

# 수술 로봇 시스템에서 파노라마 제작 기법을 이용한 출력 방식

이동헌<sup>1</sup>, 배장표<sup>2</sup>, 최재순<sup>3</sup>, 김희찬<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>서울대학교 대학원 협동과정 바이오엔지니어링

<sup>3</sup>서울아산병원 의공학연구개발센터

<sup>4</sup>서울대학교 의과대학 의공학교실, 의학연구원 의용생체공학연구소

## Automatic Stitching Method in Surgical Robot System

D. H. Lee<sup>1</sup>, J. P. Bae<sup>2</sup>, J. S. Choi<sup>3</sup>, H. C. Kim<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Interdisciplinary Program, Bioengineering Major, Graduate School, Seoul National University, Seoul, Korea

<sup>3</sup>Center for Biomedical Engineering, Asan Medical Center

<sup>4</sup>Department of Biomedical Engineering, College of Medicine and Institute of Medical and Biological Engineering, Medical Research Center, Seoul National University, Seoul, Korea

[hckim@snu.ac.kr](mailto:hckim@snu.ac.kr)

### Abstract

Panoramic mosaic is stitching pictures, taken from one scenery image in multiple degrees, into one. This technique can provide surgeon with wider range of view during laparoscopic surgery. To implement this, affine transformation with six degrees of freedom which needs three corresponding points is used. Corresponding points are obtained using SIFT(Scale Invariant Feature Transform) which gets hundreds of corresponding points, and then RANSAC(RANdom SAMple Consensus) picks three corresponding points. The panoramic mosaic images are stitched through these processes, and when a laparoscopy moves, an Icon pops up in the view. There are two methods of stitching each frame image. First method compares compiled image and new image, and the second method compares prior image and new image. The application of panoramic mosaic can be located within the whole view or the exterior location with the central laparoscopic view.

### 연구 배경

파노라마 사진을 모자이크를 통해서 만드는 것은 풍경사진의 경우에, 한 풍경을 여러 각도에서 찍어서 얻은 이미지들을 서로 이어 붙여서 큰 한 장의 풍경 사진을 만들 때 사용되는 개념이다. 이를 파노라마 모자이크라고 한다[1]. 이러한 기능을 로봇 수술의 콘솔 화면에 응용하여 수술자의 시야를 향상시킬 수 있다. 수술 로봇의 경우 Master-Slave 구조로 되어

있고, Slave에 부착되어 있는 복강경과 로봇 팔 등을 독립적으로 구성되어 있는 Master 의 모니터를 보면서 제어 한다. 이때 모니터의 화면은 복강경을 통해서 들어오는 이미지를 표시해 준다[2-3]. 복강경은 제한된 시야각 때문에 전체 수술 장면 중에서 일부만을 표시해 줄 수 있고 따라서 수술 중에 복강경의 시야 외의 장기에 대한 정보는 복강경의 각도를 변화시키지 않으면 획득하기 어렵다.

본 연구의 목적은 수술 중에 실시간으로 들어

오는 복강경 영상을 파노라마 제작 기법을 이용하여 전체의 큰 화면을 구성하는 것이다. 현재 화면이 전체 화면 중에서 어느 위치에 해당하는지를 표시하고 관심 장기를 표시해 준다면 수술자가 수술 로봇을 이용하여 수술을 할 때 더 큰 시야를 확보할 수 있게 된다.

### 연구 방법

수술 영상은 스테레오 복강경 카메라를 통해서 수술 중에 좌측 영상 I1과 우측 영상 I2가 실시간으로 촬영된다. 시간 t와 t+1 사이에 복강경의 위치가 변화하고 I1(t)와 I1(t+1)은 x, y 방향으로 offset을 가지므로 6자유도의 Affine 변환을 사용한다. Affine 변환은 3개의 대응점이 필요하고 아래와 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 \\ a_3 & a_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 (x,y)와 (x',y')는 이미지상의 대응점을 의미한다. 3개의 대응점이 있을 때 Affine 변환을 계산하는 식은 Least Squares Method를 사용하는데, 파라미터 벡터를 a라고 하면

$$a = (a_1, a_2, b_1, a_3, a_4, b_2) \quad (2)$$

여기서 아래 행렬을 정의하면

$$X_i = \begin{bmatrix} x_i & y_i & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_i & y_i & 1 \end{bmatrix}, Y_i = \begin{bmatrix} x'_i \\ y'_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

Least Squares Method를 이용하면 이때의 파라미터를 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$a = (\sum_i X_i^T X_i)^{-1} (\sum_i X_i^T Y_i) \quad (4)$$

복강경의 움직임이 포착된 frame의 경우 그 전 후 frame에 대해서 Affine 변환을 계산하고 그 frame을 파노라마 모자이크를 만드는데 사용한다. 초기 위치  $x_0 = (x_0, y_0)$  는

$$x_n = f_n(x_{n-1}) \quad (5)$$

에 의해서 n번째 frame 에 대해서 위의 식에 의해 변환이 되고 이때  $f_n$ 은 n과 n-1 번째 프

레이미 사이의 Affine 변환을 표현한다. 여기서 계산되는 프레임은 복강경의 움직임과 관련된 frame에 한정한다. 여기서 대응점 3점을 구하기 위해서는 특징점들을 균일하게 추출하고 그 특징점들의 대응 관계를 이미지(I(t)와 I(t+1)) 사이에서 찾아주어야 한다.

여기서 특징점을 구하는 방식은 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)를 사용하였다 [4]. 해당 되는 방식은 중요점을 추출하는 방식으로 이미지의 크기에 따른 피라미드를 만들고, DOG(Difference Of Gaussian)을 만들어서 각각의 중요점의 위치를 측정한다. 그리고 중요점의 위치에서 지역적 이미지 변화의 방향을 찾아서 그것을 중요점의 특징으로 포함하고, 이를 대응점 계산에서 활용한다.

SIFT를 사용해 중요점을 구하면 수백 개의 대응점이 구해지게 되는데 이 중에서 단 3개의 대응점만이 Affine 변환을 구하는데 사용된다. 따라서 유효한 Affine 변환을 구하기 위해 RANSAC(RANdom SAmple Consensus) 알고리즘을 사용한다[5].

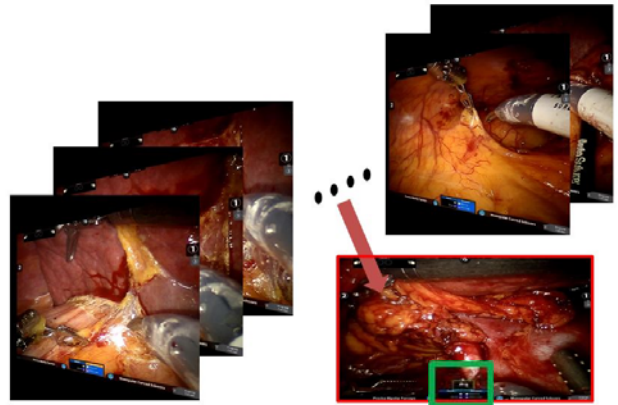


그림 1. 수술 로봇 시스템의 테스트 영상 획득

그림 1. 의 테스트 영상은 파노라마 모자이크를 위해 얻어진다. 초록색 창은 복강경이 움직일 때 화면에 아이콘이 뜨는 것을 나타내며, 이 순간에 영상을 획득한다.

이미지를 이어 붙이는 방법은 두 가지가 있다. 그림 2(a)에는 쌓은 이미지와 새로 들어온 이

미지를 비교하여 새로운 모자이크 이미지를 생성하는 방법이다. 이 방법의 경우 쌓은 이미지를 새로 비교하기 때문에 에러가 누적되지 않는 장점이 있다. 그림 2(b)에는 이전 이미지와 비교하고 이때의 변환 행렬을 구한다. 그리고 이전의 변환 행렬에서 새로 계산한 행렬을 곱하여 새로운 행렬을 계산하고 이에 따라서 모자이크 이미지를 생성하는 방법이다. 이러한 방법은 모자이크 이미지를 만들 때 에러가 누적되기 때문에 모자이크 이미지가 정확하게 구성되지 않기 쉽다. 그렇지만 이전 이미지와의 대응관계는 안정적으로 구해지는 장점이 있다.

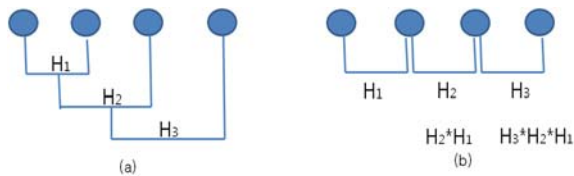


그림 2. 이미지를 이어 붙이는 두가지 방법

- (a) 쌓은 이미지와 새 이미지를 비교하는 방법
- (b) 이전 이미지와 비교해서 이어 붙이는 방법

이러한 두가지 방법을 조합하여 모자이크를 구성한다. 우선 그림 2(a) 방식으로 이미지를 쌓아 나가다가 에러가 발생하면 그림 2(b)의 방식으로 변환하여 모자이크를 수행하게 된다.

### 연구 결과

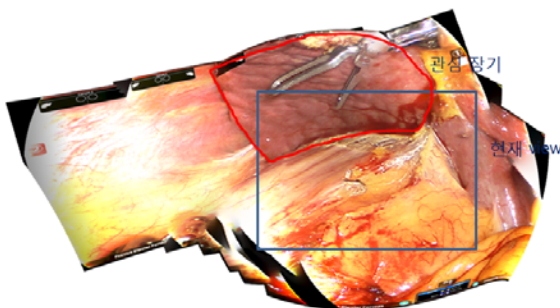


그림 3. 수술 로봇 시스템의 파노라마 모자이크 화면

그림 3. 은 수술 로봇 시스템의 파노라마 모자

의 화면을 나타낸다. 빨간색 선은 관심 장기 영역을 나타내고 파란색 선은 복강경 화면을 나타낸다. 이 화면은 전반적인 수술 상황을 제공하고, 수술 중에 수술자에게 더 넓은 시야를 제공할 수 있다.

### Acknowledgements

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

### 참고 문헌

- [1] Satava R.M., *Future trends in the design and application of surgical robots*. Seminars in Laparoscopic Surgery, 2004. 11(2): pp. 129-135.
- [2] R. H. Taylor, J. Funda, B. Eldridge, S. Gomory, K. Gruben, D. LaRose, M. Talamini, L. Kavoussi, and J. Anderson, "A telerobotic assistant for laparoscopic surgery," *Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE*, vol. 14, pp. 279-288, 1995.
- [3] J. Vertut, "Robot Technology: Teleoperation and Robotics Evolution and Development, 1986, vol. 3A, 332 pages, English translation Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, USA.
- [4] D. G. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints," *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, pp. 91-110, 2004.
- [5] R. Hartley and A. Zisserman, *Multiple view geometry in computer vision* vol. 2: Cambridge Univ Press, 2000.