

복강경 수술용 도구의 실시간 영상 추적 및 복강경 조종기의 지능형 제어 방법

김민석*, 허진석#, 이정주**

Real-time Visual Tracking System and Control Method for Laparoscope Manipulator

Min Seok Kim*, Jin Seok Heo[#] and Jung Ju Lee^{**}

ABSTRACT

In this paper we present a new real-time visual servoing unit for laparoscopic surgery. This unit can automatically control laparoscope manipulator through visual tracking of laparoscopic surgical tool. For the tracking, we present two-stage adaptive CONDENSATION(conditional density propagation) algorithm to extract the accurate position of the surgical tool tip from a surgical image sequence in real-time. This algorithm can be adaptable to abrupt change of laparoscope illumination. For the control, we present virtual damper system to control a laparoscope manipulator safely and stably. This system causes the laparoscope to move under constraint of the virtual dampers which are linked to the four sides of image. The visual servoing unit operates the manipulator in real-time with locating the surgical tool in the center of image. The experimental results show that the proposed visual tracking algorithm is highly robust and the controlled manipulator can present stable view with safe.

Key Words : CONDENSATION, Laparoscope Surgery(복강경 수술), Visual Servoing(영상 서보), Visual Tracking(영상 추적), Virtual Spring(가상 스프링)

1. 서론

복강경 수술(laparoscopic surgery)은 최소 침습 수술(minimally invasive surgery)의 대표적인 수술이다. 최소 침습 수술은 기존의 개복 수술과는 달리 인체의 작은 부분을 절개하여 시술하는 수술로 개복 수술에 비해 작은 흉터를 가지며 입원 기간 및 회복기간의 단축 등과 같은 많은 장점을 가지고

있어 근래에 들어 그 활용 분야가 넓어져 가고 있는 수술 방법이다. 그 중 복강경 수술은 복강 내부의 장기를 대상으로 하여 복강경(laparoscope)으로 통창되는 내시경과 얇고 기다란 복강경 수술용 도구를 이용하는 최소 침습 수술이다¹. 복강경 수술은 의사가 수술 부위를 직접 볼 수 없기 때문에 수술 보조원이 복강경을 조종하여 수술 부위를 모니터를 통해 의사에게 보여 주어 수술을 집도하도

*** 접수일: 2004년 4월 28일; 게재승인일: 2004년 8월 13일

* 삼성전자

한국과학기술원 기계공학과

E-mail dandyheo3070@kaist.ac.kr Tel. (042) 869-5033

** 한국과학기술원 기계공학과

록 되어있다. 이런 방법은 보조의사가 복강경을 집도의가 요구하는 방향으로 복강경을 조종해 주어야 한다. 하지만 집도의가 원하는 수술 부위를 정확하게 보여주기 위해서는 많은 경험이 필요하다. 근래에는 AESOP™(Computer motion, Inc)이나 EndoAssist™(Armstrong Healthcare, Inc)와 같은 복강경 로봇을 이용하는 방법이 도입되고 있다. AESOP™ 이나 EndoAssist™ 는 의사가 직접 복강경 로봇을 제어하여 자신이 원하는 영상을 볼 수 있게 해준다. 그러나 이럴 경우 의사는 자신이 원하는 영상을 얻기 위해서 계속적으로 복강경 로봇을 조종해 주어야 하는 한계가 있다. 따라서 복강경 조종기를 이용하는 장점을 최대화하면서 동시에 그 이용상의 단점을 줄이기 위한 영상 추적 연구들이 시도되었다^{2,3}. 그러나 이러한 연구들은 모두 추적하고자 하는 대상인 수술 도구의 정보를 미리 정해 두고 이와 비교하는 방법을 사용하고 있다. 따라서 수술 중에 있을 수 있는 추적 대상의 특징 변화에 대해서 적용할 수 있는 능력이 없다. 따라서 실제 임상에 적용하기에는 무리가 있다고 할 수 있다. 뿐만 아니라 지금까지의 모든 연구들은 수술용 도구를 확인하는 영상 처리 과정에 있어 문턱치 적용법(threshold method)을 이용하여 정보의 손실이 발생하였다. 본 연구에서는 기존의 연구들이 가지는 단점을 극복하기 위해 확률적인 방법을 이용하여 정보의 손실이 적으면서도 실시간 영상 추적이 가능한 2 단계 적응형 컨덴세이션(two-stage adaptive CONDENSATION) 알고리즘을 제시하고 복강경 수술용 도구의 위치정보를 이용하여 복강경 로봇을 지능적으로 제어하여 환자에게 있어 보다 안전하고 의사에게는 보다 안정적인 수술 화면을 제공할 수 있는 가상 스프링 시스템(virtual spring algorithm)을 이용한 제어 전략을 소개하고자 한다.

2. 수술용 도구의 컬러 특징량

영상 추적을 위해서는 추적 대상의 특징량(target feature)을 반드시 결정해야만 한다. 본 연구에서는 추적 대상의 특징량을 대상이 가지는 컬러에서 찾아 보았다. 추적 대상이 되고 있는 복강경 수술용 도구는 Fig. 1 과 같이 선단(tip)부분과 막대(rod) 부분으로 나누었다. 즉 추적 대상을 2 단계로 확인하기 위하여 두 부분에 대해서 각각 최적의

컬러 특징량을 결정해주었다.

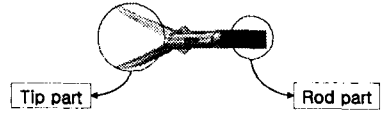


Fig. 1 Division of a laparoscope surgical tool

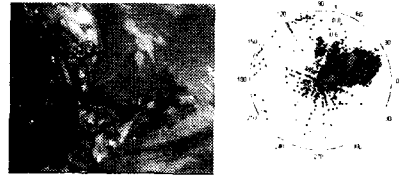


Fig. 2 Laparoscope image and its H-S distribution

추적 대상의 컬러 특징량을 결정하기 위해 추적 대상이 존재하는 배경 영상의 컬러 특징을 조사해보았다. Fig. 2의 Hue, Saturation으로 이루어지는 극 좌표 내의 컬러 분포에서와 같이 복강 내부 영상의 컬러는 대부분 붉은색 계통으로 한정 되어 영상 추적의 척도로 컬러를 이용할 수 있다.

본 연구에서는 추적 대상이 되는 복강경 수술용 도구의 컬러 특징량을 Hue와 Value 그리고 r 값에서 선정하였다. Hue는 일반적으로 조명 변화에 대해서 그 변화량이 다른 컬러 성분에 비해서 작다. 그리고 Value는 수술 환경에서의 조명 변화에 대한 적응성을 갖게 하기 위한 것이고 r은 수술용 도구의 선단 부분의 금속성 컬러를 갖고 있음으로 인해 복강 내부 영상의 대부분을 이루고 있는 붉은색의 영향을 쉽게 받기 때문에 R 값의 영향을 줄인 백도(chromaticity) 성분이다. 따라서 수술용 도구의 막대부분에서는 Hue와 Value 성분을 조사하였고 선단 부분에서는 Hue와 r 성분을 조사해 보았다. 수술용 도구의 컬러 특징량을 얻어 내기 위한 영상의 조명 상태를 일반적으로 수술이 이루어지고 있는 정상 조명 상태(normal illumination state)와 수술이 이루어질 수 있는 최소 밝기인 비정상적인 조명 상태(abnormal illumination state)로 나누고 컬러 특징량의 히스토그램을 그려 보았다.

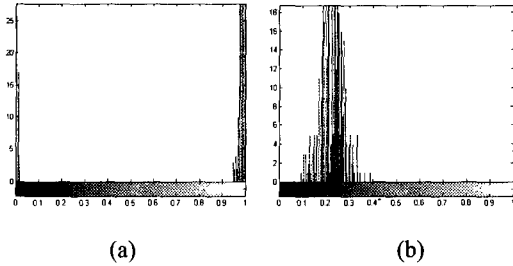


Fig. 3 Histogram of hue component of rod part in the normal illumination state (a) and abnormal illumination state (b)

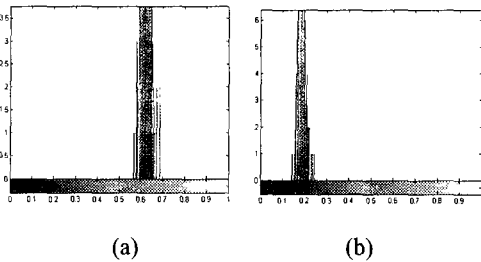


Fig. 4 Histogram of value component of rod part in the normal illumination state (a) and abnormal illumination state (b)

Table 1 Color feature of the surgical tool

Color feature		Environmen	정상조명상태	비정상조명상태
Rod part	Hue	Median	0.9822	0.9822
		Std.	0.0137	0.0137
	Value	Median	0.4471	0.1843
		Std.	0.1589	0.0170
Tip part	Hue	Median	0.9822	0.1250
		Std.	0.0137	0.0225
	r	Median	0.8627	0.3686
		Std.	0.0226	0.0213

Fig. 3, 4 에서와 같이 컬러의 분포가 제한적이고 정규분포의 형태를 갖고 있어 Hue 와 Value 를 수술용 도구 막대 부분으로 인식할 수 있는 컬러 특징량으로 잡아줄 수 있다. 수술용 도구의 선단 부분에 대해서도 역시 두 가지 조명 상태에서 Hue 와 r 성분을 조사한 후 중간값(median)과 표준편차(standard deviation)를 계산하였다. 막대 부분과 선단 부분에 대한 컬러 특징량을 Table 1 에 정리하였다.

3. 수술용 도구의 영상 추적 알고리즘

3.1 컨덴세이션(CONDENSATION) 알고리즘

컨덴세이션 알고리즘^{4,5} 은 추적 대상의 위치 정보를 확률적인 방법으로 다루어 이 위치 정보가 연속적인 영상에서 계속적으로 전파 되어 가도록 해주는 이론이다. 주어진 영상 내에서 제한된 숫자의 표본들을 선택하여 색도 정보를 알아낸 후 추적 대상의 컬러 특징량과 비교하여 위치 정보를 갖고 있는 표본들 각각에 가중치를 주는 방법으로 추적 대상의 위치 정보와 컬러 특징량 사이의 조건부 확률 밀도 함수를 생성한다.

3.2 적응형 컬러 모델 (adaptive color model)

적응형 컬러 모델(adaptive color model)⁸ 은 컨덴세이션 추적기에 있어 조명 변화에 대해서 강인성을 갖도록 해주는 이론이다. 그러나 이 이론은 조명의 변화가 매우 급격할 경우에 그 적응 능력에 한계가 있다. 이런 점은 본 연구의 적용 대상인 수술 환경에서 조명의 점진적인 변화는 없다고 볼 수 있고 다만 예상치 못한 긴급 상황과 정상적인 수술 상황의 두 단계만이 존재한다는 것을 고려했을 때 그 적용에 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 수술시의 조명 환경을 정상적인 수술을 행하는 일반적인 정상 조명 상태와 수술이 가능한 최소한의 조명을 가진 환경인 비정상적인 조명 상태로 나누어 두 조명 환경 사이에서 급격한 변화와 점진적인 변화 모두에 적응력을 갖춘 이론을 제시하려 한다. 본 연구에서 제시하는 적응형 컬러 모델은 추적 대상의 컬러 특징량을 매 영상마다 새롭게 갱신 시켜준다. 또한 새롭게 갱신되는 컬러 특징량은 두 가지 변수에 의해서 영향을 받는다. 첫째는 이전 영상에서 추적 대상으로 인식된 표본들이 가지고 있는 해당 컬러 특징량의 중간값(median)이다. 둘째는 조명 상태에 따라 미리 조사된 수술용 도구의 컬러 특징량이다. 이전 영상의 표본들의 중간값에 의한 변수는 적응형 컬러 모델의 고유 개념에 충실한 것으로 수술 중 있을 수 있는 수술용 도구의 컬러 특징량의 변화를 추적기가 인식할 수 있도록 해주는 것이다. 반면에 조명 상태 판별에 따른 컬러 특징량 변수는 이전 영상에서 수술용 도구로 판별한 컬러 특징량이 다른 물체일 경우를 사전에 대비해 주는 것으로 갱신해주는 컬러 특징량이 수술용 도구의 특징량

에서 벗어나는 것을 막고 Table 1 에 미리 조사된 추적 대상의 컬러 특징량으로 끌려 올 수 있도록 해준다.

3.3.2 단계 적응형 컨덴세이션

적응형 컬러 모델을 이용한 컨덴세이션 추적기는 조명 변화에도 강인한 추적 성능을 보여준다. 하지만 복강경 수술의 경우 추적 대상과 비슷한 컬러 특징량을 지니는 다른 수술용 도구들이 하나의 영상에 함께 있는 경우가 많다. 이런 경우에 원하는 도구가 아닌 다른 도구를 추적하는 현상이 발생할 가능성이 상당히 높다. 따라서 기존의 컨덴세이션 추적기의 장점인 단순한 구조와 실시간 추적 성능을 그대로 유지하면서 더욱 강인한 추적 성능을 가질 수 있는 2 단계 적응형 컨덴세이션 이론을 제시한다. 2 단계 적응형 컨덴세이션 추적 이론은 앞서 살펴 보았던 컨덴세이션 이론과 적응형 컬러 모델을 하나로 합쳐 하나의 추적 대상의 두 부분에 대해서 각각 나누어 적용하는 것이다. 따라서 이러한 추적기는 추적 대상을 확인하는 데 있어 두 번의 검증 과정을 거치게 된다.

1 단계(First stage)

먼저 적응형 컨덴세이션 추적기를 수술용 도구의 막대 부분에 적용한다. 컨덴세이션 이론의 선택 단계를 거친 높은 가중치를 지닌 표본들을 추려낸다.

$$s_1^{(n)} = s_1^{(n)} \quad (1)$$

여기서 $s_1^{(n)}$ 은 1 단계 추적기에서의 n 개의 높은 가중치를 갖는 표본들이다. 이후 추려낸 표본들과 그것들의 가중치를 식 (2), (3), (4)의 WLSF(weighted least square fitting)에 적용하여 직선 성분을 만들어 낸다. 이 직선은 수술용 도구의 중심선을 이룬다.

$$S \equiv \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sigma_i^2}, \quad S_x \equiv \sum_{i=1}^n \frac{s_{1x}^{(i)}}{\sigma_i^2}, \quad S_y \equiv \sum_{i=1}^n \frac{s_{1y}^{(i)}}{\sigma_i^2} \quad (2)$$

$$t_i = \frac{1}{\sigma_i} (x_i - \frac{s_{1x}^{(i)}}{S}), \quad S_{ii} = \sum_{i=1}^n t_i^2 \quad (3)$$

$$b = \frac{1}{S_{ii}} \sum_{i=1}^n t_i s_{1y}^{(i)}, \quad a = \frac{S_y - S_x b}{S} \quad (4)$$

여기서 σ_i 는 각 표본에 해당하는 가중치 π 이다. 식 (2)의 결과들을 이용하여 식 (3)와 (4)에 적용하면 추려낸 표본들의 중심을 지나게 되는 직선의 방정식을 얻을 수 있다.

$$y(x) = y(x : a, b) = a + bx \quad (5)$$

식(5)는 수술용 도구의 중심선을 의미한다. 이렇게 만들어진 중심선과 식(1)에서 추려낸 표본들 사이의 거리를 측정하여 가장 큰 것을 구해 식(5)를 이용하게 되면 수술용 도구의 막대 부분 너비(width)를 얻는다. 또한 식 (1)에서 추려낸 표본들 중에서 가장 왼쪽에 놓여 있는 표본의 위치를 식 (6)과 같이 구하여 막대 부분이 끝나는 위치를 알아낸다.

$$\text{distance} = \max\left(\frac{|b \times s_{1x}^{(n)} - s_{1y}^{(n)} + a|}{\sqrt{b^2 + 1}}\right) \quad (6)$$

$$\text{width} = 2 \times \text{distance}$$

$$(p_x, p_y) = \text{leftmost}(s_{1x}^{(n)}, s_{1y}^{(n)})$$

앞서 살펴본 모든 과정을 개념적으로 그려 보면 Fig. 5 와 같다.

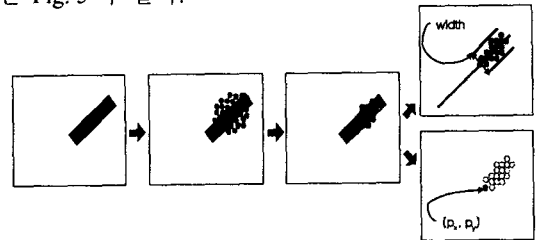


Fig. 5 Schematic diagram of the first stage

2 단계(Second stage)

1 단계의 결과를 이용하는 적응형 컨덴세이션 추적기를 수술용 도구의 선단 부분에 적용한다. 1 단계의 결과로 얻어진 수술용 도구의 중심선과 너비 그리고 막대 부분이 끝나는 점의 위치에 대한 정보를 이용하여 선단 부분이 있을 수 있는 대략

적인 사각형의 네 끝점의 위치정보를 얻을 수 있다. 컨테이션 추적을 위해 발생시키는 표본의 위치는 앞에서 구해낸 사각형의 중심을 기준으로 수술용 도구의 중심선을 따라 사각형의 길이 방향의 정규 분포로, 중심선에 수직인 방향으로 사각형 내에서의 정규 분포를 최적으로 볼 수 있다. 수술용 도구의 선단 끝 부분이 사각형의 중심에 위치하는 경우가 가장 많기 때문이다. 그러나 매 영상마다 다른 사각형의 네 변 중심점을 지나서 서로 직각인 직선을 만들어 그 직선들을 따라 정규 분포를 따르는 함수를 생성한 후 임의의 표본 위치를 발생시키는 것은 많은 계산량을 필요하다. 이는 2 단계 적응형 컨테이션 알고리즘의 실제 적용에 있어서의 단점이라고 볼 수 있다. 이점을 극복하기 위해 본 연구에서는 유한 요소 해석법(finite element method: FEM)에서 쓰이는 마스터 요소(master element) 개념을 도입하여 계산 시간을 단축하였다.

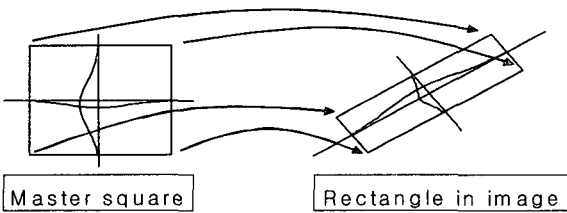


Fig. 6 Schematic diagram of linear transform

이 개념은 알고리즘이 구현되는 초기 단계에 표본의 위치를 미리 마스터 요소에서 생성해두고 실제 영상의 사각형의 네 점만을 계산해 낸 후 선형 변환(linear transformation)을 통해서 표본의 위치를 옮겨주는 방법으로 구현된다. 일단 표본의 위치가 결정되면 앞서 살펴 보았던 컨테이션 이론의 측정 단계를 거쳐 표본들 각각의 가중치를 계산하고 다시 선택 단계를 수행한다.

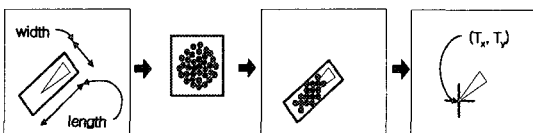


Fig. 7 Schematic diagram of the second stage

여기서 선택된 높은 가중치를 갖는 표본들을 대상으로 식 (7)과 같이 가장 왼쪽에 위치한 표본의 위치를 계산하여 그 점을 선단의 끝 단으로 파악하게 된다. 여기서 T_x, T_y 는 수술용 도구 선단 부분의 끝 단 위치이다.

$$s_2^{(n)} \leq s_1^{(n)} \quad (7)$$

$$(T_x, T_y) = \text{leftmost}(s_{2x}^{(n)}, s_{2y}^{(n)})$$

앞에서 살펴본 단계들을 종합하여 개념도를 그려보면 Fig. 8 과 같다.

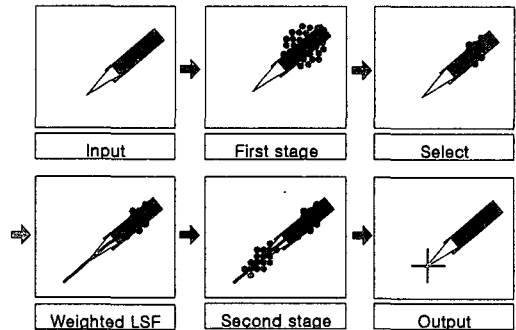


Fig. 8 Schematic diagram of two-stage adaptive CONDENSATION

4. 복강경 조종기의 제어전략

4.1 가상 스프링 알고리즘 (Virtual Spring Algorithm)

계속적으로 변화하는 복강경 수술용 도구의 위치를 영상의 중심에 두기 위해 복강경 조종기를 계속적으로 움직이게 되면 수술 화면은 매우 불안정하게 된다. 따라서 영상 내에 중심을 포함하는 가상적인 영역을 설정하여 이 영역 내에서 수술용 도구의 끝 단이 움직이고 있는 경우에는 수술이 진행되고 있는 상황으로 인식하여 복강경 조종기를 움직이지 않게 하고, 이 영역을 벗어나 복강경 수술용 도구가 움직이는 경우에는 완충 영역을 갖도록 설정하여 조종기의 움직임을 안정되게 제어할 수 있도록 하였다. 이러한 복강경 조종기의 제어 전략을 가상 스프링(virtual spring)을 이용하여 구현해 보았다. 가상 스프링은 영상의 네 변의 중

심과 영상 내부에 존재하는 사각형 모양의 가상적인 안전 영역의 네 변의 중심을 연결하여 2 차원 움직임이 제어기의 네 방향으로의 입력 신호에 반응하게 하였다. 수술용 도구가 안전 영역 내에 존재하게 되면 복강경 조종 제어기로는 어떠한 신호도 전달되지 않는다. 그러나 가운데 Fig. 8 와 같이 수술용 도구가 일정 영역을 벗어 나게 되면 안전 영역에 연결된 스프링에 기준을 넘어서는 힘이 발생하게 되어 복강경 수술용 도구가 영상의 중심에 속할 수 있도록 해주는 신호를 제어기에 전달하게 되는 것이다. 즉 스프링이 늘어난 거리가 멀수록 스프링이 더욱 큰 힘을 받게 되는 것과 마찬가지로 수술용 도구가 안전 영역에서 벗어나 있는 거리에 비례하여 수술용 도구는 안전 영역 내로 다시 돌아오려는 복원력을 받게 되는 것이다.

$$x = |T_x - X_{limit}|, \quad y = |T_y - Y_{limit}| \quad (8)$$

$$F_x = kx, \quad F_y = ky \quad (9)$$

여기서 k 는 스프링 계수로 제어기의 게인 역할을 한다. X_{limit} 과 Y_{limit} 은 안전 영역을 나타내는 영상 내의 경계 값이다. 실제 시스템에서 이 힘은 복강경 조종기의 속도를 의미하는 것이다.

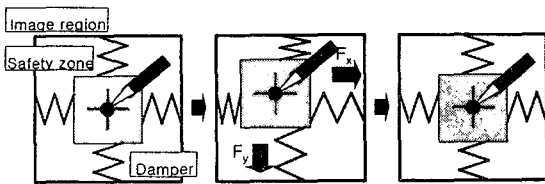


Fig. 9 Schematic diagram of control strategy

4.2 Visual Servoing 시스템

복강경 조종기를 위한 visual servoing 시스템은 두 부분으로 나뉘어 진다. 하나는 복강경 수술용 도구를 영상 추적하는 부분이고 다른 하나는 복강경 조종기를 제어하는 부분이다. 영상 추적 부분은 2 단계 적응형 컨텐세이션 추적기를 내재한 GUI(graphic user interface)로 구현되고 조종기 제어 부분은 가상 스프링 시스템을 적용한 D/A 보드 제어 프로그램과 보드와 조종기를 연결하는 hardware interface 로 구성되어 있다. Visual servoing 시스템의

두 부분은 서로 다른 PC 에서 운영된다. 서로 다른 PC 에서 영상 처리 부분과 조종기 제어 부분을 나누어 담당하게 하였다.

5. 실험

실험은 일반적으로 수술실에서 사용되고 있는 복강경 장치인 OLYMPUS AR-TX CCD 카메라 ,OLYMPUS OTV-SX 디지털 이미지 프로세서와 일반적인 복강경을 사용하였고 MATROX Meteor II std Grabber board 를 이용하여 PC 에 이미지 정보를 입력하였다. Sensoray 626 D/A 보드를 이용하여 복강경 로봇에 제어 신호를 출력하였으며 가장 일반적으로 사용되고 있는 복강경 수술용 메니폴리터인 AESOP™ 을 이용하여 실험하였다.

5.1 조명변화에 대한 적응성 실험

주위 환경의 조명이 정상적인 조명상태에서 비정상적인 조명상태로 변화했을 경우 계속적으로 도구를 추적하여 도구 끝 단의 위치를 파악할 수 있는지를 실험하였다. Fig. 10 은 연속적인 동영상 중의 정지 영상들을 시간적인 순서에 따라 위에서 부터 아래로, 좌에서 우로 배열한 2 단계 적응형 컨텐세이션 추적기를 적용한 실험 결과이다.

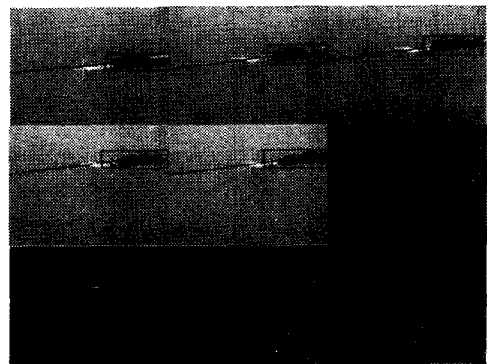


Fig. 10 Images of illumination adaptability

5.2 수술용 도구의 검침과 교체 실험

실제 복강경 수술에서 자주 볼 수 있는 경우를 고려하여 영상 추적 실험을 해 보았다. 복강경 수술용 도구가 겹쳐질 경우와 도구를 바꿔서 수술해야 하는 상황을 설정하여 실험해 보았다.

Fig. 11 은 수술용 도구의 선단 부분이 서로 겹

쳐지는 경우에 대해서 2 단계 적응형 컨덴세이션을 적용했을 때 제안한 추적기가 추적하고자 하는 대상을 혼돈하지 않고 잘 추적 하고 있음을 말해주는 실험 결과이다. Fig. 11 에서 영상 내부의 도구의 막대 부분의 점들이 첫 번째 컨덴세이션 추적기의 샘플링 위치를 나타내는 점들이고 그 왼쪽의 사각형이 추적기의 결과물인 수술용 도구의 너비와 중심선의 정보로 만들어지는 두 번째 컨덴세이션 추적기의 샘플링 영역이다. 십자 표시가 추적기가 인식하고 있는 수술 도구의 끝 단 위치이다. Fig. 12 는 복강경 수술용 집게(forceps)에서 복강경 수술용 가위로의 도구 교환 상황에 대해서도 추적기가 수술도구를 잘 추적하고 있다는 실험 결과를 보여준다. 영상의 가운데 위치하고 있는 사각형은 복강경 조종기가 움직이지 않는 안전 영역을 나타내고 추적 대상 도구 위에 보이는 두 개의 사각형은 각각 수술용 도구의 막대 부분과 선단 부분을 대상으로 행해지고 있는 컨덴세이션 추적기의 표본 추출 영역을 나타내고 있다. 두 사각형 중에서 오른쪽 사각형은 단순히 막대 부분을 위한 샘플링 영역의 좌우 아래위의 한계 위치를 나타내는 것이고 왼쪽의 사각형은 막대 부분을 추적하여 나온 수술용 도구의 모양 정보를 이용하여 만들어낸 선단 부분을 위한 표본 추출 영역을 나타낸다. 영상의 직선은 역시 막대 부분을 추적하여 나온 결과를 이용하여 생성한 수술용 도구의 중심선이다.

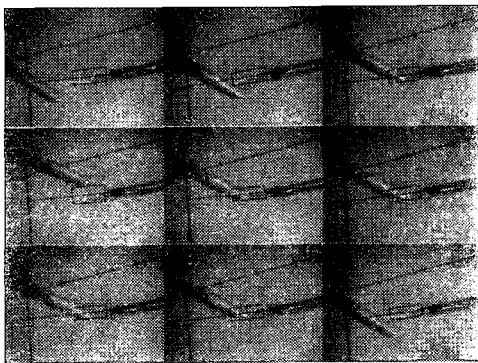


Fig. 11 Images of interruption of tools

앞서 살펴본 수술용 도구의 겹침과 교체에 실험 결과에서 알 수 있듯이 2 단계 적응형 컨덴세이션 이론을 이용한 추적기는 실제 임상 적용 시에 흔히 발생하는 일반적인 상황인 수술용 도구

겹치는 경우와 수술용 도구를 교체해야 하는 경우에 대해서 수술 중에 추적기에 대한 특별한 조치 없이 내재된 특성만으로도 대처가 가능하다는 것을 보여준다.

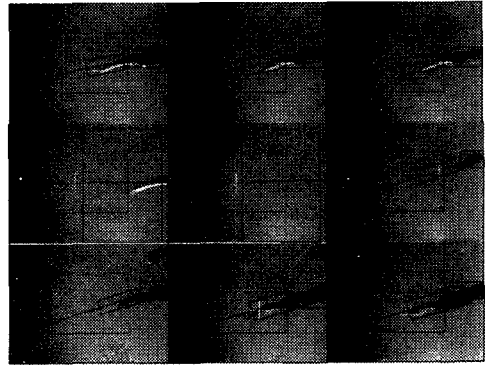


Fig. 12 Images of tool changes

5.3 Real-time Visual Servoing 실험

Fig. 13 의 첫 번째 단과 두 번째 단의 중앙 영상까지는 수술용 도구가 안전 영역에서 오른쪽으로 벗어나는 영상이고 그 다음 영상부터는 복강경 조종기가 움직여 수술용 도구를 다시금 안전 영역 내로 들어오게 하려는 움직임을 나타내고 있다. 영상에서 중앙에 위치하고 있는 사각형이 안전 영역을 나타내고 있으며 상대적으로 오른쪽에 위치한 사각형은 도구의 선단 부분을 위한 표본 추출 영역을 나타낸다. 도구를 관통하고 있는 직선은 도구의 중심선을 의미하며 영상의 왼쪽으로 보이는 눈금선은 복강경 조종기가 움직이고 있다는 것을 보여주기 위해 임의적으로 만들어준 실제 배경 화면의 일부이다.

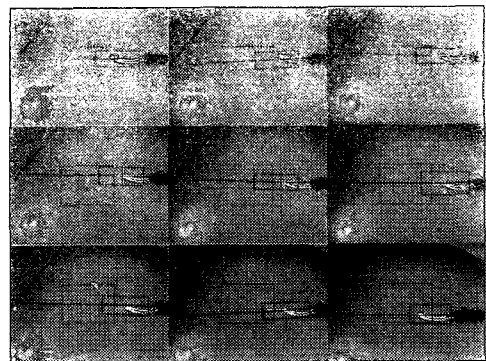


Fig. 13 Images of visual servoing

안전 영역과 수술용 도구 끝 단 위치의 상관관계와 이에 해당하는 D/A 보드를 통해서 복강경 조종기의 제어기로 들어가는 전압 신호를 추출하여 Fig. 14 에 나타내었다. 아래쪽과 위쪽으로 안전 영역을 벗어난 경우를 대상으로 실험했을 경우에 생성되는 전압의 크기를 보여준다. 수술용 도구의 위치가 X, Y 축 상의 안전 영역 내에 있을 경우에는 생성되는 전압 신호가 없다. 그러나 도구의 위치가 그 영역을 벗어나게 되면 안전 영역으로부터의 거리에 비례하여 전압 신호가 생성되고 있음을 알 수 있다. 앞서 살펴본 3 가지 실험을 행하는 중에서 소요 되고 있는 영상 처리 시간을 조사해 보았다. 모든 실험에서 각 단계의 CONDENSATION 추적기에 이용된 표본들의 개수는 1000 개 씩, 두 단계를 합해서 2000 개의 표본들을 이용하고 있다. 하나의 프레임을 처리하는데 걸린 시간들은 대부분 40 ms 이하이다. 따라서 프레임 처리 속도는 평균 25 frame/sec 이상이 된다.

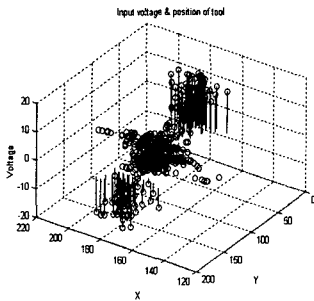


Fig. 14 Input voltage of controller

6. 결론

본 연구에서는 복강경 수술용 도구를 영상 추적 함에 있어 실시간 추적이 가능하면서도 기존하는 추적기에 비해 보다 신뢰성이 높은 2 단계 적응형 컨덴세이션 이론을 제시하였고 이 이론을 적용한 추적기에 있어 효과적으로 대응할 수 있는 복강경 수술용 도구의 컬러 특징량을 찾아 보았고 가상 스프링을 이용한 제어 전략을 제시하여 복강경 수술용 조종기가 보다 안정적인 화면 제공이 가능하도록 해주었다. 마지막으로 앞서의 영상 추적기와 제어 전략을 함께 묶어 visual serving 시스템을 개발하였다. 실험 결과에서 제시한 바와 같이

개발된 영상 추적기는 복강경 수술용 도구의 실시간 추적이 가능하며 복강경 수술 시에 자주 발생하는 여러 상황들, 수술용 도구의 겹침과 수술용 도구의 교체 그리고 조명의 변화에 대해서도 여타 다른 영상 추적기에 비해 강인하게 대처할 수 있는 능력을 보여 주었다. 또한 제시된 제어 전략이 실현 가능하며 이것을 현재 임상에서 실제로 쓰이고 있는 AESOP™ 조종기와 제어기에 접목시켜 안전하게 안정된 화면을 의사에게 제공할 수 있다는 것을 보여 주었다.

후 기

본 연구는 한국과학기술원 인간친화 복지 로봇시스템 연구센터(HWRS-ERC)로부터 전액 재정 지원을 받아 수행되었다.

참고문헌

1. Maurice, E. A., Robert, J. F. Jr., Namir, K., Barry, J. M., Harry, R., "Principles of Laparoscopic surgery," Springer-Verlag, 1995.
2. Omote, K., Feussner, H., Ungeheuer, A., Arbter, K., Guo-Qing, W., "Self-guided robotic camera control for laparoscopic surgery compared with human camera control," The American journal of surgery, Vol. 177, pp. 321-324, April, 1999.
3. Casal, A., Amat, J., Laporte, E., "Automatic guidance of an assistant robot in laparoscopic surgery," IEEE International Conf. on Robotics and Automation, Vol. 1, pp.895-900, 1996.
4. Isard, M., Blake, A., "CONDENSATION-Conditional Density Propagation for Visual Tracking," Int. J. Computer Vision, 29(1), pp.5-28, 2001.
5. Reynard, D., Wilderberg, A., Blake, A., Marchant, J., "Learning dynamics of complex motions from image sequences," Proc. European Conf. Computer Vision, pp. 357-368, 1996.
6. Jang, G. J., Kweon, I. S., "Robust Object Tracking Using an Adaptive Color Model," IEEE International Conf. on Robotics and Automation, pp.1677-1682, 2001.