

매크로-마이크로 형 신경외과 수술 로봇의 시뮬레이터

Simulator of a macro-micro type neurosurgical robot

*김성목¹, 정주노¹, #김희국¹

*S. M. Kim¹, J. N. Cheong¹, #W. K. Kim¹ (wheekuk@korea.ac.kr)

¹ 고려대학교 제어계측공학과

Key words : Neurosurgical robot, macro-micro robot, position analysis, motion simulator

1. 서론

기존의 뇌정위 수술 장치는 바늘이 삽입되기 전 단계까지 모두 수동으로 설치되어야 하므로 높은 정확도 확보에 한계가 있으며 많은 수술 작업 준비 시간이 요구되는 단점이 존재한다.[1-4] 최근에는 다양한 형태의 뇌정위 수술 로봇 시스템이 개발되었으나[5] 가격 및 성능의 측면을 동시에 고려할 때 많은 개선의 여지가 존재한다.

따라서, 본 연구자들은 가격과 성능 측면에서 경쟁력있는 매크로-마이크로 로봇 구조의 뇌정위 수술 로봇 개발을 진행하고 있으며[6] 그 구조는 6 자유도 직렬형 구조의 매크로 로봇의 끝단에 5 자유도 병렬 구조의 마이크로 로봇이 장착되며 마이크로 로봇의 끝단에 1 자유도 마이크로 드라이브가 장착되는 구조이다.

본 연구에서는 뇌정위 매크로-마이크로 수술 로봇이 뇌정위 수술에서 부여된 작업을 안정적으로 올바르게 수행할 수 있는지를 미리 확인할 수 있는 가상 시뮬레이터를 개발하였으며 이에 관하여 기술한다.

2. 뇌정위 수술 로봇의 작업 시나리오

그림 1 에 보인 바와 같은 PPPRRR 형 직렬구조의 매크로 로봇과 5 자유도 마이크로 로봇 그리고 P 형 1 자유도 마이크로 드라이브로 구성된 매크로-마이크로 형 뇌정위 수술 로봇이 바늘 삽입 준비 완료 위치로의 이동하는 단계까지의 작업은 첫째, 목표 위치 설정 단계, 둘째, 매크로 로봇을 통한 바늘 삽입 준비완료 위치로의 이동 단계, 셋째,

마이크로 로봇을 통한 마이크로 드라이브의 위치 및 바늘 삽입각도 오차 수정 단계, 그리고 넷째, 바늘삽입단계로 이루어지는 총 4 단계로 이루어진다. 그리고 바늘 삽입 작업 수술이 모두 끝난 후에는 먼저 바늘이 원 위치로 완전히 복원된 후 매크로-마이크로 로봇은 안전위치로 복원된다.

3. 매크로-마이크로 로봇의 역위치해석

그림 1 과 같이 기준 좌표계의 원점 O 에서 마이크로 드라이브가 장착된 마이크로 로봇의 끝단의 위치 E 까지 벡터 \overline{OE} 는 다음의 식으로 표현된다:

$$\overline{OE} = \overline{OM} + [{}^b R_{mib}] [{}^{mib} R_{mio}] [{}^{mio} R_{mice}] \overline{ME} \quad (1)$$

같은 방법으로 기준 좌표계의 원점 O 에서 바늘 삽입 준비완료 위치 좌표계까지의 벡터 \overline{OR} 는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$\overline{OR} = \overline{OT} + [{}^b R_{nir}] \overline{TR} \quad (2)$$

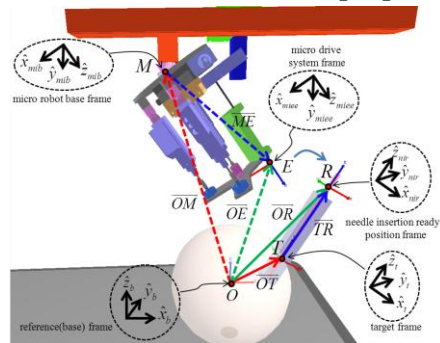


Fig. 1 Frames of a macro-micro robot and a target

편의상

$$[{}^b R_{nir}] = [\hat{x}_R \quad \hat{y}_R \quad \hat{z}_R] \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} {}^b R \\ {}^{mb} R \end{bmatrix} \begin{bmatrix} {}^{mio} R \\ {}^{mice} R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_E \\ \hat{y}_E \\ \hat{z}_E \end{bmatrix} \quad (4)$$
라고 나타내자. 여기서

$$\begin{bmatrix} {}^{mb} R \\ {}^{mio} R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Rot(\hat{x}, \alpha) \\ Rot(\hat{y}, \beta) \end{bmatrix} \quad (5)$$

는 마이크로 로봇의 기저좌표계에서 출력좌표계까지의 회전행렬을 그리고 $\begin{bmatrix} {}^{mio} R \\ {}^{mice} R \end{bmatrix}$ 는 마이크로 로봇의 출력좌표계로부터 부착된 마이크로 드라이브의 좌표계까지의 오프셋회전행렬을 나타낸다.

마이크로 드라이브의 z 축과 바늘 삽입 준비 완료 좌표계의 z 축이 일치해야 하는 조건으로부터 다음과 같은 식을 얻을 수 있다:

$$\hat{z}_T - \hat{z}_E = 0 \quad (6)$$

마이크로 로봇의 두 출력 각도 α, β 는 (6)에서 선택한 임의의 두 식으로부터 구할 수 있으며 이들의 해는 수치해석방법 (Newton-Raphson)을 사용하여 구하였다.

4. 시뮬레이터

그림 2(a), 2(c), 그리고 2(e)는 각각 매크로 로봇이 바늘 삽입 준비 완료 위치로 이동할 때, 그리고 그림 2(b), 2(d), 그리고 2(f)는 각각 매크로 로봇의 이동 후 마이크로 로봇을 이용하여 바늘 삽입위치로 이동할 때 바늘 삽입 준비 완료 위치로부터의 위치오차 궤적, 바늘 삽입 축의 tilt 각 오차 궤적, 그리고 좌표계 전체를 고려한 방위각 오차궤적을 나타낸다. 위 모의실험에서 바늘 삽입 준비 완료 위치 좌표계 {nir}와 마이크로 로봇의 말단 효과장치 좌표계 {mice} 사이의 위치 및 회전 오차는 다음과 같이 산출하였다:

$$du = \begin{bmatrix} d\vec{p} \\ d\vec{\theta} \end{bmatrix} \leftarrow \begin{bmatrix} \vec{OR} - \vec{OE} \\ \frac{1}{2}(\hat{x}_R \times \hat{x}_E + \hat{y}_R \times \hat{y}_E + \hat{z}_R \times \hat{z}_E) \end{bmatrix} \quad (7)$$

그림 2로부터 앞에서 설정된 시나리오에 따라 매크로-마이크로 로봇이 바늘 삽입 준비 완료 위치에 성공적으로 도달할 수 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 뇌경위 수술에서 바늘삽입준비완료 위치가 주어졌을 때 매크로-마이크로 로봇이 주어진 시나리오에 따라 목표위치에 도달할 수 있는 역위치 해석을 수행하였으며 시뮬레이션을 통하여 매크로-

마이크로 로봇이 바늘삽입준비완료 위치에 성공적으로 도달될 수 있다는 사실을 확인하였다. 이러한 시뮬레이터는 현재 개발된 5 자유도 마이크로 로봇을 매크로 로봇에 장착하여 구성되는 매크로-마이크로 로봇에 대한 가상 모의실험 수행은 물론 실시간 성능 모의 실험에 활용될 것이다.

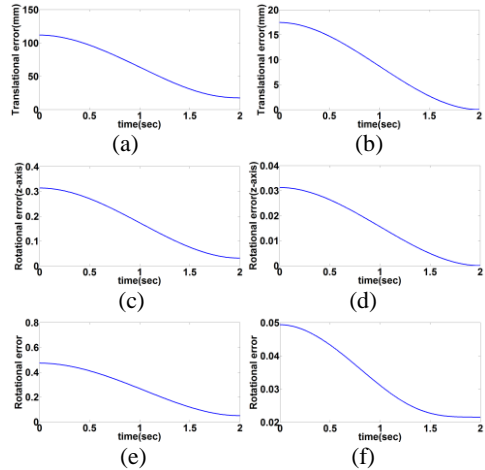


Fig. 2 Position and rotation errors between the macro-micro robot end-effector frame and the needle-insertion-ready position frame

후기

본 논문은 지식경제부 기술혁신사업 (로봇산업원천기술개발사업) 으로 지원된 연구임 (No. 10040097)

참고문헌

1. <http://www.elektaindia.co.in>
2. <http://www.adhocmedical.com/en/>
3. <http://www.sandstrom.on.ca>
4. <http://www.precisis.de/>.
5. Heinig, M., Govela, M. F., Gasca, F., Dold, C., Hofmann, U.G., Tronnier, V., Schlaefer, A., and Schweikard, A., "MARS - Motor assisted robotic stereotaxy system," IEEE EMBS Conference on Neural Engineering, 334-337, 2011.
6. 김성목, 정주노, 김희국, 이병주, PPPRR 형 5 자유도 신경외과 초정밀 수술용 마이크로 로봇," 제 4 회 대한의료로봇학회 학술대회, 20-21, 2012.