

## 로봇수술 영상에서 수술도구 추적을 위한 강인한 영상처리 알고리즘

이동헌<sup>1</sup> · 조민우<sup>1</sup> · 최재순<sup>2</sup> · 김희찬<sup>3†</sup>

서울대학교 대학원 협동과정 바이오엔지니어링 전공<sup>1</sup>

서울아산병원 의공학연구개발센터<sup>2</sup>

서울대학교 의과대학 의공학교실 및 의학연구원 의용생체공학연구소<sup>3†</sup>

### A Robust Algorithm for Instrument Tracking on Endoscopic Images in Robot-Assisted Surgery

Dong Heon Lee<sup>1</sup>, Min Woo Cho<sup>1</sup>, Jae Soon Choi<sup>2</sup> and Hee Chan Kim<sup>3†</sup>

<sup>1</sup> Interdisciplinary Program, Bioengineering Major, Graduate School,  
Seoul National University, Seoul, Korea

<sup>2</sup> Center for Biomedical Engineering, Asan Medical Center

<sup>3†</sup> Department of Biomedical Engineering, College of Medicine and Institute of Medical and  
Biological Engineering, Medical Research Center, Seoul National University, Seoul, Korea

---

#### ABSTRACT:

Robot-assisted surgery that uses robotic systems, such as DaVinci®, with minimal invasive procedure has been growing over the past years rapidly. However, the technical development for more dexterous and safer operation is still in early stage, and there are several problems remain to be overcome in the robotic surgery. Typical medical problems using a surgical robot system are collision of surgical instruments and tissue damages caused by miscontrolling surgical tools. Therefore, identifying and tracking the position of each surgical instrument in real time during robot-assisted surgery can prevent medical accidents. However, it is difficult to detect the surgical instruments on endoscopic vision due to its complexity, non-uniformity of scene, time-varying lighting condition, back-light, and high surface reflectance, etc. This study proposes several algorithms for tracking surgical instruments, which is robust against the various characteristics of endoscopic images in robot-assisted surgery.

**Key Words:** Robot-assisted Surgery, Surgical instrument, Tracking, Illumination

## 1. 서 론

최근 들어 다빈치와 같은 최소침습 수술용 로봇을 이용한 수술 사례가 급격히 증가하고 있다.

최소침습 수술은 인체에 작은 구멍을 내고, 내시경을 통해 수술도구가 움직이는 수술영역의 시야를 확보함으로써 상처를 최소화하여 회복시간이 빠르다는 장점이 있다(1-4).

---

† Corresponding Author, [hckim@snu.ac.kr](mailto:hckim@snu.ac.kr)

© Society of CAD/CAM Engineers

---

그러나 현재 사용되고 있는 복강경 기반의 수술용 로봇 시스템의 한계는 복강경을 통한 좁은 시야, 힘 피드백 및 촉각 피드백의 부재, 응급상황에서 대처가 어려운 점 등이 있다(5-7). 이러한 문제점으로 인해서 의도 외 다른 수술도구의 조작으로 장기에 구멍을 내거나 수술도구끼리 충돌을 야기하는 경우가 발생한다. 따라서 복강경수술 영상에서 수술도구의 위치를 찾고 실시간으로 움직임을 파악하여 수술 중의 사고를 방지하는 기능을 제공하는 것이 필요하다. 예를 들어, 수술 영상 위에 가상의 벽을 만들어 수술도구가 일정 영역을 침범하면 수술 도구에 반응을 주거나 경고음을 발생하는 등의 기능을 통해 더욱 안전한 로봇 수술이 가능하게 될 것으로 기대된다(8). (8).

이를 위해 추가적인 장비 없이 로봇수술 중에 영상 내에서 수술도구를 추출하고 움직임을 추적하는 복잡한 알고리즘들이 제시되어 왔다. 그러나 수술 영상의 다양한 특성 변화에 따라 수술도구 추출의 정확도가 많은 영향을 받는 것이 한계로 지적되었다(8). 복강경수술 영상은 호흡이나 심박동으로 인한 장기의 움직임, 균일하지 않고 시간에 따라 변하는 조도와 반사광 등의 특성을 보이기 때문에 이러한 변화에 강인한 영상처리 알고리즘의 개발이 필요하다.(9).

본 연구에서는 로봇수술 영상에서 수술도구를 실시간으로 추적하기 위해 영상 특성의 다양한 변화 환경에 강인한 수술도구의 추출을 위한 복합적인 알고리즘을 제안한다.

## 2. 방법 및 결과

### 2.1 수술 영상의 전처리

복강경 수술 영상에서 수술도구를 추출 하기 위해서 장기와 수술도구의 색상 차이를 기반으로 한 알고리즘을 사용한다. 수술도구는 복강경 화면 내에서 몇 가지 특징들을 가지고 있으며 카메라 배율을 확대 및 축소하였을 때 수술도구의 모양은 변하지만, 수술도구의 색상인 회색은 일정한 특성을 가지고 있다

#### 2.1.1 조도영향 제거

##### 2.1.1.1 Lab 색상 영역

먼저 영상을 RGB 색상 영역에서 Lab 색상 영역으로 변환하는데 L은 밝기, a는 빨강과 초록 사이, b는 노랑과 파랑 사이를 나타낸다. 화

면 구성의 단순화를 위하여 b영역을 제거하면 장기의 붉은 영상만이 남게 되어, 배경과 수술도구의 색상차이를 뚜렷하게 할 수 있다.

#### 2.1.1.2 감마 보정

감마 보정은 빛의 강도를 비선형적으로 변형하는 기법이다. 복강경 화면의 가장자리는 로봇수술의 좁은 시야로 인해 그림자가 생기는 문제점이 있다. 이러한 그림자는 수술도구를 추출하는 방해 요소가 되지만 선형적으로 빛의 강도를 변형할 경우에 수술도구의 명암도 변형되므로 그림자만을 제거할 수 없다. 따라서 감마 보정을 이용하여 빛의 강도를 비선형적으로 변형하여 영상 내에서 배경의 그림자만을 제거한다.

#### 2.1.1.3 히스토그램 평활화

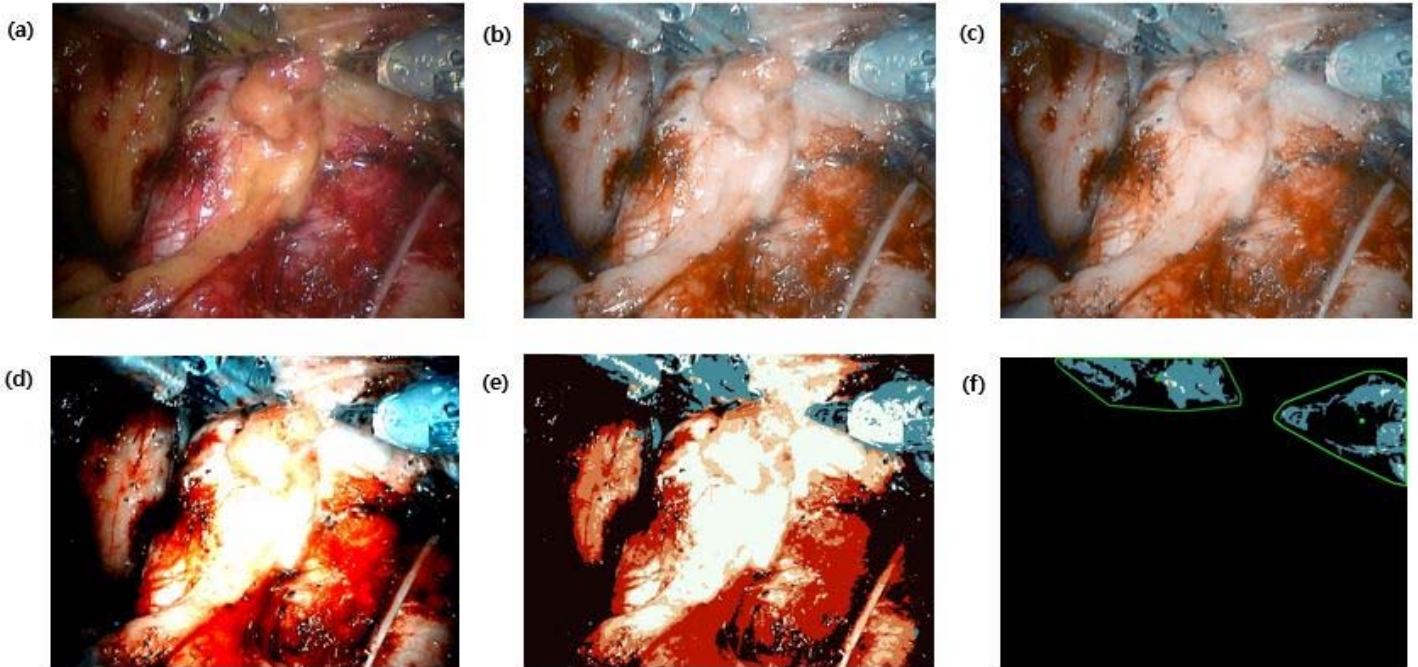
전체 영상의 히스토그램의 명암값 분포를 재분배하여 배경과 수술 도구의 명암 차이를 뚜렷하게 한다. 수술 영상의 명암값 분포에 따라 히스토그램 평활화 영상과 원본 영상에 가중치를 다르게 주어 결합하는 방법을 사용할 수 있다. Fig. 1 (a)는 원본 영상을 나타내고, Fig. 1 (b)는 본 연구에서 제안한 알고리즘을 통해 얻은 균일할 조도의 수술 영상을 나타낸다.

### 2.2 수술도구 추출 알고리즘

#### 2.2.1 반사광 제거

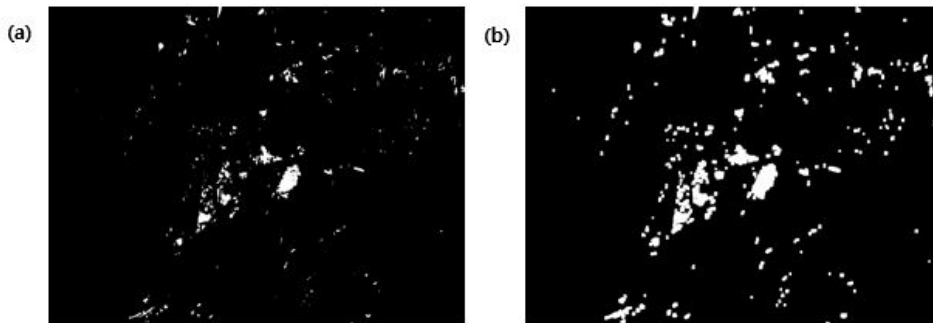
복강경 수술영상의 가장 큰 문제점 중에 하나는 장기 및 수술 도구의 표면에 반사광이 생긴다는 점이다. Fig. 2 (a)는 수술영상에서 표면에 생긴 반사광을 추출한 결과이다. 추출한 반사광을 제거하기 위하여 인페인팅 기법을 사용하는데, 이를 위해 추출한 반사광 영상에 모폴로지 기법 중 하나인 팽창 연산을 하여 마스크 영상으로 사용한다. Fig. 2 (b)는 추출한 반사광에 팽창 연산을 한 결과이다. 반사광이 팽창한 만큼의 영역의 픽셀들의 합을 Fig. 2 (a)의 반사광 영역에 채워 넣음으로 Fig. 1 (c)의 결과를 얻을 수 있다.

Fig. 3 (a)는 인페인팅 기법을 사용하기 전 영상의 히스토그램 분포를 나타내며, Fig.3 (b)는 인페인팅 기법을 사용한 후의 히스토그램 분포를 나타낸다. 히스토그램의 높은 명암값 분포가 제거된 것으로 보아 인페인팅 기법을 통해 반사광이 제거되었음을 알 수 있다.



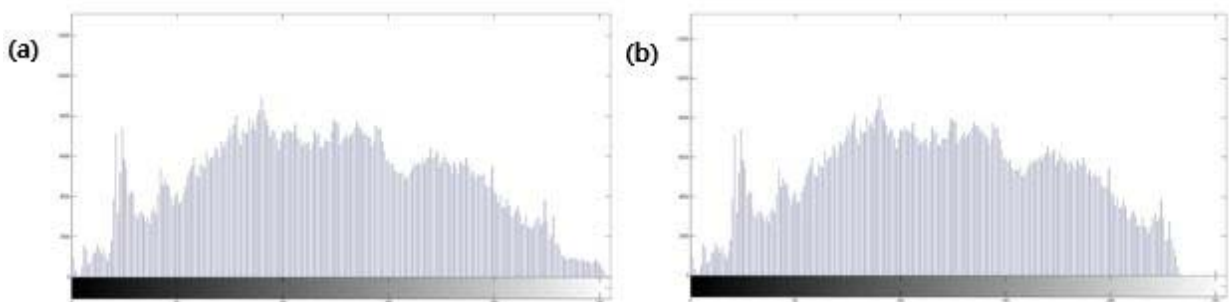
**Fig. 1** 제안된 알고리즘을 적용한 수술영상의 예

(a) 원본 영상. (b) 균일한 조도 영상. (c) 반사광 제거 영상.  
 (d) 명암 대비 스트레칭 기법 적용 영상. (e) K-평균 군집화 적용 영상. (f) 수술 도구 외곽선 영상.



**Fig. 2** 수술영상 내의 반사광 영상

(a) 반사광 추출 영상. (b) 반사광 팽창(Dilate) 영상.



**Fig. 3** 수술영상 내의 반사광 제거 전후 히스토그램

(a) 반사광이 있는 영상의 히스토그램. (b) 반사광을 제거한 영상의 히스토그램

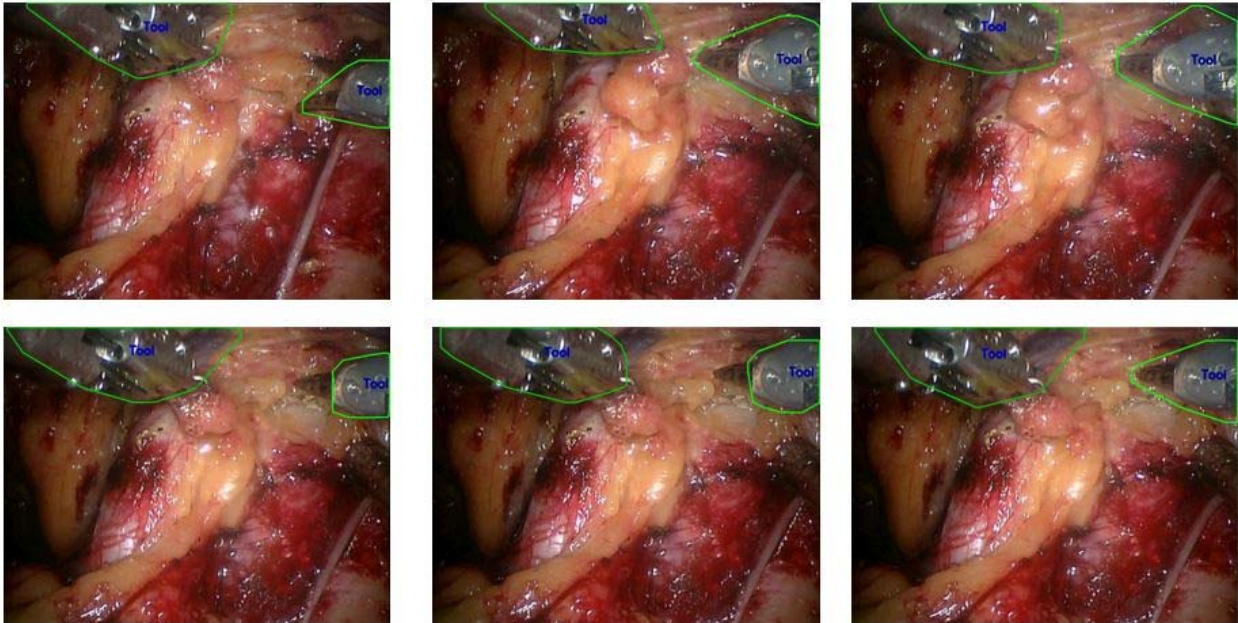


Fig. 4 제안된 알고리즘을 적용한 결과 수술영상의 예

### 2.2.2 명암 대비 스트레칭

수술영상 내에서 수술도구와 배경의 명암 차이를 극대화하기 위하여 명암 대비 스트레칭 기법을 사용한다. 이를 통해 밝은 영역은 더 밝게, 어두운 영역을 더 어둡게 하여 화면 내에서 수술도구가 더욱 뚜렷한 Fig. 1 (d)를 얻을 수 있다.

### 2.2.3 K-평균 군집화

Fig. 1 (d) 결과에 K-평균 군집화 기법을 사용하여 K가지 색상으로 분류하여 수술 영상을 단순화할 수 있다. 본 연구에서는 6가지의 색상으로 수술영상을 분류하고 단순화 하여, Fig. 1 (e) 를 얻었다.

### 2.2.4 외곽선 추출 및 라벨링

#### 2.2.4.1 외곽선 추출

Fig. 1 (e)에서 수술 도구의 색상만을 추출하고, 엔트로피 필터링을 통해 작은 노이즈들을 제거한다. Fig. 1 (f)는 추출한 수술도구에서 외곽선을 추출하고, 이를 통해 컨벡스헐을 구한 영상을 나타낸다.

#### 2.2.4.2 라벨링

Fig. 1 (f)에서 얻은 컨벡스헐의 모멘트를 구

하면 도형의 중점을 구할 수 있다. Fig. 4는 수술영상에서 수술도구의 중점에 라벨링을 하여 화면에 표시한 결과영상을 나타낸다.

## 3. 결론

현재 사용중인 복강경 수술 로봇 시스템은 기술적인 한계들로 인해 수술 중에 위험한 상황이 발생할 수 있다. 본 연구에서는 복강경 수술 화면의 특성을 분석하여 균일하지 않은 조도, 반사광 등에 영향을 받지 않으면서 수술도구의 추출이 가능한 강인한 영상처리 알고리즘을 제안하고 실제 로봇수술 영상을 사용한 성능평가를 통해 실용화가 가능한 결과를 확인하였다.

향후 연구로 군집화 기법의 민감도를 향상시키기 위한 EM 군집화 기법의 적용과, 추출한 수술도구를 바탕으로 템플릿매칭, 확장형 칼만 필터 등을 사용한 수술도구의 실시간 추적 연구를 진행할 계획이다.

## 감사의글

“This study was supported by the Industrial Strategic Technology Development Program, 10035145 (Development of Multi-arm Surgical Robot for Minimally Invasive Laparoscopic Surgery) funded by the Ministry of Knowledge Economy, Korea.”

## 참고문헌

1. Casale P, Kojima Y., 2009, Robotic-assisted laparoscopic surgery in pediatric urology: an update. *Scand J Surg*, 98:110–9.
2. Doignon C, Nageotte F, de Mathelin M., 2007, mentation and guidance of multiple rigid objects of intra-operative endoscopic vision. In: Vidal R, Heyden A, Ma Y, eds. *Dynamic Vision*, vol. 4358. Heidelberg: Springer Berlin, 314–27. WDV LNC.
3. Okamura A., 2004, Methods for haptic feedback in teleoperated robot-assisted surgery. *Ind Rob*, 31:499–508.
4. Suematsu Y, del Nido PJ., 2004, Robotic pediatric cardiac surgery: present and future perspectives. *Am J Surg*, 188:98S–103S.
5. Krupa A, de Mathelin M, Doignon C, et al., 2002, Automatic 3-D positioning of surgical instruments during robotized laparoscopic surgery using automatic visual feedback. In: Dohi T, Kikinis R, eds. *Proceedings of the 5th International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention-Part I*, vol. 2488. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 9–16. MICCAI LNCS.
6. Kennedy CW, Hu T, Desai JP, Wechsler SA, Kresh JY., 2002, A novel approach to robotic cardiac surgery using haptics and vision. *Cardiovasc Eng*, 2:15–22.
7. Braun EU, Mayer H, Knoll A, Lange R, Bauernschmitt R., 2008, The must-have in robotic heart surgery: haptic feedback. In: Bozovic V, ed. *Medical Robotics*. Vienna: I-Tech Education and Publishing, 9–20.
8. Jiwon Ryu, Jaesoon Choi, and Hee Chan Kim, *Artif Organs.*, 2013 Jan, Endoscopic Vision-Based Tracking of Multiple Surgical Instruments During Robot-Assisted Surgery, 37(1):107-2.
9. Doignon, C. Nageotte, F. De Mathelin, M., 28 Sept.- 2 Oct. 2004, "Detection of grey regions in color images: application to the segmentation of a surgical instrument in robotized laparoscopy," *Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on* , vol.4, no., pp.3394,3399 vol.4.