

미세 수술용 원격조작을 위한 햅틱 감각 향상 방법

손형일[†] · 이두용^{*}

Enhancement of Kinesthetic Perception for Microsurgical Teleoperation

Hyoung Il Son and Doo Yong Lee

Key Words : Kinesthetic Perception(햅틱 감각 인식), Bilateral Teleoperation(양방향 원격조작), Microsurgery(미세수술), Macro-Micro Teleoperation(매크로-마이크로 원격조작)

Abstract

A new control scheme is proposed for a bilateral teleoperation system for microsurgical operations. The main objective of the control scheme is to enhance kinesthetic perception of the operator. First, we classify kinesthetic perception in teleoperation, based on psychophysics, into three: detectable region, sensitivity of detection, and discriminable region. A new bilateral controller using impedance-shaping method is, then, proposed. The proposed controller can increase the kinesthetic perception by magnifying the transmitted impedance to the operator. Finally, performance of the proposed controller is verified and compared with previous bilateral controllers such as two-channel position-position (PP), two-channel force-position (FP), and transparency-optimized four-channel controller.

기호설명

Z : 임피던스 모델

JND : 변별 한계치

1. 서론

일반적으로 원격조작을 이용한 원격수술은 영상 정보에 기초하여 시술하지만 추가의 힘반향(force feedback) 정보가 수술의 효율을 높일 수 있음을 여러 연구들에서 보여주고 있다¹⁾. 특히, 최소침습 수술, 뇌수술, 미세혈관수술 그리고 안구 수술 등의 미세 수술 분야에서는 조작자의 손 떨림, 피로 등에 의해서 움직임의 정확도가 떨어지고, 미세 수술 영역에서 발생하는 힘이 매우 작기 때문에 수술 대상에 대한 힘 반향도 저하된다.

일반적으로 미세 동작의 정확도 향상과 수술 대상의 힘 반향 향상을 위해 매크로-마이크로 원격 조작 시스템이 유용하다. 위치 제어 정확성의 향상은 슬레이브 로봇의 메커니즘 및 제어가 중요하

며 이에 대한 연구는 많이 진행되고 있다. 하지만, 조작자에게 어떻게 힘 정보를 전달해야 되는지는 상대적으로 덜 연구되었다. 특히, 여러 생체조직들 간의 변별(discrimination) 그리고 보이지 않는 생체조직에 대한 감지(detection) 능력 등을 향상시킴으로써 작업의 성능과 효율 향상 및 환부에 대한 손상과 외상(trauma)을 최소화할 수 있다^{2,3)}.

따라서, 본 논문에서는 원격 미세 수술에서 작업자의 성능 및 효율 향상을 위해 매크로-마이크로 원격조작 시스템을 사용하여 작업자의 햅틱 감각 인식을 향상시키는 방법을 제안한다.

2. 방법

2.1 햅틱 감각 인식 영역

햅틱 감각의 인식 영역은 식 (1), (2)와 같이 절대 한계치(AL, absolute limen)와 차분 한계치(DL, difference limen)로 나타낼 수 있다³⁾.

$$Z_{perceivable}^{AL} = \{Z_k \mid \forall k > 0, Z_k \geq AL\} \quad (1)$$

$$Z_{perceivable}^{DL} = \{Z_k \mid \forall k > 0, Z_k \geq (1 + JND)Z_0 \text{ or } Z_k \leq (1 - JND)Z_0\} \quad (2)$$

[†] KAIST, 기계공학전공 박사과정

^{*} KAIST, 기계공학전공

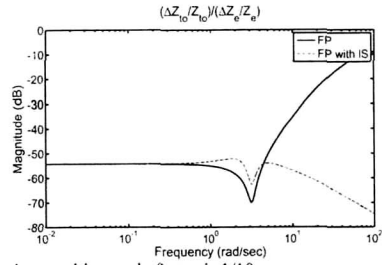
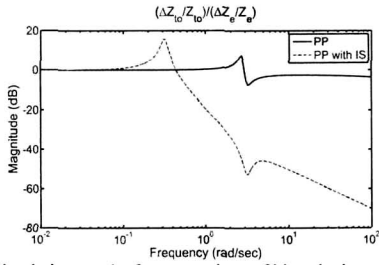


Fig. 1 Simulation results for comparison of kinesthetic perception using method 3 when position scale factor is 1/10

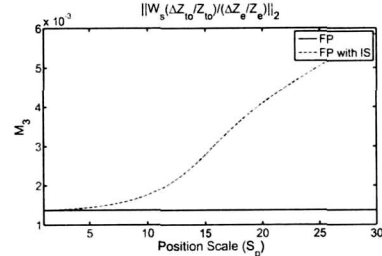
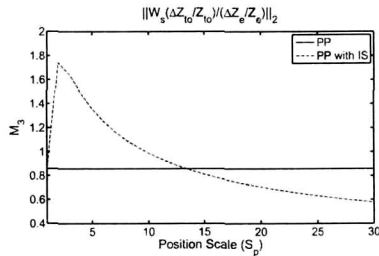


Fig. 2 Simulation results for variation of kinesthetic perception index with change of position scale factor using method 3.

2.2 햅틱 감각 인식 향상

본 논문에서는 (1), (2)의 영역을 확장하기 위해 다음의 3 가지 방법을 제시하고 이와 관련된 성능 지표는 각각의 방법에 대한 2-norm 으로 나타낸다.

방법 1: Z_{10}/Z_e 의 증가에 의한 AL 과 관련된 햅틱 감각 인식 영역 증가

방법 2: $\Delta Z_{10}/\Delta Z_e$ 의 증가에 의한 햅틱 감각 인식의 민감도(sensitivity) 증가

방법 3: $(\Delta Z_{10}/Z_{10})/(\Delta Z_e/Z_e)$ 의 증가에 의한 DL 과 관련된 햅틱 감각 인식 영역 증가

2.3 제어구조

일반화된 4-채널 제어구조²⁾에 거리와 힘 비율 변수 채널을 추가하여 매크로-마이크로 원격조작 제어구조를 만든다. 그리고 임피던스 조작법을 사용하기 위해 동적 유사성(dynamic similarity)을 고려하여 설계되는 임피던스 보상기를 추가한다.

3. 결과

제안한 햅틱 감각 향상 방법을 평가하기 위해 PP 제어기, FP 제어기 그리고 4-채널 제어기에 대해서 시뮬레이션을 수행하였다.

Figure 1 을 보면 저주파에서만 햅틱 감각 인식이 향상되지만, 일반적으로 미세수술은 2Hz 이하의 저주파에서 이루어 지므로³⁾ 제시한 방법은 미세수술에 적합하다. 그리고 Fig. 2에서 알 수 있듯이 매크로-마이크로 거리 비율에 따라 제어기의 햅틱 감각 인식 향상이 다르므로 위치제어 정밀도를 고려하여 대상 미세수술 사양에 맞게 제어기를

선택해야 된다.

4. 결론

미세 수술 작업은 작업자의 동작 정확성 향상과 높은 현실감의 힘 반향 정보를 통해 성능 및 효율을 향상시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 매크로-마이크로 양방향 원격조작에 기반하여 원격 미세 수술 동작의 정확성과 햅틱 감각 인식을 향상시키는 새로운 제어기법을 제안하였다. 정신물리학적 연구결과를 이용하여 작업자에게 전달되는 임피던스의 증가, 임피던스 변화 량의 증가, 임피던스 차분 량의 증가 등 세 가지의 햅틱감각 인식 향상 방법을 제시하고 그와 관련된 성능지표를 정의하였다. 그리고 임피던스 조작법을 이용하여 이를 향상시킬 수 있음을 수치 시뮬레이션을 통해 보였다.

참고문헌

- (1) J. W. Hill and J. F. Jensen, 1998, "Telepresence Technology in Medicine: Principles and Applications," *Proc. of the IEEE*, Vol. 86, No. 3, pp. 569~580.
- (2) M. C. Cavusoglu, A. Sherman, and F. Tendick, 2002, "Design of Bilateral Teleoperation Controllers for Haptic Exploration and Telemanipulation of Soft Environments," *IEEE Trans. Robot. Autom.*, Vol. 18, No. 4, pp. 641~647.
- (3) L. A. Jones, "Kinesthetic Sensing," *Proc. of Workshop on Human and Machine Haptics*, pp. 1-10, 1997.