

## 조명 변화에 강인한 실시간 얼굴 추적 알고리즘

이용범\*\*\*, 유범재\*\*, 이성환\*, 김광배\*\*  
\*고려대학교 컴퓨터학과, \*\*한국과학기술연구원 지능제어연구센터

### Real-Time Face Tracking Algorithm Robust to Illumination Variations

Yong-Beom Lee\*\*\*, Bum-Jae You\*\*, Seong-Whan Lee\*, Kwang-Bae Kim

\*Dept. of Computer Sci. & Eng., Korea Univ., \*\*Intelligent System Control Research Center, KIST

**Abstract** - Real-Time object tracking has emerged as an important component in several application areas including machine vision, surveillance, Human-Computer Interaction, image-based control, and so on. And there has been developed various algorithms for a long time. But in many cases, they have showed limited results under uncontrolled situation such as illumination changes or cluttered background. In this paper, we present a novel, computationally efficient algorithm for tracking human face robustly under illumination changes and cluttered backgrounds. Previous algorithms usually defines color model as a 2D membership function in a color space without consideration for illumination changes. Our new algorithm developed here, however, constructs a 3D color model by analysing plenty of images acquired under various illumination conditions. The algorithm described is applied to a mobile head-eye robot and experimented under various uncontrolled environments. It can track an human face more than 100 frames per second excluding image acquisition time.

### 1. 서 론

컴퓨터 비전을 이용한 실시간 목표물 추적은 Machine Vision, HCI(Human-Computer Interaction), Image-Based Control, Surveillance, Agriculture Automation, Medical Imaging, Visual Reconstruction 등 다양한 분야의 응용에 있어 중요한 부분을 차지하고 있으며 얼굴 추적은 그 중에서도 특히 중요한 연구 주제이다.

Sobottka[1]와 Kass[2], Vieren[3] 등은 snake와 같은 deformable model을 사용하여 얼굴을 추적하였으며 Pentland[4]는 eigenspace matching을 이용한 방법을 제안하였다. Isard[5][6]는 대량의 확률에 의한 예측 정보를 통해 추적하는 방법을 제시하였으며 Hager[7]는 포즈의 변화에 무관한 추적 방법을 제안하였다.

그러나 이러한 방법들은 공통적으로 계산 시간이 많이 걸린다는 단점을 가지고 있어 실시간 얼굴 추적에는 적합하지 않다. 실시간 추적을 위한 간단하면서도 빠른 알고리즘으로는 컬러에 기반한 추적[[1][8]]이 적합하다. 그러나 컬러에 기반한 알고리즘들은 실험 환경 하에서는 빠르고 안정적인 성능을 보이지만 공통적으로 조명의 변화에 민감하다는 약점을 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Ivins[9]는 조명변화에 둔감한 컬러 모델을 사용하였으며 Hager[7]와 Belhumeur[10]는 다른 조명 조건 아래서 촬영된 basis 이미지들을 사용하여 얼굴을 추적하였다. Raja[11]와 Mckenna[12]는

adaptive gaussian mixture model을 사용하는 방법을 제안하였으며 Yang[13] 또한 adaptive color model을 사용하여 조명에 무관한 추적 알고리즘을 제안하였다. 그러나 이러한 방법들도 정면 얼굴에 대해서만 추적이 가능하거나 조명의 순간적 변화에 대응하지 못하고 또한 주로 정면으로부터의 조명 변화만을 고려하고 있는 경우가 많다.

따라서 본 연구에서는 실시간으로 얼굴을 추적하면서도 조명의 급격한 변화, 여러 방향에서의 조명, 포즈가 변한 상태에서의 조명 변화 등 다양한 상황에서도 안정적인 추적을 할 수 있는 알고리즘을 구현하였다. 이를 위해 다양한 조명 조건에서 획득된 많은 영상들을 분석해 3차원의 피부색 컬러 모델을 구성한다. 이러한 모델은 기존의 2차원의 피부색 모델에 조명이라는 한 축을 추가함으로써 얻어진다. 또한 얼굴의 빠른 움직임에도 적응할 수 있도록 추적된 이동 정보를 분석해 다음 움직임을 예측한다.

### 2. 얼굴 추적 알고리즘

#### 2.1 얼굴 추적을 위한 사전 작업

얼굴을 추적하기 위한 최초의 작업은 획득한 영상 내의 얼굴이 존재하는지의 판별 여부와 그 위치의 파악이다. 여기서는 간단히 차영상을 통해 얻은 연속된 영상 내에서의 모션 정보를 바탕으로 모션이 발생한 영역 중 피부색으로 판명된 영역만을 segmentation하여 그 모양이 일반적으로 타원에 가까운 얼굴의 형상과 유사할 때 그 지점부터 추적을 시작한다. 그림 1은 이와 같은 과정을 간단히 도식화한 것이다.

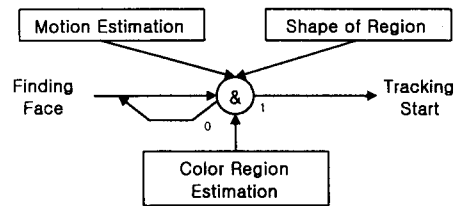


그림 1 영상내 얼굴 존재 확인과 위치 지정

#### 2.2 Line Tracker를 이용한 얼굴 추적

기존의 컬러를 이용한 추적 방법들은 대개 region growing 등의 방법을 통해 얼굴 영역만을 segmentation하는 형식을 취해왔다. 이러한 방법은 얼굴의 외곽을 비교적 정확히 정의할 수 있는 반면 지나치게 많은 계산 시간을 요구함으로써 실시간 추적에 적합하지 않다는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 얼굴의 윤곽을 정확히 찾아내면서도 최소한의 시간 내로 처리하기 위해 4개의 line tracker를 사용한다.

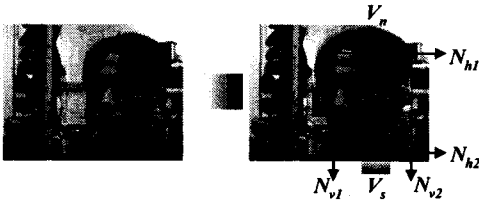


그림 2 Line Tracker를 이용한 얼굴 추적

그림 2는 line tracker를 이용한 추적 알고리즘을 나타낸다. 서로 연결된 네 개의 tracker가 얼굴 영역을 정의한다. 각 tracker는 자신의 projection을 통해 피부색 컬러 모델에 포함되는 픽셀의 수( $N_{n1}$ ,  $N_{n2}$ ,  $N_{v1}$ ,  $N_{v2}$ )를 계산하여 스스로 얼굴의 윤곽선을 찾아 이동한다.

우선 이전 프레임에서의 projection결과와 현재 프레임에서의 projection결과를 비교함으로써 얼굴의 이동 벡터( $V_n$ ,  $V_s$ ,  $V_e$ ,  $V_w$ )를 구한다. 이동 벡터를 따라 움직이면서 미리 정한 문턱치에 도달할 때까지 계속 projection을 수행한다. 위와 같은 과정을 반복함으로써 이동하는 얼굴을 놓치지 않고 추적할 수 있다. 이렇게 한 line의 projection을 이용함으로써 배경에 존재할 수 있는 잡음의 영향을 최소화 할 수 있다.

이러한 과정에서 나오는 이동 벡터의 방향과 크기를 분석하면 얼굴의 motion parameter를 알아낼 수 있으며 추적된 얼굴 영역을 Clipping하여 인식을 위한 입력영상으로 활용할 수 있다.

### 2.3 추적 성능 향상을 위한 움직임 예측

line tracker를 이용한 알고리즘은 적은 양의 연산으로 효과적인 추적을 할 수 있으나, 얼굴의 움직임이 빨라질수록 tracker의 이동거리가 멀어짐으로 인해 연산량이 늘어나고 속도가 느려지는 단점이 있다. 이러한 점을 개선하기 위해 저장된 지난 움직임 정보를 분석하여 다음 프레임에서는 미리 예측된 위치에서 추적을 시작함으로써 매 프레임마다 연산량을 일정하게 하고 빠른 움직임을 효율적으로 추적한다.



$$Pm(i) = \frac{d}{dt} \left( \frac{Fm(i-1)}{dt} \right) \approx \frac{Fm(i-1) - 2 \cdot Fm(i-2) + Fm(i-3)}{t \cdot t}$$

그림 3 움직임 예측을 위한 Acceleration 분석

그림 3에서와 같이 실제적인 움직임 예측은 얼굴 이동의 acceleration을 분석함으로써 이루어진다.  $i$ 번째 프레임에서 필요한 acceleration 정보  $Pm(i)$ 는 가장 최근에 추적된 위치인  $Fm(i-1)$ 의 이계 도함수로부터 얻어진다. 이러한 관계는 다음과 같은 tridiagonal band matrix로 표현된다.

$$\begin{pmatrix} -2 & 1 & & & & \\ 1 & -2 & 1 & & & \\ & & 1 & -2 & 1 & \\ & & & \dots & & \\ & & & & 1 & -2 & 1 \\ & & & & & 1 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} Fm(n-2) \\ Fm(n-3) \\ Fm(n-4) \\ \dots \\ Fm(2) \\ Fm(1) \end{pmatrix} = t \cdot t \begin{pmatrix} Pm(n) \\ Pm(n-1) \\ Pm(n-2) \\ \dots \\ Pm(4) \\ Pm(3) \end{pmatrix} \quad (1)$$

이러한 연산을 통해 제속되는 위치와 acceleration 정보를 저장해 순간적인 빠른 움직임이나 급격한 방향 전환에 대응할 수 있다. 그림 4는 이러한 정보들을 분석하여 실제로 추적에 적용하는 알고리즘의 의사 코드이다.

```

begin
  if Pm(i) > threshold then
    tracking_start_position =
      current_position +
      (Fm(i-1) - Fm(i-2)) + Pm(i)
  else
    tracking_start_position =
      current_position + (Fm(i-1) - Fm(i-2))
  end

```

그림 4 움직임 예측 알고리즘의 의사 코드

### 3. 3D 컬러 모델 구성

3.1 다양한 조명 조건에서의 피부색 영역 측정  
실제 환경에서 실험을 할 때 추적의 성능을 떨어뜨리는 가장 큰 요소는 복잡한 배경과 조명의 변화다. 이중 조명의 변화는 추적할 대상을 정의된 모델에서 크게 벗어나게 함으로써 치명적인 영향을 미친다. 많은 시스템들이 Normalized RGB나 HSV와 같이 조명변화에 다소 강인하다고 알려진 컬러 모델을 사용함으로써 이러한 문

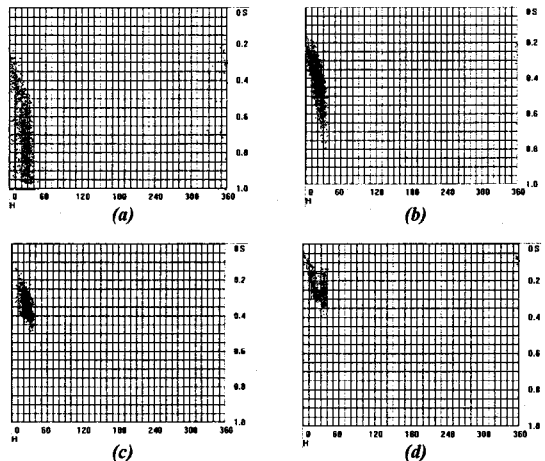


그림 5 다양한 조명 조건에서 얻어진 피부색 모델

제점을 해결하려고 하였으나[9] 그러한 알고리즘들도 광원과 객체의 상대적 위치에서 발생하는 음영과 반사광에 의해 쉽게 추적 대상을 놓친다.

일반적으로 추적 대상의 컬러 모델을 넓게 잡으면 어느 정도 조명에 안정적으로 추적이 가능하나 이 경우 배경의 영향을 많이 받아 지역적 최적해에 빠질 확률이 높다. 반대로 컬러 모델을 좁게 잡으면 어느 정도 복잡한 배경에 무관한 추적이 가능하나 조명이 조금만 변해도 추적 대상을 놓치게 된다.

그림 5는 다양한 조명 상태에서 몇 명의 피실험자들로부터 얻어진 영상을 분석한 자료다. 가장 어두운 상태인 (a)로부터 상대적으로 가장 밝은 상태인 (d)에 이르기까지 색상과 채도영역에서 컬러의 분포가 위치, 분산, 표준편차 등에서 각기 다른 확률적 특징을 갖는 것을 볼 수 있다. 이렇게 얻어진 자료들을 통해 3차원의 컬러 모델을 구성한다.

### 3.2 Quadratic Spline을 이용한 3D 모델 구성

제한한 3D 컬러 모델은 색상의 평균과 표준편차, 채도의 평균과 표준편차 등 네 개의 밝기에 대한 2차 함수로 구성되어 있으며 임의의 밝기에 대해 네 개의 함수 값이 하나의 가우시안 함수를 구성한다. 이러한 모델을 얻기 위해 전체 조명의 변화 영역을 일정한 구역으로 나누는 후 각 영역에서 앞 절에서와 같은 방법으로 피부색에 대한 모델을 구성한다. 구성된 모델은 그림 6의 (a)와 유사한 그래프로 표현되는데 이것을 (b)와 같이 조명의 밝기 영역에 대한 연속 함수로 approximation한다.

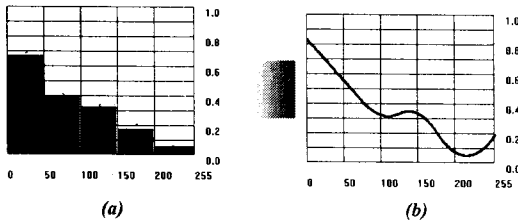


그림 6 연속 함수로 approximation

이러한 approximation을 위해 다음과 같은 몇 가지 가정을 한다.

- 1) 각 영역의 곡선을 2차 방정식으로 표현  

$$f_i(x) = a_i x^2 + b_i x + c_i = f(x_i) \quad (2)$$
- 2) 각 2차 곡선은 data point를 지나야 한다는 조건 설정  

$$f_i(x_i) = a_i x_i^2 + b_i x_i + c_i = f(x_i) \quad (3)$$

$$f_i(x_{i+1}) = a_i x_{i+1}^2 + b_i x_{i+1} + c_i = f(x_{i+1}) \quad (4)$$
- 3) 각 2차 곡선은 data point주위에서 연속이어야 한다는 조건 설정  

$$2a_i x_{i+1} + b_i = 2a_{i+1} x_{i+1} + b_{i+1} \quad (5)$$
- 4) 처음 두 곡선 사이의 이계 도함수 값이 0이라는 임의의 조건 설정  

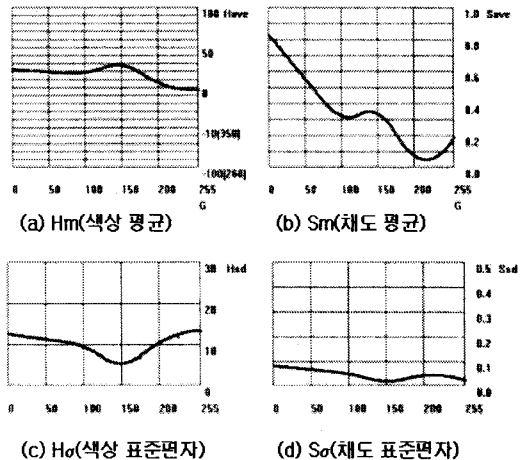
$$a_i = 0 \quad (6)$$

위의 조건에 따라 만들어진 식들을 풀어내기 위해 다음과 같은 행렬 연산을 수행한다. 연산의 결과로 연속 함수의 각 영역에 해당하는 방정식의 계수들이 얻어진다.

Coefficients of Splined Function =

$$[ b_1 \ c_1 \ a_2 \ b_2 \ c_2 \ a_3 \ b_3 \ c_3 \ a_4 \ b_4 \ c_4 ]^T = \begin{bmatrix} x_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_2^2 & x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_3^2 & x_3 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^2 & x_4 & 1 \\ x_2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_3^2 & x_3 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_4^2 & x_4 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & x_5^2 & x_5 & 1 \\ 1 & 0 & -2x_2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 2x_3 & 1 & 0 & -2x_3 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2x_4 & 1 & 0 & -2x_4 & -1 & 0 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} f(x_1) \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ f(x_4) \\ f(x_2) \\ f(x_3) \\ f(x_4) \\ f(x_5) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$a_i, b_i, c_i, d_i$ 는 각각  $i$ 번째 구간에 해당하는 방정식의 계수이다.  $x_i$ 는  $i$ 번째 구간의 경계값이며  $f(x_i)$ 는  $i$ 번째 구간에서의 측정된 데이터이다. 앞 절의 방법을 통해 얻어진 네 가지의 데이터들을 가지고 위와 같은 행렬 연산을 수행하여 네 개의 연속 함수를 얻는다. 그림 7은 연산의 결과를 통해 얻어진 이차 곡선들이다.



위의 결과를 바탕으로 추적을 위한 3D 컬러 모델은 다음과 같이 정의된다.

$$\begin{aligned} Hm - T_h \cdot Ho(i) &\leq M_{3d} \leq Hm + T_h \cdot Ho(i) \\ Sm - T_h \cdot So(i) &\leq M_{3d} \leq Sm + T_h \cdot So(i) \end{aligned} \quad (8)$$

$i$ 는 조명의 밝기를 의미하며  $T_h$ 는 문턱치이다. 이렇게 구성된 모델을 member function으로 사용하여 실제로 추적할 때 line tracker의 projection에 사용한다.

### 4. 실험 및 결론

본 연구에서는 제안된 방법을 이용하여 Pentium Pro 200Mhz PC에서 실험을 하였으며 2-자유도를 가지는 간단한 구조의 카메라를 이용해 mobile robot의 추적 실험에 응용하였다. 그림 8은 실험의 결과이다. 그림 8-(a)는 일반적인 조명상태에서의 빠른 움직임에 대한 추적을 실험한 것이고 그림 8-(b)는 급격히 변화하는 조명 상태에서의 실험이다.



그림 8 추적 실험 결과

제안된 알고리즘은 현재 한 프레임을 처리하는데 110~130msec가 소요되며 결과적으로 1초에 대략 8~9프레임 정도를 처리한다. 그러나 실제로 영상을 획득하고 버퍼로 보내는 데에만 100msec이상이 걸리기 때문에 실제 알고리즘의 복잡도는 상당히 낮다. 또한 640x480크기의 비교적 큰 영상을 처리하고 있기 때문에 일반적인 크기인 320x240정도로 영역을 줄이면 처리 속도의 향상을 기대할 수 있다.

제안된 알고리즘은 적은 연산량으로도 상당히 심한 조명의 변화나 순간적인 변화에도 무관하게 얼굴을 실시간으로 추적 할 수 있고 얼굴의 윤곽을 정확히 찾아냄으로써 실시간 얼굴 인식을 위한 사전작업으로 활용될 수 있으며 컬러로 추적하기 때문에 얼굴의 포즈의 변화에도 무관한 추적이 가능하다. 또한 삼차원의 모델을 구성함으로써 조명에 대한 보정이나 모델의 실시간 적용 없이도 추적이 가능하다.

그러나 mobile robot에 의한 추적은 항상 얼굴과 마주보며 이루어지지 않기 때문에 사람의 구조적 형태나 움직임의 분석 등 보다 다양한 정보와의 결합이 필요하다. 또한 vergence control 등 카메라의 보다 정교한 조정을 위해서 얼굴 구성 요소의 탐색도 필요하다. 현재는 영상 내에 존재하는 한 사람만을 추적하는 알고리즘으로 되어 있으나 다수의 사람을 동시에 추적하는 것으로 확장이 요구된다.

(참 고 문 헌)

[1]K. Sobottka, I. Pitas, "Segmentation and tracking of faces in color images", Proc. Of the Second Intl. Conf. On Auto. Face and Gesture Recognition, pp. 236-241, 1996.

[2]M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour Models", Int. J. of Computer Vision (1) #4, pp. 321-331, 1988.  
 [3]C. Vieren, F. Cabestaing, J. Postaire, "Catching moving objects with snakes for motion tracking", Pattern Recognition Letters (16) #7, pp. 679-685, 1995.  
 [4]A. Pentland, B. Moghaddam, T. Starner, "View-based and Modular Eigenspaces for face recognition", CVPR'94, pp. 84-91, 1994.  
 [5]M. Isard, A. Blake, "Contour tracking by stochastic propagation of conditional density", Proc. 4th European Conf. On Computer Vision, pp. 357-368, 1996.  
 [6]M. Isard, A. Blake, "CONDENSATION-conditional density propagation for visual tracking", Int. J. Computer Vision, 1998.  
 [7]G. D. Hager, P. N. Belhumeur, "Efficient Region Tracking With Parametric Models of Geometry and Illumination", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 22, No. 10, October 1998.  
 [8]P. Fieguth, D. Terzopoulos, "Color-based tracking of heads and other mobile objects at video frame rates", In Proc. Of IEEE CVPR, pp. 21-27, 1997  
 [9]J. Ivins, J. Porrill, "Constrained Active Region Models for Fast Tracking in Color Image Sequences", Computer Vision and Image Understanding, Vol. 72, No. 1, pp. 54-71, 1998.  
 [10]P. N. Belhumeur, D. J. Kriegman, "What is the Set of Images of an Object Under All Possible Lighting Conditions?", Proc. of the IEEE Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition, 1996.  
 [11]Y. Raja, S. J. McKenna, and S. Gong, "Segmentation and tracking using colour mixture models", In Proc. of the 3rd Asian Conf. on Computer Vision, Vol. 1, pp 607-614, 1998.  
 [12]S. J. Mckenna, Y. Raja, S. Gong, "Tracking colour objects using adaptive mixture models", Image and Vision Computing 17, pp. 225-231, 1999.  
 [13]J. Yang, A. Waibel, "A Real-Time Face Tracker", Proc. of WACV, pp. 142-147, 1996.