

얼굴 특징을 고려한 대칭적인 형상 변형과 호감도 향상

김정식⁰ 신일규 최수미

세종대학교 컴퓨터공학과

gitamen@gmail.com, gemhagerpa@hotmail.com, smchoi@sejong.ac.kr

Symmetric Shape Deformation Considering Facial Features and Attractiveness Improvement

Jeong-Sik Kim Il-Kyu Shin Soo-Mi Choi

Dept. of Computer Science and Engineering, Sejong University

요 약

본 논문에서는 얼굴의 3차원 스캔 데이터로부터 특징을 고려하여 비대칭적인 요소를 완화시키는 대칭적 변형 기법을 제안한다. 이를 위해 얼굴의 전체 윤곽뿐만 아니라 세밀한 영역까지 다룰 수 있는 얼굴의 특징점과 표면 곡률에 기초한 새로운 3차원 형상 기술자(shape descriptor)를 개발하였다. 개발된 형상 기술자는 이상적인 대칭 평면을 정의하여 정확한 대칭쌍 정점을 결정할 수 있기 때문에, 보다 정교하게 3차원 얼굴의 대칭성을 향상시킬 수 있다. 또한 변형을 위한 모든 단계에서 처리를 쉽게 하도록 포인트 기반 표현법을 사용하였다. 마지막으로 제안한 대칭적 변형 기법을 통해 얼굴의 비대칭성을 감소시킴으로써 얼굴에 대한 호감도를 향상시킬 수 있다는 것을 통계적으로 검증하였다.

Abstract

In this paper, we present a novel deformation method for alleviating the asymmetry of a scanned 3D face considering facial features. To handle detailed areas of the face, we developed a new local 3D shape descriptor based on facial features and surface curvatures. Our shape descriptor can improve the accuracy when deforming a 3D face toward a symmetric configuration, because it provides accurate point pairing with respect to the plane of symmetry. In addition, we use point-based representation over all stages of symmetrization, which makes it much easier to support discrete processes. Finally, we performed a statistical analysis to assess subjects' preference for the symmetrized faces by our approach.

키워드: 대칭적 변형, 표면 곡률, 얼굴 특징, 형상 기술자, 포인트 기반 형상 표현

Keywords: symmetric deformation, surface curvature, shape descriptor, point-based representation

1. 소개

대칭성(symmetry)은 보편적인 미적 특성이며, 시지각과 미적 감각의 중요한 구성 요소이다. 얼굴의 대칭성은 오랫동안

생체인식, 성형술 등 다양한 분야에서 중요한 지표로 사용되어왔다[1]. 특히 형상이 성별, 인종, 나이, 유전적 기질 등에 따라 달라지는 얼굴에서 정확하게 대칭적인 요소를 검출하는 것은 쉽지 않은 일이다. 이러한 문제를 해결하기

위해서는 얼굴의 비율 및 구조적인 특징을 고려한 정확한 대칭 검출 기법이 필요하다.

대부분의 얼굴 대칭 관련 연구들에서는 2 차원 영상 혹은 3 차원 메쉬 모델로부터 얼굴의 좌우(bilateral) 2 차원 대칭축 혹은 3 차원 대칭 평면 검출에 초점을 두었다. 최근 들어 소개된 3 차원 형상에 대한 대칭화 연구[2, 3]가 있지만, 이들 연구는 일반적 형태의 3 차원 모델을 대상으로 하기 때문에 눈, 코, 입술의 세밀한 영역을 포함한 스캔 데이터에 적용하기에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 3 차원 스캐너로부터 획득한 다양한 형태의 얼굴 데이터를 사용하여 얼굴의 비대칭적인 요소를 효과적으로 제거할 수 있는 변형 기법을 개발한다. 이를 위해 첫째, 얼굴 전체를 부분별, 특징별로 영역화 하고, 3 차원 형상 기술자(descriptor)를 도입하여 정밀하고 정확한 대칭점 쌍(symmetry point pairs)을 결정한다. 이때 결정된 대칭점 쌍들은 대칭적 변형을 위한 주요한 기준을 제공한다. 둘째, 메쉬 기반 표면 모델이 아닌 스캔 데이터를 그대로 이용하는 포인트 기반 형상 표현을 사용한다. 또한 대칭 검출, 변형, 렌더링 전 과정에서 일관된 포인트 기반 형상 표현법을 사용함으로써 처리 과정을 단순화 시킨다. 셋째, 제안한 3 차원 얼굴의 대칭적 변형 결과가 얼굴의 호감도를 향상 시킬 수 있는가를 통계적인 방법을 통하여 검정한다.

2. 관련 연구

대칭 검출에 대한 연구는 컴퓨터 비전, 계산 기하학, 컴퓨터 그래픽스 등의 다양한 분야에서 이루어져 왔다. 3 차원 물체는 크게 반사, 회전, 이동, 크기 변환에 의해 대칭될 수 있다. 이때 대칭을 이루는 범위에 따라 부분적 대칭과 전역적 대칭으로 구분되고, 그 정확도에 따라 완전한 대칭과 근사적 대칭으로 분류된다.

초기 대칭화 연구는 주로 2 차원 또는 3 차원 평면상에 위치하는 정점 집합에 대하여 완전 대칭(perfect symmetry)을 찾는데 집중하였다[4]. 하지만 이러한 방법들은 정확한 대칭을 검출해야 한다는 제약을 두고 있었기 때문에 복잡한 구조를 갖는 물체에 적용하기는 어려웠다. 이러한 이유로 3 차원 점집합에 대해 근사화된 전역적 대칭을 검출하려는 연구가 소개 되었지만[5], 이 방법은 고해상도의 대용량 모델을 처리하기에는 계산 복잡도가 높아 비실용적이었다. 그 후 하나의 점 혹은 평면을 정의하여 간략화된 전역적 대칭을 검출하는 방법[6, 7], 3 차원 물체에 대하여 extended gaussian image(EGI)를 이용하여 전역적인 반사 및 회전 대칭을 검출하는 방법도 소개되었다[8]. 또한 3 차원 모델에 대하여

전역적인 반사 대칭과 회전 대칭을 검출하기 위한 형상 기술자를 제안하고 이 기술을 3 차원 모델의 검색 작업에 사용한 연구도 있었다[9, 10]. 지금까지 소개한 연구들은 모두 3 차원 형상에 대한 전역적 대칭을 다루고 있기 때문에, 관절을 갖는 모델이나 가변적 모델과 같은 복잡한 구조의 형상에 적용하기 어렵다는 한계점이 있었다.

이러한 이유로 최근에는 좀 더 일반적인 형태의 3 차원 모델에 대한 대칭을 검출하려는 연구들이 이루어지고 있다. Podorak 은 planar reflective symmetry transform(PRST)라는 척도(metric)를 이용하여 전체 형상에 대한 주요 반사대칭 평면을 검출하는 연구를 제안하였다[2]. 이 방법은 3 차원 모델의 형상매칭, 정합, 분할, 시점 결정 등에 활용될 수 있지만 형상의 국부적인 대칭을 검출할 수 없다는 한계점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 Mitra[3]는 3 차원 메쉬 모델에 대하여 곡률 및 유클리디언 변환 정보를 이용하여 형상의 국부적, 근사적 대칭을 효과적으로 검출할 수 있는 방법을 제시하였다. 이 방법은 복잡한 구조를 갖는 모델에 대해서도 대칭 그래프라고 하는 고수준의 형상 특징을 이용하여 모델의 압축이나 분할, 대칭화, 모델 검색 등에 활용될 수 있는 장점을 갖는다. 하지만 이 방법은 메쉬 모델을 데이터로 사용하기 때문에 표면 정점 샘플링과 삼각화로 인한 추가적인 연산을 필요로 한다. 또한 본 연구의 목표인 얼굴과 같이 그 특징(눈, 코, 입)이 중요한 대상의 경우, 특징 부위에서 세밀한 대칭 결과를 얻기 힘들다는 한계가 있다

3. 얼굴의 특징 기반 형상 기술자

형상 기술자(shape descriptor)는 주어진 형상을 표현하기 위해 산출된 수치 정보의 집합을 의미한다. 형상 기술자는 형상을 완전하게 재구성하기 위해 사용되기 보다는, 제시된 형상과 비슷한 혹은 다른 형상들을 분류하기 위한 척도로서 주로 사용된다. 일반적으로 형상 기술자는 크게 1) 물체 경계 상자(object bounding box), 2) 영역 기반 형상(region-based shape), 3) 윤곽선 기반 형상(contour-based shape), 이 세 가지로 구분된다. 첫째, 물체 경계 상자는 시각적으로 인식 가능한 물체에 대한 저수준의 형상 기술자이다. 이 형상 기술자는 공간상에서의 물체 위치, 범위, 다른 물체와의 충돌 여부 등의 정보를 제공할 수 있다. 둘째, 영역 기반 형상은 임의의 물체의 형상을 단일 영역 혹은 여러 영역의 집합으로 표현한다. 즉, 단순 형태뿐만 아니라 복잡한 형태의 물체도 기술할 수 있다. 대표적인 예로 물체의 영역 분할(segmentation)을 들 수 있다. 셋째, 윤곽선 기반 형상은 윤곽선을 이용하여 물체의 형태를 기술하는데, 일반적으로 곡률 크기를 이용한 표현법이 많이 사용된다.

본 연구에서는 얼굴의 전역적인 대칭성 향상만 아니라 눈, 코, 입과 같은 주요 특징 부위를 잘 보존하면서 대칭성을 향상시키는 것을 목표로 하고 있다. 이를 위해 3 차원 얼굴에 대해 크게 두 가지 3 차원 형상 기술자를 채택하였다.

첫째, 전체적인 얼굴 형상을 기술하기 위해 3 차원 곡률 공간 표현을 사용하였다. 계산된 곡률은 대칭점 쌍을 결정하기 위해 표면의 모든 점들로부터 후보 점 집합을 결정하는데 사용된다. 본 연구에서는 초기에 입력한 얼굴 스캔 데이터에 대하여 균일성 및 정규성을 만족하기 위한 어떠한 샘플링 과정도 고려하지 않기 때문에 Rusinkiewicz[11]가 제안한 표면 에러에 강한 곡률 계산 방법을 사용한다.

먼저 3 차원 얼굴 표면의 점집합 $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ 가 주어질 때, 주곡률(principal curvatures) K_1 과 K_2 그리고 주방향(principal directions) C_1 과 C_2 를 계산하기 위해서 각 점 p 의 one-ring 이웃 점집합을 찾는다. 그리고 나서 점 p 와 해당 이웃 점들을 연결한 삼각형-팬(triangle-pan)을 구성한다. 이를 이용하여 각 점을 포함하는 면들의 법선 벡터들에 대한 가중 평균을 계산하는 과정으로부터 각 점의 법선 벡터를 계산한다. 이때 곡률 텐서는 표면 법선 벡터의 방향성 미분 계수이므로 각 점의 법선 벡터들의 차이를 계산함으로써 최종적인 곡률 형상 기술자를 구할 수 있다.

둘째, 얼굴의 주요 특징점을 형상 기술자로 사용하여 얼굴의 부분별 영역과 주요 특징 영역을 구분하는 평면들을 정의하고, 특징을 고려하여 대칭화 하는데 이용하였다. 본 연구에서는 총 25 개의 특징점을 사용하였는데, 이는 눈(8 개), 눈썹(6 개), 코(3 개), 입술(4 개), 얼굴 윤곽(4 개)에 해당한다. 그림 1은 사용자가 직접 인터랙티브하게 특징점을 지정한 결과를 보여준다. 사용자는 마우스를 이용하여 특징점 위치를 스크린 상에서 선택하면, 해당 스크린 좌표는 3 차원 공간상에서 정의되는 물체 좌표로 변환된다. 이때 변환된 3 차원 좌표와 부합하는 점을 얼굴 표면의 점들로부터 찾아 최종적인 3 차원 특징점으로 저장하게 된다.



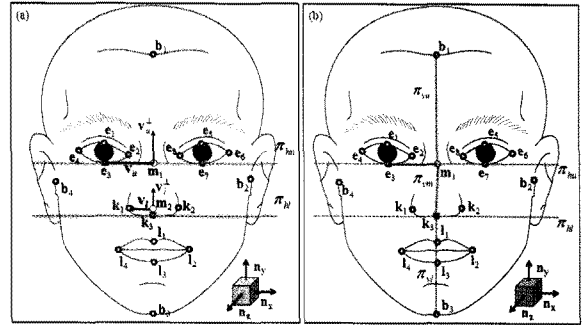
[그림 1] 얼굴 특징점의 위치

4. 얼굴의 대칭적인 형상 변형

4.1 얼굴의 부분별, 특징별 영역화

얼굴의 대칭을 검출하는 기존의 2 차원 또는 3 차원 접근 방법들은 대칭을 평가하는 중심축이 하나라고 가정하고 얼굴을 좌우(bilateral)로만 구분하였다. 그러나 다양한 형태의 얼굴에 적용가능하고, 변형 중의 계산량을 줄이기 위해서 본 방법에서는 얼굴을 부분별, 특징별로 구분하여 영역화 한다.

얼굴의 부분별 영역화를 위해서 먼저 얼굴 전체를 수직 방향(y 축)으로 세 부분으로 영역화 한다. 이때 각 영역은 이마, 눈썹, 눈을 포함하는 윗 부분, 코, 귀를 포함하는 중간 부분, 그리고 입과 턱을 포함하는 아랫 부분으로 정의된다. 그 다음 각 부분을 다시 좌우 방향으로 나누어 그림 2와 같이 총 여섯 영역으로 분할한다.



[그림 2] 절단 평면을 이용한 얼굴 분할

얼굴의 특징별 영역화 과정은 얼굴의 각 특징인 눈, 눈썹, 코, 입술, 귀 영역을 전체 얼굴 표면으로부터 분리하는 작업으로서 이미 추출된 25 개의 특징점들을 이용하여 처리 된다. 이를 위하여 우선 눈, 눈썹, 코, 입술, 귀 영역을 둘러싸는 육면체를 정의한다. 이 육면체는 각 영역의 지역 좌표계를 기준으로 경계 영역을 결정하는 OBB(object-oriented bounding box) 알고리즘을 이용하여 결정하게 된다.

이러한 부분별, 특징별 영역화는 대칭화에 이용되는 대칭점 쌍을 정확하게 결정하는데 도움을 주고, 얼굴의 전역적 대칭화와 특징별 대칭화를 독립적으로 처리할 수 있도록 해 준다.

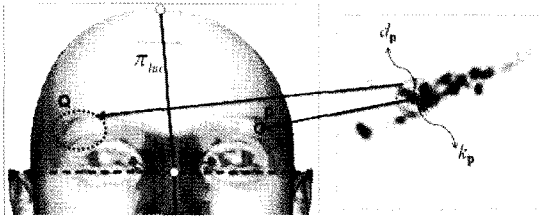
4.2 형상 기술자에 기반한 대칭점 쌍 결정

3 차원 얼굴에서 대칭점 쌍을 결정하기 위해서는 다음과 같은 두 단계를 수행한다. 우선 표면 점들의 집합에 대해 주곡률을 이용하여 불필요한 점들을 제거한다. 즉, 최대 주곡률 값과 최소 주곡률 값이 동일한 곳에서 정의되는 umbilic 점들을

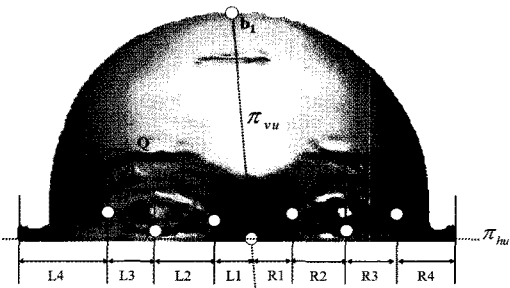
제거한다. 또한 각 점의 최대 주곡률 값과 최소 주곡률 값 간의 비율이 주어진 임계치 보다 큰 점들을 제거한다. 이러한 점들은 유클리디언 변환에 의해 그 특성을 보존하고 있기 때문에 대칭적 변형 과정에 의해 영향을 크게 받지 않기 때문이다[12].

그런 후 세 부분(위, 중간, 아래)에 대하여 각각 이상적인 대칭 평면으로 좌우를 분할하고, 대상 점집합 P_{Source} 와 목표 점집합 P_{Target} 을 설정한 후 대칭점 쌍을 찾게 된다. 이때 P_{Source} 와 P_{Source} 의 점의 수가 동일할 필요는 없다. 즉, 보다 적은 수의 점을 포함하는 부분을 P_{Source} 로 지정하여 일 대 일로 매칭되는 대칭점 쌍을 찾고, 이때 선택되지 못한 점들은 대칭점 쌍을 결정하는 처리에서 제외시킨다.

그림 3 과 4 는 얼굴 윗 부분에서 대칭점 쌍을 결정하는 과정을 보여준다. 우선 xy 평면상에 정의된 특징점 간의 거리 구간(L1~L4, R1~R4)을 계산한 후, P_{Source} 내의 각 점 p 에 대해 P_{Target} 으로부터 곡률 값에 기반하여 대칭점 쌍 후보 집합 Q 를 찾는다. 그림 3 의 왼쪽은 곡률 값에 의해 칼라 코딩된 얼굴이고, 오른쪽 노란 맵은 얼굴 윗 부분에 대한 곡률 맵(curvature map)이다. 여기서 후보 집합 Q 는 맵 상에서 점 p 에 대응하는 위치를 찾은 후 일정 반경 안의 점들의 집합으로 정한다. 그리고 그림 4 에서처럼 점 p 와 해당 점의 반사점 p_r 이 위치하는 구간 찾은 후 각 점의 구간 내 상대적 위치가 일치하도록 p_r 의 변위를 조정하여 최종적인 대칭점 q 를 계산한다.

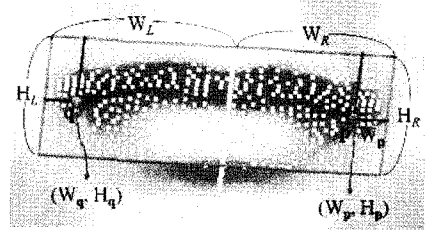


[그림 3] 곡률 맵에 의한 대칭점 후보군 결정



[그림 4] 대칭점 쌍의 결정

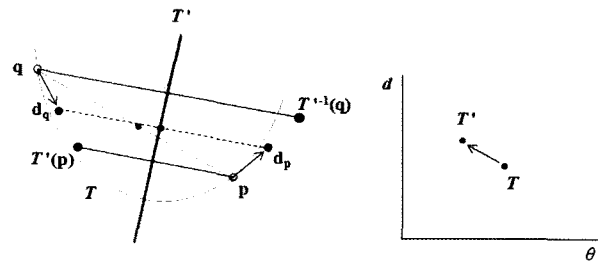
그림 5 에서 보이듯이 얼굴의 주요 특징별 영역에 대한 대칭점 쌍은 우선 각 특징별 영역에 해당하는 이상적인 대칭 평면(노란선)을 이용하여 각 특징영역을 좌우로 나누고, 각 영역 내의 거리 비율에 따라 결정한다.



[그림 5] 입 부분에서의 대칭점 쌍 결정

4.3 대칭 변환 및 국부적, 전역적 대칭화

대칭점 쌍들이 결정되면 최적 대칭 변환(optimal symmetry transformation) 방법[12]을 이용하여 모델 표면의 국부적인 형태 변화를 최소화 하면서 대칭적으로 변형시키기 위한 변위벡터 d_p 와 d_q 를 계산한다. 그림 6 은 물체 공간과 연결된 변환 공간 상의 변환 $T = (d, \theta)$ 가 변환 $T' = (d', \theta')$ 로 이동할 때 물체 공간상의 점이 새로운 점 d_p 와 d_q 로 이동되는 모습을 보여준다. 변위벡터 d_p 와 d_q 는 (식 1)과 같이 계산된다. 이 과정은 최적 변위 벡터의 변화량이 주어진 임계치 내로 수렴할 때까지 반복적으로 수행하게 된다.



(a) 물체 공간 (b) 변환 공간

[그림 6] 최적 대칭 변환을 위한 변위 계산

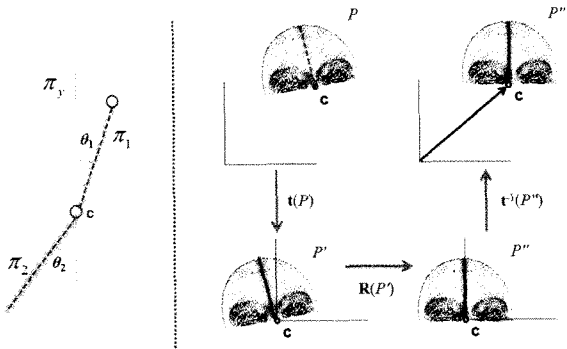
$$d_p = \frac{T'^{-1}(q) - p}{2}, d_q = \frac{T'^{-1}(p) - q}{2}. \quad (식 1)$$

먼저 이러한 대칭변환을 얼굴의 부분별, 특징별 영역에서 국부적으로 수행한다. 그리고 얼굴의 수직 방향으로 분할된 영역(위, 중간, 아래)의 대칭 평면들을 물체 공간상에서 동일한

대칭 평면인 yz -평면으로 일치시키는 변환 행렬 T_{global} 을 각 영역의 대칭점 쌍 집합 P_u, P_m, P_l 에 적용시킨다. (식 2)는 변환 행렬 T_{global} 을 표현한 것으로, 여기서 T 는 각 영역의 점 집합을 원점으로 이동시키는 이동 행렬이고, R 은 이동된 점들을 주어진 각도만큼 회전시키는 행렬이다.

$$T_{global} = T^{-1}(R(T(P_k))), \quad (k = u, m, l). \quad (\text{식 2})$$

대칭축을 단일화 하기 위해서는 그림 7 의 왼쪽과 같이 두 대칭축 π_1 과 π_2 가 이루는 각 θ_1 과 θ_2 를 $\theta_n = (\theta_1 + \theta_2)/2$ 가 되도록 각 축을 회전시킨다. 이 방법을 두 개의 대칭 평면에 포함되는 모든 대칭점 쌍 들에 적용하여 최종적인 단일 축을 결정한다.



[그림 7] 전역전 대칭화를 위한 대칭축 단일화 과정

얼굴의 변형 과정에서 발생할 수 있는 표면 잡음과 표면 점들 간의 비균일한 간격을 완화하기 위해 $\lambda\mu$ 평활화[13]와 표면 재정의 기법[14]을 사용하여 최종적인 얼굴을 생성한다.

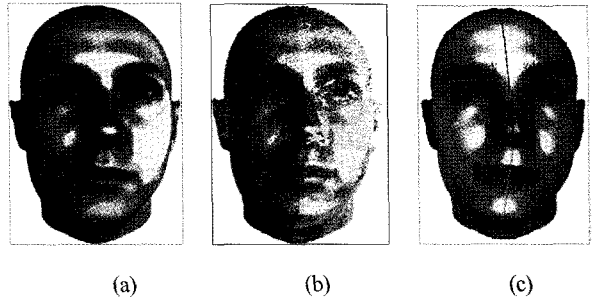
5. 구현 및 결과

5.1 절에서는 제안한 대칭화 방법을 곡률기반 대칭화 방법과 비교한 결과를 제시한다. 그리고 5.2 절에서는 제안 방법에 의해 대칭화된 결과가 원래의 얼굴과 비교하여 호감도에 영향을 미치는 가를 통계적으로 검증한다.

5.1 대칭 변환 결과

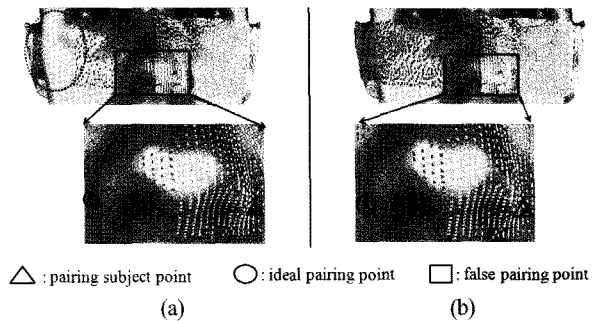
얼굴 데이터로는 막스플랑크 연구소(MPI for Biological Cybernetics)의 데이터, 취리히 연방공대(ETH Zurich)에서 제공한 데이터, 그리고 직접 Cyberware 장비로 스캔한 데이터를 사용하였다. 그림 8 은 얼굴 영역 분할 결과를

나타낸다. 그림 8 (a)는 사용자가 지정한 특징점, (b)는 얼굴의 부분적 영역화, (c)는 특징별 영역화 결과를 각각 보여준다.

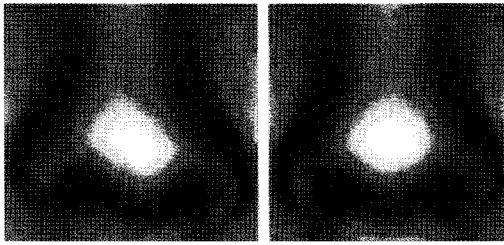


[그림 8] 얼굴의 부분별, 특징별 영역화

그림 9 에서 (a)는 기존의 곡률기반 대칭점 결정방법[6]에 의해 대칭점 쌍을 맵핑한 결과이고, (b)는 본 연구에서 제안한 특징을 고려하여 대칭점 쌍을 맵핑한 결과이다. (a)의 경우 곡률 값의 범위를 임계 구간으로 설정하여 대칭점을 맵핑하기 때문에 정확하게 대칭되는 점들을 결정하기 어려울 뿐만 아니라, 정확도를 높이기 위해 곡률 값의 범위를 좁히면 왼쪽 뺨 부위처럼 맵핑되지 않는 점들이 생기게 된다. 반면에 본 논문에서 제안한 (b) 방법을 적용한 경우에는 (a)보다 정확하게 대칭점을 맵핑할 수 있고, 빠진 점들이 없이 모든 점들에서 대칭쌍을 맵핑할 수 있다. 그림 10 은 각 방법을 이용하여 코를 대칭적으로 변형한 결과이다. (a)는 곡률기반 맵핑 방법을 이용하여 대칭화한 결과이고, (b)는 제안방법을 사용한 것이다. 그림에서 볼 수 있듯이 (b)의 코에서 좌우가 더 대칭적으로 잘 변형되었다.

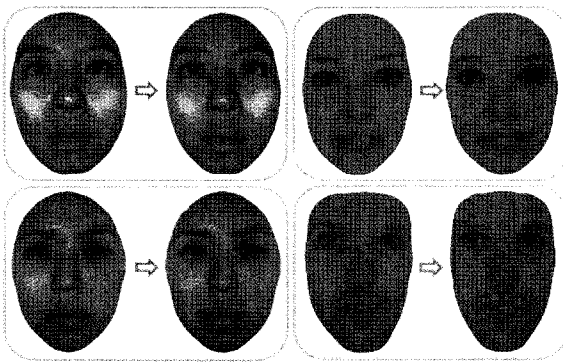


[그림 9] 대칭점 결정 방법의 비교



(a) (b)
[그림 10] 대칭화 변환 결과 비교

그림 11은 본 논문에서 제안한 대칭화 변환을 여러 얼굴에 적용한 결과이다. 실제 일반인을 대상으로 스캔한 데이터라 심한 비대칭은 없었으나 코 부위, 턱 등에서 비대칭이 국부적으로 있는 경우에 대칭적으로 변환 것을 볼 수 있다.



[그림 11] 대칭화 변환 결과

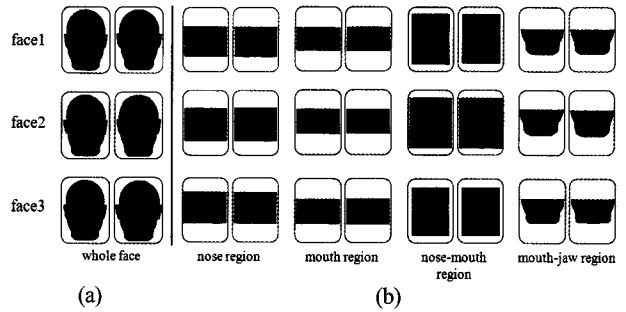
5.2 얼굴의 대칭성과 호감도와의 관계 분석

본 절에서는 제안 방법에 의해 대칭적으로 변형된 얼굴이 미적 호감도에 영향을 미치는 가를 통계적으로 분석한 결과를 제시한다. 먼저, 다음과 같은 두 가지 가설을 설정하였다.

가설 1: 대칭화에 의해 얼굴의 호감도가 향상될 것이다.

가설 2: 얼굴의 주요 특징영역에 대한 대칭화가 얼굴 전체의 호감도 향상에 미치는 영향은 다를 것이다.

각 가설을 통계적으로 검증하기 위해 그림 12에서 제시한 것처럼 두 종류의 질의 데이터 셋을 구성하였다. 그림 12(a)는 가설 1을 검증하기 위한 데이터로 약간씩 변형된 세 유형의 얼굴(face1, face2, face3)에 대하여 대칭화 이전(빨간색 상자)과 이후(파란색 상자)의 결과를 보여주고 있다. 그림 12(b)는 얼굴의 주요 특징 영역들로 총 24개의 영상을 보여준다.



[그림 12] 질의 데이터 셋

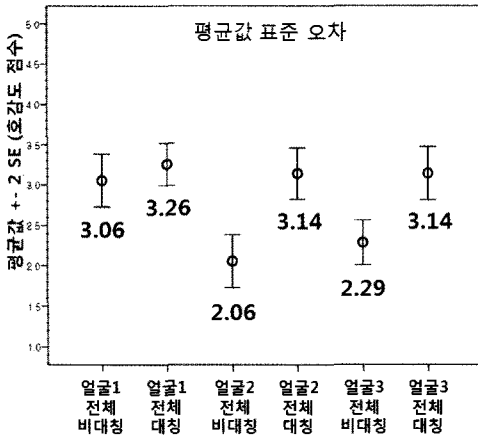
본 통계 분석은 총 35명의 피험자를 대상으로 수행되었다. 본 실험에서는 얼굴에 대한 호감도를 종속변인으로 설정하고, 대칭화 여부와 얼굴의 주요 특징 영역에 대한 조합을 독립변인으로 설정하였다. 이때 종속변인인 호감도에 대한 평가를 위해 간격 척도(interval scale)를 사용한다. 즉, 총 30장의 영상에 대하여 피험자 모두에게 주어진 영상에 대한 호감 정도를 1점에서 5점까지로 평가하도록 하였다.

통계 분석은 SPSS의 반복측정 분산분석을 사용하였다. 분산분석은 여러 개의 자료집단을 비교할 때, 이들 자료집단에서 어떤 특정한 원인의 작용으로 유의한 변동이 일어났다고 생각될 때 그 변동의 원인을 분석하는 방법이다. 즉, 표본 데이터에 내포되어 있는 정보를 실험계획에 따라 일어난 본질적인 부분과 우연오차 부분으로 분리시켜 의미 있는 결론을 도출하는 방법이다.

본 실험에서는 여러 개의 독립변인을 두어 각 변인의 효과와 상호작용의 효과 등을 분석하는 것을 목표로 하였기 때문에 분산분석을 가설 검증으로 채택하였다. 그리고 이러한 분산 분석에 적합한 F-검증을 수행하였다.

그림 13은 가설 1에 대한 평균값 표준오차 그래프이고, 표 1은 이에 대한 분산 분석표이다. 여기서 얼굴 1, 얼굴 2, 얼굴 3 각각의 검증통계량(F_0)이 허용 유의수준(α)이 5% 일 때의 F 분포표 값보다 작음(귀무가설 기각역에 위치함)을 확인할 수 있었고, 또한 유의확률(p-value)이 허용 유의수준(α)보다 작음을 확인할 수 있었다. 이는 “대칭화가 얼굴의 호감도를 향상 시킨다”라는 가설을 지지한다고 결론내릴 수 있다. 추가적으로 모수 통계학에서는 분산 분석표의 부분 에타 제곱 값을 통하여 효과의 크기를 확인할 수 있다. 일반적으로 부분 에타 제곱 값이 0.01 이면 효과의 크기가 작고, 0.06 이면 중간 정도의 효과이고, 0.14 이면 효과의 크기가 크다고 판단하게 된다. 본 실험에서는 세 가지 얼굴 모두에서 대칭화에 따른 호감도 향상에 대한 효과 크기가 상당히 컸음을 확인할 수 있었고, 특히 얼굴 2에서 그 효과가 가장 컸음을 확인할 수 있었다. 반면에 얼굴 1의 경우에는 나머지 두 얼굴에 비하여 그

효과 크기가 작았음을 확인할 수 있었다. 이것은 얼굴 1의 경우 그 형태가 비교적 대칭적인 특징을 보이고 있기 때문이라고 판단된다.



[그림 13] 가설 1에 대한 평균값 표준 오차

[표 1] 가설 1 검증을 위한 분산분석표(구형성 가정)

종류	소스	자유도	평균 제곱	검증 통계량	유의 확률	부분 에타 제곱
얼굴 1	대칭화	1	14.403	10.139	0.003	0.230
	오차	34	1.421	-	-	-
얼굴 2	대칭화	1	2.711	89.132	0.000	0.724
	오차	34	1.801	-	-	-
얼굴 3	대칭화	1	82.571	56.117	0.000	0.623
	오차	34	1.471	-	-	-
모든 얼굴	대칭화	1	217.604	74.836	0.000	0.688
	오차	34	2.908	-	-	-

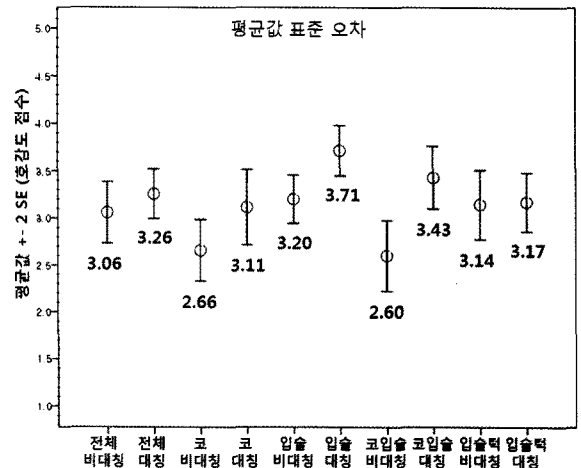
두 번째 가설인 얼굴의 주요 특징 영역에 대한 대칭화가 호감도 향상에 미치는 영향을 확인하기 위해 이에 대한 분산분석 역시 수행하였다. 그림 14-16은 세 종류의 얼굴에 대한 평균값과 표준 오차를 보여주고, 표 2는 이러한 사실들을 검증하기 위한 분산분석표이다.

이를 통하여 피험자들이 세 가지 얼굴 모두에 대하여 얼굴의 특징 영역의 어떠한 조합에 대해서도 대칭적으로 변형된 얼굴에 더 큰 호감을 보였다라는 것을 알 수 있었다. 부분별 영향력을 살펴보면, 비대칭적인 코에 대하여 가장 강한 비호감을 보였고 입술 비대칭에 대해서 상대적으로 약한 비호감도가 보였다.

또한 그림 16에서 확인할 수 있듯이 세 번째 얼굴의 경우에는 입술의 호감도가 턱과 입술의 조합 다음으로 높았다. 이것은 입술 영역에 대한 대칭화가 호감도를 향상시키는 데 주요한 영향을 주었지만, 세 번째 얼굴의 경우 대칭화 이전의 턱의 형태가 눈에 띌 만큼 비대칭적으로 변형이 되어 있어서 이것이 대칭화 되면서 입술과 턱의 조합에 더욱 호감을 주게 했다고 결론지을 수 있다.

첫 번째 얼굴의 경우는 초기 얼굴의 형태가 비교적 대칭적이었기 때문에 대칭화 전과 후의 호감도 차이가 다른 두 얼굴에 비하여 크지 않음을 확인할 수 있었다. 그리고 나머지 두 얼굴의 경우에는 초기 얼굴 형태의 변형 상태가 상당히 비대칭적이기 때문에 대칭화 전과 후의 호감도에 대한 평균값의 차이가 현저하게 나타남을 확인할 수 있었다.

표 2의 분산분석표를 통하여 우선 검증통계량이 허용 유의수준 95%에서의 F 분포표에서의 귀무가설 기각역에 위치함을 확인할 수 있었고, 또한 유의확률(p-value)이 허용 유의수준(α)보다 작음을 확인할 수 있었다. 이는 두 번째 가설인 “얼굴의 주요 특징 영역에 대한 대칭화가 얼굴 전체의 호감도 향상에 미치는 영향은 다를 것이다.”라는 가설을 지지한다고 결론지을 수 있다. 추가적으로 본 실험에서는 표 2의 부분 에타 제곱값을 참조하여 세 가지 얼굴 모두에서 얼굴 영역 조합에 따른 호감도 향상에 대한 효과 크기를 살펴볼 수 있었다. 얼굴 영역 조합에 대하여 가장 효과 크기를 보인 것은 첫 번째 얼굴로서 부분 에타 제곱 값이 0.133이었다. 표 5.9에서 확인할 수 있듯이 모든 얼굴 종류에 대하여 부분 에타 제곱 값의 범위가 0.072에서 0.150으로 나타났는데, 이는 얼굴의 호감도 향상에 대하여 얼굴의 영역 조합에 있어서 비교적 그 효과가 컸지만 대칭화 여부에 따른 효과 크기에 비해서는 그 영향력이 상대적으로 작았다.



[그림 14] 가설 2에 대한 평균값 표준 오차 (얼굴 1)

6. 결론 및 향후 연구

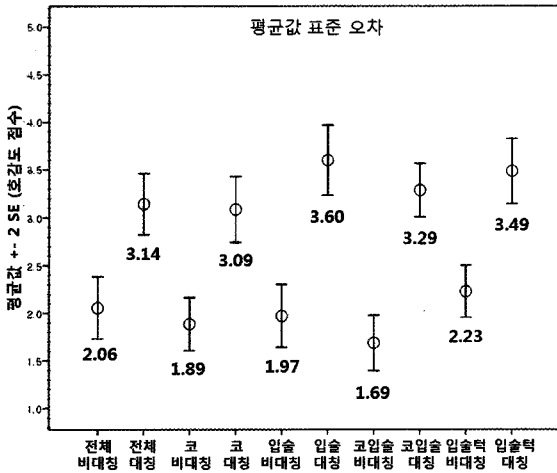
본 논문에서는 3 차원 스캔 얼굴 모델로부터 자동 계산된 3 차원 얼굴 특징점과 표면 곡률 정보를 이용하여 얼굴 전체 형상 뿐만 아니라 국부적 영역에서의 정확한 대칭적 변형을 수행하는 새로운 방법을 제안하였다. 다양한 스캔 모델에 대한 실험을 통하여 기존 방법보다 더욱 정확하게 얼굴을 대칭적으로 변형할 수 있었고, 제안된 방법을 적용하여 대칭화된 얼굴에 대한 관찰자의 미적 호감도가 향상되었음을 확인하였다. 또한 포인트 기반 형상 표현을 사용하여 대칭화 전 과정을 단순하고 효율적으로 처리하도록 하여 차후 얼굴 표면에 적용될 복잡한 작업들을 처리하기 용이하도록 하였다. 본 연구는 얼굴 형상의 국부적, 전역적 대칭성을 향상시키기 위한 대칭 점 쌍의 정확도 보장에 초점을 두었기 때문에, 아직까지는 스캔 얼굴의 고유한 구조적, 형태적 특성을 보존하지는 못한다. 차후 연구를 통해서 이러한 부분들을 개선할 수 있는 방법과 더불어 더 많은 얼굴에 본 방법을 적용하고자 한다.

감사의 글

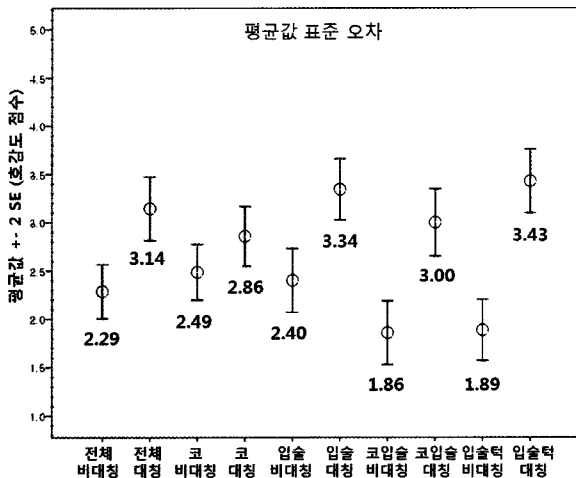
본 논문은 Seoul R&BD (10581) 프로그램과 한국연구재단 (2009-0073692)에 의해 지원되었습니다.

참고 문헌

- [1] DW, Zaidel. SM, Aarde. K. Baig. "Appearance of symmetry, beauty, and health in human faces." *Brain and Cognition*, 57, 3, 261-263, 2005.
- [2] J, Podolak. P, Shilane. A, Golovinskiy. S, Rusinkiewicz. T. Funkhouser. "A planar-reflective symmetry transform for 3d shapes." *ACM Transactions on Graphics*, 25, 3, 549-559, 2006.
- [3] N. J. Mitra. L. J. Guibas, and M. Pauly. "Partial and approximate symmetry detection for 3d geometry", *ACM Trans. Graph*, Vol. 25, No. 3, pp. 560-568. 2006.
- [4] J, Wolter. T. Woo, and R. Volz. "Optimal algorithms symmetry detection in two and three dimensions." *The Visual Computer*, pp. 37-48. 1985.
- [5] Alt H., Mehlhorn K., Wagener H., and Welzl E., "Congruence, similarity and symmetries of geometric objects", *Discrete Comput. Geom*, Vol. 3, pp. 237-256, 1988.
- [6] Zabrodsky H., Peleg S., and Avnir D., "Symmetry as a continuous feature", *IEEE PAMI*, Vol. 17, 1995.
- [7] Zabrodsky H., and Weinshall D., "Using bilateral symmetry to improve 3D reconstruction from image sequences", *Computer Vision and Image Understanding: CVIU 67*, Vol. 1, pp. 48-57, 1997.
- [8] C. Sun. and J. Sherrah. "3d symmetry detection using the extended



[그림 15] 가설 2 에 대한 평균값 표준 오차 (얼굴 2)



[그림 16] 가설 2 에 대한 평균값 표준 오차 (얼굴 3)

[표 2] 가설 2 검증을 위한 분산분석표(구형성 가정)

종류	소스	자유도	평균 제곱	검증 통계량	유의 확률	부분 에타 제곱
얼굴 1	영역조합	4	3.176	5.197	0.001	0.133
	오차	136	0.611	-	-	-
얼굴 2	영역조합	4	2.057	3.035	0.020	0.082
	오차	136	0.678	-	-	-
얼굴 3	영역조합	4	1.767	2.626	0.037	0.072
	오차	136	0.673	-	-	-
모든 얼굴	영역조합	4	5.417	5.978	0.000	0.150
	오차	136	0.906	-	-	-

- gaussian image." *IEEE PAMI*, Vol. 19. 1997.
- [9] M. Kazhdan. B. Chazelle. D. P. Dobkin. A. Finkelstein and T. A. Funkhouser. "A reflective symmetry descriptor", *In Proceedings of ECCV*, pp. 642-656. 2002.
- [10] M. Kazhdan. T. Funkhouser. and S. Rusinkiewicz. "Symmetry descriptors and 3d shape matching", *In Symposium on Geometry Processing*, pp. 116-125. 2002.
- [11] S. Rusinkiewicz. "Estimating curvatures and their derivatives on triangle meshes." *In Proceeding of the 3D Data Processing. Visualization, and Transmission, 2nd International Symposium*, pp. 486-493. 2004.
- [12] N. J. Mitra. L. Guibas. M. Pauly. "Symmetrization." *ACM Transactions on Graphics*, 26, 3, 1-8, 2007.
- [13] G. Taubin. T. Zhang. G. Golub. "Optimal surface smoothing as filter design." *Fourth European Conference on Computer Vision (ECCV'96) and IBM Technical Report RC-20404*, 1996.
- [14] G. Guennebaud. L. Barthe. M. aulin. "Interpolatory refinement for real-time processing of point-based geometry." *Proceedings of the Eurographics*, 24, 3,, 657-667, 2005.

〈저자 소개〉



김정식

- 2002년 세종대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2004년 세종대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2009년 세종대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2009년~현재 이화여자대학교 컴퓨터공학과 의료영상 비주얼컴퓨팅 연구실 박사후연구원
- 관심분야: 그래픽스, 가상현실, HCI, 컴퓨터 비전, 의료영상처리 등



신일규

- 2009년 서울호서전문학교 멀티미디어정보과 학사
- 2009년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 석사과정
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, 가상현실, 스테레오 렌더링 등



최수미

- 1993년 이화여자대학교 전자계산학과 학사
- 1995년 이화여자대학교 전자계산학과 석사
- 2001년 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사
- 1998년 독일 프라운호퍼 컴퓨터그래픽스 연구소 (FhG IGD) 방문연구원
- 2001년~2002년 이화여자대학교 정보통신연구소 연구교수
- 2008년~2009년 스위스 취리히 연방공과대학교 (ETH Zurich) 방문교수
- 2002년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 전임강사, 조교수, 부교수
- 관심분야 : 컴퓨터그래픽스, HCI, 가상현실, 의료 영상처리, 유비쿼터스 컴퓨팅 등