

네트워크 기반 원격제어시스템의 설계

박창우, 구자일, 옴우용
인하공업전문대학 디지털전자정보과
e-mail : {drcwpark, drku, wyohm}@inhatc.ac.kr

Design of Haptic Tele-operation System

Park Chang-Woo, Ku Ja Yl, Ohm Woo Yong
Dept. of Digital Electronics & Information
INHA Technical College

Abstract

In this paper, we investigate the issues on the design and implementation of tele-operation system based on the haptic interface. Here, the 3-DOF haptic device and the X-Y-Z stage are employed as master controller and slave system respectively. For this master-slave system, the force feedback algorithm, the modeling of virtual environments and the control method of X-Y-Z stage are presented. In this paper, internet network is used for data communication between master and slave.

I. 서론

물체의 질감이나 접촉감을 원격지의 운용자에게 전달하는 Force-feedback 기술은 원격제어 및 가상현실 기술에서 매우 중요하게 여겨지고 있으며, tele-medicine, 극한위험환경작업로봇 등에서 활발히 적용되고 있다 [1]. 또한 이러한 원격제어의 통신방법으로 보편적으로 적용되어져 있는 네트워크를 사용하여, 원격지에서 조작기의 제어 연구 및 이의 구현이 이루어지고 있는 상황이다. [2]. 네트워크를 기반으로 하는 원격제어시스템의 감촉을 데이터 손실 없이 전달하는 것이 중요하며, 노이즈에 강인한 데이터 전송 성능이 매우

중요하게 된다[2].

본 연구에서는 네트워크로 보다 저가격이며, 보편성과 신뢰성을 갖춘 인터넷 네트워크를 기반으로, 2자유도의 햅틱시스템의 설계 및 구현방법을 보인다. Force-feedback은 영상처리에 의해 슬레이브암과 벽면 사이의 거리데이터를 검출하여, 이를 바탕으로 네트워크를 통해 원격지의 마스터암에 전달하게 되며, 마스터암을 구동하는 모터의 토크를 제어하여 운영자에게 역감을 느끼게 하는 구조로 이루어져 있다.

II. 시스템 구현

운영자는 마스터시스템을 이용하여 원격지의 슬레이브 시스템을 동작시키며, 카메라를 이용한 슬레이브암의 엔드-이펙터와 벽면과의 거리를 힘으로 환산하여, 마스터암으로 전달하게 된다.

마스터시스템의 구조는 그림. 4와 같으며, 각 링크의 각도와 속도를 바탕으로 마스터암의 엔드-이펙터의 속도를 다음과 같이 구할 수 있다. 이를 바탕으로 전달되어지는 힘과 구동 토크상의 관계식(식 (1))을 구할 수 있으며, 이는 모터제어기에 의해 제어되게 된다.[4]

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= -(l_1 \sin \theta_1) \dot{\theta}_1 & \dot{y}_1 &= (l_1 \cos \theta_1) \dot{\theta}_1 \\ \dot{x}_2 &= -(l_1 \sin \theta_2) \dot{\theta}_2 & \dot{y}_2 &= (l_1 \cos \theta_2) \dot{\theta}_2 \end{aligned}$$

$$\begin{pmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{pmatrix} = J \begin{pmatrix} \dot{\theta}_1 \\ \dot{\theta}_2 \end{pmatrix}, \quad J = \begin{bmatrix} J_{11} & J_{12} \\ J_{21} & J_{22} \end{bmatrix} \quad (1)$$

슬레이브시스템은 그림 1과 같이 X-Y 스테이지형태로 구성되어, 2차원 평면상에서 원격지 마스터암의 엔드-이펙터 위치를 전송받아 제어되게 되며, 이 때 상단부의 카메라를 통해 슬레이브시스템의 엔드-이펙터와 벽면사이의 거리를 계산하여 전송하게 된다. 이 때 마스터암의 엔드-이펙터의 위치를 전송받는 시간지연이 네트워크 특성상 발생하게 되므로, 마스터암과 슬레이브암의 동기화가 이루어지지 않게 되고, 이로 인한 원격제어 성능 저하가 발생하게 된다. 이는 실제 구현시 많은 문제를 발생하게 되므로, 슬레이브암의 위치제어를 위해 칼만필터 기반의 추정기법을 사용하여 슬레이브암의 위치를 추정하여 제어한다. 칼만필터기반의 추정 알고리즘은 식 (2), (3), (4)와 같다.

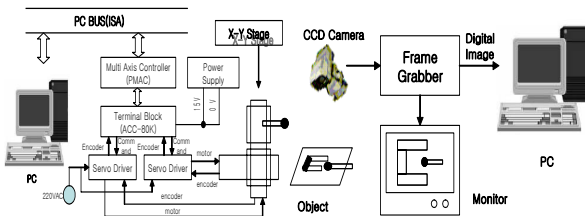


그림 1. 슬레이브시스템의 구조

Step 1 : Predict step

$$\hat{P}_{k+1} = A_k P_k A_k^T + Q_k, \quad \hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B u_k, \quad (2)$$

Step 2 : Correct step

$$K_k = \hat{P}_k H_k^T (H_k \hat{P}_k H_k^T + R_k)^{-1}$$

$$P_k = (I - K_k H_k) \hat{P}_k, \quad \hat{x}_k = \hat{x}_k + K_k (z_k - H_k \hat{x}_k) \quad (3)$$

슬레이브암의 엔드-이펙터와 벽면사이의 거리를 추출하기 위해, 슬레이브암의 형태(패턴)를 기반으로 연속 패턴매칭을 수행하여 추적을 수행하게 되며, 본 연구에서는 거리변환(Distance Transform) 방법을 사용하였다[3]. 그림 2는 슬레이브암의 위치추적 결과를 보여준다.



그림 2. 슬레이브암의 위치추적 결과

III. 실험결과

그림 3.은 본 연구에서 채택한 플랫폼인 마스터시스템과 슬레이브시스템[4]를 보여주며, 원격지에서 인터넷망을 이용하여 마스터암의 위치를 네트워크를 통해 슬레이브시스템에 전달하여 제어를 수행하게 되고, 이 때

발생하는 시지연에 의한 마스터암과 슬레이브암의 동기오차를 최소화하기 위해 추정기법을 사용해서 전달 데이터를 가공하여 사용하게 된다. 그림 4는 마스터와 슬레이브암의 위치를 보여주며, 네트워크에 의한 시지연을 고려하였기 때문에 동기 제어가 정확하게 수행되는 것을 볼 수 있다. 또한 영상처리에 의한 힘 데이터를 생성하여, 마스터암에 전달해서 발생하는 마스터암의 구동 토크의 변화 또한 보여준다.



그림 3. 적용 마스터 & 슬레이브 시스템[4]

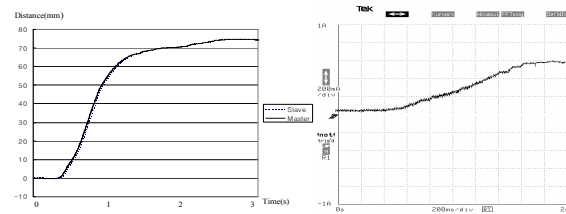


그림 4. 동기제어 및 구동토크

IV. 결론

본 연구에서는 햅틱 디바이스를 이용한 원격제어시스템을 구현하였으며, 네트워크망을 통해 마스터시스템과 슬레이브시스템의 동기제어를 수행하였다. 추정기법을 이용하여 네트워크기반의 원격제어시 발생하는 시지연 효과를 최소화하여 보다 정확한 마스터암과 슬레이브암의 원격 제어 성능을 보일 수 있었다.

참고문헌

[1] Jungwon Yoon, Jaha Ryu, "Control and Evaluation of a New 6-DOF Haptic Device Using a Parallel Mechanism", IEEE/RSJ Int. Conf. Intelligent Robots and Systems, pp. 1125-1130, 2000.
 [2] R.E. Ellis, O.M Ismaeil, and M.G. Lipsett, "Design and Evaluation of a High-performance Haptic Interface," Robotica Vol. 14, pp321-327, 1996.
 [3] J.You, W.P. Zhu, E. Pissaloux, H.A. Cohen, "Hierarchical Image Matching : A Chanfer Matching Algorithm Using Interesting Points", Proc. the Third Australian and New Zealand Conf. on Intelligent Information Systems, pp. 70-75, 1995
 [4] J. B. Lee, J. H. Lim and C. W. Park, "Development of ethernet-based tele-operation systems using haptic devices", Information Sciences, Vol. 172, No. 1-2, June, pp.263-280, 2005