

인터넷 환경에서 힘반영을 이용한 이동로봇의 원격제어

Internet-based Teleoperation of a Mobile Robot with Force-reflection

진태석, 임재남, 이장명
(Tae-Seok Jin, Jae-Nam Lim, and Jang-Myung Lee)

Abstract : A virtual force is generated and fed back to the operator to make the teleoperation more reliable, which reflects the relationship between a slave robot and an uncertain remote environment as a form of an impedance. In general, for the teleoperation, the teleoperated mobile robot takes pictures of the remote environment and sends the visual information back to the operator over the Internet. Because of the limitations of communication bandwidth and narrow view-angles of camera, it is not possible to watch certain regions, for examples, the shadow and curved areas. To overcome this problem, a virtual force is generated according to both the distance between the obstacle and the robot and the approaching velocity of the obstacle *w.r.t* the collision vector based on the ultrasonic sensor data. This virtual force is transferred back to the master (two degrees of freedom joystick) over the Internet to enable a human operator to estimate the position of obstacle at the remote site. By holding this master, in spite of limited visual information, the operator can feel the spatial sense against the remote environment. It is demonstrated by experiments that this collision vector based haptic reflection improves the performance of teleoperated mobile robot significantly.

Keywords : internet based control, virtual impedance, teleoperation, force reflection, mobile robot.

I. 서론

원격제어 분야에서 중요하게 다루어지는 원격 존재 감이란 원격제어의 궁극적인 목표로, 원격 조작자와 작업 환경에 대한 정보가 인간에게 전달되는 이상적인 상황이다. 그것을 실현하는 가장 보편적인 방법은 원격 환경의 정보를 화상을 통하여 피드백하는 방법이다. 그러나 이런 방법은 인간의 세심한 조작 능력이 보다 요구되어지는 분야에서는 충분하지 않다. 즉, 원격수술 같은 응용에선 화상 정보이외에 슬레이브 로봇과 물체의 접촉힘과 같은 또 다른 정보를 필요로 하게 된다.

원격제어 분야에서 양방향 제어(bilateral control) 방법은 마스터측에서 슬레이브 측으로 정보를 전달 하는 것처럼 슬레이브 측에서도 마스터의 조작자 측으로 정보를 전달해 주는 형태의 원격제어를 의미하며, 접촉 힘 정보를 활용하여 원격로봇의 위치 혹은 속도를 제어하기 위해서 사용된다. 여기서의 정보는 물리적 형태의 정보(힘, 촉각, 등)를 의미하며, 일반적으로 힘반영이 제공되는 원격제어를 일컫는다. 즉, 양방향 제어에서 사용되는 입력은 위치나 속도 (혹은 조작자의 접촉힘)가 되며, 출력은 원격로봇의 접촉힘이 된다[1-3].

양방향의 제어에 관한 기존의 연구에선 주로 전송 지연 및 대역폭의 한계를 극복하고 원격지의 ARM로봇 과 환경사이의 접촉 힘을 마스터 측의 조종자에게 정확히 복원시킴으로써 조종자로 하여금 시각적인 정보이외에 촉각의 정보를 이용한 보다 정밀한 제어 능력을 부여하는 것이 주된 목적이다 [4]. 따라서, 이동로봇과 장애물과의 접촉이 일반적으로 발생하지 않는 원격이동로봇에 관한 연구에선 힘 반영을 이용한 양방향 제어는 몇몇 연구들[5-8]을 제외하곤 찾아보기 힘들다.

본 논문에서는 슬레이브 측의 이동로봇과 마스터 측의 2 자유도 조이스틱을 인터넷 기반하에서 제어하기 위하여 이동로봇과 환경사이의 정보를 가상의 힘으로 표현하여 이것을 마스터 측으로 피드백 시키는 양방향 제어에 관하여 연구한다. 조작자, 마스터 조작자 (Joystick), 통신블록, 슬레이브 로봇으로 구성되는 마스터 슬레이브 시스템을 그림 1과 같이 구성한다.

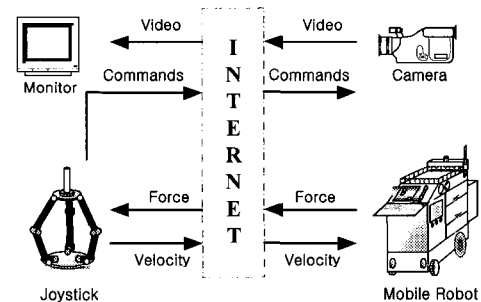


그림 1. 원격제어 시스템의 블록 다이어그램.

Fig. 1. Block diagram of a teleoperated control system.

원격지 슬레이브 로봇의 주위 환경 정보 즉, 이동 로봇과 장애물과의 거리 및 접근 속도 등의 정보를 조작자에게 입체적으로 전달하기 위해 조이스틱의 각축에 연결된 모터를 이용하여 힘을 발생시킬 수 있도록 한다. 조작자는 전송채널의 전송지연이나 대역폭의 제약 및 카메라의 물리적인 고장 등으로 인하여 발생하는 영상정보의 한계상황에서도 조이스틱을 통해 느껴지는 힘에 기인하여 주행하는 로봇과 영상으로는 보이지 않는 물체들과의 거리를 인지할 수 있다[9-11].

본 논문에서는 Virtual Spring-Damper 모델을 사용하여 이동로봇과 주위 물체와의 관계를 모델링하고 장애물의 충돌 벡터를 검출하여 가상의 척력을 발생 시켜 국부 최소점에 도달할 가능성을 현저히 줄인 가상 임피던스 방법을 제안한다.

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2003. 4. 10., 채택확정 : 2003. 6. 26.

진태석, 임재남 : 부산대학교 대학원 전자공학과

(jints@pusan.ar.kr/jaenam74@hanmail.net)

이장명: 부산대학교 전자공학과(jimlee@pusan.ac.kr)

※ 본 연구는 부산대학교 학술연구조성비(4년과제)에 의하여 연구되었음.

II. 시스템의 구성

본 논문에서는 조작자(Human Operator), 마스터 조작기(Joystick), Local PC, Remote PC, 슬레이브 로봇 그리고 통신블록으로 구성되는 마스터-슬레이브 시스템을 그림 2와 같이 구성한다. 조작자가 Joystick에 힘 F_h 를 가하면, X_m 만큼 조이스틱의 변위가 발생 되고, Local PC는 그 변위에 따라 X_d, V_d 를 생성하여 인터넷을 통하여 Remote PC측으로 전달한다. 슬레이브 이동로봇이 Remote PC로부터 무선랜을 통하여 X_d, V_d 를 받게 되면, 이동로봇의 LAP(Local Avoidance Plan-ner)가 그에 해당하는 입력과 초음파 센서를 통한 주위 장애물과의 척력을 구하여, \ddot{x}_d 를 생성한다. 이 \ddot{x}_d 는 Servo Driver에 전달되어, 이동 로봇이 조작자 에 의한 Reference Point를 추종 해가며 장애물을 회피할 수 있도록 하는 이동 로봇의 제어 입력 u 와 ω 를 생성하게 된다. 이 때 장애물과의 척력, F_b ,는 화면 정보와 함께 조작자에게 다시 피드백되어 Local측의 조종자에게 원격의 존재감을 실현하도록 한다.

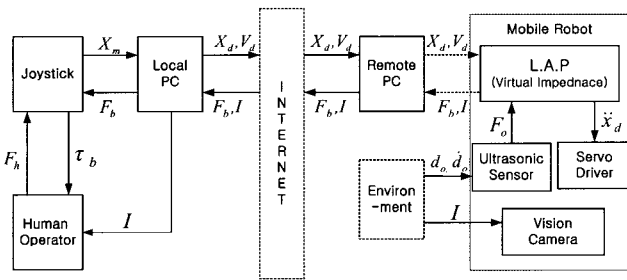


그림 2. 전체 시스템 구성도
Fig. 2. The total system architecture.

1. 마스터 조작기

조종자가 원격지의 이동로봇과 로봇의 주위 환경 간에서 발생하는 가상의 힘을 느끼고, 로봇에게 명령 을 주기 위해 서 힘 반응이 가능한 2자유도 조이스틱 시스템을 구현한다 [12]. 그림 3은 본 논문에서 구현 한 조이스틱 시스템의 블록도이다. 여기서, 조이스틱 을 제어하기 위하여 제어기는 마이크로 프로세서 (80C196 KC)를 사용한다. 이것은 마스터 측의 PC에서 보내온 힘 정보(F_x, F_y)를 받아서 이 힘을 작업자 에게 느끼게 하기 위하여 F_x, F_y 에 해당하는 PWM(Pulse Width Modulation) 출력을 내어 각 축의 DC 모터를 구동한다. 또한, DC 모터를 구동하기 위하여 L298N DC모터 드라이버 를 사용한다.

조이스틱의 위치를 측정하기 위하여 각 축의 모터에 Potentiometer를 장착하여, 위치를 10비트로 A/D (Analog to Digital) 변환하여 조이스틱 제어기 입력으로 사용하며 작업자가 조이스틱을 잡고 있는 힘을 측정하기 위하여 전류센서 를 사용한다. 또한, 각각의 모터에 흐르는 전류를 2Ω 의 저항과 LPF(Low Pass Filter)를 사용하여 전압으로 변환한 후, 10비트 A/D변환하여 조이스틱 제어기 입력으로 사용한다.

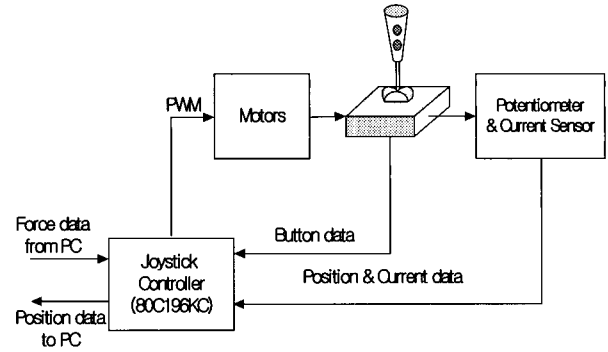


그림 3. 조이스틱 시스템의 블록도
Fig. 3. Block diagram of a joystick system.

1.1 조작자의 지령치 획득

그림 4에서와 같이 조종자가 F_h 로 조이스틱에 힘을 가하 게 되면 조이스틱의 위치 좌표에 X_m 만큼의 변위를 발생시 키게 된다. 이렇게 발생된 변위 X_m 는 다음식에 의해서 속 도 V_d 와 위치 X_d 를 생성하게 된다.

$$V_d(s) = K_m \cdot X_m(s) \tag{1}$$

$$X_d(s) = K_v \cdot V_d(s) \cdot ds \tag{2}$$

여기서, K_m 과 K_v 는 스캘링 상수이고, ds 는 제어 주기이

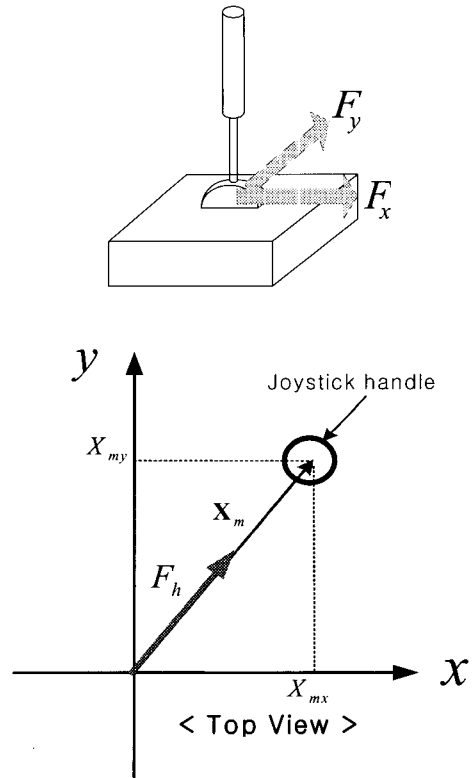


그림 4. 조이스틱의 축과 좌표계.
Fig. 4. Joystick axis and coordinates.

다. 이렇게 생성된 X_d 와 V_d 는 다음 Reference Point의 위치와 속도로 활용된다.

1.2 가상의 힘의 복원

조종자에게 피드백 되어질 가상의 힘 F_b 는 다음과 같이 표현된다.

$$F_b = \sum_{i_{od}=0}^{n_{od}} F_{od}(s) + \sum_{i_{os}=0}^{n_{os}} F_{os}(s) \quad (3)$$

여기서 $F_{od}(s)$ 는 동적 장애물에 대한 척력을 나타내고 $F_{os}(s)$ 는 정적 장애물에 대한 척력을 나타낸다. 결국 F_b 는 장애물에 대한 척력의 합을 나타낸다. 결국, 피드백되는 데이터 즉, $F_b (= F_s - F_m)$ 는 실제 로봇이 받는 힘 F_s (혹은 V_s)와 조종자의 지령값 F_m (혹은 V_m)의 차이가 된다. 슬래이브 측의 이동 로봇에서 발생되어진 F_b 는 (4)에 의해서 마스터 측의 조종자에게 전해지게 된다.

$$\tau_b(s) = \text{sat}(K_b \cdot F_b(s)) \quad (4)$$

$$\text{sat}(x) = \begin{cases} x & , \text{ if } |x| \leq x_{\max} \\ \text{sgn}(x) \cdot x_{\max} & , \text{ otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서, K_b 는 힘 제한 이득(force feedback gain) 상수이다.

조작자는 전송채널의 전송지연이나 대역폭의 제약 및 카메라의 물리적인 고장 등으로 인하여 발생하는 영상정보의 한계상황에서도 조이스틱을 통해 느껴지는 τ_b 에 의해서 수행하는 로봇과 영상으로는 인지할 수 없는 물체들과의 거리를 느낄 수 있다.

2. 슬래이브 이동로봇

본 논문에서의 원격지 슬래이브 로봇으로 이동 로봇을 사용한다. 마스터측 조종자의 의지가 어떻게 원격지의 이동로봇에서 반영되는지를 좌표계 변환을 통하여 설명한다.

원격지의 이동로봇은 조종자에 의해서 생성된 Reference Point를 추종해가며 실시간 장애물 회피를 수행하게 된다. 아래 (6)과 (7)은 마스터에서 전달되어진 $X_d(s), V_d(s)$ 와 로봇의 Reference Point $X_r(s)$ 및 $\dot{X}_r(s)$ 과의 관계를 나타내고 있다.

$$\begin{bmatrix} X_{rx}(s) \\ X_{ry}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_{dx}(s) \\ V_{dy}(s) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} X_{rx}(s) \\ X_{ry}(s) \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta & x_{sx}(s) \\ -\sin \theta & \cos \theta & x_{sy}(s) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{dx}(s) \\ X_{dy}(s) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기서 $x_x(s)$ 는 현재 로봇의 좌표를 나타낸다.

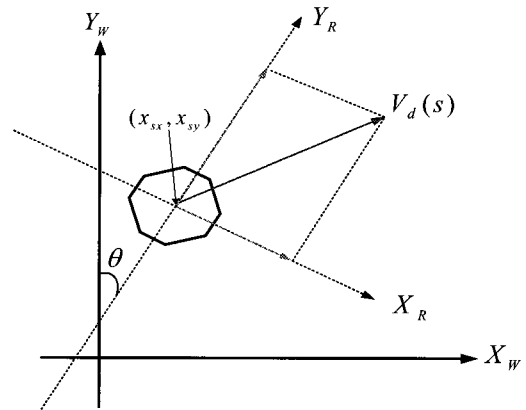


그림 5. Reference Point 생성.

Fig. 5. Generation of the reference point.

III. 충돌벡터(Collision Vector) 를 이용한 장애물 회피

초음파 센서를 사용하여 이동로봇과 주위 물체와의 거리 측정하는 경우, 장애물의 표면에 수직인 벡터와 초음파 센서의 빔이 이루는 각이 30도 이상일 때는 초음파 센서의 방향 부정확성, 반사각 민감성 및 외란 민감성에 의해서 정확한 거리 정보를 얻지 못하게 된다. 따라서 본 논문에서는 이동 로봇의 중심을 향하고 장애물의 접선에 수직인 벡터를 충돌 벡터 (\vec{C})로 정의하고, 30도 이내의 비교적 정확한 거리 정보들을 이용하여 장애물에 대한 충돌벡터를 검출하고 이 벡터에 의해 가상의 척력을 구하는 가상 임피던스 방법을 제안한다.

1. 충돌벡터

원격지의 환경이 건물 안이라고 가정할때, 장애물 의 종류는 원기둥(사람 포함), 평면(벽, 모서리 등) 으로 제한할 수 있다. 따라서 그림 6과 같이 22.5도 간격으로 원형 배치된 초음파 센서들을 사용하여 장애물을 검출하는 경우, 3가지의 부류로 나누어 생각할 수 있다.

Case I : 사람과 같이 직경이 작은 원통형 장애물로서 초음파 센서 1 개에 의해서만 검출되는 경우.

이 때의 충돌벡터는 측정된 센서의 거리정보로 부터 얻을 수 있다.

$$\vec{C} = \vec{L}_{\min} \quad (8)$$

Case II : 초음파 센서 2 개에 의해서 측정되는 장애물인 경우.

이 경우, 초음파 센서를 통하여 측정된 2개의 거리 벡터중 크기가 작은 것을 \vec{L}_{\min} 로 정의하고, 나머지 거리벡터는 \vec{L}_{\min} 을 기준으로 \vec{L}_R , 혹은 \vec{L}_L 로 정의 된다. 그림 6의 (b) 와 같은 경우, 나머지 거리벡터가 오른쪽에 위치하므로 \vec{L}_R 로 정의하고 \vec{L}_{\min} 을 \vec{L}_L 로 다시 정의한다. \vec{L}_L 과 \vec{L}_R 이 모두 정의되고 나면 검출된 점 P_L, P_R 을 이용하여 선분 $\vec{P_L P_R}$ 을 구하고 이 선분의 법선벡터 중 로봇의 중심점, P_s , 를 지나는 충돌벡터를 구할 수 있다.

$$P_L = (x_L, y_L) = (d_L \cos \theta_L, d_L \sin \theta_L) \quad (9)$$

$$P_R = (x_R, y_R) = (d_R \cos \theta_R, d_R \sin \theta_R) \quad (10)$$

$$P_o = (x_o, y_o) = \left(\frac{V \cdot x_L - y_L}{V + \frac{1}{V}}, -\frac{x_L + \frac{1}{V} \cdot y_L}{V + \frac{1}{V}} \right) \quad (11)$$

$$\vec{C} = \overrightarrow{P_o P_s} \quad (12)$$

여기서 $V = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$ 이며, θ 는 로봇의 진행 방향인

X_R 과 각 초음파 센서가 이루는 각이다.

Case III : 초음파 센서 3 개에 의해서 측정되는 장애물인 경우. 먼저 측정된 3개의 거리벡터 중 거리가 가장 가까운 벡터를 \vec{L}_{min} 로 정의하고 \vec{L}_{min} 를 기준으로 왼편의 \vec{L}_L 과 오른편의 \vec{L}_R 을 정의하게 되면, Case II에서의 방법과 동일하게 (9)-(12)를 사용하여 장애물에 대한 충돌 벡터(\vec{C})를 구할 수 있다. 이 때 \vec{L}_e 는 \vec{C} 와 이루각이 30° 보다 크므로 앞에서 언급한 바와 같이 그 값의 신뢰성을 갖지 못한다. 따라서 본 논문에서는 \vec{L}_{min} , \vec{L}_L and \vec{L}_R 을 3개의 벡터를 이용하여 장애물에 대한 충돌벡터를 정의한다.

2. 장애물 회피

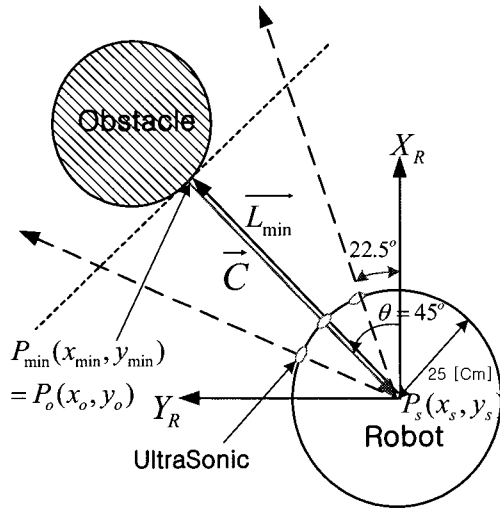
위에서 구한 \vec{C} 를 이용하여 가상 임피던스 모델식을 다음과 같이 제안한다.

$$F_o(s) = K_{s,o}(X_{s,o}(s)) + D_{s,o}(\dot{X}_{s,o}(s)) \quad (13)$$

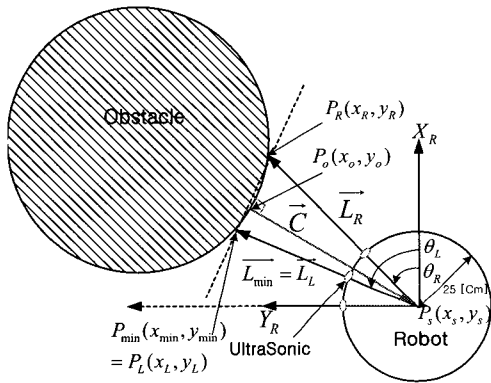
$$= \begin{cases} \sum_{i=0}^n \{K_{s,o}(\rho_0 - \|\vec{C}\|) \vec{C}_{unit} - D_{s,o}(\Delta \|\vec{C}\|) \vec{C}_{unit}\}, & \text{when } \|\vec{C}\| < \rho_0 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

제안한 충돌벡터를 활용하여 장애물을 회피하는 경우의 우수성을 시뮬레이션으로 보여준다. 그림 7은 일반적인 PFM (Potential Field Method) 에서와 같이 초음파 센서 정보들의 합을 이용하여 장애물의 면적에 비례하게 가상의 척력을 발생시켰을 경우이고, 그림 8은 위에서 제시한 장애물의 충돌벡터 측정법을 이용하여 (13)과 같이 가상의 척력을 발생시켰을 경우에 대한 이동로봇의 장애물 회피 동작을 시뮬레이션한 결과이다. 먼저, 그림 7을 보면 'A'점 부근에서 이동로봇의 요동이 발생되는 것을 볼 수 있다. 이것은 장애물과 로봇의 거리에 따라 장애물을 검출하는 센서의 수가 다르게 되어 척력의 합이 불규칙적으로 변화하기 때문에 발생하는 결과이다. 그리고 'B'점 부근에서는 면적이 큰 벽면의 척력에 의해 사람과 같이 작은 장애물에 대한 척력이 무시되어 작은 장애물에 충돌하게 된다.

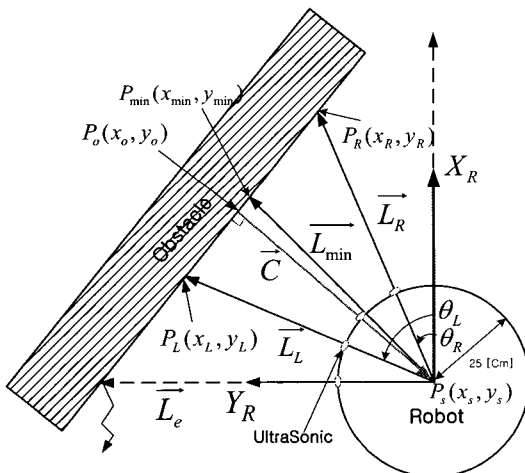
반면, 그림 8에서 보는 바와 같이 충돌벡터를 사용하여 장애물을 회피 하는 경우에는 좌우의 척력이 상쇄되고 충돌 벡터 와 수직인 방향으로의 인력에 의해 안전하게 주행함을 알 수 있었다.



(a) Case I



(b) Case II



(c) Case III

그림 6. 장애물에 대한 충돌벡터 검출.
Fig. 6. Collision vector for an obstacle detection.

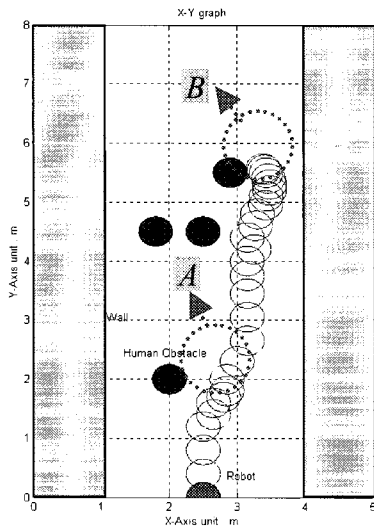


그림 7. 일반적인 PFM 에 의한 주행.
Fig. 7. Navigation with a conventional PFM.

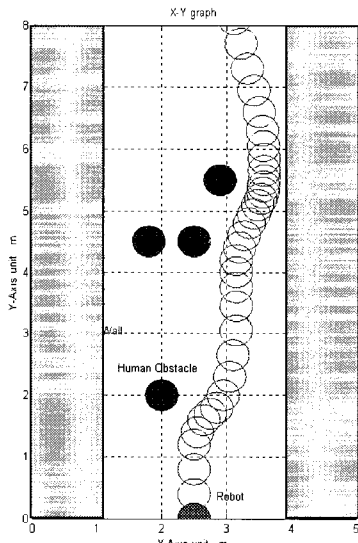


그림 8. 충돌벡터 측정법에 의한 주행.
Fig. 8. Navigation with the collision vector Method.

IV. 실험 및 고찰

마스터 측의 조종자는 그림 9의 인터넷 Client 프로그램을 통하여 원격지의 상황을 시각적으로 인식 하고 이동로봇을 조종할 수 있다. 하지만, 그림에서 보이는 바와 같이, 시야의 제한과 전송 채널의 대역폭 한계 및 어두운 조명 같은 상황에서는 원격지의 환경을 정확히 확인할 수 없는 경우가 발생한다.

그림 10은 본 논문에서 구현한 원격제어를 위한 이동로봇의 외관을 보여준다. 이동로봇의 원격제어를 위하여 제안된 충돌벡터 측정법과 가상 임피던스 방법을 이용한 힘반영 제어의 유용성을 증명하기 위하여 아래와 같이 실험을 수행 하였다.

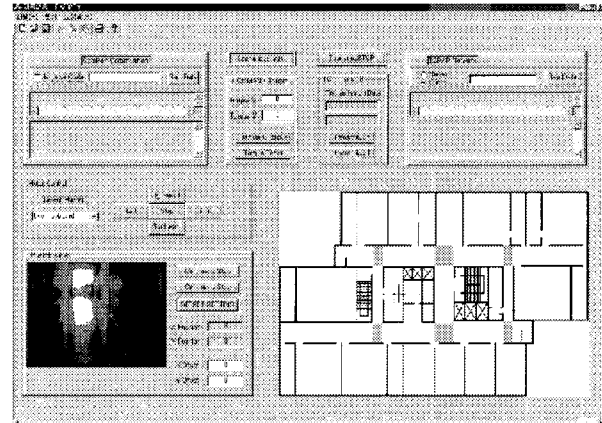


그림 9. 인터넷을 통한 이동로봇의 원격제어 GUI.
Fig. 9. A graphic user interface for teleoperated mobile robot over the Internet.

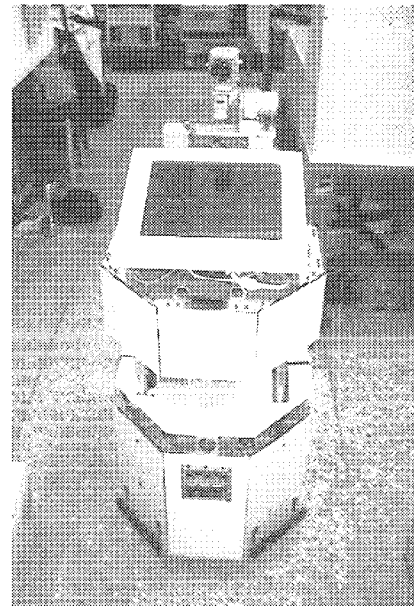


그림 10. 이동로봇의 외형.
Fig. 10. Configuration of the experimental mobile robot.

먼저 그림 11과 12는 이동로봇의 자율주행 모드에 대한 실험결과이다. 그림 11은 이동로봇과 장애물의 속도 차로써 Damper를 정의하고 초음파 센서 정보들의 합으로 가상의 척력을 발생시키는 일반적인 가상 임피던스 방법을 이용한 결과이며, 그림 12는 거리의 변화분으로 Damper를 정의하고 충돌벡터 측정법을 이용한 제안된 가상 임피던스 방법을 이용한 결과이다. 결과에서 나타나듯이 좁은 실내 환경에서의 장애물 회피 방법으로 본 논문에서 제안된 가상 임피던스 방법이 보다 유용함을 알 수 있다.

그림 13과 14는 이동로봇의 원격제어에 대한 결과로서, 그림 13은 조정자에게 오직 비전 정보만을 제공되는 경우의 결과이며, 그림 14는 비전 정보와 함께 힘 정보가 제공된 경우의 결과이다. 이 때 이동로봇에 장착된 카메라는 로봇의 진행 방향에 고정되어 있는 것으로 가정한다. 실험결과를

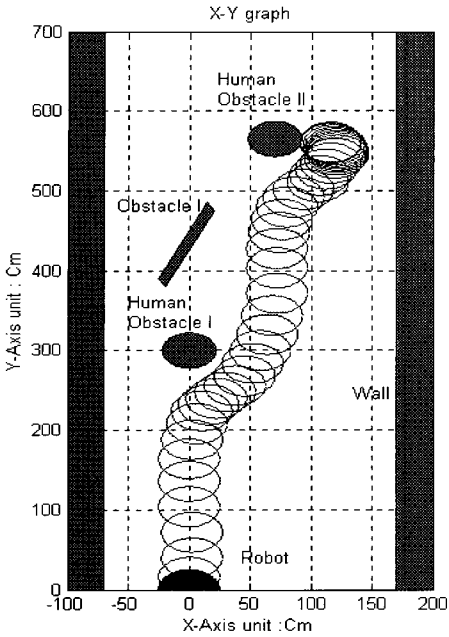


그림 11. 일반적 가상 임피던스에 의한 이동로봇 주행.
Fig. 11. Mobile robot navigation with the conventional VIM.

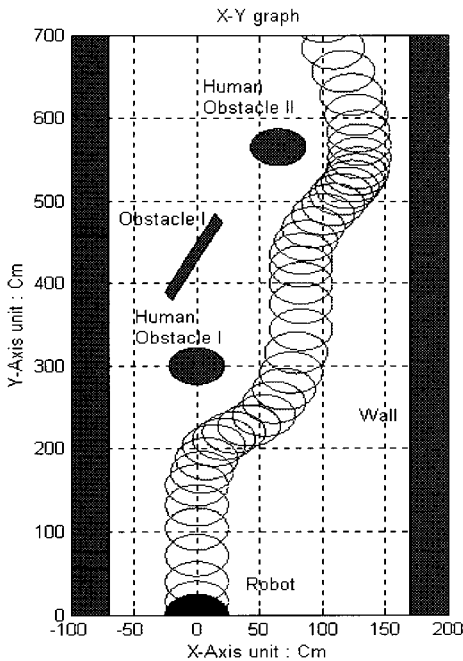


그림 12. 제안된 가상임피던스 방법을 사용한 주행.
Fig. 12. A navigation with the proposed VIM.

보면 비전 정보만 이용한 경우에 비하여 힘정보가 함께 제공된 경우가 더욱 안전하게 충돌회피를 할 수 있음을 알 수 있다. 이는 조작자가 조이스틱에서 전해지는 힘정보를 통하여 카메라 시야밖의 장애물에 대해서도 인식할 수 있음을 나타낸다. 조작자의 조정능력에 따라 장애물 충돌회피의 성공 여부가 영향을 받지만 3회의 각기 다른 조작자에 의한 실험에

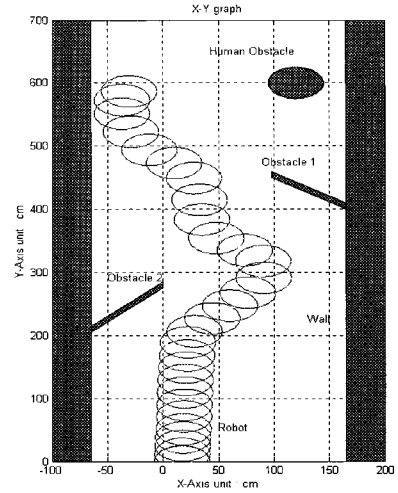


그림 13. 가상의 힘 제환이 없는 경우의 실험.
Fig. 13. Experimental results without a virtual force feedback.

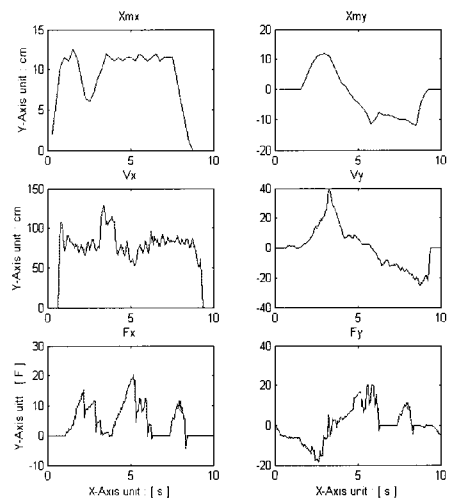
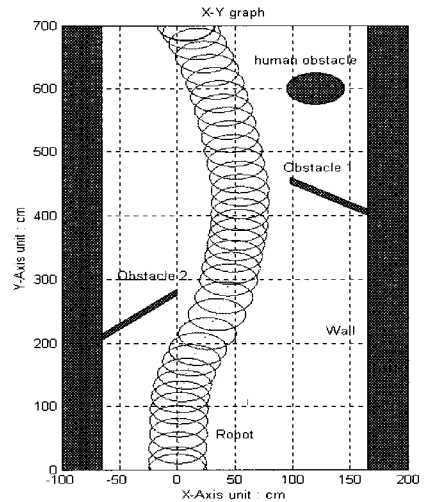


그림 14. 가상의 힘 제환이 있는 경우의 실험.
Fig. 14. Experimental results with a virtual force feedback.

서도 아래와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다. 그림 14의 첫번째 열은 조이스틱의 변위를 나타내고, 두 번째 열은 실제 이동로봇의 진행속도 보여주며, 마지막 열은 조정자에게 피드백 되는 가상의 힘을 표시하고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 원격제어 환경에서 생성된 궤적 추종 및 실시간 장애물 회피를 위한 새로운 가상 임피던스 방법을 제안하였다. 제안된 가상 임피던스 방법에서, 가상의 힘은 장애물에 대한 충돌벡터를 측정하여 이동로봇 사이의 거리 및 장애물의 접근속도에 따라 척력이 생성되어, 인터넷망을 통해 원격지에 있는 조작자에게 전달된다.

힘 반응 조이스틱에 의해서 재생된 가상의 힘을 인식하여 조작자가 원격지의 장애물 위치를 추정할 수 있으며 그에 따라 장애물 회피지령을 효율적으로 내려줄 수 있음을 실험으로 보였다. 제안된 방법을 이용하면, 조작자는 제한된 영상정보 하에서도 원격지의 주위 환경을 입체적, 공간적으로 인지할 수 있게 되어 보다 나은 원격 이동로봇의 제어성 및 안정성을 얻을 수 있다는 것을 알 수 있으며 향후 이동로봇의 원격제어를 위한 유용한 기법으로 활용될 수 있다.

참고문헌

[1] W. Kim, B. Hannaford, and A. Bejczy, "Force-reflection and shared compliant control in operating telemanipulators with time delay," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 8, no. 2, pp. 176-185, 1992.

[2] D. A. Lawrence, "Stability and transparency in bilateral teleoperation," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 9, no. 5, pp. 624-637, 1993.

[3] S. H. Lee and H. S. Lee, "Modeling, design, and evaluation of advanced teleoperator control system with short time delay," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*,

vol. 9, no. 5, pp. 607-623, 1993.

[4] S. S. Lee and J. M. Lee, "Haptic interface design for the tele-surgery," *Proc. of the CIDAM Workshop on Service Automation and Robotics*, Hong Kong, pp. 81-91, 2000.

[5] J. Borenstein and Y. Koren, "teleautonomous guidance for mobile robots," *IEEE Trans. on System, Man and Cybernetics*, vol.20, no.6, pp. 1437-1443, 1990.

[6] S. G. Hong, J. J. Lee, and S. H. Kim, "Generating artificial force for feedback control of teleoperated mobile robots," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, vol.3, pp. 1721-1726, 1999.

[7] I. Elhajj, N. Xi, W. K. Fung, Y. H. Liu, W. J. Li, T. Kaga, and T. Fukuda, "Haptic information in internet-based teleoperation," *IEEE/ASME Trans. on Mechatronics*, vol. 6, no. 3, 2001.

[8] S. Lee, G. S. Sukhatme, G. J. Kim, and C. Park, "Haptic control of a mobile robot: a user study," *Proc. of IEEE/RSJ Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 2867-2874, 2002.

[9] A. Elfes, "Sonar-based real-world mapping and navigation," *IEEE J. Robotics Automation*, vol. RA-3, no. 3, pp. 249-265, 1987.

[10] J. Borenstein and Y. Koren, "Histogramic in motion mapping for mobile robot obstacle avoidance," *IEEE Trans. on Robotics and Automation*, vol. 7, pp. 535-539, 1991.

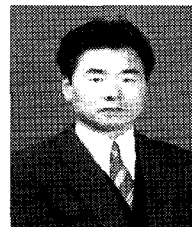
[11] T. Arai, H. Ogata, and T. Suzuki, "Collision Avoidance among multiple robots using virtual impedance," *Proc. of IEEE/RSJ Int. Workshop on Intelligent Robots and Systems*, pp. 479-485, 1989.

[12] D. K. Roh, I. M. Kim, B. H. Kim, and J. M. Lee, "Localization of a mobile robot using the information of a moving object," *J. of Control, Automation and Systems Engineering*, vol. 7, no. 11, 2001.



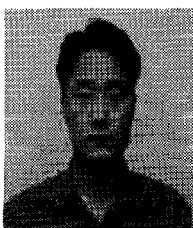
진 태 석

1998년 진주산업대학교 졸업(공학사). 2000년 부산대학교 대학원 졸업 (공학석사). 2003년 8월 부산대학교 대학원 졸업 (공학박사). 관심분야는 이동로봇 주행제어, 다중센서융합 등.



이 장 명

1992년 ~ 현재 부산대학교 전자공학과 교수. 현재 컴퓨터 및 정보통신 연구소 소장. 제어·자동화·시스템공학 논문지 제8권 제9호 참조.



임 제 남

2001년 동서대학교 졸업(공학사). 2003년 부산대학교 대학원 졸업(공학석사). 창원 LG전자 조리사업부. 관심분야는 이동로봇 주행, DSP 프로세서 제어 등.