

가상 인물의 얼굴 표정 애니메이션

변혜원, 김희정, 박성춘
한국방송공사 기술연구소

요약

컴퓨터 그래픽스의 발전과 함께 등장한 가상인물은 최근 영화, TV, 게임 등의 다양한 매체에서 자주 접할 수 있게 되었다. 가상인물은 사람을 닮은 등장인물로서, 그 생김새나 사실적인 동작, 자연스러운 얼굴 표정 등이 관심의 대상이 된다. 특히, 얼굴 생김새나 표정은 가상인물을 개성 있는 인물로 재창조하는데 중요한 역할을 한다. 사람들은 타인의 얼굴 표정에 대해 매우 민감하게 반응하기 때문에 가상인물의 얼굴 표정을 제어하기가 더욱 어렵다. 가상인물의 얼굴 모델을 제작하고, 모델에게 표정을 부여하기 위해서 오래 전부터 다양한 방법들이 연구되어 왔다. 본 고에서는 가상인물의 얼굴 모델을 제작하고, 표정을 생성하는 방법에 관해 조명해 본다.

1. 서론

사람의 얼굴 표정은 의사소통에 있어서 중요한 의미를 갖는다. 사람들은 대화를 할 때 말뿐만 아니라 얼굴 표정을 사용하여 의사를 전달한다. 상대방의 이야기를 들을 때 사람들은 상대방의 의도를 파악하기 위하여 얼굴 표정에서 많은 정보를 얻고자 한다. TV, 영화, 연극을 관람할 때도 배우를 이해하는데 있어서 가장 중요한 것은 얼굴 표정이다. 배우가 우는 표정, 웃는 표정, 화난 표정 등을 지을 때 사람들은 그 표정을 통해 배우의 감정을 이해하게 된다. 말없이 얼굴 표정이나 동작만을 사용하여 관객들에게 의미를 전달하는 무성 영화나 팬터마임 등도 얼굴 표정의 중요성을 증명하는 한 예로 들 수 있다.

얼굴 표정과 역할에 대한 연구는 오래 전부터 여러 분야에서 있어 왔다. 심리학자들은 인간의 표정이 서로 간에 의사 전달 수단으로 어떻게 사용되는가에 대해 연구해 왔다. 심리학자인 Ekman과 Friesen은 표정 변화와 안면 근육의 상관관계를 정의한 FACS(Facial Action

Coding System)을 제안하였다[1]. 얼굴 근육 66개가 모여 이들 간의 조합으로 수천 개의 표정이 나타난다. 컴퓨터 그래픽스 분야에서도 인간을 표현하고자 하는 노력과 더불어 얼굴 표정 애니메이션에 관한 연구가 시작되었다. 얼굴 표정을 생성하려는 시도는 특히 만화 영화 분야에서 활발하게 이루어졌다. 2차원 캐릭터 애니메이션을 제작하기 위해서 키프레임 기법을 사용하였으나, 3차원 캐릭터 애니메이션 분야로 발전되면서 키프레임 기법은 많은 시간과 노력을 요구하기 때문에 사실상 적용이 어려워졌다. 3차원 얼굴 표정 애니메이션을 실현하기 위한 노력을 시작하면서 많은 문제점들이 제기되었고, 얼굴 표정 생성 기법에 관한 본격적인 연구가 진행되었다.

얼굴 표정 애니메이션을 실현하기 위해서는 얼굴 모델 제작, 얼굴 표정 데이터 생성, 얼굴 변형에 의한 표정 생성과 같은 일련의 단계를 거쳐야 한다. 얼굴 모델은 정교함과 실시간 표정 생성의 두 가지 요소를 모두 고려해서 제작되어야 한다. 일반적으로 디자이너의 수작업으로 얼굴 모델을 제작하고 있으나, 실제 사람과 똑같은 외형을 필요로 하는 경우에는 3차원 스캐너 등과 같은 특별한 장비를 사용하여 자동으로 제작하기도 한다. 다음 단계는 표정 데이터를 생성하는 단계로써, FACS를 기반으로 하는 방법과 표정 포착에 의한 방법이 있다. FACS를 기반으로 하는 방법은 각종 표정과 관계 있는 근육의 종류와 그 근육의 장력을 표정 데이터로 사용한다. 이 방법이 사실적인 결과를 보여주지 못하기 때문에 최근에는 표정 포착에 의한 방법이 각광받고 있다. 표정 포착에 의한 방법은 비디오 카메라와 같은 영상 장비를 동원하여 얼굴 표정을 포착한 동영상물을 얻어낸 후, 동영상물을 분석하여 표정 데이터를 생성하는 방식이다. 이 방법은 실제 사람의 얼굴에서 직접 표정 데이터를 얻어내기 때문에 비교적 사실적인 결과를 보여준다. 표정 데이터는 마지막 단계에서 얼굴 변형에 적용되어 얼굴 표정을 애니메이션한다. 얼굴 변형에 관한 연구는 1970년대 Parke에 의해 본격적으로 시작되었고, 그 후, 많은 사람들에 의해 과거 20여 년간

계속되고 있으며, 보간 모델, 근육 모델, 자유변형 모델 등이 주류를 이루고 있다.

다음절부터는 가상인물의 얼굴 모델을 제작하고 표정을 생성하기 위한 컴퓨터 그래픽스 기반기술을 소개한다. 먼저, 2절에서는 얼굴 모델을 제작하는 기술에 대해 설명한다. 3절에서는 얼굴 표정 데이터를 생성하는 여러 가지 방법에 대해 논하고, 4절에서는 표정 데이터를 얼굴 모델에 적용함으로써 얼굴 모델을 변형하여 표정을 애니메이션하는 방법들을 소개한다. 마지막으로 5절에서는 본 고의 결론과 얼굴 표정 애니메이션의 향후 방향에 관하여 논한다.

2. 얼굴 모델 제작

얼굴 모델을 제작할 때는 실시간 요소를 고려하여 데이터 수를 적게 하면서도 얼굴의 특징을 효과적으로 반영할 수 있도록 해야 한다. 일반적으로 얼굴 모델을 수작업으로 일일이 제작해 왔으나, 최근에는 디지털

링 장비가 발달하여 이들 장비를 사용하여 얼굴 모델을 자동으로 생성하기도 한다. 디지털링 장비는 실존 인물과 흡사한 모델을 제작하고자 할 때 특히 유용하게 사용된다. 특히, 의학 분야에서는 정교한 얼굴 모델을 필요로 하기 때문에 자기공명(Magnetic Resonance) 스캐너를 이용하기도 한다. 그러나, 대부분의 3차원 스캐너 장비가 고가이기 때문에 상용되기에는 무리가 있다. 최근에는 하드웨어 고속화와 이미지 프로세싱 기술의 발달에 따라 여러 장의 2차원 사진에서 3차원 얼굴 모델을 복원하는 연구가 급속히 확산되고 있다.

Valerie Hall 등은 얼굴 모델을 제작하기 위해서 디지털링 장비를 활용하는 방식을 처음으로 시도하였다. 이 방법은 실존 인물의 얼굴에 매쉬를 그려 놓고 디지털링 장비로 이를 스캔하는 방식으로써, 3차원 스캐너 장비로 가장 널리 알려진 Cyberware를 디지털링 장비로 사용하였다. Cyberware는 물체를 중심으로 회전하며 이를 스캔하여 깊이 정보(Range)와 색상 정보(RGB)를 제공한다.

Terzopoulos 등은 새로운 얼굴 모델이 필요할 때마다

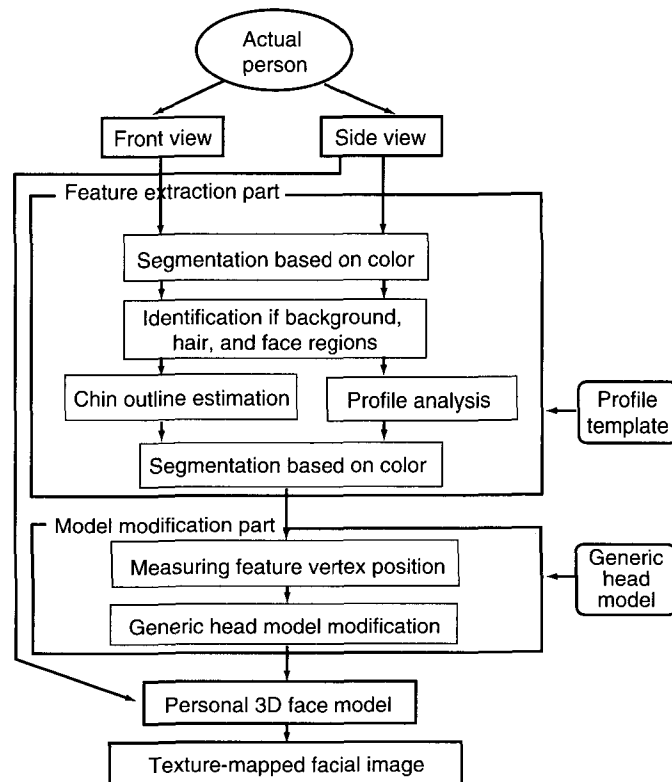


그림 1. Akimoto의 얼굴 모델 자동 생성 방법

다시 모델링해야 하는 불편함을 인식하고, 이를 해결하기 위해서 3차원 스캐너를 사용하는 모델 특화 기법을 제안하였다. 여러 가지 모델을 신속하게 제작하기 위한 방법론으로써, 일반 모델을 미리 정의해 놓고, 특징인에 대한 데이터를 획득하여 이에 따라 일반 모델을 특화시키는 방법이다[2]. 일반 모델을 특화하는데 Cyberware로 스캔한 깊이 정보와 RGB 정보를 이용한다. 일반 모델과 특징인 모델의 양쪽 데이터에 대해서는, 코, 입과 턱 등의 윤곽선을 대응시킨 후, 이를 기준으로 나머지 부분을 변형함으로써 일반 모델을 특화시킨다. 얼굴 모델은 노드와 스프링으로 정의된 모델이므로, 나머지 부분의 변형은 노드와 스프링으로부터 얻을 수 있다. Cyberware는 표면 데이터를 스캔하기 때문에 가려진 부분, 즉, 턱이나 머리카락 부분에서 정보의 손실이 있을 수 있다. 정보의 손실을 해결하기 위해서 주위 데이터를 보간하는 이완 방법(relaxation)과, 윤곽선을 추출하는 라플라시안 방법(Laplacian method)을 적용한다. 결과 영상은 일반 모델과의 대응 과정(fitting)에서 사용된다.

Akimoto와 Suenaga는 특별한 하드웨어를 사용하지 않고, 정면과 측면에서 찍은 2장의 사진을 이용하여 특징인의 3차원 얼굴 모델을 복원하는 알고리즘을 제시하였다[3]. 3차원 얼굴 모델을 생성하는 기존의 다른 방법들이 대부분 수작업을 요하는데 반해, 이 연구에서는 수작업을 피하고 가능한 한, 자동화하는 것을 목적으로 하고 있다. 기본적인 아이디어는 2장의 사진을 이용하여 얼굴의 특징점을 추출하고, 미리 정의한 일반 모델을 특징점에 따라 조절하는 방법이다. 다음 그림 1은 Akimoto가 개발한 시스템을 설명한다.

이 시스템은 특징점 추출 부분(feature extraction part)과 일반 모델 수정 부분(model modification part)으로 구성된다. 특징점 추출 부분은 정면과 측면에서 찍은 두 장의 사진에서 턱, 입, 코, 눈 등과 같은 특징적인 부분의 윤곽선을 추출하는 부분이다. 윤곽선을 추출하는 과정은 먼저, 이미지 분할, 특징점 추출, 부분 윤곽선 추출의 세 단계로 구성된다. 이미지 분할 단계에서는 색상을 기반으로 사진 이미지를 배경 부분, 얼굴 부분, 머리 부분 등의 영역으로 분할한다. 특징점 추출 단계에서는 측면 얼굴 사진의 얼굴 영역 내에서 템플릿 매칭 기법을 적용하여 턱, 입, 코, 눈과 같은 특징점의 위치를 얻어낸다. 여기에서 특징점의 위치는 검색 영역을 작은 윈도우로 제한하는 역할을 한다. 부분 윤곽선 추출 단계에서는 전 단계에서 정의한 작은 윈도우 내에서 Sobel 오퍼레이터를 적용하여 턱, 눈, 코 등의 부분적인 윤곽선을 추출한다. 일반 모델 수정 부분은 미리 정의한 일반 모델을 사진 이미지와 흡사한 모델에 따라 수정하여 새롭게 생성하는 부분이다. 일반 모델 상

에 특징점을 미리 정의해 놓는다. 일반모델 상의 특징점과 특징점 추출 부분에서 추출한 특징점을 연결하는 변위 벡터(displacement vector)를 이용하여 모든 부분의 새로운 위치를 계산한다. 이때, 특징점에서의 변위 벡터들을 보간하여 나머지 부분의 변위 벡터를 구한다.

3. 얼굴 표정 데이터 생성

얼굴 모델에 표정을 부여하기 위해서는 표정 데이터가 필요하다. 표정 데이터는 사실적인 표정 애니메이션을 실현하는데 핵심적인 역할을 한다. 수작업으로 일일이 지정하는 키프레임 방식을 사용하여 표정 데이터를 만들 수도 있으나, 이는 작업하기 복잡하고, 부자연스러운 표정 결과를 보여준다. 일반적으로 근육과 표정간의 상관 관계를 정의해 놓은 FACS를 기반으로 하는 방법이 많이 활용되고 있다. 기쁜 표정, 슬픈 표정, 또는 화난 표정을 표현하기 위해서 어떤 근육들이 얼마만큼의 장력으로 연관되어 있는 지를 알려 준다. 이 방법은 근본적인 특성 때문에 근육을 기반으로 하는 표정 애니메이션 방법과 밀접한 관련이 있다. 최근에는 퍼포먼스 애니메이션(performance animation) 기술의 발달과 함께 얼굴 표정 포착에 의한 방법이 각광을 받고 있다. 얼굴 표정 포착은 비디오 카메라로 실제 연기자의 얼굴 표정을 동영상으로 획득하고, 이로부터 표정을 인식하는 작업이다.

표정 포착 방법은 표식을 사용하는지 여부에 따라 두 가지 방법으로 대별된다. 첫 번째 방법은 얼굴에 특정 표식을 부착하고 표식을 찾아내는 방법이고, 두 번째 방법은 특별한 표식이 없는 순수한 얼굴 영상을 분석하여 표정을 인식하는 방법이다. 특히, 후자는 여러 가지 방법이 연구되고 있는데, 이미지 템플릿 비교를 기반으로 하는 방법, 윤곽선 추출을 기반으로 하는 방법, 옵티컬 플로우(optical flow)를 기반으로 하는 방법, 이미지 분할을 기반으로 하는 방법, 확률을 기반으로 하는 방법 등이 있다. 대부분의 방법들이 정면을 향하고 있는 얼굴에 대한 표정 포착을 전제로 한다.

Lance Williams는 표식을 사용하는 전자의 방법을 구체적으로 제시한 바 있다. 얼굴에 랜드마크(landmark)라 불리는 표식을 하고, 이의 움직임을 추적하는 방법을 제안하였다[4]. 얼굴에 직접 그려 넣거나, 스티커를 붙여 표식을 하는 방법론을 사용하고, 비디오 카메라를 사용하여 그 표식을 감지함으로써 원하는 특징 형상, 또는 움직임을 분석했다. 이 방법은 표식을 인식하는 문제로 귀결되기 때문에, 인식이 비교적 간단한 장점이 있는 반면, 얼굴에 표식을 해야 하는 번거로움과 표식의 수나 위치에 제한이 심한 단점을 극복하기가 어렵

다. 또한, 얼굴 표정을 세밀하게 포착하기가 어렵고, 동일 연기자의 표정을 포착하는 경우에도 랜드마크의 위치가 변경되면 포착된 표정에 오차가 발생하는 단점이 있다.

순수한 영상 분석을 기반으로 하는 후자의 방법은 여러 방법으로 다양하게 연구되고 있다. Thalmann 등은 표식이 없는 순수한 이미지에서 윤곽선 추출법을 기반으로 표정을 포착하는 방법을 제안하였다[5]. 얼굴에서 눈, 눈썹, 입, 그리고 머리카락 등이 피부색과 다르다는 성질을 이용하여 윤곽선을 추출하고 특징 형상을 찾는다. 외곽선의 모양을 정확히 나타낼 만큼 충분한 점을 찾은 것이 아니라, 윤곽선에 나타나는 색의 변화를 이용하여 특징 형상의 상태를 알기 위한 최소한의 정보만을 추출한다. 이 방법론은 표정을 정확하게 포착하기가 어렵고, 잡음이 발생할 경우 윤곽선이 정상적으로 나타나지 않으므로 문제가 있다. 턱의 윤곽선과 특징 형상들의 위치 관계를 이용하여 머리 움직임을 단순하게 추적하기 때문에, 정확한 추적을 요하는 응용 분야에는 활용할 수 없다.

Pentland는 아이젠 벡터(eigen vector)를 기반으로 얼굴을 인식하는 방법을 제안한 바 있다[6]. 여러 가지 얼굴에 대한 다양한 표정을 훈련하고 등록시킨 후, 표정과 독립적으로 얼굴을 인식하는 얼굴 인식 시스템을 제안하였다. 각 얼굴 영상을 아이젠 공간 좌표로 표현하고, 입력 영상과 비교하여 가까운 좌표를 갖는 입력 영상을 비슷한 영상으로 인식하는 방식이다. 이때, 아이젠 공간 좌표는 훈련된 영상을 구성하는 아이젠 벡터들로 표시되고, 벡터 내의 한 개 원소는 얼굴 영상의 각 픽셀로 정의된다. 또한, Pentland는 위의 얼굴 인식 방법론을 약간 변형하여 얼굴 표정을 인식하는 방법을 제시하기도 하였다. 새로운 얼굴 표정 방법은 얼굴의 방향이 변경된 경우에도 훈련만 시키면 인식이 가능하며, 머리의 이동도 추적 가능하다. 그러나, 매우 많은 양의 영상을 훈련하는 것을 필요로 하며, 각 영상을 픽셀 단위로 계산하기 때문에 실시간 포착이 어렵다는 단점이 있다. 또한, 훈련 방식들이 가지는 특성상, 훈련되지 않은 표정을 세밀하게 포착할 수 없고, 훈련되지 않은 표정에 대해서는 잘못된 결과를 초래할 수 있다.

Essa 등은 1996년에 이미지 템플릿(template) 비교를 기반으로 하는 방법을 제시하였다[7]. 여기에서, 이미지 템플릿은 얼굴의 눈, 코, 입과 같은 특징 형상에 대한 템플릿이다. 얼굴 영상에서 특징 형상의 이미지를 템플릿으로 훈련시킨 후, 입력 이미지에서도 특징 형상을 추출하여 훈련된 템플릿과 비교한 결과로 얼굴 표정을 인식하는 방법이다. 이미지 템플릿 비교 방법은 컴퓨터 비전 분야에서 일반적으로 사용되는 방법을 적용한다. 이미지 비교법의 특성상, 머리가 약간 움직인 경우에도

표정 포착이 가능하다. 훈련시킨 템플릿과 비교하여 표정의 파라미터만을 추출하는 방식이기 때문에 잡음에 강한 장점이 있다. 반면에, 시간이 오래 걸리므로 이미지 템플릿 비교를 수행하는 특별 하드웨어를 필요로 하고, 훈련된 표정 이외의 다른 표정에 대해서는 포착이 불가능하다.

Essa는 얼굴 영상에서의 옵티컬 플로우(Optical Flow)를 이용한 방법을 제시하기도 하였다[8]. 얼굴의 여러 가지 표정에 대한 옵티컬 플로우를 템플릿으로 사용하는 접근 방식이다. 입력 영상에서 얼굴의 움직임을 표현하는 옵티컬 플로우를 계산하여, 훈련시킨 템플릿과 비교한 결과로 얼굴 표정을 인식한다. 이미지 템플릿을 기반으로 하는 방법과 마찬가지로 표정 파라미터를 추출하는 방식이기 때문에 잡음에 강한 특성이 있다. 이 방법 역시 훈련된 표정들 이외의 다른 표정에 대해서는 포착이 불가능하고, 표정을 정확하게 포착하기 어렵다는 단점이 있다.

Sumit는 얼굴 윤곽선과 입술을 추적하는 LAFTER 시스템을 개발하였다[9]. LAFTER 시스템은 얼굴과 입술의 윤곽선만을 추적하지만 얼굴 표정을 인식하는 기반 기술로써 활용될 수 있다. 얼굴 형상이나 입술과 같은 특징 형상을 알아내기 위한 방법론으로 블러프라는 개념을 사용한다. 블러프란, 자신의 원소가 되는 픽셀들 간에는 어떤 가지적 특성을 공유하고, 자신을 둘러싸고 있는 다른 픽셀들과는 그 가지적 특성을 공유하지 않는 픽셀의 집합으로 정의된다. 여기에서 가지적 특성이란, 색상, 텍스처, 명도, 움직임, 또는 이들의 조합 등 여러 가지가 있을 수 있다. LAFTER 시스템에서

사용한 가지적 특성은 $(\frac{r}{r+g+b}, \frac{g}{r+g+b})$ 과 같

은 색상 공간(Chromatic color space)으로 조명에 강한 특성을 지닌다. 여러 사람의 피부색과 입술 색으로 훈련된 정보를 이용하여 블러프를 찾는다. 블러프는 특별한 하드웨어 장비 없이도 복잡하고 유동적인 영상으로부터 실시간에 찾아내는 일이 가능하기 때문에 널리 사용된다. 계산량이 많지 않고 복잡한 영상의 분할에 있어서도 매우 뛰어난 결과를 보여 준다. 그러나, 이 방법은 블러프의 특성상 정확한 모양을 찾지 못하며, 머리의 움직임이 있는 경우에 적절한 해결방안을 제시하지 못하고 있다.

1998년 Nuria가 제시한 확률론적 방법은 비교적 정확한 결과를 내고 있어 주목받고 있다[10]. 기본적인 개념은 임의의 한 점이 특징 형상 위의 점이 될 확률을 계산하고, 이 확률 값을 사용하여 특징 형상 모양을 추적하는 방식이다. 정확히 말하면, 특징 형상의 모양에 가장 근접한 점들의 집합을 찾아낸다. 각 점들이 가지는 확률의 합을 최대로 만들기 위해서 가능한 경우를

모두 찾지 않고, 경사도(gradient)에 의한 지역 최대값(local maximum)을 구하는 방법을 사용한다. Oliver의 방법은 정확한 입 모양을 추적할 수 있으며, 머리의 움직임도 평면 내 회전(in-plane rotation)과 이동(translation)에 대한 추적이 가능한데, 이는 다른 방법들에 비해 그 추적 범위가 넓은 편이다. 그러나, 실시간 알고리즘이 아니기 때문에 응용분야에 제한적인 단점이 있다.

4. 얼굴 변형에 의한 표정 생성

얼굴 표정을 애니메이션하기 위한 기존의 모델은 기하학적 근육 모델, 물리적 근육 모델, 자유 변형(Free-Form Deformation) 모델 등으로 분류할 수 있다. 이들 중, 기하학적 근육 모델과 물리적 근육 모델은 근육을 기반으로 설계된 모델들이다.

기하학적 근육모델은 1988년 Waters가 제안한 모델로써, 기본적인 아이디어는 얼굴 표정의 원동력을 근육의 운동으로 간주하고, 대표적인 세 가지 근육의 운동 모델을 제안한 것이다[11]. 이 모델은 기하학적인 근육 운동만을 고려하므로 실시간으로 계산이 가능한 반면, 물리적 특성을 무시하기 때문에 사실적인 표현을 실현하지 못하는 단점이 있다.

물리적 근육모델은 1995년 Terzopoulos가 제안한 모델로써, 근육 운동이 얼굴 표정의 원동력이라는 기본 아이디어는 기하학적 근육모델과 같지만, 얼굴 표정의 물리적 특성을 반영함으로써 사실적인 표정을 실현한다[12]. 이 모델에서는 노드와 스프링으로 얼굴 모델을 구성하고, 이들 사이의 운동과 힘의 관계를 계산하는 동적 시뮬레이션을 한다. 이 모델은 주름살이나 양 볼이 부푸는 부피감을 표현하는 등 사실적인 결과를 보여주고 있지만, 계산하는 데에 시간이 오래 걸려서 실시간 시스템에 적용할 수 없다는 단점이 있다.

자유변형 모델은 앞의 두 모델들과 달리 근육 운동을 고려하지 않고, 물체 모양의 변형 방법으로 널리 알려진 자유변형 이론을 도입하여 얼굴 피부를 자유자재로 변형시킴으로써 얼굴 표정을 표현한다[13]. 근육을 기반으로 하는 기존의 방법들이 근육과 표정간의 상관관계를 찾아내야 하는 어려움이 있는 반면, 자유변형 모델은 보다 쉽게 원하는 표정을 생성할 수 있다. 그러나 자유변형 이론 자체가 가지는 간접제어 방식 때문에 사용자의 직관을 반영한 표정의 생성은 어렵다는 특징이 있다.

4.1 기하학적 근육 모델

Waters는 얼굴 모델 변형을 통해 표정을 표현하기

위해서, 실제 근육의 운동과 유사하게 동작하는 운동모델을 제안하였다. Waters의 근육모델은 기하학적 성질만을 고려한 모델로써, 얼굴에 몇 가지 근육을 배치하고, 근육이 수축하는 모양과 이로 인해 주변에 미치는 영향을 계산하는 함수를 사용하여 얼굴 모델의 변형을 유도한다. 근육의 위치와 방향을 정의하기 위해서 근육 벡터의 개념을 도입하고, 근육 벡터가 주변에 영향을 미치는 최대 범위를 계산하기 위해서 근육 벡터의 길이와 각도를 매개변수로 사용한다. 근육의 수축운동은 코사인 함수로 모델링 한다. 근육 모델은 얼굴 모델이 변형되더라도 얼굴에 적절하게 근육 벡터를 배치하고 관련 매개변수를 정의하면 새롭게 적용할 수 있기 때문에 특정 모델에 제한 받지 않고 사용할 수 있다. 근육의 운동은 해부학 분야의 연구 결과를 참조하였다. 해부학 지식을 도입한 기법은 Badler 등에 의해 이미 예전에 제시된 적이 있었지만 가장 복잡한 입 부분을 제외하고 얼굴의 위 부분에만 제한적으로 적용되었다.

Waters의 모델에서는 근육을 그 운동 형태에 따라 선형근, 원형근, 평행근의 세 가지 종류로 분류한다. 선형근은 한쪽 방향으로 잡아당기는 형태의 수축 운동을 하며, 수축으로 인해 주변에 영향을 미치는 영역은 부채꼴 모양을 형성한다. 원형근은 원점을 중심으로 모아지는 형태로 수축운동을 한다. 근육 수축과, 그로 인해 변형되는 모양은 타원 모양으로 운동모델을 근사한다. 평행근은 여러 개의 근육이 무리 지어서 평행하게 움직이는 형태의 수축운동을 하므로 평행사변형 모양으로 운동모델을 모델링한다.

선형근은 한 점을 중심으로 잡아당기는 형태의 운동을 한다. 따라서, 선형근이 수축할 때, 주변에 있는 점들의 새로운 위치는 근육 벡터와 이루는 각도와 근육 벡터와의 거리와 같은 매개변수에 의해 결정된다. 그림 2에서 근육벡터 V_1 수축시, 주변에 있는 한 점 P 는 P' 로 이동하게 되는데, 이때 이동 변위는 근육 벡터와 이루는 각도 μ 와 근육 벡터의 한 끝 점 V_1 에서 점 P 까지의 거리 D 에 의해 영향을 받는다. 점의 이동 변위는 각도 μ 가 클수록, 그 값이 적어지기 때문에 $\cos(\mu)$ 에 비례함을 알 수 있다. 또한, 점 P 의 이동 범위는 근육 벡터와의 거리가 커질수록 그 값이 비선형 모양으로 커지기 때문에 다음과 같은 비례식으로 표현할 수 있다.

원형근은 원점을 중심으로 모아지는 형태로 운동하므로, 앞에서의 매개변수 중 각도는 무시되고 반경에만 의존한다. 다음 그림 3과 같이 타원 모양으로 주위에 영향을 미친다. 따라서 원형근이 수축할 때 각 점의 변위를 나타내는 방정식은 $P' \propto f(k, L_x, L_y, P)$ 로 표시하고, 여기에서 L_x, L_y 는 타원의 세로 반경과 가로 반경을 나타낸다. 그림은 원형근이 수축할 때, 주변에

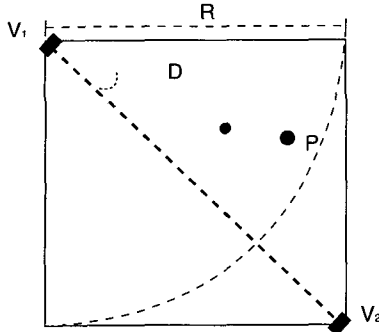


그림 2. 선형근

$$P \propto f(k, a, r, p)$$

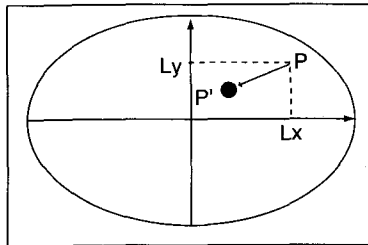
k : 상수

a : 각도, $a = \cos(\mu)$

r : 반경, $r = \cos \frac{1-D}{R}$

있는 한 점 P 가 L_x, L_y 매개변수의 영향을 받아 P' 으로 이동하는 것을 보여준다.

그림 3. 원형근



$$P \propto f(k, L_x, L_y, P)$$

k : 상수

L_x : x 방향 거리

L_y : y 방향 거리

평행근은 개개의 근육들이 그룹을 지어 평행하게 운동하므로, 선형근에게서의 매개변수 중 각도는 무시되고, 근육 그룹을 포함하는 사각형 내부에서 원점까지의 거리에만 의존한다.

4.2 물리적 근육 모델

기하학적 근육모델은 근육의 기하학적 모양만 고려

할 뿐 힘의 관계를 설명하지 못하므로, 표정의 사실감이 떨어진다. 이러한 한계성을 극복하기 위해서 물리적 근육모델이 제시되었다. 힘에 의한 근육 운동을 동적 시뮬레이션을 통해 실현하고자 하는 것이 이 모델의 기본적인 아이디어이다. Terzopoulos는 근육 운동에 대한 동적 시뮬레이션 모델을 제안하였다. 이 모델에서는 얼굴 모델을 연성체(deformable mesh)로 모델링하고, 탄성 이론을 도입하여 연성체의 모양과 운동 변화량을 나타내는 방정식을 제시한다. 방정식은 수치 해석적인 방법으로 해를 구한다. 스프링과 댐퍼가 동시에 연결되어 있고, 입자들은 모두 임의의 질량을 갖는 스프링-질량-댐퍼 모델을 이용한다. 연성체는 유한개의 입자로 구성되고 각각의 입자들은 이웃한 입자들과 서로 연결되어 있다. 연결된 입자끼리는 일정한 거리 이상 떨어질 수가 없고, 떨어진 거리만큼의 위치 에너지를 내부적으로 갖는다. 이 모델은 외부에서 힘을 받았을 때 모양이 변하거나 운동을 하게 된다.

물리적 근육 모델은 매우 사실적인 표정 결과를 보여준다. 이마 주름살이나, 웃을 때 양쪽 볼이 부푸는 부피감 등의 미세한 표정까지 표현이 가능하기 때문에 다른 방법들에 비해 매우 사실적인 표정을 보여 준다. 그러나, 동적 시뮬레이션을 위한 계산 시간이 오래 걸려 실시간 응용 분야에 적용하기는 어렵다.

4.3 자유 변형 모델

Thalmann 등이 제안한 실시간 얼굴 표정 변형 방법은 자유 변형(Free Form deformation) 이론에 기반을 두고 있다[14]. 자유 변형 이론은 임의의 3차원 물체를 변형시킬 때 널리 사용되는 방법으로, 직육면체들로 이루어진 3차원 격자(lattice)를 이용하여 물체의 변형을 간접적으로 제어하는 방법론이다. 물체 외부에 제어격자를 배치하고, 제어격자의 제어점(control point)을 조작하여 간접적으로 물체의 변형을 유도한다. 제어격자에 둘러싸인 물체는 제어격자에 대해서 지역 좌표계를 가지게 되는데, 제어격자의 변형에 의해서 제어격자의 전체 좌표계가 변하기 때문에 물체의 전체 좌표계도 변하게 된다.

물체의 표현 방법과 무관하게 변형 방법을 적용할 수 있고, 높은 미분 연속성을 보장하기 때문에 자연스러운 얼굴 모델 변형이 가능하다. 그러나, Trivariate Bernstein 다항식을 사용하기 때문에 계산 시간이 오래 걸려 실시간 응용 분야에는 적용하기 어렵다. 또한, 얼굴의 구조(topology)를 고려하지 않기 때문에 얼굴의 특성에 적합한 자연스러운 변형은 실현하기가 어렵다. 자유변형 이론은 제어격자의 제어점을 통해 간접적으로 물체의 변형을 유도하기 때문에, 얼굴 모델의 직관적인

변형은 기대하기 어렵다.

5. 결 론

본 고에서는 얼굴 표정 애니메이션에 관한 기존의 연구 결과를 언급하였다. 얼굴 모델 제작 과정, 표정 데이터 생성 과정, 표정 애니메이션 과정으로 나누어 고려했다.

컴퓨터에서 얼굴 표정을 표현하는 작업은 단순한 의미 이상의 것이다. 사람들은 자신이나 상대방의 얼굴을 매일 바라보면서 얼굴 표정에 친숙해져 있기 때문에 약간의 부자연스러운 모습에도 크게 반감을 느끼게 된다. 따라서, 사실적으로 얼굴을 모델링하고, 얼굴 표정을 애니메이션하는 일은 그 만큼 어려운 문제이다. 또한, 얼굴 표정은 수십 개의 근육이 서로 조합으로 작용함으로써 수천 개에 다다른 표정을 표현하게 되므로, 완전한 얼굴 표정 시뮬레이션은 거의 불가능한 작업이다. 최근에 등장한 가상 인물의 예를 보면, 얼굴 표정이 어색하고, 단순하며 립싱크조차 제대로 되고 있지 않아 조악한 결과를 보여주고 있다. 최근에 응용 분야에서는 얼굴 모델을 특화시켜 사람들에게 익숙지 않은 모델을 부각시킴으로써 문제를 해결하는 방법을 시도하기도 한다. 가상 인물 제작을 전담하는 프로덕션으로 널리 알려진 프랑스 Media Lab에서는 인간이 아닌 동물의 모습을 주로 응용하는 예를 볼 수 있다.

아직은 초보적인 수준이지만 퍼포먼스 애니메이션 기술이 지금 부각되고 있는 문제들에 대한 해답이 될 수 있으리라고 본다. 퍼포먼스 애니메이션은 실제 연기자의 얼굴에서 표정 데이터를 얻어냄으로써 매우 사실적인 결과를 내고 있다는 면에서 긍정적인 평가를 받고 있다. 표정 포착 방법으로 다양한 방법들이 소개되었는데, 보다 정확한 데이터를 실시간으로 분석하는 기법과 잡음 제거 기술에 대한 집중적인 연구가 필요한 시점이다. 또한, 퍼포먼스 애니메이션에 적합한 얼굴 변형 이론에 대한 연구도 병행되어야 한다. 최근에 가상 탤런트, 게임에 등장하는 가상 인물, 인터넷 상의 가상 인물 등 폭발적으로 증가하는 수요를 고려해 볼 때, 사실적인 애니메이션을 신속하게 제작할 수 있는 퍼포먼스 애니메이션 기술은 상당히 매력적이다.

참 고 문 헌

- [1] P.Ekman and W.V.Friesen, Manual for the Facial Action Coding System, Consulting Psychologists Press, Palo Alto, 1977.
- [2] Y.C.Lee, D.Terzopoulos, and K.Waters. Constructing physics-based facial models of individuals, In Proceedings of Graphics Interface '93, pages 1-8, Toronto, May 1993.
- [3] T.Akimoto, Y.suenaga, and R.Wallace. Automatic creation of 3D facial models. IEEE Computer Graphics and Applications, 13(5): 16-22. Sept. 1993.
- [4] Lance Williams, Performance-Driven Facial Animation, Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '90), 24:235-232, July 1990.
- [5] Nadia Magnenat Thalmann, Igor Pandzic and Prem Kalra, Interactive Facial Animation and Communication, Computer Graphics International '96.
- [6] Pentland, A.P., & Williams, J.R.(1989). Good vibrations: Modal dynamics for graphics and animation. ACM Computer Graphics, 23(4), 215-222.
- [7] Modeling, Tracking and Interactive Animation of Faces and Heads using Input from Video, IEEE1996.
- [8] Irfan A. Essa and Alex Pentland, Facial Expression Recognition using a Dynamic Model and Motion Energy, Proceedings of the ICCV '95, Cambridge, MA, June 1995.
- [9] Sumit Basu, Nuria Oliver, and Alex Pentland, 3D Modeling and Tracking of Human Lip Motions.
- [10] Nuria Oliver, Sandy Pentland, Francois Berard and Joelle Coutaz, LAFTER: Lips and Face Tracker, submitted to Computer Vision and Pattern Recognition Conference '97.
- [11] K.Waters. "A muscle model for animating three-dimensional facial expression," Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '87), 22(4):17-24, 1987.
- [12] Y.Lee, D.Terzopoulos, K.Waters. "Realistic Modeling for Facial Animation", Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '95), pages 55-62, 1995.
- [13] P. Kalra, A. Mangili, N. Magnenat Thalmann, and D. Thalmann, Simulation of facial muscle actions based on rational free form deformations. Eurographics '92, pages 59-60, 1992.
- [14] T. W. Sederberg and S. R. Parry. Free-form deformation of solid geometry models. Computer Graphics (Proceedings of SIGGRAPH '86), 20:151-160, July 1986.

필자 소개



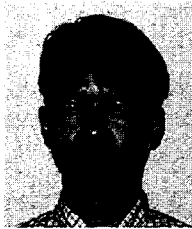
변혜원

- 1990년 2월 연세대학교 전산학과 학사
- 1992년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1992년 3월~ 한국방송공사 기술연구소 연구원
- 주관심분야 : 컴퓨터 그래픽스



김희정

- 1985년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 학사
- 1988년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1988년 3월~ 한국방송공사 기술연구소 연구원
- 주관심분야 : 컴퓨터 그래픽스



박성춘

- 1988년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
- 1990년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1990년 3월~ 한국방송공사 기술연구소 연구원