진동모터로 구성된 햅틱 디바이스를 이용한 장애물 정보 전달 및 제어 방법

Obstacle Information Transfer and Control Method using Haptic Device consist of Vibration Motors

이 동 혁, 노 경 옥, 강 선 군, 한 종 호, 이 장 명*
(Dong-Hyuk Lee¹, Kyung-Wook Noh², Sun Kyun Kang¹, Jong Ho Han¹, and Jang-Myung Lee^{1,*})

¹Department of Electrical Engineering, Pusan National University

²Department of Interdisciplinary Program in Robotics, Pusan National University

Abstract: In this paper, a new haptic device is proposed for the teleoperation, which can recognize the invisible environment of a mobile robot. With this new device, it is possible for the user to identify the location of an obstacle and to avoid it. The haptic device has been attached on the top of a joystick so that the user can remotely control the mobile robot to avoid the obstacles which are recognized by the ultrasonic sensors. Also, the invisible environment is recognized more accurately overlapping the data from the ultrasonic sensors. There are five vibration motors in the haptic device to indicate the direction of the obstacle. So the direction of the obstacle can be recognized by the vibration at the finger on each vibration motor. For various situations and surrounding environments, experiments are performed using fuzzy controller and overlapping ultrasonic sensors. The results demonstrate the effectiveness of the proposed haptic joystick.

Keywords: haptic device, haptic joystick, haptic feedback, ultrasonic sensor, teleoperation

I. 서론

최근 우주탐사나 수중탐사, 군사지역이나 사고현장 등과 같이 인간이 직접 접근하기 어렵고, 현재 상황을 알 수 없는 위험한 환경에서 적용할 수 있는 이동로봇에 대한 많은 연구가 진행되고 있다. 하지만 위험하고 복잡한 작업 환경에서 독자적으로 주변환경을 인식하고 판단하여 작업을 수행 및 완료할 수 있는 이동로봇의 지능화 기술에 대한 많은 연구가 요구된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 이동로봇에 장착된 다양한 센서 정보를 통하여 외부에서 사용자가 주변 환경을 인식하고 판단하여 조작하는 원격제어의 필요성이 크게 부각되고 있다[1,2].

현재 이동로봇 원격제어에서는 카메라 등을 이용한 영상 정보를 바탕으로 이동로봇의 주변환경을 인식하고 이에 따라 사용자가 조작하는 방식으로 연구되었다. 하지만 카메라 영상의 평면 정보만으로는 이동로봇 주변의 거리정보를 사용자가 완전히 판단하기 어려움이 많고, 카메라 고장 및 악천후 등 영상정보를 확인하기 어려운 상황에서 사용자는 이동로봇을 조작할 수 없게 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 다양한 방법들이 연구되고 있는데, 그 중 하나로 본 논문에서는

문에서는 촉각 정보를 통해 사용자에게 정보를 전달할 수 있는 햅틱(Haptic) 기술을 연구한다. 여기서 햅틱은 사용자의 입력장치를 통해 촉각, 힘 그리고 운동감 등을 전달하는 기술로 사용자가 로봇의 현재 상황을 간접적으로 사용자가 인지할 수 있게 해주며 로봇과 상호작용을 가능하게 하는 기술을 말한다[3-5].

햅틱 기술을 통해 사용자가 원격제어용 이동로봇의 주변 환경에 존재하는 장애물에 대한 정보를 파악하여 대응할 수 있도록 하는 연구가 많이 진행되고 있다. 하지만 사용자가 볼 수 없는 환경에서 사용자가 장애물에 대한 정보를 파악하여 대응할 수 있도록 하는 연구는 진행된 사례가 거의 없다. 그리고 햅틱 기술을 이용하기 위해서는 햅틱 디바이스를 보유해야 한다. 현재 판매되고 있는 햅틱 디바이스는 고가의 제품이고, 햅틱 조이스틱의 상태로 제작되기 때문에 보유하고 있는 조이스틱에 쉽게 접목하기 어려운 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 본 논문에서는 일반적인 조이스틱에 장착하기 위한 진동모터로 구성된 햅틱 디바이스를 개발하였으며, 이를 이용하여 사용자가 볼 수 없는 환경에서 햅틱 디바이스의 성능을 검증하는 연구를 진행하고자 한다. 여기서 우리는 촉각에 기여한 모터의 진동을 통한 햅틱을 구현으로, 사용자가 직관적으로 상황을 판단할 수 있도록 구현하였다[6,7].

본 논문에서는 제안된 햅틱 디바이스를 장착한 조이스틱을 이용하여 이동로봇을 제어하였으며, 이동로봇이 주행 중에 장애물의 인지 상황을 조이스틱 제어기에 전달하고, 조이스틱 제어기는 상황에 따라 햅틱 디바이스를 구동하여 사용자가 알 수 있게 하였다. 햅틱 디바이스는 진동모터 5개로 구성하였으며, 각 진동모터는 원격제어용 이동로봇의 주변환

* Corresponding Author

Manuscript received May 24, 2013 / revised May 7, 2014 / accepted July 4, 2014

이동혁, 강선군, 한종호, 이장명: 부산대학교 전자전기공학과
(ldh0917@pusan.ac.kr/sunkyun7379@pusan.ac.kr/gkswhdgh114@pusan.ac.kr/jmlee@pusan.ac.kr)

노경옥: 부산대학교 로봇관련협동과정(kyungwook7379@pusan.ac.kr)

※ This work was supported by BK21PLUS, Creative Human Resource Development Program for IT Convergence.

※ 본 논문은 BK21플러스, IT기반 융합산업 창의인력양성사업단에 의하여 지원되었음.

경에 존재하는 장애물의 존재 방향을 나타내고, 진동세기는 장애물과의 거리를 나타낸다. 이를 통해 사용자는 장애물의 위치 정보를 직관적으로 느낄 수 있게 한다. 그리고 이동로봇에 초음파 센서를 장착 하여 장애물을 인지하고, 초음파 센서를 중첩으로 하여 보다 정확히 장애물의 위치를 알 수 있게 하였다. 햅틱 디바이스는 퍼지(Fuzzy) 제어를 이용하여 장애물이 위치한 상황에 따라 햅틱 디바이스의 진동모터를 제어하고, 이를 사용자가 진동을 통해 햅틱을 전달 받을 수 있도록 시스템을 구현한다. 결론적으로 본 연구에서는 사용자가 볼 수 없는 환경에서 햅틱 디바이스를 통해 현재 상황을 판단하고 이를 통해 이동로봇을 제어하는 방법을 제시한다[8-10].

우선 II 장에서는 원격제어 시스템을 구성함으로써 슬레이브 시스템인 이동로봇과 마스터 시스템인 햅틱 조이스틱을 설명하고, III 장에서는 햅틱 구현을 위한 퍼지 제어기에 대해 소개하였다. IV 장에서는 III 장에서 설명한 제어기의 실제 실험 및 결과에 대해 논하고, 마지막으로 V 장에서는 본 연구의 결론을 제시함으로써 본 논문을 마무리 한다.

II. 원격제어 시스템 구성

1. 원격제어 시스템 구성

원격제어 시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 마스터를 조이스틱과 햅틱 디바이스로 슬레이브를 이동로봇으로 원격제어 시스템을 구성하였다. 마스터에서 전달하는 조이스틱 데이터를 통해 슬레이브인 이동로봇이 구동한다. 슬레이브에서 인지된 장애물 정보를 마스터로 전달하여 이를 통해 햅틱 디바이스를 구동한다. 마스터와 슬레이브간의 통신은 블루투스를 이용하여 데이터를 전송한다[3].

2. 슬레이브 시스템 구성

슬레이브 시스템은 그림 2와 같이 구성된다. 이동로봇은 두 개의 MCU로 구성하였다. MCU2는 초음파 센서의 데이터를 통해 장애물과 이동로봇의 거리 및 각도를 추정하고, 측정된 데이터를 MCU1로 전달한다. MCU1은 블루투스를 통해 전달받은 조이스틱 데이터와 초음파 센서 데이터를 이용하여 이동로봇을 구동한다. 이동로봇의 속도는 모터에 장착된 엔코더를 이용하여 측정한다. 엔코더는 모터의 회전에 따른 펄스 수를 측정하여 모터의 속도 및 위치 값을 측정한다. 모터의 속도를 통해 이동 로봇의 현재 속도를 측정하고, 위치 값을 이용하여 이동 로봇의 이동 경로를 측정한다. 측정된 엔코더 데이터와 MCU2에서 전달받은 데이터를 마스터 시스템으로 전송한다.

그림 3은 슬레이브 시스템으로 제작된 모바일 로봇의 외형이다. 모바일 로봇은 4개의 바퀴로 구동이 되어 있지만 양쪽의 앞과 뒤의 바퀴는 같은 속도로 움직이므로 2자유도에 해당된다. 전방에 장착된 3개의 초음파 센서로 장애물을 인지하게 된다.

그림 4는 본 논문에서 구성한 이동로봇의 좌표계이다. 여기서 X_1 과 Y_1 은 이동 로봇의 중심 좌표이고, θ 는 이동로봇의 방향각이다. 이 3개의 변수로 이동로봇의 이동이 정의된다. v_L 과 v_R 은 각각 왼쪽 바퀴의 속도와 오른쪽 바퀴의 선속도이고 L 은 왼쪽 바퀴와 오른쪽 바퀴간의 길이이다.

그림 1. 원격제어 시스템.

Fig. 1. The teleoperation system.

그림 2. 슬레이브 시스템.

Fig. 2. The slave system.

그림 3. 이동로봇 구성.

Fig. 3. The composition of the mobile robot.

그림 4. 이동로봇의 좌표계.

Fig. 4. The coordinate system for mobile robot.

조이스틱을 이용하여 이동로봇을 제어하기 위한 식은 다음과 같다. 조이스틱을 이용한 이동로봇 제어하는 수식은 θ 의 값에 따라 변화한다.

$$\begin{aligned} 0^\circ \leq \theta < 90^\circ \text{ 일 때, } & L = r, & R = -r \cos 2\theta \\ 90^\circ \leq \theta < 180^\circ \text{ 일 때, } & L = -r \cos 2\theta, & R = r \\ 180^\circ \leq \theta < 270^\circ \text{ 일 때, } & L = r, & R = r \cos 2\theta \\ 270^\circ \leq \theta < 360^\circ \text{ 일 때, } & L = r \cos 2\theta, & R = r \end{aligned} \quad (1)$$

그림 5. 초음파 센서의 위치 불확실성.

Fig. 5. The positional uncertainty of an ultrasonic sensor.

그림 6. 빔 폭이 중첩으로 인한 위치 불확실성 감소.

Fig. 6. The reduction in positional uncertainty due to beam overlap.

여기서 L 과 R 은 이동로봇의 왼쪽과 오른쪽 바퀴 속도이다.

그림 5와 같이 초음파 센서는 빔 폭 내에 존재하는 장애물까지의 거리를 측정할 수 있다, 하지만 그림 5(a)와 (b)의 경우와 같이 빔 폭 내에 장애물까지의 거리는 측정할 수 있으나, 정확한 장애물의 위치를 알기 어려운 점이 있으며 이를 초음파 센서의 위치 불확실성이라 부른다[13,14]. 이러한 위치 불확실성을 줄이기 위하여 초음파 센서 3개를 중첩하여 장애물의 위치를 보다 정확하게 인지할 수 있도록 제작하였다.

그림 6은 반경이 영이 아닌 원주 상에 상호 빔 폭이 중첩된 3개의 초음파 센서 S_L , S_C 그리고 S_R 이다. 초음파 센서 간 빔 폭의 중첩으로 인해 중앙 초음파 센서 S_C 의 전체 감지 영역은 3개의 감지 소영역(LC, C, RC)으로 나뉘 지게 된다. 초음파 센서 빔 폭 내 장애물의 상대적 위치에 따라 장애물을 탐지하는 초음파 센서 조합이 달라지게 되고, 이에 따라 장애물을 탐지하는 초음파 센서의 조합으로 장애물이 속하는 영역을 세분화할 수 있게 되며, 이로 인해 초음파 센서 고유의 위치 불확실성을 감소시킬 수 있게 된다[15,16]. 중첩 초음파 센서 링을 구성하는 초음파 센서들은 자체 크기로 인해 그림 6과 같이 반경이 영이 아닌 원주 상에 배치한다. 초음파 센서들은 제각기 자신의 꼭지점을 기준으로 한 장애물 거리를 제공하지만, 장애물 탐지 및 회피 기능 구현을 위해서는 중첩 초음파 센서 링의 기준점 O 를 기준으로 한 장애물 거리로 변환한다[17].

그림 7과 같이 장애물 탐지 사각 구역을 감안하면, 중첩 초음파 센서링의 장애물 감지 범위는 식 (2)로 결정한다.

$$\rho_{o,\min} \leq \rho_o \leq \rho_{o,\max} \quad (2)$$

그림 7. 빔 폭이 중첩된 3개의 인접 초음파 센서.

Fig. 7. Three adjacent overlapped ultrasonic sensors.

여기서

$$\rho_{o,\min} = \overline{OD} = d \quad (3)$$

$$\rho_{o,\max} = \overline{OI} = r + \rho_{s,\max} \quad (4)$$

식 (3)의 $\rho_{o,\min}$ 는 중첩 초음파 센서링의 중심으로부터 장애물 탐지 사각 구역의 꼭지점까지의 거리이고, 식 (4)의 $\rho_{o,\max}$ 는 초음파 센서의 최대 감지 거리 $\rho_{s,\max}$ 에 상응하는 초음파 센서링의 중심을 기준으로 한 장애물 거리이다 [18]. 본 논문에서는 초음파 센서의 최대 감지 거리를 1 m로 지정하여 실험하였다.

3. 마스터 시스템 구성

마스터 시스템은 그림 8과 같이 구성된다. 조이스틱은 2축 홀 센서(Hall sensor)로 구성되었고, 각각 X축과 Y축의 데이터를 나타낸다. ADC를 통하여 디지털 값으로 변환되고, 이 변환된 값은 12 bit 분해능으로 10 ms 주기로 조이스틱 봉의 위치 값을 나타낸다. 변환된 조이스틱 데이터는 슬레이브로 전송한다. 슬레이브에서 장애물의 위치 및 거리 추정 데이터를 받게 되는데 이 데이터를 통해 햅틱 디바이스를 구동하여 사용자에게 정보를 전달하게 된다.

그림 9는 본 논문에서 사용한 조이스틱의 좌표계이고, 지정된 출력 특성을 나타낸다. 조이스틱의 출력 전압은 그림 9에 따라 X축과 Y축 각각 최소 출력 전압 0V에서 최대 출력 전압 5V로 구분된다. 이 때 조이스틱에서 역전압 발생을 없애기 위해 조이스틱의 기준 좌표(0,0)의 출력 전압을 X축과 Y축의 기준을 2.5V로 지정한다.

조이스틱의 좌표는 X축과 Y축에 상관없이 자유롭게 방향 전환과 이동이 가능하다. 조이스틱의 좌표 이동에 따라 출력 특성인 정사각형의 내부에 표현된 각도 θ 와 이동거리 r 로

그림 8. 마스터 시스템.

Fig. 8. The master system.

그림 9. 조이스틱의 좌표계.

Fig. 9. The coordinate system for joystick.

표현한다. 여기서 발생하는 입력 값은 식 (5)~(8)를 통해 슬레이브인 이동로봇의 방향 제어 및 속도 제어에 필요한 제어 값을 얻을 수 있다[19,20].

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (5)$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x}\right) \quad (6)$$

$$x = x_j - 2.5 \quad (7)$$

$$y = y_j - 2.5 \quad (8)$$

여기서 x_j , y_j 는 조이스틱에서 출력되는 X축과 Y축의 전압 값이다.

그림 10은 본 논문에서 제안한 햅틱 디바이스이다. 본 논문에서는 5개의 진동 모터로 구성된 햅틱 디바이스를 제작하였고, 조이스틱 상단 부분에 장착하여 햅틱 조이스틱을 구성하였다. 햅틱 디바이스는 다양한 조이스틱과 결합하여 햅틱 조이스틱을 구현할 수 있도록 고려하여 설계 및 제작하였고, 장애물의 위치와 직관적인 구조로 진동 모터를 장착하였다. 진동 모터에서 발생하는 진동에 의해 장애물의 위치를 인지하게 된다. 여기서 모터1부터 모터5는 각각 왼쪽부터 오른쪽까지의 방향을 나타낸다.

햅틱 디바이스에서 진동 모터를 통해 진동이 발생되면 그 방향에 장애물이 존재한다는 것을 사용자가 알 수 있게 된다. 사용자는 이 정보를 통해 장애물에 대한 정보를 인지하고, 조이스틱을 제어하여 장애물을 회피하게 된다.

그림 10. 햅틱 디바이스.

Fig. 10. The haptic device.

III. 햅틱 제어기

측정된 초음파 센서의 데이터를 이용하여 추정된 장애물의 위치를 햅틱 디바이스를 통해 사용자에게 전달한다. 햅틱 디바이스를 통해 햅틱을 표현하는 것은 장애물의 위치를 추정하는 알고리즘과 더불어 이동로봇의 진행방향 등의 현재 상태에 따라 지능적으로 대응할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 그래서 본 논문에서는 퍼지 규칙을 이용하여 햅틱 디바이스를 구동하게 한다. 퍼지 모델의 성능은 퍼지 규칙의 구성 방법에 따라 달라지며 더 나은 성능을 위해서 퍼지 규칙의 최적화 과정이 필요하다. 퍼지 규칙은 다음과 같다.

Rule: IF Left situation of Mobile Robot is A_L^i and Right situation of Mobile Robot is B_R^i Then Haptic device is X_V^i (9)

여기서 A_L^i 는 이동로봇의 전방의 왼쪽 부분에 위치한 장애물의 위치정보, B_R^i 는 전방의 오른쪽 부분에 위치한 장애물의 위치정보를 나타낸다. X_V^i 는 햅틱 디바이스의 동작 형태이다. 또한 퍼지 규칙은 사람의 생각을 쉽게 규칙으로 나타낼 수 있으므로, 지능적인 판단을 로봇에 쉽게 반영할 수 있다. 본 논문에서는 이동로봇의 현재 상태와 따라 햅틱 디바이스를 상황에 맞게 구동하여 이를 통해 사용자가 인지하고 조이스틱을 제어하는데 도움을 줄 수 있도록 적용하였다.

본 논문에서 사용하는 퍼지 규칙은 그림 11과 같이 2개의 input 과 1개의 output 형태로 구성된다. 이동로봇과 장애물간의 위치 정보를 통해 햅틱 디바이스를 구동하기 위해 퍼지 알고리즘의 입력변수는 전방의 왼쪽과 오른쪽에 대한 장애물의 위치 정보를 이용하였고, 이를 통해 출력되는 결과 값을 이용하여 햅틱 디바이스의 구동 상황을 나타낸다. 또한 결과 값을 결정함에 있어서 비 퍼지화는 일반적인 Mamdani의 무게 중심법을 사용하였고, 정성적인 언어변수로 표현하였다[21-23].

표 1은 퍼지 규칙을 설계한 것이다. 여기서 출력 값은 그림 10의 모터 번호이다. 퍼지 규칙은 장애물의 위치를 고려하

그림 11. 퍼지 규칙의 구조.

Fig. 11. The structure of fuzzy rules.

표 1. 입·출력 퍼지 규칙.

Table 1. Input and output of fuzzy rules.

Left \ Right	None	Left	Left Center	Center
None	None	Motor 1	Motor 2	Motor 3
Right	Motor 5	Motor1, 5	Motor All	Motor 3, 5
Right Center	Motor 4	Motor All	Motor All	Motor 3, 4
Center	Motor 3	Motor 1, 3	Motor 2, 3	Motor 3

여 초음파 센서로부터 측정된 장애물은 위치에 따라서 햅틱 디바이스에서 발생된 진동을 통해 장애물의 위치를 느끼게 해준다. 이를 통해 사용자가 볼 수 없는 상황에서 장애물의 존재여부 및 위치를 인지하고 이에 따라 장애물을 회피할 수 있도록 햅틱 인터페이스를 구현하였다.

IV. 실험 및 고찰

1. 장애물 인지 성능 분석

본 실험은 부산대학교 삼산과학협동관 2층 로비에서 실시하였고, 장애물은 중첩된 초음파 센서를 이용하여 측정된 데이터를 통해 장애물과의 거리 및 위치를 알게 된다.

그림 12는 사용자가 햅틱 디바이스를 이용하여 장애물을 정확히 인지하는지에 대한 성능 분석을 위한 실험환경이다. 이동로봇이 중첩된 초음파 센서를 통하여 장애물을 정확히 인지하고, 햅틱 디바이스를 통해 사용자에게 장애물에 대한 정보를 정확히 전달하는가에 대한 성능 분석을 하였다.

성능 분석을 위해 초음파 센서는 측정 거리 값을 1 m로 설정하였고, 1 m 거리 안에 있는 장애물을 측정하게 된다. 3가지 경우의 실험환경에서 측정된 정보는 햅틱 디바이스에 전달되고, 햅틱 디바이스 모드에 따라 진동 모터가 동작된다. 진동 모터의 진동의 크기는 장애물과의 거리가 가까울수록 강하게, 멀수록 약하게 느껴지도록 설정하였다. 표 2는 햅틱 디바이스에 부착된 진동 모터의 동작 상태를 나타내며 진동 모

그림 12. 실험 환경.

Fig. 12. The experimental environment.

그림 13. 장애물과의 거리에 따라 변화하는 햅틱.

Fig. 13. The haptic varies according to the distance to an obstacle.

터의 변하는 그림 10에 표현되어 있다.

그림 13은 초음파센서를 통해 장애물과의 거리를 1500 mm에서 100 mm로 변화한 경우 햅틱의 변화를 나타낸 것으로, 장애물과의 거리에 따라 진동모터의 RPM이 증가하는 것을 확인 할 수 있는 기초 실험 데이터이다. 이를 통해 진동모터의 진동 크기를 조절 할 수 있다.

그림 14는 실험 1 환경에서 이동로봇이 장애물 인지에 따른 햅틱 디바이스의 성능 분석이다. 장애물이 이동로봇의 정면에 존재할 경우에 이동로봇이 장애물에 접근함에 따라 햅틱 디바이스의 성능을 분석하였다. ①번 구간은 이동로봇이 중앙 초음파 센서를 통해 장애물을 인지하기 시작하면서 상황에 따라 햅틱 디바이스가 동작하였다. ②번 구간은 이동로봇이 장애물에 접근하면서 초음파 센서의 중첩에 의해 전체가 인지되어 이동로봇의 전방향에 장애물이 인지된 상태로 나타났다. ③번 구간은 이동로봇이 장애물에 근접하여 중앙 초음파 센서를 통해서만 인지되어 장애물이 중앙에 위치한다는 것을 알 수 있다.

그림 15는 실험 2 환경에서 이동로봇이 장애물 인지에 따른 햅틱 디바이스의 성능 분석이다. 장애물이 이동로봇의 왼쪽 면에 존재할 경우에 따라 실험 1과 동일한 방법으로 햅틱

표 2. 햅틱 디바이스 동작 상태의 표현.

Table 2. Representation of haptic device's operating state.

Mode	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Haptic (Motor No.)	1	2	3	4	5	1, 5	1, 3	3, 5	2, 3	3, 4	All

그림 14. 장애물 인지에 따른 성능 분석(실험 1).

Fig. 14. The performance analysis depending on recognition of obstacle (Experiment 1).

그림 15. 장애물 인지에 따른 성능 분석(실험 2).

Fig. 15. The performance analysis depending on recognition of obstacle (Experiment 2).

그림 16. 장애물 인지에 따른 성능 분석(실험 3).

Fig. 16. The performance analysis depending on recognition of obstacle (Experiment 3).

디바이스의 성능을 분석하였다. ①번 구간은 이동로봇이 초음파 센서의 중첩을 통해 장애물의 위치를 인지하였고, 그 상황에 따라 햅틱 디바이스가 동작하였다. ②번 구간은 이동로봇의 왼쪽에 장애물이 근접하고 통과하는 상황에 따라 햅틱 디바이스가 동작하였다.

그림 16은 실험 3 환경에서 이동로봇이 장애물 인지에 따른 햅틱 디바이스의 성능 분석이다. 장애물이 이동로봇의 왼쪽과 중앙 두 곳에 존재할 경우에 따라 위와 동일한 방법으로 햅틱 디바이스의 성능을 분석하였다. ①번 구간은 이동로봇이 왼쪽에 존재하는 장애물을 먼저 인지하여, 그 상황에 따라 햅틱 디바이스가 동작하였다. ②번 구간은 이동로봇이 두 장애물의 위치를 정확히 인지하여, 그 상황에 맞게 햅틱 디바이스가 동작하였다. ③번 구간은 이동로봇이 왼쪽의 장애물을 통과하여 중앙의 장애물 만을 인지하였다.

2. 장애물 인지에 따른 회피

그림 17은 실험환경을 나타낸다. 본 논문의 IV장의 1에서 소개된 장소에서 진행 되었으며, 성능 분석을 통해 검증된 햅틱 디바이스를 적용한 햅틱 조이스틱을 이용하여 사용자는 볼 수 없다는 가정하에서 실험하였고, 다양한 환경을 두어 실험을 실시하였다.

그림 18은 사용자가 햅틱 디바이스를 이용한 햅틱 정보만을 이용하여 주행한 이동로봇의 이동 경로이다. 장애물 4개를 배치하여 실험환경을 구성하였고, 이동로봇은 Start 지점에서 End 지점까지 이동하였다. 사용자는 실험환경에서 5 m 이상 떨어진 볼 수 없는 장소에서 조이스틱을 이용하여 이동로봇을 원격제어를 하였다. 이동로봇이 주행하면서 장애물을 인지하게 되고, 그 상황을 햅틱 디바이스를 통해 사용자가 인지하게 된다. 사용자는 햅틱 디바이스를 통해 전달받은 정보를 이용하여 이동로봇을 주행하고 장애물을 회피하였다.

그림 19는 이동로봇이 이동하면서 장애물 상황에 따른 햅틱 디바이스의 동작 상태에 대한 분석이다. ①번 구간은 그림 18의 ①번 구간에 따른 햅틱 디바이스의 동작 상태로 이동로봇이 첫 번째 장애물을 인지하고 상황에 맞게 회피하였다. 그리고 순간적으로 모드가 변경되는 구간은 초음파 센서의 노이즈로 인해 순간적으로 장애물의 위치를 잘못 인지한 것이다. ②번 구간은 그림 18의 ②번 구간에 따른 햅틱 디바이스의 동작 상태로 ①번 구간과 동일한 방법으로 이동로봇을 장애물로부터 회피하였다. 그리고 순간적으로 튀는 부분

그림 17. 실험 환경.

Fig. 17. The experimental environment.

그림 18. 이동로봇의 이동 경로.

Fig. 18. The moving path of the mobile robot.

그림 19. 각 상황에 따른 햅틱 디바이스 상태 분석.

Fig. 19. The haptic device condition analysis according to each situation.

은 이동로봇이 회전하면서 초음파 센서가 순간적으로 장애물 없는 구간을 발생하여 모드가 변경된 구간이다. ③번 구간은 그림 18의 ③번 구간에 따른 햅틱 디바이스의 동작 상태로 햅틱 디바이스를 통해 장애물을 인지하여 그 상황에 맞게 이동로봇을 제어하였다. 장애물이 좌·우측 두 곳에 존재하지만 이동로봇의 전면부 전체가 막힌 상태로 출력되는 이유는 장애물에 근접하면서 중앙 초음파 센서의 빔 폭에 의해 장애물을 인지한 상황으로 나타난 것이다.

V. 결론

본 논문에서는 사용자가 제안된 햅틱 디바이스를 이용하여 조명이 없는 상황에서 장애물을 인지하고 이를 바탕으로 이동로봇을 주행하여 장애물을 회피 할 수 있는 기법을 제안하였다. 그리고 사용자는 햅틱 디바이스에서 발생하는 햅틱 정보를 통해 장애물의 위치 정보를 정확히 인지하고 이를 바탕으로 이동로봇을 조작할 수 있다는 것을 실험을 통하여 증명하였다. 하지만 이동로봇이 다중 장애물을 감지할 경우 햅틱 정보를 통해 장애물에 대한 정보를 전달받은 사용자가 회피 방향을 빠르게 판단하기 힘든 상황이 발생하였다. 향후 연구에서는 사용자가 장애물 위치 정보에 따른 회피 방향을 전달 받기 위한 알고리즘 연구를 진행할 계획이다.

REFERENCES

- [1] Y.-T. Kweon, M.-K. Kim, H.-J. Kang, and Y.-S. Roh, "Remote control of a mobile robot using haptic device," *Korean Society of Precision Engineering Autumn Conference*, pp. 120-124, Oct. 2004.
- [2] X. Tang, H. Yamada, D. Zhao, and T. Ni, "Haptic interaction in tele-operation control system of construction robot based on virtual," *Proc. of the 2009 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation*, pp. 78-83, Aug. 2009.
- [3] A.-K. Ko, J.-Y. Choi, H.-C. Kim, and J.-M. Lee, "A haptic interface using a force-feedback joystick," *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering (in Korean)*, vol. 13, no. 12, pp. 1207-1212, Dec. 2007.
- [4] H.-J. Yeo and M.-H. Sung, "Fuzzy control for the obstacle avoidance of remote control mobile robot," *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 48, no. 1, pp. 47-54, Jan. 2011.
- [5] J. M. Sabater, R. Aracil, R. J. Saltaren, and L. Paya, "A novel parallel haptic interface for telerobotic systems," *Advances in Telerobotics*, vol. 31, pp. 45-59, Aug. 2007.
- [6] Y. S. Hwang and J. M. Lee, "Development of haptic glove for remote control," *Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 60, no. 5, pp. 1030-1035, May 2011.
- [7] K. U. Kyung and J. S. Park, "The state of the art and R&D percepts on haptics," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 21, no. 5, pp. 93-108, Oct. 2006.
- [8] S. K. Cho, H. Z. Jin, J. M. Lee, and B. Yao, "Teleoperation of a mobile robot using a force-reflection joystick with sensing mechanism of rotating magnetic field," *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, vol. 15, no. 1, pp. 17-26, Feb. 2010.
- [9] F. Janabi-Sharifi and I. Hassanzadeh, "Experimental analysis of mobile-robot teleoperation via shared impedance control," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 41, no. 2, pp. 591-606, Apr. 2011.
- [10] H. Kim, K.-U. Kyung, J. Park, and D. Han, "The state-of-the-art on haptic interface," *Journal of Information Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 7-15, Dec. 2010.
- [11] B. J. Choi and S. Jin, "Design of simple-structured fuzzy logic system based driving controller for mobile robot," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 1, pp. 1-6, Feb. 2012.
- [12] B. S. Jeon, D. Y. Lee, I. H. Choi, Y. H. Mo, J. M. Park, and M. T. Lim, "Obstacle avoidance method for multi-agent robots using IR sensor and image information," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 12, pp. 1122-1131, Dec. 2012.
- [13] J. H. Kwon, T. Y. Kim, and J. Lyoo, "Corridor traveling and map building of an omni-directional mobile robot with ultrasonic sensor array," *Annual Conference of Institute of Control, Robotics and Systems*, pp. 820-829, Jul. 2011.
- [14] Y.-K. Choi, W.-S. Choi, and J.-B. Song, "Obstacle avoidance of a mobile robot using low-cost ultrasonic sensors with wide beam angle," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 11, pp. 1102-1107, Nov. 2009.
- [15] S. B. Kim and H. B. Kim, "Comparative analysis on performance indices of obstacle detection for an overlapped ultrasonic sensor ring," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 4, pp. 321-327, Apr. 2012.
- [16] S. B. Kim and H. B. Kim, "Design method of overlapped ultrasonic sensor ring for autonomous mobile robots," *Annual Conference of Institute of Control, Robotics and Systems*, pp. 171-174, May 2010.
- [17] S. B. Kim and S. H. Lee, "Positional uncertainty reduction of overlapped ultrasonic sensor ring for efficient mobile robot obstacle detection," *Journal of Institute of Signal Processing and Systems*, vol. 10, no. 3, pp. 198-206, Jul. 2009.
- [18] S. B. Kim and H. B. Kim, "Optimally overlapped ultrasonic sensor ring with minimal positional uncertainty in obstacle detection," *International Conference on Control Automation and Systems*, pp. 546-550, Oct. 2010.
- [19] T. H. Pharm and J.-W. Ahn, "Development of noncontactable joystick controller for low speed electric vehicle," *The Transactions of the Korean Institute of Electrical Engineers*, vol. 61, no. 4, pp. 549-554, Apr. 2012.
- [20] T. S. Jin, "Object avoidance of mobile robot with virtual impedance," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 19, no. 4, pp. 451-456, Aug. 2009.
- [21] S. H. Ha, I. C. Choi, H. S. Kim, and H. J. Jeon, "Collision-avoidance and optimal path planning of autonomous mobile robot using soft-computing," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 20, no. 2, pp. 195-201, Apr. 2010.
- [22] H. H. Min, D. S. Yoo, and Y. T. Kim, "Fuzzy tracking control based on stereo images for tracking of moving robot," *Journal of Korean Institute of Intelligent Systems*, vol. 22, no. 2, pp. 198-204, Apr. 2012.
- [23] S. W. Lee, G. H. Yuk, H. S. Yang, and N. C. Park, "Sensor fusion based obstacle avoidance for terrain-adaptive mobile robot," *Journal of Control, Automation, and Systems Engineering (in Korean)*, vol. 13, no. 2, pp. 93-100, Feb. 2007.

이 동 혁

2011년 경남과학기술대학교 메카트로닉스공학부 졸업. 2013 부산대학교 대학원 로봇관련협동 석사 졸업. 2013년 2월 ~현재 부산대학교 전자전기공학부 박사과정 재학 중. 관심분야는 지능로봇 제어, 센서 융합, 원격제어, 마이크로프로세서 응용.

노 경 욱

2012년 동아대학교 전자공학과 졸업(공학사). 2014년 부산대학교 대학원 로봇 관련협동과정 졸업(공학 석사). 현재 국립과학수사연구원 디지털 분석과 연구원 재직중. 관심분야는 지능제어시스템, 원격제어시스템, Haptic.

강 선 군

2013년 동아대학교 전자공학과(공학사). 2013년~현재 부산대학교 대학원 전자 전기컴퓨터공학과 석사과정 재학. 관심 분야는 지능제어시스템, 원격제어시스템.

한 종 호

2010년 진주산업대 전자공학과 졸업. 2012년 부산대 대학원 로봇협동 과정 석사졸업. 2012년 3월~현재 부산대 전자 전기공학부 박사과정 재학 중. 관심분야는 지능제어시스템, 마이크로프로세서 응용, Navigation/Localization, 신호처리, 원격제어.

이 장 명

1980년 서울대학교 전자공학과(공학사). 1982년 서울대학교 전자공학과(공학석사). 1990년 Univ. of Southern California (공학박사). 1992년 ~ 현재 부산대학교 전자공학과 교수. 관심분야는 특수 환경 Localization 및 Navigation, 마이크로프로세서 응용, 지능로봇 시스템 제어.