

## 몰입 로봇 수술을 위한 새로운 단일렌즈 3D 내시경과 시점 조절 시스템

유성근, 박상일, 윤소정, 엄유미  
서울과학기술대학교

{orcogre, sangilparkmail,jamie88y}@gmail.com, youmil003@nate.com

### A Novel Single Lens 3D Endoscope and Endoscopic View Controller for Immersive Robotic Surgery System

Sunggeun Yoo, Sangil Park and Sojeong Yoon, Yumi Eom  
Seoul National University of Science and Technology

#### 요 약

본 논문은 자유 시점조절과 깊이감 조절이 가능한 단일렌즈 양안식 3D 내시경과 Head-mounted display 를 사용한 새로운 로봇수술 시스템을 제안한다. 최근 들어서 여러 양안식 입체영상장치가 의료 영역에 적용되고 있다. 그러나 3D 의료 장비들은 zooming 과 자유로운 시점조절, 그리고 접사를 하는 데에 한계가 존재한다. 입체영상 장비에서 필연적으로 발생하는 이러한 문제점들은 3D 영화를 찍기 위해서 사용되는 것과 같은 2 대의 카메라와 2 개의 렌즈를 사용하는 데에서 원인을 찾을 수 있다. 이러한 문제점들은 Da Vinci 로봇 수술 시스템과 같은 가장 최신의 시스템에서도 해결되지 못하였다. 본 논문에서 제안하는 새로운 시스템은 지금까지 제시된 문제점들을 해결하고, 현재 존재하는 로봇 수술 시스템에 몰입 입체영상 수술이나 증강 현실 수술을 가능하게 하기 위한 목적으로 제안되었다.

#### 1. 서론

로봇 수술은 몸에 작은 구멍을 몇 개 뚫어 수술기구와 카메라가 달린 내시경을 몸 안으로 집어넣고 수술기구와 내시경을 조종하는 로봇팔을 컨트롤러로 조종하여 병이 있는 곳을 절개하고 봉합하는 수술이다[1]. 이를 최소침습수술(Minimally Invasive Surgery)라고도 불리며 수술에 최소한의 상처만을 남기기 때문에 입원기간이 짧고, 통증이 적으며, 흉터가 적게 남아 환자들이 빨리 일터로 돌아갈 수 있다는 장점이 있다[1]. 몸 안에서 촬영된 영상을 몸 바깥으로 전달하기 위해 10mm 이내의 작은 구멍으로 영상을 촬영 할 수 있는 장치가 들어가야 한다. 따라서 대부분의 내시경은 대물 렌즈가 몸으로 들어가는 쪽에 장착되고, 가늘고 긴 관에 여러 개의 렌즈를 조합하여 전달한 영상을 모니터에 표출한다.

영상은 2D 혹은 3D 가 될 수 있으며, 표출된 영상을 바탕으로 의사는 수술을 하게 된다. 2D 영상을 바탕으로 하는 로봇 수술은 영상에서 깊이를 느낄 수 없으므로 잘라내야 할 조직의 크기를 눈으로 가늠하거나 조직을 수술도구로 눌러 손으로 전달된 감각을 통하여 그 크기를 가늠하게 된다. 위와 같은 행위를 하다 출혈이 발생하면 몸 안을 보여주는 내시경의 시야를 가리게 된다. 이로 인해 환자는 사망하거나 크게 다칠 수 있다.

따라서 양 눈의 시차를 전달하여 입체감을 전달 할 수 있는 3D 내시경의 도입은 필연적이다. 하지만 3D 내시경은 그 구조적 한계에 따른 몇 가지 단점들을 가지고 있다. 따라서

다음 장에서는 3D 내시경의 단점에 대해 알아보고 문제를 해결 할 수 있는 새로운 시스템에 대하여 제안하고자 한다.

#### 2. 기존 로봇 내시경 수술 시스템의 문제점

최근 로봇 수술 시스템은 극적으로 향상되고 있다. 그러나 3D 내시경과 조작 인터페이스는 아직도 개선되어야 할 부분이 많다. 첫 번째 문제점은, 3D 내시경으로 입체감을 잘 전달하면서 아주 가까이에서 근접 촬영을 하는 것이 불가능하다는 점이다. 그림 1 의 (a)는 위와 같은 문제점을 설명하고 있다. 만약 사람의 두 눈 사이의 간격이 6cm 라고 가정하고, 90cm 떨어진 거리에서 물체를 보는 것과 같은 입체감을 피사체로부터 6cm 떨어진 3D 내시경으로 나타내기 위해서는, 3D 내시경의 두 대물렌즈 사이의 간격이 4mm 떨어져 있어야 한다. 다시 말하면 6cm 보다 짧은 거리에서 3D 내시경으로 정확한 입체감을 느끼며 수술을 하기 위해서는 렌즈 사이의 간격이 4mm 보다 좁아져야 한다. 따라서 내시경의 두 렌즈를 아무리 가까워지게 하더라도 렌즈의 구경보다 가까워 질 수 없기 때문에 렌즈의 구경이 매우 작아져야 한다. 그러나 작은 구경의 렌즈로는 충분한 양의 빛을 받기 어려운 점 등의 여러 가지 문제들이 발생하게 된다[2].

두 번째 문제점은 빛이 들어오는 경로가 다르기 때문에 발생하는 광축(optical axis) 불일치 문제이다. 그림 2 의

(b)에서 이러한 문제점을 설명하고 있다. 두 개의 렌즈와 두 활상 소자를 가지는 기존의 3D 내시경의 경우, 각각의 렌즈와 활상 소자는 각기 다른 광학적 축을 가지게 된다. 따라서 각기

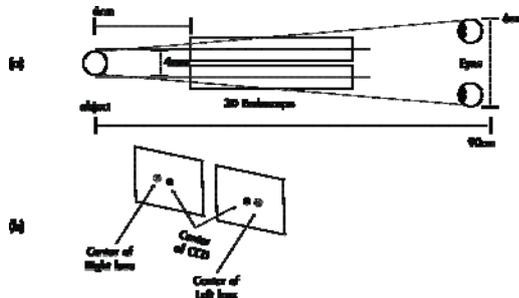


그림 1. (a). 기존의 3D 내시경 모델 (b). 광축의 불일치

다른 광학적 축을 완벽하게 맞추는 것은 거의 불가능하다. 이러한 광학적 불일치는 이미지를 왜곡시키고, 깊이감 또한 왜곡 된다. 왜곡된 영상을 통하여 수술자가 로봇 수술을 하게 되면, 수술자는 시각적 피로(visual fatigue)를 느끼게 된다[3].

세 번째 문제점은 수술 도중에 3D 내시경의 시점을 바꾸는 것이 쉽지 않다는 점이다. 대부분의 로봇 수술 시스템은 수술 도구와 3D 내시경의 시점을 로봇 팔을 움직여서 조절하게 되어있다. 그러나 일반적으로 두 손으로 수술 도구를 움직이는 로봇 팔을 조작해야 하기 때문에, 시점을 조절하기 위해서 발로 페달을 조작하거나 AESOP 과 같은 음성인식 시스템을 통해 시점을 조절해야 한다. 이러한 방법으로는 수술 도중에 시점을 자연스럽게 그리고 빠르게 바꾸는 것은 어렵다[4].

### 3. 제안하는 시스템

이번 장에서는 근접 촬영이 가능한 단일렌즈 양안시 3D 내시경 시스템을 제안한다. 이 시스템은 오쿨러스 리프트(oculus lift)와 같은 Head Tracking 기술이 적용된 Head-mounted Display 를 이용하여 시점을 자연스럽게 조절할 수 있으며 광축 불일치와 같은 문제를 해결하여 시각적 피로가 적고, 아주 정확한 깊이감을 제공할 수 있다.

#### A. 단일렌즈 양안시 3D 내시경을 위한 광학 시스템

Da vinci 시스템과 같은 기존의 3D 내시경은 두 렌즈를 통과한 빛이 두 개의 광학 채널을 통해서 전달되게 된다. 그러나 아주 가까운 거리에서 피사체를 촬영하게 되면 깊이감이 왜곡될 수 있다. 이는 시각적 피로를 야기한다. 위와 같은 문제를 해결하기 위해 단일 렌즈와 하나의 광학 채널을 채택한 새로운 광학 시스템을 제안하려고 한다. 그림 2 의 (a)는 Da Vinci 시스템의 기본 구조를 보여주고 있다. 그림 2 의 (b)는 새로 제안하는 3D 내시경 시스템을 나타낸다. 그림 2 의 (c)는 굴절율이 다른 투명 원형 판을 이용하여 양안 시차를 만드는 기본 원리를 보여준다. 제안된 단일렌즈 양안시 3D 내시경은 왜곡이 발생하지 않고 몰입감이 뛰어난 입체영상을 제공한다. 또한 원형 판의 각도를 조절하여 자연스러운 깊이감을 만들 수 있다.

#### B. Head-mounted Display 를 이용한 자유 시점 조절

기존의 내시경 시점을 조절하기 위해서는 시점을 조절하는 어시스턴트가 조절해 주거나, 발로 발판을 조절하거나 또는

음성 명령 시스템을 이용하여 왔다. 그러나 기존의 방법으로는 시점을 자연스럽게 조절하는 것이 어렵다. 지금 제안하려는 기술은 자이로센서와 가속도계가 달린 Head-mounted Display 를 이용하여 머리의 위치를 실시간으로 추적하여 움직임 정보를 3D 내시경의 Tip 에 전달한다. 내시경의 Tip 에는 pan, tilt, zoom 이 가능한 장치가 달려있어 실시간으로 내시경의 시점을 조절한다. 그림 4 에 전체

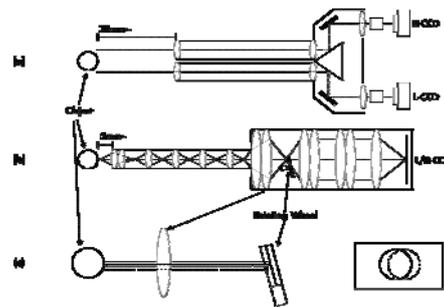


그림 2. 기존 3D 내시경과 새로 제안된 3D 내시경의 비교 시스템의 구성이 나와있다.

#### C. Eye Tracking Module 을 이용한 자동 깊이감 조절

사람들이 관심을 가지는 피사체를 볼 때, 사람의 두 눈의 각도는 피사체 방향으로 모이게 된다. 그림 3 을 보면, 두 눈의 광학적 축은 Convergence Point 라고 불리는 한 점에서 모이게 된다. 이 점은 깊이감을 인식하는 하나의 기준이 되며, 이 기준점에 있는 피사체가 제일 선명하게 보이게 된다. 그러나 기존의 3D 양안시 영화나 방송기술은 하나의 고정된 Convergence Point 만을 제공하므로 이 기술을 그대로 3D 내시경에 적용하면 수술시간이 길어지면 시각적 피로의 원인이 될 수 있다. Riggs 와 Niehl 등이 이미 1960 년대에 두 눈의 움직임을 이용해 두 눈의 각도를 찾아내는 방법을 제시하였다[5]. Head-mounted Display 에 눈의 움직임을 추적 할 수 있는 eye tracking 장치를 넣고, 단일렌즈 3D 내시경의 원형 회전판의 각도를 바꾸거나 이미지 처리를 이용하여 깊이감을 조절할 수 있다. 그림 3 은 eye tracking 장치의 구성을 보여준다. 따라서 이 장치를 이용하면 수술자는 정확한 깊이감과 편안한 화면을 수술도중 제공 받을 수 있다.

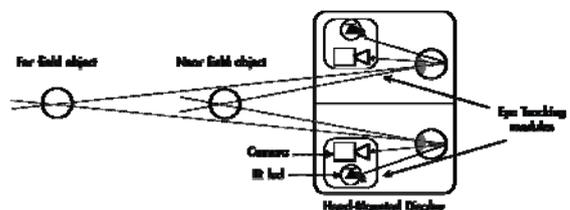


그림 3. Eye tracking 을 이용한 자동 깊이감 조절 장치

#### D. 제안된 몰입 가상 로봇 수술 시스템

그림 4 는 새로 제안된 단일렌즈 양안시 3D 내시경과 eye tracking 장치와 head tracking 이 적용된 자유 시점 Head-mounted Display 가 적용된 전체 시스템을 보여준다. 이 시스템을 이용하여 수술자는 Head-mounted Display 를 쓰고 양 손으로 수술도구를 조정한다. 수술자가 머리를 돌리면,

Head-mounted Display로부터 받은 head tracking 정보가 3D 내시경으로 전달된다. 이 데이터에 따라 3D 내시경의 Tip에서 시점이 자유롭게 조절된다. 또한 머리를 앞 뒤로 움직이면 화면이 확대되고 축소된다. 이러한 기능으로 인해 이 시스템은 현미경수술에도 도움을 줄 수 있다.

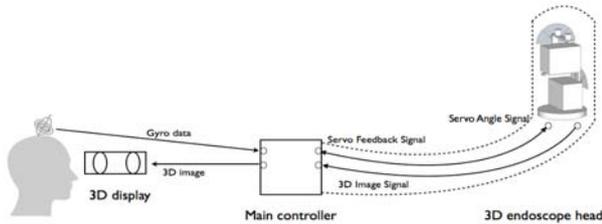


Fig.4. 전체 시스템 구성

#### 4. 결론

현재 존재하는 로봇 수술 시스템에 비교하여 볼 때, 제안된 시스템은 훨씬 적은 시각적 피로를 주고, 더 정확한 3D 영상을 제공한다. 수술자는 마치 환자의 몸 안으로 들어가서 수술을 하는 것과 같은 몰입감이 뛰어난 경험을 받는다. 결과적으로 수술자는 긴 시간의 수술에도 덜 지치고, 더 효율적으로 수술에만 신경 쓸 수 있다. 더 나아가면 eye tracking 기능으로 인해 정확하고 세밀한 깊이감을 제공받기 때문에 실수를 줄일 수 있다. 제안한 시스템은 내시경 수술 도중 발생할 수 있는 의료사고 감소와 환자의 삶의 질 향상에도 도움을 줄 것으로 기대된다

#### 참고문헌

- [1] H. Kamiuchi, K. Kuwana, et al. "3-D endoscope using a single CCD camera and pneumatic vibration mechanism," *Surgical Endoscopy*, vol. 27, pp. 1642-1647, May. 2013.
- [2] N. Taffinder, S. G. T. Smith, J. Huber, R. C. G. Russell, A. , "The effect of a second-generation 3D endoscope on the laparoscopic precision of novices and experienced surgeons," *Surgical Endoscopy*, vol. 13, pp. 1087-1092, Nov. 1999.
- [3] S. Park, S. Yoo, Y. Lee, T. Lee, " New broadcasting technology based on single lens video capturing system for 3D/UHD applications," *ICT Convergence (ICTC), 2013 International Conference on* , vol., no., pp.506-511, 14-16 Oct. 2013.
- [4] A. Lanfranco, A. Castellanos, J. Desai, W. Meyers , " Robotic surgery: a current perspective, " , *Annals of surgery*, vol. 239, pp. 14-21, Jan. 2004.
- [5] Riggs, Lorrin A., and Elizabeth W. Niehl. "Eye movements recorded during convergence and divergence." *Journal of the Optical Society of America* , Vol 50, pp. 913-920 , 1960.