

논문 2022-17-14

애커먼 조향 이동로봇의 주행 안정성을 고려한 원격운용 시스템 설계

(Design of Teleoperation System for Ackermann-steering Mobile Robot considering Driving Stability)

이 동 현*

(Dong-Hyun Lee)

Abstract : This paper proposes a 2D joystick and LoRa-based teleoperation system for the Ackermann steering mobile robot. The proposed joystick mapping algorithm reduces the linear speed of the robot when the joystick is steered in the direction of the maximum steering angle in the high-speed driving state of a mobile robot to reduce the risk of rollover. The LoRa-based remote operation system is designed for remote operation of mobile robots that require long range communication with relatively little data transmission and low power. The proposed system is implemented and the experimental results demonstrate the effectiveness of the teleoperation system with respect to the stability of communication strength and the robot motion.

Keywords : Ackermann-steering Mobile robot, Joystick mapping algorithm, Teleoperation

I. 서 론

이동로봇을 운용자가 운용하는 방법으로는 카메라나 관성 센서 등을 사용하여 사용자의 제스처를 인식하거나 근전도 신호를 이용하여 사용자의 의도를 파악하고 이를 이동로봇의 선속도, 각속도, 또는 조향각에 맵핑하여 조종하는 방법 등이 있다 [1-3]. 하지만 차동 구동형의 모바일 로봇이나 전동 휠체어 및 탑승형 플랫폼과 같이 직관적이고 신속한 운용이 필요한 경우에는 조이스틱 기반 조종기법이 활용되고 있다 [4-6]. 차동 구동형 플랫폼과는 달리 애커먼 조향을 사용하는 플랫폼의 원격 조종에는 조이스틱에 비해 스티어링 휠과 가속페달을 사용하는 운용법이나 2개의 1축 조이스틱을 사용하여 각각 조향각과 이동속도를 조절하는 접근법에 대한 연구가 진행되었다 [7, 8]. 그러나 이와 같은 접근법은 로봇팔이나 카메라와 같은 추가조작을 수행해야 하는 경우 1인의 운용자가 로봇의 이동조작을 멈추고 다른 추가조작을 수행하거나 2인 이상의 운용자가 각각 로봇 이동조작 및 추가조작을 담당해야 한다는 단점이 있다. 이와는 달리 2축 조이스틱을 사용할 경우 운용자가 간단한 조작으로 로봇의 조향각과 선속도 명령을 생성할 수 있다는 장점이 있다. 기존의 접근법은 조이스틱의 2축 측정값을 각각 조향각과 선속도 명령으로 매핑시킨 후 스케일링하여 사용한다 [9, 10]. 하지만 이 경우 로봇이 최대 선속도로 이동하는 상태에서 운용자가 최대 조향각으로 조향명령을 제어 시스템에 입력

할 경우 원심력에 의해 로봇의 전복 위험이 존재한다. 따라서 로봇이 최고속도에서 급커브로 이동할 경우 로봇의 선속도에 따라 조향각 명령의 범위를 조절하거나 조향각에 따라 선속도 명령 범위를 조절하여 전복을 방지할 수 있는 알고리즘이 필요하다.

원거리 로봇 제어 시스템의 경우 저전력으로 장거리 통신이 가능한 통신방법이 요구된다. Semtech에서 개발한 RF 변조 기술인 LoRa (Long Range) 통신 기술은 저전력, 장거리 및 보안성이 높은 특징으로 인해 사물인터넷, 스마트 장비, 웨어러블 장치 등 다양한 분야에 활용되고 있다. 따라서 LoRa 통신은 와이파이나 블루투스 등의 무선 통신 시스템에 비해 저전력과 장거리 로봇 운용 시스템에 적합하다.

본 논문에서는 애커먼 조향 이동로봇의 주행 안정성을 고려한 조이스틱 맵핑 알고리즘과 LoRa 기반의 원격운용 시스템을 제안한다. 조이스틱 맵핑 알고리즘은 애커먼 조향 이동로봇의 고속 주행 상태에서 조이스틱을 최대 조향각 방향으로 조종할 경우 로봇의 선속도를 감소시킴과 동시에 로봇의 선속도에 따라 조향각의 최대값을 제한함으로써 로봇의 고속 회전 시에 발생할 수 있는 전복 위험성을 줄일 수 있다. LoRa 기반의 원격운용 시스템은 비교적 적은 데이터 전송량과 낮은 전력이 요구되는 이동로봇의 원격운용을 위해 설계되었다.

II. 조이스틱 맵핑 알고리즘

일반적으로 2축 조이스틱은 각 축에 아날로그 가변저항을 연결하여 조이스틱의 움직임에 따라 바뀌는 저항값을 디지

*Corresponding Author (donglee@kumoh.ac.kr)

Received: Sep. 6, 2021, Revised: Oct. 8, 2021, Accepted: Oct. 18, 2021.

D.H. Lee: Kumoh National Institute of Technology (Assoc. Prof.)

* 본 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음 (202001160001).

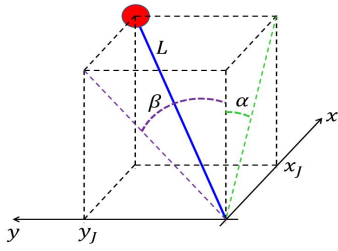


그림 1. 조이스틱 끝점의 좌표 및 각 축에 대한 각도
Fig. 1. 2D position and angle of the joystick end point

털로 변환하여 각 축의 각도를 측정할 수 있다. 그림 1과 같이 조이스틱 기둥과 축 및 축과 이루는 각도인 α 와 β 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} \alpha &= \zeta J_x, \quad \beta = \zeta J_y, \\ 0 < \zeta < \frac{\pi}{2}, \quad -1 \leq J_x \leq 1, \quad -1 \leq J_y \leq 1. \end{aligned} \quad (1)$$

식 (1)에서 J_x 와 J_y 는 각각 조이스틱의 기둥과 x 축 및 y 축과 이루는 각도를 측정하기 위한 가변저항의 아날로그-디지털 변환값을 -1 과 1 의 범위로 스케일링한 값이며, ζ 는 조이스틱의 가상 최대 꺾임 각도이며, 이를 조절하여 선속도와 조향각 간의 연관성을 조절할 수 있다. 식 (1)을 사용하여 조이스틱의 끝점의 좌표를 유도하면 식 (2)와 같다.

$$x_J = L \cos(\alpha) \sin(\beta), \quad y_J = -L \sin(\alpha) \cos(\beta). \quad (2)$$

식 (2)에서 x_J 와 y_J 는 조이스틱 기둥의 길이인 L 과 조이스틱의 최대 꺾임 각도인 ζ 에 의해 값의 범위가 변경되므로 이 값을 로봇의 선속도와 각도로 변환하기 위해 식 (2)의 x_J 와 y_J 를 식 (3)을 통하여 스케일링 한다.

$$\bar{x}_J = \frac{x_J}{L \sin(\zeta)}, \quad \bar{y}_J = \frac{y_J}{L \sin(\zeta)}. \quad (3)$$

식 (3)에서 로봇의 최대 선속도 v_{\max} 와 최대 조향각 θ_{\max} 를 곱하여 식 (4)와 같이 로봇 제어 명령인 선속도 v_P 와 조향각 θ_P 를 생성한다.

$$v_P = v_{\max} \bar{x}_J, \quad \theta_P = \theta_{\max} \bar{y}_J. \quad (4)$$

식 (4)의 로봇 제어 명령과 로봇의 조향각과 구동축 간의 거리인 l 로부터 식 (5)와 같이 로봇의 각속도 w 를 유도할 수 있다.

$$w = \frac{v_P}{l} \tan(\theta_P). \quad (5)$$

그림 2는 J_x 와 J_y 를 직접 스케일링하여 로봇 제어 명령인 선속도와 조향각을 생성하는 direct mapping 방법과 본 논문에서 제안하는 조이스틱 맵핑 방법에서의 로봇의 선속도

와 각속도의 차이를 나타낸다. 단, direct mapping에서 선속도 v_D 와 조향각 θ_D 는 식 (6)과 같이 생성된다.

$$v_D = v_{\max} J_x, \quad \theta_D = \theta_{\max} J_y. \quad (6)$$

그림 2의 (J_x, J_y) 그래프 (좌)의 4개의 점 A, B, C, D 는 조이스틱을 최대 각도로 꺾을 때의 위치를 나타낸다. Direct mapping의 경우 각 점은 로봇의 최대 선속도와 최대 조향각 명령을 생성하게 된다. 예를 들어 $J_x - J_y$ 그래프의 점 A 는 direct mapping을 통하여 식 (7)과 같이 A_D 에 맵핑된다.

$$A_D = (v_D, w_D) = (v_{\max}, \frac{v_{\max}}{l} \tan(\theta_{\max})). \quad (7)$$

조이스틱의 두 축은 독립이므로 A, B, C, D 와 같은 조이스틱의 끝점에서 로봇은 최대 선속도와 최대 각속도로 동작하도록 명령을 받게 된다. 이는 고속 직선 주행 상태에서 과도한 조향을 주는 상황을 야기시키며, 이로 인해 횡가속도가 급격히 증가하여 로봇이 전복 (rollover)할 위험성이 증가하게 된다. 제안하는 알고리즘을 적용한 경우 A 는 식 (8)과 같이 v_P 와 w_P 를 가지는 A_P 에 맵핑된다.

$$(v_P, w_P) = (v_{\max} \cos(\zeta), \frac{v_{\max} \cos(\zeta)}{l} \tan(\theta_{\max} \cos(\zeta))). \quad (8)$$

따라서 고속 직선 주행 시에 과도한 조향 명령이 인가되더라도 식 (1)에서 정의된 ζ 에 따라 선속도와 각속도를 동시에 변경하며, 이를 통하여 과도한 조향 명령에도 로봇이 선속도를 감소시키면서 안정적으로 회전할 수 있도록 한다. 제안하는 알고리즘에서 ζ 는 튜닝이 필요한 파라미터이다. 일반적으로 조이스틱의 최대 조향 각도는 $\frac{\pi}{4}$ 이며, ζ 를 $\frac{\pi}{4}$ 보다 작게 설정할 경우 그림2의 점 A_P, B_P, C_P, D_P 는 각각 점 A_D, B_D, C_D, D_D 에 인접하게 된다. 이와는 반대로 ζ 를

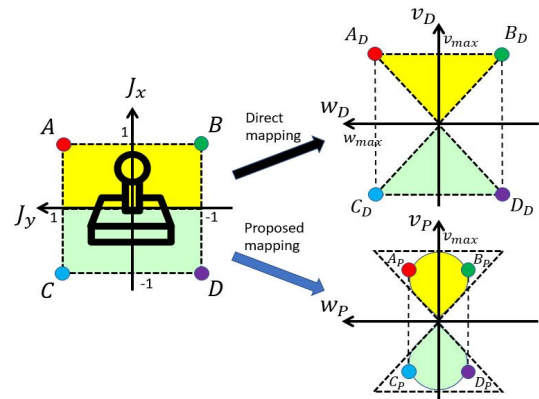


그림 2. 조이스틱 입력에 대한 direct mapping과 제안하는 알고리즘 맵핑

Fig. 2. Mapping from the joystick input to the linear and angular velocities using direct mapping and proposed mapping

$\frac{\pi}{4}$ 보다 크게 설정할 경우 점 A_p, B_p, C_p, D_p 의 선속도와 각속도의 크기가 줄어들어 그림 2의 오른쪽 아래 그래프의 형태를 가지게 된다.

III. LoRa 기반의 원격운용 시스템

1. 원격운용 시스템 설계

본 논문에서 제안한 LoRa 기반의 원격운용 시스템 블록도는 그림 3과 같이 크게 이동로봇 모듈과 원격 조종 모듈로 나뉜다. 두 장치는 LoRa 통신을 이용하여 장거리 무선 통신을 수행한다. 이동로봇 모듈은 원격 조종 모듈로부터 식 (1)에서 정의된 J_x 와 J_y 를 수신하며, 상태 (status) 모듈로부터 얻은 로봇의 위치 정보를 원격 조종 모듈에 송신한다. 상태 모듈은 배터리 잔량, 로봇의 속도 등과 같은 로봇의 내부 상태, GPS 등의 위치 인식 정보 및 센서 모듈로부터 수신한 센서 정보를 융합하는 필터 알고리즘 등으로 구성될 수 있다. 이동로봇 모듈의 제어 (control) 모듈은 식 (4)를 통하여 애커먼 조향 이동로봇의 제어 입력값인 선속도 v_p 와 조향각 θ_p 를 계산하고 이를 조향 및 구동용 모터 모듈로 전송한다. 모터 모듈은 조향 및 구동 모터와 모터 제어기를 포함한다.

원격 조종 모듈은 운용자 (operator) 명령 모듈로부터 운용자의 조종 명령을 수신하여 이동로봇 모듈에 전송하고 디스플레이 모듈을 통하여 이동로봇의 위치 및 상태 정보를 운용자에게 제공하는 역할을 한다. 운용자 명령 모듈은 조이스틱, 스위치, 터치패드 등의 명령 입력 장치로 구성되며, 디스플레이 모듈은 LCD, OLED 및 LED등의 디스플레이 장치로 구성될 수 있다.

2. 원격운용 시스템 구현

이동로봇 모듈과 원격 조종 모듈은 그림 4와 같이 구현하였으며, 두 모듈은 동일한 마이크로컨트롤러와 LoRa 모듈을 사용하여 구현하였다. 마이크로컨트롤러는 ATSAM21G18 ARM Cortex M0 (48MHz)를 사용하였으며 LoRa 모듈은 SX1276 RFM95 LoRa 915MHz를 사용하였다. LoRa 모듈의 통신반경은 개활지 기준에서 uni-directional antenna 사용 시 약 2km이며 데이터 전송 속도는 약 19.2Kbps이다. 안정적인 무선 통신을 유지하기 위하여 그림 4와 같이 900MHz 대역의 외장형 RF 안테나를 사용하였다. 마이크로컨트롤러와 LoRa 모듈은 SPI 통신을 사용하여 데이터를 송수신한다. 상태 모듈은 MTK3339 칩셋 기반의 GPS 모듈로 구현하였으며 외장형 GPS 안테나를 사용하였다. 상태 모듈과 마이크로컨트롤러 간의 통신을 위하여 UART 통신을 사용한다. 이동로봇 모듈에서 원격 조종 모듈로 전송하는 패킷은 11바이트이며, 3바이트의 헤더와 8바이트의 위도 및 경도 데이터로 구성된다. GPS 데이터는 4바이트의 실수형 값인 [도/분(hddd°mm.mmm')] 좌표 형식의 위도와 경도값이다. 이를 [도] 형식으로 변경 후 1초 주기로 원격 조종 모듈로 전송한다.

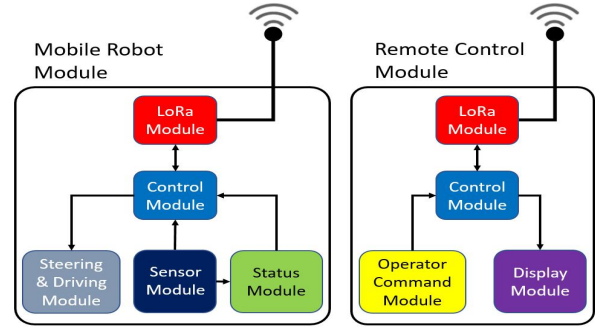


그림 3. 제안한 원격운용 시스템 블록도
Fig. 3. Block diagram of the proposed teleoperation system

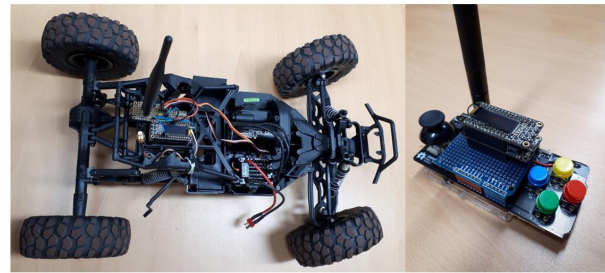


그림 4. 이동로봇 모듈 (좌)과 원격 조종 모듈 (우)
Fig. 4. Mobile robot (left) and the joystick module (right)

원격 조종 모듈의 운용자 명령 모듈은 2축 조이스틱과 4개의 버튼으로 구성하였다. 조이스틱 입력은 마이크로컨트롤러에서 10비트 해상도로 디지털 변환하여 사용하였으며 4개의 버튼의 동시 입력이 가능하도록 4비트를 사용하였다.

IV. 실험

1. 조이스틱 맵핑 알고리즘 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 조이스틱 맵핑 알고리즘은 식 (1)의 ζ 에 따라 동일한 조이스틱 입력 (J_x, J_y)에 대해 서로 다른 로봇 제어 명령 (v, θ)를 생성하며, 이에 따라 로봇의 선속도와 각속도 (v, w)가 결정된다. 그림 5는 direct mapping과 제안하는 맵핑 알고리즘에서 ζ 의 설정에 따른 (v, θ) 그래프 (좌)와 (v, w) 그래프 (우)를 나타낸다. 그림 5 (a)는 direct mapping을 사용할 경우 식 (6)에 의해 생성된 (v, θ) 그래프 (좌)와 이로 인해 결정된 로봇의 (v, w) 그래프 (우)를 나타낸다.

그림 5 (a)에서 확인할 수 있듯이 direct mapping의 경우 조이스틱을 (J_x, J_y) 영역의 꼭지점에 위치시킬 경우 로봇은 최대 선속도와 각속도를 가지게 되어 고속 주행 시 급격한 조향각 회전으로 인해 전복의 위험성이 있다. 그림 5 (b), 5 (c), 5 (d)는 각각 $\zeta = \pi/6, \pi/4, \pi/3$ 으로 설정한 경우의 (v, θ) 그래프 (좌)와 (v, w) 그래프 (우)를 나타낸다. 단, 그래프를 간략화하기 위하여 식 (4)의 v_{max} 와 θ_{max} 는 각각 1m/s와 1rad으로 설정하였다.

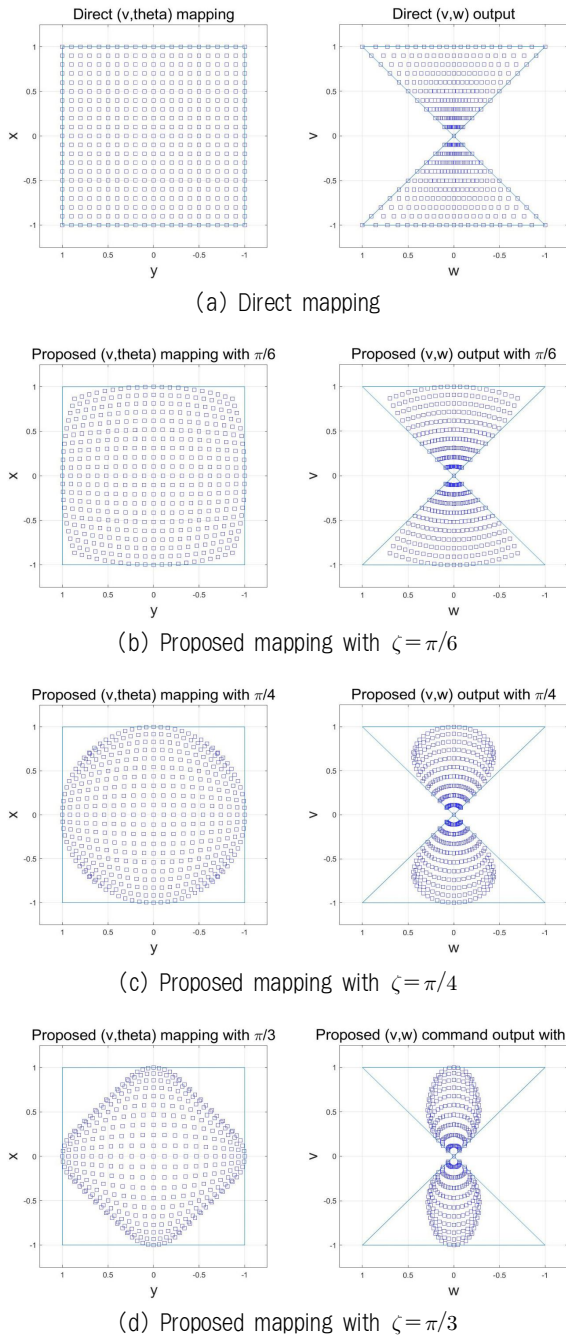


그림 5. Direct mapping (a)과 제안하는 알고리즘 (b, c, d)에 대한 (v, w) 그래프

Fig. 5. (v, w) graph from the direct mapping (a) and the proposed mapping (b, c, d) with $\zeta = \pi/6$, $\zeta = \pi/4$, and $\zeta = \pi/3$

제안하는 방식의 경우 (v, θ) 영역이 direct mapping의 (v, θ) 안에 위치하며, 등근 형태를 취하고 있다. 특히 그림 5 (c)에서 $\zeta = \pi/4$ 일 때 (v, θ) 의 영역이 원의 형태를 보임을 확인할 수 있다. 이러한 형태의 변형으로 인해 최대 선속도 상태에서 조이스틱 위치를 꼭지점으로 이동시킬 경우 ζ 의 값이 클수록 선속도의 감소율과 최대 조향각의 크기를 제한

하게 된다. 우측의 (v, w) 그래프에서도 확인할 수 있듯이 ζ 가 커짐에 따라 (v, w) 의 영역이 등근 형태로 변화되어 삼각형의 양 끝점에서 멀어짐을 확인할 수 있다. 따라서 고속 주행 시에 큰 조향 명령을 보내더라도 선속도를 감소시킴과 동시에 조향 명령의 크기를 제한할 수 있으며, 이를 통해 애커먼 조향 이동로봇의 전복 위험성을 줄일 수 있다.

2. LoRa 기반 원격운용 테스트

구현한 시스템은 실제 애커먼 조향 이동로봇 플랫폼에 적용하여 실험을 수행하였다. 그림 6은 실험에 사용한 애커먼 조향 로봇 플랫폼 (상)과 mobile robot module로부터 수신한 GPS 정보 및 신호강도를 UART 통신을 통하여 랩탑 컴퓨터에 기록하도록 한 실험환경 (하)을 나타낸다.

그림 7은 사용자가 remote controller로 무선조종한 이동로봇 플랫폼의 지도상에서의 이동 경로이며, 실험영역의 크기와 운용자의 위치, 로봇 플랫폼의 출발 및 도착 위치를 나타낸다. 운용자는 로봇을 조종하는 동안 고정된 위치를 유지하였다. 이는 운용자와 로봇 간의 상대적 위치에 따른 LoRa 통신의 수신 신호 강도를 측정하기 위함이다. 실험 과정에서 로봇 플랫폼은 안정적으로 운용되었으며, 최고 선속도에서 급격한 조향 명령을 주어 안전성을 테스트하였으며 로봇의 전복 없이 안정적으로 운용되었다. 이는 그림 7의 좌측 중·하단에 영역으로 표시된 로봇 경로 구간에서 급격한 조향 테스트의 결과를 확인할 수 있다.



그림 6. 원격 운용 시스템 실험환경
Fig. 6. Experimental setup of the teleoperation system



그림 7. 지도상에서의 로봇 이동 경로
Fig. 7. Path of the robot on the map

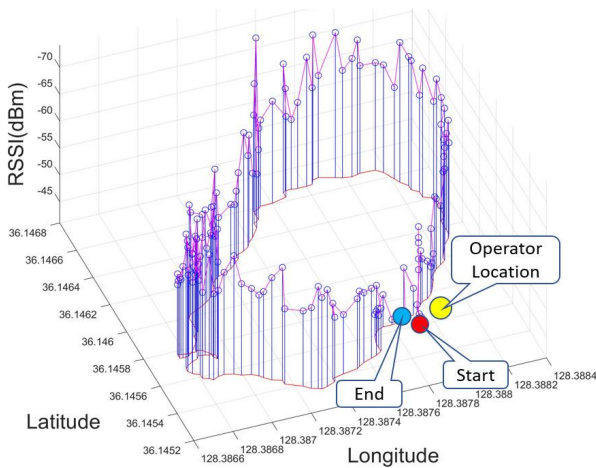


그림 8. 로봇의 위치에 따른 수신 강도
Fig. 8. RSSI with respect to the robot position

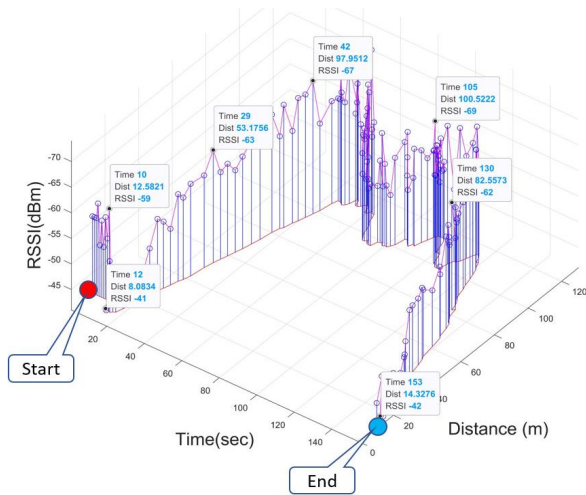


그림 9. 운용시간-거리-수신 강도
Fig. 9. RSSI with respect to the distance between the operator and the robot

그림 8은 로봇의 이동 경로와 함께 remote controller가 로봇 모듈로부터 수신한 신호의 강도인 Received Signal Strength Indication (RSSI)를 나타낸다. 그래프의 z축에 나타낸 RSSI의 단위는 dBm이고 음수값을 가지며, 수신 강도가 좋을수록 낮은 값을 가지므로 시각적으로 식별이 용이하도록 z축의 방향을 반전하였다. 그림 8에서 확인할 수 있듯이 로봇 플랫폼이 운용자와 가까울수록 수신 신호 강도가 증가하며 운용자와의 거리가 멀수록 수신 강도가 약함을 확인할 수 있다. 그림 9는 운용시간 (sec)-운용자와 로봇간의 거리 (m)-수신 신호 강도 (RSSI)와 관계를 나타낸 그래프이다. 최초 10초 동안 운용자와 로봇 간의 거리가 약 10m를 유지하고 있으며 RSSI는 약 -59dBm이다. 이는 로봇이 출발 위치에서 10초간 정지해 있는 상태를 의미하며, 거리가 짧음에도 RSSI가 상대적으로 약한 이유는 운용자가 운동장 교단위에 위치하고, 로봇이 교단의 인접한 아래쪽에 위치하

면서 로봇과 운용자 사이에 구조물이 존재하는 상태가 되어 수신 강도가 약해진 것으로 판단된다. 하지만 10초 뒤에 로봇이 교단의 아래에서 운동장 쪽으로 이동하면서 line-of-sight의 상태가 되고, 이때 -59dBm에서 -41dBm으로 수신 강도가 증가 되었음을 그래프에서 확인할 수 있다. 실험 과정에서 운용자와 로봇 간의 최대 거리는 약 120m였으며, 이때의 RSSI는 약 -70dBm의 수신 강도를 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 애커먼 조향 이동로봇의 주행 안정성을 고려한 조이스틱 맵핑 알고리즘과 LoRa 기반의 원격운용 시스템을 제안하였다. 조이스틱 맵핑 알고리즘은 최대 선속도 상태에서 조이스틱을 최대 조향각 방향으로 조종하더라도 선속도를 감소시키고 동시에 로봇의 선속도에 따라 조향각의 최대값이 조절됨을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있었으며, 조이스틱의 가상 최대 꺾임 각도를 조절함으로써 선속도의 감소량과 조향각의 제한 정도를 조절할 수 있음을 확인하였다. 또한, 조이스틱 맵핑 알고리즘과 LoRa 기반의 원격운용 시스템을 구현하고 애커먼 이동로봇에 적용하여 실험을 수행하였으며, 로봇에 장착된 GPS와 RSSI 측정을 통하여 로봇과 운용자 간의 거리에 따른 원활한 수신 강도 유지 및 급격한 조향 시의 안정적인 로봇의 이동성을 확인할 수 있었다.

추후 애커먼 조향 로봇의 동역학을 고려한 제어기법과 본 논문에서 제안한 조이스틱 맵핑 알고리즘을 결합하여 전복 위험성을 확률적으로 추정하고 전복 방지를 위한 선속도와 조향각을 생성하는 알고리즘에 관한 연구를 수행하고 실제 로봇에 적용하여 알고리즘의 유효성을 입증하고자 한다. 또한, 원격운용의 범위를 확장하고 다양한 구조물이 존재하는 환경에서 LoRa 기반 원격운용 시스템의 성능을 테스트하고 개선하기 위한 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] S. Grafakos, F. Dimeas, N. Aspragathos, "Variable Admittance Control in Phri Using Emg-based Arm Muscles Co-activation," in 2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 1900 - 1905, 2016.
- [2] M. A. Eid, N. Giakoumidis, A. El Saddik, "A Novel Eye-gazecontrolled Wheelchair System for Navigating Unknown Environments: Case Study with a Person with ALS," IEEE Access, Vol. 4, pp. 558 - 573, 2016.
- [3] T. Sun, S. Nie, D. Yeung, S. Shen, "Gesture-based Piloting of an Aerial Robot Using Monocular Vision," IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp. 5913 - 5920, 2017.

- [4] A. Said, Y. Davizón, R. Soto, C. Félix-Herrán, C. Hernández-Santos, P. Espino-Román, "An Infinite-norm Algorithm for Joystick Linematic Control of Two-wheeled Vehicles," *Electronics*, Vol. 7, No. 9, pp. 1-15, 2018.
- [5] M. C. Tsai, P. W. Hsueh, "Synchronized Motion Control for 2d Joystick-based Electric Wheelchair Driven by two Wheel Motors," *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, pp. 702 - 707, 2012.
- [6] T. Rofer, C. Mandel, T. Laue, "Controlling an Automated Wheelchair via Joystick/head-joystick Supported by Smart Driving Assistance," *IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 743 - 748, 2009.
- [7] J. M. Georg, F. Diermeyer, "An Adaptable and Immersive Real Time Interface for Resolving System Limitations of Automated Vehicles with Teleoperation," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, pp. 2659-2664, 2019.
- [8] M. Wada, K. Kameda, Y. Saito, "A Joystick Steering Control System with Variable Sensitivity for Stable High Speed Driving," *IECON 2013-39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, pp. 4032-4036, 2013.
- [9] Y. Park, W. Chung, Y. Youm, "Development of a new type of Integrated Reactive Joystick and Control Algorithm for Steer-by-wire System," *IFAC Proceedings Vol. 37, No. 8*, pp. 687-691, 2004.
- [10] M. Wada, F. Kameda, "A Joystick car Drive System for Wheelchair Users," *IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 921-925, 2009.

Dong-Hyun Lee (이 동 현)



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