자가 미소 훈련을 위한 자동 미소 분석 시스템

송원창[†], 강선경^{††}, 정성태^{†††}

요 약

본 논문에서는 사용자가 스스로 미소 훈련을 할 수 있도록 자동으로 미소를 분석하는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 입력 영상으로부터 AdaBoost 알고리즘을 통해 얼굴 영역을 검출한 다음, ASM(active shape model)을 이용하여 생성된 얼굴 형태 모델을 이용하여 얼굴의 특징을 찾는다. 얼굴 특징을 찾은 다음에는 미소 분석에 필요한 입술 라인과 개별 치아 영역을 추출한다. 미소의 정도를 분석하기 위해 입술 라인과 치아와의 관계 판별이 필요한데, 이를 위해 치아 영상에 대해 2차 미분을 실행한 후, 세로축과 가로축에 히스토그램 프로젝션 방법을 이용하여 개별적인 치아 영역을 찾는다. 입술 라인과 개별 치아 영역에 대한 분석을 통해 사용자의 미소 정도를 자동으로 분석하고 결과를 실시간으로 사용자가 직접 확인할 수 있게 해 준다. 본 논문에서 개발된 시스템은 기존에 치과 병원에서 이루어진 미소 훈련을 위한 미소 평가 결과와 8.6% 이하의 오차를 보였으며 사용자가 혼자서도 미소를 훈련하는데 활용할 수 있는 것으로 분석되었다.

An Automatic Smile Analysis System for Smile Self-training

Won-Chang Song[†], Sun-Kyung Kang^{††}, Tae-Sung Jung^{†††}

ABSTRACT

In this study, we propose an automated smile analysis system for self smile training. The proposed system detects the face area from the input image with the AdaBoost algorithm, followed by identifying facial features based on the face shape model generated by using an ASM(active shape model). Once facial features are identified, the lip line and teeth area necessary for smile analysis are detected. It is necessary to judge the relationship between the lip line and teeth for smiling degree analysis, and to this end, the second differentiation of the teeth image is carried out, and then individual the teeth areas are identified by means of histogram projection on the vertical axis and horizontal axis. An analysis of the lip line and individual the teeth areas allows for an automated analysis of smiling degree of users, enabling users to check their smiling degree on a real time basis. The developed system in this study exhibited an error of 8.6% or below, compared to previous smile analysis results released by dental clinics for smile training, and it is expected to be used directly by users for smile training.

Key words: Smile Training, Automatic Smile Analysis, Active Shape Model

1. 서 론

사회적 경제 발전과 더불어 삶의 질이 높아짐에

따라 현대사회에서는 미(美)의 관심이 높아지고 있다. 미의 종류 중 사람의 체형에 직접관련 되는 미는 성형 기술을 이용해 바뀌어 질수 있지만 내면의 아름다움

※ 교신저자(Corresponding Author): 정성태, 주소: 전북 익산시 신용동 344-2 원광대학교 공대 5103호(570-749), 전화: 063)850-6886, FAX: 063)856-8009, E-mail: stjung@wku.ac.kr

접수일: 2011년 6월 23일, 수정일: 2011년 8월 19일

완료일: 2011년 9월 27일

[†] 준회원, 원광대학교 컴퓨터공학과
(E-mail: colorart@wku.ac.kr)

^{††} 정회원, 원광대학교 컴퓨터공학과
(E-mail: doctor10@wku.ac.kr)

^{†††} 종신회원, 원광대학교 컴퓨터공학과, 원광대학교 부설
공업기술개발연구소 연구위원
(E-mail: stjung@wku.ac.kr)

※ “이 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임” (지역거점연구단육성사업/헬스케어기술개발사업단)

다음과 관련된 미인 미소는 성형을 이용하여 바뀌어 지기는 힘들다. 사람의 미소는 첫 인상을 좌우 하는 중요 요소 중 하나이다. 그리고 기분 좋은 미소는 상대방에게 상냥함을 나타내며 상대방에 대한 관심을 내보이는 수단이 되기도 한다.

자연스럽고 매력적인 미소는 개개인의 얼굴 모습과 개성을 평가 하는데 도움을 줄 수 있으며, 매력적인 미소는 좋은 첫 인상을 만드는데 중요한 역할을 한다[1,2]. 이러한 이유로 평소 잘 웃지 않거나, 미소가 자연스럽게 못한 경우 미소를 잘 짓도록 하는 훈련에 대한 필요성이 대두되고 있다. 미소 훈련을 통하여 얻을 수 있는 또 다른 장점은 안면근의 긴장과 조절이다[3]. 미소 훈련을 많이 하면 미소를 짓지 않은 경우에도 입꼬리의 처짐을 방지하여 전체적인 표정을 증진시켜 주며 얼굴이 항상 생기 있고 생명력 있게 보이게 하는 효과를 얻을 수 있다[4,5]. 윤민의 [14]는 아름다운 미소의 기준을 제시하였는데 입꼬리가 치켜 올라가고 상순이 상악 전치의 치경부에 위치하며 하순과 상악 전치 절단면이 서로 평행하고 하순이 상악 전치를 덮지 않고 미소시 제1대구치까지 보이는 경우라고 하였다. Gibson[3]은 결함이 있는 미소를 가진 환자들에게 근육훈련을 통한 미소 연습을 실시하면 좋은 결과를 가져올 수 있다고 하였다. 김현성[5]은 개인의 인성과 미소의 관계에 대한 연구에서 남자의 경우는 성격이 미소의 미적 수준에 영향을 적게 끼쳤으나 여자의 경우는 성격이 미소의 미적수준에 영향을 많이 끼치는 경향을 보인다고 하였다. 김정희[4]는 미소 훈련의 효과를 알아보기 위해 Gibson이 고안한 미소 훈련법을 교습하여 2주 후와 4주 후의 미소 평점을 비교 분석한 결과 각각 훈련 전의 미소 평점에 비하여 높게 나타났고 미소의 효과를 체험 하였다고 하였다.

이와 같이 현대 사회에서는 많은 사람들이 좋은 미소를 짓기 위해 노력하고 있다. 좋은 미소를 짓기 위한 방법으로는 사용자가 직접 스스로 기구를 이용하여 훈련 하는 방법과 병원에 직접 찾아가 의사의 도움을 받아 수동적으로 훈련받는 방법으로 나누어져 있다. 사용자가 스스로 하는 방법 중에는 입에 물고 미소 짓는 훈련을 할 수 있도록 해주는 미소 훈련기를 사용하는 방법이 있다[6]. 또 다른 방법으로는 미소선이 표시된 거울을 사용하여 미소 짓는 훈련을 하는 방법이 있다[7]. 이는 단순히 보고 따라함으로써

써 그 미소가 제대로 된 미소인지 아직 미완성의 미소인지 확인할 수 없는 단점이 있다. 그리고 수동적인 방법으로는 미소 클리닉 병원에 직접 찾아가 의사에게 진단 받고 주기적으로 훈련을 받아 좋은 미소가 지어질 때까지 치료를 받는 훈련 방법이 있다. 이 방법은 어떤 것이 좋은 미소인지를 의사가 직접 알려줌으로써 잘 못된 미소를 훈련하게 되는 오류를 범하지 않게 된다. 하지만 병원에 직접 찾아가서 의사에게 진료를 받아야 되므로 시간과 돈의 투자가 많이 드는 단점이 있다.

본 논문에서는 컴퓨터를 이용하여 사용자가 스스로 미소 훈련을 할 수 있도록 자동으로 미소를 분석하고 평가해서 피드백 할 수 있는 시스템을 제안한다. 그림 1에는 제안된 미소 분석 시스템의 구성도가 나타나 있다. 자동 미소 분석 시스템은 얼굴 형태 모델 학습, 얼굴 특징 검출, 미소 분석 및 평가로 구성되어 있다. 얼굴의 특징을 검출하기 위해 입력된 영상으로부터 AdaBoost 알고리즘을 이용하여 얼굴을 검출한다. 검출된 얼굴 영상에 대하여 ASM 기반으로 학습된 얼굴 형태 모델을 이용하여 얼굴의 특징(얼굴 윤곽, 눈, 눈썹, 코, 입, 입술 등)을 검출한다. 미소 분석과 미소 평가를 하기 위해서 입술영역에서 다시 치아 영역을 검출하고, 검출된 치아 영역과 입

그림 1. 제안된 시스템 구성도

술 라인의 관계[8]를 이용하여 미소를 분석하고 평가하여 결과를 사용자에게 실시간으로 보여주게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 얼굴 특징 검출 할 수 있는 ASM을 이용하여 랜드마크를 추출하여 얼굴 특징 검출 과정에 대해서 기술하고, III장에서는 얼굴 특징 영역에서 입 영역을 추출하여 입술 라인과 개별 치아 검출에 대해 설명한다. IV장에서는 검출한 입술 라인과 미소 분석 및 평가를 하고, V장에서 실험 결과와 분석을 제시한다. 마지막 VI장에서는 결론을 내린다.

2. 얼굴 특징 검출

2.1 능동 형태 모델

본 논문에서 사용하는 능동 형태 모델은 객체의 윤곽 정보를 기존의 학습된 모델들의 통계적인 특성을 바탕으로 보다 효과적으로 추출하는 방법으로, 가변적인 형태를 가지는 물체를 영상에서 찾는데 널리 사용된다[9,10]. 능동 형태 모델을 사용하기 위해서는 먼저 형태에 대한 학습 데이터가 필요하다. 본 논문의 학습 데이터는 촬영된 영상에 대해 수작업으로 얼굴의 특징에 대한 랜드마크를 표시하여 구축하였다. 랜드마크의 수는 그림 2와 같이 86개로 설정하였으며 얼굴의 윤곽과, 눈, 눈썹, 코, 입술을 표현하였다. 얼굴 특징 형태를 이루는 랜드마크 86개의 번호는 얼굴 윤곽 0-14번, 우측 눈썹 15-20번, 좌측 눈썹 21-26번, 좌측 눈 27-35, 우측 눈 36-44번, 코 45-59번, 입과 입술은 60-84번으로 지정하였다.

랜드마크가 표시된 영상들에 대해서는 각 랜드마크

그림 2. 86개의 랜드마크로 구성된 얼굴 모델

크에 해당하는 영상의 좌표 값을 포함하는 파일을 생성하였다. 이렇게 학습할 영상과 랜드마크의 좌표 정보가 주어지면 능동 형태 모델 학습 알고리즘을 통해 학습을 수행하여 얼굴 특징에 대한 능동 형태 모델을 생성하게 된다. 능동 형태 모델은 형태 모델과 프로파일 모델로 구성되어진다. 능동 형태 모델은 다음과 같은 방법으로 구한다. 얼굴 특징 표현은 식 (1)과 같이 얼굴 특징 경계면을 따라 86개의 좌표 벡터로 표현할 수 있다.

$$X_i = [x_1, y_1, \dots, x_n, y_n]^T \quad (1)$$

학습 영상에 있는 얼굴 특징 형태는 크기와 방향 등이 다양하기 때문에 이들을 대표하는 하나의 모델을 구성해야 된다. 이를 위해 유사한 크기, 방향을 가지며 무게중심의 좌표가 동일하도록 확대/축소, 이동, 회전등을 통해 변환하는 선형 기하학적 변환에 의한 정규화가 필요하다. 정규화한 벡터들의 평균 벡터는 식 (2)를 이용하여 구하며, 각 훈련 영상에 대한 벡터들의 평균 벡터로부터 얼마나 벗어나 있는지를 구하는 변위 벡터는 식 (3)으로 구한다.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad (2)$$

$$dX_i = X_i - \bar{X} \quad (3)$$

변위 벡터들을 구한 다음에는 이들의 공분산 행렬을 식 (4)와 같이 구한다.

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N dX_i dX_i^T \quad (4)$$

공분산행렬을 구한 다음에는 공분산 행렬에 대하여 식 (5)를 만족하는 고유 벡터와 고유 값을 구한다. 이 식에서 P_i 는 고유벡터이고 λ_i 는 고유값이며, $\lambda_i \geq \lambda_{i+1}$ 이 만족되도록 고유값을 정렬한다.

$$SP_i = \lambda_i P_i \quad (5)$$

각 훈련 영상들의 얼굴 특징 형태는 고유벡터를 이용하여 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$X = \bar{X} + Pw \quad (6)$$

여기에서 $P = (P_1, P_2, \dots, P_k)$ 는 앞에서부터 k 개의 고유벡터이고 $w = (w_1, w_2, \dots, w_k)^T$ 는 각 고유 벡터의 가중치를 나타내는 벡터이다. 고유 벡터의 가중치에 따라 얼굴 형태가 달라지는데, 고유값 λ_i 는 고유 벡터

P_i 방향으로 학습 데이터가 분포하는 분산을 나타낸다. 정규 분포의 경우 대부분의 데이터는 표준편차의 3배 이내에 분포하므로 가중치는 식 (7)과 같은 범위 내의 값을 가질 수 있도록 계산한다.

$$-3\sqrt{\lambda_i} \leq \omega_i \leq 3\sqrt{\lambda_i} \quad (7)$$

이와 같이 학습 영상에 대한 얼굴 특징 형태로부터 학습을 통하여 얼굴 특징이 가질 수 있는 허용 가능한 형태 모델을 생성하게 된다. 다음으로 프로파일 모델은 각 랜드마크에 대하여 생성된다. 프로파일은 랜드마크 주위의 영상이 어떤 모습인지를 나타내는 것으로서, 여러 가지 표현 방법이 있지만 본 논문에서는 그림 3과 같이 랜드마크에서 형태 경계에 수직인 선을 따라 샘플링된 화소 변화 값의 1차원 벡터를 사용한다. 학습 영상의 랜드마크마다 프로파일 벡터 g 를 구하고 전체 학습 영상에 대해 평균 프로파일 벡터 $\bar{g}$ 를 구한다. 그리고 프로파일 벡터들의 공분산 행렬 S_g 를 구함으로써 프로파일 모델을 생성할 수 있다.

그림 3. 프로파일 생성을 위한 검사 영역

2.2 얼굴 영역 검출 및 특징 검출

본 논문에서는 먼저 얼굴 특징을 검출하기 위해 입력 영상으로부터 Viola와 Jones에 제안된 AdaBoost 알고리즘을 사용하여 얼굴 영역을 검출하였다[11-13]. AdaBoost 얼굴 검출 알고리즘은 지금까지 다른 방법에 비해 뛰어난 성능으로 인해 최근 여러 분야에서 널리 응용되고 있다.

얼굴 영역을 검출한 후, 다음에는 검출된 얼굴 영상위에 학습부에서 구한 평균 얼굴 형태를 위치시킨다. 검출된 얼굴 영상의 크기나 방향이 평균 얼굴 형

태의 크기와 방향이 다를 수 있으므로 확대/축소 변환과 회전 변환을 적용한다. 이렇게 위치시킨 얼굴 형태를 시작으로 형태를 변화시켜 가면서 영상의 얼굴 특징과 부합되는 얼굴 형태를 찾는다. 탐색된 얼굴 형태의 변화가 일정 수준 이하가 되면 탐색을 멈추게 된다. 한 형태로부터 변화된 새로운 형태를 탐색하기 위해서는 각 랜드마크에 대해 경계선에 수직인 선을 따라 랜드마크를 이동시켜가면서 각 위치에서 2.1절의 프로파일모델의 벡터 g 를 구하고 프로파일 모델과 가장 유사한 위치를 찾는다. 어느 위치에서의 프로파일 벡터가 프로파일 모델과 유사한지는 프로파일 모델의 평균 프로파일 벡터 $\bar{g}$ 와 공분산 행렬 S_g 를 사용하여 식 (8)과 같이 마할나노비스 거리를 이용하여 구한다.

$$Mahalanobis \text{ 거리} = (g - \bar{g})^T S_g^{-1} (g - \bar{g}) \quad (8)$$

프로파일 모델을 이용하여 각 랜드마크를 이동시킴으로서 새로운 형태를 생성한다. 그러나 새로운 형태는 각각의 랜드마크를 개별적으로 움직여서 생성된 형태이므로 일부 랜드마크는 불안정한 위치에 올 수 있다. 따라서 형태 모델을 사용하여 새로운 형태가 학습된 형태 범위 내에 있도록 형태를 조절해 나간다. 랜드마크를 움직여서 생성된 형태를 X 라 할때, X 를 근사하는 형태를 학습된 형태모델로부터 구할 수 있다. 반복적인 방법으로 식 (9)의 값을 최소화하는 T 와 w 를 구함으로써 X 를 근사화하는 형태 $\hat{X} = T(\bar{X} + Pw)$ 를 구한다. T 는 형태 모델을 입력 영상의 형태 공간으로 사상하는 변환이다. 이렇게 구한

(a) 무표정 영상

(b) 웃음 표정 영상

그림 4. 얼굴 특징 검출 결과 예

형태 $\hat{X}$ 를 사용하여 위의 작업을 반복한다. 그림 4는 얼굴의 특징을 검출한 결과 영상의 예이다.

$$\text{거리}(X, T(\bar{X} + Pw)) \quad (9)$$

3. 개별 치아 검출

본 논문에서 제안하는 미소 분석 시스템에서는 입술 라인과 드러난 치아 모습을 사용하여 미소정도를 측정하였다. 개별 치아 검출을 위해 본 논문에서는 치아 영역 영상에 대해 2차 미분을 실행한 후, 세로축과 가로축에 대한 히스토그램 프로젝션 방법을 이용하였다. 개별적인 치아 검출을 위해 먼저 73-84번의 랜드마크로 둘러싸인 치아 영역을 그림 5처럼 추출한다.

그림 5. 검출된 치아 영역

본 논문에서는 모든 치아를 검출하지 않고 상악 치아 중에서 비교적 검출이 용이한 가운데 6개 치아를 검출한다. 검출된 치아 영역에서 개별적인 치아를 찾기 위해 먼저 3×3 크기의 수직 경계선 검출용 Sobel 마스크를 사용하여 가로 방향으로 2차 미분을 수행함으로써 세로 방향 경계선을 구하였다. 그림 6은 2차 미분을 적용한 결과 영상을 보여주고 있다.

그림 6. 가로 방향 2차 미분 결과 영상

그림 6을 살펴보면 치아의 세로방향 경계의 화소 값이 치아면 내부의 화소 값 보다 밝은 값을 보임을 알 수 있다. 정확한 치아의 경계를 찾기 위해 각 열에 대하여 세로 화소의 평균값을 구하면 그림 7(a)와 같은 히스토그램 결과를 얻게 된다. 그림 7(a)의 각 열의 평균값에서 주변 열보다 값이 큰 열은 남기고 나머지 열을 제거하면 그림 7(b)와 같은 결과를 얻게 된다. 남아 있는 열중에서 치아의 정중앙 경계선에 해당하는 열을 먼저 결정한다. 얼굴 특징 랜드마크 중에서 81번의 랜드마크는 입술의 정중앙 위치를 나타낸다. 따라서 남아있는 열중에서 평균 밝기 값이

상대적으로 크고 81번 랜드마크에 가까운 열을 치아의 정중앙 경계선 위치로 결정한다. 치아의 정중앙 경계선을 결정한 다음에는 가운데 2개 치아의 바깥 경계선을 찾는다. 이를 위해 그림 7(c)와 같이 치아 중앙으로부터 좌우로 일정영역 안에 있는 열중에서 평균 밝기 값이 상위 7개 이내에 드는 열만 남기고 나머지는 제거한다. 일반적으로 치아의 크기는 좌우 대칭이므로 남아 있는 열중에서 치아 정중앙 경계선으로부터 비슷한 거리에 있고 평균 밝기 값이 큰 두 열을 선택하여 치아의 경계선으로 결정한다. 가운데 2개 치아의 세로 방향 경계를 찾은 다음에는 2개 치아의 가로 방향 경계를 찾는다.

그림 7. 가로 방향의 화소값 분포 히스토그램

치아의 가로 경계를 찾기 위해서는 치아 영상에 대해 다시 세로 방향으로 2차 미분을 적용한다. 그림 8은 2차 미분을 적용한 결과 영상을 보여주고 있다.

그림 8. 세로 방향 2차 미분 결과 영상

그림 8을 보면 가로 방향으로 미분한 영상과 유사하게 치아의 가로 경계의 화소 값이 밝게 보임을 알 수 있다. 치아의 가로 경계를 찾기 위해 각 행의 평균 밝기 값을 구하면 그림 9(a)와 같은 히스토그램 결과를 얻게 된다. 그림 9(a)중에서 최고 값을 가지는 행만 남기고 나머지 잡음 성분의 행을 삭제하면 그림 9(b)와 같이 치아의 가로 경계를 찾을 수 있다. 위의 그림 7(c)에서 찾은 치아의 세로 경계와 아래 그림 9(b)에서 찾은 치아의 가로 경계를 조합하여 중앙의 치아 2개를 찾게 된다. 이와 같은 방법을 반복하여 그림 10과 같이 상악 치아 중 가운데 6개의 개별적 치아를 찾을 수 있다.

그림 9. 세로 방향의 화소 값 분포 히스토그램

그림 10. 검출된 개별 치아 영역

4. 미소 분석 및 평가

미소 평가는 아래와 같이 6가지 상태를 종합하여 9점 만점의 점수로 미소의 정도를 평가한다. 미소 평가에 사용되는 입술 영역의 랜드마크 CLow(81), LCh(84), RCh(78), CLab(75)의 위치는 그림 11과 같다. CLow는 상순하연의 중심점, RCh와 LCh는 양 입술 끝점, CLab은 하순의 중심점이다. 본 논문에서 사용한 미소 평가 방법은 치과 병원에서 사용하는 방법에 근거하여 설계하였다[14,15]. 미소를 평가하는 구체적인 항목은 다음과 같다.

그림 11. 입술 영역의 특징 점

(1) 상순의 위치: 상순은 상악 치아가 적절하게 드러나는 위치에 있어야 좋다. 상순이 높이 있어 잇몸이 드러나는 것을 바람직하지 않으며, 상순이 너무 아래에 위치하여 상악 치아를 덮는 것은 더 바람직하지 않다. 본 논문에서는 앞 단계에서 구한 가운데 치아의 윗 경계선과 윗입술 라인과의 화소 값 차이로 윗잇몸이 존재 하는지 검사한다. 입술 라인과 가운데 치아의 윗 경계선과의 사이가 세 화소 이하이고 치아의 높이가 너비보다 크면 1.5점, 거리가 세 화소 보다 작고 치아 높이가 너비보다 크지 않으면 0.5점, 거리가 세 화소 보다 크면 입술 라인이 올라가 있어 윗잇몸이 많이 보여 1.0점을 부여한다. 그림 12는 상순의 위치에 따른 예를 보여주고 있다.

그림 12. 상순의 위치

(2) 상순의 만곡: 입꼬리 LCh와 RCh가 CLow 보다 높은 위치에 있으면 상순이 가장자리로 갈수록 윗 방향으로 휘어져 심미성이 좋으므로 1.5점, 입꼬리 LCh와 RCh중 하나만 CLow보다 높으면 1.0점, 입꼬리 LCh와 RCh의 CLow 보다 낮은 위치에 있으면 상순이 아랫방향으로 휘어져 있어 심미성이 떨어지므로 0.5점을 부여한다. 그림 13은 상순의 만곡에 따른 예를 보여주고 있다.

그림 13. 상순의 만곡

(3) 상악 치아 형태 및 하순과의 관계: 검출된 6개 상악 치아의 아래 절단면과 수평축 사이의 각도(그

림 14의 θ)가 10도 이상이어서 치아의 아래 절단면이 윗 방향으로 휘어져 있고 하순 상연과 가지런히 배열되어 있으면 심미성이 높으므로 2.0점, 10도 보다 작으면 상악 치아 아래 절단면이 직선에 가까워 심미성이 떨어지므로 1.0점을 부여한다. 그림 15는 상악 치아와 하순과의 관계에 따른 예를 보여주고 있다.

그림 14. 상악 치아 형태 및 하순과의 관계

(a) 조화형(2.0점) (b) 부조화형(1.0점)

그림 15. 상악 치아 형태 및 하순과의 관계

(4) 하순과 상악 치아와의 접촉관계 : 상악 치아와 하순 CLab의 사이가 일곱 화소 이상 많이 벌어져 있으면 심미성이 떨어지므로 0.5점, 상악 치아의 중절치의 끝점과 CLab의 사이가 한 화소이하이고 중절치의 높이가 넓이보다 작으면 치아가 충분히 드러나지 않은 것으로 판단하여 0.5점, 상악 치아의 중절치의 끝점과 CLab의 사이가 한 화소이하이고 중절치의 높이가 넓이보다 크거나 또는 상악 치아의 중절치의 끝점과 CLab의 사이가 한 화소보다 크고 다섯 화소 이하이면 치아와 하순이 적절하게 만나서 심미성이 높으므로 1.0점을 부여한다. 그림 16은 하순과 상악 치아와의 접촉 관계에 따른 예를 보여 주고 있다.

(a) 하순과 치아가 많이 떨어짐(0.5점)

(b) 하순이 치아를 덮음(0.5점)

(c) 하순과 상악 치아 절단면이 적절히 배열(1.0점)

그림 16. 하순과 상악 치아와의 관계

(5) 미소시 노출되는 치아 : 미소시 노출되는 상악 치아의 수가 많을수록 심미성이 높으므로 높은 점수를 부여한다. 본 논문에서는 가운데 6개의 치아만 검출하고 검출된 치아가 차지하는 수평 방향 영역이 입술 좌우 전체 영역 중에서 얼마나 많은 영역을 차지하는가에 의해 점수를 부여한다. 입술 가로 구간에 비하여 가운데 6개 상악 치아의 가로 구간이 차지하는 비율(그림 17에서 $R = A/B \times 100$)이 70% 이하이면 2.0점, 70%~80%이면 1.5점, 80%~90%이면 1.0점, 90%~100%이면 0점을 부여한다. 차지하는 영역이 작을수록 더 많은 치아가 노출될 확률이 높으므로 높은 점수를 부여한다.

그림 17. 미소시 노출되는 치아의 비율

(6) 미소의 대칭성 : 미소의 대칭성을 구하기 위해서 검출된 얼굴 특징 형태로부터 입술 형태의 좌우 대칭 정도를 검사한다. 이를 위해 검출된 얼굴 특징 형태에서 입술 양 끝점(RCh, LCh)과 상순의 중앙 아래점(CLow), 하순의 중앙 윗점(CLab)의 관계를 아래와 같은 수식을 이용하여 계산한다. RCh와 CLow 간의 거리에 RCh와 CLab간의 거리의 합을 LCh와 CLow간의 거리와 LCh와 CLab간의 거리의 합으로 나눈 값이 0.9와 1.1 사이이면 대칭으로 판단하여 1.0점을 부여한다(미소의 대칭성=대칭). 값이 그 외의 값이면 비대칭으로 판단하여 0.5점을 부여한다(미소의 대칭성=비대칭).

- 대칭 :

$$0.9 \leq \frac{RCh \text{와 } CLow \text{ 간의 거리} + RCh \text{와 } CLab \text{ 간의 거리}}{LCh \text{와 } CLow \text{ 간의 거리} + LCh \text{와 } CLab \text{ 간의 거리}} \leq 1.1$$

- 비대칭 :

$$\frac{RCh \text{와 } CLow \text{ 간의 거리} + RCh \text{와 } CLab \text{ 간의 거리}}{LCh \text{와 } CLow \text{ 간의 거리} + LCh \text{와 } CLab \text{ 간의 거리}} < 0.9$$

또는

$$\frac{RCh \text{와 } CLow \text{ 간의 거리} + RCh \text{와 } CLab \text{ 간의 거리}}{LCh \text{와 } CLow \text{ 간의 거리} + LCh \text{와 } CLab \text{ 간의 거리}} > 1.1$$

5. 실험 결과

ASM을 이용하여 얼굴 특징을 검출하기 위해서는 학습 영상이 필요하다. 기존의 얼굴 특징 검출을 위한 학습 영상 DB로는 BioID[16], XM2VTS[17], IMM[18] 등이 있다. 그러나 기존의 학습 영상 데이터베이스에는 미소 영상이 충분하게 포함되어 있지 않아 미소 훈련에 활용하기에는 부적합하였다. 따라서 본 논문에서는 미소 영상을 획득하기 위해 50명을 촬영하여 데이터베이스 영상으로 구성하였으며 실험자에 대해 10장씩 500장의 영상을 촬영하였다. 각 학습 영상의 크기는 720 x 540으로 설정하였으며, 그림 18과 같이 정면(a), 좌측(b), 우측(c)의 세 방향, 그리고 그림 19와 같이 미소 단계를 4단계로 나누어 다양한 얼굴 영상과 미소 영상을 촬영하여 능동 형태 모델 학습 DB를 구성하였다.

미소 평가의 정확도에 대한 실험 영상으로 치과 병원에서 별도로 촬영한 그림 20과 같은 20장의 영상을 사용하였다. 이들 영상은 학습에 사용되지 않았으며, 20장의 실험 영상에 대한 얼굴 특징 검출을 적용해본 결과 얼굴 특징이 올바르게 검출되었다. 그림

그림 18. 정면(a), 좌측(b), 우측(c)의 3가지 방향의 촬영

그림 19. 4단계의 미소 촬영

그림 20. 실험 데이터 영상

21에는 얼굴 특징 검출 결과 예가 나타나 있다. 또한 미소 분석을 위해 필요한 개별 치아 영역도 올바르게 추출해 낼 수 있었다. 그림 22에는 그림 20의 영상에 대해 상악 6개 치아의 검출 결과 예가 나타나 있다.

그림 21. 얼굴 특징 검출된 영상

그림 22. 추출된 입술 라인과 치아 영상

치과 병원에서는 이들 영상에 대해 전문가가 수작업으로 미소를 평가하여 점수를 부여하였다. 이들 영상에 대해 본 논문에서 제안하는 시스템을 이용하여 미소 평가를 수행하였고 전문가가 수작업으로 평가된 결과와 비교해 보았다. 비교 결과 그림 23과 같이 치과 병원에서 전문가에 의해 수작업으로 평가한 평점과 미소 분석 시스템의 평가 평점의 평균 오차는 0.77점이었다. 만점이 9점이므로 평균 오차는 8.6%로서 치과 병원에서 이루어지는 수작업으로 분석한 결과와 제안된 자동 미소 분석 시스템을 이용하여 미소 분석한 것이 큰 차이를 보이지 않았다. 이러한 실험 결과와 같이 본 시스템은 사용자가 스스로 자신의 미소를 분석하고 평가하는데 별 무리가 없음을 알 수 있었다.

그림 23. 미소 평점 비교 결과표

6. 결 론

본 논문에서는 PC환경에서 사용자가 스스로 좋은 미소를 짓기 위해 훈련할 수 있도록 자동으로 미소를

분석하고 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다. 이는 입력 영상으로부터 AdaBoost 알고리즘을 이용하여 얼굴 영상을 추출하고, 추출된 영상에서 조명, 자세, 크기, 회전 등 환경변화에 강인한 ASM을 이용하여 얼굴의 특징을 검출한다. 그리고 미소 분석에 필요한 입술 라인과 개별 치아 영역을 검출한 다음, 검출된 입술 라인과 치아 영역을 이용하여 미소를 분석함으로써 미소가 잘된 미소인지 바로 알 수 있게 미소 평점의 결과를 보여주고 피드백을 받음으로써 효과적인 미소 훈련을 할 수 있는 방법을 제시하였다. 실험 결과 전문가에 의해 수작업으로 평가한 평점과 미소 분석 시스템의 평가 평점의 평균 오차는 0.77점으로 8.6%의 평균 오차의 결과를 보였다. 이러한 실험 결과에 의하면 본 시스템을 사용하여 미소 훈련을 한 후에는 안면의 비대칭을 줄일 수 있고, 얼굴 근육을 이완시킴으로써 좀 더 자연스러운 미소를 지을 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] C. J. Miller, "The Smile Line as a Guide to Anterior Esthetics," *Dental clinics of North America*, Vol.33, No.2, pp. 157-164, 1989.
- [2] L. R. Rubin, "The Anatomy of a Smile : Its Importance in the Treatment of Facial Paralysis," *Plastic and reconstructive surgery*, Vol.53, No.4, pp. 384-387, 1974.
- [3] R. M. Gibson, "Smiling and Facial Exercise," *Dental clinics of North America*, Vol.33, No.2, pp. 139-144, 1989.
- [4] 김정희, 진태호, 동진근, "Gibson씨 미소훈련법의 효과에 관한 연구," *대한치과보철학회지*, Vol. 33, No.1, pp. 164-175, 1995.
- [5] 김현성, 김일평, 오상천, 동진근, "성격이 미소에 끼치는 영향에 관한 연구," *대한치과보철학회지*, Vol.34, No.4, pp. 687-697, 1996.
- [6] 취원수, "미소 훈련기," (주)삼국무역, 출원번호 : 20-2004-0026216.
- [7] 김효주, "미소선이 표시된 거울," 출원번호 : 20-2006-0009758.
- [8] 김현수, 진태호, 동진근, "한국 노인의 미소시 입술과 치아와의 관계에 관한 연구," *대한치과보*

- 철학회지, Vol.31, No.4, pp. 533-541, 1993.
- [9] T. F. Cootes, C. J. Taylor, D. H. Cooper and J. Graham, "Active Shape Models - Their Training and Application," *Computer vision and image understanding*, Vol.61, No.1, pp. 38-59, 1995.
- [10] 박미애, 고재필, "모델기반 특징추출을 이용한 지역변화 특성에 따른 개체기반 표정 인식," 멀티미디어학회논문지, Vol.9, No.11, pp. 1465-1473, 2006.
- [11] 정성태, 이호근, "실시간 얼굴 검출 시스템 설계 및 구현," 멀티미디어학회논문지, Vol.8, No.8, pp. 1057-1068, 2005.
- [12] P. Viola and M. Jones, "Rapid Object Detection Using a Boosted Cascade of Simple Features," *Proceedings of the 2001 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Vol.1, pp. I-511-I-518, 2001.
- [13] Y. Freund and R. E. Schapire, "A Decision-Theoretic Generalization of On-Line Learning and an Application to Boosting," *Journal of Computer and System Sciences*, Vol.55, No.1, pp. 119-139, 1997.
- [14] 윤민의, 동진근, 진태호, "한국 청년의 미소에 관한 연구," 대한치과보철학회지, Vol.30, No.2, pp. 259-271, 1992.
- [15] J. K. Dong, T. H. Jin, H. W. Cho and S. C. Oh, "The Esthetics of the Smile: A Review of Some Recent Studies," *The International journal of prosthodontics*, Vol.12 No.1, pp. 9-19, 1999.
- [16] BioID face database, <http://bioid.com/downloads/facedb/index.php>

[17] XM2VTS face database, <http://www.ee.surrey.ac.uk/CVSSP/xm2vtsdb/>

[18] IMM face database, <http://www2.imm.dtu.dk>

송 원 창

2010년 2월 원광대학교 전기전자 및 정보통신 학부(공학사)
2010년 3월~현재 원광대학교 컴퓨터 공학과 석사과정
관심분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 패턴인식, 증강현실, 임베디드시스템

강 선 경

2000년 2월 원광대학교 전기·전자공학부(공학사)
2004년 2월 원광대학교 정보·컴퓨터교육학과(교육학석사)
2010년 2월 원광대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

관심분야: HCI, 영상처리, 패턴인식, 임베디드시스템

정 성 태

1987년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1989년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
1994년 8월 서울대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

1995년 3월~현재 원광대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야: 영상인식, 영상처리, 컴퓨터 그래픽스