

극한환경작업을 위한 산업용 로봇의 원격제어기술에 관한 연구

A Study on Teleoperating Control Technology of the Industrial Robot Under the Limit Environment

백승학¹, 황원준², 정성원³

Seung-Hack Baek, Won-Jun Hwang, Sung-Won Jung

〈Abstract〉

In this paper, it was proposed a new technology to improve the performance of the remote control in virtual reality applications. The operator must know the information of surroundings of the robot, collision possibility of the equipment, and force feedback of the manipulator. The time delay problem occurs in the tele-operating and it causes vibration and expressive power of the manipulator owing to bidirectional force feedback. We presented a new control method to control of the teleoperating system based on serial bus. The reliability is evaluated by simulation.

Keywords : Teleoperating control, Limit Environment, remote control, Reliability

1. 정회원, 교신저자, (주)두산중공업
Email : rtrshbaek@hanmail.net
2. 정회원, 경남TP
3. 정회원, 동양기전(주)

1. Corresponding Author, Doosan Heavy Industries&
Construction Co., Ltd,
2. Gyeongnam Technopark Co. Ltd
3. Dongyang Mechatronics co., Ltd.

1. 서 론

최근 21C에는 디지털 및 컴퓨터의 기술이 급속히 발전하여 인간과 시스템간의 상호작용이 다양하게 이루어지고 있는 데 최근에는 촉감 인터페이스가 감각 기술로 대두되고 있다. 감각 인터페이스기술은 제어기술이라고도 하는데 시각이나 청각 정보와는 달리 힘 되먹임 장치 또는 무인원격장치를 통하여 물체의 무게나 단단함 등의 촉감을 전달하는 기술로서 최근 선진국을 중심으로 과학 분야뿐만 아니라 의학, 영상학, 예술 등의 여러 분야에서 많은 연구가 수행 되고 있다[1].

본 논문에서는 영상 환경을 촉감으로 느낄 수 있게 원격제어장치를 최근 컴퓨터 표준 통신방식인 UBS(Universal Serial Bus)를 이용하여 PC로 제어하는 기법에 대하여 기술 하였다. 4자유도 원격제어장치는 음성 코일형 모터가 4개, 그리고 각 축의 위치 궤환을 위한 엔코더가 4개이며 다이아몬드형 구조로 구성되어있다[2,3]. 이 4자유도 원격제어장치 제어를 위하여 2축 모터 구동 및 엔코더 신호의 인터페이스를 USB를 통하여 하였고 이를 PC에서 제어 알고리즘을 구현하여 기본적인 가상환경의 힘을 전달하는 기법에 대하여 연구하였다. 그리고 이에 대한 간단한 시뮬레이터환경을 구현하여 시뮬레이션실험으로 검증하였다[4,5].

하였는데 최근에 8Bit이면서 강력한 기능을 가지고 있는 AVR계열의 AT90S8515를 사용하였다. 이 컨트롤러는 다음과 같은 특징을 가지고 있다. 먼저 118개의 명령어 대부분이 한 클럭 사이클로 실행되는 고성능 저 전력의 RISC구조로 되어있다. 그래서 8MHz클럭에서 8MIPS정도의 성능을 나타낸다[3]. 또한 데이터 및 비휘성 메모리를 내장하고 있어서 아주 커다란 기능의 프로그램이 아니면 외부메모리가 필요 없고 One Chip으로 할 수가 있다. 그리고 다양한 주변장치가 있는데, 본 연구에서 이 칩을 선택한 가장 큰 이유는 두개의 8/9/10비트의 PWM기능이 내장되어 있다는 것이다. 두 개의 PWM이 내장되어 있으므로 2개의 모터를 이를 이용하여 직접 토크제어가 가능하다 [6,7].

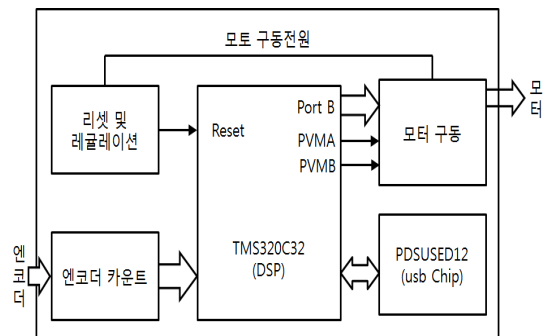


Fig. 1 The structure of control board

2. 인터페이스

2.1 제어보드의 구성

본 연구는 UBS전용 컨트롤러 칩과의 인터페이스, 모터 드라이버 IC제어, 그리고 엔코더 카운트 연산 등을 하기 위하여 마이크로 컨트롤러를 사용

제어보드의 전체 구성은 Fig. 1과 같다. 여기서 모터의 구동전원은 12V로 되어있으므로 레귤레이터를 사용하여 보드전원(5V)을 생성시켰고 2,048ct/rev 사양을 가진 엔코더를 4개 사용하였는데 이를 카운팅 하기 위하여 엔코더 카운트를 이용하였다. 엔코더 카운트내부는 15Bit카운터를 2개로 하여, 제작된 햅틱장치의 동작영역에 충분하도록 설계하였다. 컨트롤러 내부 두 개의 PWM

과 제어명령을 위해 PORTB의 4Bit 를 이용하여 2모터를 정/역회전 및 토크제어를 수행하였다[8].

2.2 인터페이스

본 연구에서는 4자유도를 갖는 원격제어장치를 제어하기 위하여 Voice Coil형 모터를 이용하여 구동하였다. Voice Coil형 모터를 구동하기 위해서는 일반 DC형 모터를 구동하는 기법과 동일하다. CW방향과 CCW방향 제어를 위해서는 전류의 방향을 바꿔주면 되고, 그 힘을 제어하기 위해서는 그때 흐르는 전류의 양을 제어 하면 된다. 그리고 본 연구에서는 PC에서의 명령(회전 방향, 토크)을 받아 원격제어장치가 제어되므로 PC와의 인터페이스가 필수적이다[2]. 이를 최근에 많이 사용되고 있는 USB(Universal Serial Bus)를 사용하였다. USB는 최근 컴퓨터 기반의 인터페이스의 표준으로 자리 잡은 방식으로 PNP기능이 막강하고 또한 속도의 이 점이 기존의 시리얼 방식보다는 큰 장점을 가지고 있다.

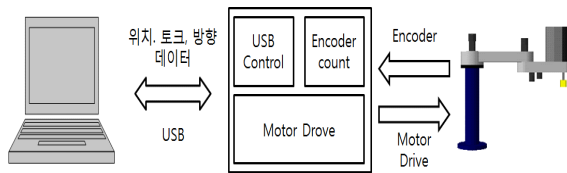


Fig. 2 The Construction of control system

USB 통신은 일반적으로 Control, Interrupt, Isochronous, Bulk로 총 4가지 모드를 사용하는 데, 본 연구에서는 속도는 비교적 느리지만 디바이스 드라이버를 쉽게 구현할 수 있고 또한 프로그램이 비교적 용이한 벌크모드를 사용하였다. 이 모드를 사용하면 기본적인 데이터 구조의 기반에 필요한 데이터를 실어서 그 크기를 계산하여

Field에 같이 보내면 Structure가 송수신 되는 방식으로 구현이 된다.

USB통신을 위해서 본 연구에서는 Philips사의 USB 전용칩을 사용하였는데 본 칩은 비교적 저가로써 USB를 지원하고 있으며, 일반 마이크로 컨트롤러와 4Bit로 인터페이스가 가능하고 Programmable한 외부 클럭출력기능을 가지고 있다. USB를 이용하여 전송 받은 명령으로 실제로 모터를 구동하기 위하여 구동칩을 사용하였다. 4개의 브릿지로 구성되어있는 구동칩을 사용하여 모터 2개까지 PWM방식으로 제어가 가능하다. 원격제어장치는 무부하시의 느낌이 아주 중요한데, 이때의 부하가 느껴지면 특성이 아주 나쁘게 판단되어지므로 본 연구에서는 이를 위하여 각 브릿지의 인에이블단자를 제어하여 무부하시에는 이를 디스에이블시켜 코일에 전원이 Open되는 효과를 나타낼 수 있게 하였다.

3. 원격제어

이 원격제어장치는 사람이 제어할 수 있는 힘을 10N으로 설정 하였으며, 작동범위를 50x50 mm 정도로 잡았다. 그리고 링크구조는 4자유도 이면서 견고한 5 bar 링크 구조로 하였고, 4개의 보이스 코일형 모터를 구동 원으로 사용하였다. 이 장치를 고안하기 위해 주안점을 둔 것은 큰 힘의 반향 제시 가능, 힘 제어의 용이성, 무 백래쉬화, 링크연결 부분의 적용힘을 최적화에 중점을 두었다.

이 장치의 작동자가 핸들을 손으로 잡고 X, Y 평면상으로 움직일 수 있도록 하였다. 본 장치에서 코일형 모터를 구동원으로 사용하여 모터의 제어를 용이하게 하였고, 직접 구동 방식을 채용하

였기 때문에 모터에서의 마찰력을 최소화하였다, 그리고 알루미늄재질의 링크 및 특수 플라스틱을 사용해서 경량화 시켰다. 경량화로 인하여 저 관성을 이룰 수 있었다. 이와 같이 설계한 기구부의 직접 기구학은 다음과 같이 해를 구할 수 있다. 여기서 링크의 위치 x 와 x_c 와의 관계는 아래와 같이 유도될 수 있다(Fig. 3 참조).

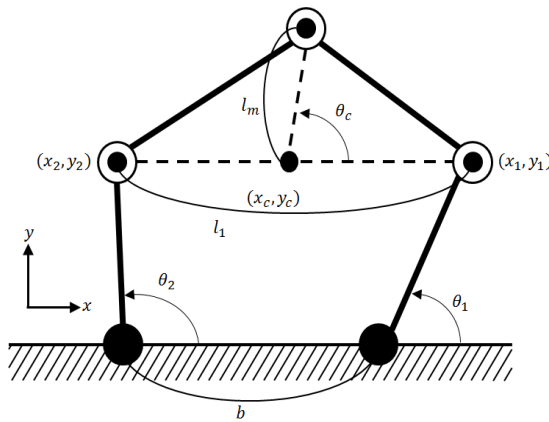


Fig. 3 The structure of robot arm's mechanism

$$x - x_c = l_m (\cos\theta_c, \sin\theta_c) \quad (1)$$

여기서 θ_c 는 다음과 같은 관계를 가지게 된다. 따라서 주어진 구동기의 각도 θ_1 과 θ_2 가 주어지면 끝단의 위치 x 를 구할 수 있게 된다. 정속도 기구학은 다음의 식으로부터 유도되어 진다.

$$(x - x_1)^2 + (y - y_1) = l_2^2 \quad 2(a)$$

$$(x - x_2)^2 + (y - y_2) = l_2^2 \quad 2(b)$$

위의 식을 미분하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있으며

$$(x - x_1)(\dot{x} - \dot{x}_1) + (y - y_1)(\dot{y} - \dot{y}_1) = 0 \quad 3(a)$$

$$(x - x_2)(\dot{x} - \dot{x}_2) + (y - y_2)(\dot{y} - \dot{y}_2) = 0 \quad 3(b)$$

여기서

$$\dot{x}_1 = -(l_1 \sin\theta_1)\dot{\theta}_1, \dot{y}_1 = -(l_1 \cos\theta_1)\dot{\theta}_1 \quad 3(c)$$

$$\dot{x}_2 = -(l_1 \sin\theta_2)\dot{\theta}_2, \dot{y}_2 = -(l_1 \cos\theta_2)\dot{\theta}_2 \quad 3(d)$$

이다. 따라서 이를 위의 속도 식에 대입하여 정리하면 다음과 같은 정속도 기구학 관계식을 얻을 수 있다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{bmatrix} = l_1 \begin{bmatrix} x - x_1 & y - y_1 \\ x - x_2 & y - y_2 \end{bmatrix}^{-1} \quad 4(a)$$

$$\begin{bmatrix} -(x - x_1)\sin\theta_1 + (y - y_1)\cos\theta_1 & 0 \\ 0 & -(x - x_2)\sin\theta_2 + (y - y_2)\cos\theta_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{bmatrix} \quad 4(b)$$

$$X = J\dot{\theta} \quad 4(c)$$

4자유도 원격제어장치에 힘을 전달하기 위해 virtual work 으로 구한 정역학식을 사용하였으며 그 식은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\tau = J^T f \quad (5)$$

이상과 같은 기구학 관계와 정역학 관계를 이용하여 4DOF 원격제어장치를 구동하게 된다.

성능평가는 제작된 시제품에 끝점을 고정시키고 여기에 힘 센서를 이용한 성능평가용 치구를 제작하여 실현하였다. Y축 방향으로의 좌우양방향의 힘을 전압으로 출력시켜 계측기로 측정하는 방법으로 하였다. 사용된 힘 센서는 순간변위 방식이므로 힘이 발생하는 순간 변하는 전압의 차이가

발생된다. 그래서 현재 환경에서의 기준을 정하는 캘리브레이션작업이 필요하다. 2.5kg의 추를 이용하여 캘리브레이션하였는데, 출력전압이 약 20V이므로 힘 1N에 1V의 전압이 측정되는 것을 알 수 있다. 그리고 제어보드에서 프로그램을 하는 방식으로 최대 힘의 스텝응답 특성을 측정하였다.

순간적으로 최대의 힘을 주었을 때 측정한 화면인데 15.5V이므로 약 13N의 힘이 발생하는 것을 알 수 있고 스텝응답은 약 1.8msec임을 확인함으로서 최적의 원격제어가 가능함을 확인하였다.

4. 원격제어 프로그램 구성 및 제어

시뮬레이션 구성

시뮬레이션 프로그램은 크게 세 부분으로 나누어져 있다. 첫 번째는 기구학 및 정역학 계산을 위한 부분, 두 번째는 통신 등의 신호를 처리하기 위한 부분, 그리고 세 번째는 화면상의 가상환경을 구축하는 부분이다.

Fig. 4은 이동데이터저장장치(USB)에서 받은 데이터를 이용하여 모터를 구동하는 알고리즘이다. 먼저 각 레지스터를 초기화한 후 USB인터럽트를 계속 체크하고, 인터럽트가 발생하면 명령(Command)의 종류를 살펴보고 종류가 사용자가 명령하면 실제 구동 일을 수행하게 된다. 모터의 방향 및 종류 그리고 PWM 명령등의 데이터를 필요한각 레지스터에 입력시켜 제어한다.

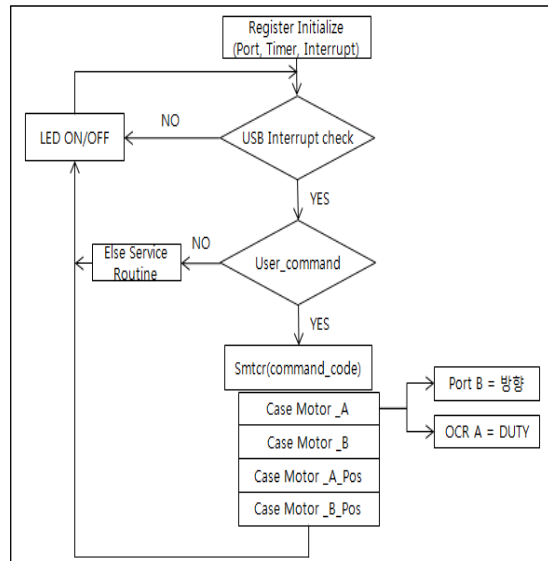


Fig. 4 The flowchart of motor control

또한 User Command중에서 각 모터의 위치(Position)데이터 요구명령이 나오면 PLD의 엔코더 카운터 값을 공통 Data Structure에 실어주면 PC로 전송된다.

시뮬레이션 프로그램의 제어 흐름도는 Fig.5와 같이 원격제어장치를 초기화한 후 사용자의 조작에 따른 엔코더 신호의 변화를 체크하여 기구학 해석과 정역학 해석을 수행하여 필요한 힘에 해당하는 크기로 모터를 구동시킨다. 이와 동시에 사용자의 조작에 의한 원격제어장치 위치변화를 화면에 반영해 준다.

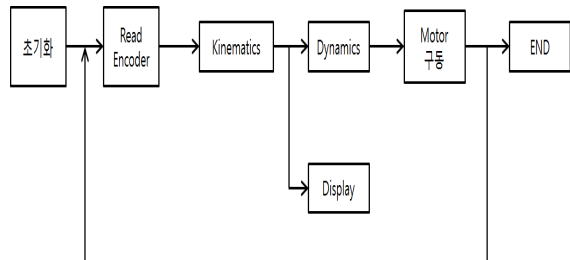
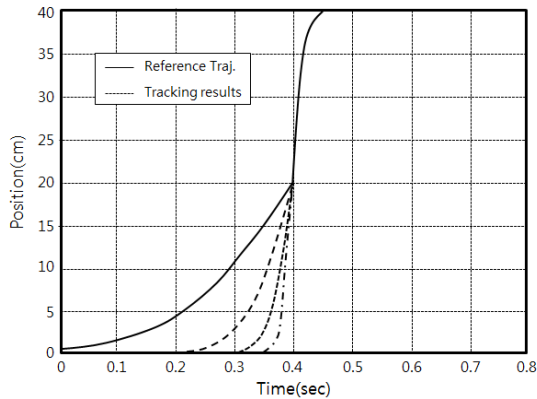
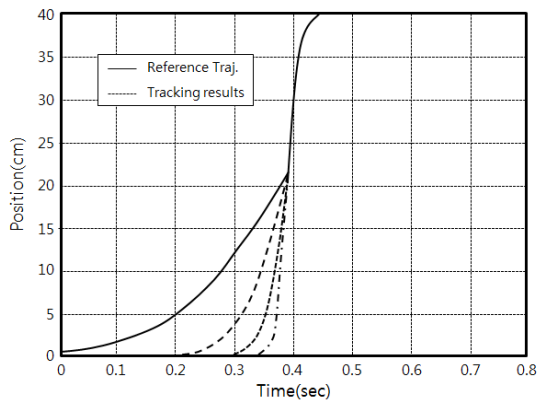


Fig. 5 The block diagram of simulation program

시뮬레이션 모의실험은 두개의 궤적에 대한 궤적추적성능실험을 각 궤적제어에 대한 3회의 궤적추적제어성능시험을 실시하였다. Fig.6은 이에 대한 모의성능실험결과를 나타내고 있다.



(a) Trajectory(I)



(b) Trajectory(II)

Fig. 6 The results of teleoperating control for trajectory tracking

5. 결론

본 연구에서는 제작된 4자유도 원격제어상치를 USB를 이용하여 제어하는 방식과 이 장치의 성능

평가 방법을 제안하였다. 또한 이를 간단한 시뮬레이션을 통한 원격제어성능실험을 수행하여 그 신뢰성을 검증하였다. 본 연구에서는 USB를 사용하였고, 이 원격제어모드는 디바이스 드라이버구축 및 프로그램 제어를 구현할 수가 있으며, 위치추적에 대한 면에서는 실시간을 실현할 수 있는 가능성을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Grigore C. Burdea, "Force and touch feedback for virtual reality". A wiley-Interscience Publication
- [2] Xinxing Tang and Hironao Yamada, "Haptic Interaction in Tele-operation Control System of Construction Robot Based on Virtual Reality," in Proceedings of the IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, Changchun, China, 2009.
- [3] Ming Ouhyoung, "A low-cost force feedback joystick and its use in PC video games". IEEE Transactions on Consumer Electronics. Vol.41. No 3
- [4] S. Lee, G. J. Kim, G. S. Sukhatme and C. M. Park, "Effects of Haptic Feedback on Telepresence and Navigational Performance," in Proc. of Intl. Conference on Artificial Telexistence, Seoul, South Korea, 2004.
- [5] 류제하, 김제하, 서창훈, 임요안, 김종필, "햅틱 제어 기술 동향," 대한기계학회논문집 A권 pp. 283~ 295, 2009.
- [6] Kee-Hoon Kim, W.K. Chung, and Y. Youm, "On the Design Method of a Haptic Interface Controller with Virtual Coupling," Proc. the International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 71-74, 2001.
- [7] Kee-Hoon Kim, W.K. Chung, and Y. Youm, "On the Design Method of a Haptic Interface Controller with Virtual Coupling," Proc. the

International Conference on Control, Automation and Systems, pp. 71-74, 2001.

- [8] K. Hashtrudi-Zaad and S.E. Salcudean, "Analysis of Control Architectures for Teleoperation Systems with Impedance/Admittance Master and Slave Manipulators," The International Journal of Robotics Research, Vol. 20, No. 6, pp. 19-445, 2001.

(접수:2015.06.24.,수정:2015.07.20, 게재확정:2015.07.28)