

# 스케줄링 기법을 적용한 힘 반향 조이스틱의 제어 알고리즘 구현 Implementation of Control Algorithm for Force-Feedback Joystick Using by Scheduling Method

\*강민성<sup>1</sup>, 박형준<sup>2</sup>, 길명수<sup>1</sup>, 이승훈<sup>2</sup>, #한창수<sup>2</sup>

\*M.S. Kang<sup>1</sup>, H.J. Park<sup>2</sup>, M.S. Gil<sup>1</sup>, S.H. Lee<sup>2</sup>, #Chang-Soo Han(cshan@hanyang.ac.kr)<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> 한양대학교 메카트로닉스공학과, <sup>2</sup> 한양대학교 기계공학과

Key words : Force-Feedback Joystick, Haptics, Embedded System, Time-Delay, Scheduling

## 1. 서론

최근 사용자에게 직감적인 정보를 제공하여 극한환경 및 원격지에서의 작업을 가능케 하는 원격조작 시스템(tele-operation system)에 대한 다양한 연구가 진행 중에 있다 [1]. 이들의 초기 연구는 주로 가상의 환경에서 일어나는 단순한 상황을 모사하여 촉각각 정보를 이벤트 형식으로 제공하는 수준이었으나, 현재는 우주 로봇, 원격 수술 로봇, 무인 차량의 원격 운전 시스템 등 고도의 정밀도와 재현 성능이 요구되는 분야에까지 점차 그 활용 범위가 확대되고 있다 [2], [3]. 일반적인 원격조작 시스템은 마스터(master)와 슬레이브(slave)로 구성되며, 마스터의 위치 또는 속도, 슬레이브의 힘 정보 등이 통신 채널을 통하여 서로 전송되는데, 이때 발생하는 시간 지연이나 정보 누락, position drift 등은 원격조작 시스템의 안정성에 큰 영향을 미친다 [4]. 특히, 무선 통신을 이용하는 경우에는 통신 패킷 범위가 매우 제한적이기 때문에 원격조작 시스템의 사용자 현실감 제공과 작업능력 증대를 위하여 효율적인 스케줄링 알고리즘 구현 방법에 대한 연구가 반드시 이루어져야 한다.

따라서, 본 연구에서는 힘 반향 조이스틱(마스터)과 4DOF 로봇 매니플레이터(슬레이브)로 구성된 원격조작 시스템을 제안하고, 힘 반향 제어 알고리즘과 스케줄링 기법을 적용, 마스터와 슬레이브 사이의 시간 지연 및 정보 누락 현상을 최소화하는 실시간 제어의 한 방법을 제시한다.

## 2. 시스템 구성 및 제어

### 2.1 마스터/슬레이브 시스템 구성

힘 반향 조이스틱(마스터)을 이용한 4DOF 매니플레이터(슬레이브)의 제어를 위한 원격조작 시스템의 구성은 다음과 같다 (Fig. 1). 마스터의 경우, 좌/우측의 힘 반향 조이스틱 2 개로 구성하여 슬레이브를 제어할 수 있게 하였고, 각각의 조이스틱은 2 개의 모터와 엔코더가 장착되어 힘 반향 제어와 조이스틱의 위치값을 측정하기 위해 사용된다. 슬레이브 시스템은 6DOF FARAMAN AS2(삼성)을 사용, 4 번과 6 번 축을 고정하여 자유도의 제한을 줄으로써, 4 자유도 플랫폼으로 구성하였고, 힘 반향을 위한 힘/토크 센서를 매니플레이터 말단부에 위치시켰다. 이러한 4 자유도 로봇은 굴삭기를 모사한 것으로 좌측 조이스틱의 전후 방향은 굴삭기 암의 펴기와 접기운동을 좌우방향은 선회운동을 관여하고 우측 조이스틱의 전후방향은 붐 운동을 좌우방향은 버킷운동을 관여한다. 따라서 로봇의 1 번축은 굴삭기의 선회, 2 번축은 붐, 3 번축은 암, 5 번축은 버킷 운동과 유사하도록 구성하였다.

### 2.2 제어 알고리즘

일반적인 조이스틱은 스프링에 의해 스틱은 항상 원점에 위치하게 된다. 여기에서 원점 복원력은 스프링에 의한 힘이고 스틱의 회전량( $\beta$ )에 비례한다. 힘 반향 조이스틱에서는 스틱이 항상 원점에 위치하도록 하기 위하여 비례미분 제어 기법을 이용한다. 이는 스프링에 의한 복원력은 비례제어와 유사하고 적분제어는 조이스틱의 마찰로 모사

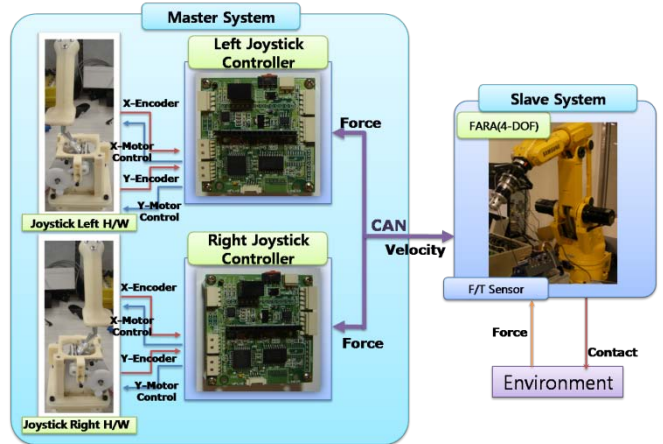


Fig. 1 Overall system structure.

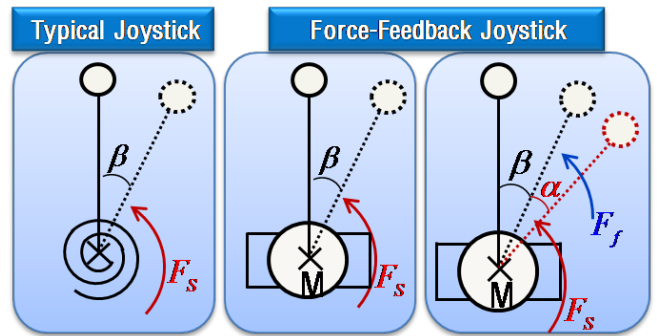


Fig. 2 The schematic diagram of the force-feedback joystick

할 수 있기 때문이다. 비례미분 제어는 조이스틱에 장착된 제어 보드를 이용하여 구현한다. 엔코더를 이용하여 스틱의 위치를 측정하고, 이때의 제어 입력신호는 (1)과 같다.

$$F_s = K_p e + K_D \dot{e} = -K_p \beta - K_D \dot{\beta} \quad (1)$$

여기서  $e = 0 - \beta$ 이다.

힘 반향 제어 입력신호는 식(1)에서 가상의 복원력을 더하여 얻을 수 있다. 가상의 복원력은 힘 반력에 비례한 가상의 회전량( $\alpha$ )과 스틱 회전량의 합성에 의하여 얻을 수 있고 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} F &= F_s + F_f \\ &= -K_p \beta - K_D \dot{\beta} - K_p \alpha \\ &= -K_p (\alpha + \beta) - K_D \dot{\beta} \quad \text{where, } K_p = K_p \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 스프링 복원력은 비례 게인을 조절함으로써 사용자가 변경할 수 있다.

### 3. 구현 및 실험

앞에서 언급한 마스터/슬레이브 시스템과 제어기는 조이스틱의 역할과 슬레이브의 힘정보를 사용자가 인지하기 위한 것이다. 사람의 촉각 기관이 가상으로 재현되는 촉감 정보를 사실적으로 느끼기 위해서는 힘/토크 정보를 계산하는 과정(haptic rendering process)과 계산된 반력을 햅틱 장치에 인가하는 과정(haptic control process)이 빠르게 이루어져야 한다(대개 1kHz 이상)[5]. 게다가 힘/토크 정보는 대개 제어기와 비동기된 통신으로 인가되는 경우가 대부분이므로 순차적 제어 프로그래밍으로는 고정된 제어루프를 보장하기 어려울 뿐 아니라 안정된 제어기 구성이 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 실시간 스케줄러를 이용하여 제어 프로그램을 구현하였다.

실시간 스케줄러에는 우선순위 변동 여부에 따라 크게 정적 스케줄링(Static Scheduling)과 동적 스케줄링(Dynamic Scheduling)으로 구분할 수 있다[6]. 정적 스케줄링은 Offline 또는 Clock driven 이라고도 한다. 정적 스케줄링은 실시간 작업의 모든 인자가 고정되어있고 사용자가 알고 있을 때 가장 단순하게 태스크의 우선순위를 정하고 그에 따라 스케줄링 하는 방법이다. 정적 스케줄링은 우선 태스크(task)의 주기(period)와 수행 시간(execution time) 및 deadline 을 고려하여 프레임 별로 각각의 태스크가 수행되도록 스케줄링을 수행한다. Fig. 3 은 힘 반향 조이스틱의 태스크 우선 순위와 제어블록을 나타낸다. 본 논문에서는 하이퍼-주기를 10mSec, 프레임 크기를 0.5mSec 로 설계하였고 태스크는 6 개, 각 작업 태스크에 따른 주기와 실행 시간은 Table 1 과 같다. Fig. 3 에서와 같이 마스터 시스템은 CAN 통신에 의해 Force-feedback(T2)과 조이스틱 커맨드 전송(T6)이 이루어지고 있다. 특히 힘 정보 수신은 슬레이브와 동기화가 되어 있지 않기 때문에 각 프레임에는 CAN 수신을 할 수 있도록 그 만큼의 아이들(idle) 시간을 두어 통신에 의한 스케줄링 오류를 방지하도록 하였다. Fig. 4 는 힘 반향 조이스틱의 스케줄링 결과이고, Fig. 5 는 로봇 말단부에 장착된 센서에 의해 힘 정보가 들어왔을 때 조이스틱의 움직임을 보여주는 그래프이다.

### 4. 결론

햅틱 시스템은 슬레이브 시스템의 피드백 정보를 마스터 시스템에 구현하여 사용자의 감각으로 느낄 수 있도록 도와주어 원격제어를 보다 직관적이고 정확하게 하기 위한 양방향성 구조의 시스템이다. 그렇기 때문에 시간지연을 최소화 하고 피드백 정보를 보다 현실적으로 구현하는 것이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 마스터 시스템의 제어 알고리즘 구현을 위해 스케줄링 기법을 적용하여 통신 및 프로그램 수행에 의해 발생하는 시간지연을 최소화하여 4 자유도 로봇의 실시간 원격제어에 적용하였다. 그 결과 통신에 의해 발생하는 시간지연 및 커맨드 정보 분실 등과 같은 오류를 해결함으로써 보다 정확한 조작을 할 수 있었다. 향후 마스터 시스템 외에 슬레이브 시스템 또한 스케줄링을 통해 보다 간결하고 체계적으로 제어 알고리즘을 구현하여 제어 성능을 향상 시킬 것이다.

### 후기

본 연구는 국토해양부(MLTM) 건설기술혁신사업(CTIP)과 지식경제부 산업원천기술개발사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Hokayem, P. F. and Spong, M. W., "Bilateral Teleoperation: An Historical Survey," *Automatica*, Vol. 42, Issue 12, pp. 2035-

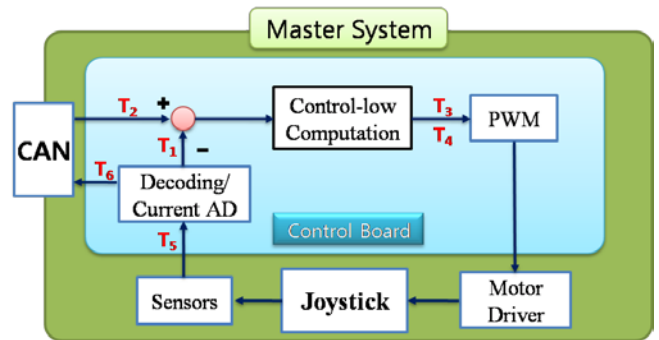


Fig. 3 Priority order of Force-feedback joystick system

Table 1 Periodic tasks

T <sub>i</sub>	Job	(p <sub>i</sub> , e <sub>i</sub> )
T <sub>1</sub>	Decoding(Motor position feedback)	(1, 0.1)
T <sub>2</sub>	Force feedback(CAN receive)	(20, 0.1)
T <sub>3</sub>	Motor1 control input	(2, 0.5)
T <sub>4</sub>	Motor2 control input	(2, 0.5)
T <sub>5</sub>	Motor current feedback(ADC)	(20, 0.2)
T <sub>6</sub>	Position & current transmit(CAN)	(20, 0.3)

Static Scheduling



Fig. 4 Static Schedule

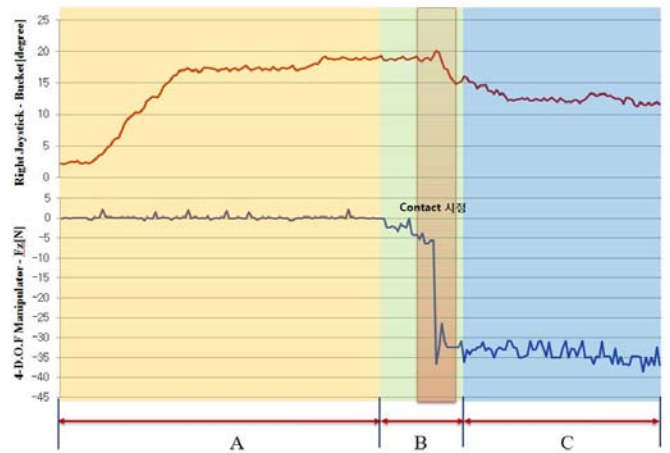


Fig. 5 The experimental result of the joystick control

2057, 2006.

2. 고예경, 최준영, 김홍철, 이장명, "힘 반향 조이스틱을 이용한 햅틱 인터페이스," 제어·로봇·시스템학회논문지, 제 13 권 제 12 호, pp1207-1212, 2007.  
 3. 윤인복, 채영호, "힘 반향을 이용한 속도타원 가상환경 네비게이션 알고리즘 개발," 한국 CAD/CAM 학회 논문집, 제 9 권 제 4 호, pp277-285, 2004.  
 4. Masahiro Nohmi, Thomas Bock, "Contact Task by Force Feedback Teleoperation Under Communication Time Delay," *robio*, pp.55-60, 2006 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, 2006.  
 5. Salisbury, J. K., Conti, F., Barbagli, F., "Haptic Rendering: Introductory Concepts," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 24, Issue 2, pp. 24~32, 2004.  
 6. Jane W.S. Liu, "Real-Time Systems," Prentice Hall, 2000.