

---

# 해부학 기반의 3차원 얼굴 모델링을 이용한 얼굴 표정 애니메이션

김형균\* · 오무송\*\*

Facial Expression Animation Using 3D Face Modelling of Anatomy Base

Hyeong-gyun Kim\* · Moo-song Oh\*\*

## 요 약

본 논문에서는 얼굴의 표정 변화에 영향을 주는 해부학에 기반한 18개의 근육군쌍을 바탕으로 하여 얼굴 표정 애니메이션을 위한 근육의 움직임을 조합할 수 있도록 하였다. 개인의 이미지에 맞춰 메쉬를 변형하여 표준 모델을 만든 다음, 사실감을 높이기 위해 개인 얼굴의 정면과 측면 2장의 이미지를 이용하여 메쉬에 매핑하였다. 얼굴의 표정 생성을 애니메이션 할 수 있는 원동력이 되는 근육 모델은 Waters의 근육 모델을 수정하여 사용하였다. 이러한 방법을 사용하여 텍스처가 입혀진 변형된 얼굴을 생성하였다. 또한, Ekman이 제안한 6가지 얼굴 표정을 애니메이션 하였다.

## ABSTRACT

This paper did to do with 18 muscle pairs that do fetters in anatomy that influence in facial expression change and mix motion of muscle for face facial animation. After set and change mash and make standard model in individual's image, did mapping to mash using individual facial front side and side image to raise truth stuff. Muscle model who become motive power that can do animation used facial expression creation correcting Waters' muscle model. Created deformed face that texture is dressed using these method. Also, 6 facial expression that Ekman proposes did animation.

## 키워드

Animation, Anatomy, Face, Muscle model

## 1. 서 론

최근 들어 얼굴 애니메이션 기술은 컴퓨터 그래픽 분야에서 많은 관심을 모으고 있다. 이러한 얼굴 애니메이션 분야의 급속한 발전은 많은 기업들이 가시성을 고려한 상업제품을 만들기를 원하고 있으며, 스캐너 기술과 디지털화된 데이터를 얻을 수 있는 기술의 영향에 의한 3차원 얼굴 모델링에 기인한다.

컴퓨터 애니메이션을 위한 얼굴 모델들은 얼굴 표면뿐만 아니라 머리와 목 부분 등을 포함한 다양한

조직과 특징들의 기하, 광도, 변형, 움직임 등을 고려한다. 일반적으로 이런 모델들은 의미있는 얼굴 영상들을 생성하도록 설계되어 있다[1]. 컴퓨터를 이용한 얼굴 모델들은 다양한 분야에서 활용되고 있는데, 사람 얼굴의 물리적 특성과 해부학 정보를 담고 있는 모델은 의학을 공부하는 학생들에게 얼굴에 대한 교육을 하는데 사용된다. 오락 분야에서는 아바타를 통해 사람의 감정 이입을 이끌어 내는데 얼굴 표정을 애니메이션 하는 것이 이러한 분야에서 중요하다. 이러한 얼굴 애니메이션에 관한 연구는 많은 사람들에

---

\*조선대학교 대학원 컴퓨터공학과

\*\*조선대학교 전자정보공과대학 컴퓨터공학부

의해 진행되어 왔다[2].

본 논문에서는 우선 3차원 메쉬로 구성된 일반 모델을 특정 사람에게 정합하여 특정인의 3차원 얼굴 모델을 얻고자 했다. 그래서 얼굴의 특징을 반영한 일반모델을 만들고 이를 이용하여 특정인의 3차원 얼굴 모델을 얻을 수 있었다. 실제 얼굴의 근육 및 피부 조직 등 해부학적 구조에 기반한 표정 합성방법을 사용하여 현실감있고 자연스러운 얼굴 표정 애니메이션이 이루어질 수 있도록 하고자 한다.

## II. 얼굴 애니메이션

얼굴 애니메이션의 시작은 두 얼굴 표정 간의 보간을 이용한 키-프레임 애니메이션 방법이었다. 80년대 말, 90년대 초의 얼굴 모델링과 애니메이션 기법은 주로 물리 기반 모델링 방법이었다. 1987년 Waters[3]는 근육의 움직임으로 피부조직의 움직임을 설명하였다. 1995년에는 Demetri Terzopoulos와 Keith Waters가 물리에 기반한 얼굴 모델링<sup>[3]</sup>을 하였다.

### 1. 키-프레임 방식

키-프레임 방식은 얼굴 애니메이션에 사용된 초기 방법으로 캐릭터 애니메이션과 같은 간단한 형태의 애니메이션에 사용되어 왔다. 표정들에 대한 각각의 키-프레임들이 프레임마다 다르고, 키-프레임 사이의 프레임들은 인터폴레이션에 의해 생성된다[4]. 이 방식에는 제작자가 전체 애니메이션의 키-프레임에 모델의 위치와 방향, 그리고 모든 점의 위치를 세부적으로 지정해 주어야 한다는 단점이 있다.

### 2. Parke의 파라미터 모델

파라미터에 기반한 모델에서는 각 점의 평상사의 위치와 최대로 움직였을 때의 위치를 파라미터로 지정한다. Parke[2]가 제안한 모델에서의 파라미터는 얼굴의 형태를 나타내는 파라미터와 표정을 나타내는 파라미터로 나누어진다. 이런 파라미터에 기반한 모델은 점들을 한 묶음으로 묶어 지정된 애니메이션을 수행한다. 그러나, 이런 파라미터들은 모두 지정해 주어야 하는데, 일일이 지정하기란 쉽지 않을 뿐

만 아니라 힘든 일이다. 더구나, 모델의 위상이 바뀌면 모든 파라미터들이 수정되어야 하는 불편함이 있다. 그리고, 이 모델에서는 각 점이 움직이게 되는 힘의 원천에 대해서도 고려하지 않고 있다.

### 3. Waters의 해부학 기반의 모델

Keith Waters[3]는 얼굴 표정을 만들어 내는 힘의 원천을 얼굴 피부 속에 묻혀 있는 근육으로 보고, 근육에 의해 얼굴 애니메이션을 수행하였다. 근육의 구조를 살펴보면 한쪽은 얼굴의 골격에 붙어 있고, 다른 한 부분은 피부 조직에 묻혀 있다. 각 근육에 대해 근육의 영향이 미치는 범위, 최대 움직임, 근육의 움직임 감소하기 시작하는 부분과 끝나는 부분을 정의하여 각 근육이 움직임에 따라 그와 연관된 피부의 점들이 움직이게 된다.

### 4. Terzopoulos의 물리적 성질 기반의 모델

Y.Lee와 D.Terzopoulos, 그리고 K.Waters는 얼굴을 물리적으로 모델링[3] 하였다. 이들은 3D 모델을 변형 가능한 격자로 구성하였다. 이 합성 조직은 탄성을 지닌 스프링에 의해 연결된 질량을 가진 작은 크기의 덩어리들로 구성되어 있으며 3개의 층을 이룬다. 맨 아래층은 뼈가 붙어 있게 될 뼈 표면이고, 맨 위층은 표피층이며, 그 사이는 근막층으로 근육이 위치하게 된다. 활성화된 근육 섬유에 의한 작은점 덩어리들에 가해지는 압력이 격자를 통해 계속적으로 전달됨으로써 큰 얼굴 조직의 변형을 계산해 낸다. 여기에 탄성, 질량, 부피 보존의 힘 등의 여러 가지 물리적인 성질을 고려하여 기본 파라미터를 설정하여 수치적으로 시뮬레이션 하였다.

## III. 해부학에 기반한 근육모델

얼굴 애니메이션을 하기 위해서는 피부 메쉬들이 움직일 수 있는 동력이 주어져야 한다. 이런 힘의 원천들이 Parke의 파라미터에 기반한 모델에서는 고려되지 않고 있으나, 사실적인 표정 연출을 해 내기 위해서는 이런 힘에 의한 애니메이션이 필요하다. 이러한 고려에 사람 얼굴을 근육과 피부 조직으로 나눈 해부학에 기초한 근육 모델이 나오게 되었다.

동적인 근육모델은 골격, 연골조직, 근육, 신경, 혈관, 피부 등 사람의 머리 및 얼굴을 구성하고 있는 해부학적 요소를 모델링하여 얼굴의 표정 합성 및 애니메이션을 하는 것이다. 피부와 근육은 사람의 얼굴 표정이나 움직임을 나타내는 물리적인 작용을 하는 것으로 알려져 있다. 이는 실제 인간의 얼굴 구조와 유사하도록 피부 조직 및 근육에 대한 모델을 구성함으로써 정확한 얼굴 표정을 합성할 수 있다. 실제로 얼굴은 많은 근육들로 구성되어 표정을 짓게 된다[5].

표 1. 얼굴의 표정 변화에 영향을 주는 근육  
Table. 1 Muscle that influence in facial expression change

Muscle No.	Muscle Name
1	Left_Zygomatic_Major
2	Right_Zygomatic_Major
3	Left_Angular_Depressor
4	Right_Angular_Depressor
5	Left_Frontalis_Inner
6	Right_Frontalis_Inner
7	Left_Frontalis_Major
8	Right_Frontalis_Major
9	Left_Frontalis_Outer
10	Right_Frontalis_Outer
11	Left_Labi_Nasi
12	Right_Labi_Nasi
13	Left_Inner_Labi_Nasi
14	Right_Inner_Labi_Nasi
15	Left_Lateral_Corigator
16	Right_Lateral_Corigator
17	Left_Secondary_Frontalis
18	Right_Secondary_Frontalis

구성된 표준 한국인 일반모델을 이용하여 입력된 2차원 얼굴 영상에 대하여 몇 개의 특징 점들을 중심으로 일반모델이 대상 인물에 정합되고, 각 개인 얼굴의 3차원 형상모델을 얻어낼 수 있다. 얼굴 표정에서 많은 변화가 있는 부분과 거의 변화가 없는 부분을 단계별로 그룹화하였다. 각 그룹은 얼굴의 특징점들을 포함하는 부분을 기준으로 표정이 잘 나타나는 부분(ex. 눈썹, 입)과 표정 변화가 거의 없는 부분(ex. 코, 측면)으로 나누었으며, 효율적인 합성 기법과 애니메이션 기법이 적용되도록 좌우 대칭을 이루

도록 하였다. 표 1에서 얼굴의 표정 변화에 영향을 주는 18개의 근육군쌍을 정의하였다.

#### IV. 시스템 구현

##### 1. 해부학 기반의 Wireframe 구축

표 1에서 정의한 근육군을 바탕으로 하여 얼굴의 표정이 합성될 수 있도록 하였고, 근육군의 위치는 그림 1에서 나타내고 있다. 18개 근육군쌍은 근육벡터의 시작과 끝, 영향 범위, 강도 등의 정보를 포함하고 있어 얼굴의 표정을 위하여 근육의 움직임을 조합할 수 있도록 하였다.

Wireframe은 256개의 점과 이 점을 연결한 faceline으로 이루어져 있다.

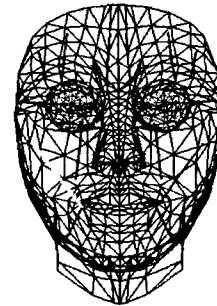


그림 1. 근육을 표현한 wireframe  
Fig. 1 Wireframe that express muscle

##### 2. 피부 조직 모델링

피부 조직을 모델링하는 기본 가정은, 피부를 스프링으로 연결된 망 (tension net) 구조로 구성하는 것이다. 본 논문에서는 해부학적으로 일정한 힘을 가하는 간단한 피부 모델을 사용했다.

그림 2는 얼굴 피부를 동적 구조화한 그림이다. 길이가  $l_k$ 이고, 강도가  $c_k$ 인 스프링 k에 가해지는 힘은 식 (1)과 같다.

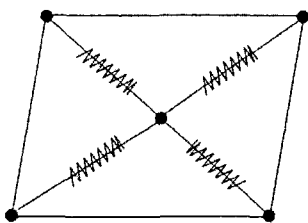


그림 2. 얼굴 피부의 동적 구조  
Fig. 2 Dynamic structure of face skin

$$s_k = r_k \frac{c_k e_k}{\|r_k\|} \text{-----}(1)$$

식 (1)에서 스프링 변위  $e_k = \|r_k\| - l_k$ 이고, 방향  $r_k = x_j - x_i$ 이다.

따라서  $N_i$ 개의 다른 노드들로 연결되는 스프링들로부터 연결된 노드  $i$ 에 가해지는 전체 힘은 식 (2)와 같다.

$$g_i(t) = \sum_{j \in N_i} s_k \text{-----}(2)$$

질량이  $m_i$ 이고, 위치가

$x_i(t) = [x_i(t), y_i(t), z_i(t)]$ 인 노드의 동적인 스프링 이동 방정식은 식 (3)과 같이 정의된다.

$$m_i \frac{d^2 x_i}{dt^2} + r_i \frac{dx_i}{dt} + g_i = f_i \text{-----}(3)$$

식 (3)에서 속도  $v_i = dx_i/dt$ , 가속도  $a_i = d^2 x_i/dt^2$ , 진동계수  $r_i$ , 스프링의 힘은  $g_i$ 이다.

변형되는 메쉬를 실험하기 위해서는 초기 위치에서의 속도를 0으로 하고, 점차 그 변형 정도를 더함으로써 얻어진다. 이 방법은 정합의 결과 생성된 메쉬의 변형을 간단히 보완하는 방법이다.

### 3. 텍스처 매핑(Texture Mapping)

개인의 이미지에 맞춰 메쉬를 변형하여 표준 모델을 만든 다음, 사실감을 높이기 위해 개인 얼굴의 이미지를 메쉬에 매핑한다.

정확한 매핑을 위하여 특징점들의 정면과 측면 부분을 이용한다. 정면 이미지와 정면 특징점들의 2차원 좌표를 이용하여 텍스트 좌표를 가진 얼굴을 만든 다음, 측면 이미지와 측면 특징점들의 2차원 좌표를 이용하여 텍스트 좌표를 가진 얼굴을 만든다.

텍스처 추출과정은 다음과 같다.

첫째, Cylindrical 매핑을 이용하여 3차원 좌표계와 2차원 텍스처 공간을 매핑한다.

둘째, 각 픽셀에 대하여 표면 상의 3차원 점을 계산한다.

셋째, 각 픽셀에 대하여 위치  $(x_i, y_i)$ 와 색  $I(x_j, y_j)$ 을 계산한다.

넷째, 각 픽셀에 가중치  $W_j$ 를 곱하여 텍스처  $T(u, v)$ 를 계산한다.

$$T(u, v) = \sum_{j=1}^n W_j(u, v) I_j(x_j, y_j)$$

$$\text{여기서 } \sum_{j=1}^n W_j(u, v) = 1$$

그림 3은 얼굴의 정면사진을 이용한 wireframe의 x, y 좌표의 모습을 Flat Shape, Smooth Shape과정을 거쳐 텍스처 매핑을 실행한 화면이다.



그림 3. Texture mapping의 실행 화면  
Fig. 3 Execution screen of texture mapping

4. 얼굴 표정 애니메이션

얼굴 표정이 생성되는 원동력이 근육의 수축에 있기 때문에 근육에 자극이 주어 졌을 때 근육이 수축하고 완화되는 것이 표정의 심화 정도에 직접적인 영향을 미친다.

그림 4는 각 근육과 근육의 움직임에 대한 강도를 조합하여 생성한 6가지 얼굴 표정에 대한 애니메이션 화면이다.

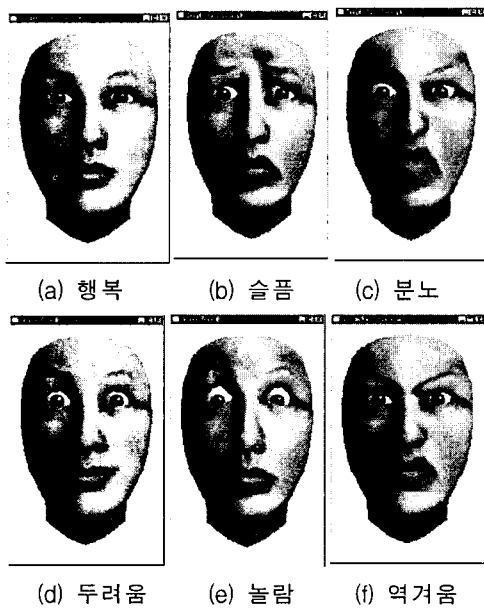


그림 4. 얼굴 표정 애니메이션  
Fig. 4 Facial expression animation

얼굴의 표정 생성을 애니메이션할 수 있는 원동력이 되는 근육 모델은 Waters의 근육 모델을 수정하여 사용하였다. Waters의 근육 모델은 근육 자체가 얼굴 피부에 특정적으로 설계되어 있어서 모델을 변형하는 경우 정확한 동작을 하지는 못했지만 이를 논리적 구조로 바꿈으로써 변형된 얼굴에 대해서도 같은 애니메이션을 할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 실제 얼굴의 근육 및 피부 조직 등 해부학적 구조에 기반한 얼굴 표정 애니메이션을 생

성함으로써 사용자에게 보다 친숙하고 편안한 인터페이스를 제공하고자 했다.

일반 모델을 구축하기 위하여 얼굴의 표정 변화에 영향을 주는 18개의 근육군쌍을 바탕으로 하여 얼굴의 표정을 위한 근육의 움직임을 조합할 수 있도록 하였다. 개인의 이미지에 맞춰 메쉬를 변형하여 표준 모델을 만든 다음, 사실감을 높이기 위해 개인 얼굴의 정면과 측면 2 장의 이미지를 이용하여 메쉬에 매핑하였다. 얼굴의 표정 생성을 애니메이션할 수 있는 원동력이 되는 근육 모델은 Waters의 근육 모델을 수정하여 사용하였다. 이러한 방법을 사용하여 텍스처가 입혀진 변형된 얼굴을 생성하였으며 Ekman이 제안한 6가지 얼굴 표정을 애니메이션 하였다.

향후에는 보다 정확한 모델링을 위하여 근육들 사이에 서로 영향을 주는 힘에 대해서 연구하고자 한다.

참고문헌

- [1] Catherine P, Norman I.B, and Marie- Luce V, "Final Report to NSF of the Standards for Facial Aniamtion Workshop",Oct.1994.
- [2] F.I.Parke, "Parameterized models for facial animation", In IEEE Computer Graphics and Application, Vol.2,No.9,pp.61-68, Nov. 1982.
- [3] Y.Lee, D.Terzopoulos, and K.Waters," Realistic Modeling for Facial Animation", Proc.SIGGRAPH95. In Computer Graphics, pp. 55-62, 1995.
- [4] COMPUTER ANIMATION : ALGORIT- HMS AND TECHNIQUES, <http://www.cis.ohio-state.edu/~parent/book/outline.html>
- [5] B.R. Landau, Essential Human Anatomy and Physiology, 2nd Edition Scott, Foresman and Company, 1980.

저자소개



김형균(Hyeong-Gyun Kim)

1998년 2월 조선대학교 산업대학원  
전자계산전공 공학석사  
2003년 2월 조선대학교 일반대학원  
컴퓨터공학과 박사과정 수료

※관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 애니메이션



오무송(Moo-Song Oh)

1968년 9월 조선대학교 전기공학부  
공학석사  
2001년 2월 전남대학교 전공학과 공  
학박사  
1988년-현재 조선대학교 컴퓨터공학

부 교수

1988. 3~1990. 1 조선대학교 컴퓨터공학과 학과장  
1999. 1~1999. 4 조선대학교 컴퓨터공학부 학부장  
1999. 4~1999. 11 조선대학교 산업대학원장

※관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 애니메이션