

논문 2020-15-12

차동 구동형 모바일 로봇의 효율적인 운용을 위한 우선순위 기반의 원격제어 시스템

(Priority-based Teleoperation System for Differential-drive
Mobile Robots)

이 동 현*

(Dong-Hyun Lee)

Abstract : In situations where mobile robots are operated either by autonomous systems or human operators, such as smart factories, priority-based teleoperation is crucial for the multiple operators with different priority to take over the right of the robot control without conflict. This paper proposes a priority-based teleoperation system for multiple operators to control the robots. This paper also introduces an efficient joystick-based robot control command generation algorithm for differential-drive mobile robots. The proposed system is implemented with ROS (Robot Operating System) and embedded control boards, and is applied to Pioneer 3AT mobile robot platform. The experimental results demonstrate the effectiveness of the proposed joystick control command algorithm and the priority-based control input selection.

Keywords : Priority-based control, Mobile robot, ROS, Teleoperation

1. 서 론

최근 4차 산업혁명과 인공지능 및 로봇틱스의 발달과 더불어 온라인 쇼핑의 급증으로 인하여 기존의 물류 및 제조업에도 다양한 형태의 모바일 로봇을 적극적으로 활용하고 있으며 모바일 배송 로봇의 수요도 증가하는 추세이다. 물류 로봇의 경우 물류센터에서의 물류이송 및 재고관리, 대형 건물에서의 배달 등 다양한 분야에 적용되고 있다 [1-3]. 특히 아마존 로봇틱스, ADEPT, 6RS, 로커스 로봇틱스 등의 기업에서 물류 로봇 시스템을 활발히 개발 및 적용하고 있다 [4, 5].

운용자와 모바일 로봇이 긴밀하게 작업을 수행하는 경우 운용자가 로봇 플랫폼을 원격제어해야

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

Received: Feb. 18, 2020, Revised: Mar. 23, 2020,

Accepted: Mar. 27, 2020.

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

※ 본 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2019R1F1A1040709).

하는 상황이 발생하며, 특히 모바일 로봇 플랫폼의 원격제어를 위하여 조이스틱이 널리 사용되고 있다. 조이스틱을 활용한 로봇 제어 명령 생성 기법은 UGV (Unmanned Ground Vehicle)의 원격제어 또는 사용자가 탑승하여 운용하는 휠체어 등의 탑승형 플랫폼에 활발히 이용되고 있다 [6-8]. 하지만 대부분 조이스틱 기반 로봇 제어 명령 생성 기법은 입력 영역을 구간으로 나누어 이산화한 후 해당 영역 조이스틱 입력에 대해 해당 영역에 대응하는 로봇 제어 명령을 생성하거나 간단한 스케일링을 통하여 조이스틱 입력 영역을 로봇 제어 가능 허용 범위 내로 신호로 맵핑, 또는 조건문으로 조이스틱의 입력이 로봇의 허용 속도 범위를 넘어서는지 확인하여 최대 속도를 제한하는 방법을 사용한다. 이러한 방식은 입력 영역의 경계 근처에 조이스틱 입력값이 존재할 경우 오실레이션을 일으키며 가속도의 변화가 크기 때문에 에너지 효율성 면에서 비효율적이다. 단순한 스케일링 기법을 사용할 경우 로봇의 최대 허용 속도에 미치지 못하는 로봇 제어 명령이 생성된다는 단점이 있다. 또한, 저가의 가변 저항 기반 조이스틱 모듈의 경우 물리적인 구동 경계가 원의 형태임에도 불구하고 측정된 2차원 값은

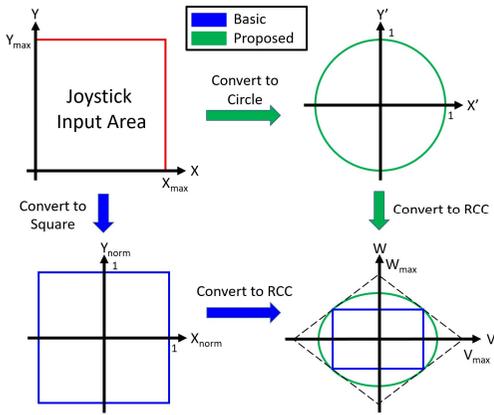


그림 1. 조이스틱 입력 영역을 로봇 제어 명령으로 변환하는 과정

Fig. 1 Process of joystick input area conversion to Robot Control Command (RCC)

직사각형 혹은 정사각형의 형태를 가진다. 이와 같은 조이스틱의 물리적 조종영역과 실제 측정된 영역 간의 차이는 운용자의 직관적 로봇 제어에 어려움을 야기시킨다.

원격제어 기반의 로봇 운용 과정에서 다수의 운용자가 동시에 단일 로봇 플랫폼을 제어하고자 하는 상황이 발생할 수 있다. 이와 관련된 기존의 연구로는 자율 임무 수행이 가능한 로봇과 운용자 간의 오토노미를 조절하는 접근법과 있다 [9-11]. 하지만 오토노미 조절 접근법은 오토노미 레벨을 설정하고 외부환경 조건, 로봇의 내부 조건 및 안전 등을 고려하여 운용자와 자율 시스템 간의 제어 수준을 조절하는 방법으로써 본 논문에서 다루고자 하는 완전 제어권 양도를 요구하는 시스템에 적용하기에는 부적합하다.

본 연구에서는 차동 구동형 모바일 로봇의 효율적 운용을 위한 2축 조이스틱 기반의 로봇 제어 명령 맵핑 알고리즘과 다수의 운용자가 동일한 로봇을 조종하고자 하는 경우 우선순위를 기반으로 운용자를 결정함으로써 제어 시 명령 충돌을 방지하는 시스템을 제안한다. 조이스틱-로봇 제어 명령 맵핑 알고리즘은 운용자가 복잡한 조작 없이 직관적으로 모바일 로봇을 운용할 수 있도록 하며, 로봇의 허용 속도 범위 내에서 로봇 제어 명령으로 사용하는 선속도와 각속도의 시간에 대한 미분 가능한 입력이 생성되도록 함으로써 에너지 효율적인 측면에서 기존의 접근법에 비해 효율적이다. 우선순위 기반의 운용자 결정 구조는 중앙 제어형 로봇 시스템

이 운용되는 환경에서 운용자가 로봇 제어에 개입해야 할 경우, 또는 다수의 운용자가 동일한 로봇을 원격제어해야 하는 경우 우선순위를 통하여 로봇 제어권자를 효율적으로 결정할 수 있는 구조이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 본 연구에서 제안하는 로봇 원격제어 송신 시스템에서의 조이스틱 입력 변환 알고리즘과 수신 시스템에서의 우선순위 기반 입력 선택 구조에 관해 서술한다. 3장에서는 제안하는 시스템의 구현에 관해 설명하며, 4장에서는 운용 시스템을 로봇 원격제어에 적용한 실험과 그 결과에 관해 서술한다. 5장에서는 본 연구의 결과와 추후 활용 가능 분야에 관해 서술한다.

II. 제안하는 로봇 원격제어 시스템

1. 조이스틱 입력 변환

차동 구동형 모바일 로봇의 조종을 위한 일반적인 제어 명령은 선속도와 각속도로 이루어진다. 본 연구에서는 2축 조이스틱을 기반으로 한 차동 구동형 모바일 로봇의 제어 명령을 생성한다. 일반적인 저가의 조이스틱의 경우 조이스틱의 가동범위 경계가 원의 형태를 가지지만 실제 각 축 (x 축, y 축)의 경계의 형태는 그림 1의 왼쪽 위의 그래프와 같이 직각사각형의 형태를 가진다. 기존의 방식의 경우 먼저 조이스틱의 입력 값을 변의 길이가 2이며 원점을 중심으로 가지는 정사각형 영역으로 변환 후 x 축, y 축에 각각 최대 선속도 (V_{max})와 최대 각속도 (W_{max})의 1/2배인 $V_{max}/2$ 와 $W_{max}/2$ 를 곱하여 로봇의 제어 가능 입력 영역을 벗어나지 않도록 한다. 이는 그림 1의 Basic 변환과정으로 나타내었다. 로봇 제어 가능 입력 영역은 그림 1의 오른쪽 아래의 점선으로 도시된 마름모 영역이다. 이와 같은 변환 방법의 첫 번째 단점으로는 운용자가 조이스틱의 가동범위 경계에서 로봇을 조종할 경우 로봇의 선속도와 각속도가 그림 1의 오른쪽 아래와 같이 마름모 안의 직사각형 형태가 되므로 직사각형의 한 변에서 다른 변으로 이동할 경우 선속도와 각속도의 변화가 부드럽지 않으며, 이로 인해 바퀴 회전에 대한 각속도의 큰 변화가 필요하므로 에너지 효율성 면에서 비효율적이다. 두 번째 단점은 로봇의 선속도와 각속도의 크기가 그림 1의 오른쪽 아래와 같이 최대 $V_{max}/2$ 와 $W_{max}/2$ 로 제한된다는 점이다. 이는 로봇 제어 가능 입력 영역이 마름모의 형태이고 기존의 방식으로 변환된 로봇 제어 영역

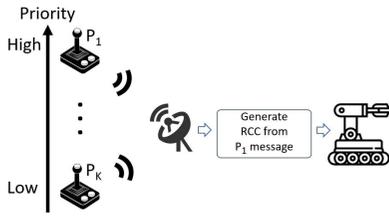


그림 2. 우선순위에 따른 조종기 신호 선택 및 로봇 제어 명령 생성

Fig. 2 Selection of transmitter message by priority and generation of robot control command

의 형태가 직사각형이기 때문에 이를 마름모의 영역 내에 존재하기 위하여 각 축에 대해 $V_{max}/2$ 와 $W_{max}/2$ 의 스케일링이 필요하기 때문이다.

본 논문에서 제안하는 변환법은 그림 1의 proposed로 나타낸 흐름과 같이 먼저 조이스틱 입력값의 영역을 중심이 원점이고 반지름이 1인 단위 원으로 변환한 후 각 축을 $V_{max}/\sqrt{2}$ 와 $W_{max}/\sqrt{2}$ 로 스케일링한다. 단위원으로의 변환을 위하여 elliptical grid mapping 기법을 사용하였다 [12]. 이를 위하여 먼저 조이스틱의 입력 영역을 변의 길이가 2이고 원점이 중심인 정사각형으로 변환한 (x, y) 좌표값을 식 (1)을 사용하여 단위원 영역의 좌표값인 (x', y') 으로 변환한다.

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

변환한 값을 로봇의 제어 명령으로 변환하기 위하여 x', y' 축을 각각 $V_{max}/\sqrt{2}$, $W_{max}/\sqrt{2}$ 로 스케일링한다. 제안하는 방식의 경우 운용자가 조이스틱의 가동범위 경계에서 로봇을 조종하더라도 선속도와 각속도가 시간에 대해 미분가능 하도록 부드럽게 변화하며, 또한 최대 선속도와 가속도의 크기가 각각 $V_{max}/\sqrt{2}$ 와 $W_{max}/\sqrt{2}$ 이므로 기존의 방식에 비해 상대적으로 로봇의 최대 속도에 준하는 제어 입력을 제공할 수 있다.

2. 우선순위 기반 로봇 제어

제안하는 로봇 제어 송수신 시스템은 그림 2와 같이 다수의 송신기를 허용하되, 각 송신기에 사전에 지정된 고유 우선순위 정보를 활용하여 다수 송신기가 수신기에 접속 후 동시에 로봇을 제어하고자 할 경우 우선순위가 높은 송신기의 메시지를 선

택하고 이를 기반으로 로봇 제어 신호를 생성한다. 이를 위하여 수신기는 WAP (Wireless Access Point)의 기능을 활용하여 WAP에 접속한 다수의 수신기를 확인 및 관리할 수 있도록 한다. 수신기에 하나의 송신기만 접속된 경우는 우선순위에 무관하게 명령을 수신하여 로봇에게 전달한다. 하지만 서로 다른 우선순위를 가지는 다수의 송신기가 수신기에 접속할 경우 수신기는 모든 송신기의 우선순위 정보를 먼저 확인 후, 우선순위 정보가 가장 높은 송신기의 ID를 기록하고 해당 ID의 송신기 제어 명령만을 로봇에게 전달한다. 우선순위가 가장 높은 송신기의 명령이 일정 시간 이상 수신되지 않을 경우 수신기는 현재 수신 중인 송신기 중에 우선순위가 가장 높은 송신기를 다시 결정한다. 단, 각 송신기는 고유의 서로 다른 우선순위 정보가 미리 설정되어 있다고 가정한다.

실시간 로봇 조종을 위한 명령 전송의 경우 짧은 주기로 지속적으로 메시지를 전송하므로 본 시스템에서는 TCP에 비해 상대적으로 빠른 송신이 가능한 비연결형 데이터그램 방식의 UDP를 사용한다. 비록 UDP 방식이 TCP에 비해 신뢰성이 낮으나 CheckSum을 이용한 오류 검출 및 각 명령 단위별 검증을 통하여 신뢰성을 높일 수 있다.

III. 시스템 구성

1. 조이스틱 송신기 시스템

로봇 운용을 위한 조이스틱 송신기 시스템은 그림 3 (상)과 같이 마이크로컨트롤러 보드, 조이스틱 및 배터리로 구성된다. 마이크로컨트롤러 보드는 WiFi 모듈이 내장된 ARM Cortex-M0+ 기반의 Arduino Nano 33 IoT를 사용하였다. 조이스틱은 두 개의 직교축 (x 축, y 축)에 장착된 가변저항의 저항값에 의해 측정되며, 가변저항의 아날로그 값은 Arduino Nano 33 IoT 보드의 10bit ADC에 의해 0~1023의 범위로 변환된다. x 축과 y 축에 대응하는 가변저항의 값은 200ms 주기로 측정되며, 측정값과 송신기의 우선순위 정보를 결합하여 WiFi를 통해 수신기에 전송된다. 데이터 전송을 위한 통신 프로토콜은 UDP를 사용한다.

2. 수신기 시스템

수신기 시스템은 송신기와 동일한 Arduino Nano 33 IoT를 사용하였으며 내장된 WiFi 모듈을 WAP 모드로 하여 다수의 송신기가 WAP에 접속할

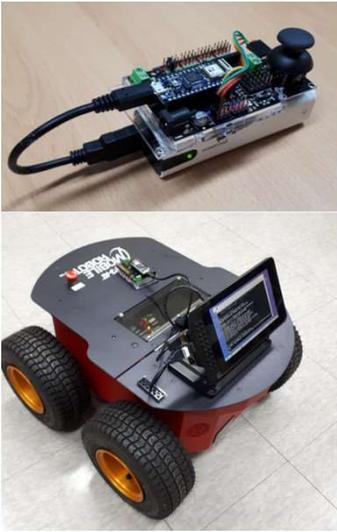


그림 3. 조이스틱 송신기 (상) 및 테스트용 로봇 플랫폼 (Pioneer 3AT) 과 수신기 (하)

Fig. 3 The joystick transmitter (Up) and the robot platform (Pioneer 3AT) with the receiver (Down)

경우 IP를 동적으로 할당한다. 다수의 수신기로부터 메시지를 수신할 경우 현재 접속된 수신기 중 우선순위가 가장 높은 수신기의 메시지만을 선택한다. 선택된 메시지의 (x, y) 값은 식 (1)과 같이 단위원을 경계로 하는 영역 내의 좌표값으로 변환된 후 (x', y') 의 값을 각각 $V_{max}/\sqrt{2}$ 와 $W_{max}/\sqrt{2}$ 로 스케일링하여 로봇 제어 명령으로 변환한다. 수신 시스템에서 변환된 선속도와 가속도의 값을 로봇 시스템에 전송하기 위하여 ROS Serial library를 사용한다 [13]. ROS (Robot Operating System)는 로봇 시스템 운용을 위한 메타 운영체제이며 로봇의 제어, 환경 인식, 지도 생성 등 다양한 애플리케이션에 활발히 사용되고 있다 [14]. 수신기 시스템은 ROS Serial을 사용하여 선속도와 각속도의 값을 로봇에 전송하기 위해 ROS::geometry_msgs::Twist 타입의 메시지를 사용하여 publish를 하는 노드로 동작한다. Publish 된 topic은 로봇 시스템에서 subscribe 하여 로봇의 제어 신호로 사용된다.

3. 로봇 시스템

로봇 시스템은 로봇 운용을 위한 임베디드 보드와 로봇 플랫폼으로 구성된다. 로봇 운용 임베디드 보드는 라즈베리 파이 3B를 사용하였으며, ROS를 구동하여 수신 시스템으로부터 로봇의 제어 명령인

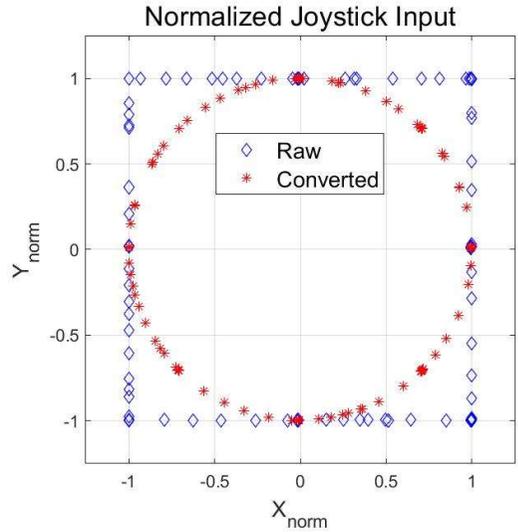


그림 4. 정규화된 조이스틱 입력 (Raw)과 원으로 변환된 조이스틱 입력 (Converted)

Fig. 4 Normalized joystick input (Raw) and converted input (Converted)

선속도와 가속도를 subscribe하고 로봇 구동 명령을 UART 통신 프로토콜을 사용하여 로봇 플랫폼으로 전송한다. 로봇 플랫폼은 Pioneer 3AT (그림 3(하))를 사용하였으며, 해당 로봇의 최대 선속도와 각속도는 각각 0.7 m/s, 2.4 rad/s이다.

IV. 실험

1. 조이스틱 입력 변환

본 실험에서는 조이스틱 입력의 변환과정을 측정함으로써 기존의 변환결과와 제안하는 방식의 변환결과를 비교하고자 한다. 각 방식의 변환 경계를 측정하기 위하여 우선 송신 시스템에서 조이스틱을 최대 가동범위의 경계로 움직인 후 수신 시스템으로 전송한다. 수신 시스템은 기존의 방식과 제안하는 방식으로 메시지를 변환하여 결과를 측정하였다.

그림 4는 조이스틱을 최대 가동범위로 움직이면서 측정한 값 (Raw)과, 각 측정값을 식 (1)을 통하여 변환한 값 (Converted)을 나타낸다. 그림 5는 Raw 영역과 Converted 영역을 각각 스케일링하여 로봇 제어 가능 입력 영역 내부로 변환한 그래프를 나타낸다. 제어 명령으로 변환한 결과는 그림 5와 같다. 기존의 방식으로 변환한 경우 그림 5의 Raw 그래프와 같이 변환된 영역이 로봇 제어 명령의 경

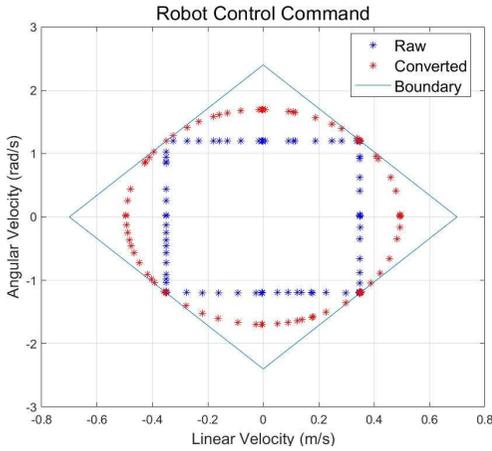


그림 5. 조이스틱 입력에 대한 로봇 제어 명령과 로봇 제어 명령의 허용 경계

Fig. 5 Robot control command from the joystick input and the boundary of the robot control command

계영역 안에 존재하지만, 경계영역의 50%만을 차지하며, 생성 가능한 최대 각속도와 선속도가 로봇의 최대 가속도와 각속도의 0.5배임을 확인할 수 있다.

또한, 꼭짓점이 존재함으로써 부드러운 선속도 및 각속도 변환이 발생하지 않는 지점이 존재한다. 제안하는 방식의 경우 그림 5의 Converted 그래프와 같이 경계영역의 약 78.5%를 차지하며, 생성 가능한 최대 각속도와 선속도가 로봇의 최대 가속도와 각속도의 약 0.71배임을 확인할 수 있다. 또한, 변환된 영역의 경계가 타원의 형태를 가지므로 선속도와 각속도 간의 부드러운 변환이 가능함을 확인할 수 있다.

2. 다수의 원격제어 명령에 따른 로봇 제어

본 실험에서는 제안하는 시스템에서 다수의 운용자가 동시에 단일 로봇을 원격제어하고자 하는 상황에 대한 우선순위 기반 로봇 제어 신호 생성 결과를 확인하고자 한다. 실험 시나리오는 다음과 같다. 우선 순위가 낮은 송신기가 수신기에 접속하여 메시지를 전송하며, 약 340ms에 우선순위가 높은 송신기가 수신기에 접속하고 680ms에 접속 종료 후 다시 840ms에 접속 후 3360ms에 다시 접속을 종료한다.

그림 6과 7은 각각 낮은 우선순위 (Low Priority Input)와 높은 우선순위 (High Priority Input)의 송신기에서 전송한 x 및 y 값과 수신기에서 최종 선

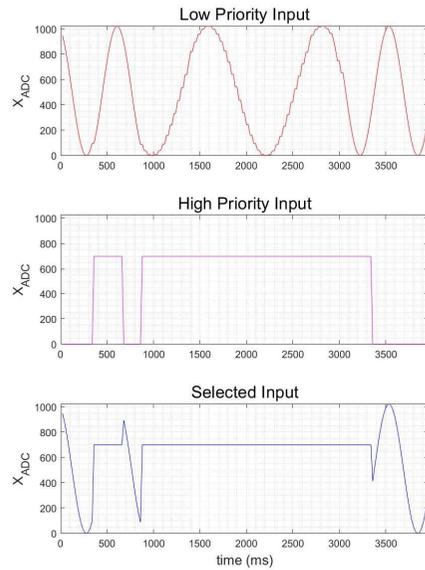


그림 6. 우선순위가 다른 두 송신기의 조이스틱 x 축 값과 수신기에서 선택한 x 축 값

Fig. 6 X-axis values from the transmitters with different priorities and the selected input by the receiver

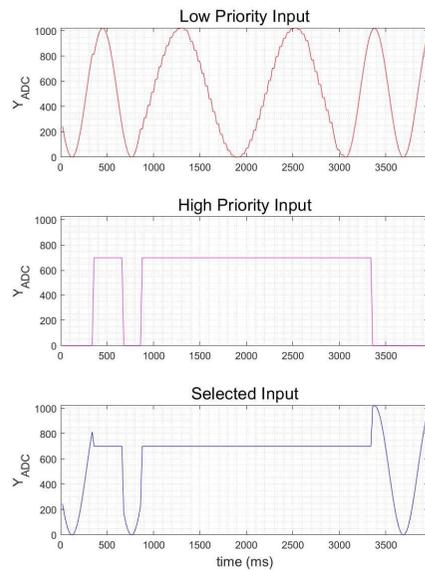


그림 7. 우선순위가 다른 두 송신기의 조이스틱 y 축 값과 수신기에서 선택한 y 축 값

Fig. 7 Y-axis values from the transmitters with different priorities and the selected input by the receiver

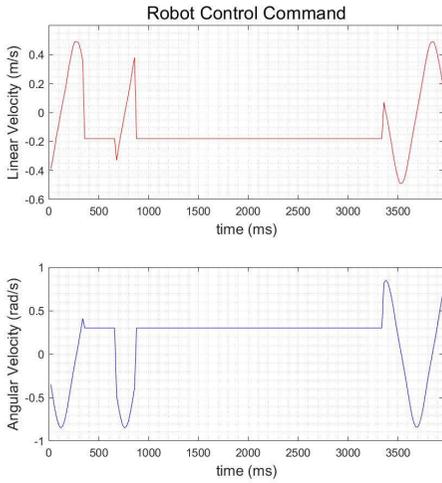


그림 8. 수신기에서 생성한 로봇 선속도와 각속도 명령 신호

Fig. 8 Linear and angular robot control velocities generated from the receiver

택한 x 및 y 값 (Selected Input)을 나타낸다. 두 그래프에서 확인할 수 있듯이 수신부는 우선순위가 높은 송신부의 신호를 로봇 제어 신호의 입력으로 선택함을 확인할 수 있다. 특히 840ms에서 3360ms 동안 Selected Input의 출력이 High Priority Input과 동일함을 확인할 수 있다.

그림 8은 수신부가 선택한 입력 신호를 기반으로 생성한 로봇 제어 신호인 선속도와 각속도를 나타낸다. 그림 8의 선속도는 그림 6의 selected output과 동일한 패턴을 보임을 확인할 수 있다. 단, 기구적으로 조이스틱의 x 축과 로봇의 선속도의 방향이 반대 방향이므로 상하가 반전된 패턴을 확인할 수 있다. 마찬가지로 그림 8의 각속도는 그림 7의 selected output과 동일한 패턴임을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 차동 구동형 모바일 로봇의 원격 제어를 위한 우선순위 기반의 조이스틱 송수신 시스템을 제안하였다. 조이스틱 입력의 경우 입력 영역을 단위원으로 변환한 후 모바일 로봇의 최대 선속도와 각속도를 고려한 영역으로 변환함으로써 조이스틱의 가동범위 경계에서 운용하더라도 선속도와 각속도가 부드럽게 변화할 수 있도록 하였다. 또

한, 다수의 조종용 송신기가 단일 로봇의 수신기에 접속하더라도 수신기의 WAP 기능을 활용한 우선순위 기반 선택을 통하여 다수 조종 명령의 충돌 없이 우선순위가 높은 명령에 따라 원격 조종이 가능함을 실험으로 확인하였다.

본 연구는 자율 주행 모바일 로봇이 운용되는 스마트 팩토리에서 로봇 관리자가 각 로봇을 원격으로 조종할 필요가 있을 시에 적용할 경우 로봇의 자율 주행 운용을 담당하는 시스템은 낮은 우선순위를 가지는 명령으로 로봇을 운용하고, 관리자는 우선순위가 높은 조종용 송신기를 사용함으로써 관리자가 임의로 로봇을 직접 제어할 수 있다. 이를 통하여 로봇 관리 및 돌발상황이나 사고에 대한 운용자의 신속한 시스템 개입이 가능하다. 마찬가지로 다수의 운용자가 로봇을 제어할 경우 운용자의 우선순위를 고려한 로봇 운용이 가능하다. 또한, 다수의 버튼이나 키보드의 조작 없이 2축 조이스틱을 통하여 직관적이고 효율적으로 로봇을 운용할 수 있으므로 운용자와의 긴밀한 협동이 필요한 모바일 로봇 시스템에 제안한 시스템을 적용할 수 있다.

추후 차동 구동형 모바일 로봇 뿐만 아니라 애커먼 조향 방식의 로봇에 적용 가능한 조이스틱 맵핑 알고리즘을 연구할 계획이며, 또한 운용자의 좌표계를 고려한 상대적 운용이 가능한 조이스틱 기반 시스템에 관한 연구를 수행하고자 한다.

References

- [1] A. Huber, H. Bischoff, "Robotics in Logistics: A DPDHL Perspective on Implications and Use Cases for the Logistics Industry," Journal of DHL Trend Research, Vol. 1, No. 1, pp. 1-5, 2016.
- [2] Škrinjar, J. Pašagić, P. Škorput, M. Furdić, "Application of Unmanned Aerial Vehicles in Logistic Processes," Proceedings of International Conference of New Technologies, Development and Applications, Springer, pp. 359-366, 2018.
- [3] S. Jeon, J. Lee, J. Kim, "Multi-robot Task Allocation for Real-time Hospital Logistics," Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 2465-2470, 2017.
- [4] D'Andrea, Raffaello, "Guest Editorial: A

- Revolution in the Warehouse: A Retrospective on Kiva Systems and the Grand Challenges Ahead,” *Journal of IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, Vol. 9, No. 4, pp. 638-639, 2012.
- [5] Arbanas, Barbara, “Aerial-ground Robotic System for Autonomous Delivery Tasks,” *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 5463-5468, 2016.
- [6] A.N. Chand, G.C. Onwubolu, “Development of a Joystick-based Control for a Differential Drive Robot,” *Proceedings of Innovative Algorithms and Techniques in Automation, Industrial Electronics and Telecommunications*, Springer, pp. 37-41, 2007.
- [7] Chiri, Marga, Sarah Bergbreiter, “Joystick Control for TinyOS Robot,” *University of California, Berkeley, Technical Report*, 2002.
- [8] Rofer, Thomas, C. Mandel, T. Laue, “Controlling an Automated Wheelchair via Joystick/head-joystick Supported by Smart Driving Assistance,” *Proceedings of IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics*, pp. 743-748, 2009.
- [9] M.B. Dias, “Sliding Autonomy for Peer-to-peer Human-robot Teams,” *Proceedings of the International Conference on Intelligent Autonomous Systems*, pp. 332-341, 2008.
- [10] Wong, Alex, A. Xu, G. Dudek, “Investigating Trust Factors in Human-Robot Shared Control: Implicit Gender Bias Around Robot Voice,” *Proceedings of IEEE Conference on Computer and Robot Vision*, pp. 195-200, 2019.
- [11] S. A. Mostafa, M. S. Ahmad, A. Mustapha, “Adjustable Autonomy: a Systematic Literature Review,” *Journal of Artificial Intelligence Review*, Vol. 51, No. 2, pp. 149-186, 2019.
- [12] Fong, Chamberlain, “Analytical Methods for Squaring the Disc,” pp. 1-33, 2015.
- [13] Bouchier, Paul, “Embedded ros [ros topics],” *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 20, No. 2 pp. 17-19, 2013.
- [14] Quigley, Morgan, “ROS: an Open-source Robot Operating System,” *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation Workshop*, Vol. 3, No. 3.2, pp. 5, 2009.

Dong-Hyun Lee (이 동 현)



He is received the Ph.D degree in electrical engineering from KAIST in 2015. He is currently an assistant professor in the School of Electronics Engineering and the Department of IT Convergence Engineering at Kumoh National Institute of Technology. His research interest include embedded robot system and mobile robot navigation system.

Email: donglee@kumoh.ac.kr