물체 겹침 상황에 강인한 인공수정체 삽입 영역 추적 방법

길기범°, 오현주*, 위즈빈*, 김승호**
°*경북대학교 전자전기컴퓨터학부
**경북대학교 컴퓨터학부
e-mail:{gbkil, hjoh, zbyu}@mmlab.knu.ac.kr, shkim@knu.ac.kr

Tracking Method of Intraocular Lens Insertion Region for Overlapped Image

Gi-Beom Kil°, Hyun-Ju Oh*, Zhibin Yu*, Sung-Ho Kim**
°*Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University
**School of Computer Science and Engineering, Kyungpook National University

● 요 약 ●

백내장 수술에서 인공수정체 삽입영역을 표시하고 제어하는 것은 매우 중요하다. 수술시 발생하는 삽입영역 제어의 오차는 시력의 저하를 가져온다. 이를 위해 디지털 이미지 프로세싱을 이용한 많은 추적 방법이 연구 중에 있다. 그 중에서 템플릿 매칭은 실시간성이 뛰어난 객체 추적 방법으로 인공수정체 삽입 영역 추적 방법으로 사용 될 수 있다. 그러나 템플릿 매칭 방법은 입력영상과 템플릿 영역의 상관관계만을 따지며 추적하기 때문에 추적 할 객체의 물체 겹침 상황이 발생하면 정확한 추적이 불가능하다. 본 논문에서는 템플릿 매칭 방법을 이용하여 인공수정체 삽입 영역을 추적하고 특정 영역의 버퍼들을 사용하여 물체 겹침 상황을 해결하고자 한다.

키워드: 영상 처리(image processing), 객체 추적(object tracking), 템플릿 매칭(template matching)

I. 서론

백내장 수술은 한국 사회에서 가장 빈번한 수술 중 하나이다. 백내장이 많이 나타나는 만큼 그 치료방법도 약물요법, 백내장 낭내 적출법, 백내장 낭외 적출법, 초음파를 이용한 백내장 유화 흡인, 레이저 요법, 인공 수정체 삽입법 등으로 다양하다.

이 중에서 가장 널리 쓰이는 방법은 인공 수정체를 이용한 수술 방법이다.

인공수정체를 이용하는 방법은 인공수정체를 계산된 위치에 정확하게 삽입하는 것이 중요하다. 이를 위해 인공수정체를 삽입하기 전에 환자의 눈에 직접 펜으로 절개부분 및 각도를 표시한다. 이때 표시한 각도에 따라 백내장을 적출 후 인공 수정체를 삽입한다. 그러나 이 표시는 수술 중 눈에서 나오는 분비물이나 세척을 위한 식염수 등으로 인해 흐려지거나 최악의 경우 표시가 지워져서 정확한 삽입이 어려운 경우가 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위하여 인공수정체 삽입을 할 때 절개부분 및 각도에 대해 직접적으로 표시하는 대신, 디지털 이미지 프로세싱의 객체 추적을 이용한 많은 방법이 연구 중에 있다.

현재 많이 사용되는 객체 추적 방법에는 객체의 지역적인 특징들을 이용하여 특징 점의 개수와 좌표를 통해 추적하는 방법, 추적하고자 하는 객체 영역의 이미지를 템플릿으로 지정하여 입력영상과의 상관관계를 따지며 추적하는 방법 등이 있다[1][2][3].

이런 추적 방법들은 추적하는 방법에 따라 장단점이 크게 나뉜다. 객체의 지역적인 특징들을 사용하는 방법은 추적할 물체의 크기나 각도의 변화 그리고 배경의 변화에 강인한 장점을 지닌 반면 추적할 물체의 특징 점들이 많을 경우에는 실시간 객체 추적에 어려움이 있고 부족할 경우에는 추적의 정확도가 떨어지는 단점이 있다[4][5][6]. 그리고 추적하고자 하는 객체 영역의 이미지를 템플릿으로 지정하여 입력영상과의 상관관계를 따지며 추적하는 방법은 실시간 객체 추적에 강인한 장점을 지닌 반면 추적할 물체에 물체 겹침 상황이 발생하면 정확도가 떨어지는 단점이 있다[3][7].

실시간 객체 추적에 있어서 뛰어난 성능을 보이는 템플릿 매칭 방법을 이용하여 인공수정체 삽입 영역을 추적 하고 또한 물체 겹침 상황에서의 문제를 해결하여 그 효율을 극대화 하고자 한다.

템플릿 매칭 방법은 앞서 설명한 것처럼 추적할 객체와 입력영상과의 비교 연산이 간단하고 구현하기 쉬워 실시간 객체 추적에 있어서 뛰어난 성능을 보여준다. 하지만 물체 겹침 상황에서는 상관계수 값이 현저히 떨어져 추적성능에 있어서 낮은 정확도를 보이는 경우가 발생한다[3].

따라서 본 논문에서는 특정 영역의 버퍼들을 사용하여 템플릿 매칭 방법의 취약점인 물체 겹침 상황에 강인한 인공수정체 삽입 영역 추적 방법을 제안한다. 이를 위한 본 논문의 세부적인 구성은

다음과 같다. 2장에서는 템플릿 매칭의 방법을 소개하고 취약점을 설명한다. 3장에서는 물체 겹침이라고 판단되는 상황의 기준을 세우고 특정 영역의 버퍼를 사용하여 템플릿 매칭 방법의 취약점을 보안하는 방법에 대해 제시한다. 4장에서는 본 논문에서 제시한 방법에 대해서 실험하고 분석한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 내린다.

II. 템플릿 매칭 방법

템플릿 매칭은 추적하고자 하는 객체 영역의 이미지를 템플릿으로 지정하여 입력영상과의 상관관계와 임계값을 비교를 하며 객체를 추적하는 방법이다. 계산 방법에 따라 제곱차 매칭 방법, 상관관계 매칭 방법 그리고 상관계수 매칭 방법의 3가지 방법이 존재하는데 현재 영상 처리 분야에서 가장 많이 사용 하는 방법은 상관계수 매칭 방법이다. 이는 템플릿과 입력영상 각각의 평균을 고려한 매칭 방법이며 수식 (1)과 같다[3][7].

$$
\begin{aligned}
&R(x,y)=\sum_{x',y'}[T'(x',y')\cdot I'(x+x',y+y')] \\
&T'(x',y')=T(x',y')-\frac{\sum_{x'',y''}T(x'',y'')}{w\cdot h} \\
&I'(x+x',y+y')= \\
&I(x+x',y+y')-\frac{\sum_{x'',y''}I(x+x'',y+y'')}{w\cdot h}
\end{aligned}
\tag{1}
$$

입력영상의 너비를 W, 높이를 H 그리고 템플릿의 너비를 w, 높이를 h라고 했을 때 x는 1~W, y는 1~H, x'와 x"는 1~w, y'와 y"는 1~h의 값을 가지게 된다. 그래서 T'(x', y')는 템플릿 T의 (x', y') 위치 픽셀과 템플릿 T의 평균 픽셀의 차를 나타내고 I'(x+x', y+y')는 입력영상의 I의 (x+x', y+y') 위치 픽셀과 입력영상 I의 평균 픽셀의 차를 나타낸다. 계산된 R(x, y)를 수식 (2)와 같이 정규화 할 수 있다.

$$
R(x,y)=\frac{\sum_{x',y'}[T'(x',y')\cdot I'(x+x',y+y')]}{\sqrt{\sum_{x',y'}T'(x',y')^2\cdot\sum_{x',y'}I'(x+x',y+y')^2}}
\tag{2}
$$

R(x, y)의 값이 1에 근접할수록 템플릿과 연관성이 많은 영상이고 전혀 연관성이 없는 영상이면 0을 반환하게 되며 부적상관(negative correlation)이 높을 경우 -1을 반환하게 된다.

이와 같이 템플릿 매칭은 알고리즘이 간단하여 실시간 추적에 있어서 뛰어난 성능을 보이고 있으나 물체 겹침 상황이 발생하면 상관계수의 오차가 크게 발생하여 추적의 성능이 현저히 떨어지는 현상이 발생한다. 이러한 현상은 수식 (2)에서도 명확히 드러난다.

III. 물체 겹침 상황에 강인한 인공수정체 삽입 영역 추적 방법

1. 물체 겹침 상황의 판단

물체 겹침 상황을 판단하기 위해서는 먼저 추적의 대상이 되는 최초의 템플릿 영역을 지정하여 template[ ] 버퍼의 0번째 영역에 저장을 하여 추적을 하는데 이 템플릿 영역과 입력영상과의 상관관계 값을 구하여 그 값(corr)이 threshold값보다 크기 않을 경우에 본 논문에서는 물체 겹침 상황이라 판단한다. 물체 겹침 상황의 판단의 척도가 되는 threshold 값은 입력영상에 따라 달라질 수 있고 또한 상황에 따라 변경이 가능 하다.

표 1. 물체 겹침 상황에 강인한 객체 추적 방법의 변수

변 수	설 명
template[]	템플릿 영역들이 저장되는 버퍼
curframe	입력영상
index	기준이 되는 template[]의 인덱스
count	template[] 버퍼의 총 개수
corr	입력영상과의 상관관계 값
threshold	물체 겹침 상황 판단을 위한 임계값

2. 물체 겹침 상황에서의 객체 추적 방법

본 논문에서는 물체 겹침 상황의 문제를 해결하기 위하여 템플릿 매칭방법에 기반을 두어 특정 영역의 버퍼를 이용하였다.

제안한 방법을 소개하기에 앞서서 본 논문의 객체 추적 방법은 인공수정체 삽입영역이 항상 눈의 공막과 동공의 사이에 있고 사람의 동공은 눈 위치를 벗어나지 않는다는 사실에 기반을 둔다.

물체 겹침 상황에 강인한 객체 추적 방법은 두 가지의 절차에 의해 추적이 진행된다.

첫째, 최초로 저장된 템플릿 영역 이외에 저장된 템플릿이 없을 경우(count=0)에는 입력영상과 비교할 템플릿 영역이 없으므로 최초의 템플릿 영역을 template[0]에 저장을 한다. 그리고 index 값을 하나 증가시켜 template[index]에 새로운 템플릿 영역을 저장하고 비교 기준이 되는 템플릿 영역으로 지정을 하여 다시 추적을 시작한다.

둘째, 최초로 저장된 템플릿 영역 이외에 저장된 템플릿이 존재할 경우(count>0)에는 이미 저장되어 있는 템플릿 영역과 입력영상과의 상관관계(corr) 값을 구하여 가장 큰 값을 선택한다. 그리고 상관관계 값이 threshold 보다 크면 해당 템플릿 영역이 입력영상과 가장 유사한 영상이라 간주하여 비교 기준이 되는 템플릿 영역으로 지정을 하여 다시 추적을 시작한다. 그러나 상관관계 값이 threshold보다 크지 않으면 이미 저장되어 있는 템플릿 영역에는 입력영상과 같은 영상이 없는 것으로 간주하여 index값을 하나 증가시켜 template[index]에 새로운 템플릿 영역을 저장하고 비교 기준이 되는 템플릿 영역으로 지정을 하여 다시 추적을 시작한다.

그림 1은 물체 겹침 상황에 강인한 객체 추적 방법의 순서도이다.

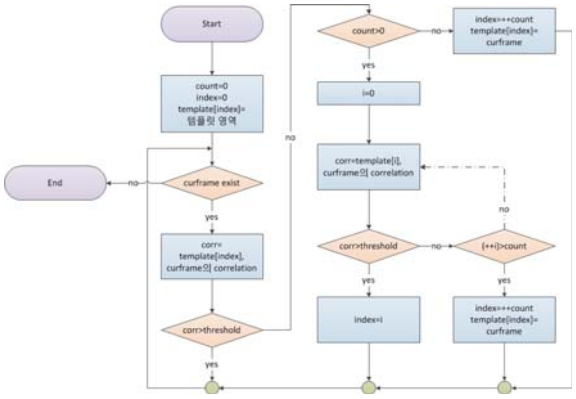

그림 1. 물체 겹침 상황에 강인한 객체 추적 방법의 순서도

그리고 제안한 방법은 템플릿 영역의 버퍼를 100으로 고정한다. 이는 실제 백내장 수술 시 실시간성을 위함이고 만약 버퍼에 저장할 수 없을 경우에는 사용되는 빈도수가 가장 낮은 영역을 삭제하고 같을 시에는 가장 오래된 영역부터 삭제한다. 그림 1의 1점 쇄선에서의 추가적인 프로세스는 표 2와 같다.

표 2. 버퍼의 영역을 삭제하는 프로세스(Pesudo codes)

```
...
while(true)
{
    ...
    if buffer_count〉100 then
    {
        if minimum_bindo_count==1 then
            delete template[minimum_index]
        else
            delete template[minimum_later]
    }
    ...
}
...
```

IV. 실험 평가

1. 실험환경

기존의 템플릿 매칭 방법과 템플릿 매칭에 기반을 둔 물체 겹침 상황에 강인한 실시간 객체 추적 기법의 성능을 비교하기 위하여 개발 언어로는 Microsoft사의 Visual Studio 2010 MFC C++사 용하였고, 영상처리를 위해서 오픈소스 컴퓨터비전 라이브러리인 OpenCV 2.0버전을 이용하였다. 실험영상은 실제로 백내장 수술 화면을 녹화한 영상을 사용하였다.

각 방법들의 비교와 분석을 위하여 제안한 방법을 앞서 언급한 환경에서 프로그램으로 구현하였다. 그리고 동일한 환경에서 같은 실험영상에 대하여 매 프레임마다 화면을 자동으로 캡처하고 PSNR값을 기록하였다. 각 프레임의 이미지와 PSNR값을 토대로 하여 결과를 분석하였다

2. 실험결과 및 분석

제안한 방법의 추적성능을 평가하기위해 템플릿 매칭을 사용한 인공수정체 삽입영역 추적방법과 비교를 하였고 비교척도로 PSNR (Peak Signal to Noise Ratio)을 사용하였다. 그림 2는 템플릿 매칭과 제안한 방법을 사용하여 인공수정체 삽입영역을 추적하여 나온 각 프레임의 PSNR을 나타낸 것이다.

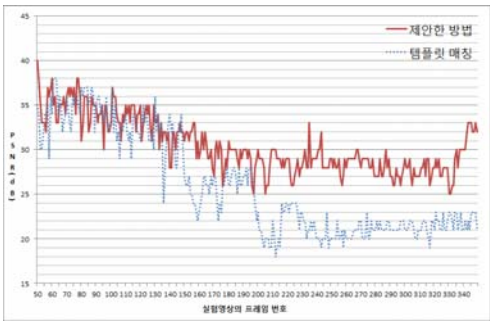

그림 2. 각 프레임의 PSNR

실험영상의 50프레임부터 추적 할 삽입영역을 지정하여 350프레임까지 템플릿 매칭과 제안한 방법으로 추적을 하였다. 물체 겹침 상황이 일어나기 전의 150프레임까지는 두 가지 방법이 유사한 성능을 보였다. 그러나 150프레임이 이후 템플릿 매칭을 사용한 추적방법의 PSNR이 계속 감소하는 현상이 보이면서 200프레임 이후로는 완전히 벗어나는 현상을 보이는데 이는 추적영역에서 물체 겹침 상황이 발생하였기 때문이다.

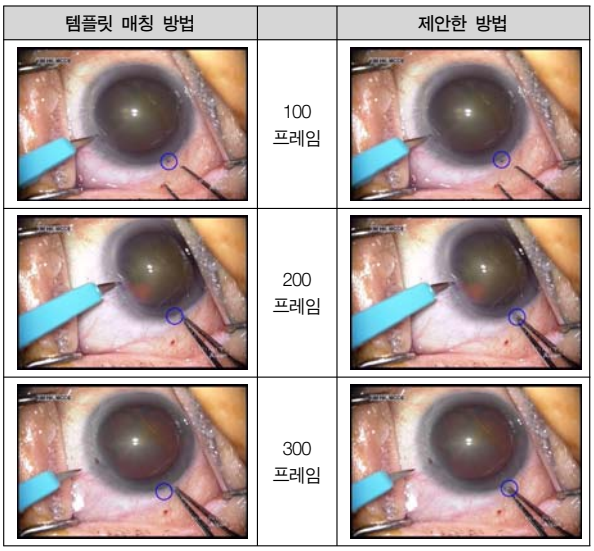

그림 3. 템플릿 매칭 방법과 제안한 방법의
각 프레임의 추적 과정

그림 3은 100프레임부터 300프레임까지 두 가지 방법의 추적 과정을 캡처한 화면이다. 물체 겹침 상황이 발생한 200프레임 이후부터는 추적영역을 완전히 벗어나는데 이는 그림 2의 200프레임 이후의 PSNR 값을 분석해도 잘 드러난다.

물체 겹침 상황에 강인한 인공 수정체 삽입 영역 추적 방법은 그림2, 그림3을 통하여 알 수 있듯이 200프레임 이후부터 기존의 템플릿 매칭을 사용한 방법보다 정확한 객체 추적을 하는 것을 확인하였다. 따라서 제안한 방법이 기존의 템플릿 매칭 방법보다 더 효율적임을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 실시간 객체 추적에 있어서 뛰어난 템플릿 매칭 방법을 이용하여 백내장 수술에서 가장 많이 사용하는 인공수정체 삽입법을 구현하였다. 또한 물체 겹침 상황의 문제를 해결함으로써 향후 백내장 수술을 위한 인공수정체 삽입 시술 시 정확성을 향상시키기 위하여 사용될 것과 나아가서 환자들의 삶의 질 향상에도 이바지 할 것을 기대한다.

참고문헌

[1] Steaven Beauchemin, and John Barron, “The Computation of Optical Flow,” ACM Computing Surveys, Vol. 27, No. 3, pp.433-467, September, 1995

[2] Myung Hwangbo, Jun-Sik Kim, and Takeo Kanade, “Inertial-Aided KLT Feature Tracking for a Moving Camera,” International Conference on Intelligent Robots and Systems, October, 2009

[3] Liewei Wang, Yan Zhang, and Jufu Feng, “On the Euclidean Distance of Images.” IEEE Transactions on Patten Analysis and Machine Intellignce, vol.27, no. 8, pp. 1334-1339, August 2005

[4] Herbert Bay, Tinne Tuytelaars, and Luc Van Gool, “Surf: Speeded up robust features,” European Conference on Computer Vision, Vol. 3951, pp. 404-417, 2006

[5] Krystian Mikolajczyk, and Cordelia Schmid, “Scale & Affine Invariant Interest Point Detectors,” International Journal of Computer Vision, Vol. 60, No. 1, pp. 63-86, January, 2004

[6] Eric Mortensen, Hongli Deng, and Linda Shapiro, “A SIFT Descriptor with Global Context,” Computer Vision and Pattern Recognition, Vol. 1, pp. 184-190, June, 2005

[7] Dong-kyun Park, Hyo-moon Cho. Sang-bok Cho, and Jong-hwa Lee, “A Fast Motion Estimation Algorithm for SAD Optimization in Sub-pixel” IEEE International Symposium on ISIC ’07, pp. 528-531, 2007