

가상 인물 개요 및 기술 동향

최민규*, 권범준*, 조문재**, 신성용*
*한국과학기술원 전산학과, **한국방송공사 기술연구소

요약

사람을 닮은 등장 인물로서 다양한 매체에서 활동하고 있는 가상 인물은 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달과 더불어 다른 분야로 그 응용이 급속히 확산되고 있다. 특히, TV, 영화 등과 같은 방송 매체에서 그 비중이 점차 커지고 있다. 본 고에서는 이러한 가상 인물의 정의와 응용 분야 및 성공 사례에 대해 알아보고, 가상 인물을 제작하는데 필요한 컴퓨터 그래픽스 기술들을 소개한다.

1. 개요

컴퓨터 그래픽스 기술의 발달과 함께 등장한 가상 인물은 이제 TV, 영화, 게임 등의 다양한 매체를 통해 언제나 쉽게 접할 수 있는 친숙한 요소로 우리의 삶에 자리를 잡아 가고 있다. 이러한 경향은 컴퓨터 그래픽스 기술이 1980년대 후반부터 오락, 교육, 예술 등 점차 다양한 분야로 널리 활용되면서 확산되기 시작했다.

이는 컴퓨터 기술의 급속한 발전과 이에 맞물린 컴퓨터 가격 하락 현상이 많은 사람들로 하여금 컴퓨터 그래픽스 기술로 창조된 가상 인물에 대해 관심을 유발했기 때문이었다. 본 고에서는 가상 인물이 무엇인지, 어디에 어떻게 응용되고 있는지 살펴 보고, 가상 인물 제작에 관련된 컴퓨터 그래픽스 기술들을 소개한다.

컴퓨터 그래픽스에서 정의하는 가상 인물은 한 마디로 인간을 모방한 등장 인물이다. 이들은 팔, 다리, 머리, 눈, 코, 입 등 필요한 만큼 세부적으로 사람의 외형을 닮았다. 그리고 몸 동작과 얼굴 표정, 목소리 등 행동면에서도 사람과 유사하다. 또한, 이들은 필요한 경우 개성과 인격을 갖는다. 오늘날 "사이버 스타"라고 일컫는 가상 인물들이 갖는 특징이기도 하다. 다시 말하면, 가상 인물이란 인간의 외형, 행동을 모방하고 독특한 개성과 인격을 지닌 독립적인 등장 인물로서, 컴퓨터 그래픽스 기술로 창조되고 응용되는 객체를 말한다. 최근에는 캐릭터 애니메이션에서 의인화된 동물이

나 물건들이 저마다의 개성과 인격을 가지고 사람과 같이 행동하는 모습을 볼 수 있다. 외형은 비록 사람과 닮지 않았지만 의인화되었다는 점에서 이들 또한 넓은 의미의 가상 인물이라 할 수 있다.

가상 인물이 처음 등장하기 시작한 곳은 그들의 고향이라 할 수 있는 컴퓨터 애니메이션이다. 이들은 인간 대신 짝막한 애니메이션에 출연해서 이야기를 이끌어가는 주인공 역할을 했다. 대표적인 예로는 Pixar에서 1988년에 제작한 "Tin Toy"에 등장하는 아기, Thalmann 등이 제작한 "Rendez-vous a Montreal" 외 여러 편의 애니메이션에 등장하는 Marilyn Monroe 등을 들 수 있다.

컴퓨터 애니메이션에 등장한 가상 인물들은 곧바로 상업용 광고들에 등장하게 되었다. 상업용 광고는 일반인들이 쉽게 접할 수 있는 매체들을 통해 집중적으로 전달되므로 그 파급 효과가 매우 크다. 우리나라에서도 삼성의 휴먼테크, 금성의 테크노피아 등 회사 이미지 광고에서부터 등장하기 시작하여 지금은 헤아릴 수 없이 많은 광고에서 가상 인물들이 등장하고 있다. 반면, 영화는 광고에 비해 상영 시간이 매우 길기 때문에 제작 기간과 제작비의 한계가 있어 가상 인물의 등장이 더디었지만, 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달과 컴퓨터 가격의 하락에 힘입어 이러한 한계들이 극복 됨에 따라 수많은 영화에 가상 인물들이 등장하고 있다. 그리고 1995년에 최초의 장편 컴퓨터 애니메이션 영화인 Walt Disney의 "Toy Story"가 개봉되면서 가상 인물이 등장하는 영화 제작의 절정을 이루었다. "Toy Story" 이전에는 특수 효과 등의 목적으로 실사 영화의 일부에 가상 인물이 등장하기도 했는데, 이때 등장한 가상 인물들은 "Terminator 2"에서와 같이 실사 영화에 등장하는 실제 배우와 구별이 힘들 정도로 똑같이 제작된 경우도 있었다. 지금도 실제 배우가 등장하기 어려운 장면에서는 가상 인물들이 부분적으로 대신 등장하는 것을 볼 수 있다.

제작 기간이 단축되고 제작비가 내려감에 따라 영화에 이어서 TV 프로그램에서도 가상 인물들을 적극적으로 활용하기 시작하였다. 특히, 어린이들을 위한

교육용 또는 오락용 프로그램에서 그러하다. 우리나라에서도 KBS의 “달려라 코바” 등과 같은 프로그램에서 가상 인물이 프로그램의 진행을 돕는 모습을 볼 수 있다.

최근에는 가상 인물들이 어떤 한 매체에만 제한적으로 등장하지 않고 여러 매체에 동시에 출연하는 것을 볼 수 있는데, 이러한 가상 인물의 제작사는 이들의 직업과 기타 주변 환경을 사실적으로 설정하여 사이버 스타로 만드는 작업을 하고 있다. 이들에 대한 일반인의 관심은 이들의 음반이 인기를 끌고 팬 클럽이 결성되는 등 실제 인기 스타들에 대한 관심 못지않다. 대표적인 성공 사례로는 일본의 HoniPro에서 제작한 사이버 가수 “Kyoko Date”가 있다. 우리나라에서도 아담소프트에서 제작한 사이버 가수 “아담”이 음반 제작과 광고 출연 등의 활동을 하고 있다. 그러나, 이들 사이버 스타들은 외형과 행동의 사실감을 최대한 높여서 제작된 이유로 이들이 출연하는 영상을 실시간으로 제작하기가 불가능하기 때문에, 생방송에 출연하거나 인터뷰를 하는 등 실시간으로 반응을 보여야 하는 매체에는 아직까지 등장하기 힘들다.

실시간 매체에 등장하는 대표적인 가상 인물들은 주로 게임이나 가상 현실 시스템에서 볼 수 있다. 게임의 경우 가상 인물의 동작이 게임의 특성에 따라 제한적으로 설정되어 있기 때문에 실시간 렌더링이 비교적 쉽다.

EA Sports의 “FIFA 98”, Sega의 “NBA Action 98” 같은 스포츠 게임에서부터 Core Design의 “Toom Raider”, Sega의 “Virtual Fighter” 같은 액션 게임에 이르기까지 다양한 장르의 게임에서 가상 인물들이 등장하고 있다. 또한, 만화로 인기를 끌었던 캐릭터들이 새롭게 3차원 가상 인물로 디자인되어 게임에 등장하는 경우가 점차 많아지고 있는데, “날아라 슈퍼보드”, “녹색 전차 해모수” 등 국산 만화 영화의 등장 인물들도 게임으로 다시 선을 보이고 있다.

가상현실 시스템에서는 현실감을 극대화 시키기 위해 사용자의 대리인으로서 가상 인물을 등장시킨다. 이들은 가상 환경과 접촉하고 사용자의 요구에 따라 다양한 작업을 수행해야 하는 어려움 때문에 게임에 비해 초보적인 수준으로 응용되고 있다. 그러나 제품 디자인이나 제작과 같은 분야에서 가상현실 시스템을 이용한 설계 검증이 각광을 받기 시작하면서 활발한 연구 개발이 이루어졌다. 대표적인 성공 사례로는 Badler 등이 개발한 Jack 시스템을 상업화 시킨 Transom Technologies의 Transom Jack 시스템이 있다. Transom Jack 시스템은 자동차, 트럭 등 다양한 환경에서 편안하게 운전, 조작하는 것이 가능한지, 시야가 확보되어 있는지 등을 가상 인물을 통해 검증할 수 있다. 항공기

제작 회사인 McDonnell Douglas의 경우에도 자체적으로 제작한 MDHMS(McDonnell Douglas' Human-Modeling Software) 시스템으로 비행기 조종석의 설계를 검증하고 있다. 우리나라의 경우 삼성중공업에서 중장비의 디자인을 검증하기 위해 한국과학기술원에서 제작한 가상현실 시스템을 이용한 사례가 있다.

이와 같이 가상 인물은 실제 사람이 등장할 수 있는 공간은 물론, 사람이 등장할 수 없는 가상의 공간까지 포함해서 다양한 매체를 통해 등장하고 있으며, 최근 10여년 동안 은연중에 일반인들에게 매우 친숙하게 되었다. 이러한 급속한 변화는 컴퓨터 그래픽스 기술의 뒷받침 덕분에 이루어진 것이다. 다음 절부터는 가상 인물을 만들기 위한 컴퓨터 그래픽스 기술들을 소개한다. 먼저, 2절에서는 가상 인물의 인체와 얼굴의 모델링 기술과 실시간 렌더링 기술에 대해 소개한다. 3절과 4절에서는 가상 인물의 몸 동작 제어 기술과 표정 생성 기술을 소개하며, 5절에서는 가상 인물과 주변 환경 사이의 상호작용을 소개한다. 마지막으로, 6절에서는 본고의 결론과 가상 인물 기술의 향후 방향에 관하여 논한다.

2. 모델링 및 렌더링 기술

2.1. 인체 모델링

인체의 자세와 동작은 인체의 가장 기본적 구조이며 뼈대(link)와 관절(joint)로 이루어진 골격(skeleton)에 기반 한다. 각각의 뼈대는 길이와 모양이 고정되어 있지만 관절의 속성에 따라 인접한 뼈대들 사이의 방향 및 위치 관계가 변하여 인체의 자세 변화와 동작이 이루어진다. 이와 같은 인체 구조의 특성을 반영하기 위하여 대부분의 가상 인물들은 뼈대와 관절들의 관계를 계층적으로 기술하는 다관절체(articulated body)로 표현된다.

가상 인물의 관절은 대부분 고정된 축을 중심으로 회전하는 회전 관절(revolute joint)로 표현되며, 뼈대의 길이가 늘어나는 효과를 가지는 수축 관절(prismatic joint)을 이용하여 어깨 등을 보다 정밀하게 표현한 경우도 있다[68]. 회전 관절에 대해서는 주로 오일러 각을 사용하여 관절에 연결된 뼈대의 고정된 축에 대한 회전량을 나타내었는데, 오일러 각은 특이성(singularity) 문제를 야기한다. 요즘에는 단위 4원수(quaternion)를 사용하여 이러한 문제를 해결하는 추세이다.

인체는 대단히 많은 자유도를 가지는 복잡한 구조로 이루어져 있지만 이를 모두 고려하기는 현실적으로 불가능하기 때문에 적당한 수준으로 단순화된 다관절체

모델을 사용한다. 하지만, 단순화된 모델은 사실적이지 않은 동작을 유발할 수 있다[68]. 인체의 특정 부위의 골격 예를 들어 어깨, 척추, 팔 등을 해부학적으로 보다 엄밀히 표현하려는 시도가 있었다[2, 46, 64, 68]. 또한, 인체의 골격 구조에 다단계 세부 표현(level of detail) 기법을 적용하여 다단계의 자유도를 가지는 인체 모델을 생성하는 연구도 있었다[25].

인체의 골격을 다관절체로 표현한 후에는 각 뼈대를 감싸는 피부를 모델링하고 뼈대에 연결된 관절의 변화를 고려하여 피부를 변형한다. 피부를 표현하는 가장 단순한 방법은 강체를 사용하는 것이다. 이 방법은 구현이 쉽고 계산 시간이 빠르기 때문에 실시간 시스템에서 널리 사용되지만, 관절 부위에서 강체들이 서로 교차하는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 관절 주위만 모양이 쉽게 변하는 곡면(flexible surface)으로 가정하고 이를 변형하여 관절 부위를 매끄럽게 표현하는 방법들이 제시되었다[15, 65, 69].

하지만, 관절 근처에서만 피부를 변형하는 방법들은 근육의 수축 등에 의해 관절 이외의 부위에서 피부가 변형되는 현상을 설명할 수 없다. 예를 들어 팔을 구부릴 때 상완의 피부가 볼록해지도록 할 수 없다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 피부에 직접적으로 영향을 미치는 근육들을 고려하여 관절이외의 부위에서도 피부를 변형할 수 있다[15, 26, 50, 65]. 최근에는 해부학이나 생체역학 등에 기반하여 근육을 모델링하고 물리적으로 그럴듯하게 변형하여 피부를 보다 사실적으로 표현하기 위한 연구가 진행 중이다[16, 63, 75].

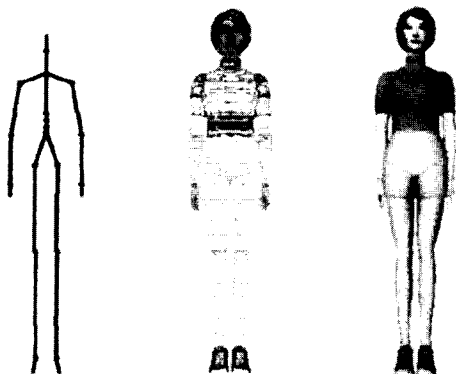


그림 1. 가상 인물 모델과 골격

2.2. 얼굴 모델링

얼굴 피부의 변화는 관절 구조에 의한 변형이 아니라 근육에 의한 부드러운 곡면의 변형이며, 안면 근육

의 구조적 특성으로 인해 인체의 다른 부위에 비해 상대적으로 다양하다. 또한, 사람들은 표정에 친숙해져 있기 때문에 약간의 부자연스러움에도 큰 반감을 느낀다. 따라서, 이를 효과적으로 표현하고 제어하기 위한 연구가 활발히 진행되었다.

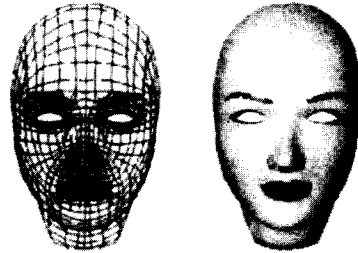


그림 2. 가상 인물의 기하학적 얼굴 모델

표정을 생성하기 위해서는 얼굴의 기하학적 모델과 이를 변형하기 위한 제어 모델을 고안해야 한다. 이는 인체 모델링에서 골격을 모델링한 후 관절의 변화에 따라 피부를 변형 시키는 것과 같은 맥락이다. 이때 기하학적 모델은 다루어야 할 데이터의 양을 줄이기 위해서 보다 적은 수의 노드로 얼굴의 특징을 잘 반영하여야 하며, 제어 모델은 적은 수의 제어점과 제어 변수를 사용하여 기하학적 모델을 보다 쉽고 사실적으로 변형하여야 한다.

초창기에는 수작업으로 얼굴의 기하학적 모델을 만들었으나, 근래에 들어서는 실제 사람으로부터 얼굴 모델을 자동으로 만들거나 미리 만들어진 얼굴 모델을 특정인의 얼굴에 맞게 변형한다. 얼굴 모델을 자동으로 생성하는 기법들은 얼굴에 메쉬를 그리고 찍은 몇 장의 사진으로부터 얼굴 모델을 획득하거나, 3차원 스캐너 장비나 자기 공명 장치 등을 사용하여 얼굴의 정밀한 데이터를 획득한다. 미리 만들어진 얼굴의 메쉬 모델을 특정인의 얼굴에 대응 시키기 위한 기법들은 앞면과 옆면에서 찍은 두 장의 사진을 이용하여 눈, 코, 입, 턱 등의 특정 부위를 추출하고 이를 이용하여 얼굴 메쉬 모델을 변형하거나[1], 3차원 레이저 스캐너로부터 획득한 얼굴의 레인지 데이터와 색상 데이터를 이용하여 기본 메쉬 모델을 조절한다[41].

얼굴의 기하학적 모델을 변형하기 위한 제어 모델들은 기하학적 근육 모델, 물리적 근육 모델, FFD에 기반한 모델 등으로 분류된다. 이들 중 기하학적 근육 모델과 물리적 근육 모델은 안면 근육을 기반으로 설계되었다. 안면 근육의 운동을 표정의 원동력으로 간주하는 기하학적 근육 모델은 심리학 분야의 FACS(facial action coding system)에서 기본 단위로 정의한

AU(action unit)과 해부학 분야에서 분류한 선형근, 원형근, 평행근에 기반 하여 근육의 수축과 그에 따른 주변 피부의 변형 관계를 함수로 나타내고, 이를 이용하여 얼굴의 기하학적 모델을 변형한다[72]. 이 모델은 기하학적인 근육 운동만을 고려하므로 빠른 시간에 계산이 가능하고 실시간 시스템에 활용 가능한 반면, 힘의 관계를 고려하지 않기 때문에 표정의 사실감이 떨어지는 한계가 있다.

기하학적 모델의 한계성을 극복하기 위해 근육의 운동과 그에 따른 피부의 변형을 역학 시뮬레이션으로 계산하는 물리적 근육 모델이 제안되었다[41]. 이 모델에서는 얼굴을 연성체(deformable mesh)로 표현하고 탄성 이론을 도입하여 연성체의 모양과 운동 변화량에 관한 방정식을 기술한다. 따라서, 주름살이나 부피감 등 미세하고 사실적인 표현이 가능하다. 하지만, 역학 시뮬레이션 등으로 인해 많은 계산 시간을 필요로 하기 때문에 실시간 시스템에 활용하기 어렵다.

근육과 표정간의 상관 관계를 정의해야 하는 기하학적 근육 모델이나 물리적 근육 모델과 달리, FFD에 기반한 제어 모델은 얼굴의 피부를 자유 곡면으로 표현하고 이를 FFD 기법으로 변형하여 표정을 생성한다[34]. 따라서, 이 방법은 얼굴 변형에 대한 자유도가 높은 반면, 얼굴 피부의 연결 구조를 유지하지 못하여 사실적인 얼굴 표정을 기대하기 어렵다. 또한, FFD 기법 자체의 간접 제어 방식에 의해 사용자의 직관을 반영하는 표정을 생성하기 어렵다.

2.3. 실시간 렌더링

가상 인물을 보다 인간에 가깝게 보이도록 하기 위해서는 더욱 복잡하고 방대한 양의 자료를 기반으로 모델링을 해야 한다. 그러나, 모델의 복잡도가 증가할수록 그 모델을 렌더링하는 시간은 더욱 증가하므로 빠른 렌더링이 요구되는 실시간 시스템에서는 사실적인 가상 인물 모델을 사용하기 어렵다. 이런 이유로, 복잡한 모델을 실시간 시스템에서 사용하기 위한 다양한 실시간 렌더링 기법이 개발되었다.

실시간 렌더링을 위해 가장 널리 사용되는 LOD(level of detail) 기법은 기하학적 모델을 세부 표현 수준에 따라 간단한 단계에서 복잡한 단계까지 여러 단계로 변할 수 있게 하고, 적절한 단계를 선택하여 생성되는 영상의 질을 유지하면서 불필요한 렌더링 시간을 절약한다[21, 29, 30]. 가상 인물의 피부의 경우, 실시간 시스템에서는 다각형 메쉬 모델로 변환하여 렌더링하게 되는데, 이때 메쉬를 이루는 다각형 수에 따라 여러 단계의 모델을 준비할 수 있다. 그리고, 렌더링할 때 카메라의 위치와 방향, 화면에서 차지하는 비중 등을

고려하여 자세한 세부 표현이 필요할 경우에는 다각형 수가 많은 복잡한 모델을, 세부 표현이 필요 없을 경우에는 다각형 수가 적은 단순한 모델을 렌더링한다.

현재 LOD 기법에서 해결하고자 많이 연구되고 있는 문제는 주어진 다각형 모델에 대해 자동으로 여러 단계의 모델을 생성하는 것과, 연속적인 영상을 렌더링 하면서 세부 표현 단계가 변하는 경우 자연스럽게 단계가 전환되도록 하는 것이다[21, 29, 30].

LOD와 더불어, 효과적으로 이용할 수 있는 실시간 렌더링 기법으로 텍스처 매핑을 이용한 방법이 있다. 텍스처 매핑을 이용하면 단순한 구조의 다각형 모델에 복잡한 무늬를 입힘으로써 모델의 사실감을 증대시킬 수 있다. 이때 텍스처 매핑에 사용되는 이미지는 복잡한 다각형 모델 또는 실제 인간의 사진 등으로부터 얻는다. 이러한 텍스처 매핑 기법은 주로 가상 인물의 얼굴에 실제 인간의 얼굴 사진을 입힘으로써 사실감을 높이는 경우에 많이 사용되고 있다[42].

3. 몸 동작 제어 기술

가상 인물의 몸 동작 제어 기술은 로보틱스에서 연구되어 온 관절체의 동작 제어 기술을 응용하는 것으로부터 시작되었으나, 그 후 인간의 자연스러운 동작을 재현하기 위해 다양한 기술들이 개발되었다. 본 절에서는 가상 인물의 몸 동작을 분류하고, 이러한 동작들을 제어하기 위한 기술들을 설명한다.

가상 인물의 몸 동작은 자세 전환, 이동 동작, 팔 동작 등 동작의 특성과 동작 부위에 따라서 몇 가지로 분류할 수 있다. 자세 전환 동작은 서기, 앉기, 엎드리기, 눕기 등 다양한 자세를 취하기 위한 동작이다. 현재 취하고 있는 자세에서 원하는 자세로 전환하기 위한 동작을 자동으로 생성해 내기 위한 기술이 연구되고 있다[3, 25]. 다리 동작의 대부분을 차지하는 이동 동작은 걷거나 뛰는 등의 방법으로 목적지로 이동하는 동작이다. 보다 다양하고 자연스러운 걸음걸이를 생성하고자 많은 기술들이 개발되어 왔다[9, 11, 36, 37]. 팔 동작은 대화의 보조 수단으로, 또는 가상 공간의 물체를 다루기 위해 사용된다. 특히, 물체를 집거나 조작하는 등 물체를 다루는 동작이 주된 연구 대상이다[38, 43]. 이와 같이 분류된 가상 인물의 몸 동작을 효과적으로 제어하기 위해 키프레임 애니메이션, 운동학, 역운동학, 동력학, 역동력학, 동작 포착 등을 사용한다.

키프레임 애니메이션 기술은 가장 일반적인 애니메이션 제작 기술 중 하나로, 가상 인물의 동작 제어뿐만 아니라 컴퓨터를 이용한 대부분의 애니메이션 제작에 활용되고 있다[73]. 중요한 순간들의 동작 상태를 차례

로 지정하면, 그 사이의 동작을 자동으로 삽입한다. 이때 키프레임은 애니메이션 제작자가 수동으로 지정하거나 다른 동작 제어 기술을 통해 자동으로 생성한다. 키프레임 애니메이션 기술은 애니메이션의 각 프레임마다 조금씩 변하는 동작 상태를 일일이 지정해 줄 필요가 없고, 실시간 시스템에서 응용할 수 있을 정도로 빠르다. 자세 전환 동작의 경우 가상 인물이 취할 수 있는 자세들과 주요한 중간 동작들을 미리 정해 놓고 키프레임 애니메이션을 통해서 각 자세들 사이를 실시간으로 보간하는 방법이 개발되었다[3, 25].

가상 인물과 같은 복잡한 관절체 구조의 동작을 제어할 때에는 골격을 따로따로 취급하는 것보다 관절로 이어진다는 성질을 이용하는 것이 보다 효과적이다. 운동학은 관절체의 동작을 제어하기 위한 기본적인 기술로, 각 관절의 회전량을 지정함으로써 관절체의 움직임을 정의하는 방법이다[73]. 운동학을 이용하면 키프레임을 지정할 때 가상 인물의 동작 상태를 각 관절의 회전량으로 지정할 수 있다. 운동학에 기반한 보간법으로 각 관절의 연결 상태가 유지되는 가상 인물의 몸 동작을 생성할 수 있다. 이동 동작의 경우 일반인이 걸을 때의 평균적인 다리 관절 회전량 자료와 운동학을 이용해서 걸음걸이를 재현하는 방법으로 동작을 생성하기도 한다[9].

그러나, 일반적으로 관절체의 동작을 제어할 때 관심성이 있는 부분은 각 관절에서의 회전량보다는 관절의 말단 부분, 즉 가상 인물의 경우 손이나 발 등의 위치와 방향인 경우가 많다. 역운동학은 사용자가 관절의 말단 부분의 위치와 방향을 지정하면 그에 맞는 각 관절의 회전량을 역으로 계산한다[73]. 이 기술은 사용자가 손과 발의 위치를 직관적으로 제어할 수 있다는 장점 때문에 널리 쓰인다. 키프레임 애니메이션에서도 발의 위치를 땅에 고정시키거나 손을 특정 물체에 접근시키는 경우 등에 있어서 이 기술을 이용하여 각 프레임을 보간한다. 물체를 조작하는 팔 동작의 경우 원하는 위치와 방향에서 물체를 다루기 위해 역운동학을 이용하는 경우가 많다[38]. 역운동학은 팔, 다리 등의 신체 부분에 대하여 빠른 시간에 계산될 수 있기 때문에 실시간 동작 제어 시스템에서 필수적으로 사용되고 있다[3].

운동학과 역운동학은 가상 인물의 움직임을 나타냄에 있어서 기하학적인 모양만 고려할 뿐, 역학적인 힘의 관계를 설명하지 못한다. 따라서 물리학적으로 이치에 맞는 자연스러운 동작을 생성하는 데에는 무리가 있다. 동력학은 이를 극복하기 위한 방법으로, 이를 이용하면 각 관절에 작용한 토크에 의한 관절체의 동작이 시뮬레이션을 통해 사실적으로 생성될 수 있다. 물건을 들어올리는 팔 동작의 경우 물건의 무게에 따라

집어 올리는 동작이 다르게 생성되도록 동력학적인 방법을 이용하기도 한다[43].

그러나 동력학 또한 운동학과 마찬가지로 각 관절에서의 토크를 사용자가 일일이 지정해 주어야 하므로 효과적인 제어 방법이 되지 못한다. 먼저 원하는 동작을 다른 동작 제어 방법으로 만들고 각 관절에서 작용하는 토크를 역산해 내는 기술을 역동력학이라 한다. 이 결과는 다시 동력학 시뮬레이션을 통하여 사실적인 동작을 재현하거나[28], 시뮬레이션 없이 균형 제어 등과 같은 다른 동작 제어에 이용된다[37].

동력학이나 역동력학의 경우 계산 시간이 많이 걸리는 시뮬레이션 과정을 거치는 방법이 대부분이므로 실시간 시스템 보다는 사실적인 동작이 필요한 오프라인 애니메이션 제작에 많이 이용되고 있다. 실시간 시스템에서 역학적인 면을 고려하고자 하는 경우에는 역동력학으로 구한 토크 값들을 가공하여 역운동학 등과 같은 다른 실시간 기술에 직접 적용한다.

그러나, 위와 같은 동작 제어 방법의 가장 큰 문제는 인간이 움직이는 것과 같이 자연스러운 동작을 생성하기가 매우 어렵고, 사용자가 원하는 다양한 동작을 실시간에 생성하기 어렵다는 점이다. 자연스러운 동작이 될 때까지 사용자가 수동으로 키프레임을 지정하거나 평균적인 통계 자료를 분석하여 동작을 생성해야 하기 때문에 사실적인 동작을 얻기 위해서는 많은 비용이 소모된다. 그리고, 이렇게 얻은 동작은 비슷한 다른 동작으로 변형할 수는 있지만 전혀 다른 새로운 동작을 원하는 경우에는 다시 작업을 해야 한다.

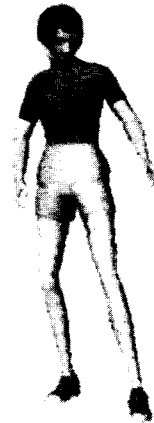


그림 3. 동작 포착에 의한 동작의 한 장면

따라서, 근래에는 실제 인간이 모델이 되어 동작을 행하면 그 동작을 실시간에 가상 인물에 적용할 수 있는 동작 포착 기술이 주목을 받고 있다. 이 방법은 실제 인간이 움직이는 모습을 일반 카메라, 적외선 카메라

라, 자기적 센서 등으로 읽어 들여 삼차원적인 동작 자료를 구성하는 것이다. 포착된 동작 자료는 포착 장비와 주위 환경에 의한 잡음이 제거되고[40], 가상 인물의 신체 치수, 사용자의 요구 등에 맞게 변형되거나 일 반화된다[12, 36, 76]. 그 후 다른 동작과 자연스럽게 연결시킴으로써 자연스럽게 연속적인 동작이 빠르게 생성된다[62].

4. 표정 생성 기술

표정 생성 기술은 얼굴의 기하학적 모델을 변형하여 가상 인물이 표정을 짓는 것처럼 보이게 하는 기술로서 표정 분류에 기반하여 주어진 감정 상태의 표정을 생성하는 기법, 말이나 문장에 기반하여 입술 동작을 생성하는 립 싱크 및 말하기 기법, 실제 연기자의 얼굴로부터 표정과 입 모양을 포착하여 얼굴 동작을 생성하기 위한 표정 포착 등이 있다.

심리학자인 Ekman과 Friesen은 얼굴의 움직임에 대한 해부학적 분석을 통해 FACS를 개발 하였다[18]. 이들은 얼굴의 표정을 변화 시킬 수 있는 근육의 조합이나 단일 근육을 하나의 AU으로 정의하였으며 총 46개의 AU을 정의하였다. 또한 사람이 가지는 기본적인 감정을 크게 6가지로 구분하여 정의하고 이에 따른 표정 생성을 위한 AU의 조합 및 변화를 정의하였다. FACS에서 정의한 6가지 기본 감정은 행복, 슬픔, 노여움, 놀람, 두려움, 혐오이다. FACS에서 정의한 정보는 컴퓨터를 이용한 표정 생성 시스템 개발에 많은 경험적 지식을 제공하였으며 얼굴의 기하학적 모델을 변형하기 위한 제어 모델에 감정 상태에 기반한 입력을 제공한다.

사람들은 말을 듣고 이해하는데 있어서 시각과 청각으로부터 얻어진 두 가지 형태의 정보에 익숙하다. 따라서, 가상 인물이 말을 할 때 음성 뿐만 아니라 입 모양도 실제 사람과 유사하게 할 필요가 있다. 만화 영화의 제작에 있어서는 등장 인물의 입 모양을 음성과 동기화 시키기 위한 방법들로서 실제 배우가 말하는 것을 비디오로 녹화하여 매 프레임 별로 실제 배우의 입 모양을 따내고 이를 참조하여 등장 인물의 입 모양을 그리는 방법과, 각 발음에 대한 입 모양과 표정들을 미리 사전 형식으로 저장한 다음 사전에서 필요한 입 모양과 표정을 참조하여 등장 인물의 입 모양을 그리는 방법이 있다[44]. 이러한 방법들을 가상인물의 입술 모양을 변형하는데 응용한 것들이 표정 포착과 립 싱크 및 말하기 기법이다.

립 싱크는 주어진 음성과 일치하는 입술 모양을 생성하는 기법이다. 단순하게 턱의 회전각과 음량을 읽게

치 이내에서 비례하게 하면 입 모양과 발음이 일치하지 않는 어색한 입술 동작이 생성된다[44]. 실제 사람에 보다 흡사한 입 모양을 생성하기 위해 음성으로부터 포먼트 정보를 추출하여 음성을 구성하는 발음을 분석하고 이를 이용하여 입 모양을 생성하는 방법이 제시되었다[45]. 이때 포먼트 정보로부터 적절한 입 모양을 만들기 위해 선형 예측이나 벡터 양자화, 신경 회로망 등을 이용한다[45, 48, 49].

또한, 가상 인물의 입술을 애니메이션 하기 위해 음성 대신 문장을 사용할 수도 있다. 가능한 모든 발음에 대한 입 모양을 미리 사전에 보관한 다음 사용자가 입력한 문장으로부터 발음 정보를 추출하여 입 모양을 생성한다[27]. 입 모양 뿐 아니라 혀의 움직임까지 고려한 보다 사실적인 입술 애니메이션도 작성되었다[57]. 감정 상태, 문장, 발음 등을 이용하여 표정을 제어하는 방법들은 주어진 입력과 얼굴 모델간의 상관 관계를 정의하는데 어려움이 있고, 간접적인 제어 방식으로 인해 직관적인 얼굴 동작을 생성하지 못하는 단점이 있다.

최근에 들어서는 이러한 어려움을 극복하기 위해 실제 연기자의 얼굴로부터 눈, 코, 입, 등의 특징 형상들을 포착하거나 표정의 매개 변수를 추출하여 얼굴 모델을 변형하는 방법들이 제안되었다.

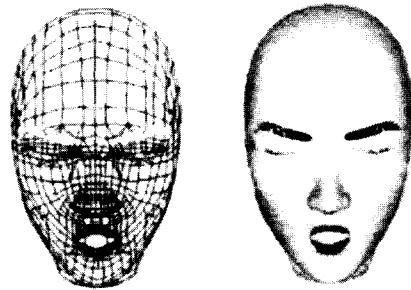


그림 4. 표정 포착에 의한 표정 생성의 결과

표정 포착은 크게 특정 표시(landmark)를 한 얼굴의 이미지로부터 표정을 인식하는 방법과 아무런 표시도 하지 않은 얼굴의 이미지로부터 표정을 인식하는 방법들로 나뉜다. 특정 표시 없이 표정을 인식하는 방법들은 외곽선 검출, 블럽(blob), 확률 데이터를 사용하여 특징 형상들을 추출하는 방법들과 고유 얼굴(eigenface), 이미지 템플릿(template) 비교, 옵티컬 플로우(optical flow)를 사용하여 표정의 매개변수를 추출하는 방법들이 제시되었다[6, 19, 20, 55, 67, 71]. 이들 대부분은 머리가 심하게 움직이지 않을 경우에만 올바르게 동작하며, 외곽선 추출에 기반한 방법 이외의 것들은 표정을 포

착하기 전에 충분한 훈련을 필요로 한다. 근래에는 머리가 심하게 움직이는 경우에도 표정을 정확히 포착할 수 있는 방법들이 연구되고 있다.

5. 상호 작용

사실적인 애니메이션을 제작하기 위해서는 가상 인물과 주변 물체들 간의 상호 작용을 고려해야 한다. 특히, 가상 인물과 주변 물체들간의 충돌을 방지하기 위한 충돌 검사 및 충돌 회피 등의 상호 작용은 영상의 사실성을 향상 시키는데 있어서 대단히 중요하다. 또한, 사용자의 간섭 없이 주변 환경과 상황에 능동적으로 대처하는 능동적 가상 인물(autonomous virtual human)에 있어서는 충돌 방지 이외에 보다 복잡한 형태의 상호 작용이 요구된다.

물체들 간의 충돌 검사는 정지한 물체들 간의 충돌 검사와 움직이는 물체들 간의 충돌 검사로 나누어 살펴 볼 수 있다. 먼저, 정지한 두 다면체들간의 충돌을 효율적으로 검사하기 위한 시도로서 계층적 경계구(hierarchical bounding sphere)와 방향성 경계상자(oriented bounding box)를 사용한 방법들이 제시되었고[24, 31, 32], 옥트리(octree) 및 계층적 경계상자(hierarchical bounding box)를 이용하여 여러 다면체들 간의 충돌을 효율적으로 검사하는 방법들도 제시되었다[47, 56, 74]. 이들은 각 다면체 또는 전체 다면체들을 계층적으로 표현함으로써 교차 검사 횟수를 줄인다. 움직이는 물체들 사이의 충돌 검사는 물체의 궤적이 미리 알려져 있는 경우에 궤적에 관한 식을 세우고 궤적의 교차점을 구하여 충돌점을 찾는다[5, 10, 13, 14, 35]. 궤적을 모를 경우 정해진 시간 간격마다 정지한 물체들의 교차 여부를 판단하는 방법들이 제시되었다[22, 23, 33]. 궤적에 관한 식을 이용하여 해를 구하기 위해서는 많은 계산 시간이 요구되는 반면, 정밀한 충돌점을 찾을 수 있는 장점이 있다. 가상 인물과 주변 물체들 간의 충돌을 방지하기 위해서는 충돌 회피를 통해 긴박한 충돌을 피하거나 동작 계획에 의해 시작 위치에서 목표 위치로 이동하는 충돌 없는 동작을 생성할 수 있다. 충돌 회피가 주변 장애물들만을 살피는데 반하여 동작 계획은 전체 장애물들을 고려한다. 따라서 동작 계획은 충돌 회피에 비하여 상대적으로 복잡하고 많은 계산 시간을 요구한다. 충돌 회피 방법으로는 장애물로부터의 가상적 인 척력(repulsive force)에 의해 가상 인물과 장애물들과의 충돌을 방지하는 전위장(potential field) 기반의 충돌 회피와, 가상 시각(virtual vision)을 통해 주변 물체들과의 긴박한 충돌을 인식하고 이를 피하기 위한 휴리스틱을 적용하는 가상 시각(virtual vision) 기반의 충돌 회

피가 널리 사용된다. 전위장 기반의 충돌 회피는 가상 인물의 실시간 경로 계획에 사용되었으며[58], 충돌 없는 자세의 보간에도 활용되었다[3]. 가상 시각에 기반한 충돌 회피는 복도로 이루어진 건물 내부와 같은 제한된 환경에서 가상 인물의 극지적 내비게이션(local navigation)에 적용되었으며[59], 새나 물고기 등의 행위 기반 애니메이션에서도 이용되었다[60, 61, 70].

로보틱스 및 계산 기하학 분야에서 다관절체의 충돌 없는 동작을 계획하기 위한 일반적인 알고리즘들이 제시 되었지만, 이들은 자유도가 증가하면 계산 시간이 기하급수적으로 증가하기 때문에 가상 인물의 일반적인 동작 계획에 부적합하다[39]. 다관절체의 자유도를 한꺼번에 고려하는 대신 인체의 특성을 감안한 C-공간 그룹(configuration space group)을 적응적으로 사용하여 대부분의 경우에 가상 인물의 동작을 빠른 시간에 계획하는 방법이 제안되었다[17, 4]. 또한, 전위장 기법 고유의 극소값 문제를 확률론적 접근 방법으로 해결하여 사실적인 팔 동작을 생성할 수 있었다[38]. 충돌 없는 보행 경로를 계획하기 위해서 가상 인물이 이동하는 이차원 평면을 균일하게 분할한 후 A*탐색 기법을 적용하거나 전위장 기반의 경로 계획 기법을 사용한 연구가 있었다[51, 58].

Reynolds가 새 떼나 소 떼와 같이 무리 지어 움직이는 동물들의 애니메이션을 자동으로 생성하기 위해 행위 기반 애니메이션을 도입했다[60]. 애니메이터가 시나리오의 세세한 면까지 전부 고안해야 하는 불편함을 덜어주고, 실시간 대화형 게임의 사용자가 실제 사람과 게임을 하고 있는 듯한 착각을 주기 위하여, 사용자의 간섭 없이 능동적으로 대처하는 능동적 가상 인물에 대한 연구가 활발히 진행 되고 있다. 능동적 가상 인물은 시시각각 변하는 복잡한 환경에서 주변 물체나 다른 가상 인물들을 지각하고 자신이 취할 행동을 결정하여 이들과 상호 작용할 수 있어야 한다. 능동적 가상 인물이 주변 환경을 지각하게 하기 위하여 특화된 감지기(specialized sensor)나 가상 감각(virtual sensor) 등이 제시 되었다[7, 51, 53, 59, 66]. 개인, 집단, 종족 등의 행동 양식에 따른 동작을 결정하기 위해 이들을 기술하고 관리하여 기본적인 동작에 의해 만족될 수 있는 세부 목표들을 세우는 연구들이 있었다[7, 8, 52, 54].

6. 결론 및 향후 방향

지금까지 가상 인물의 정의, 응용 분야, 성공 사례, 관련 기술의 동향을 소개하였다. 컴퓨터 그래픽스에 관계된 사람들에게 “디지털 드림(digital dream)”의 하나로 여겨져 왔던 가상 인물이 이제는 게임의 주인공으로,

영화의 스타트맨으로, 십대들의 스타로 우리에게 친숙해져 가고 있다. 미래에는 더욱 많은 가상 인물들이 훨씬 다양한 모습으로 우리에게 다가올 것이다. 가상 인물이 앞으로 어떤 모습으로 성장해 나갈지를 예상해보면 사실감과 실시간성의 두 가지 줄기를 생각할 수 있다.

현재의 컴퓨터 그래픽스 기술은 상상 속의 공룡이나 현존하는 각종 동물들을 가상으로 제작하여 “쥐라기 공원”이나 “쥬만지” 등과 같이 영화에 비중 있게 등장시킬 수 있지만, 실제 사람과 똑같은 가상 인물이 배우 대신 영화의 처음부터 끝까지 등장하도록 할 수는 없다. 앞으로 보다 정교한 모델링과 사실적인 렌더링 기술 및 동작 제어 기술을 통해 가상 인물의 사실감이 증대되면 실사와 구분하기 힘든 가상 인물 등장 영화가 제작될 수 있을 것이다.

컴퓨터의 계산 속도가 증가하고 실시간 컴퓨터 그래픽스 기술이 발전함에 따라서, 현재는 제한적인 가상 인물의 실시간 응용이 다양한 매체로 확산될 것이다. 예를 들면 사이버 스타들이 TV 생방송에 출연해서 다른 사람들과 함께 프로그램을 진행한다면, 현실과 구분할 수 없을 정도로 정교한 가상현실 시스템에서 다른 가상 인물들과 접촉하고 같이 작업을 하는 것이 가능해질 것이다.

사실감과 실시간성이 확보되면 가상 인물들은 더 이상 가상이 아닌, 실제보다 더 실감나는 등장 인물로서 많은 분야에 큰 영향을 끼칠 것이다. 가상 인물들이 더 이상 실제 인간과 구별할 수 없을 정도로 인간다워질 때를 기대해 본다.

참 고 문 헌

- [1] T. Akimoto, Y. Suenaga, and R. Wallace. Automatic creation of 3D facial models. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 13(5):167-22, 1993.
- [2] N. I. Badler. Graphical behaviors and animated agents. In *Advanced Techniques in Human Modeling, Animation, and Rendering (SIGGRAPH '92 Course Notes #17)*, 1992.
- [3] N. I. Badler, R. Bindiganavale, J. P. Granieri, Susanna Wei, and Xinmin Zhao. Posture interpolation with collision avoidance. In *Proc. Computer Animation '94*, pages 137-20, 1994.
- [4] N. I. Badler, C. B. Phillips, and B. L. Webber. *Simulating Humans*. Oxford University Press, 1993.
- [5] D. A. Barford. Fast detection of collision between moving bodies. In *Proc. SIAM Conf. Geometric Design*, 1989.
- [6] S. Basu, N. Oliver, and A. Pentland. 3D modeling and tracking of human lip motions. 1998.
- [7] W. Becket and N. I. Badler. Integrated behavioral agent architecture. In *Proc. Workshop on Computer Generated Forces and Behavior Representation*, pages 577-68, 1993.
- [8] B. M. Blumberg and T. A. Galyean. Multi-level direction of autonomous creatures for real-time virtual environments. In *Proc. SIGGRAPH '95*, pages 477-54, 1995.
- [9] R. Boulic, N. M. Thalmann, and D. Thalmann. A global human walking model with real-time kinematic personification. *The Visual Computer*, 6(6):344-358, 1990.
- [10] J. W. Boyse. Interference detection among solids and surfaces. *Comm. ACM*, 22(1):379, 1979.
- [11] A. Bruderlin and T. W. Calvert. Goal-directed, dynamic animation of human walking. In *Proc. SIGGRAPH '89*, pages 233-242, 1989.
- [12] A. Bruderlin and L. Williams. Motion signal processing. In *Proc. SIGGRAPH '95*, pages 97-104, 1995.
- [13] S. Camerson. A study of the clash detection problem in robotics. In *Proc. IEEE Intern. Conf. Robotics and Automation*, pages 488-493, 1985.
- [14] J. Canny. Collision detection for moving polyhedra. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, PAMI-8(2)*:200-209, 1986.
- [15] J. E. Chadwick, D. R. Haumann, and R. E. Parent. Layered construction for deformable animated characters. In *Proc. SIGGRAPH '89*, pages 243-252, 1989.
- [16] D. T. Chen and D. Zeltzer. Pump it up: Computer animation of a biomechanically based model of muscle using the finite element method. In *Proc. SIGGRAPH '92*, pages 89-98, 1992.
- [17] W. Ching and N. I. Badler. Fast motion planning for anthropometric figures with many degrees of freedom. In *Proc. Intern. Conf. Robotics and Automation*, 2340-2345, 1993.
- [18] P. Ekman and W. V. Friesen. *Manual for the Facial Action Coding System*. Consulting Psychologists Press, 1977.
- [19] I. Essa, S. Basu, T. Darrell, and A. Pentland. Modeling, tracking and interactive animation of faces and heads using input from video. In *Proc. Computer Animation '96*, pages 68-79, 1996.
- [20] I. Essa and A. Pentland. Facial expression recognition using a dynamic model and motion energy. In *Proc. ICCV '95*, 1995.
- [21] M. Garland and P. S. Heckbert. Surface simplification using quadric error metrics. In *Proc. SIGGRAPH '97*, pages 209-216, 1997.
- [22] E. G. Gilbert and C. P. Foo. Computing the distance between smooth objects in three-dimensional space. In *Proc. IEEE Intern. Conf. Robotics and Automation*, pages 158-163, 1990.
- [23] E. G. Gilbert, D. W. Johnson, and S. S. Keerthi. A fast procedure for computing the distance between complex objects in three-dimensional space. *IEEE Trans. Robotics and Automation*, 4(2):193-203, 1988.
- [24] S. Gottschalk, M. C. Lin, and D. Manocha. Obbtrees: A hierarchical structure for rapid interference detection. In *Proc. SIGGRAPH '96*, pages 171-180, 1996.

- [25] J. P. Granieri, J. Crabtree, and N. I. Badler. Production and playback of human figure motion for 3D virtual environments. In Proc. Virtual Reality Annual International Symposium '95, pages 369?394, Addison-Wesley, 1992.
- [26] M. Henne. A constraint-based skin model for human figure animation. Master's thesis, University of California, 1990.
- [27] D. R. Hill, A. Pearce, and B. Wyvill. Animating speech: an automated approach using speech synthesis by rules. *The Visual Computer*, 3(5): 277?289, 1988.
- [28] J. K. Hodgins, W. L. Wooten, D. C. Brogan, and J. F. O' Brien. Animating human athletics. In Proc. SIGGRAPH '95, pages 71?78, 1995.
- [29] H. Hoppe. Progressive meshes. In Proc. SIGGRAPH '96, pages 99?106, 1996.
- [30] H. Hoppe. View-dependent refinement of progressive mesh. In Proc. SIGGRAPH '97, pages 189?198, 1997.
- [31] P. M. Hubbard. Collision detection for interactive graphics applications. *IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics*, 1(3):218?230, 1995.
- [32] P. M. Hubbard. Approximating polyhedra with spheres for time-critical collision detection. *ACM Trans. Graphics*, 15(3):179?210, 1996.
- [33] G. Hurteau and N. F. Stewart. Distance calculation for imminent collision indication in a robot system simulation. *Robotica*, 6:47?51, 1988.
- [34] P. Kalra, A. Mangili, N. M. Thalmann, and D. Thalmann. Simulation of facial muscle actions based on rational free form deformations. *Eurographics '92*, pages 59?69, 1992.
- [35] S. Kawabe, A. K. Okano, and K. Shima. Collision detection among moving objects in simulation. In Proc. 4th Intern. Symp. Robotics Research, pages 489?496, 1988.
- [36] H. Ko and N. I. Badler. Straight line walking animation based on kinematic generalization that preserves the original characteristics. In Proc. Graphics Interface '93, pages 9?16, 1993.
- [37] H. Ko and N. I. Badler. Animating human locomotion with inverse dynamics. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 16(2):50?59, 1996.
- [38] Y. Koga, K. Kondo, J. Kuffner, and J-C. Latombe. Planning motions with intensions. In Proc. SIGGRAPH '94, pages 395?408, 1994.
- [39] J.-C. Latombe. *Robot Motion Planning*. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [40] J. Lee and S. Y. Shin. Motion fairing. In Proc. Computer Animation '96, pages 136?143, 1996.
- [41] Y. C. Lee, D. Terzopoulos, and K. Waters. Constructing physics-based facial models of individuals. In Proc. Graphics Interface '93, pages 1?8, 1993.
- [42] Y. Lee, D. Terzopoulos, and K. Waters. Realistic modeling for facial animation. In Proc. SIGGRAPH '95, pages 55?62.
- [43] P. Lee, S. Wei, J. Zhao, and N. I. Badler. Strength guided motion. In Proc. SIGGRAPH '90, pages 253?262, 1990.
- [44] J. P. Lewis. Automated lip-synch: Background and techniques. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, 2:118?122, 1991.
- [45] J. P. Lewis and F. I. Parke. Automated lip-synch and speech synthesis for character animation. In Proc. Human Factors in Computing Systems and Graphics Interface, pages 143?147, 1987.
- [46] G. Monheit and N. I. Badler. A kinematic model of the human spine and torso. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 11(2):29?38, 1991.
- [47] M. Moore and J. Wilhelms. Collision detection and response for computer animation. In Proc. SIGGRAPH '88, pages 289?298, 1988.
- [48] S. Morishima. A media conversion from speech to facial image for intelligent man-machine interface. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*, 9(4):594?600, 1991.
- [49] S. Morishima and H. Harashima. Facial expression synthesis based on natural voice for virtual face to face communication with machine. In *IEEE Virtual Reality Annual Intern. Symp. '93*, pages 102?109, 1993.
- [50] M. Nahas, H. Huitric, and M. Saintourens. Animation of a B-spline figure. *The Visual Computer*, 3(5):272?276, 1988.
- [51] H. Noser, O. Renault, D. Thalmann, and M. N. Thalmann. Navigation for digital actors based on synthetic vision, memory and learning. *Computers and Graphics*, 19(1):7?19, 1995.
- [52] H. Noser and D. Thalmann. L-system-based behavioral animation. In Proc. Pacific Graphics '93, pages 133?146, 1993.
- [53] H. Noser and D. Thalmann. Synthetic vision and audition for digital actors. In Proc. Eurographics '95, pages 325?336, 1995.
- [54] H. Noser and D. Thalmann. The animation of autonomous actors based on production rules. In Proc. Computer Animation '96, 1996.
- [55] N. Oliver, S. Pentland, F. Berard, and J. Coutaz. LAFTER: Lips and face tracker. In Proc. Computer Vision and Pattern Recognition, 1997.
- [56] J. O'Rourke and N. Badler. Decomposition of three-dimensional objects into spheres. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-1(3):295?305, 1979.
- [57] C. Pelachaud and C. Seah. Modeling and animating the human tongue during speech. In Proc. Computer Animation '94, 1994.
- [58] B. Reich, H. Ko, W. Becket, and N. I. Badler. Terrain reasoning for human locomotion. In Proc. Computer Animation '94, 1994.
- [59] O. Renault, M.N. Thalmann, and D. Thalmann. A vision-based approach to behavioral animation. *The Journal of Visualization and Computer Animation*, 1(1):18?21, 1990.
- [60] C. W. Reynolds. Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. In Proc. SIGGRAPH '87,

- pages 25?34, 1987.
- [61] C. W. Reynolds. An evolved vision-based behavioral model of coordinated group motion. In Proc. 2nd Intern. Conf. Simulation of Adaptive Behavior, pages 384?392, 1993.
- [62] C. Rose, B. Guenter, B. Bodenheimer, and M. F. Cohen. Efficient generation of motion transitions using spacetime constraints. In Proc. SIGGRAPH '96, pages 147?154, 1996.
- [63] F. Scheepers, R. E. Parent, W. E. Carlson, and S. F. May. Anatomy-based modeling of the human musculature. In Proc. SIGGRAPH '97, pages 163?172, 1997.
- [64] F. Scheepers, R. E. Parent, S. F. May, and W. E. Carlson. A procedural approach to modeling and animating the skeletal support of the upper limb. Tech. Rep. OSU-ACCAD-1/96-TR1, ACCAD, The Ohio State University, 1996.
- [65] K. Singh. Realistic Human Figure Synthesis and Animation for VR Applications. PhD thesis, The Ohio State University, 1995.
- [66] D. Thalmann, H. Noser, and Z. Huang. Autonomous virtual actors based on virtual sensors. In Artificial Life for Graphics, Animation, Multimedia, and Virtual Reality (SIGGRAPH '96 Course Notes #36), 1996.
- [67] N. M. Thalmann, I. Pandzic, and P. Kalra. Interactive facial animation and communication, In Tutorial of Computer Graphics International '96, pages?, 1996.
- [68] N. M. Thalmann and D. Thalmann. Complex models for animating synthetic actors. IEEE Computer Graphics and Applications, 11(5):32?44, 1991.
- [69] N. M. Thalmann and D. Thalmann. Environment-independent deformations and JLD operators. In Advanced Techniques in Human Modeling, Animation, and Rendering (SIGGRAPH '92 Course Notes #17), 1992.
- [70] X. Tu and D. Terzopoulos. Artificial fishes: Physics, locomotion, perception, behavior. In Proc. SIGGRAPH '94, pages 42?48, 1994.
- [71] M. Turck and A. Pentland. Eigenfaces for recognition. The Journal of Cognitive Neuroscience, 3(1), 1991.
- [72] K. Waters. A muscle model for animating three-dimensional facial expression. In Proc. SIGGRAPH '87, pages 17?24, 1987.
- [73] A. Watt and M. Watt. Advanced Animation and Rendering Techniques: Theory and Practice, chapter 15, 16, pages 339?394. Addison-Wesley, 1992.
- [74] R. Webb and M. Gigante. Using dynamic bounding volume hierarchies to improve efficiency of rigid body simulation. In Proc. CGI '92 (Visual Computing), pages 825?842, 1992.
- [75] J. Wilhelms and A. Van Gelder. Anatomically based modeling. In Proc. SIGGRAPH '97, pages 173?180, 1997.
- [76] A. Witkin and Z. Popovic. Motion warping. In Proc. SIGGRAPH '95, pages 105?108, 1995.

필자소개



최민규

- 1996년 2월 한국과학기술원 전산학과 학사
- 1998년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1998년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전산학과 박사과정 재학중
- 주관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 계산 기하학



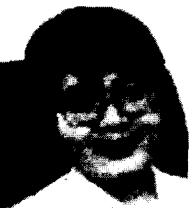
권범준

- 1994년 2월 한국과학기술원 전산학과 학사
- 1996년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1996년 3월 ~ 현재 한국과학기술원 전산학과 박사과정 재학중
- 주관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 계산 기하학



조문재

- 1975년 2월 서울대학교 전자공학과 졸업
- 1975년 3월 금성전기 연구원
- 1977년 3월 전자통신연구소 전임연구원
- 1981년 6월 ~ 현재 한국방송공사 기술연구소 책임연구원
- 주관심분야: 멀티미디어 방송제작, 영상정보 처리



신성용

- 1970년 2월 한양대학교 산업공학과 학사
- 1983년 12월 Industrial and Operations Engineering, Uni. of Michigan 석사
- 1986년 12월 Industrial and Operations Engineering, Uni. of Michigan 박사
- 1987년 ~ 1990년 한국과학기술원 전산학과 조교수
- 1991년 ~ 1996년 한국과학기술원 전산학과 부교수
- 1997년 ~ 현재 한국과학기술원 전산학과 교수
- 주관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 계산 기하학