

수술통합시스템 시뮬레이터 개발과 자동조명시스템의 설계

Development of simulator for Computer-integrated Robotic Surgery system and Design of its Auto-illumination system

이수강*, 정구봉**, 이병주***, 김희국****

(Soo Gang Lee, Goo Bong Chung, Byung-Ju. Yi, Whee Kuk Kim)

Abstract - Recent medical robot systems perform surgery operations, by following the preplanned trajectory and surgical procedures. Depending on the complexity of surgery operations, they are operated in manual, semi-automatic or full automatic mode. To improve the performance of those medical robot systems, development of the simulator and more advanced auto-illumination system, in which intensity of light, direction and focal point can be controlled automatically according to the varied environments during surgical operations, are required. Therefore, in this paper, the simulator for SPINEBOT system which is a computer-intergrated robotic surgery system are developed. And further, an auto-illumination system which will be integrated to the SPINEBOT system is investigated and its preliminary design is described.

Key Words : 자동조명(Auto illumination system), 수술용 로봇(Surgery robot), 시뮬레이터(Simulator)

1. 서 론

최근의 의료 수술 로봇 시스템은 로봇 스스로가 미리 계획된 경로 및 수술절차에 따라 수술을 수행하게 되는데 수술작업의 난이도에 따라 수동, 반자동, 또는 자동의 모드로 시행하게 되며 부속 시스템으로는 크게 Navigation system, Surgical Robotic system, Surgical planning system 등을 포함하는 형태를 취하고 있다. 특히, 이러한 의료 수술 로봇 시스템은 최소침습술(MIS:minimum invasive surgery)을 목표로 Zeus, Da Vinch 등과 같은 다양한 형태의 의료 로봇 시스템이 개발되어 병원에서 실제로 활용되고 있다[1,2].

최근에는 국내에서도 척추고정 수술을 수행하기 위한 목적으로 의료 수술 로봇인 SPINEBOT 시스템(그림 1)이 개발되었다[3]. 의사들에게 수술전 또는 수술중 그리고 수술후 수술부위의 정보를 전달해주는 시뮬레이터의 개발은 성공적인 수술 작업을 위해 매우 중요한 부분 중의 하나이다. 따라서, 본 논문에서는 SPINEBOT 시스템의 척추고정수술 작업과 관련된 다양한 정보를 의사에게 제공할 수 있는 SPINEBOT 시스템 시뮬레이터를 개발한다.

한편, 기존 대부분 의료 조명시스템은 수술 환부에 그림자가 지지 않도록 설계된 무영등(無影燈)시스템이 사용되고 있으나 수동형으로 시술시에 방향, 조도, 위치 등을 의사가 필요시마다 조작을 해야 한다. 이러한 단점을 보완하기 위해

최근에는 조명기구의 관절 개수를 증가시키고 조명의 세기 및 초점 등을 간단한 스위치에 의해 조절할 수 있는 조명시스템이 개발되고 있다. 이 밖에도, 전구 단락 시에 자동으로 교체되는 시스템, 열을 98%이상 차단시키는 열 차단 필터, 촬영을 위한 카메라, 무영등의 무영범위 증가 등 많은 우수한 기능을 가진 조명시스템이 소개되고 있다[4]. 그러나 아직까지도, 수술상황 적절한 조명의 세기 및 방향, 초점 등을 자동으로 조절하는 조명시스템은 개발되지 않고 있다.

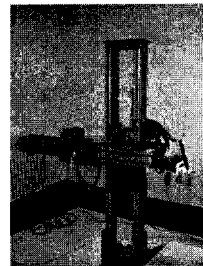


그림 1 SPINEBOT(척추수술용 로봇)

따라서, 본 논문에서는 SPINEBOT 시스템의 성능향상을 위해 척추수술시 요구되는 최적 조명을 위한 조명 자동화 시스템의 설계에 관하여 연구한다. 구체적인 내용으로는, 척추수술에 필요한 조명공간의 크기와 형태 설정, 조명 작업공간을 확보하기 위한 조명 로봇 시스템의 구조 및 작업공간 분석, 무영등의 형태와 focusing 네커니즘 설계, 장애물회피 알고리즘, 그리고 자동 조명 장치를 포함한다. 이러한 자동 조명 시스템 작동 소프트웨어도 개발된 SPINEBOT 시스템 시뮬레이터에 포함된다.

* 李壽康 : 漢陽大學 電氣電子制御計測工學部 碩士課程
** 鄭救鳳 : 漢陽大學 電氣電子制御計測工學部 博士課程
*** 李秉周 : 漢陽大學 電子컴퓨터工學部 教授·工博
****金熙國 : 高麗大學 制御計測工學科 教授·工博

2 시뮬레이터

본 논문에서 개발된 시뮬레이터는 수술계획시스템을 포함하고 Visual C++과 OpenGL을 이용하여 로봇에 설치된 다양한 센서와 OTS(Optical Tracking System)등으로부터 위치정보를 제공받아 로봇의 움직임 및 주변 정보를 실시간으로 모니터링하며, 로봇 제어 컴퓨터와는 이더넷을 통한 네트워크로 연결하여 제어하고, Serial통신을 통해 teach pendant로 로봇을 구동하는 기능을 가진다. 한편, 자동으로 시술부위를 조영하는 조명시스템 및 수술환경을 가상으로 보여주기 위한 기능도 포함하고 있다.

그림 2좌는 본 연구에서 개발된 시뮬레이터를 보여주고 있다. 이 시뮬레이터는 수술부위의 좌표 및 로봇의 좌표를 실시간으로 관측하는 Navigation System(OTS)과 수술부위의 CT 영상을 3차원으로 형상화하여 수술을 계획하는 Surgical Planning System(SPS)을 클라이언트로 관장을 하고, 로봇을 제어하는 Surgical Robotic System(SRS)을 포함한다. 각 시스템과는 TCP를 사용하여 통신을 한다(그림 2우).

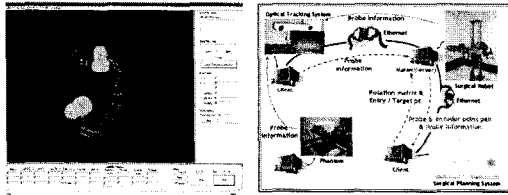


그림 2 시뮬레이터(좌) 및 신호의 흐름(우)

신호의 흐름에 관해 요약하면 다음과 같다. 먼저 로봇 말단과 수술부위에 설치된 probe에서 얻어진 위치정보를 NS에서 SRS로 이더넷을 통해 지속적으로 전달하게 된다. SRS를 포함하는 시뮬레이터는 이 좌표들을 받아 로봇 좌표계로 변환하고 수술부위의 변환된 좌표는 이더넷을 통해 SPS로 보내게 된다. SPS에서는 환자의 3D 영상에서 구별할 수 있는 수술부위의 특징이 되는 좌표들을 몇 개 구하여 이 좌표를 NS에서 SRS를 통해 받아 자신이 가지고 있는 3D CT 영상의 좌표측과 일치시키고 수술작업을 해야 할 정보(요추수술에서는 drilling시작점과 끝점의 좌표)를 계산하여 SRS로 전달하게 된다. 이밖에 환자가 숨을 쉬거나 예상치 못한 쇼크에 의해 수술부위가 고정되어 있지 못할 때 NS에서 보내주는 현재의 수술부위의 좌표를 SRS로 전달하여 피드백제어를 하므로 수술 로봇은 수술부위가 움직임이 있더라도 계획된 경로를 추종하여 수술할 수 있다[3]. 또한 화면에 NS에서 받은 로봇과 수술부위의 데이터로 실시간으로 움직임을 표현하여 줌으로 의사로 하여금 실제 환부를 보며 수술하는 것처럼 느끼게 할 뿐만 아니라 실제 수술을 위해 구현된 로봇의 움직임 확인을 통한 안전성 검증에서도 매우 유용하다.

3. 자동조명시스템

3.1 작업공간 및 설계

수술부위는 모든 요추(L1~L5)부를 포함한다고 가정하였다. 따라서, 중심부에 위치한 L3요추를 기준으로 반지름 100mm,

깊이 150mm인 원기둥으로 가정하였고 수술실에서 쓰이는 침대의 평균높이를 850mm, 침대에서 환부까지의 거리를 150mm, 그리고 의사의 최대 신장 190cm로 고려하여 작업공간(workspace)을 산정하였다.

자동조명시스템의 구현 방법으로 첫째, 수술실 천정에 많은 수의 조명을 설치하고 그 자리에서 초점만 조절하는 방법(그림3)과 둘째, 기존의 수동형 링크의 원형을 따르는 대신 각 관절에 구동기를 설치하여 제어하는 방법(그림4)인 두 가지를 고찰하였다.

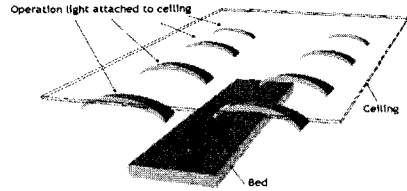


그림 3 자동조명시스템1

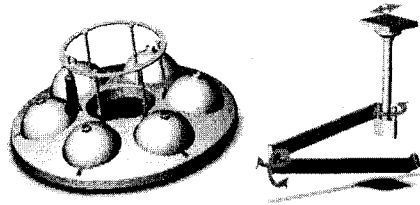


그림 4 자동조명시스템2(좌:광원부, 우:관절부)

첫 번째 방법은 지속적인 조명의 조정이 불필요하고 큰 수술도구 이동시에 마찰이 없는 반면, 두 번째 방법과 비교해 비싼 가격과 높은 소비전력, 많은 열 방출 등의 불이익이 있고, 두 번째 방법은 자동으로 관절이 움직인다고 하더라도 환부와 조명사이에 들어오는 물체를 피하여 지속적인 움직임이 필요하게 된다. 그러나 첫 번째 방법과 비교해 낮은 가격과 소비전력, 적은 열 방출을 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 두 번째 방법을 모체로 시스템을 개발하되 초음파 센서를 이용하여 지속적인 움직임을 자동으로 조절하게 한다.

이를 위해 먼저 관절부 6자유도(PRRR+Gimbals)를 구현하고 각각의 조명의 초점을 한번에 맞추기 위한 1개의 모터를 설치하게 된다. 또한, 시술시에 여러 시스템간의 정보교환을 위해 OTS를 사용하여 좌표측을 통일하게 되는데 여기에 사용되는 probe를 의사의 머리와 환부에 설치하여 의사의 머리에서 환부로 이어지는 벡터의 방향을 조명의 방향으로 설정하여 조영하는 방법을 적용하였다(그림 5).

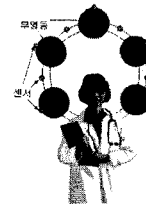


그림 5 자동조명시스템의 형태

설계된 자동조명 시스템의 각 관절 길이는 수술실 천정을 3500mm로 가정하였을 때 I1이 150mm, I2가 1000mm, I3가 150mm, I4가 700mm일때 천정에서부터 400~1000mm, 가로, 세로방향으로 각각 2000mm 가 닿을 수 있어 원하는 작업공간을 만족하였다(그림 6).

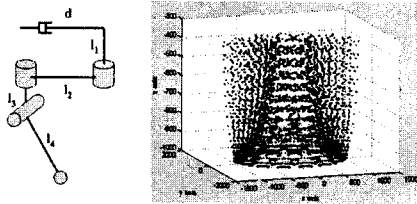


그림 6 자동조명시스템 기구형태 및 작업공간

이때 의사의 머리 또는 기타 장애물에 의하여 그림자가 생기는 것을 방지하여야 하므로 장애물 회피 알고리즘을 소개하고 그에 따른 조명시스템의 광원부를 설계하였다.

3.2 장애물 회피 방법

제한된 조명시스템은 조명과 환부사이에 들어오는 장애물에 따라 광원부를 움직여 환부에 그림자가 생기지 않도록 하는 무영동 알고리즘이 필요하다. 장애물로서는 의사 또는 간호사 및 수술도구 등을 예상할 수 있으며 주로 측면에서 들어오는 것으로 가정하였다. 첫 번째 고안한 알고리즘은 backward algorithm으로(그림 7좌) 조영 도중에 측면에서 장애물이 침입할 때 광원부를 뒤로 이동시켜 초점을 중심으로 빛이 비추어지는 입사각을 줄여 최초 조명할 때의 영역보다 회피 후 영역이 더 좁아 장애물을 피하여 조명을 비추는 방법이다. 공간상의 이득은 그림에서 보는 것과 같으며, 이때 초점을 유지하면서 멀어지기 때문에 그만큼의 조명의 세기를 증가시켜야 한다. 두 번째 알고리즘은 slope algorithm으로 장애물 침입시에 옆으로 경사를 주어 이동하여 조영하는 방법으로 이때는 광원 각각 다른 각도로 산정되어 초점을 다시 맞춰주어야 하고, 그림자가 생기는 광원은 약하게, 그 밖의 광원의 밝기는 강하게 조절하여 시술부위에서의 빛의 세기를 동일하게 유지한다.(그림 7우).

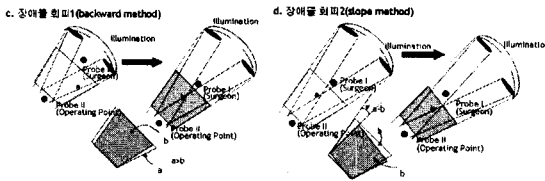


그림 7 장애물 회피방법(좌:backward method 우:slope method)

이러한 두 가지 방법중, backward algorithm은 장애물이 천천히 들어오거나 들어오는 크기가 작아 비교적 작은 범위 내에서 회피 가능한 물체, 장애물이 광원에서 먼 경우에 적용할 수 있고, slope algorithm은 장애물이 빨리 들어오거나 크기가 크고 광원에서 가까워 빨리 회피할 경우에 적용되는 방법이다. 장애물 침입 여부 및 침입속도는 초음파 센서로 감지하게 되는데 각 위치마다 두 개의 센서를 두 방향으로 두어 장애물의 크기 및 속도를 판단하게 된다.

3.3 사용자 입력장치(teach pendant)

의사가 로봇을 직접 조작할 수 있도록 고안된 teach pendant는 ATmega 8515 AVR칩을 이용하여 구현하였다. UART를 사용하여 컴퓨터와 시리얼 통신을 하고 8개의 키를 두어 로봇을 제어할 수 있으며 그 상태는 시뮬레이터에서 볼 수 있다(그림 8좌). 이러한 teach pendant에 자이로 센서(그림 8우)를 부착하여 의사에게 로봇의 방위 정보를 제공하기 위한 인터페이스가 진행 중에 있다.

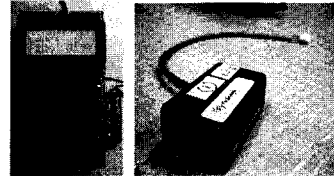


그림 8 입력장치(좌:teach pendant 우:gyroscope)

5. 결 론

본 연구에서는 Navigation system과 Surgical Planning System, Surgical Robot System을 통합하는 수술통합시스템에 사용되는 시뮬레이터를 개발하였으며 자동조명시스템에 관한 설계에 관한 연구를 수행하였다. 현재 자동조명 시스템은 제작 중에 있으며 teach pendant에는 gyroscope를 부착하여 로봇의 조종이 용이하도록 로봇 및 조명에 관련된 인터페이스가 진행중에 있다. 또한, 차후 과제로 시뮬레이터에 조명을 포함하여 전체 시스템의 제어와 haptic device와의 인터페이스 및 통신 구현 등이 있다.

후 기

본 연구는 보건복지부 한국건강 21 연구개발과제 (02-PJ3-PG6-EV04-0003)에 의해 지원되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] <http://www.computermotion.com/>
- [2] M. Shoham, M. Burman, L. Joskowicz, E. Batkilin, and Y. Kunicher, "Bone-Mounted Miniature Robot for Surgical Procedures: Concept and Clinical Applications," IEEE Tran. on Robotics and Automation, vol. 19, no. 5, pp. 893-901, 2003.
- [3] G. B. Chung, S. K. Lee, S. M. Oh, B.-J. Yi, W. K. Kim, Y. S. Kim, J. I. Park, and S. H. Oh, "Development of SPINEBOT for Spine Surgery" Proc. of IEEE/RSJ Int. Conference on Intelligent Robots and Systems. pp 3942-3947, 2004
- [4] H. C. Sagi, R. Manos, R. Benz, N. R. Ordway, and P. J. Connolly, "Electromagnetic Field-Based Image-Guided Spine Surgery Part One: Results of a Cadaveric Study Evaluating Lumbar Pedicle Screw Placement," Spine, vol. 28, no. 17, pp. 2013-2018, 2003
- [5] <http://www.berchtold.de/>