

비선형 피부색 변화 모델을 이용한 실감적인 표정 합성

이정호^o 박현 문영식
 한양대학교 컴퓨터공학과
 {jhlee^o, hpark, ysmoon}@cse.hanyang.ac.kr

Synthesis of Realistic Facial Expression using a Nonlinear Model for Skin Color Change

Jeong Ho Lee^o, Hyun Park, Young Shik Moon
 Dept. of Computer Science and Engineering, Hanyang University

요 약

얼굴의 표정은 얼굴의 구성요소같은 기하학적 정보와 조명이나 주름 같은 세부적인 정보들로 표현된다. 얼굴 표정은 기하학적 변형만으로는 실감적인 표정을 생성하기 힘들기 때문에 기하학적 변형과 더불어 텍스처 같은 세부적인 정보도 함께 변형해야만 실감적인 표현을 할 수 있다. 표정비율이미지 (Expression Ratio Image)같은 얼굴 텍스처의 세부적인 정보를 변형하기 위한 기존 방법들은 조명에 따른 피부색의 변화를 정확히 표현할 수 없는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 서로 다른 조명 조건에서도 실감적인 표정 텍스처 정보를 적용할 수 있는 비선형 피부색 모델 기반의 표정 합성 방법을 제안한다. 제안된 방법은 동적 외양 모델을 이용한 자동적인 얼굴 특징 추출과 외양을 통한 표정 변형 단계, 비선형 피부색 변화 모델을 이용한 표정 생성 단계, Euclidean Distance Transform (EDT)에 의해 계산된 혼합 비율을 사용한 원본 얼굴 영상과 생성된 표정의 합성 등 총 3 단계로 구성된다. 실험결과 제안된 방법이 다양한 조명조건에서도 자연스럽게 실감적인 표정을 표현한다는 것을 보인다.

1. 서 론

최근 정보를 교환하기 위해 수많은 멀티미디어 콘텐츠들이 이용됨에 따라 상대방에게 자신을 알리기 위한 수단으로 영상이 많이 이용되고 있다. 영상 획득 기기들이 점차 소형화 되고 저렴해 지면서 손쉽게 영상을 획득할 수 있게 되었고 획득한 영상을 이용하여 자신을 표현하려는 사람들의 욕구가 증대되고 있다. 자신의 사진을 좀 더 개성 있는 모습으로 연출하기 위해서 영상 필터 및 꾸미기 효과들은 많이 이용되고 있지만 자신의 감정을 나타낼 수 있는 표정 변형은 변형 후의 부자연스러운 모습 때문에 널리 사용되지는 않고 있다. 따라서 자신이 원하는 표정으로 손쉽게 변형이 가능하여 변형 후에 자연스러운 표정이 생성될 수 있는 방법의 개발이 필요하다.

얼굴의 변화는 얼굴의 구성요소와 같은 기하학적 정보와 조명이나 주름 같은 세부적인 정보들로 표현된다. 원하는 표정을 생성하기 위해서는 이런 정보들을 적절하게 변형을 해야 한다. 얼굴 표정을 생성하는 방법은 얼굴 변형에 기반한 방법과 텍스처 변형에 기반한 방법으로 나눌 수 있다. 얼굴 변형 (Deformation)에 기반한 방법은 이미지의 형태를 변형함으로써 표정을 생성하는 것을 말하며 초기 얼굴 표정생성 방법으로 많이 사용되었으며, 얼굴의 피부와 근육 모델을 이용하거나 해부학이나 물리법칙에 기반한 변형 방법으로 발전되었다. 비 물리법칙에 기반한 방법으로는 모핑을 이용한 방법을 들 수 있는데 이 방법은 부드러운 얼굴 변형이 가능하지만 전역적 변형 특성을 이용하기 때문에 얼굴 구성 요소들 간의 왜곡이 발생하는 면도 있다. 얼굴 변형을 기반으로 한 방법들은 일반적으로 얼굴 텍스처 등을 고려하지 않기 때문에 조명의 변화와 주름과 같은 세부적인 정보를 표현하기 힘들다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 얼굴의 세부 정보들도 같이 표현할 수 있는 텍스처 변형에 기반한 방법들이 연구 되었다. 텍스처를 변형하는 방법에는 색상의 차이나 비율을 이용하는

방법들이 있는데 두 영상의 색상 차이나 비율, 조명 조건을 이용하여 변형을 하였다. 이러한 방법들은 세부 정보들의 수정이 가능하기 때문에 얼굴 변형 후 적용하면 더욱 사실적인 표정을 생성할 수 있다. 하지만 기존 방법들은 얼굴의 굴곡과 조명 조건을 고려하지 않고 색상 및 강도의 변화량을 선형적으로 적용하기 때문에 적용 결과와 실제 값이 다른 단점이 있다.

본 논문에서는 이런 단점을 개선하기 위해 표정 변화에 따른 피부색 변화를 비선형 피부색 변화 모델을 이용하여 계산함으로써 좀 더 입체감 있고 실감적인 2D 얼굴 표정 합성 방법을 제안한다.

2. 자동적인 얼굴 특징 추출 및 변형

본 논문에서는 표정 변형을 위한 얼굴의 특징점들의 지정을 학습된 얼굴 구조 정보를 이용하여 얼굴 변형 템플릿 (Deformation Template)의 반자동 매칭(Semi-automatic matching) 과정을 제공함으로써 변형과 합성을 위한 대응점 (Correspondence Point)들의 오차를 최소화시킨다.

2.1 동적 외양 모델을 이용한 얼굴 특징 추출

동적 외양 모델(Active Appearance Model:AAM)[1]을 위한 학습 영상들의 얼굴 구조는 총 94개의 얼굴 특징점들로 표시하여 각각의 얼굴 형태 모형을 구성한다. 평균 얼굴 형태로 정렬된 칼라 얼굴 텍스처들과 각각의 얼굴 형태 모형들을 Jacobian Learning Scheme을 이용하여 AAM을 학습한다. 자동적인 얼굴 특징 추출은 3 Level Scale Pyramid 방식으로 학습된 MAAM (Multi-level Active Appearance Model)을 이용하여 수행된다. 알고리즘의 효율과 검색 과정에서의 반복 횟수를 줄이기 위해 낮은 해상도의 이미지로부터 고해상도의 이미지로 AAM 매칭을 수행함으로써 얼굴 구조 특징점들을 찾는다. 영상 축소는 Level 0를 원본 영상크기로 하여 50%씩 축소된다.

2.2 추출된 제어점을 이용한 얼굴 변형

본 논문에서는 H. Park 과 Y. S. Moon[2]에 의해 제안된 기하학적 변형 모델을 이용하여 얼굴 표정을 변형한다. 얼굴 표정 변형을 위해 MAAM 을 이용하여 찾아진 94개의 얼굴 특징점에 11 개의 이마 부분 특징점들을 얼굴 영역에 비례적으로 추가하여 총 105개의 특징점을 이용한다. 변형 모델은 자유형 태 변형(Free-Form Deformation : FFD)을 기반으로 격자(Lattice Cell)들의 변형 정도를 Inverse Multiquadric Radial Basis Function (RBF) 을 이용하여 계산한 후 Two Mesh Spline Warping에 의해 기하학적으로 변형한다. 정확성을 위해 변형 오차는 기준곡선 점점들의 목표 위치와 실제 변형된 위치 사이의 오차제곱합(Sum of Squared Error)을 오차 함수로 이용하여 Singular Value Decomposition(SVD)에 의해 반복적으로 RBF 매핑 함수의 계수들을 계산하여 오차를 보정한다.

3. 비선형 피부색 변화 모델을 이용한 표정 생성

3.1 표정 비율 이미지(ERI)의 문제점

기존 텍스처 변형에 기반한 표정 생성 방법 중 대표적인 방법인 표정 비율 이미지를 이용하는 방법[3]은 표정 생성에 따른 영상 강도의 비율을 이용한 방법이다.

조명모델을 Lambertian 모델로 가정할 때, 얼굴 표면의 한 점 p의 표정변형전후 밝기 값 비율은 식 (1)과 같이 계산된다.

$$R = \frac{I'}{I} = \frac{\sum_{i=1}^m I_i n \cdot l_i'}{\sum_{i=1}^m I_i n \cdot l_i} \quad (1)$$

R을 표정비율이미지(Expression Ratio Image, ERI)라 하며, 사람의 얼굴은 비슷한 기하학적 구조를 갖기 때문에 ERI에 대한 두 사람의 상관관계는 식 (2)와 같이 근사화 될 수 있다.

$$\frac{I_a'}{I_a} \approx \frac{I_b'}{I_b} \quad (2)$$

동일한 포즈를 가진 두 명의 무표정한 얼굴이미지를 A, B라 하고 표정이 있는 이미지를 A', B'라 할 때 식 (3)과 같이 정리할 수 있으며 이를 이용하여 표정 B'를 구할 수 있다.

$$B'(x, y) = B(x, y) \frac{A'(x, y)}{A(x, y)} = B(x, y)R \quad (3)$$

하지만 조명 조건이 다른 경우, 식 (2)가 성립하지 않기 때문에 적용을 하면 부자연스러운 표정이 생성된다. 따라서 조명 변화에 강건하고 얼굴의 표면 구조가 곡면의 형태라는 것을 감안한 새로운 피부색 변화 모델의 정의가 필요하다.

3.2 비선형 피부색 변화 모델

Lambertian 모델에서 광원이 한 개라고 가정하면, 식 (1)은 식(4)와 같이 정리할 수 있다.

$$R = \frac{I'}{I} = \frac{\rho I n \cdot l_i'}{\rho I n \cdot l_i} \quad (4)$$

$$= \frac{|n \cdot l_i'| \cos \theta'}{|n \cdot l_i| \cos \theta} = \frac{\cos \theta'}{\cos \theta}$$

식 (4)를 통해 표정 생성에 따른 피부 표면의 강도 변화는 조명 방향과 피부 표면의 법선 벡터가 이루는 각도 θ 의 변화에 의해 결정된다는 것을 확인할 수 있다. 그러므로 영상 강도의 변화량을 사용하는 것보다 피부 표면의 법선벡터가 변화한 각도를 이용하는 것이 표정 생성에 따라 발생하는 주름을 입체감 있게 표현할 수 있다. 따라서 실감적인 표정을 생성하기 위해서는 영상 강도의 변화가 아닌 θ 의 변화에 따른 피부색 변화를 이용해야 한다.

얼굴의 형태는 동일한 곡률을 가지지는 않지만 전체적으로 평면이 아닌 곡면의 형태를 가지기 때문에 조명 방향에 따른 피부색의 변화는 선형적으로 이루어지지 않고 조명 방향과 피부의 표면 법선 벡터가 이루는 각도에 따라 Cosine 함수의 형태로 변화한다. 이러한 특징을 이용하여 그림 1과 같이 비선형 피부색 변화 모델을 정의할 수 있다.

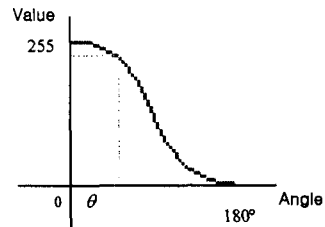


그림 1. 비선형 피부색 변화 모델

비선형 피부색 변화 모델을 이용하여 표정 데이터의 RGB색 상에 대한 각도 변화를 추정한다. 각도는 식 (5)와 같이 계산되며 표정 데이터의 각도 변화를 표정 생성을 위해 기하학적으로 변형한 입력 영상에 적용하여 표정을 생성한다.

$$\theta = \arccos((value/255) \times 2 - 1) \times \pi / 180^\circ \quad (5)$$

value : R, G, B의 색상값

기존 선형 변화 방법은 동일한 위치에 대해 같은 변화량이 적용 되었으나, 제안한 비선형 피부색 변화 모델은 동일한 각도 변화에도 다른 변화량이 적용된다. 그리고 실제 피부색 변화를 더욱 더 정확히 예측하기 위해서 색상 변화량이 아닌 각도차를 이용하여 RGB색상의 변화를 직접 추정한다. 이 과정에서 생성된 표정의 변형 오차에 따른 잡음을 줄이기 위해 얼굴의 구성 요소에 대한 마스크를 생성하여 마스크 영역 내에서만 표정 생성 작업이 일어나도록 처리한다.

4. 합성 비율을 계산한 표정 합성

최종 표정 합성 결과는 표정 생성 단계를 거쳐 생성된 표정 마스크와 원 영상의 합성을 통하여 얻을 수 있다. 이때 합성 되는 영역의 색상 불일치로 인하여 부자연스러운 합성 결과가 나타나거나 영역 간에 경계가 생길 수 있다. 따라서 후처리로 표정 마스크와 원 영상이 좀 더 부드럽게 합성될 수 있도록 혼합용 마스크 영역과 가장 가까운 배경까지의 거리를 구하는 Euclidean Distance Transform(EDT)[4]을 이용하여 혼합비율을 계산한 후 적용한다.

그림 2는 EDT를 이용하여 계산된 혼합 비율을 이용하여 생성된 표정 마스크와 옷은 표정으로 기하학적 변형을 한 영상을 합성하는 과정이다. (c)에서처럼 표정 마스크 주변에 나타나는 테두리의 색상 변화는 두 영상의 혼합 비율을 나타내며 테두리 영역에서만 혼합이 이루어진다. (d)는 혼합 과정을 거친 결과이다. EDT를 이용하여 적용하게 되면 컬러 얼굴 텍스처에 왜

곡을 최소화 하고 좀 더 부드러운 합성 결과를 얻을 수 있다.

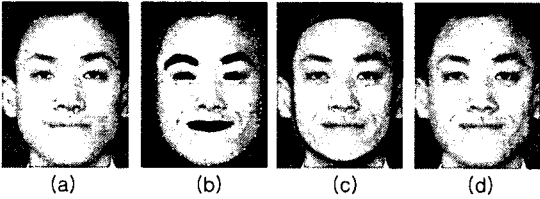


그림 2. 표정 합성 과정 (a) 기하학적 웃음 변형, (b) 생성된 표정 마스크, (c) 혼합 비율에 따른 합성 과정, (d) 합성 결과

5. 실험결과

실험에 사용된 데이터는 298×390 크기로 정규화 된 이미지를 사용하였으며 변형하고자 하는 이미지는 무표정한 상태로 다양한 조명조건에서 촬영한 것을 사용하였다. 표정생성을 위한 데이터로는 다양한 표정을 생성하기 위하여 무표정, 미소, 웃음, 슬픔, 놀람, 화남의 6가지 표정으로 구성하였다. 표정데이터는 전면에 고르게 빛을 받는 상태에서 촬영하였으며 데이터들 간의 조명조건은 같다.

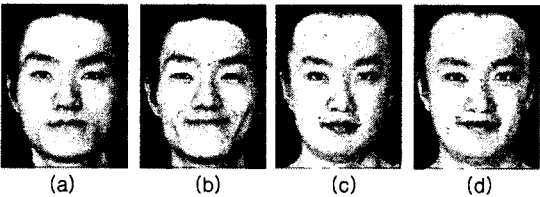


그림 3. 같은 조명조건에서의 실험데이터 (a) 표정데이터 : 무표정 (b) 표정데이터 : 웃음 (c) 대상이미지 : 무표정 (d) 대상이미지 : 기하학적 웃음변형

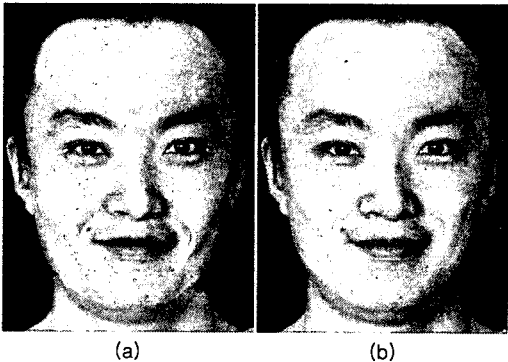


그림 4. 동일한 조명 조건에서의 웃는 표정 합성 결과 (a) 기존 방법 (b) 제안한 방법

그림 3에서 (a)와 (b)는 표정데이터 중에서 무표정한 이미지와 웃는 표정 이미지이다. 대상이미지인 (c)를 웃는 표정 (d)로 왜곡을 이용하여 변형을 하게 되고 (a)와 (b)를 (d)로 정렬한 후 비선형 피부색 변화 모델을 이용하여 각도차를 구하여 (d)에 적용을 한다.

그림 4는 그림 3의 영상들을 이용하여 표정을 합성한 결과이다. 기존 방법의 결과는 조명 조건이 동일한 데이터를 사용하였음에도 불구하고 비율이미지를 이용하기 때문에 피부색의 차이 같은 작은 변화에도 밝기 값의 변화가 심하여 부자연스러운

결과를 나타낸다. 반면에 제안한 방법의 결과는 대상이미지의 조명조건에 맞게 부드럽고 자연스러운 표정이 생성된 것을 확인할 수 있다.

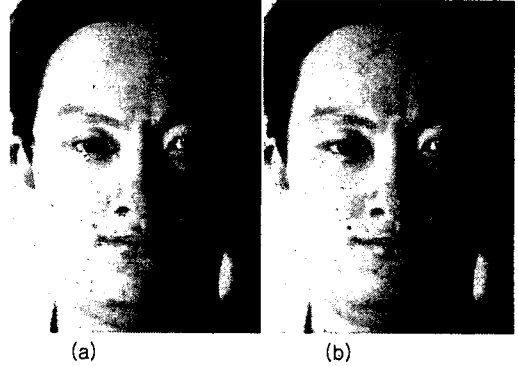


그림 5. 다른 조명 조건에서의 웃는 표정 합성 결과 (a) 기존 방법 (b) 제안한 방법

그림 5는 표정데이터와 대상이미지간의 조명조건이 다른 경우의 실험 결과이다. 표정데이터는 그림 3의 (a), (b)를 사용하였고 기존 방법의 결과는 어색하고 노이즈가 많은 표정이 생성되었다. 제안한 방법의 결과는 빛을 많이 받는 부분의 주름은 약하게 표현되고, 그림자가 생겨 어두운 부분에서도 조명 조건에 맞게 주름이 잘 생성된다.

6. 결론

본 논문에서는 비선형 피부색 변화 모델을 이용한 얼굴 표정 합성 방법을 제안하였다. 기하학적 구조의 변형뿐 아니라 피부색에도 변화를 줌으로써 텍스처의 세부적인 변화를 표현할 수 있었다. 이 과정에서 단순한 비율을 이용한 선형 변화가 아닌 비선형 변화 모델을 이용하여 더욱 실감적인 표정을 생성하였고 EDT를 이용한 합성 비율의 계산을 통하여 생성된 표정을 입력 영상에 부드럽게 합성하였다. 제안한 방법은 조명 조건과 표정 생성시 발생할 수 있는 정렬 오차에 대해 기존 방법들 보다 더 좋은 성능을 보였다. 향후, 다양한 피부색과 조명 조건에 강건하도록 피부색 변화 모델을 개선하는 연구가 필요하다.

참고 문헌

[1] T. Cootes, G. J. Edwards, and C. J. Taylor. Active appearance models. In H.Burkhardt and B. Neumann, editors, 5th European Conference on Computer Vision, volume 2, pages 484-498. Springer, 1998.
 [2] Hyun Park, Kee Wook Rim, and Young Shik Moon, "An Efficient Aesthetic Surgery Model Based on 2D Color Photograph", In PCM 2005, Part II, LNCS 3768, pp.865-876, 2005.
 [3] Z. Liu, Y. Shan, Z. Zhang, "Expressive Expression Mapping with Ratio Images", Proc. SIGGRAPH01, pp.271-276, 2001.
 [4] H.Breu, J.Gil, D. Kirkpatrick and M.Weman, "Linear Time Euclidean Distance Transform Algorithm," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 17, No. 5, pp.529-533, May 1995