

근육 모델 기반의 자연스러운 3차원 얼굴 표정 애니메이션

이혜진, 정현숙, 이일병
연세대학교 컴퓨터과학과
e-mail : {hjlee,hsch,yblee}@csai.yonsei.ac.kr

Realistic 3D Facial Expression Animation Based on Muscle Model

Hye-Jin Lee, Hyun-Sook Chung, Yill-Byung Lee
Dept. of Computer Science, Yonsei University

요 약

얼굴은 성별, 나이, 인종에 따라 다양한 특징을 가지고 있어서 개개인을 구별하기가 쉽고 내적인 상태를 쉽게 볼 수 있는 중요한 도구로 여겨지고 있다. 본 논문은 얼굴표정 애니메이션을 위한 효과적인 방법으로 실제얼굴의 피부조직, 얼굴 근육 등 해부학적 구조에 기반한 근육기반모델링을 이용하는 방법을 소개하고자 한다. 제안하는 시스템의 구성은 얼굴 와이어프레임 구성과 폴리곤 매쉬 분할 단계, 얼굴에 필요한 근육을 적용시키는 단계, 근육의 움직임에 따른 얼굴 표정생성단계로 이루어진다. 와이어프레임 구성과 폴리곤 매쉬 분할 단계에서는 얼굴모델을 Water[1]가 제안한 얼굴을 기반으로 하였고, 하나의 폴리곤 매쉬를 4 등분으로 분할하여 부드러운 3D 얼굴모델을 보여준다. 다음 단계는 얼굴 표정생성에 필요한 근육을 30 개로 만들어 실제로 표정을 지을 때 많이 쓰는 부위에 적용시킨다. 그 다음으로 표정생성단계는 FACS에서 제안한 Action Unit을 조합하고 얼굴표정에 따라 필요한 근육의 강도를 조절하여 더 자연스럽게 실제감 있는 얼굴표정 애니메이션을 보여준다.

1. 서론

최근 컴퓨터와의 의사전달 분야에서 사람의 인체와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 중 얼굴의 움직임, 몸 동작의 변화, 표정의 변화에 대한 추적과 이를 애니메이션하는 방법에 대한 많은 연구가 수행되고 있다. 특히, 얼굴표정의 변화는 감정의 변화를 나타내기 때문에 의사소통에 있어서 중요한 영향을 미치는 요소 중 하나이다. 하지만 다양한 표정의 변화는 감정을 충분히 전달할 수 있는 반면에, 표정을 분류할 수 있는 기준을 찾기 어렵게 만든다.

표정의 분류를 위해 현재 가장 널리 사용되고 있는 FACS(Facial Action Coding System)[2]는 표정의 변화를 일으키는 "동작단위(Action Unit)"로 구성된다. FACS는 안면 근육 자체나 이에 해당하는 움직임의 요소를 모두 모델화하고, 마치 안면 근육이 얼굴 피부에 영향을 미치듯이 근육 모델이 피부 모델에 미치는 변화를 프로그래밍한 것이다.

본 논문은 감정표현을 위한 얼굴표정 애니메이션을 구현하기 위해 AU의 조합으로 기본적인 표정 6 가지

를 연출하고 근육의 강도를 조절함으로써 다양한 얼굴표정을 보여준다. 논문의 내용 다음과 같다.

1 장은 연구목적을 살펴보고, 2 장은 관련 연구에서 얼굴 애니메이션의 다양한 방법을 소개한다. 3 장은 얼굴 애니메이션의 전체 시스템을 제안하고 단계를 세부적으로 살펴본다. 4 장은 제안한 시스템으로 얼굴 애니메이션의 결과를 분석하고, 5 장에서는 분석한 결과를 바탕으로 본 논문의 결론과 향후 연구방향을 기술하고자 한다.

2. 관련연구

사람의 얼굴은 매우 유연하면서도 복잡한 구조를 갖는 3차원 형태로서 얼굴을 나타내는 3차원 모델은 크게 두 가지 방법으로 구성될 수 있다. 폴리곤 매쉬로 구성하는 것과 스플라인 곡면을 이용하여 구성하는 방법이다. 이 두 가지 중 폴리곤 매쉬로 구성하는 방법은 가장 일반적이고 쉬운 방법이라고 할 수 있다.

또한, 얼굴 애니메이션의 관련 기술로는 크게 Facial Parameterization Techniques 과 Interpolation 과

Muscle Based Modeling 등으로 나누어 볼 수 있다. 1970년대에는 Ekman[2]과 Friesen[2]이 얼굴에 대한 감정과 표정을 각각 기본적인 Action Unit 단위로 구분하여 그 조합으로 표현한 Facial Action Coding System(FACS)[2] 방법론을 제시하였고, 근육 기반 모델 방법은 Platt[3]과 Badler[3]에 의해 처음 제안되어 이후 90년대에 이르러서 Water[1]는 근육 기반 모델링 방법을 계속 발전시켰다. 그 밖에도 Keyframe animation 기법과 direct-parameterization[7]기법도 제시되었다.

본 논문에서 사용한 근육 기반 모델링 기법은 자연스러운 얼굴 움직임을 표현하는데 적합하다고 알려져 있는 것을 적용하였다. 근육모델은 골격, 연골조직, 근육, 신경, 혈관, 피부 등 사람의 머리 및 얼굴을 구성하고 있는 해부학적 요소를 모델링하여 얼굴의 표정 합성 및 애니메이션을 하는 것이다. 피부 조직을 모델링하는 기본 가정은 피부 사이에 연결된 근육을 스프링으로 구성하는 것이다. 얼굴의 표정 변화에 따른 근육의 움직임을 스프링의 수축과 이완으로 계산하여 보다 자연스러운 얼굴 애니메이션 결과를 얻을 수 있었다.

3. 시스템 개요 및 실험

3.1 시스템 개요

제안하는 시스템은 그림 1 과 같이 3 차원 얼굴 모델링과 폴리곤 메쉬 분할을 한 후 근육기반모델을 적용하고, 얼굴표정 애니메이션의 세 부분으로 이루어진다. 256 포인트로 이루어진 3 차원 얼굴모델의 폴리곤 메쉬를 분할하여 메쉬 조밀도를 높인다. 근육기반 모델을 얼굴에 적용하기 위해서는 근육기반모델이 어떠한 원리로 작용을 하는지 알아보고 근육모델이 적용된 3 차원 얼굴 모델을 AU 의 조합으로 이루어진 표정을 연출하여 기본적인 감정표현을 연출하도록 한다.

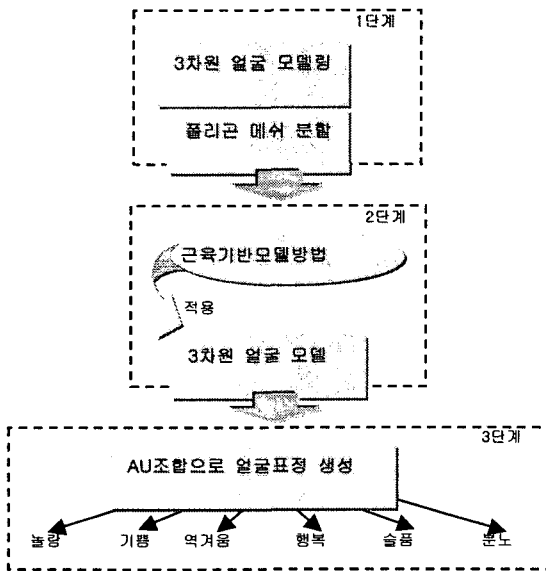


그림 1. 시스템 개요

3.2 3차원 얼굴 모델링

본 논문에서는 Water[1]가 실험에서 사용한 3 차원 얼굴 모델을 기준으로 실험하였다. 실험한 3 차원 얼굴 모델은 얼굴을 표현하기 위한 기본적인 256 개의 포인트로 메쉬가 구성되어 있고 그림 2 와 같다.

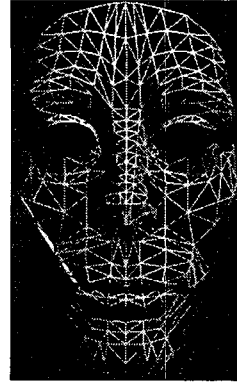


그림 2. Water 가 제안한 3차원 얼굴 모델

3.3 근육기반모델

얼굴은 많은 근육들로 구성되어 있고 각 근육은 근육섬유로 구성되어 있다. 얼굴의 근육은 선형근육(linear muscle), 팔약근(sphincter muscle), 판근육(sheet muscle) 등 크게 3 가지로 분류할 수 있다. 선형근육은 전반적인 얼굴의 움직임에 대하여 작용하고, 팔약근은 눈 주변과 입 주변의 움직임 즉, 타원모양을 조여 주거나 느슨하게 하는 근육이고 판근육은 이마 부분과 같이 비교적 평편한 판으로 구성된 부위에 작용하는 근육이다. 본 논문은 계산량이 간단한 선형근육 모델을 사용하였다. Water 가 제안한 근육 벡터 모델[4]중에서 선형근육모델은 그림 3 과 같다.

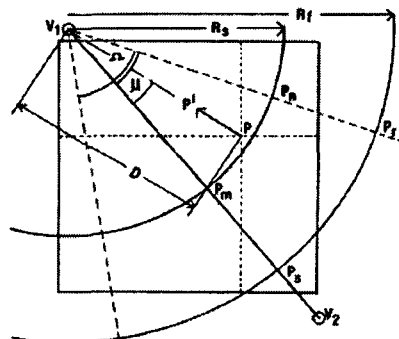


그림 3. 선형 근육 모델

v_1 과 v_2 는 2 차원공간의 점이고 임의의 노드 p 의 변위를 계산하기 위해서는 메쉬상에 있는 새로운 변위 점 p' 는 범위 v_1, p, p_2 에서 벡터 p, v_1 를 따라서 v_1 방향으로 변위가 일어날 때 다음과 같이 식(1)로 표현할 수 있다.

$$p' = p + akr \frac{pv_1}{\|pv_1\|} \quad (1)$$

$a = \cos(a_2)$ 는 $vector(v_1, v_2)$ 와 (v_1, p) 사이의 각도,
 r 은 방사형 변위 매개변수로서 식(2)와 같다.

$$r = \begin{cases} \cos\left(\frac{1-D}{R_n}\right); \text{for } p \text{ insidesector}(v_1, p_n, p_m, p_l) \\ \cos\left(\frac{D-R_f}{R_f-R_s}\right); \text{for } p \text{ insidesector}(p_n, p_r, p_s, p_m) \end{cases} \quad (2)$$

여기서 k 는 피부의 탄력성을 표현하는 상수(Muscle Spring Constant , $0 < k < 1$) 이고, D 는 Vector v_1 과 p 의 거리이다.
 R_s 는 fall off radius start 이고, R_f 는 fall off radius finish 이다.

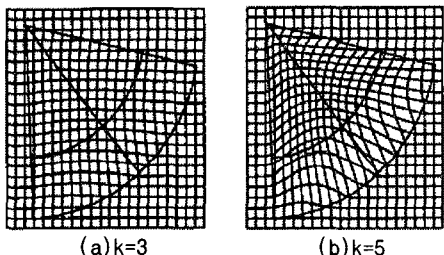


그림 4. 피부탄력성 k 에 따라 다른 선형근육모델

3.4 폴리곤 메쉬 분할

폴리곤 메쉬 분할[5]은 메쉬를 이루는 세 포인트를 기준으로 중심이 되는 포인트와 작은 삼각을 만든다. 삼각모양의 메쉬를 반복하여 분할하면 더욱 조밀한 삼각 메쉬를 만들 수 있다. 그림 5 와 같은 방법으로 메쉬를 분할하면 하나의 삼각메쉬가 4 개의 삼각메쉬로 분할된다. 그림 6 은 실험 모델에 직접 적용한 결과이다. 그림 6 를 보면 256 개의 포인트로 이루어진 (a) 라는 모델을 삼각 메쉬 분할을 통해 (b)와 같이 부드러운 얼굴 피부곡선을 얻을 수 있다. 삼각메쉬를 1→4로 분할하여 많은 포인트로 얼굴모델을 부드럽게 하는 것은 한계가 있는데 그 이유는 데이터량이 많아지면 애니메이션을 할 때 속도가 느려지기 때문이다. 본 논문에서 실험을 해본 결과 두 번 정도 반복하는 것이 적당하다.

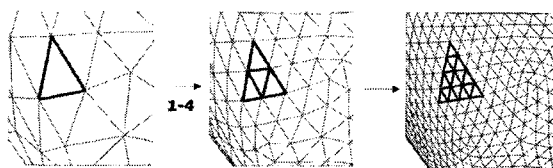


그림 5. 삼각 메쉬를 1→4로 분할

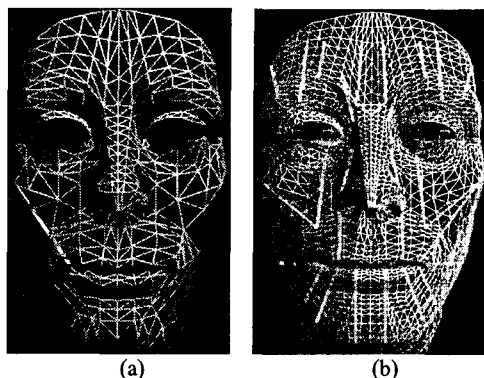


그림 6. (a) 256 개의 포인트로 이루어진 폴리곤 메쉬 (b)삼각 메쉬를 1→4 subdivision 하여 부드러워진 모습

3.5 근육모델을 이용한 얼굴표정 애니메이션

표정과 관련된 기본 근육들을 정의하기 위하여 그림 7 [1]를 참조하였으며 water[1]가 제안한 근육모델은 18 개의 근육으로 구성되어 있다. 기존의 근육구성에 중요한 부위의 근육을 더 추가해 총 30 개의 근육을 만들었다. 30 개의 근육은 근육벡터의 시작(head)과 끝(tail), 영향범위(zone), 강도(intensity) 등의 정보를 포함하고 있어서 얼굴표정을 위하여 근육의 움직임을 조합할 수 있도록 하였다. 근육의 움직임에 따라 얼굴 메쉬가 변형되므로 자연스러운 피부의 움직임과 표정 생성의 결과를 얻을 수 있다.

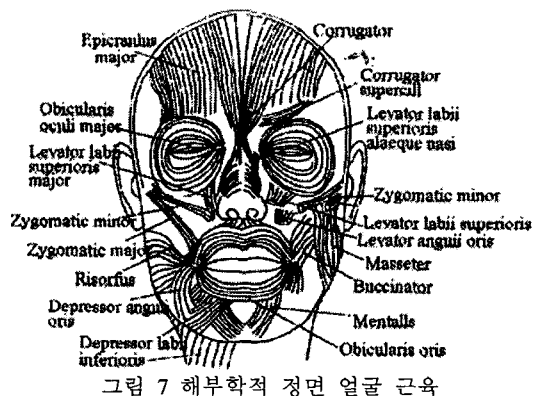


그림 7 해부학적 정면 얼굴 근육

근육 기반 모델은 표정에 중요한 영향을 미친다고 알려져 있는 눈, 입, 이마 주변의 근육들의 contraction 을 조절하여 얼굴 표정을 생성하는 방법이라고 앞에서 언급하였다. Water 가 제안한 얼굴표정은 FACS[2]의 action units(AU)의 조합으로 움직임 단위를 정의하였다. FACS 는 인간의 내적상태를 나타내는 얼굴 표정을 위하여 모두 44 개의 기본 단위(AU)로 분류한 것인데, 정의된 AU 들을 조합하여 표정들을 합성하여 하나의 새로운 표정을 만들어 낸다. 본 논문에서는 기존의 AU 조합으로 6 개의 표정(Anger, Fear, Surprise, Disgust,

Happiness and Sadness)을 연출하였고 또한 사용자가 직접 근육의 강도를 수정할 수 있도록 하여 다양한 표정을 연출할 수 있도록 하였다. 그림 8 에서 감정표현에 따른 다양한 표정들을 볼 수 있다. 지면의 한계상 세가지 표정만 보여주었다.

Ekman[2]에 의해 분류된 6 가지 감정 카테고리에 따라 다양한 표정을 AU의 조합으로 표현하였다. 예를 들어 두려움(Fear)의 경우 AU1(안쪽 미간 눈썹이 올라간다)+AU2(윗눈꺼풀이 올라간다)+AU4(아래 눈꺼풀은 긴장한다)+AU20(입의 뒷부분이 뒤로 당겨짐)의 조합으로 표정이 생성된다. 또한 행복감(Happiness)의 경우 AU6(눈썹은 거의 변하지 않은 반면, 눈꺼풀이 올라간 볼에 의해 약간 눌린 상태)+AU12(입 꼬리가 옆으로 올라간다)의 조합으로 표정이 만들어 진다.



(a) 웃는 표정 (b)슬픈 표정 (c)놀란 표정
그림 8. 근육 기반 모델의 다양한 얼굴 표정 연출

4. 결과 및 분석

본 연구는 펜티엄 IV 1.7Ghz, 256 RAM, 그래픽카드는 NVIDIA GeForce2 MX400 64MB 를 갖춘 시스템에서 Windows 2000 에 기반하여 OpenGL 과 MS Visual C++ 6.0 을 이용하여 구현하였다. 속도감을 증가시키기 위해 불필요한 인터페이스를 없애고 마우스로 얼굴모델을 회전시켜 조작할 수 있도록 구현하였다. 그래픽처리의 한계를 극복하기 위해 최대한 기본적인 그래픽 라이브러리를 이용하여 BMP 파일로 texture 처리를 하였고 삼각 메쉬 분할은 두 번 반복하는 정도로 제한하였다. 그 이유는 삼각분할을 많이 하면 할수록 얼굴 피부모델링의 자연스러움은 더욱 좋아지지만 데이터량이 많아져서 애니메이션의 속도에 관련된 성능이 저하되기 때문이다.

그림 8 은 3 차원 얼굴 모델에서 폴리곤 삼각 메쉬 분할을 두 번 반복한 뒤 총 30 개의 선형근육을 적용한 표정연출의 결과이다. 이 결과는 기본적인 AU의 조합으로 6 개의 단순한 카테고리의 범위에 따라 표정을 연출한 것이 아니다. 과장되거나 다양한 표정을 연출하기 위해 기존의 AU의 조합뿐만 아니라 섬세한 근육을 더 추가하고 근육의 강도를 사용자가 조절하여 다양한 표정을 만들 수가 있는 것이다.

5. 결론 및 향후연구

본 논문은 더욱 자연스러운 표정 애니메이션을 제공하기 위한 연구를 하기 위해 메쉬의 삼각분할과 근육모델을 이용하여 얼굴의 감정표현을 실감 있게 연출하였다. 제안한 방법으로 다양하고 풍부한 얼굴 표정 애니메이션을 보여줄 수 있지만 얼굴근육으로 선형근육모델밖에 적용하지 않아서 실제와 같은 피부의 움직임까지 연출하기에는 부족하고 입이나 눈과 같이 팔약근이 있는 부위는 표정이 자연스럽지 않다.

앞으로의 연구방향은 근육모델에 있어서 선형근육 모델을 제외한 팔약근모델과 판근육 모델에 대해서도 살펴보고 실제 얼굴모델에 적용하여 더욱 자연스러운 얼굴표정 애니메이션이 가능하도록 할 것이다. 또한 실제에 가까운 피부조직과 얼굴주름(Wrinkle)[6]을 구현하기 위하여 피부 모델 구조인 Micro Structure[5]와 Macro Structure[5]를 보여주는 등 실감 있는 얼굴 애니메이션에 더욱 접근할 수 있을 것이다. 더 나아가 실재감 있는 피부조직과 주름살을 구현함으로써 단순한 표정 애니메이션이 아니라 대화 시 입술 모양의 변화(lip synchronization)를 중심으로 하는 상호대화 가능한 애니메이션도 잘 수행할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] F. I. Parke, Keith Waters, "Computer Facial Animation", A K Peters Wellesley, 1996
 [2] P.Ekman, W.V. Friesen, "Facial Action Coding System", Consulting Psychologists Press Inc., 577 College Avenue, Palo Alto, California 94306, 1978
 [3] S. M. Platt and N. Badler, "Animation Facial Expressions", Computer Graphics, Vol. 15, No. 3, pp245-252, 1981
 [4] Keith Waters, "A Muscle Model for Animation Three-Dimensional Facial Expression", Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, July, 1987
 [5] Y. Wu, P. Kalra, N. Magnenat-Thalmann, "Physically-based Wrinkle Simulation & Skin Rendering", Computer Animation Proc. 97, Geneva, Switerland, pp67-79,1997
 [6] Won-Sook Lee, Yin Wu, Nadia Magnena-Thalmann, "Cloning and Aging in a VR Family", Proc, IEEE VR'99 Houston, Texas, March. 13-17. 1999
 [7] Parke F I " A Parameterized Model for Facial Animation" IEEE Computer Graphics and Applications 1982 Nov