하였고 소프트웨어 설계 시 조이스틱의 입력 명령을 로봇 제어 값으로 변환하기 위한 추가적인 맵핑 방법에 중점을 두었다. 전체 부품 가격은 231,261원으로 비슷한 구성의 자율주행 키트에 비해 5%~35% 저렴한 가격이다.

그림 1과 같이 로봇 플랫폼은 알루미늄 판 상부에 아두이노 나노 33 IoT, 레귤레이터, L298N 모터 드라이버가 장착되어 있으며, 하부에는 DC 모터와 캐스터 휠 및 배터리가 장착되어 있다. 하부에 부착된 배터리는 3셀의 리튬 폴리머 배터리이며 11.1V 및 6000mAh의 출력을 제공한다. L298N 모터드라이버는 두 개의 양방향 DC모터를 구동하고, 최대 2A의 출력 전류를 공급하며, 회로 보호를 위해 고속의 쇼트 다이오드를 포함한다. XL4016E1 DC-DC 스텝 다운 레귤레이터 모듈은 배터리의 전류를 3.3V로 변환시켜 아두이노 나노 33 IoT에 공급한다. GB38-3530 모터는 448CPR의 광학 인코더가 부착되어 있으며 무부하 속도는 585rpm/min 이다. 또한 장착된 기어박스의 기어비는 1:18이다.

아두이노 나노 33 IoT는 저전력 아키텍처와 결합된 WiFi 및 Bluetooth 연결 기능을 갖추고 있어 저비용 고효율적인 임베디드 보드이다. 이 보드의 마이크로 컨트롤러는 Arm Cortex-M0+ 기반의 SAMD21이며, ESP32 기반 WiFi 및 Bluetooth 모듈, 6축 관성 측정 장치 (IMU) 및 암호화 칩을 포함한다. WiFi 및 Bluetooth 연결은 저소비전력 칩셋인 u-box의 모듈인 NINA-W10에서 실행된다. 또한, Microchip@ECC608 암호 칩을 통해 안전한 통신이 보증된다.

WiFi 및 Bluetooth에서의 통신은 NINA W102 ESP32 기반 모듈에 의해 관리된다. 모듈은 핀을 통해 SPI BUS 및 직렬 포트가 있는 SAMD21 마이크로 컨트롤러에 연결된다.

2. 로봇 플랫폼 하드웨어 구성

그림 2는 로봇 플랫폼을 구성하는 모듈의 하드웨어 구조이다. 교육용 로봇 플랫폼은 로봇 모듈과 원격 조종 모듈로 나뉜다. 로봇 모듈의 전력은 배터리에서 11.1V-6000mAh를 모터 드라이버와 레귤레이터에 공급한다. 레귤레이터는 12V

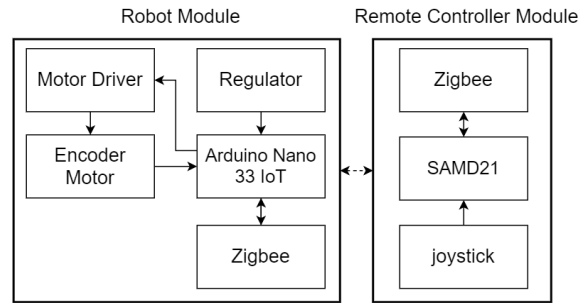


그림 2. 교육용 로봇 플랫폼의 하드웨어 구조  
Fig. 2. Hardware structure of the educational robot platform

표1. 로봇 플랫폼 상세 사양  
Table 1. Detailed specifications for robot platforms

	Robot Platform
Size (L x W x H)	220 x 210 x 80 mm
weight	1.2kg
Radius of a robot	90mm
Radius of the wheel	40mm
Battery	Lithium Polymer Battery 11.1V-6Ah
Maximum line speed	0.8m/s
Maximum angular speed	8.9rad/s
Communication interface	WiFi, Bluetooth, ZigBee, UART, I2C, SPI

를 3.3V로 변환시켜 아두이노 나노 33 IoT에 공급한다. 또한 라즈베리파이나 NVIDIA 젯슨 보드와 같은 싱글 보드 컴퓨터의 구동을 위한 전원 공급으로 활용이 가능하다. 모터 드라이버는 인코더 모터에 연결 되어 전원을 인가하고 아두이노 나노 33 IoT와 연결되어 PWM 신호에 따라 모터를 구동한다. 로봇 모듈의 아두이노 나노 33 IoT는 ZigBee, Bluetooth 또는 Wi-Fi를 통해 원격 조종 모듈과 무선통신을 한다. 원격 조종 모듈로부터 수신한 로봇의 선속도와 각속도는 아두이노 나노 33 IoT에서 좌우 인코더 모터의 속도로 변환되어 PWM의 형태로 각 모터의 속도를 제어하며 인코더를 통하여 모터 속도의 피드백을 수신한다.

교육용 로봇 플랫폼은 아두이노 나노 33 IoT에 있는 내부 WiFi모듈과 외부 ZigBee모듈 두 가지 방법으로 통신할 수 있다. 아두이노 나노 33 IoT의 와이파이 모듈인 NINA-W102-00B는 802.11 b/g/n 표준으로 2.4GHz 주파수를 사용한다. 통신 거리는 일반적으로 라우터에서 직선거리로 50m~100m이다. Zigbee는 IEEE 802.15 표준을 기반으로 2.4GHz 주파수 대역을 사용한다. 통신 거리는 약 75m내에서 250kps 속도로 데이터를 전송한다. 대용량 데이터 통신 시 와이파이를 사용하고, 단순 원격제어 시 Zigbee를 사용하는 것이 효율적이다. WiFi 모듈과 Zigbee 모듈 간의 통신 거리 차이가 있으므로 로봇의 사용 범위와 애플리케이션에

따라 적합한 통신 모듈을 선택하여 사용할 수 있다.

표 1은 로봇 플랫폼의 상세 사양을 나타낸다. 로봇의 크기와 무게는 차동 구동 모바일 로봇의 제어를 학습하고 장애물 회피, 경로 계획 등의 다양한 자율주행 알고리즘을 실험할 수 있는 소규모 실험 환경에서 구동 가능하도록 220 (가로) x 210 (세로) x 80 (높이)mm의 크기와 1.2kg의 무게로 설계하였다. 또한, 아두이노 나노 33 IoT에 내장된 UART, I2C, SPI, Wi-Fi, Bluetooth 모듈 및 외부에 ZigBee 모듈을 장착하여 다양한 통신 인터페이스를 활용할 수 있도록 하였다.

### III. 교육용 로봇 플랫폼

#### 1. 조이스틱 기반의 로봇 속도 명령 맵핑

로봇 플랫폼을 구동하기 위한 속도 명령은 선속도와 각속도로 구성된다. 속도 명령은 WiFi나 Bluetooth 또는 ZigBee 등의 무선통신으로 아두이노 나노 33 IoT 보드에 전송된 후 이를 각 바퀴의 속도로 변환하여 PID 기반으로 모터 속도 제어를 수행한다. 그림 3은 선속도와 각속도를 정의하기 위한 로봇 플랫폼의 로컬 좌표계를 나타낸다.

무선 조이스틱을 이용하여 로봇을 제어할 경우 조이스틱의 입력을 로봇의 속도 명령으로 변환하기 위한 추가적인 맵핑 알고리즘이 필요하다. 본 연구에서는 2축 조이스틱 기반 교육용 로봇 플랫폼의 작동 명령을 맵핑하기 위하여 조이스틱 입력 변환 알고리즘을 활용한다 [10]. 그림 4는 일반적인 맵핑 방법 (basic)과 [10]의 맵핑 방법 (proposed)간의 차이를 나타낸다. 제안한 방법의 경우 2축 조이스틱 좌표계의 영역을 단위 원으로 변환 후 차동 구동 로봇의 최대 선속도와 각속도를 고려하여 선속도-각속도 좌표계로 변환한다. 이는 일반적인 맵핑 방법에 비해 조이스틱 입력 영역이 차동 구동 로봇의 기구학적 제약을 고려함과 동시에 선속도-각속도 좌표계를 넓게 커버함을 확인할 수 있다.

본 연구에서 사용한 맵핑 방법은 식 (1)~(3)의 과정을 통하여 수행된다 [10]. 식 (1)에서  $J_x, J_{x, \min}, J_{x, \max}, (J_y, J_{y, \min}, J_{y, \max})$ 는 각각 조이스틱의  $x$ 축 ( $y$ 축)의 측정값, 최소값 및 최대값을 나타내며, 식 (1)을 통하여 조이스틱 입력값을 0~1 사이의 값으로 변환한다.

$$x = \frac{J_x - J_{x, \min}}{J_{x, \max} - J_{x, \min}}, y = \frac{J_y - J_{y, \min}}{J_{y, \max} - J_{y, \min}}. \quad (1)$$

식 (2)에서는 elliptical grid mapping 기법을 사용하여 조이스틱 입력을 단위원으로 변환한다 [11].

$$x' = x \sqrt{1 - \frac{y'^2}{2}}, y' = y \sqrt{1 - \frac{x'^2}{2}}. \quad (2)$$

식 (2)의 변환값은 조이스틱의 우 방향을  $x$ 축의 양의 방향, 상 방향을  $y$ 축의 양의 방향으로 맵핑되어 있으며, 이를 그림 5의 로봇 모듈 좌표계로 변환하고 로봇의 최대 선속도

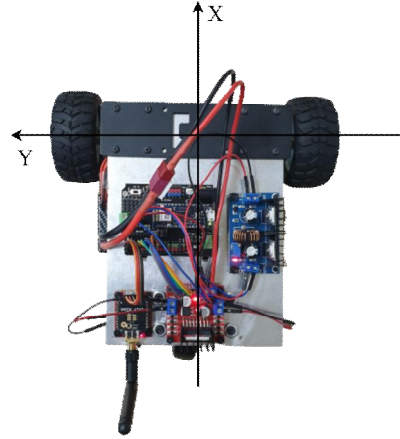


그림 3. 로봇 플랫폼의 로컬 좌표계  
Fig. 3. Local coordinates of the robot platform

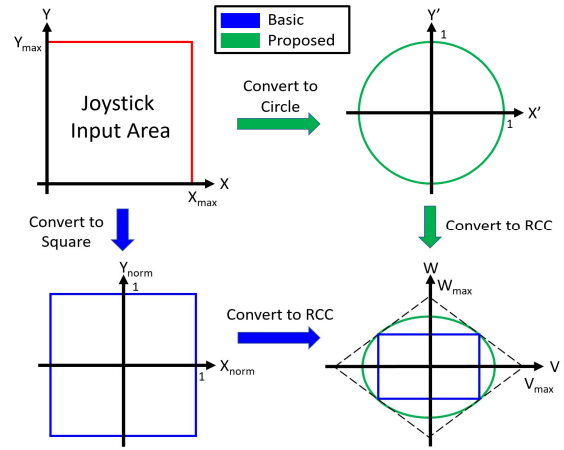


그림 4. 조이스틱 입력 영역을 로봇 제어 명령으로 변환하는 과정

Fig. 4. Process of joystick input area conversion to Robot Control Command

( $v_{\max}$ )와 각속도 ( $w_{\max}$ )의 범위 내의 제어 속도 명령을 생성하기 위하여 식 (3)과 같이 제어 속도 명령을 맵핑한다.

$$v_t = \frac{v_{\max}}{\sqrt{2}} y', w_t = -\frac{w_{\max}}{\sqrt{2}} x'. \quad (3)$$

#### 2. PID 기반의 로봇 속도 제어

차동 구동 형태의 로봇 플랫폼이 주어진 선속도 및 각속도 명령을 추종하여 안정적으로 구동되기 위해서는 좌, 우의 모터 속도를 안정적으로 제어할 수 있어야 한다. 본 연구에서는 PID 제어를 이용하여 모터의 속도를 제어한다. 선속도 및 각속도 명령을 각 바퀴의 각속도로 변환하기 위하여 식 (4)를 사용한다.

$$\begin{bmatrix} w_r \\ w_l \end{bmatrix} = R_{wheel} \begin{bmatrix} 1 & R_{rob} \\ 1 & -R_{obl} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_t \\ w_t \end{bmatrix}. \quad (4)$$

식 (4)에서  $w_R, w_L, v_r, v_l$ 는 각각 우측 바퀴의 목표 각속도 (rad/s), 좌측 바퀴의 목표 각속도 (rad/s), 목표 선속도 (m/s) 및 목표 각속도(rad/s)를 나타내며,  $R_{wheel}$ 과  $R_{rob}$ 은 각각 바퀴의 반지름과 로봇 프레임의 반지름을 나타낸다. PID 속도 제어에서 목표 속도를 생성하기 위하여 각 바퀴의 목표 각속도는 식 (5)와 같이 모터의 기어비 ( $G_{mot}$ )와 인코더의 cpr ( $P_{enc}$ )을 기반으로 제어 주기 ( $T_p$ ) 동안의 목표 인코더 클럭 수 ( $docks/T_p$ )로 변환한다. 식 (5)에서  $S_r$ 과  $S_l$ 은 각각 우측 바퀴와 좌측 바퀴의 제어 주기 동안의 목표 인코더 클럭 수를 나타낸다.

$$S_r(t) = \frac{G_{mot} \times P_{enc} \times T_p}{2\pi} w_r(t). \quad (5)$$

식 (5)의 목표 바퀴 속도와 인코더로부터 계산한 바퀴의 현재 속도 및 PID 게인을 사용하여 PID 제어를 수행하며, PID 제어 출력값은 PWM으로 변환하여 모터 드라이버로 전달되어 모터는 구동된다. 인코더로부터 계산한 바퀴의 현재 속도를 식 (5)의 스케일러로 나누어 각속도로 변환 후 식 (6)을 사용하여 로봇의 현재 선속도 ( $v_c$ )와 각속도 ( $w_c$ )를 구한다.

$$\begin{bmatrix} v_c \\ w_c \end{bmatrix} = \frac{1}{2R_{wheel}} \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ \frac{1}{R_{rob}} & -\frac{1}{R_{rob}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_r \\ w_l \end{bmatrix}. \quad (6)$$

#### IV. 실험

본 실험에서는 ZigBee 무선 통신과 로봇의 선속도와 각속도 제어를 테스트한다. 이를 위하여 원격 조종 장치에서 미리 생성된 목표 선속도와 각속도에 대응하는 명령을 ZigBee를 통하여 로봇 플랫폼으로 전송하고, 이를 수신한 로봇 플랫폼은 역기구학을 이용하여 각 바퀴의 속도명령을 생성하고 PID 제어를 통하여 인코더가 장착된 모터의 속도를 제어한다.

목표 선속도와 각속도에 대응하는 명령은 조이스틱 입력 좌표를 기준으로 x축 (상,하)과 y축 (좌,우)에 대해 각각 0~1023 범위의 값으로 표현한다. 이는 아두이노에서 제공하는 analog digital converting의 해상도가 10 bits이기 때문이다. 따라서 원격 조종 장치에서는 2차원 조이스틱 좌표계의 좌표값을 표현하기 위한 20 bits와 전송데이터의 끝을 나타내는 문자 'J'를 포함하기 위하여 총 4 bytes의 메시지를 전송한다. 로봇 플랫폼에 설치된 ZigBee 모듈은 이를 수신 후 UART 통신으로 아두이노로 전송한다. 아두이노에서는 수신한 데이터로부터 2차원 조이스틱 좌표값을 추출하고 이를 식 (3)을 통하여 목표 선속도 (m/s)와 각속도 (rad/s)를 생성한다. 이를 식 (4)를 통하여 좌, 우 바퀴의 각속도 (rad/s)로 변환하며, 제어 주기 (10ms), 기어비 (1:18), 모터축 1바퀴에 대한 인코더 클럭 수 (448cpr), 그리고 로봇과 바퀴의

반지름을 바탕으로 바퀴의 각속도 (rad/s)를 주기 시간당 인코더 클럭 수 (cpr/)로 변환한다. 이를 PID 제어의 목표값으로 사용한다. 현재 로봇의 바퀴 속도는 주기 시간당 인코더 클럭 수 (cpr/10ms)로 표현하고 이를 PID 제어의 피드백 값으로 사용한다.

그림 5와 6은 각각 시간에 따라 급격히 변화하는 목표 선속도 ( $v_c$ )와 각속도 ( $w_c$ )에 대한 로봇의 선속도 ( $v_c$ )와 각속도 ( $w_c$ ) 그래프를 나타낸다. 목표 선속도와 각속도는 계단 함수의 형태로 0과 양의 최대속도 및 음의 최대속도로 변화한다. 이에 대해 로봇은 PID 제어를 통하여 급격히 변화하는 목표 속도에 맞추어 각 바퀴의 속도를 제어하며, 인코더로부터 수신한 각 바퀴의 속도와 차동구동로봇의 정기구학을 기반으로 로봇의 선속도와 각속도를 계산한다. 그림 5와 6의 목표 선속도와 각속도에서 확인할 수 있듯이 ZigBee를 통하여 원격 조종 장치에서 송신한 명령이 아두이노에 정상적으로 수신되었음을 확인할 수 있으며, 또한 PID 제어를 통하여 로봇이 주어진 목표 속도를 추종함을 확인할 수 있다.

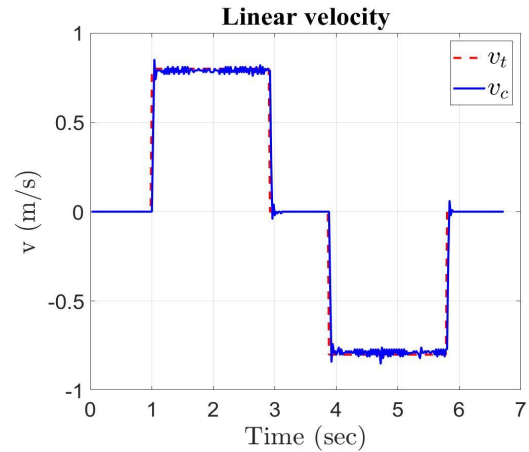


그림 5. 목표 선속도와 로봇 선속도 그래프  
Fig. 5. Target liner velocity and the robot linear velocity

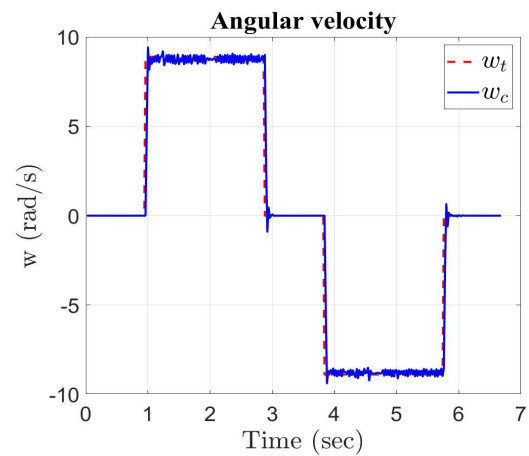


그림 6. 목표 각속도와 로봇 각속도 그래프  
Fig. 6. Target angular velocity and the robot angular velocity



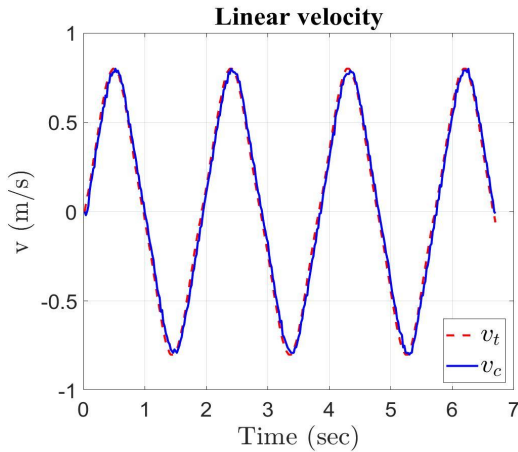


그림 7. 사인 함수 형태의 목표 선속도와 로봇 선속도 그래프  
Fig. 7. Target liner velocity in the form of sine function and the robot linear velocity

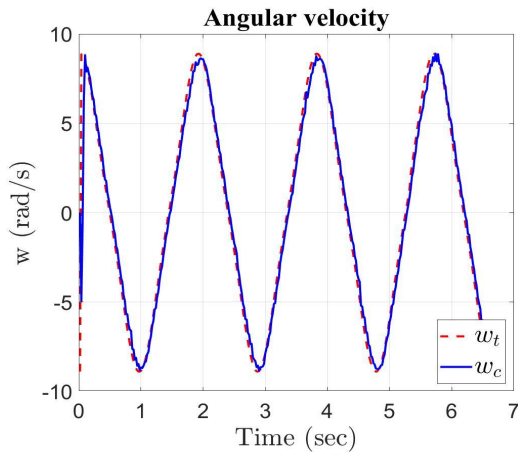


그림 8. 코사인 함수 형태의 목표 선속도와 로봇 선속도 그래프  
Fig. 8. Target angular velocity in the form of cosine function and the robot angular velocity

그림 7과 8은 목표 선속도와 각속도를 2초 주기 시간에 대한 사인함수와 코사인 함수의 형태로 생성하여 동시에 로봇에 전송한 경우의 로봇의 선속도와 각속도 그래프를 나타낸다. 그림 7과 8의 두 그래프에서 확인할 수 있듯이 로봇은 목표 선속도와 각속도의 동시적인 변화에 대해서도 안정적으로 이를 추종함을 확인할 수 있다

### V. 결론

본 논문은 저가형 모듈을 사용한 차동 구동형 교육용 로봇 플랫폼을 제안한다. 아두이노 나노 33 IoT 기반의 임베디드 보드를 사용하여 설계 접근성을 낮추었으며 접근성이 용이한 저가형의 상용 모듈을 활용하여 구현할 수 있도록 설계하였다. 로봇 플랫폼을 제어하는 조이스틱의 입력값은 조이스틱 좌표계 영역을 단위원으로 변환 후 선속도-각속도 좌표계로 변환하는 방식으로 변환되었으며, PID 제어를 이

용하여 모터 속도를 제어한다.

로봇 플랫폼의 구동 안정성 테스트를 위하여 ZigBee 무선 통신으로 수신한 로봇 제어명령과 실제 로봇의 선속도, 각속도를 측정하여 실험을 수행하였으며 이를 통하여 로봇 플랫폼이 조이스틱으로부터 수신한 목표 속도를 추종함을 확인하였다. 이 연구를 통해 학습자가 로봇 플랫폼을 설계하고 제작하며 원리를 이해하길 기대한다.

### References

- [1] M. C. Kim, Y. W. Sung, "A Differential Drive Mobile Robot with Omnidirectionality," *Journal of The Korean Institute of Electrical Engineers*, Vol. 69, No. 5, pp. 698-705, 2020 (in Korean).
- [2] J. W. Choi, G. H. Lee, C. B. Lee, "Path Tracking with Nonlinear Model Predictive Control for Differential Drive Wheeled Robot," *Journal of Korea Robotics Society*, Vol. 15, No. 3, pp. 277-285, 2020 (in Korean).
- [3] J. H. Park, S. H. Kim, "Cased Study on Utilizing Arduino in Programming Education of Engineering," *Journal of Institute of Korean Electrical and Electronics Engineers*, Vol. 19, No. 2, pp. 276-281, 2015 (in Korean).
- [4] K. Hur, "An Evaluation Method of Understanding SW Architectures in an Arduino-based SW Lecture for Non-major Undergraduates," *Journal of Practical engineering Education*, Vol. 11, No. 1, pp. 17-23, 2019 (in Korean)
- [5] Y. C. Jeon, H. R. Choi, K. C. Yoon, G. G. Kim, "IoT Based Vision and Remote Control a Compact Mobile Robot System," *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 24, No. 2, pp. 267-273, 2021 (in Korean).
- [6] J. M. Lee, H. K. Park, "Domestic Research Trends on Software Education Using Robot:From 2006 to 2016," *Journal of The Korea Contents Society*, Vol. 17, No. 10, pp. 190-205, 2017 (in Korean).
- [7] S. J. Kim, "Project-based Embedded System Education Using Arduino," *Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 15, No. 12, pp. 173-180, 2017 (in Korean).
- [8] B. S. Chu, Y. W. Sung, "Development of Educational Robot Platform Based on Omni-directional Mobile Mechanism," *Journal of Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 30, No. 11, pp. 1161-1169, 2013 (in Korean).
- [9] J. S. Chung, K. W. Jung, "A Design and Implementation of Educational Mobile Robot System including Remote Control Function," *Journal of The Korean Society of Computer and Information*, Vol. 20, No. 4, pp. 33-40, 2015 (in Korean).
- [10] D. H. Lee, "Priority-based Teleoperation System for Differential-drive Mobile Robots," *Journal of Institute*

of Embedded Engineering of Korea, Vol. 15, No. 2, pp. 95-101, 2020 (in Korean).

[11] C. Fong, "Analytical Methods for Squaring the Disc," arXiv preprint arXiv:1509.06344, 2015.

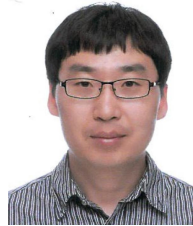
**Hyeon-Ju Choi (최현주)**



2018~Kumoh National Institute of Technology  
Electronic Engineering Majors of  
Electronics and IT Convergence (B.S.)  
2020~Kumoh National Institute of Technology  
Major of Smart Factory Integration  
(B.S.)

Field of Interests: Mobile Robot  
Email: chjj4806@naver.com

**Dong-Hyun Lee (이동현)**



2007 Electrical Engineering from Kyungpook  
National University (B.S.)  
2009 Electrical Engineering from KAIST  
(M.S.)  
2015 Electrical Engineering from KAIST  
(Ph.D.)

2016~School of Electronics Engineering and Department of IT  
Convergence Engineering from Kumoh National Institute of  
Technology. (Assoc. Prof.)  
Field of Interests: Mobile Robotics & Robot Navigation  
Email: donglee@kumoh.ac.kr