

얼굴 움직임이 결합된 3차원 얼굴 모델의 표정 생성

3D Facial Model Expression Creation with Head Motion

권오륜, Ohryun Kwon*, 전준철, Junchul Chun*, 민경필, Kyongpil Min**

*경기대학교 전자계산학과, **㈜휴민텍

요약 본 논문에서는 비전 기반 3차원 얼굴 모델의 자동 표정 생성 시스템을 제안한다. 기존의 3차원 얼굴 애니메이션에 관한 연구는 얼굴의 움직임을 나타내는 모션 추정을 배제한 얼굴 표정 생성에 초점을 맞추고 있으며 얼굴 모션 추정과 표정 제어에 관한 연구는 독립적으로 이루어지고 있다. 제안하는 얼굴 모델의 표정 생성 시스템은 크게 얼굴 검출, 얼굴 모션 추정, 표정 제어로 구성되어 있다. 얼굴 검출 방법으로는 얼굴 후보 영역 검출과 얼굴 영역 검출 과정으로 구성된다. HT 컬러 모델을 이용하여 얼굴의 후보 영역을 검출하며 얼굴 후보 영역으로부터 PCA 변환과 템플릿 매칭을 통해 얼굴 영역을 검출하게 된다. 검출된 얼굴 영역으로부터 얼굴 모션 추정과 얼굴 표정 제어를 수행한다. 3차원 실린더 모델의 투영과 LK 알고리즘을 이용하여 얼굴의 모션을 추정하며 추정된 결과를 3차원 얼굴 모델에 적용한다. 또한 영상 보정을 통해 강인한 모션 추정을 할 수 있다. 얼굴 모델의 표정을 생성하기 위해 특징점 기반의 얼굴 모델 표정 생성 방법을 적용하며 12개의 얼굴 특징점으로부터 얼굴 모델의 표정을 생성한다. 얼굴의 구조적 정보와 템플릿 매칭을 이용하여 눈썹, 눈, 입 주위의 얼굴 특징점을 검출하며 LK 알고리즘을 이용하여 특징점을 추적(Tracking)한다. 추적된 특징점의 위치는 얼굴의 모션 정보와 표정 정보의 조합으로 이루어지기 때문에 기하학적 변환을 이용하여 얼굴의 방향이 정면이었을 경우의 특징점의 변위인 애니메이션 매개변수를 획득한다. 애니메이션 매개변수로부터 얼굴 모델의 제어점을 이동시키며 주위의 점들은 RBF 보간법을 통해 변형한다. 변형된 얼굴 모델로부터 얼굴 표정을 생성하며 모션 추정 결과를 모델에 적용함으로써 얼굴 모션 정보가 결합된 3차원 얼굴 모델의 표정을 생성한다.

핵심어: Facial Animation, Face Detection, Facial Feature Tracking, Motion Estimation, Facial Expression, RBF

1. 서론

3차원 얼굴 애니메이션에 대한 연구는 컴퓨터 그래픽스 및 비전 분야에서 연구가 활발히 진행 중이다. 실제 사람의 얼굴 표정을 애니메이션으로 표현하는 것은 해부학적 얼굴 구조의 복잡성과 얼굴 표정의 섬세한 움직임을 3차원으로 표현해야 되기 때문에 컴퓨터 애니메이션 연구 분야 중에서 가장 어려운 분야로 인식되고 있다. 또한 사람의 얼굴은 신체의 다른 부분과 달리 복잡하고 얼굴 모습의 자연적인 감성으로 인해 감정이나 표정을 제대로 표현하기가 힘들다.

얼굴 애니메이션 기술은 개별적으로 발달되어 왔던 컴퓨터 그래픽스, 영상처리, 컴퓨터 비전 기술을 복합적으로 이용하여 얼굴의 움직임과 현실감 있고 자연스러운 3차원 얼굴 표정을 다양하게 생성하여 많은 분야에 적용할 수 있다[1]. 일반적으로 얼굴 애니메이션을 생성하는 기술은 사람의 간섭

유무에 따라 나눌 수 있다. 사람의 간섭이 필요한 방법에는 애니메이터에 의해 수작업으로 애니메이션을 생성하는 방법과 센서나 얼굴의 중요한 부분에 마커를 부착하여 특수장비를 이용한 애니메이션을 생성하는 방법이 있다. 이와 반대로, 사람의 간섭을 필요로 하지 않는 비전기반 방법은 카메라로부터 얻은 2차원 얼굴 영상을 분석한 정보를 통해 애니메이션을 생성하는 방법이다. 이 방법은 얼굴의 움직임을 영상처리 및 비전 기술을 이용하여 분석하게 되며 특수 장비를 필요로 하지 않는다. 또한 적은 비용과 쉽게 애니메이션을 생성할 수 있는 장점이 있다. 하지만 정확한 얼굴의 움직임이나 얼굴의 중요한 부분을 정확히 분석하기 어렵기 때문에 현실감 있는 얼굴 애니메이션을 만들기 어려우며 많은 연산을 필요로 하기 때문에 실시간으로 적용하기 힘든 단점이 있다.

본 논문에서는 저가의 웹캠으로부터 입력된 얼굴 영상을 분석하여 얼굴의 모션과 표정 정보를 3차원 얼굴 모델에 적용함으로써 얼굴의 움직임과 표정 제어가 통합된 실시간 3차원 얼굴 표정 생성하는 것을 목적으로 한다.

본 연구는 21세기 프론티어 연구개발사업의 일환으로 추진되고 있는 정보통신부의 유비쿼터스컴퓨팅 및 네트워크 원천 기반기술개발사업의 지원에 의한 것임

2. 관련 연구

기존의 3차원 얼굴 애니메이션에 관한 연구는 얼굴의 움직임이나 나타내는 모션 추정을 배제한 얼굴 표정 생성에 초점을 맞추고 있으며 얼굴 모션 추정과 표정 제어의 단독적인 연구가 이루어지고 있다. 또한, 얼굴 모션 추정과 표정 제어가 통합된 연구에서는 대부분 마커나 센서와 같은 특수 장비를 사용한다.

얼굴 모션 추정에 관한 기존 연구로는 크게 외형 기반 방법과 모델 기반 방법으로 나눌 수 있다. 외형 기반 방법은 3차원 얼굴 모션과 얼굴 이미지의 속성간의 관계를 이용하여 얼굴의 모션을 추정하는 방법으로써 Liu[2]의 연구에서 스테레오 이미지를 통해 얼굴 특징점 위치의 기하학적인 속성을 이용하여 얼굴 모션을 추정하는 방법과 Darrell[3]의 고유공간을 이용한 방법 등이 있다. 모델 기반 방법으로는 DeCarlo[4]의 연구에서 3차원 얼굴 모델을 이용한 방법, Hager[5]의 2차원 평면 모델을 이용한 방법, Cascia[6]의 3차원 실린더 모델과 얼굴 텍스처를 이용한 방법 등이 있다. 파라메트릭 모델 기반 방법은 수십개의 매개변수들에 의해 얼굴 표정 변화가 일어난다는 가정을 기반으로 표정을 생성하는 방법이다. Osterman[7], Chien[8]의 연구에서 MPEG-4 표준에 의해 정의된 얼굴 애니메이션 매개변수와 얼굴의 AU(Action Unit)을 이용하여 표정을 생성하는 방법에 대해 제안하였다.

3차원 얼굴 모델을 이용한 얼굴 표정 제어 방법으로는 키프레임 애니메이션, 근육 모델, 파라메트릭 모델을 이용한 방법 등 다양한 방법이 있다. 키프레임 애니메이션은 중요한 키프레임 사이에 보간법을 이용하여 생성하는 방법으로 Pighin의 연구에서 선형 보간법을 이용하여 애니메이션을 생성하였다. 근육 모델 방법은 실제 사람의 근육을 얼굴 모델에 적용한 방법으로 Terzopoulos[9]의 연구에서 적용된 벡터 기반 근육 모델 방법이 가장 많이 사용되고 있다.

얼굴의 움직임이 결합된 얼굴 표정 생성에 관한 기존의 연구는 다음과 같다. Chai[10]의 연구에서는 얼굴 모션 추정과 얼굴 표정 제어가 통합된 얼굴 애니메이션 시스템 제안하였다. 이 연구에서는 어떠한 얼굴의 방향에서도 얼굴의 표정에 대한 애니메이션을 생성할 수 있다. 제안한 시스템은 크게 세 가지 과정으로 나뉘는데 얼굴의 모션을 추정하는 단계와 얼굴 표정 생성에 대한 단계, 그리고 통합 단계로 구성된다. 얼굴 모션 추정 단계에서는 3차원 실린더 모델과 Optical flow에 의해 생성되는 모션 필드를 이용하여 얼굴 모션 추정을 한다. 그리고 얼굴 표정 생성 단계에서는 얼굴 표정을 생성하기 위해 전처리 과정으로 실제 사람 얼굴에 76개의 모션 캡처 마커를 이용하여 각 얼굴 표정에 대한 기저를 생성하고 데이터베이스에 저장한다. 실제 얼굴 모델의 표정 생성을 위해 데이터베이스에 정의된 기저들의 조합에 의해 얼굴 모델의 표정을 생성한다. 이와 같은 처리과정을 통해 만들어진 얼굴 모션 매개변수와 얼굴 모델의 표정 생성을 아바타에 적용함으로써 얼굴 모델의 애니메이션을 생성한다.

Wei[11]의 연구에서는 얼굴의 기하학적 특징과 보간법을 이용해 통합된 얼굴 애니메이션 시스템을 제안하였다. 적외선 카메라와 같은 IR-RED 기반의 눈 추적 시스템을 이용하여 연속된 프레임에서 얼굴의 눈을 검출한다. 검출된 눈의 위치를 기반으로 얼굴의 모션을 추정한다. 그리고 얼굴 표정

을 생성하기 위한 제어점인 코, 입 주위의 얼굴 특징점을 가버 웨이블릿(Gabor Wavelet)을 이용하여 검출하며 칼만 필터를 통해 추적하게 된다. 추적된 얼굴의 특징점과 얼굴 모델의 제어점과의 1:1 매핑관계를 이루게 된다. 추적된 특징점의 위치가 이동하게 되면 매핑되어 있는 제어점이 이동하며 벡터 보간을 통해 주위의 정점들을 이동시키게 된다. 이와 같이 특징점 기반의 정점의 변형을 통해 얼굴의 표정을 생성하게 된다.

3. 얼굴 표정 생성 시스템

본 논문에서는 실시간으로 입력되는 영상에서 얼굴 모션 추정과 표정 제어를 통해 얼굴 움직임이 통합된 3차원 얼굴 애니메이션의 생성 방법에 대해 제안한다(그림 1). 제안 시스템의 구조는 크게 얼굴 검출, 얼굴 모션 추정, 얼굴 표정 생성 단계로 구성되어 있다. 초기 입력 영상으로부터 피부색 모델을 이용하여 얼굴의 후보 영역을 검출하고 후보 영역으로부터 PCA, 템플릿 매칭을 통해 정확한 얼굴 영역을 검출한다. 얼굴 모션 추정 단계에서는 검출된 얼굴 영역에 3차원 실린더 모델을 투영하며 LK 알고리즘을 이용하여 얼굴의 모션을 추정한다. 얼굴 표정 생성 단계에서는 검출된 얼굴 영역에서 얼굴의 특징점을 검출 및 연속된 영상에서 추적한다. 얼굴 특징점의 위치와 추정된 모션 벡터로부터 기하학적 특성을 이용하여 애니메이션 매개변수를 생성한다. 애니메이션 매개변수는 3차원 얼굴 모델의 제어점에 적용되며 RBF 보간법을 이용하여 제어점 주위의 정점을 보간함으로써 모델의 표정을 생성한다.

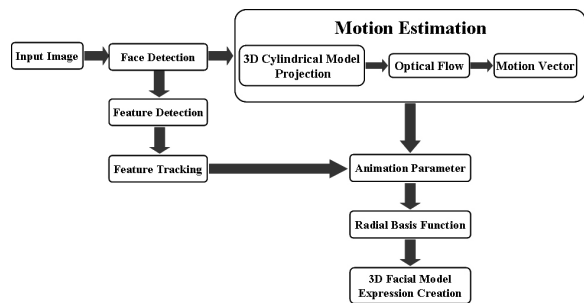


그림 1 시스템 구성도

3.1 얼굴 검출

입력 영상에서 얼굴 영역을 검출하기 위해 얼굴 후보 영역 검출과 얼굴 영역 검출 과정으로 구성된다. 영상에서 빠르게 얼굴 영역을 분리할 수 있는 HT 색상 모델을 적용하여 얼굴 후보 영역 검출을 검출한다. 하지만 색상 모델은 복잡한 배경이나 주변의 조명에 영향을 많이 받는 단점이 있기 때문에 실제 얼굴 영역을 검출하기 위해 템플릿 매칭을 적용한다. 템플릿 매칭시 비교 연산이 많기 때문에 PCA 변환을 통해 고차원의 얼굴 데이터를 저차원의 특징 벡터로 변환하여 템플릿 매칭을 수행한다. 그림 2는 얼굴 검출 과정을 도식화한 것이다.

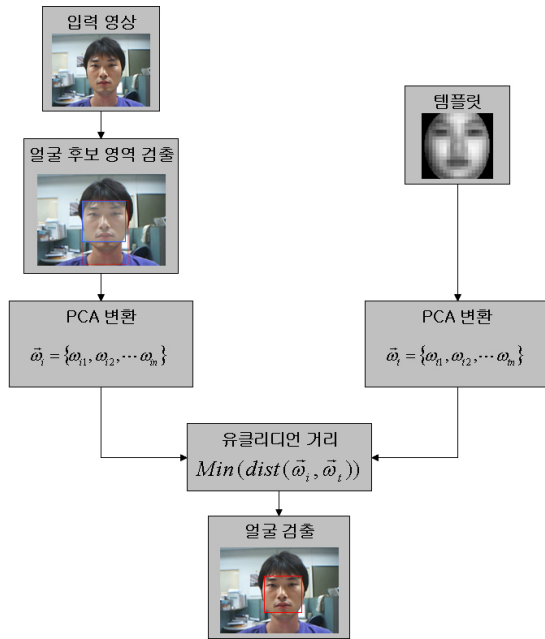


그림 2 얼굴 검출 과정

3.2 얼굴 모션 추정

얼굴 움직임 정보를 얻기 위한 3차원 얼굴 모션 추정 과정은 3차원 실린더 모델의 투영과 LK 알고리즘을 적용한다. 검출된 얼굴 영역에 3차원 실린더 모델을 원근 투영하게 되며 투영된 영역에 대해 LK 알고리즘을 적용하여 얼굴의 모션 정보를 추정한다. 또한, 강인한 얼굴 모션 추정을 위해 몇 가지 보정 방법을 적용하며 동적 템플릿을 이용하여 얼굴 영역이 장애물에 의해 가려졌을 경우에도 강인한 얼굴 모션 추정을 할 수 있다.

본 논문에서 적용하는 Optical flow 알고리즘은 연속된 두 영상에서의 픽셀이 움직인 변위를 계산하고 나타내는 방법으로서 물체의 이동 또는 운동에 관한 사항을 측정하거나 인식하는데 적용될 수 있다. 일반적으로 Optical flow 알고리즘에는 Horn-Schunck, Lucas-Kanade, Anandan 등 여러 가지가 존재한다[14]. 그 중에서 Lucas-Kanade가 제안한 LK 알고리즘을 적용한다. LK 알고리즘은 영상의 특징이 되는 영역($n \times n$ 특징 윈도우) 안의 움직임 속도는 동일하다는 가정으로부터 시작되며 영상의 밝기 값의 차이를 이용하여 움직임 정보인 모션 필드를 측정하게 된다. LK 알고리즘은 특징 윈도우 영역인 로컬 영역에 대한 모션 필드를 계산하는 방법이며 다른 알고리즘에 비해 정확하고 잡음에 강인한 장점을 가지고 있다.

먼저 영상에서의 픽셀을 $\mathbf{u} = (u, v)$ 라고 하면 시간 t 에서의 영상은 $I(\mathbf{u}, t)$ 로 표현할 수 있다. 시간 $t+1$ 에서 픽셀 \mathbf{u} 는 모션 벡터에 의해 $\mathbf{u}' = F(\mathbf{u}, \mu)$ 으로 이동하게 된다. 여기서 μ 는 모션 벡터이고 $F(\mathbf{u}, \mu)$ 는 모션 모델이라 한다. 만약 주변 조명이 변하기 않는다고 가정하면 영상에서의 픽셀 좌표는 이동하지만 ($\mathbf{u} \rightarrow \mathbf{u}'$), 픽셀의 밝기 값은 변하지 않기 때문에 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

$$I(F(\mathbf{u}, \mu), t+1) = I(\mathbf{u}, t) \quad (1)$$

LK 알고리즘은 모션 벡터 μ 를 계산하기 위해 밝기 값 변화량의 제곱 값을 최소화함으로써 얻게 된다(식 2).

$$\min E(\mu) = \sum_{\mathbf{u} \in \Omega} (I(F(\mathbf{u}, \mu), t+1) - I(\mathbf{u}, t))^2 \quad (2)$$

Ω 는 시간 t 에서 측정하고자 하는 이미지의 영역이고 모션 벡터를 얻기 위해서는 영역 Ω 안에 존재하는 픽셀을 이용하여 계산하게 된다. 일차 테일러 확장을 통해 식 2를 식 3과 같이 전개할 수 있다.

$$\mu = - \left(\sum_{\Omega} (I_{\mathbf{u}} F_{\mu})^T (I_{\mathbf{u}} F_{\mu}) \right)^{-1} \sum_{\Omega} (I_{\mathbf{u}} (I_{\mathbf{u}} F_{\mu})^T) \quad (3)$$

$I_{\mathbf{u}}$ 와 I_t 는 각각 공간적 이미지 변화량과 시간적 이미지 변화량이며, F_{μ} 는 함수 F 에서 μ 에 대해 편미분한 것이다.

3차원 실린더 모델을 원근 투영하고 투영된 모델을 이용하여 얼굴 모션을 추정하는 방법은 다음과 같다. 먼저 시간 t 에서 실린더 모델의 좌표 $X = [x, y, z]^T$ 는 $t+1$ 에서의 모델 좌표는 회전과 이동 변화에 의해 결정된다(식 4).

$$X(t+1) = M \cdot X(t) = \begin{bmatrix} R & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot X(t) \quad (4)$$

M 행렬은 식 5와 같이 3차원 회전 변환 행렬인 $R_{3 \times 3}$ 과 3차원 이동 변환 행렬인 $T_{3 \times 1}$ 을 동차좌표계로 표현한 것이다.

$$M = \begin{bmatrix} 1 & -w_z & w_y & t_x \\ w_z & 1 & -w_x & t_y \\ -w_y & w_x & 1 & t_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$[w_x, w_y, w_z]$ 는 3차원 회전에 관한 변수이고, $[t_x, t_y, t_z]$ 는 3차원 이동에 관한 변수를 나타낸다.

시간 $t+1$ 에서 원근 투영에 의해 실린더 모델의 정점 X 가 이미지에 투영되는 픽셀 \mathbf{u} 는 모션 모델 $F(\mathbf{u}, \mu)$ 에 의해 계산될 수 있으며 모션 모델은 식 6과 같이 모션 벡터 $\mu = [w_x, w_y, w_z, t_x, t_y, t_z]$ 에 의해 표현될 수 있다.

$$\mathbf{u}(t+1) = \begin{bmatrix} x - yw_z + zw_y + t_x \\ xw_z + y - zw_x + t_y \end{bmatrix} \cdot \frac{f_L}{-xw_y + yw_x + z + t_z} \quad (6)$$

f_L 은 초점 거리를 나타낸다. 시간 t 에서 $\mu=0$ 일 때, F_μ 는 식 7에 의해 계산될 수 있다.

$$F_\mu = \begin{bmatrix} -xy & x^2+z^2 & -yz & z & 0 & -x \\ -(y^2+z^2) & xy & xz & 0 & z & -y \end{bmatrix} \cdot \frac{f_L}{z^2}(t) \quad (7)$$

I_u, I_t, F_μ 를 이용하여 3차원 실린더 영역 안의 밝기 패턴의 움직임을 계산할 수 있으며 식 3에 의해 오차가 최소화되는 모션 벡터 μ 를 계산함으로써 3차원 얼굴 모션을 추정한다.

위의 LK 알고리즘을 이용하여 얼굴 모션을 추정할 수 있지만 좀 더 정확한 모션을 추정하기 위해 조명에 대한 보정과 반복적 가중 최소 제곱법, 에지를 포함한 픽셀에 대한 가중치, 템플릿의 밀도가 동일하지 않은 것에 대한 가중치를 적용하며 식 3을 식 8과 같이 수정할 수 있다.

$$\mu = - \left(\sum_{\Omega} (w(I_u F_\mu)^T (I_u F_\mu)) \right)^{-1} \sum_{\Omega} (w(I_t (I_u F_\mu)^T)) \quad (8)$$

다음 그림 3은 연속적인 입력 영상에 대해 얼굴 모션 추정 결과이다.



그림 3 얼굴 모션 추정 결과

또한, 동적 템플릿을 적용함으로써 얼굴에 가려짐 현상 (Occlusion)이 발생하였을 경우에도 그림 4와 같이 강인한 얼굴 모션 추정을 할 수 있다.

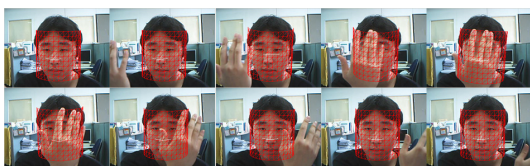


그림 4 가려졌을 경우 모션 추정 결과

3.3 얼굴 모델 표정 제어

일반적으로 모델의 변형은 전역적 변형과 지역적 변형으로 나눌 수 있다. 정점에서 어느 정도 멀리 있는지의 거리에 상관없이 모든 제어점에 의해 영향을 받는다면 전역적 변형이며 정점에서 일정거리 이상 떨어진 제어점들로부터는 영향을 받지 않는다면 지역적 변형이라 한다. 지역적 변형은 제어점들이 충분히 가까울 경우에만 영향력을 미치게 되고 이를 표현하기 위해 근접한 정도에 따라 가중치 값을 달리하여 영향력을 표현한다. 얼굴 모델의 표정 생성을 위한 변형으로 지역적 변형을 적용한다. K-Means 알고리즘을 이용하여 눈, 눈썹, 입 주위에 존재하는 12개의 제어점에 따라 군집을 형성한다. 군집을 형성한 후 군집 내의 정점들 중 영향을 받는 영역을 정하기 위해 RBF 함수의 너비 매개변수에 의해 변형의 영향을 주는 영역으로 설정한다.

본 논문에서는 3차원 얼굴 모델의 표정을 제어하기 위해 특징점 기반 모델 변형 방법을 이용하며 RBF 보간법을 적용한다. RBF 보간법은 각 제어점이 대응되는 제어점으로 이동하고 영향을 받는 영역 안에 있는 나머지 정점들을 중간적 위치로 사상하도록 하는 보간을 제공하며 3차원 기하학적 모델을 자연스럽게 부드럽게 변형시키는 특성을 가지고 있다. RBF 함수의 일반적인 형태의 변형은 다음과 같다.

변형하고자 하는 정점들을 $f(\vec{x})$ 라고 한다면 보간 함수는 $f(\vec{x}, \vec{c})$ 으로 정의할 수 있다. \vec{x} 는 정점을 나타내는 벡터이며 \vec{c} 는 각 제어점으로부터 영향을 받는 가중치를 나타낸다. RBF 함수를 수학적으로 표현하면 식 9와 같다.

$$F(\vec{x}) = \sum_{i=1}^N c_i h(r) \quad (9)$$

N 은 제어점의 개수를 나타낸다. 또한, $h(r)$ 은 RBF 함수의 기저함수를 나타내며 매개변수인 r 은 제어점과 정점간의 유클리디언 거리를 나타낸다. RBF 함수는 기저함수에 의해 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며 다양한 형태로 존재하는데 표 1과 같이 정의된다.

표 1 RBF 기저함수의 형태

기저함수	$h(r)$
선형 거리	r_i
다중 이차	$\sqrt{r^2 + \sigma^2}$
TPS(Thin Plate Splines)	$r^2 \log r$
가우지언	$e^{(-r^2/\sigma)}$

본 논문에서는 RBF 기저함수 중 가우지언 함수를 적용한다. 초기 제어점의 위치와 이동한 제어점의 위치 사이의 매핑관계는 $\vec{x} = x_1, x_2, \dots, x_{12}$ 으로 정의되며 RBF 함수는 식 10과 같이 표현된다.

$$F(\bar{x}) = \sum_{i=1}^N c_i e^{(-r_i^2/\sigma)} \quad (10)$$

이와 같이 RBF 함수의 해를 구하기 위해 제어점의 설정과 가중치 c_i , 그리고 너비 매개변수 σ_i 의 값을 구해야 한다. 먼저 제어점의 위치는 눈썹, 눈, 입 주위에 존재하는 12개의 정점이다.

c_i 는 제어점의 변위를 이용하여 계산할 수 있다. 얼굴 모델 변형에서 $F(\bar{x})$ 는 초기의 얼굴 모델에 정의되어 있는 정점들이 RBF 함수에 의해 새로운 정점들의 위치로 매핑이 될 수 있도록 변형이 이루어질 때의 변위를 의미한다. 12개의 제어점 위치는 초기의 위치와 변형된 새로운 위치를 모두 알고 있으므로 식 11과 같이 c_i 를 계산할 수 있다.

$$\bar{c} = h^{-1} \bar{x}^{target} \quad (11)$$

하지만 제어점의 데이터가 노이즈를 가질 수 있기 때문에 식 12와 같이 행렬 h 에서 대각선 성분을 수정하여 노이즈를 줄일 수 있다.

$$\bar{c} = (c_1, c_2, \dots, c_{12}) = (h + \lambda I)^{-1} \bar{x}^{target} \quad (12)$$

$$h = \begin{bmatrix} h(0) + \lambda I & h(\|x_2 - x_1\|) & \dots & h(\|x_{12} - x_1\|) \\ h(\|x_1 - x_2\|) & h(0) + \lambda I & \dots & h(\|x_{12} - x_2\|) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ h(\|x_1 - x_{11}\|) & h(\|x_2 - x_{11}\|) & \dots & h(\|x_{12} - x_{11}\|) \\ h(\|x_1 - x_{12}\|) & h(\|x_2 - x_{12}\|) & \dots & h(0) + \lambda I \end{bmatrix}$$

λ 는 노이즈에 대한 보정을 하기 위한 계수로서 작은 영향을 주기 위한 실험에 의한 값으로 0.01을 적용한다. 만약 λ 의 값이 0이면 식 11과 동일하다.

RBF 함수에 의해 얼굴 모델이 지역적으로 국한된 영역에 한해서만 변형이 일어나야 하는 경우 각 기저 함수의 영향이 미치는 범위를 정할 수 있어야 한다. 기저 함수의 영향이 미치는 범위는 너비 매개변수 σ 를 조정함으로써 정할 수 있다. 너비 매개변수는 제어점 주위에 존재하는 정점들의 움직임에 영향을 미치는지에 대한 범위와 관련된 변수이다. 너비 매개변수에 따라 가우지언 함수의 특징인 종 모양의 기저 함수에 영향이 미치는 정점의 범위를 정의할 수 있다.

가우지언 함수의 특징에 따라 제어점으로부터 멀리 떨어진 정점에는 작은 가중치를 부여하며, 가까이 있는 정점에는 큰 가중치의 값을 부여하여 제어점 주위의 정점들을 변형시킨다. 이러한 너비 매개변수에 따라 변형의 부드러운 정도가 결정되며, 너비 매개변수의 값이 커질수록 변화는 완만해지며, 값이 작아질수록 급격한 변화를 가져온다. 또한, 너비 매개변수가 증가하면 멀리 있는 제어점에 영향을 받기 때문에 지역적 변형이 일어날 수 있다.

본 논문에서 적용하는 너비 매개변수의 값은 얼굴 모델에서 정점의 분포가 균일하지 않고 산재되어 있기 때문에 각

제어점에 따른 서로 다른 너비 매개변수의 값을 적용한다. 따라서 너비 매개변수는 각 제어점에 대해 군집화된 영역에 있는 정점들 중 제어점과의 거리가 가장 긴 거리를 이용하고 각 군집마다 가중치를 적용하여 너비 매개변수의 값을 계산한다(식 13).

$$\sigma_i = \max \left\| \bar{x}_i^{source} - \bar{x}_j \right\| \times weight \quad (i \neq j) \quad (13)$$

그림 5는 제안한 방법에 의한 얼굴 모델의 변형을 통해 생성할 수 있는 표정에 대한 결과이다.

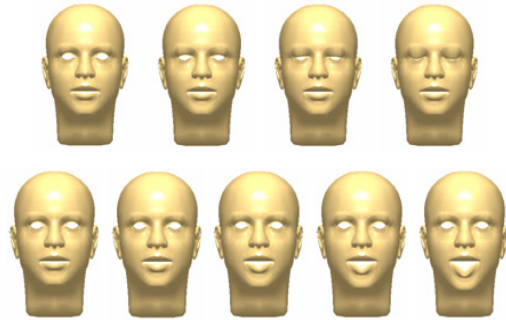


그림 5 얼굴 모델 변형

3.4 통합 얼굴 애니메이션

본 논문에서는 위의 절에서 언급한 얼굴 모션 추정과 얼굴 모델의 표정 제어가 통합된 얼굴 애니메이션을 생성한다. 특징점을 기반으로 얼굴 모델의 표정 제어가 이루어지기 때문에 연속된 프레임에서 얼굴 특징점을 추적(Tracking)하게 된다. 추적된 얼굴의 특징점 위치는 얼굴의 모션과 얼굴 표정 변화의 조합으로 이루어져 있다. 따라서, 얼굴의 표정 변화를 나타내는 애니메이션 매개변수는 추적된 얼굴 특징점의 위치와 모션 추정 결과인 모션 매개변수로부터 기하학적 변환을 이용하여 얼굴의 방향이 정면이었을 때 특징점의 위치를 계산하게 되며 초기 특징점의 위치로부터 변위인 얼굴 애니메이션 매개변수를 계산할 수 있다. 이와 같이 애니메이션 매개변수와 3차원 얼굴 모델의 제어점 이동벡터간의 매핑관계를 통해 얼굴 모델을 변형시키며 모션 매개변수를 적용하여 통합된 3차원 얼굴 애니메이션을 생성한다.

3.4.1 얼굴 특징점 검출 및 추적

검출된 얼굴 영역으로부터 얼굴의 구조적 정보, 템플릿 매칭, 그리고 히스토그램을 이용하여 특징점을 검출한다[14]. 그림 6은 얼굴의 구조적 정보를 표현한 것이다. 얼굴 구조적 정보로부터 얼굴의 특징을 검출하기 위한 영역을 정하게 되며 해당 영역 안에서 템플릿 매칭을 이용하여 특징의 위치를 찾게 된다.

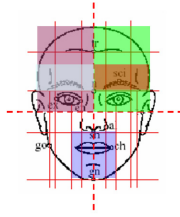


그림 6 얼굴의 구조적 정보

눈을 검출하기 위해 얼굴의 윗부분 영역에서 템플릿 매칭을 수행하며 템플릿 영상과의 가장 유사한 영역을 눈 영역으로 검출하게 된다. 검출된 영역으로부터 필요한 특징점을 검출하기 위해 재배치 과정을 수행한다. 재배치 과정은 그림 7과 같이 검출된 영역을 Canny 에지 필터를 적용하여 검출된 에지의 히스토그램을 이용하여 특징점의 위치를 재배치한다.



그림 7 눈의 특징점 재배치 과정

눈썹과 입에 대한 특징점을 검출하는 과정은 위의 과정과 동일하다. 이와 같은 방법으로 12개의 특징점을 검출한다. 그림 8은 얼굴의 특징점을 검출한 결과이다.



그림 8 얼굴 특징점 검출 결과

3.4.2 기하학적 변환

얼굴 특징점의 위치는 이미지에서 얼굴 모션의 변화나 표정 변화에 의해 이동한다. 얼굴 모션 변화에 의해 이동한 특징점의 위치는 기하학적 변환에 의해 얼굴의 방향이 정면이었을 때의 특징점 위치를 계산할 수 있다.

얼굴의 방향이 정면이고 초기 특징점의 위치는 \vec{v}_o 이며, 모션 변화와 표정 변화에 의해 이동한 특징점의 위치를 \vec{v}_p 라고 정의한다. 식 14는 기하학적 변환에 의한 \vec{v}_o 와 \vec{v}_p 의 관계이다.

$$\vec{v}_p = T \cdot R \cdot \vec{v}_f, \quad \vec{v}_f = \delta \vec{v} + \vec{v}_o \quad (14)$$

\vec{v}_f 는 현재 얼굴 방향이 정면일 때 특징점의 위치를 나타낸다. $\delta \vec{v}$ 는 초기 특징점의 위치로부터 표정 변화에 의해 변형된 특징점의 변위를 나타내며 애니메이션 매개변수이다. T 와 R 은 각각 모션 추정 결과에 의한 이동 변환행렬과 회전 변환행렬을 나타낸다.

애니메이션 매개변수 $\delta \vec{v}$ 를 계산하기 위해 \vec{v}_o 와 \vec{v}_p 의 기하학적 관계를 이용한다. \vec{v}_f 는 식 15와 같이 역변환을 통해 계산된다.

$$\vec{v}_f = R^{-1} \cdot T^{-1} \cdot \vec{v}_p \quad (15)$$

계산된 \vec{v}_f 로부터 식 16과 같이 애니메이션 매개변수를 계산한다.

$$\delta \vec{v} = \vec{v}_f - \vec{v}_o \quad (16)$$

3.4.3 눈 영역 처리

얼굴의 눈썹과 입 주위에 존재하는 특징점과 달리 눈 주위에 존재하는 특징점은 눈의 특성상 눈의 움직임을 나타내는 특징점은 좌우에 위치한 특징점이 아닌 상하에 위치한 특징점이다. 따라서, 눈에 존재하는 좌우의 특징점은 Optical flow를 이용하여 추적하며 추적된 특징점 주위의 눈 영역에 대한 모션 추정결과에 따른 2차원 영상에 대한 변환을 적용한다. 좌우 특징점에 따른 눈 영역에 대해 명암을 이용하여 임계값으로부터 이진 데이터로 분할한다(식 17).

$$\begin{aligned} I(x, y) &= 255 \quad (I(x, y) > \sigma) \\ I(x, y) &= 0 \quad (I(x, y) \leq \sigma) \end{aligned} \quad (17)$$

σ 는 임계값으로 60을 이용한다.

그림 9와 같이 눈 영역 처리 과정을 통해 눈의 상하에 위치한 특징점의 위치를 획득하며 분할된 이진 영상으로부터 히스토그램을 이용하여 눈의 상하 움직임을 측정한다.

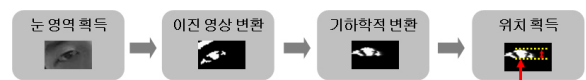


그림 9 눈 영역 처리 과정

3.5 실험 결과

본 논문에서 제안한 방법을 통해 얼굴의 움직임이 통합된 3차원 얼굴 애니메이션 생성 결과는 그림 10과 같다. 애니메이션 생성 결과와 같이 얼굴 움직임에 상관없이 표정을 생성한 것을 볼 수 있다.

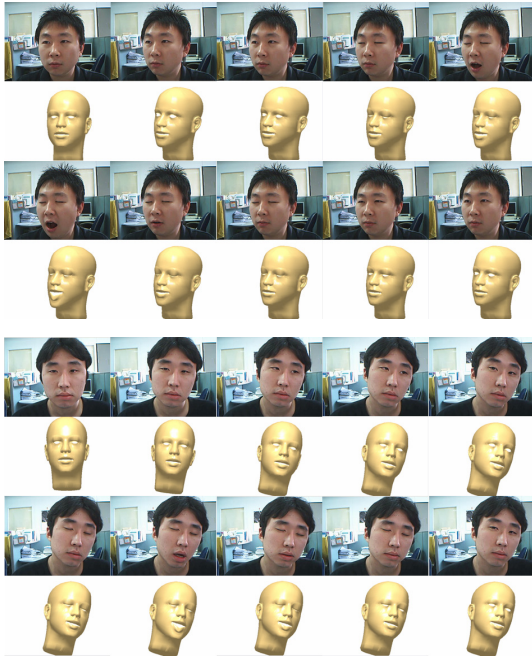


그림 10 얼굴 모델의 표정 생성 결과

4. 결론 및 향후 연구 방안

본 논문은 비전기반 실시간 모션 추정과 표정 제어에 의한 3차원 얼굴 모델의 표정 생성 방법을 제안하였다. HT 색상 모델과 템플릿 매칭을 이용하여 영상에서 얼굴 영역을 검출하였으며 실린더 모델과 LK 알고리즘으로부터 얼굴의 모션을 추정하였다. 추적된 얼굴 특징점의 위치로부터 애니메이션 매개변수를 획득하여 모델의 제어점에 적용하였으며 RBF 보간법을 통해 얼굴 모델의 표정을 생성하였다. 모션 추정과 표정 제어를 통해 얼굴의 움직임이 통합된 3차원 얼굴 애니메이션을 생성하는 방법을 제안하였다.

향후 연구 과제로는 다양한 얼굴 표정을 생성하는 연구가 필요하다. 따라서 더 많은 얼굴 특징점 검출의 필요성과 검출하기 위한 방법에 대한 연구가 있어야겠다. 또한, 얼굴 표정으로부터 얼굴 모델뿐만 아니라 사람이 아닌 동물이나 캐릭터에 대해 얼굴 표정을 생성하는 복제(Cloning)에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

[1] J.Y. Noh and U. Neumann, "A Survey of Facial Modeling and Animation Techniques", Integrated Media Systems Center, University of Southern California Report 99-705.

[2] Z. Liu and Z. Ahang, "Robust Head Motion Computation by Taking Advantage of Physical Properties", Proc. HUMO2000, 2000.

[3] T. Darrell, B. Moghaddam, and A. P. Pentland, "Active Face Tracking and Pose Estimation in an Interactive Room", M.I.T. Media Laboratory Perceptual Computing Group Technical Report, no.356, 1996.

[4] D. DeCarlo and D. Metaxas, "The Integration of Optical Flow and Deformable Models with Applications to Human Face Shape and Motion Estimation", CVPR96, pp. 231-238, 1996.

[5] G.D. Hager and P.N. Belhumeur, "Efficient Region Tracking with Parametric Models of Geometry and Illumination", PAMI, vol. 20, no. 10, pp. 1025-1039, 1998.

[6] M.L. Cascia and S. Sclaroff, "Fast, Reliable Head Tracking under Varying Illumination", CVPR99, pp. 604-610, 1999.

[7] J. Ostermann, "Animation of Synthetic Faces in MPEG-4", Computer Animation, pp.49-51, 1998.

[8] C. Chien, Y. Chang, and Y. Chen, "Facial Expression Analysis under Various Head Poses", In Proc. the Third IEEE Pacific Rim Conference on Multimedia, Vol. 2532, pp. 1193-1200, 2002.

[9] D. Terzopoulos and K. Waters, "Physically-based Facial Modeling, Analysis, and Animation", J. Visualization and Computer Animation, pp. 73-80, 1990.

[11] J. Chai, J. Xiao, and J. Hodgins, "Vision-based Control of 3D Facial Animation", In Proc. ACM/Eurographics Symposium on Computer Animation, 2003.

[12] Jin-xiang Chai, Jing Xiao, and Jessica Hodgins, "Vision-based Control of 3D Facial Animation", Proceedings of the 2003 ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation, pp. 193~206, 2003.

[13] Xiaozhou Wei, Zhiwei Zhu, Lijun Yin, and Qiang Ji, "A Real Time Face Tracking and Animation System", IEEE Conference on CVPR 2004, Vol. 5, pp. 71~78, 2004.

[14] J.L. Barron and N.A. Thacker, "Tutorial: Computing 2D and 3D Optical Flow", Tina Memo No. 2004-012, 2005.