

고해상도 지능형 감시시스템을 위한 실시간 얼굴영역 추적

권오현^a, 김상진^a, 김영욱^{a,b}, 백준기^a
^a 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과
시각 및 지능 시스템 연구실
^b 전자부품연구원 정밀기기 연구센터

Real-time face tracking for high-resolution intelligent surveillance system

Ohhyun Kwon^a, Sangjin Kim^a, Younguk Kim^{a,b}, and Joonki Paik^a

^a Image Processing and Intelligent Systems Laboratory

Department of Image Engineering

Graduate School of Advanced Imaging Science, Multimedia, and Film

Chung-Ang University

E-mail : rodin@wm.cau.ac.kr

^b Korea Electronics Technology Institute, 203-103 B/D 192, Yakdae-Dong,
Wonmi-Gu Puchon-Si, Kyunggi-Do 420-140, Korea

Abstract

In this paper, we present real-time, accurate face region detection and tracking technique for an intelligent surveillance system. It is very important to obtain the high-resolution images, which enables accurate identification of an object-of-interest. Conventional surveillance or security systems, however, usually provide poor image quality because they use one or more fixed cameras and keep recording scenes without any clue. We implemented a real-time surveillance system that tracks a moving person using pan-tilt-zoom (PTZ) cameras. While tracking, the region-of-interest (ROI) can be obtained by using a low-pass filter and background subtraction. Color information in the ROI is updated to extract features for optimal tracking and zooming. The experiment with real human faces showed highly acceptable results in the sense of both accuracy and computational efficiency..

Keywords

real-time face tracking, high resolution image, color information in region-of-interest(ROI)

1. 서론

복잡한 환경에서 저해상도의 영상을 저장하는 CCTV의 문제점으로 인하여 고해상도의 지능형 감시시스템의 중요도가 높아지고 있다. 구체적으로 말해서 침입자를 단순히 감시하고 저장하는 것보다는 침입자의 정확한 신원확인을 하는 것이 더 중요하다. 현재 대부분의 감시 시스템은 CCD 카메라의 고정된 시야만을 추적하고 녹음한다. 물론 팬(pan), 틸트(tilt)의

기능을 갖춘 카메라를 사용하여 시야를 확장 시키는 시스템이 다소 있지만 최적의 관심영역 (Region of interest; ROI)를 포착하기 위한 자동 줌 제어 기술은 흔하지 않다.

본 논문에서는 관심영역 즉, 얼굴 영역을 실시간 환경에서 고해상도로 획득하기 위한 자동 zoom-in, zoom-out 추적 기술에 대해 소개한다. 객체 추적은 컴퓨터 비전에 있어서 중요하고 계속 발전하고 있는 분야이긴 하지만, 계산적인 복잡성과 환경적인 제약조건이 많기 때문에 현실적으로 상용화하기 어려운 점이 많이 있다. 하지만, 본 논문의 최적 줌 인/아웃 제어 알고리즘은 객체 추적에 있어서 실시간으로 고해상도의 영상을 획득할 수 있기 때문에 객체의 정확한 신원을 확인 할 수 있다.

팬-틸트-줌(pan-tilt-zoom; PTZ) 카메라 앞의 움직이는 사람의 얼굴을 검출하고 추적하기 위해서는 카메라의 줌 크기를 효과적으로 제어해야 하며 이를 위해서는 추적 객체의 특징 요소를 추출해야만 한다. 최근에 실시간 추적 기술로 Camshift[1], condensation[2], 적응적 칼만 필터가 많이 사용되고 있으나 이 알고리즘들은 카메라로부터 멀리 떨어지는 객체를 효과적으로 추적하지 못하고 복잡한 환경에서는 계산량이 증가한다는 단점이 있다. 하지만 얼굴 추적에 있어서 색상 분포 정보는 다른 알고리즘들에 비하여 상대적으로 계산 속도가 빠르며 효과적으로 객체를 추출하여 추적할 수 있다는 장점이 있다. Yang과 Weibel은 정규화 색상분포 (normalize color distribute)를 이용한 실시간 얼굴 추적을 제안하였고, Yao와 Gao [3]는 피부와 입술의 색도 변형에 기반을 둔 얼굴 추적을 제안하였으며, Huang과 Chen [4]은

다양한 얼굴들의 추적을 위한 통계적 색깔 모델과 변형된 템플릿을 만들었다. 그러나 얼굴의 색깔 분포를 사용한 추적의 문제점은 얼굴과 배경이 비슷한 색상 분포 정보를 가지고 있으면 얼굴을 추출하기 어렵다는 점과 비슷한 색상분포를 가진 객체들의 겹침(occlusion)현상을 해결하기 힘들다는 단점이 있다. 그래서 모델 기반 혹은 변형된 템플릿 (deformable template)을 사용한 알고리즘이 제안되었다. 그러나 이러한 알고리즘은 복잡하고 많은 연산량으로 인하여 실시간으로 객체를 추출 추적하기 어렵다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 얼굴의 위치와 색상 분포를 이용하여 추적을 위한 계산량을 최대한 줄였으며 색상 분포의 위치정보를 이용하여 PTZ 카메라의 줌 배율을 효과적으로 제어하였으며 타원경합 기술을 사용하여 비슷한 색상 분포를 갖은 객체들의 겹침현상을 해결하였다.

2. 자동 주밍을 사용한 얼굴 추적

관심영역에 대한 고해상도 영상을 획득하기 위해선 관심영역 과 카메라 사이의 거리에 따른 zoom-in, zoom-out 요소를 결정할 수 있는 알고리즘이 추적시스템에 포함되어 있어야 한다. 최근 추적 시스템에서 많이 사용하는 알고리즘으로는 (i) 칼라 분포, (ii) 움직임, (iii)윤곽 등이 있다. 하지만 위와 같은 알고리즘들은 추적 객체가 시야에서 멀어지게 되면 칼라 분포, 움직임, 윤곽들의 정보가 불안정하게 되어 추적 객체를 놓치게 된다. 따라서 본 논문에서는 관심 영역에 대한 저대역 통과필터를 사용하여 움직이는 객체의 후보 영역을 검출하고 나선 Hue-Saturation-Intensity(HSI) 색 좌표를 적용하여 배경으로부터 관심 영역인 얼굴부분만을 분리하고 추적영역에 대한 결점을 분석하여 효과적으로 PTZ 카메라의 줌 배율을 제어하였다. 본 논문에서 제안한 알고리즘이 그림 1에 정리되어 있다.

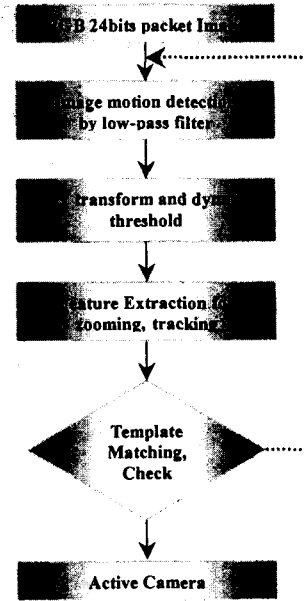


그림 1. PTZ 카메라 제어 알고리즘

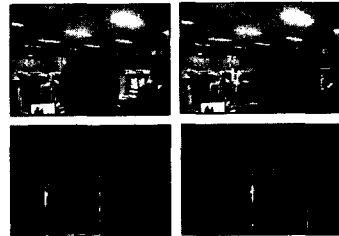


그림 2. 후보 영역 검출

2.1 적응적 움직임 추출

지능형 감시 시스템에서 관심영역검출은 매우 중요하다. 일반적으로 관심영역에 대한 처리는 색상관도(color correlation), 블롭검출(blob detection), 영역성장(region growing), 예측(prediction), and 윤곽모델(contour modeling)과 같은 알고리즘들을 많이 사용하는데 이러한 알고리즘은 과다한 연산 때문에 시스템 자원을 많이 소비한다.

본 논문에서는 식(1)과 같이 가우시안 저대역 통과필터를 이용하여 효과적으로 정확한 후보 영역 검출하였다.

$$\hat{I}_{nm} = I_{ng} - I_{mg} \quad (1)$$

여기서 I_{ng} 와 I_{mg} 은 차례로 n 번째, m 번째 영상을 나타낸다.

이는 추적 객체, 즉 얼굴의 후보 영역 검출과정에서 추적의 초기화나 추적 중 실패로 객체를 놓쳤을 경우에 유용하게 적용 할 수 있다.

그림 2는 움직이는 영역 후보 검출을 보여주고 있으며, 그림에서 왼쪽 위의 사진은 I_5 , 오른쪽 위의 사진은 I_{23} , 밑의 왼쪽 사진은 $I_{5g} - I_{8g}$, 밑의 오른쪽 사진은 $I_{23g} - I_{25g}$ 을 나타낸다.

2.2 배경과 관심영역 분리

움직이는 객체에 있어서 색상 정보는 매우 중요한 특징 중의 하나이다. 하지만 대부분의 색상 정보는 주변환경의 빛의 변화와 반사 때문에 영향을 많이 받으며 카메라와 객체 사이의 거리에 따라라도 색상정보가 변하기 때문에 색상을 이용한 객체 추적은 쉽지 않다. 그림 3은 움직이는 객체와 카메라 사이의 거리에 따라 변화하는 피부색을 실험 결과로 나타내었다. 그림 3에서 수평 좌표축은 얼굴의 휴(hue) 값을 나타내고 수직 좌표축은 같은 이것이 가지는 화소의 수를 나타내었다. 그림3을 통하여 같은 객체의 얼굴이라 하여도 카메라의 거리에 따라서 휴 값이 변한다는 것을 확인할 수 있다.

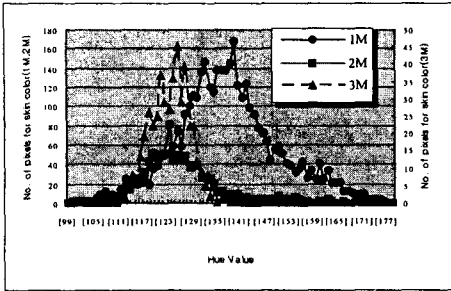


그림3. 거리에 따른 얼굴 색상 분포

본 논문에서는 앞에서 정의한 후보영역에서 얼굴의 hue 값에 대한 최대값, 최소 문턱치 값 그리고 최대 문턱치 값을 이용하여 얼굴영역을 효과적으로 분리하였다. 그림 4에서는 세가지 값의 관심영역 안에서 얼굴의 휴 분포를 나타낸다.

$f(x)_{Max}$, $f(x_i)_{Low-th}$, $f(x_i)_{Hi-th}$ 값을 이용하여 배경으로부터 관심영역 안의 얼굴 영역을 분리하였으며, 휴의 최대값인 $f(x)_{Max}$ 를 반복적으로 계산하였으며 $f(x)_{Max}$, $f(x_i)_{Low-th}$ 는 식(2)와 식(3)과 같이 구하였다.

$$f(x_i)_{Low-th} : f(x_i) \cdot f(x_{i+1}) \leq 0 \quad (f(x_i) < f(x)_{Max}) \quad (2)$$

$$f(x_i)_{Hi-th} : f(x_i) \cdot f(x_{i+1}) \leq 0 \quad (f(x_i) > f(x)_{Max}) \quad (3)$$

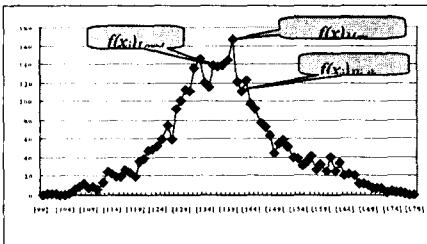


그림 4. 관심영역 안에서의 휴 분포

그림 5는 얼굴영역의 추출 결과를 보여준다.

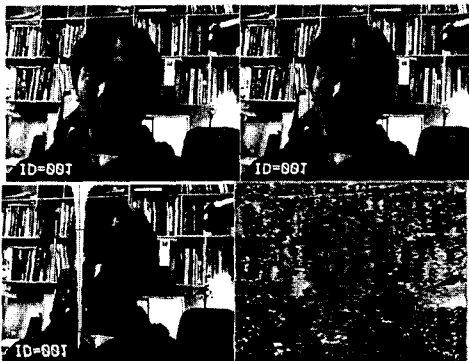


그림 5. 얼굴영역 추출 결과

2.3 줌과 추적을 위한 특징 추출

본 논문에서는 자동적인 줌 배율 결정과 얼굴 추적을 위해서 세가지 특징을 사용하였다. 첫 번째 특징은 휴 값에 있어서 평균 위치 x_c , y_c (선택된 영역에서 최소 문턱치 값과 최대 문턱치 값에 위치)를 사용하였다.

$$x_c = \frac{\sum H(x, y)}{E_H}, y_c = \frac{\sum H(x, y)}{E_H} \quad (4)$$

H 는 효과적인 휴값에 있어서 픽셀의 위치를 나타내고 E 는 효과적인 휴값에 있어서 선택된 화소의 개수를 나타낸다. 두 번째 특징은 검출된 영역이다. 그리고 세 번째 특징은 선택된 영역에서 효과적인 화소분포이다. 평균 위치 x_c , y_c 는 동적 객체의 방향을 결정하고 두 번째 특징인 A 는 최적의 줌 비율을 결정하고 세 번째 특징인 R 은 줌과 추적의 부족한 검출을 위하여 사용한다. 두 번째와 세 번째 특징은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$A_{ROI} = Wid_{ROI} \times Hi_{ROI}, R_{ROI} = \frac{E_H}{A_{ROI}} \quad (5)$$

자동 줌은 A 를 사용하여 수행된다. 자동 조정에 있어서 실험적으로 줌인(tele)과 줌아웃(wide)이라 불리는 두 가지 제약이 선택되었다. 만약 A 가 Wide 보다 크면 줌 렌즈는 줌 인을 통하여 넓게 변하고 반대는 반대이다. 그림 6에서는 팬, 틸트만 사용한 제안된 얼굴 추적 알고리즘의 실험 결과이다. 그리고 그림 7은 줌까지 포함한 추적 실험 결과이다.



그림6. 팬-틸트를 이용한 객체 추적

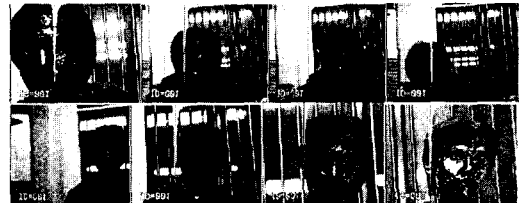


그림 7. PTZ를 이용한 객체 추적

식 (5)에서 효과적인 화소 분포는 줌과 추적의 에러 통계를 나타낸다. 만약 이 값이 미리 정한 값보다 작으면 우리는 움직이는 객체의 새로운 후보 영역을 마지막 문턱치 값을 이용하여 검출하였다.

2.4 겹침 문제해결을 위한 간단한 얼굴정합

두 객체 사이의 겹침을 해결하기 위해서 30 프레임마다 허프변환(Hough transformation)을 이용한

타원정합을 한다. 식 (6)과 같이 p, q, x, y 를 결정한다.

$$p^2(x - a)^2 + q^2(y - b)^2 = p^2q^2 \quad (6)$$

여기서 p 는 타원의 단축 q 는 타원의 장축, a, b 는 관심영역의 중심 좌표를 나타내고, x, y 는 식(1)에서 구한 에지의 좌표를 나타낸다. 비 정상적으로 증가하는 관심영역의 사각형 줄이기 위한 타원변수들이 많으므로 변수와 계산량을 줄이기 위해서 통계적으로 잘 알려진 사람의 얼굴비율을 사용한다.

$$p = 1.3q \quad (7)$$

알고리즘 순서는 다음과 같다

1. 식 (6)과 (7)에서 p, q 변수 영역을 양자화 한다. (실형에서는 p, q 모두 0에서 50사이의 (식7)를 만족하는 수들을 사용하였다)
2. cell 변수 배열을 만들어 0으로 초기화 한다. (여기서 p, q 를 만족하는 한 쌍의 값을 cell이라고 한다.)
3. 영상공간에서 검출된 각 에지 픽셀이 식 (6)을 만족시키는 cell값을 증가시킨다.
4. 적제된 배열에서 최대값을 찾는다.

그림 8에서 볼 수 있듯이 색상 분포를 사용한 타원정합은 객체 검침을 해결 할 수 있다.

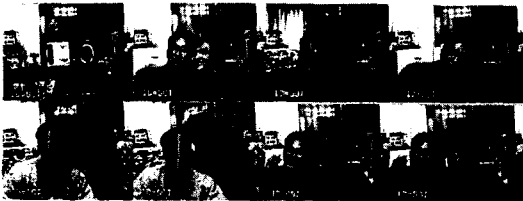


그림 8. 객체 검침 문제 해결

3. 실험 결과

제안된 알고리즘의 성능을 확인하기 위하여 낮은 사양의 프레임 그래버(frame grabber)에서 320 * 240의 영상을 획득하였으며 알고리즘 최적화를 위하여 DirectShow [5]기술을 이용하였다. 또한 표 1에서 컴퓨터 사양을 달리한 실험결과를 보인다. 일반적으로 실시간 추적을 위해서는 초당 최소 15 프레임이 필요하다. 실험결과 본 논문의 알고리즘은 낮은 사양의 컴퓨터(P3-3.66MHz)에서도 적절한 수행 속도를 보장한다.

표 1. 프로세서에 따른 알고리즘 실험 결과

Step	CPU		
	P3-0.6GHz	P3-1.2GHz	P4-1.7GHz
Motion	(10.22)	(8.38)	(7.03)

detection*			
HSV transform	36.96	28.55	24.86
Dynamic threshold	6.72	5.19	4.52
Feature extraction	4.70	3.63	3.16
Fault analysis	2.02	1.56	1.36
Template Match*	(50.2)	(35.2)	(31.4)
Camera interface	3.36	2.60	2.26
Total Time (ms)	67.20 (ms)	51.90 (ms)	45.20 (ms)
Speed (fps)	14.88 (fps)	19.27 (fps)	22.12 (fps)

4. 결론

본 논문은 실시간 지능형 감시시스템에 있어서 얼굴 추적을 위한 효과적인 관심영역 추적 알고리즘을 제안하였다. 단순히 움직이는 객체를 추적하거나 저장하는 기존의 시스템을 개선하여 고해상도 관심영역을 추출하고 추적하여 객체를 명확하게 확인할 수 있다는 장점이 있다. 제안된 지능형 감시시스템은 카메라와 객체 사이의 거리에 따른 자동 줌 제어기술과 색상 정보를 이용하여 얼굴 영역을 효과적으로 추적한다. 본 연구의 중요한 기여는 자동 줌과 추적에 있어서 실시간으로 고해상도의 영상을 획득 할 수 있기 때문에 은행, 또는 자동 현금 지급기 등과 같은 상용화에 사용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 교육부 BK21 사업과 서울지방 중소기업청이 주관하는 2003년 산학연 공동기술 개발 컨소시엄 사업 지원으로 이루어 졌습니다.

참고문헌

- [1] G. R. Bradski, "Computer vision face tracking for use in a perceptual user interface," *Intel Tech. Journal*, Q2, 1998.
- [2] M. Isard and A. Blake, "Condensation-conditional density propagation for visual tracking," *International Journal of Computer Vision*, vol. 29, no. 1, pp. 5-28, 1998.
- [3] H. Yao and W. Gao, "Face locating and tracking method based on chroma transform in color images," *Proc.Signal Processing*, vol. 2. pp. 1367-1371, 2000.
- [4] F. Huang and T. Chen, "Tracking of multiple faces for human-computer interfaces and virtual environments," *IEEE International Conference on Multimedia and Expo*, vol. 3. pp. 1563-1566, 2000.
- [5] M. Linetsky, *Programming Microsoft Direct Show*, Wordware Publishing, Inc. 2002.