

얼굴의 색상과 모양정보를 이용한 조명 변화에 강인한 얼굴 추적 시스템 구현

이 형 수[†]

요 약

얼굴 인식 시스템과 표정인식 시스템과 같은 고차원 처리를 수행하는 시스템의 전처리 과정으로써 이미지 영역 내에서 얼굴을 추적하는 것은 중요한 과정이다. 본 논문에서는 피부색과 얼굴의 형태 정보를 단서로 하는 CONDENSATION 알고리즘을 사용하여 얼굴의 위치를 추적하였다. 컬러의 가중치와 형태의 가중치를 결합시키는데 어려움이 있으므로 각각을 단서로 사용하는 두 개의 추적기를 가진 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 복잡한 배경, 피부색의 물체가 이미지 내에 존재하는 경우, 다른 얼굴이 이미지 내에 존재하는 경우 모두에 대해서 훌륭한 성능을 보여 주었다.

Development of Face Tracking System Using Skin Color and Facial Shape

Hyung-Soo Lee[†]

ABSTRACT

In this paper, we propose a robust face tracking algorithm. It is based on Condensation algorithm [7] and uses skin color and facial shape as the observation measure. It is hard to integrate color weight and shape weight. So we propose the method that has two separate trackers which uses skin color and facial shape as the observation measure respectively. One tracker tracks skin colored region and the other tracks facial shape. We used importance sampling technique to limit sampling region of two trackers. For skin-colored region tracker, we propose an adaptive color model to avoid the effect of illumination change. The proposed face tracker performs robustly in clutter background and in the illumination changes.

키워드 : 얼굴추적, tracking, CONDENSATION

1. 서 론

본 논문에서는 복잡한 배경에서 사람의 얼굴을 잘 추적하는 방법을 제안하고 있다. 얼굴 추적 시스템은 많은 응용 분야를 가지고 있는데, 비디오 감시시스템의 핵심요소이며, 얼굴 인식, 출입 통제 시스템, 표정 인식 시스템과 같은 문제를 해결하기 위한 전처리 과정으로써의 얼굴 영역 분할을 위해서 사용될 수도 있다.

이전에 얼굴을 추적하는 많은 연구가 진행되었었는데, 그것들은 사용된 단서에 따라서 몇 가지 유형으로 나눌 수 있다.

첫 번째 유형은 컬러에 기반한 방법이다. 이 방법은 사람의 피부 색깔이 인종에 관계없이 특정 컬러 공간에서 한 군데로 모인다는 특성을 이용한 방법이다. Yang[1], Qian[2], Jang [3], Gong[4]이 이 방법을 사용하였다. 이 방법은 구현하기가

쉬우며, 빠르고, 계산량이 적다는 장점을 가지고 있으나, 조명 조건이 급격하게 변하거나, 배경에 피부 색깔을 가지는 물체가 존재하는 경우에 약점을 보인다. 이러한 문제를 보완하기 위하여 컬러적응방법(Color adaptation method)이 제안되었다. Gong[4]은 피부색 모델을 나타내는데 Gaussian mixture 모델을 사용하여, 시간에 따른 조명 변화에 적응하기 위해서 모델의 parameter들을 갱신하였다. Qian[2]은 현재 입력으로 들어온 픽셀 값들 중에서, 피부색 모델에서의 특정 임계치보다 높은 값을 가지는 픽셀들을 모아서 피부색 모델을 갱신하였다. Jang[3]은 CONDENSATION 방법의 기본 구조를 이용하여 적응 칼라 모델을 제안하였다. 하지만 컬러적응방법을 사용하였다더라도, 피부색만을 단서로 사용하는 방법들은 배경에 있는 피부색을 가지는 물체를 얼굴로 오인하는 문제를 피할 수는 없다.

두 번째 얼굴 추적 시스템의 유형은 얼굴의 형태 정보를 이용한 방법이다. Birchfield[5]는 사람의 얼굴이 타원형이라는 특성을 이용한 방법을 제안하였다. 이 방법은 배경색이

[†] 준 회 원 : 포항공과대학교 대학원 컴퓨터공학과
논문접수 : 2002년 12월 31일, 심사완료 : 2003년 4월 25일

나 조명의 변화에 의해서 영향을 받지 않지만, 배경이 매우 복잡한 경우에는 강인성을 보여주지 못한다.

세 번째 얼굴 추적 시스템의 유형은 컬러와 형태정보 모두를 이용한 방법이다. Birchfield[6]는 타원형을 갖는 물체의 경계(boundary)에서 경사도(gradient intensity)를 측정하고 그 타원의 내부에서 색깔을 측정하기 위해서 색 히스토그램을 사용하였다. 그러나 이 방법은 형태, 색깔의 두 측정치를 잘 결합시키는데 어려움을 겪고 있다.

본 논문에서는 세 번째 얼굴 추적 시스템 유형처럼 피부색 정보와 얼굴 형태 정보를 모두 사용하여 추적을 수행하고 있다. 하지만 두 측정치를 잘 결합시키는데 어려움이 있을 수 있으므로, 세 번째 얼굴 추적 시스템의 유형처럼 두 측정치를 결합시켜서 사용하지 않고, 피부색 정보와 얼굴 형태 정보 각각을 단서(cue)로 사용하는 두 개의 추적기를 구성하여 따로 사용하였다. 이때, 각 추적기는 다른 추적기의 정보를 이용하여 상호보완적으로 샘플(sample)의 가중치(weight)를 갱신하도록 하였으며, 결과적으로 보다 강인한 추적을 가능하게 하였다. 각 추적기에는 일반적으로 추적 성능이 우수하다고 알려진 CONDENSATION[7] 방법을 사용하였으며, importance sampling[8] 방법을 결합하여 두 추적기가 서로 상호보완 작용을 할 수 있도록 하였다.

제안한 방법은 복잡한 배경에서나 피부색을 가진 물체가 배경에 있는 상황, 그리고 추적 대상이 아닌 다른 사람이 존재하는 환경에서도 뛰어난 얼굴 추적 성능을 보여 주었다.

2. 이론적 배경

이 장에서는 제안한 시스템에서 사용되는 주된 알고리즘인 CONDENSATION 알고리즘과 importance sampling 방법에 대해서 간단히 알아보도록 한다.

2.1 CONDENSATION 알고리즘

CONDENSATION 알고리즘[7]은 factored sampling과 동적 모델의 학습에 기반을 둔 확률적 추적 방법이다. x_t 가 시간 t 에서 물체의 상태를 나타내고, z_t 가 시간 t 에서 이미지의 측정치를 나타낸다고 하자. 물체의 상태 x_t 가 변화되어 온 과정을 나타내는 벡터를 $X_t = x_1, \dots, x_t$ 라고 하고 이 이미지의 측정치 z_t 가 변화되어 온 과정을 나타내는 벡터를 $Z_t = z_1, \dots, z_t$ 라고 한다. 그리고 물체의 동적 특성이 Markov chain $p(x_t | X_{t-1}) = p(x_t | x_{t-1})$ 을 따른다는 가정을 한다.

이때 물체의 상태분포의 전파식은 다음과 같이 나타낸다.

$$p(x_t | Z) = K_t p(z_t | x_t) p(x_t | Z_{t-1})$$

여기서 $p(x_t | Z_{t-1}) = \int_{x_{t-1}} p(x_t | x_{t-1}) p(x_{t-1} | Z_{t-1})$ 이고 k_t 는 정규화 상수이다.

이 방법은 각각의 함수가 closed form으로 나타나지 않으므로 실용적이지 않다. 따라서 CONDENSATION 알고리즘은 상태분포를 근사화하기 위해서 factored sampling 방법을 사용한다.

CONDENSATION 알고리즘은 다음과 같이 요약될 수 있다.

- 샘플링(sampling)단계 : 샘플들의 집합 $\{s_{t-1}^i, \pi_{t-1}^i\}$ 으로 나타내어지는 확률 분포 $p(x_{t-1} | z_{t-1})$ 로부터 샘플 s_{t-1}^i 을 샘플링 한다. 여기서 $t-1$ 은 $t-1$ 번째의 프레임을 나타내고 i 는 현재 프레임에서 i 번째의 샘플을 나타낸다.
- 예측(prediction)단계 : 확률적 동적 모델 $p(x_t = s_t^i | x_{t-1} = s_{t-1}^i)$ 를 이용하여 새로운 샘플 s_t^i 를 예측한다.
- 측정(measurement)단계 : 모든 샘플에 대해서 $\pi_t^i = p(z_t | x_t = s_t^i)$ 를 계산하고 다음 프레임의 샘플링 단계로 넘어간다. 여기서 π_t^i 는 프레임 t 의 i 번째 샘플의 가중치를 나타내고, 이 가중치가 높을수록 이 샘플이 다음 프레임에서 선택될 확률이 더 높게 된다.

일반적으로 추적되는 물체의 동적 모델은 오프라인으로 학습된다.

그리고 측정단계에서 가중치의 계산은 예측단계에서 예측한 샘플의 위치에서의 입력 이미지를 측정하여 계산하게 된다.

CONDENSATION 알고리즘을 사용함으로써 다음과 같은 장점을 얻을 수 있다. 먼저, 측정치의 계산을 모든 이미지 영역에 대해서 수행하지 않고, 관심 영역 주변에서 샘플링한 데이터에 대해서만 수행함으로써 효율적이다. 또한 기존의 다른 추적 방법처럼 문턱치(Threshold)를 적용하지 않고 확률로써 가능성을 표현하므로 정확한 판단을 내리게 된다. 그리고 탐색하고자 하는 이미지 영역이 커지더라도 정해진 수의 샘플만을 취하므로 속도상의 차이가 없게 된다.

2.2 Importance Sampling

Importance sampling[8]은 factored sampling 방법을 더 개선하기 위해서 개발된 방법이다. Importance sampling의 기본 개념은 다음과 같다. prior $f(x)$ 로부터 샘플을 취하기가 어려울 때, posterior를 잘 나타내는 어떤 확률분포가 있다면 거기서 샘플을 취할 수가 있다. 다시 말하면, posterior에 대한 많은 정보를 가지는 확률분포 $g(x)$ 를 알고 있다면 $f(x)$ 가 아니라 $g(x)$ 에서 샘플을 취함으로써 샘플의 발산을 방지할 수 있다는 것이다. 이것은 가중치가 낮아서 posterior에 대한 기여가 낮은 샘플을 취하는 것을 피할 수가 있다는 것이다. 그리고 이때는 잘못된 확률분포로부터 샘플을 취할 수가 있으므로 그것을 보상하기 위한 가중치가 있어야 한다.

이 말을 수식적으로 표현하면, 일반적인 CONDENSATION에서는 posterior $p(x_t | Z_t)$ 를 구하기 위해서,

$$f_t(s_t^i) = p(x_t = s_t^i | Z_{t-1}) = \sum_{j=1}^N \pi_{t-1}^j p(x_t = s_t^i | x_{t-1} = s_{t-1}^j)$$

로부터 샘플을 취한다. 이것은 이전 프레임의 샘플 분포에 동적 모델을 적용하여 현재 프레임의 샘플 분포를 예측한 것이다. 그러나 importance sampling에서는 posterior를 잘 표현하는 함수 $g(x)$ 로부터 샘플 s_t^i 를 취할 수가 있고, 이때 $g(x)$ 로부터 생성한 각 샘플은 $f(x)$ 로부터 생성한 샘플들과 달리 동적 모델에 의한 정보를 갖지 않게 되어 원래의 분포와는 관련성이 없게 되므로, 다음과 같은 보상가중치가 추가되어야 한다.

$$\pi_t^i = \frac{f_t(s_t^i)}{g_t(s_t^i)} p(Z_t | x_t = s_t^i)$$

3. 제안된 얼굴 추적 시스템

이 장에서는 제안한 시스템에 대한 자세한 설명을 나타내고 있다.

본 논문은 피부색과 얼굴의 형태정보를 측정치로 사용하고 샘플링방법으로 importance sampling을 사용한 CONDENSATION 알고리즘을 이용한 얼굴추적 알고리즘을 제안한다. 피부색과 형태정보를 측정치로 사용하는 하나의 추적기를 만들려고 하면, 각각의 측정치를 합하는데 어려움이 있으므로 본 논문에서는 피부색 정보를 단서로 이용하는 추적기 1과 얼굴 형태 정보를 단서로 이용하는 추적기 2를 따로 구성하였다.

추적기 1에서는 일반적인 CONDENSATION 알고리즘을 사용하여 이미지 내에서 피부색을 가진 영역을 추적한다. 그리고 컬러 모델 히스토그램을 이용하여, 측정 단계(measurement)를 수행한다. 추적기 1의 모든 단계가 끝나면 현재 프레임의 이미지 내에서 피부색을 갖는 픽셀의 분포를 나타내는 샘플들의 집합 $T_{Color} \sim \{s_t^{i, color}, \pi_t^{i, color}\}$ 를 갖게 된다.

추적기 1은 1장에서 소개한 얼굴 추적 시스템의 유형 중, 첫 번째 유형에 해당하는데, 이미지 내에는 피부색을 가지는 다양한 물체가 있을 수 있으므로, 피부색을 갖는 영역 전체를 얼굴 영역으로 설정을 한다면 정확히 얼굴 영역만을 분할하기가 어렵다. 따라서 얻어진 피부색 영역 내에서 형태 정보를 이용해서 정확한 얼굴의 위치를 탐색하기 위해서 추적기 2를 사용하게 된다.

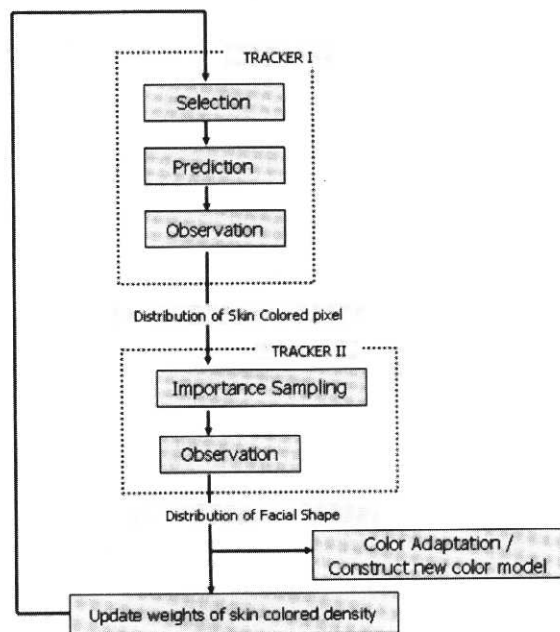
추적기 2에서는 추적기 1에서 구한 피부색의 분포를 importance function으로 사용하여, 이것으로부터 얼굴형태 정보를 추적하기 위한 샘플들을 생성해낸다. 일반적으로 얼굴은 이미지 전체에서 피부색이 분포한 영역 내에 위치하게

되므로, 이미지 전체가 아닌 피부색이 분포한 영역에서만 추적기 2의 샘플을 생성하는 방법은 합당하다고 할 수 있다. 얼굴 형태정보를 나타내기 위해서 아래위로 길쭉한 타원형의 형태모델을 정의하였으며, 이것을 CONDENSATION 알고리즘의 측정단계에서 사용하였다. 추적기 2의 모든 단계를 마치게 되면 이미지 내에서 얼굴 형태를 갖는 물체의 분포를 나타내는 샘플들의 집합인 $T_{Shape} \sim \{s_t^{i, shape}, \pi_t^{i, shape}\}$ 가게 된다.

이러한 과정들을 매 프레임마다 수행하게 되는데, 추적기 1의 선택 단계(selection)에서 실제 찾은 얼굴 영역 내에 있는 샘플들이 더 많이 선택되어야 하므로, 추적기 1의 샘플들 중 추적기 2에서 찾은 얼굴 영역 내에 있는 샘플들에게 더 높은 가중치를 부여한다. 이 과정과 추적기 2의 importance sampling 과정을 통해서 두 추적기는 서로 상호보완 작용을 하게 된다.

얼굴 추적 시스템의 자세한 구조는 (그림 1)에 나타나 있다.

그림에서 Color Adaptation으로 나타난 과정은 추적기 1에 사용되는 컬러 모델을 변하는 조명 조건에 적용하도록 해주는 과정으로써, 3.3절에서 설명한다.



(그림 1) 제안한 시스템의 구조

3.1 추적기 1

추적기 1은 CONDENSATION 알고리즘을 사용하여 피부색을 갖는 픽셀들을 추적한다. CONDENSATION 알고리즘을 사용하기 위해서는 상태 벡터(state vector)와 동적 모델, 그리고 측정방법을 정의해야 한다.

3.1.1 상태 벡터와 동적 모델

상태 벡터 s 를 이미지 평면상에서 픽셀의 위치로 정의하

고, $s_t^{i, color} = (s_x, s_y)$ 로 나타내었다. 여기서 t 는 프레임 넘버를 나타내고, i 는 현재 프레임에서의 i 번째 샘플을 나타낸다. 그리고 이전 프레임의 샘플의 위치로부터 현재 프레임의 샘플의 위치를 예측할 때 사용하는 동적 모델은 다음과 같이 정의하였다.

$$p(s_t^i | s_{t-1}^i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\|s_t^i - s_{t-1}^i\|^2}{\alpha^2}\right)$$

위 식에서 π 는 원주율이고 α 는 얼굴의 움직임 정도를 나타내는 값으로, 이 값이 클수록 prediction 과정에서 예상 범위가 더 커진다.

3.1.2 측정

서로 다른 사람의 피부색 분포가 컬러 공간에서 비슷한 분포를 갖는다는 것은 잘 알려진 사실이다[1]. RGB 표현 방법은 컬러정보뿐만 아니라 밝기 정보까지 포함하는데 밝기 정보는 조명조건에 따라서 쉽게 바뀔 수 있다. 따라서 밝기 정보를 제거하기 위해서 색도공간(chromaticity space)을 사용하였고, 이것은 다음과 같이 정의된다.

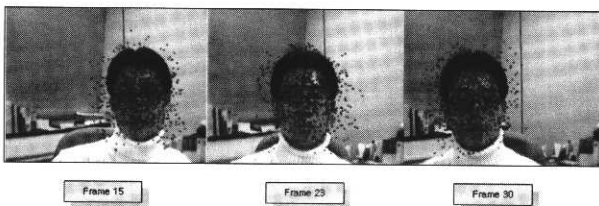
$$r = \frac{R}{(R + G + B)}$$

$$g = \frac{G}{(R + G + B)}$$

색도공간을 이용하여 피부색을 나타내는 2차원 컬러 히스토그램을 구성해 컬러 모델로 사용하였다. 측정 가중치 $\pi_t^{i, color}$ 는 그 샘플의 위치에 해당하는 픽셀의 컬러와 컬러모델 히스토그램의 유사도로부터 얻어진다. 즉, 예측한 샘플의 위치에 해당하는 픽셀의 컬러 값이 피부색과 비슷할수록 측정치는 더 높아지는 것이다.

3.1.3 추적기 1의 동작

(그림 2)는 각 프레임에 따라서 이미지 평면 내에서 샘플들이 얼굴의 움직임에 따라서 어떻게 이동하는지를 보여주고 있다. 매 프레임마다 2절에서 설명한 CONDENSATION 알고리즘 단계에 따라 진행되는데, 이전 프레임의 샘플분포로부터 샘플을 선택하여 현재 프레임의 샘플의 위치를 예측하고, 예측된 위치에서 위에서 설명한 방법으로 측정하여 가중치를 부여한다. 이 과정을 거치면 현재 프레임의 샘플의 분포를 구한 것이므로 다음 프레임에서 사용할 수 있게 된다.



(그림 2) 컬러샘플이동의 예

그러나 이 방법은 제한된 환경 내에서는 컬러 샘플들이 피부색 영역을 잘 추적하고 있지만 이미지 내에 피부색을 갖는 다른 물체가 나타나면, 추적하고 있던 얼굴을 놓칠 수도 있다. 따라서 형태정보를 같이 사용할 필요가 있다.

3.2 추적기 2

앞서 말했듯이 추적기 2는 추적기 1에서 구한 피부색의 확률분포를 importance function으로 사용하여 그것으로부터 샘플을 생성해 낸다. 추적기 1과 마찬가지로 상태벡터, 동적 모델, 측정방법을 정의할 필요가 있다.

3.2.1 상태 벡터와 동적 모델

상태벡터 s 를 이미지 평면상에서 형태 템플릿(template)의 중심의 좌표로 정의했고, 이것은 $s_t^{i, shape} = (s_x, s_y)$ 으로 나타내어진다. 여기서 t 는 프레임 넘버를 나타내고, i 는 현재 프레임에서의 i 번째 샘플을 나타낸다. 동적 모델은 추적기 1과 같이 정의된다.

3.2.2 샘플의 생성

추적기 1은 이전 프레임의 샘플분포로부터 현재 프레임의 샘플들을 생성하였다. 그러나 추적기 2에서는 피부색의 분포 $g_{Color} \sim \{s_t^{i, color}, \pi_t^{i, color}\}$ 를 importance function으로 사용하였다. 따라서 추적기 2는 이것으로부터 샘플을 생성해내고 각 샘플의 가중치는 importance function방법의 정의에 따라서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi_t^{i, shape} = \frac{f_{t, shape}(s_t^{i, shape})}{g_{t, color}(s_t^{i, color})} p(Z_t | x_t, shape = s_t^{i, shape})$$

여기서,

$$f_{t, shape}(s_t^{i, shape}) = p(x_t = s_t^i | Z_{t-1})$$

$$= \sum_{j=1}^N \pi_{t-1}^{j, shape} p(x_t = s_t^i | x_{t-1} = s_{t-1}^j)$$

(그림 3)은 추적기 1의 샘플들의 분포에서 추적기 2의 샘플들을 어떻게 생성하는가를 보여주고 있다. (그림 3.1)은 원본 이미지를 나타내고 (그림 3.2)에 있는 작은 점들은 importance function으로 사용되는 추적기 1의 샘플들을, 그리고 크고 밝은 점들은 추적기 1의 샘플들 중에서 추적기 2의 샘플로 선택된 샘플들이다. (그림 3.3)에서, 추적기 2의 샘플로 선택된 위치에 해당하는 얼굴 형태 템플릿을 나타내었다.

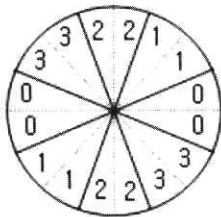


(그림 3) 컬러샘플의 분포로부터 얼굴형태 샘플의 생성

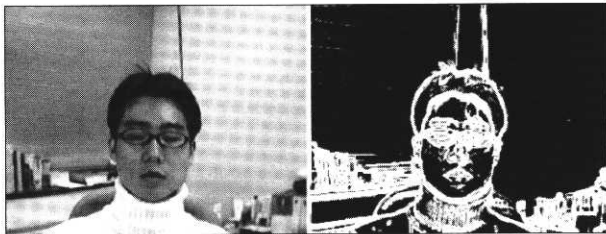
3.2.3 측 정

추적기 2에 CONDENSATION 알고리즘을 적용하기 위해서 importance function으로부터 생성한 각 샘플들에 대해서 가중치를 측정하고 계산해줘야 한다. 얼굴 형태모델을 정의하기 위해서 B-spline을 이용하였다. 형태모델은 일반적으로 사람의 얼굴 형태가 타원형을 가진다는 특성에 따라, N=100개의 컨트롤 포인트를 가지는 타원 모양의 모델로 구성하였다.

잡음감소(noise reduction)와 모서리 국소화(edge localization) 사이에는 피할 수 없는 절충이 존재한다. Canny 모서리 검출기는 흰 잡음(white noise)에 의해서 붕괴된 계단형 모서리들을 위하여 최적화된다는 것이 발견되었다. (그림 4)에 나타내었듯이 캐니 모서리 검출기(Canny Edge Detector)는 네 개의 방향으로 나타내어지는 외곽선 특징을 구해준다. 그리고 (그림 5)는 원본 이미지와 캐니 모서리 검출기로 구한 외곽선 이미지를 나타낸다.



(그림 4) 캐니 외곽선 탐지기



(그림 5) 원본이미지와 외곽선 이미지

원본 이미지의 외곽선 이미지와 타원 모양 모델을 이용하여 측정과정을 수행한다. 정교한 측정 방법이 Nishihara [9]에 의해서 제안되었는데, 이 방법은 형태 템플릿 외곽선에서의 큰 경사도 값(gradient magnitude)뿐만 아니라 경사도 방향(gradient direction)이 외곽선과 수직일 경우에 더 큰 가중치를 부여한다. 이 방법으로 측정을 수행했을 때의 측정값은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$p(z_i | x_i = s_i^{shape, i}) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N |n(k) \cdot d(k)|$$

여기서 $n(k)$ 는 타원의 k 번째 컨트롤 포인트에서의 노멀 벡터를 나타내고, $d(k)$ 는 이미지 평면 상에서 k 번째 컨트롤 포인트의 위치에 해당하는 픽셀의 방향벡터를 나타낸다. N

은 컨트롤 포인트의 총 개수를 나타내며, \cdot 는 내적을 나타낸다. $n(k)$ 는 얼굴의 형태 모델을 정의할 때 정의되고, $d(k)$ 는 캐니 외곽선 탐지기로부터 얻을 수 있다.

이러한 측정방법에 의해서 각 샘플의 가중치는 이미지 평면상에서 그 샘플의 형태 템플릿의 각 컨트롤 포인트에 해당하는 픽셀에 외곽선이 존재하며, 각 컨트롤 포인트에서의 방향이 그것에 해당하는 이미지 평면상에서 픽셀의 방향과 유사할 경우에 더 큰 값을 갖게 되는 것이다.

모든 얼굴형태 샘플들에 대해서 가중치를 구한 후, 가중치의 값이 가장 큰 10개의 샘플들의 위치의 평균값을 취하여 최종적인 얼굴의 위치를 결정하게 된다.

추적기 1과 추적기 2 각각의 역할과 특징을 요약한 내용을 <표 1>에 나타내었다.

<표 1> 추적기 1과 추적기 2의 특징

	추적기 1	추적기 2
역할	이미지 내에서 피부색을 갖는 영역을 찾는다.	피부색을 갖는 영역에서 샘플을 생성하여 얼굴 형태를 갖는 물체의 분포를 찾는다.
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 이미지 내의 컬러 픽셀의 위치를 상태벡터로 사용 • 피부색을 모델링한 컬러 히스토그램을 이용하여 측정(measurement)을 수행 	<ul style="list-style-type: none"> • 이미지 내에서 형태 템플릿의 중심의 좌표를 상태벡터로 사용 • 외곽선 이미지를 구하여 형태 템플릿과의 유사도로 측정을 수행
장점	추적기 2에서 구한 얼굴 영역 내에 있는 샘플들에 더 높은 가중치를 부여함으로써 추적기 1의 정보만을 사용할 때 보다 추적의 안정성을 높임	추적기 1에서 구한 피부색을 갖는 픽셀의 분포로부터 샘플을 생성함으로써 불필요한 샘플의 생성을 막고, 추적의 안정성을 높임

3.3 적응 컬러 모델

고정된 컬러 모델을 사용하는 경우 갑작스런 조명 조건의 변화로 추적하고 있는 얼굴의 컬러에 변화가 생기는 경우, 얼굴 추적에 실패하는 경우가 일어날 수 있다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 조명 조건에 따라서 변하는 적응 컬러 모델을 사용할 필요가 있다.

사용된 아이디어는 간단하다. 얼굴 추적에 사용했던 CONDENSATION 알고리즘과 importance sampling 방법을 그대로 사용하였다. 다른 점은 이 방법들을 사용하여 사람의 얼굴을 추적하는 것이 아니라 추적되고 있는 얼굴의 피부색에 해당하는 컬러의 컬러공간에서의 분포를 추적하는 것이다. 얼굴 추적의 초기 단계에서는 2.1.2에서 제시한 것처럼 오프라인에서 구성한 일반적인 컬러 모델을 사용하여 추적기 1의 측정을 수행하고, 이후에는 추적되고 있는 얼굴의 피부색에 맞는 적응 컬러 모델을 구성하여 그것을 추적기 1의 측정에 사용한다.

이 방법을 사용하기 위해서는 앞서와 마찬가지로 상태벡터, 측정방법, 샘플링 방법 등을 정의할 필요가 있다. 상태벡터는 다음과 같이 정의된다.

$$s_t^{i, ColorModel} = (s_r, s_g)$$

여기서 (s_r, s_g) 는 색도 공간상에서의 컬러값의 위치를 나타낸다.

매 프레임의 컬러 적응 단계에서 샘플은 importance function으로부터 선택된다. 여기서 importance function은 다음과 같이 정의된다.

$$g(s_t^{i, ColorModel}) = Color(s_r, s_g)_{of} s_t^{i, color}(s_x, s_y)$$

여기서 $(x, y) \in face_region$ 을 나타낸다. 즉, importance function은 추적기 2에서 구한 얼굴 영역 내에 있는 추적기 1의 샘플들의 컬러의 색도공간상에서의 분포를 나타낸다. 적응 컬러 모델은 현재 추적하고 있는 얼굴의 컬러에 맞춰 변화해야 하므로, 현재 프레임에서 추적한 얼굴 영역 내에 있는 픽셀들을 importance function으로 사용하는 것은 타당하다.

(그림 6)이 앞서 설명한 내용을 잘 나타내어 주고 있다. (그림 6.1)은 이전 프레임에서 구한 컬러모델의 분포이고, (그림 6.2)는 현재 프레임의 얼굴이미지로부터 importance function을 구하는 과정을 나타낸다. 그리고 (그림 6.3)의 우측 그래프는 (그림 6.2)로부터 샘플을 취하여 구한 현재 프레임의 컬러모델 분포이고, 좌측 그래프는 일반적인 컬러 모델을 나타낸다.

이 때, 선택한 샘플에 대한 가중치는 2장에서 나타낸 importance sampling방법에 의해 다음과 같이 나타내어진다.

$$\pi_t^{i, ColorModel} = \frac{f(s_t^{i, ColorModel})}{g(s_t^{i, ColorModel})} p(Z_t | x_t = s_t^{i, ColorModel})$$

$$f(s_t^{i, ColorModel}) = p(x_t = s_t^{i, ColorModel} | Z_{t-1})$$

$$= \sum_{j=1}^N \pi_{t-1}^{j, ColorModel} p(x_t = s_t^{i, ColorModel} | x_{t-1} = s_{t-1}^{j, ColorModel})$$

그리고 측정치의 계산은 다음과 같이 나타낸다.

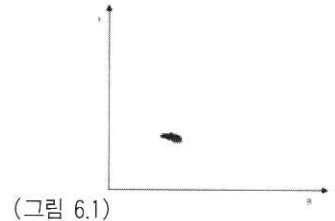
$$p(Z_t | x_t = s_t^{i, ColorModel}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\alpha}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\|s_t^{i, colorModel} - \mu\|^2}{\alpha^2}\right)$$

여기서, μ 는 일반적인 컬러 모델의 평균(mean)을 나타내고, α 는 일반적인 컬러 모델의 분산(variance)를 나타낸다. 이것은 선택된 샘플의 가중치가 오프라인에서 구성해 놓은 일반적인 컬러 모델의 평균과 가까울수록 더 큰 값을 갖게 한다는 것을 의미한다. 이렇게 하는 이유는 지금 추적하고 있는 얼굴의 컬러 분포가 일반적인 컬러 모델과 너무 동떨어져서 얼굴 색과는 전혀 다른 색으로 발산하게 되는 것을 막기 위한 것이다.

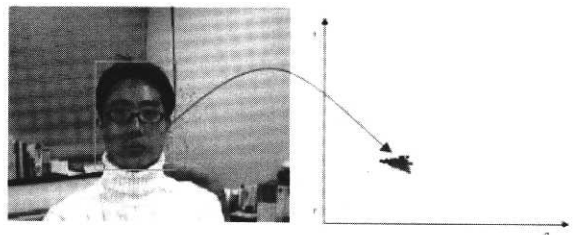
설명한 것처럼, 새로운 프레임에서 모든 상태벡터 $s_t^{i, ColorModel}$ 와 가중치 $\pi_t^{i, ColorModel}$ 를 구한 후에, 이 상태벡터와 가중치로 정의되는 확률분포로부터 샘플을 선택하여 현재 프레임의 얼굴색에 적용된 컬러 모델을 구성한다.

요약하면, 이 방법은 매 프레임마다 추적되고 있는 얼굴영역 내에서 추적기 1의 샘플들의 컬러 픽셀을 선택하고, 선택된 픽셀의 컬러 값 중에서 일반적인 컬러 모델의 평균과 가까운 컬러 값들로 새로운 컬러의 분포를 만들어서 적응 컬러 모델을 구성하는 것이다.

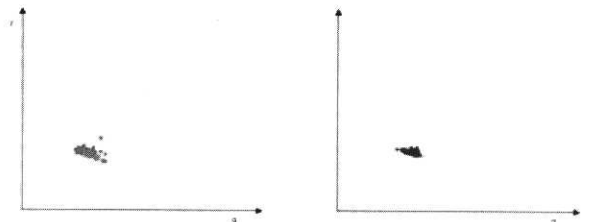
이 방법은 Jang[3]이 제안한 컬러 적응 모델과는 다르다. 그들의 방법은 CONDENSATION 알고리즘을 이용하여 추적과정 비슷하게 근사한 것인 반면, 이 방법은 CONDENSATION 알고리즘과 importance sampling방법을 적용하여 컬러 분포를 정식으로 추적하고 있는 것이다.



(그림 6.1)



(그림 6.2)



(그림 6.3)

(그림 6) 찾은 얼굴 영역과 색도 공간에서 컬러 분포의 변화

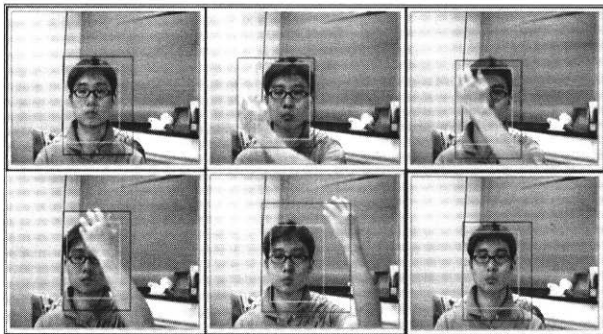
4. 실험 및 고찰

제안된 방법은 320×240의 입력 이미지 크기를 사용하여 P3-800MHz의 성능을 가지는 PC에서 실험되었다. DVR과 연동하여 얼굴을 추적하는 실험을 수행하고 있으므로, DVR에 사용되는 WDVR-430B grabber board를 사용하여 PC Camera로부터 이미지 데이터를 캡처하였다. 이 보드는 초당

10프레임을 캡처하는데, 제안한 시스템은 초당 8프레임의 성능을 보여주었다. 2 프레임 정도의 처리 시간 지연이 있지만, 더 뛰어난 성능의 grabber board를 사용한다면 더 나은 성능을 보이리라는 것을 예상할 수 있다.

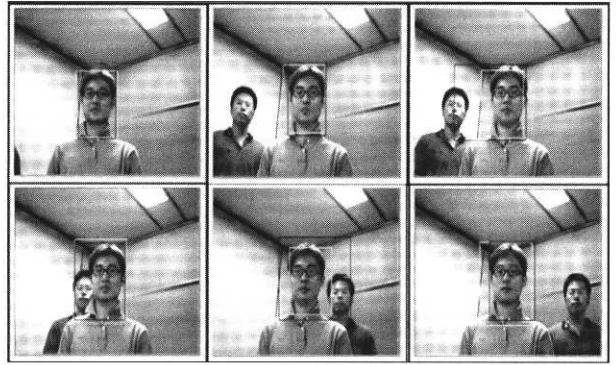
제안된 시스템의 성능을 보여주기 위해서 다양한 환경에서 몇 가지 실험을 진행하였다. 각 실험의 결과를 나타낸 그림들에서 피부색 정보만을 사용했을 때의 결과와 얼굴 형태정보를 같이 사용했을 때의 결과를 비교하기 위해서 피부색만을 이용해서 추적한 얼굴 영역은 짙은 색 사각형으로, 얼굴 형태정보를 같이 사용한 결과는 옅은 색 사각형으로 나타내었다.

(그림 7)은 이미지 내에 얼굴과 피부색을 가지는 다른 물체(여기서는 손)가 존재할 때 제안된 시스템이 얼굴 영역을 잘 추적하는 가를 보여주는 실험 결과이다. 손이 이미지 내에서 움직이면서 얼굴로부터 샘플들을 빼앗아 가려고 하지만 실패하는 과정을 볼 수 있다. 그림에서 보듯이 손이 이미지 영역 내에 존재할 때 피부색 영역만을 이용한 결과를 나타내는 사각형의 크기는 손의 움직임에 따라서 확장되지만 얼굴 형태정보를 같이 사용한 결과를 나타내는 사각형은 손의 움직임에 상관없이 얼굴 영역만을 잘 따라가는 것을 볼 수 있다. 만약 형태정보를 사용하지 않고 피부색 정보만을 사용했다면 추적기가 얼굴이 아니라 손을 따라가 버리는 결과가 발생할 수도 있었을 것이다.



(그림 7) 이미지 영역 내에 피부색을 가지는 다른 물체가 나타났을 때의 실험결과

(그림 8)은 이미지 내에 추적 대상이 아닌 다른 얼굴이 나타났을 때의 실험을 보여주고 있다. 이 실험에서도 새로운 얼굴이 추적되고 있던 얼굴로 접근함에 따라 피부색 정보만을 이용한 얼굴 영역 사각형은 확장되지만, 형태정보를 같이 사용한 결과를 나타내는 사각형은 원래 추적하고 있던 얼굴 영역을 잘 분할하고 있음을 확인할 수 있다. 새로 나타난 얼굴도 타원형의 형태를 가지고 있으므로, 형태정보를 이용하는 추적기 2에서 높은 가중치를 받을 것 같지만, 원래 추적하고 있던 대상과 얼굴의 크기가 다르기 때문에 높은 가중치가 부여되지 않는다. 따라서 제안된 시스템은 추적 대상을 잘 추적하고 있다.



(그림 8) 이미지 영역 내에 다른 얼굴이 나타났을 때의 실험결과

(그림 9)는 제안된 시스템이 복잡한 배경 앞에서도 추적 대상을 잘 추적하고 있음을 보여준다. 실제로 그림과 같은 배경에서 예지 이미지는 상당히 복잡하게 나오는데, 만약 컬러 정보를 사용하지 않고 형태 정보만을 이용했다면, 추적기는 복잡한 배경에 높은 가중치를 부여하여 대상의 추적에 실패할 수도 있었을 것이다.



(그림 9) 복잡한 배경 앞에서의 실험결과

실험결과를 바탕으로 1장에서 소개한 다른 유형의 얼굴 추적 시스템들과 제안한 얼굴 추적 시스템의 성능을 비교한 결과를 <표 2>에 나타내었다. 성능은 각 실험 조건에 대해서 안정된 결과를 나타내면 ○으로 표현하고, 안정된 결과를 보이지 않을 때는 ×로 표현하였다. 제안한 방법은 모든 실험 조건들에 대해서 안정된 결과를 보임을 알 수 있다.

<표 2> 다른 얼굴 추적 시스템들과의 성능 비교

	피부색 물체 존재	급격한 조명 변화	복잡한 배경
컬러정보이용	×	×	○
컬러적응방법이용	×	○	○
형태정보이용	○	○	×
컬러와 형태정보 이용	○	×	○
제안한 방법	○	○	○

5. 결 론

본 논문에서는 CONDENSATION 알고리즘과 importance sampling 방법에 근거하여 피부색 정보와 얼굴의 형태 정보를 단서로 사용한 얼굴 추적 시스템을 제안하였다. 컬러와 형태정보를 가중치로 이용한 얼굴 추적 시스템은 이미 제안되었지만, 본 논문에서는 각각의 정보를 단서로 사용하는 두 개의 추적기를 사용하여 두 추적기가 서로 상호보완 작용을 하도록 하였으며, 샘플링의 범위를 줄여 성능의 향상을 가져오기 위해서 importance sampling을 사용하였다.

또한 갑작스런 조명변화에 의한 피부색의 변화에 적응하기 위하여 CONDENSATION 알고리즘과 importance sampling 방법을 이용한 적응 컬러 모델을 제안하였다.

여러가지 조건에 대해서 실험해 본 결과, 복잡한 배경, 피부색의 물체가 이미지 내에 존재하는 경우, 다른 얼굴이 이미지 내에 존재하는 경우 모두에 대해서 다른 얼굴 추적 시스템들과 비교했을 때 좋은 성능을 보여 주었다.

참 고 문 헌

[1] J. Yang, A. Waibel, "A Real-Time Face Tracker," Proceeding of WACV, pp.142-147, 1996.

[2] Richard J. Qian, M. Ibrahim Sezan, and Kristine E. Matthews, "A Robust Real-Time Face Tracking Algorithm," International Conference on Image Processing, pp.31-135, 1998.

[3] Gi-jeong Jang and In-So Kweon, "Robust Real-time Face Tracking Using Adaptive Color Model," International Symposium on Mechatronics and Intelligent Mechanical System for 21 Century, Changwon, Korea, 2000.

[4] Yogesh Raja, Stephen J. McKenna and Shaogang Gong, "Colour Model Selection and Adaptation in Dynamic Scenes," 5th European Conference on Computer Vision, pp.460-474, 1998.

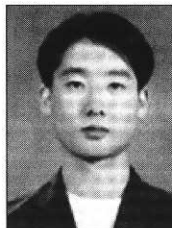
[5] Stan Birchfield, "An Elliptical Head Tracker," Proceeding of the 31st Asilomar Conference on signals, Systems and Computers, pp.1710-1714, 1997.

[6] Stan Birchfield, "Elliptical Head Tracking Using Intensity Gradients and Color Histograms," Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, pp.232-237, 1998.

[7] M. Isard, A. Blake, "CONDENSATION-Conditional Density Propagation for Visual Tracking," International Journal of Computer Vision, Vol.29, No.1, pp.5-28, 1998.

[8] M. Isard A. Blake, "CONDENSATION : Unifying Low-Level and High-Level Tracking in a Stochastic Framework," Proceeding of European Conference on Computer Vision, pp.767-781, 1998.

[9] H. K. Nishihara, "Real-time tracking of People Using Stereo and Motion," Proceeding of SPIE, pp.266-273, 1994.



이 형 수

e-mail : sooz@postech.ac.kr
 2001년 경북대학교 전자전기공학부(학사)
 2003년 포항공과대학교 컴퓨터공학과
 (석사)
 2003년~현재 포항공과대학교 컴퓨터
 공학과 박사과정
 관심분야 : 패턴인식, HCI 등