

양방향 필터 기반 Mean-Shift 기법을 이용한 강인한 얼굴추적

최완용* · 이윤형** · 정문호***

Bilateral Filtering-based Mean-Shift for Robust Face Tracking

Wan-Yong Choi* · Yoon-Hyung Lee** · Mun-Ho Jeong***

요 약

Mean-Shift 알고리즘은 목표모델과 후보영상 사이의 컬러분포의 유사도를 이용하는 국부적 탐색기법으로서, 그 기법의 단순성 및 안정성 면에서 뛰어나 얼굴추적에 많이 이용되고 있다. 그러나 컬러분포를 이용한 얼굴추적은 목표모델과 유사한 컬러분포를 갖는 객체나 배경의 영향에 취약하다. 또한 얼굴 추적에서 결정되는 얼굴영역은 얼굴인식 혹은 얼굴방향 등을 계산할 때 중요한 단서가 되는데, 완전히 다른 컬러분포를 갖는 객체의 가려짐으로 얼굴영역의 크기나 위치가 변동될 위험이 있다. 대체로 거리정보는 얼굴과 배경의 구분에 효율적이고 컬러정보는 객체 구분에 유리하다는 가정으로부터, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 거리 정보와 컬러 정보를 함께 이용하는 양방향 필터를 고안하고, 이것을 Mean-Shift 알고리즘에 활용하였다. 일련의 실험을 통해 성공적인 실험결과를 얻었다.

ABSTRACT

The mean shift algorithm has achieved considerable success in object tracking due to its simplicity and robustness. It finds local minima of a similarity measure between the color histograms or kernel density estimates of the target and candidate image. However, it is sensitive to the noises due to objects or background having similar color distributions. In addition, occlusion by another object often causes a face region to change in size and position although a face region is a critical clue to perform face recognition or compute face orientation. We assume that depth and color are effective to separate a face from a background and a face from objects, respectively. From the assumption we devised a bilateral filter using color and depth and incorporate it into the mean-shift algorithm. We demonstrated the proposed method by some experiments.

키워드

Mean-Shift, Bilateral Filtering, Face Tracking
평균이동, 양방향 필터링, 얼굴추적

* 광운대학교 제어계측공학과(aceofkorea@hanmail.net)

** (취만도 중앙연구소(yoonhyung.lee@halla.com)

*** 교신저자(corresponding author) : 광운대학교 로봇학부(mhjeong@kw.ac.kr)

접수일자 : 2013. 07. 25

심사(수정)일자 : 2013. 08. 23

게재 확정일자 : 2013. 09. 23

1. 서론

복잡한 환경에서 시각적 특징을 통한 효과적인 추적 방법에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 객체 추적은 연속한 영상들로부터 관심 객체의 위치와 크기 등을 알아내는 것으로서, 감시시스템[1][2][3][4], 지능적 사용자 인터페이스[5], 지능형 장소[6][7] 그리고 비디오 압축[8]과 같은 실시간 처리 응용분야는 움직이는 객체를 추적하기 위한 능력을 요구한다. 객체 추적에 있어 계산의 복잡성은 대부분의 응용분야에 있어 치명적이다.

컬러나 텍스처(texture)처럼 시각적 특징 값을 기초로 한 비강체의 실시간 추적에 대한 방법으로 최근에 Mean-Shift 알고리즘이 주목을 받고 있다. 이것은 Mean-Shift 알고리즘은 목표모델과 후보영상 사이의 컬러분포의 유사도를 이용하는 국부적 탐색기법으로서, 계산의 단순성 및 안정성 면에서 뛰어나 실시간 객체에 많이 이용되고 있다. 그러나 컬러분포를 이용한 얼굴추적에 적용될 때, 목표모델과 유사한 컬러분포를 갖는 객체나 배경의 영향에 취약하다는 단점이 있다. 또한 얼굴 추적에서 결정되는 얼굴영역은 얼굴 인식 혹은 얼굴방향 등을 계산할 때 중요한 단서가 되는데, 완전히 다른 컬러분포를 갖는 객체의 가려짐으로 인해 얼굴영역의 크기나 위치가 변동될 위험이 있다.

본 논문에서는 거리정보는 얼굴과 배경의 구분에 효율적이고 컬러정보는 객체 구분에 유리하다는 가정으로부터, 이러한 문제를 해결하기 위해 거리 정보와 컬러 정보를 함께 이용하는 양방향 필터를 고안했다. 실험을 통해 얼굴을 추적할 때 유사한 컬러분포를 갖는 배경 및 완전히 다른 컬러분포를 갖는 객체의 가려짐의 영향을 줄이는 것을 확인하였다.

본 논문은 다음 장에서 양방향 필터 기반 Mean-Shift 기법을 설명하고, 3 장 및 4 장에서 각각, 제안한 기법을 얼굴추적에 적용한 결과를 보여주고 결론짓는다.

II. 양방향 필터 기반 Mean-Shift

2.1 컬러모델의 표현

컬러모델은 커널 프로파일을 이용하여 표현한다. 경계(boundary) 픽셀이 배경에 속하거나 겹쳤을 때, 컬러분포의 신뢰도를 높이기 위해 커널 프로파일은 영역의 중심에서 멀리 위치해 있는 픽셀들에 대해 적은 가중치를 할당하는 함수이다. 중심위치를 (0,0)으로 하고 커널 프로파일의 반경을 1로 하면, 목표모델(target model)은 식(1)과 같이 표현된다.

$$\hat{q}_u = C \sum_{i=1}^N k(\| \mathbf{x}_i^* \|^2) \delta[b(\mathbf{x}_i^*) - u] \quad (1)$$

여기서, N 은 얼굴영역에 속하는 픽셀의 개수, δ is Kronecker delta 함수, $b(\mathbf{x}_i^*)$ 는 픽셀 i 의 정규화 된 위치 \mathbf{x}_i^* 에서의 컬러 값이다. 정규화 상수 C 는 $\sum_{i=1}^m \hat{q}_u = 1$ 조건으로부터 결정된다. 같은 식으로 후보 영역의 컬러분포는 식(2)와 같다.

$$\hat{p}_u(\mathbf{y}) = C_h \sum_{i=1}^{N_h} k\left(\left\| \frac{\mathbf{y} - \mathbf{x}_i}{h} \right\|^2\right) \delta[b(\mathbf{x}_i) - u] \quad (2)$$

여기서 h 는 커널 프로파일의 반경이다. 컬러 값 u 는 Red, Green의 상위 각 3비트와 Blue의 2비트로 구성된 8비트 값이다(그림 1).

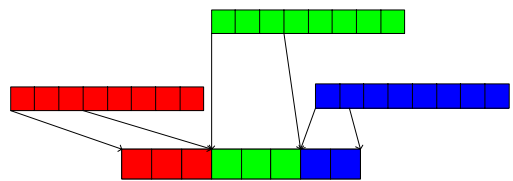


그림 1. 8비트 컬러의 구성
Fig. 1 8-bit color

2.2 Mean-Shift

일반적인 평균이동 방법을 이용한 객체 추적은 얼굴영역의 중심 y 에서 멀어질수록 작은 가중치를 할당하는 Epanechnikov 커널 g 을 사용하여 표현한다[9]. 그리고 반복계산에 의해 객체의 위치를 추정한다. 즉,

$$\mathbf{y}_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^{N_i} \mathbf{x}_i w_i g\left(\left\|\frac{\mathbf{y}_j - \mathbf{x}_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^{N_i} w_i g\left(\left\|\frac{\mathbf{y}_j - \mathbf{x}_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (3)$$

와 같다. 여기서, N 은 t 에서 얼굴영역에 속하는 픽셀의 개수이다. 또한, w_i 는 픽셀 i 의 가중치로서 식(4)와 같이 표현된다.

$$w_i = \sum_{u=1}^m \sqrt{\frac{\hat{q}_u}{\hat{p}_u(\hat{\mathbf{y}}_0)}} \delta[b(\hat{\mathbf{x}}_i) - u] \quad (4)$$

2.2 제안된 양방향 필터

얼굴을 추적할 때 후보모델영역에 유사한 컬러분포를 갖는 객체나 배경의 영향과 완전히 다른 컬러분포를 갖는 객체에 의한 가려짐으로 추적에 실패하게 된다. 우리는 복잡한 환경에서 얼굴영역과 배경을 구분하는데 효과적인 거리정보를 이용한다. 이전 프레임에서 결정된 목표모델의 평균 거리정보 \bar{d} 와 현재 프레임에서 후보모델의 i 번째 거리정보 d_i 를 비교하여 식(5)와 같이 서포트맵 S_D^i 를 정의한다.

$$S_D^i = \begin{cases} -1 & \text{if } \bar{d} - d_i < -3\sigma \\ 1 & \text{if } |\bar{d} - d_i| \leq 3\sigma \\ 0 & \text{if } \bar{d} - d_i > 3\sigma \end{cases} \quad (5)$$

$S_D^i = -1$ 은 배경과 얼굴을 구분하고, $S_D^i = 1$ 은 가려짐을 갖는 객체를 구분하는데 유용하다. 이 서포트맵은 거리정보를 이용하여 얼굴을 구분할 때는 효과적이지만 같은 거리정보를 갖는 객체의 가려짐에는 취약하다. 이러한 객체의 가려짐이 발생하면 기존의 Mean-Shift 기법에 의한 얼굴추적에서는 얼굴영역의 중심위치와 크기가 변경되게 된다. 이것은 얼굴 추적 영역에 대해 수행되는 얼굴인식, 얼굴방향 추정 등에 문제가 될 수 있다. 즉, 입 주위의 영역이 가려짐으로 인해 얼굴영역의 중심위치와 크기가 변경되었는데도, 그 영역을 얼굴 전체 영역으로 간주하면 얼굴인식이나 얼굴방향 계산의 오류로 이어질 수 있다.

후보모델과 목표모델의 컬러분포의 비율 w_i 를 통해 완전히 다른 컬러 u 를 갖는 픽셀을 알려주는 임

계값 ζ 의 서포트 맵을 S_C^i 를 정의한다.

$$S_C^i = \begin{cases} 1 & \text{if } w_i \geq \zeta \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

거리 도메인과 컬러 도메인에서 앞서 설명된 두 서포트맵을 이용하여 양방향 필터를 정의하면 식(7)과 같이 표현된다. 여기서 양방향 필터를 이용한 \hat{w}_i 를 식(8)과 같이 다시 정의한다.

$$m_i = S_D^i \times S_C^i \quad (7)$$

$$\hat{w}_i = \begin{cases} w_i & \text{if } m_i = 1 \\ 1 & \text{if } m_i = 0 \\ 0 & \text{if } m_i = -1 \end{cases} \quad (8)$$

$m_i = 0$ 일 때, 가려짐이 발생했기 때문에 w_i 가 1이 된다면 해당 픽셀이 다음 위치 추정에 주는 영향을 줄이고, $m_i = -1$ 일 때는 유사한 컬러분포를 갖는 배경의 영향을 제거한다. 가려짐이 발생한 픽셀은 양방향 필터 m_i 에 의해 쉽게 확인할 수 있다.

그림 2의 첫째 행은 유사한 컬러를 가졌지만 거리 정보가 확연히 다른 두 가지 경우와 서로 다른 컬러 분포를 가졌지만 거리정보가 유사한 경우를 나타내고 있다. 둘째 행은 각각의 경우에 대한 양방향 필터링 값 \hat{w}_i 를 보여주고 있다. 흰색은 $\hat{w}_i = w_i$, 회색은 $\hat{w}_i = 1$, 흑색은 $\hat{w}_i = 0$ 에 해당된다.

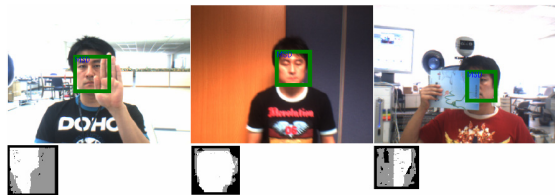


그림 2. 양방향 필터링
Fig. 2 Bilateral filtering

식(8)을 활용하여 얼굴의 다음 위치를 추정하면 앞서 언급된 문제점들을 해결할 수 있다. 즉, 양방향 필터 기반 Mean-Shift 기법을 이용한 얼굴의 다음 위치 \mathbf{y}_{j+1} 은 식(3)과 식(8)로부터 식(9)와 같이 추정된다.

$$y_{j+1} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i \hat{w}_i g\left(\left\|\frac{y_j - x_i}{h}\right\|^2\right)}{\sum_{i=1}^N \hat{w}_i g\left(\left\|\frac{y_j - x_i}{h}\right\|^2\right)} \quad (9)$$

III. 얼굴추적 실험

3.1 초기화

양방향 필터 기반 Mean-Shift 기법을 얼굴추적에 적용하기 위해서는 먼저 목표모델 q_u 를 구해야 한다. 이를 위해 AdaBoost 기법을 이용하여[10] 얼굴영역을 검출하고(그림 3), 그 영역내의 픽셀로부터 목표모델을 구한다. 그림 4는 8 bit 컬러 값(0-255)을 사용한 목표모델의 히스토그램을 나타낸다.

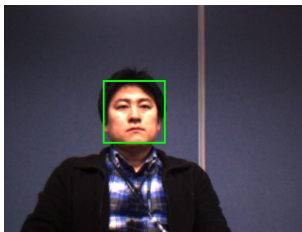


그림 3. AdaBoost를 이용한 얼굴검출
Fig. 3 Face detection by AdaBoost

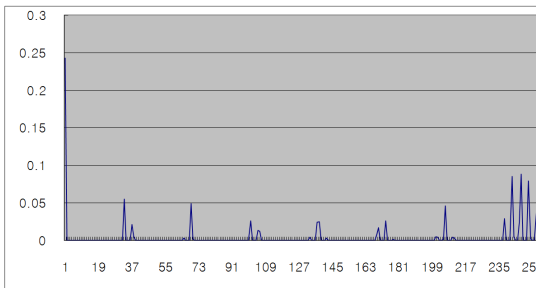


그림 4. 목표모델의 히스토그램
Fig. 4 Histogram of target model

3.2 얼굴추적

첫 번째 영상 프레임에서 얼굴을 검출하고 목표모델을 생성하는 초기화 과정을 완료가 되면 식(8)에 따라 얼굴의 새로운 위치를 추정한다. 이때, 반복계산

은 일반적으로 추정 값이 수렴할 때까지 이지만, 추적의 안정성을 위해 반복회수를 고정한다. 본 실험에서는 3회로 정했다.

그림 5는 유사한 컬러분포를 갖는 배경에 따른 얼굴추적 결과를 보여준다. 위의 행은 기존의 Mean-Shift 기법을 적용한 결과이고 아래 행은 제안한 방법을 적용한 것이다. 제안한 방법은 배경과 얼굴이 유사한 컬러분포를 갖더라도 성공적으로 얼굴추적을 수행함을 알 수 있다.

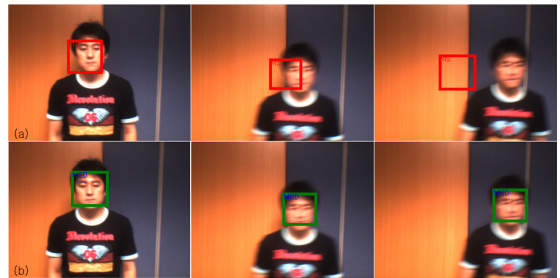


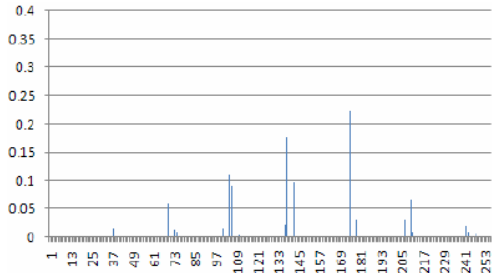
그림 5. 유사한 컬러분포를 갖는 배경의 영향
Fig. 5 Effects by the background with similar colors

유사한 컬러분포를 가진 물체에 의해 가려짐(Occlusion)이 발생했을 때 기존의 Mean-Shift 기법은 그림 6-(a)와 같이 전방의 손으로 추적 대상이 바뀌는 경우가 발생하기 쉽다. 이것은 그림 6-(b)의 얼굴의 초기화된 컬러 히스토그램과 그림 6-(c)의 손 영역의 컬러 히스토그램이 유사함에 기인함을 알 수 있다. 제안된 방법을 적용하면, 양방향 필터에 의해 손 영역 픽셀의 영향을 배제할 수 있기 때문에 그림 6-(d)에서와 같이 성공적인 추적이 가능하다.

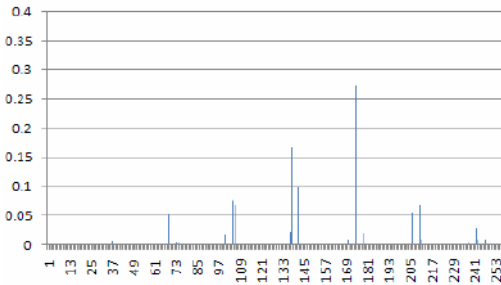
그림 7는 같은 거리정보와 다른 컬러분포를 갖는 객체의 영향을 보여준다. (a)는 전형적인 Mean-Shift 기법을 적용했을 때 추정된 얼굴영역의 크기와 위치가 바뀐 것을 알 수 있다. 이것은 정확한 얼굴영역에 기반 하여 얼굴인식을 수행하거나 얼굴방향을 계산할 때 좋지 않은 결과로 이어지기 쉽다. 반면에, (b)는 제안한 방법을 적용한 것으로, 객체의 가려짐이 있어도 얼굴의 영역이 유지됨을 확인할 수 있다. 이것은 후보영역에서 가려진 픽셀을 양방향 필터를 이용하여 구분할 수 있기 때문에 가능한 것이다(c) 참조).



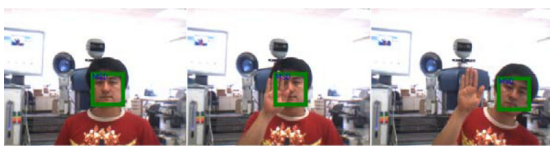
(a)



(b)

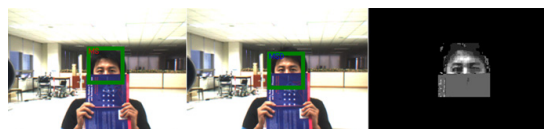


(c)



(d)

그림 6. 유사한 컬러분포를 갖는 배경의 영향
Fig. 6 Effects by the background with similar colors



(a)

(b)

(c)

그림 7. 다른 컬러분포를 갖는 객체의 영향 제거
Fig. 7 Resistance against the object with different colors

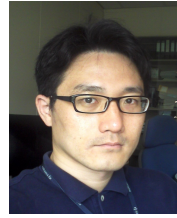
IV. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 양방향 필터 기반의 Mean-Shift 기법을 제안하였다. Mean-Shift 기법이 얼굴추적에 적용될 때 발생하는 문제점은 유사한 컬러분포를 갖는 배경에 의해 추적이 실패하기 쉽다는 것과 다른 컬러분포를 갖는 객체의 가려짐에 의해 추정된 얼굴영역이 변경된다는 것이다. 실험을 통해 제안된 방법이 이러한 문제에 대해 강인성을 확보함을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안한 방법은 조명조건이 일정하다는 가정 하에서 유효하다. 컬러분포가 조명조건에 따라 바뀌기 때문에 이러한 조건에서 안정된 얼굴추적을 수행하기 위해서는 얼굴의 목표영상 모델을 조명 변화에 따라 계속 수정해야만 한다. 향후 이 부분의 연구가 추가되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] Y. Cui, S. Samarasekera, Q. Huang, M. Greienhagen, "Indoor Monitoring Via the Collaboration Between a Peripheral Sensor and a Foveal Sensor", IEEE Workshop on Visual Surveillance, Bombay, India, pp. 2-9, 1998.
- [2] Jang-sik Park, Hyun-tae Kim, Yun-sik Yu, "Video Based Fire Detection Algorithm using Gaussian Mixture Model", The Korea Institute of Electronic Communication Science, Vol. 6, No. 2, pp. 206-211, 2011.
- [3] Ik-Soon Kim, Hyun-shik Shin, "A Study on Development of Intelligent CCTV Security System based on BIM", The Korea Institute of Electronic Communication Science, Vol. 6, No. 5, pp. 789-795, 2011.
- [4] Ik-Soon Kim, Jae-duck Yoo, Bae-hun Kim, "A Monitoring Way and Installation of Monitoring System using Intelligent CCTV under the u-City Environment", The Korea Institute of Electronic Communication Science, Vol. 3, No. 4, pp. 295-303, 2011.
- [5] G.R. Bradski, "Computer Vision Face Tracking as a Component of a Perceptual User Interface," IEEE Work. on Applic. Comp. Vis., Princeton, pp. 214-219, 1998.

- [6] R. Chellappa, S. Zhou, and B. Li. Bayesian methods for face recognition from video. In Int. Conf. on Acoustics Speech and Signal Processing, Orlando, Florida, 2002.
- [7] C. Wren, A. Azarbayejani, T. Darrell, A. Pentland, "Pfinder: Real-Time Tracking of the Human Body," IEEE Trans. Pattern Analysis Machine Intell., Vol. 19, pp. 780-785, 1997.
- [8] A. Eleftheriadis, A. Jacquin, "Automatic Face Location Detection and Tracking for Model-Assisted Coding of Video Teleconference Sequences at Low Bit Rates," Signal Processing - Image Communication, Vol. 7, No. 3, pp. 231-248, 1995.
- [9] D. Comaniciu, V. Ramesh, and P. Meer. Kernel-based object tracking. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell., Vol. 25, No. 5, pp. 564-577, 2003.
- [10] Paul Viola, M. Jones, Rapid Object Detection using a Boosted Cascade of Simple, Proceedings of CVPR2001, Vol. I, pp. 511-518, 2001.



정문호(Mun-Ho Jeong)

1988년 KAIST 정밀공학과 졸업(공학사)

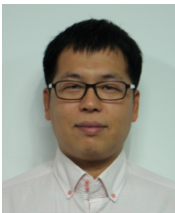
1994년 KAIST 대학원 자동화 및 설계공학과 졸업(공학석사)

1998년 오사카대학 전자제어기계공학(공학박사)

2010년~현재 광운대학교 로봇학부 교수

※ 관심분야 : 로봇비전, HRI, 지능로봇

저자 소개



최완용(Wan-Yong Choi)

2004년 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부 졸업 (공학사)

2004년~2007년 (주)아이피에스시스템

2009년~2010년 KIST(위축 연구원)

2010~현재 광운대학교 대학원 제어계측학과

※ 관심분야 : 컴퓨터비전, 기계설계



이윤형(Yoon-Hyung Lee)

2005년 고려대학교 제어계측공학과 졸업(공학사)

2007년 연세대학교 전기공학과 졸업(공학석사)

2007년~2008년 KIST(위축연구원)

2008년~현재 (주)만도 중앙연구소(주임연구원)

※ 관심분야 : Computer Vision, 영상처리