

## 3차원 캐릭터 애니메이션 기술 동향

한국전자통신연구원 김웅순·김영수

### 1. 서 론

3차원 캐릭터 애니메이션의 기술 동향은 일반적인 3차원 컴퓨터 그래픽 애니메이션의 기술 동향과 그 맥을 같이 한다. 3차원 컴퓨터 그래픽 애니메이션에 있어서는 캐릭터 역시 애니메이션에 등장하는 다른 물체와 다를 것이 없는 하나의 대상체이므로, 기본적으로는 동일한 기술이 사용되는 것이다. 그러나 캐릭터 애니메이션은 생명체를 표현하기 위한 수단이므로, 다른 일반 물체의 애니메이션과는 다른 분야의 지식 및 기술이 추가적으로 필요하게 된다.

일반적인 컴퓨터 그래픽 애니메이션 기술의 기준에 따라 캐릭터 애니메이션 기술을 분류해 본다면, 우선 전통적인 셀 애니메이션 기법과 같이 움직임의 중요 장면(키프레임, keyframe)들을 수작업에 의해 생성하고 이들 사이의 중간 장면들을 채우는 방식으로 제작되는 키프레임 애니메이션과, 물리 법칙 등 일련의 규칙들에 의해 대상체의 움직임을 자동적 또는 반자동적으로 생성하는 동작 제어(motion control) 기술에 의한 애니메이션 등으로 나눌 수 있다. 여기에 캐릭터 애니메이션에 사용되는 특수한 기술로 모션 캡처(motion capture) 기술을 추가할 수 있는데, 이는 3차원 공간상에서의 실제 배우의 움직임을 직접 기록할 수 있는 장비를 사용하여 캐릭터의 움직임을 생성하는 것이다. 물론 이와 같은 구분은 절대적인 것은 아니며, 최근에는 각 방법들의 장점을 취하고자 하는 새로운 시도들도 다양하게 이루어지고 있다.

한편, 캐릭터 애니메이션 기술 중에서도 얼굴 부분의 애니메이션 기술은 특수한 분야로 종종 분류되고는 하는데, 이것은 감정을 나타내는 표정과 대화할 때의 입술 모양 애니메이션 등을 포함하는 얼굴 애니메이션 기술이 기타 신체 부분의 애니메이션과는 다른 각도의 접근을 필요로 하기 때문이다. 특히 3차원 캐릭터 애니메이션에서 얼굴 부분의 애니메이션은 3차원 공간상의 복잡한 물체에 대한 부분 변형 등 까다로운 부분이 많고 미세한 부분까지 신경쓰지 않으면 안되는 등 기술적인 난이도가 높아서, 현재까지는 완성된 연구 결과가 드물고 다양한 시도가 이루어지고 있는 단계이다. 이러한 이유로 3차원 캐릭터 애니메이션 기술을 크게 표정 및 입술 움직임 등을 표현하는 얼굴 애니메이션 기술, 그리고 팔과 다리 등 여러 관절 부위로 이루어진 전신의 자세를 제어하여 동작을 표현하는 다관절체 애니메이션 기술의 두 분야로 나누기도 한다.

이 글에서는 이러한 기준에 따라 컴퓨터 그래픽에 의한 3차원 캐릭터 애니메이션 기술의 동향을 알아보고자 한다. 우선 제2장에서는 키프레임 애니메이션에 대해, 그리고 제3장에서는 동작 제어 기술에 의한 애니메이션에 대해 알아보고, 제4장에서는 모션 캡처 기술에 대해 알아본다. 그리고 제5장에서는 얼굴 애니메이션 기술에 대해 별도로 알아보도록 한다.

### 2. 키프레임 애니메이션 기술

키프레임 애니메이션(keyframe animation)은 전통적인 애니메이션 제작 방식인 셀 애니

메이션 기법과 유사한 방법으로 기본적인 제작 과정은 다음과 같다. 먼저 대상체의 움직임 중 중요한 단계의 장면(frame)을 숙련된 키프레임 애니메이터가 설정한다. 영화 및 만화영화의 경우는 1초의 영상을 만드는 데 총 24개의 프레임, TV나 비디오물의 경우는 30개의 프레임이 소요되는데, 이중 키프레임으로 사용될 프레임의 개수와 간격은 대상체의 움직임의 형태와 빠르기에 따라 달라진다. 키프레임에서 결정되어야 할 것은 캐릭터의 각 관절의 굴절 각도와 캐릭터 자체의 공간적 위치 등의 정보이다.

일단 키프레임에서의 캐릭터의 자세가 결정되면, 나머지 프레임들은 키프레임 사이를 부드럽게 연결해주는 인-비트윈(in-between)이라 불리는 과정에 의해 채워지게 된다. 전통적인 셀 애니메이션에서는 이 단계 역시 수작업에 의해 처리되었으나, 컴퓨터 그래픽을 이용한 3차원 캐릭터 애니메이션의 경우는 캐릭터 애니메이션 소프트웨어에 의해 자동으로 캐릭터의 관절 움직임의 중간 단계가 계산된다는 점이 다르다.

키프레임 사이의 중간 단계를 계산하기 위해 쓰이는 가장 간단한 방법은 선형 보간법(linear interpolation)으로, 이는 전후의 키프레임에서의 캐릭터의 자세를 일정한 비율로 변화시켜 장면을 연결하는 것이다. 보간법에 의한 인-비트윈 작업은 다시 두 가지 경우로 나누어 생각할 수 있는데, 하나는 캐릭터의 각 관절의 움직임을 키프레임에서 설정하고 그 사이의 프레임들에서의 관절의 각도를 보간법을 통해 계산하는 것이고, 다른 하나는 캐릭터를 구성하는 각 부분의 공간적 위치를 설정한 후 그 위치의 변화를 보간법에 의해 계산하는 것이다. 하지만 실제로 후자의 방법은 움직임 중간에 캐릭터의 형태 자체가 심각하게 왜곡되는 경우가 있으므로 잘 쓰이지 않는다. 한편, 캐릭터가 움직이는 속도는 일정하지 않은 경우가 많으므로 실제로는 스플라인 보간법(spline interpolation)과 같은 보다 복잡한 보간법이 사용되는 경우가 많다.

일반적으로 애니메이션에 사용되는 캐릭터 모델은 자연스러운 외관을 위해 3차원 폴리곤

메시(polygonal mesh) 혹은 수학적 곡면 모델의 형태로 만들어지는 경우가 많은데, 이 경우 캐릭터의 자세를 제어하기 위한 골격(skeleton) 모델과 최종적으로 캐릭터의 렌더링에 사용되는 피부(skin) 모델과의 연결(바인딩, skin-skeleton binding)이 중요한 문제로 부각된다. 바인딩이란 골격 모델에서의 특정 관절의 움직임에 대해 피부 모델의 어떤 부분이 어느 정도의 연관성을 가지고 반응할 것인지를 결정하는 일이다. 일반적인 키프레임 애니메이션 소프트웨어에서는 우선 골격 모델의 관절각을 보간법에 의해 계산한 후, 각 프레임에서의 골격 모델의 자세에 맞추어 피부 모델을 변형하여 최종적인 프레임을 구성하는 방식을 사용한다.

캐릭터의 신체를 구성하는 각 부분과 이들 사이를 계층적으로 연결하는 관절부로 이루어진 골격 모델의 자세 설정은 주로 수작업으로 이루어지지만, 최근의 소프트웨어들은 대부분 로봇 공학에서 발전된 기술인 역운동학(inverse kinematics)에 의한 관절각 계산 기능을 포함하고 있다. 이는 다관절체의 말단부(end effector)의 공간적 위치(location) 및 자세(orientation)를 결정해주는 것만으로, 고정되어 있는 다관절체의 기저(base) 부분과 말단부 사이를 잇는 중간 관절들의 각도를 자동적으로 계산해 내는 기술이다. 즉, 인체의 경우 손의 위치를 지정해 주면 어깨와 팔꿈치, 그리고 손목의 굴절각을 소프트웨어가 자동으로 계산해 주는 것이다. 이때 적절한 각도를 결정하기 위해서는 다양한 구속조건(constraint)들을 만족하도록 하는데, 구속조건은 관절체의 물리적 성격 및 주변 상황에 따라 달라진다. 캐릭터 애니메이션에서는 실제 인체 및 동물의 골격 구조로부터 구속조건을 유도하게 되므로 해부학 및 운동학에 대한 지식이 필수적이다.

키프레임 애니메이션 기법에 의한 캐릭터 애니메이션은 수작업에 의존하는 부분이 많기 때문에 제작시간이 길어지고 애니메이터가 인간을 비롯한 실제 생물체의 움직임을 잘 이해하고 있어야 한다는 제약점을 가지는 반면, 애니메이션 제작 시스템의 개발이 상대적으로 쉽고 제작자가 애니메이션의 미세한 부분까지 직접

제어할 수 있다는 장점을 가지므로 아직까지 대부분의 캐릭터 애니메이션이 키프레임 애니메이션 기법에 의해 제작되고 있다.

### 3. 동작 제어 애니메이션 기술

캐릭터의 움직임의 중요 단계를 수작업에 의해 지정하는 키프레임 애니메이션과 달리, 물리 법칙을 비롯한 일련의 규칙에 의해 자동 혹은 반자동적으로 동작을 생성하는 기술을 통칭하여 동작 제어(motion control) 기술이라고 한다. 컴퓨터 그래픽 애니메이션에서 동작 제어 기술은 주로 자연 현상의 표현에 사용되는데, 이는 자연과학이나 공학 분야에서 널리 이용되던 수치해석에 의한 시뮬레이션 기법을 응용한 것이라고 볼 수 있다. 다양한 대상체들의 움직임을 좀더 쉽고도 자연스럽게 표현하기 위한 노력의 하나인 동작 제어 기술은 기본적으로 대상체의 형상 또는 움직임을 기술하기 위한 몇 가지의 규칙을 미리 정의한 후 사용자가 입력하는 초기값 혹은 경계값 등의 인수로부터 규칙을 만족하는 수치적인 답을 소프트웨어가 계산해 내는 방식으로 구현된다. 이때 얻어지는 답은 움직임뿐만 아니라 대상체의 형태 자체의 변형에 대한 정보까지를 포함하는 경우가 많아서, 형태를 정의하는 모델링 단계와 이의 움직임을 정의하는 애니메이션 단계를 명확히 구분할 수 없다는 점이 특징이다.

동작 제어 애니메이션 기술은 다시 몇 가지의 범주로 나누어볼 수 있지만, 이들 사이를 명확하게 구분하는 것은 어려우며 서로 배타적이라기보다는 상호 보완적인 면을 많이 가지고 있다. 일단 여기에서는 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법과 절차적 애니메이션 기법의 두 가지로 나누어 살펴보고자 한다.

#### 3.1 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션 (physically-based modeling & simulation)

주로 자연과학 및 공학 분야의 수치해석 시뮬레이션의 방법론에서 출발한 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션 기법은 자연 현상을 지배하는 일련의 물리 법칙 또는 경험적인 법칙들을

컴퓨터 프로그래밍하여 주어진 초기 및 경계 조건에 대해 그 법칙을 만족하는 해를 구하여 이를 가시화하는 방법이라고 정의할 수 있다. 이 방법의 장점은 그 결과가 매우 사실적이며 자연스럽다는 것이다. 제작된 애니메이션의 품질이 키프레임을 생성하는 애니메이터의 직관 및 예술적 감각에 크게 좌우되는 키프레임 애니메이션에 비해, 물리 기반 모델링 및 시뮬레이션의 경우에는 적절한 조건을 부여하는 것만으로 사실적인 형태 및 움직임을 얻을 수 있다. 또한 일단 물리 법칙에 대한 프로그래밍이 끝난 후에는 입력 조건을 변화시키는 것만으로 다양한 결과를 손쉽게 얻을 수 있다는 것도 큰 장점이다. 다만, 이 방식에 의한 애니메이션 제작 시스템을 구현하고 자연스러운 애니메이션을 생성하기 위해서는 물리 법칙에 대한 깊은 이해가 필수적이며, 한편으로 실제보다 과장된 움직임을 만들고자 하는 경우와 같이 제작자의 구체적인 개입이 필요한 경우에 대응하기 어렵다는 문제점이 있다.

물리 기반 애니메이션을 생성하기 위해서 해를 구하는 방법에는 두 가지 접근 방식이 있는데, 하나는 방정식 형태로 정의되는 물리 법칙을 그대로 프로그래밍하여 수치적인 해를 구하는 것이고 다른 하나는 수학적 방법을 사용하여 해석적인 해를 구한 후 이를 프로그래밍하는 것이다. 전자의 경우는 다양한 경우에 적용이 가능하며 수작업이 거의 필요없는 장점이 있으나, 수치적인 해를 구하는 과정에서 수치적 오류 등의 원인으로 결과가 부정확해질 수 있으며 계산 결과를 미리 예측하기 어렵다는 단점을 갖는다. 반대로 후자의 경우는 결과가 상당히 정확하며 동작 제어에 사용되는 규칙이 움직임 자체를 직접적으로 기술하게 되어 계산 결과의 예측이 가능하다는 장점이 있으나, 해를 구하는 과정이 까다롭고 주어진 문제에 따라서 해석적인 해를 구하는 것 자체가 불가능한 경우가 대부분이라는 단점이 있다.

물리 기반 모델링 및 시뮬레이션이 적용되는 대상을 크게 두 가지로 구분할 수 있는데, 수동적 시스템(passive system)과 능동적 시스템(active system)이 그것이다. 먼저 수동적 시스템은 대상체가 내부에 에너지를 가지고

있지 않으며 외부에서 가해지는 힘에 의해 변형 및 이동되는 경우를 말하고, 물이나 연기 등을 포함하는 각종 유체, 의복이나 머리카락, 나뭇잎의 움직임 등을 표현하고자 하는 경우가 여기에 해당된다. 그림 1에 보인 수동적 시스템의 동작 방식과 같이 사용자로부터 계산해 내하고자 하는 모델에 대한 각종 초기 조건들을 입력받은 후 수치해석 모듈에서 미리 프로그램으로 구성된 모델에 이 조건들을 대입, 적절한 계산을 수행한 후 지정된 시간에서의 각 물체의 상태변수(state)를 구하여 애니메이션을 생성하게 되는 것이다.

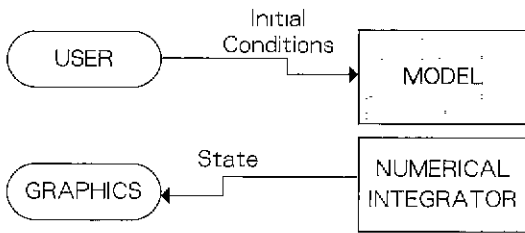


그림 1 수동적 시스템

능동적 시스템은 대상체가 내부의 에너지를 가지고 있어서 자신의 의지로 움직일 수 있는 경우를 말한다. 캐릭터 자체의 애니메이션이 바로 이 범주에 포함되는데 능동적 시스템은 물리 법칙을 프로그램화하는 것 외에도 대상체를 움직이게 하는 근원, 즉 인간의 경우 각 관절을 잇는 근육 등과 같은 부분에 대한 행동 특성을 기술해야 하므로 구현이 매우 어렵다. 특히 캐릭터 애니메이션의 경우 제어 시스템(control system)이라고 불리는 부분을 추가적으로 구현하지 않으면 안되는데 이는 캐릭터 모델의 특정 동작에 대해서 각 관절 부위의 제어 방법을 적절히 계산해 주는 역할을 한다.

예를 들어, 사람 형태의 캐릭터를 서있도록 제어하기 위한 시스템은 한 팔을 옆으로 뻗거나 허리를 굽히는 등의 자세 변화에 대해서 균형을 유지할 수 있도록 하기 위해 다른 부분이 어떻게 움직여 주어야 하는지에 대해 명시된 법칙을 기술하고 있어야 한다. 특히 이러한 능동적 시스템은 소위 ‘에이전트(agent)’라고 불리는, 자신의 의지를 가지고 사용자의 지시에 대응하거나 스스로 주변 환경에 맞추어 지시

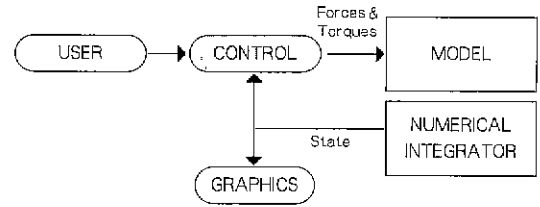


그림 2 능동적 시스템

받은 동작을 수행하는 일종의 가상 인간(virtual human)의 구현에 핵심적인 요소가 된다.

능동적 시스템의 구성(그림 2)에서 수동적 시스템과 가장 큰 차이를 이루는 부분이 바로 제어 시스템으로, 이는 사용자로부터 입력된 조건들로부터 그에 해당하는 변수(물리적 시물레이션의 경우, 외부에서 작용하는 힘 등과 같은)들로 변환하여 시물레이션을 수행할 수 있도록 하는 역할을 맡고 있다. 일단 수치해석 모듈에서 계산된 상태변수들은 애니메이션을 생성하기 위해 이용될 뿐 아니라 다시 제어 시스템에서 참조하는 외부 및 내부의 각종 조건들로 사용되게 된다.



그림 3 수동적 시스템

그림 3은 3차원 캐릭터가 달리는 모습을 동작 제어 기술을 이용, 애니메이션으로 제작한 예이다. 여기에서 달리는 사람은 능동적 시스템에 의해 제어되고 있으며 이때 제어 시스템은 중심 이동, 팔과 다리의 움직임 등 달리기 위한 관절부의 운동을 생성한다. 캐릭터가 입고 있는 유니폼은 수동적 시스템에 의한 의복 시물레이션 기법으로 모델화한 것이다.

### 3.2 절차적 애니메이션(procedural animation)

현재까지의 기술로는 임의의 객체들의 움직

임을 완전히 자동적으로 생성하거나 제어할 수는 없다. 하지만, 일정한 규칙 하에서 어느 정도의 변화폭을 가지는 특정한 유형의 움직임은 알고리즘화할 수 있다. 컴퓨터가 움직임을 생성하기 위해서 절차적으로 알고리즘 단계를 수행하게 되므로, 이러한 방법을 절차적 기법(procedural method)이라고 한다. 해석하기에 따라서는 앞서 언급한 물리 기반 모델링 및 애니메이션 기법 역시 절차적 애니메이션의 범주에 포함된다고 볼 수도 있겠으나, 이 글에서는 일단 실제 자연 현상을 수치해석적 접근 방법에 입각하여 해석하는 경우만을 별도로 분리하였다. 이 경우 절차적 애니메이션 기법은 비교적 단순한 규칙을 정의하여 실제와 유사하게 보이는 움직임을 생성해 내는 기술로 정의할 수 있다.

현재 이러한 기술이 가장 많이 활용되고 있는 분야는 소위 '행동양식 모델링(behavioral modeling)'이라고 불리우는 것으로, 이는 유사한 행동 특성을 가지고 있는 수많은 개체가 모여서 함께 행동하는 경우를 구현하기 위한 것이다. 예를 들어 벌떼나 새떼가 무리를 이루어 날아다니는 애니메이션이라든지, 혹은 군중이 많이 몰려 있는 장면의 표현 등에 사용된다. 이러한 경우, 각각의 캐릭터들을 별도의 제어 방법에 의해 움직이기보다 무리 전체의 이동 방향 등을 설정한 후 각각의 캐릭터들은 그 전체적인 방향에서 약간씩의 변화를 주는 방식으로 제어할 수 있을 것이다. 이때 무리를 이루는 개체들은 우선 전체 무리에서 떨어지지 않으려 하는 속성이라든지 서로 충돌하지 않으려 하는 속성 등을 갖게 된다. 이러한 것들을 제어 프로그램화하여 무리의 움직임을 표현하는 것이 바로 행동 양식 모델링이다.

한편 이와는 약간 다른 방식이지만, 최근 많은 관심을 모으고 있는 Genetic Algorithm에 의해 캐릭터 애니메이션을 구현하는 방법도 시도된 바가 있다. 우선 다관절체로 이루어진 캐릭터의 각 관절 각도를 제어하는 함수들을 구성하고, 이들의 조합으로 캐릭터를 제어하는 제어 프로그램을 구성한다. 이때 주어진 최종 목적을 이루기 위한 최적의 제어 프로그램을 찾기 위한 방법으로 Genetic Algorithm을 이

용하게 되는데, 이 과정은 마치 어린아이가 걸음마를 배우는 것과 같이 조금씩 목적된 행동을 향해 발전해 나가는 것과도 유사하다.

#### 4. 모션 캡처 기술

지금까지 언급한 키프레임 애니메이션 기술이나 동작 제어 애니메이션 기술은 각각의 장단점을 갖는다. 키프레임 애니메이션 기술의 경우 캐릭터의 움직임을 직접적이고도 자세하게 제어할 수 있다는 장점이 있지만, 반대로 수작업의 양이 많고 자칫하면 부자연스럽거나 비현실적인 움직임을 만들게 될 수도 있다는 단점도 지닌다. 또한 동작 제어 애니메이션 기술의 경우 상대적으로 적은 조작만으로도 자연스럽게 현실적인 움직임을 생성할 수 있다는 장점이 있는 반면 시스템의 구현 자체가 매우 까다로우며 애니메이션 외적인 지식을 많이 요구하고 무엇보다 구체적이고 직접적인 제어가 불가능해 결과를 예측하기 어렵다는 단점도 있다. 이러한 점들 때문에 실제 3차원 캐릭터 애니메이션을 제작할 때는 이 두 기술을 필요에 따라 적절히 혼합하여 사용하게 되는데, 이 두 방식이 갖는 근본적인 문제 중 하나는 바로 캐릭터의 실시간 제어가 어렵다는 것이다. 키프레임 애니메이션의 경우는 조작해야 할 대상의 수가 증가하면 수작업의 양도 그에 비례하여 늘어나게 되므로 많은 자유도를 가지는 인간의 움직임을 실시간에 제어하기란 거의 불가능하다. 또한 동작 제어 애니메이션의 경우 움직임을 생성하기 위해서는 일단 어떤 형태로든 제어 프로그램의 계산이 수행되어야 하므로 대부분의 경우 실시간 애니메이션이 어렵게 된다.

모션 캡처 기술은 바로 이러한 문제를 해결하기 위해 사용되는 방법으로 최근 3차원 캐릭터 애니메이션 제작시 거의 필수적인 요소로 등장하고 있다. 이는 트래커(tracker)라고 불리는 위치 및 자세 센서를 인간의 몸에 부착한 후 공간상에서의 이동 및 자세 변화에 대한 정보를 직접 기록하는 기술로, 각 센서별로 매 순간 공간상의 위치(x, y, z) 및 각도로 표현되는 자세(roll, pitch, yaw) 등 6개씩의 데이터가 얻어지게 되어 이를 각 관절 부위의 제어

에 직접 사용할 수 있게 되는 것이다. 데이터 기록을 위해 인간의 몸에 센서를 부착하는 대신에 각 관절부에 굴절각을 측정하는 센서를 장착한 인형을 사용할 수도 있다.

모션 캡처 기술은 캐릭터의 각 관절부를 움직이는데 필요한 정보들이 동시에 수집되며 실시간 제어가 가능하므로 매우 복잡하거나 빠른 움직임도 자연스럽게 표현할 수 있으며, 특히 방송 등에서 실시간 캐릭터 애니메이션을 이용하고자 할 때는 거의 필수적으로 사용되는 기술이고 최근 게임 제작 등의 경우에도 가장 선호되고 있다. 하지만 모션 캡처 기술은 몇 가지 문제점을 가지고 있기도 한데 그 중 하나가 움직이는 사람(actor라고도 불린다)의 몸에 부착된 트래커가 조금씩 움직이거나 흔들릴 수 있기 때문에 아주 정밀한 움직임을 측정하기가 어려우며 아직까지 모션 캡처 기술 자체의 한계로 한번에 매끄러운 움직임을 얻기 어려운 경우가 많다는 점이다.

또한 액터의 각 신체 부위의 크기가 제어될 캐릭터와 다른 경우 액터의 움직임으로부터 얻어진 동작 데이터를 캐릭터의 제어에 직접 사용할 수 없게 되는 경우도 발생한다. 예를 들어 액터가 테이블 위에 팔을 얹는 것과 같은 동작을 수행할 때 모션 캡처 장비에 의해 읽혀진 데이터를 그대로 애니메이션에 사용할 경우, 액터와는 크기가 다른 캐릭터의 팔 부위가 테이블 위에 정확히 얹혀지지 않고 테이블을 뚫고 들어간다는지 혹은 테이블에 닿지 않고 공중에 떠 있는 등의 상황이 발생하기 쉬운 것이다. 만약 영화나 만화영화 등에 사용될 애니메이션을 제작하는 것이라면 후처리 작업을 통해 수정할 수 있겠지만, 실시간 애니메이션의 형태로 사용될 경우 이를 해결하기 위한 보정 프로그램을 별도로 개발해야 할 것이다.

모션 캡처에 사용되는 장치는 크게 자기(magnetic) 방식과 광학(optical) 방식의 두 가지 방식으로 구분할 수 있다. 우선 자기 방식은 액터의 각 관절 부위에 자기장을 측정할 수 있는 센서를 부착하고 자기장 발생 장치 근처에서 액터가 움직일 때 각 센서에서 측정되는 자기장의 변화를 다시 공간적인 변화량으로 계산하여 움직임을 측정하는 방식이다. 이 방

식은 상대적으로 가격이 저렴하며 운용이 쉽고 장비 자체 외의 시설 투자가 필요 없다는 장점을 가진다. 또한 필요한 숫자만큼만 센서를 구입하여 사용하게 되므로, 예를 들면 상체의 움직임에 대한 정보만 사용한다면 하하는 경우에 불필요한 투자를 하지 않아도 된다.

하지만, 모든 센서는 유선으로 본체에 연결되기 때문에 많은 센서를 부착한 경우 수십 가닥의 전선으로 연결된 채 움직여야 하므로 액터가 자유롭게 동작을 취하기가 매우 어렵다. 물론 최근에는 무선으로 데이터를 전달하는 장치를 포함하는 무선 모션 캡처 시스템도 개발되어 있으나, 역시 액터의 신체에 송신기를 부착하지 않으면 안된다. 또한 자기 방식 모션 캡처 시스템은 초당 측정되는 데이터의 수가 상대적으로 적어서 무술 액션 등과 같이 단위 시간당 움직임의 정도가 큰 격렬한 움직임은 측정하기가 어렵다는 문제점도 있다.

광학 방식은 액터의 관절 부위에 적외선을 쬐이면 발광하는 특수한 물질이 칠해진 적외선 마커(marker)를 부착하고 여기에 적외선을 조사하여 반사된 빛을 6대에서 8대 가량의 비디오 카메라로 촬영, 여러 장의 2차원 이미지를 얻은 후 이들을 서로 비교하여 3차원 공간 상에서의 위치를 파악하는 방식이다. 광학 방식은 자기 방식에 비해 많은 장점을 가지고 있는데, 우선 마커는 특수한 기계 장치가 아니고 단지 스티로폼이나 스펀지 등으로 만들어진 공 또는 작은 패치 위에 적외선 반사 물질을 칠했을 뿐이므로 본체와 전선 등으로 연결할 필요가 없어 액터의 움직임이 훨씬 자유스럽다. 카메라의 렌즈 주변에는 적외선을 조사하는 LED가 수십개씩 부착되어 있어 적외선을 발산하고 카메라는 그 적외선에 반응하여 빛을 내는 마커의 위치만을 촬영하게 된다. 초당 120대지 175 프레임 정도를 촬영할 수 있으므로 급격한 움직임도 정확하게 측정할 수 있다.

또한 광학 방식은 자기 방식처럼 상대적인 위치 변화를 측정하여 이로부터 절대적인 위치를 계산하는 방식이 아니고 직접 절대 좌표계 상에서의 위치 측정이 가능하므로 움직임 데이터가 꼬이거나 하는 에러도 없을 뿐 아니라 설정 꼬이더라도 후처리 단계에서 얼마든지 보정

이 가능하다. 또한 부착 가능한 마커의 수에 제한이 없으며 다수의 액터가 취하는 동작을 동시에 측정할 수도 있다. 그리고 상당히 정밀한 위치 측정이 가능하여 얼굴 표정 등을 캡처하는 것도 가능한 등 장점이 많아 최근 그 사용 폭이 점점 커지고 있다.

광학 방식의 가장 큰 제약점으로는 모션 캡처 장비를 설치하기 위해 상당히 넓은 모션 캡처 전용 스튜디오가 필요하다는 점을 들 수 있다. 이는 여러 대의 카메라를 원형으로 설치하고 그 안쪽에서 움직이는 액터를 촬영하는 방식이기 때문인데, 적외선 마커를 사용하므로 스튜디오는 외광이 통제되어 있지 않으면 안 된다. 또한 시스템의 가격이 자기 방식의 10배 가량으로 상당히 고가이며, 유지 보수도 어렵고 비용이 많이 든다는 등의 문제가 있다. 또한 광학 방식 자체의 근본적 문제로 액터의 자세에 따라 신체의 일부가 가려진다는지 혹은 다수의 액터가 있을 때 서로의 신체를 가리는 경우가 생기게 되면 카메라에서 마커의 위치를 촬영하지 못하는 상황이 생길 수 있다.

한편, 모션 캡처시 인간 대신 모형을 액터로 이용하는 방법도 있는데, 이를 Puppet이라고 한다. 이것은 클레이 애니메이션 등에서 사용되는 스톱 모션 카메라(stop motion camera) 기법과 유사한데, 우선 애니메이션에 등장할 캐릭터의 신체 구조와 같은 형태의 인형을 만든 후 여기에 자기 방식의 모션 캡처 시스템을 부착하고 이 인형을 조금씩 움직여 가며 데이터를 얻게 된다. 영화 '쥬라기 공원'에 등장하는 공룡들의 애니메이션이 바로 이런 방식으로 만들어졌는데, 근본적으로는 자기 방식의 모션 캡처 시스템과 같으나 훨씬 저렴한 가격으로 시스템 제작이 가능하고 또한 지구상에 존재하지 않는 생물체의 캐릭터 애니메이션에 적용할 수 있다는 장점이 있다. 모션 캡처 기법의 가장 큰 단점 중 하나인 액터와 캐릭터간의 신체 구조 차이에 따른 에러도 존재하지 않으므로 영화 제작시에 주로 쓰이는 방법이다. 다만, 한 프레임 분의 자세 변화를 수작업에 의해 제어하고 촬영하지 않으면 안되므로 스톱 모션 애니메이션의 전문가가 필요하다는 단점을 갖고 있다.

모션 캡처 기술은 캐릭터 애니메이션과 관련된 여러 기술 중에서도 최근에 들어서야 본격적으로 발전하기 시작한 분야로 아직 입력 장치 면에서는 물론 입력된 데이터의 후처리 등에서 개선될 여지를 많이 가지고 있다. 특히 모션 캡처 기술의 취약점 중 하나로 꼽히는 것이 데이터로 만들어진 움직임에 변형을 가하거나 합성하는 등의 조작이 어렵다는 점으로, 이를 해결하기 위한 동작 분석 기술이 활발하게 연구되고 있다. 또한 이러한 동작 분석 기술을 이용하여 모션 캡처 데이터에 기록되어 있는 액터의 신체 크기와 다른 캐릭터에 동작 데이터를 적용하기 위한 기술[9]도 연구되고 있는데, 발을 땅에 딛는다든지 손으로 물건을 잡는다든지 하는 다양한 구속 조건을 만족할 수 있도록 모션 캡처 데이터를 자동적으로 변형하여 하나의 데이터로 다양한 캐릭터의 애니메이션을 제작하는 것이 가능하다.

## 5. 얼굴 애니메이션 기술

사람의 얼굴은 상호간의 대화에 있어 매우 중요한 의미를 갖는 신체 부위이다. 상대방의 얼굴 표정으로부터 감정을 전달받기도 하고, 대화시에는 음성뿐 아니라 상대의 입술 모양의 변화도 대화 내용의 이해에 중요한 정보가 된다. 캐릭터 애니메이션에서도 이러한 점들은 동일하게 고려되어야 하며, 특히 만화 영화나 광고 등에 사용되는 애니메이션의 경우 실제보다 과장된 얼굴 표정 등을 통해 감정을 전달하게 되므로 얼굴 부분의 처리는 매우 중요한 작업 중 하나이다. 물론 다관절체 애니메이션과 얼굴 애니메이션에 사용되는 기술이 서로 완전히 다른 것이라고 할 수는 없으나, 상당히 다른 접근 방식이 필요하다.

얼굴 애니메이션의 연구는 1974년 Parke [15]의 파라메트릭 모델(parametric model)을 시초로 시작되었다. 얼굴 애니메이션 연구의 주된 방향은 감정과 입술 움직임 등을 처리하기 위한 정확하고도 효율적인 방법을 찾는 것으로, 대표적인 것으로는 얼굴에서 변형되는 부분들을 기준으로 얼굴 표현을 계층적 구조를 갖는 영역들로 구조화한 Platt and Badler

[18]의 연구와 얼굴의 변형을 안면 근육들의 움직임의 결과로 해석하여 얼굴 변형에 영향을 미치는 근육들을 시뮬레이션한 Waters[21]의 연구 등을 들 수 있다. 이러한 연구들은 대부분 얼굴의 물리적 성질을 이용한 접근 방법을 택했다고 볼 수 있는데, 이러한 방법들은 실제로 인간의 얼굴이 변형되는 방식을 그대로 표현하므로 정확도 면에서 장점을 지니는 반면에 계산의 양이 많고 애니메이션 시스템의 구현이 까다롭다는 단점도 갖는다.

얼굴 표정에 대한 연구를 비롯, 얼굴 부분의 움직임 자체에 대한 연구는 그동안 의학 및 미술 분야에서 많이 행해져 왔으며 현재 상당한 양의 결과가 축적되어 있다. 그러나 이러한 지식을 바탕으로 3차원 캐릭터 애니메이션에 자연스러운 얼굴 표정을 도입하기 위해서는 많은 기술적 과제가 극복되어야 하며, 아직 세계적으로도 완전한 얼굴 애니메이션을 구현하였다고 할 수 있을 정도의 결과는 얻어지지 않은 상태이다.

### 5.1 얼굴 모델의 생성

얼굴의 애니메이션을 구현하기 위한 방법들은 실제로 얼굴 모습을 표현하는 피부 모델을 어떤 방법으로 만들었는가에 따라 좌우될 수밖에 없는데, 3차원 피부 모델 생성에 가장 흔하게 이용되는 폴리곤 메시의 경우 상대적으로 조작성이 쉽지만 부드러운 곡면으로 이루어지는 얼굴을 사실적으로 표현하기 위해서는 모델을 구성하는 다각형의 수가 많아져야 한다. 1990년 Waite[20]는 B-스플라인(B-Spline) 곡면을 이용하여 얼굴 모델을 표현하였는데, 이 모델은 얼굴 표정들을 나타낼 때 비교적 적은 수의 데이터로 사실적인 표현을 할 수 있었으나 치아 및 눈썹 등과 같이 세밀한 부분의 처리가 불가능하였다.

현재 대부분의 3차원 캐릭터 애니메이션에서의 얼굴 부분은 폴리곤 메시에 의해 표현되는데, 사실적인 표현을 위해 다각형의 개수를 늘릴 경우 그에 비례하여 조작성이 어려워지므로 물리적 성질에 기반하여 적은 수의 파라미터만으로 자연스러운 조작성이 가능한 제어 프로그램의 개발이 필수적이다.



그림 4 다각형 메시에 의한 얼굴 모델링의 예

인간의 얼굴을 모델링하는 것은 아마도 가장 어려운 모델링 기술 중 하나로, 아직 발전 단계에 있으며 앞으로도 많은 발전이 가능한 분야이다. 이는 인간의 얼굴이 다른 신체 부위에 비해 매우 복잡할 뿐 아니라 사람을 볼 때 가장 먼저, 그리고 자세히 보게 되는 부위가 바로 얼굴이기 때문에 미묘한 차이도 크게 부각될 수 있기 때문이다. 캐릭터 모델을 생성할 때 얼굴 부위의 모델링 결과에 따라 전체적인 완성도가 좌우된다고 할 수 있을 정도이므로 얼굴 모델을 좀더 쉽고도 정확하게 만들 수 있도록 하기 위해 많은 시도가 행해지고 있다.

얼굴의 3차원 피부 모델을 생성하기 위해 사용되는 대표적인 방법들을 보면, 우선 일반적인 3차원 모델링 소프트웨어를 사용한 수작업에 의한 모델링 방법이 있다. 얼굴은 매우 복잡하고도 정교한 모델링 기술을 필요로 하기 때문에 이러한 방법으로는 정밀한 얼굴 모델을 생성하기가 어렵다는 단점을 가지고 있지만, 특별한 부가 장치가 필요하지 않으므로 주로 만화영화의 등장인물 등과 같이 정밀한 모델보다 미적인 면이 강조되는 얼굴 모델을 제작할 때 이러한 방법이 많이 사용된다. 수작업에 의해 얼굴 모델을 생성할 경우 주로 사용되는 것이 조각 기법에 의한 모델링인데, 이는 육면체나 구 등과 같은 수학적 기본 입체에 곡부 변형 조작성을 가하여 원하는 결과로 만들어 가는 방식을 말한다.

한편 이와는 달리 실제 인간의 얼굴 데이터로부터 3차원 모델을 생성하는 방법으로는 3차원 디지털타이저(digitizer) 등의 좌표 입력 장치에 의한 모델링, 2매의 직교 사진으로부터 3차원 모델을 생성하는 사진 기반 모델링, 그리고



레이저 스캐너 등을 이용한 모델링 등을 들 수 있는데, 이러한 방법들의 공통점은 특수한 장비를 사용하므로 비용이 드는 반면 비교적 실제에 가까운 정확한 모델을 얻을 수 있다는 것이다.

3차원 디지털라이저는 공간적 위치를 측정하는 센서를 기반으로 만들어져 있는데, 실제 사람의 얼굴 또는 이와 동일하게 만들어진 모형의 표면 위에 격자 무늬를 그리고 각 격자점을 따라 디지털라이저의 철필을 이동시켜 가며 얼굴 모델을 구성할 점들의 좌표를 입력하게 된다. 이때 중요한 것이 각 점들의 입력 순서인데, 폴리곤 메시 혹은 B-Spline 등의 수학적 곡면 모델에 있어서 정점(vertex)이나 조절점(control point)의 배열 순서가 매우 중요하기 때문이다. 보다 정교한 모델을 만들기 위해서는 더 많은 수의 점을 입력해야 하므로 점들의 위치와 측정될 순서를 결정하는 일이 어려워지게 된다. 또한, 디지털라이저에 의해 측정될 수 있는 공간 해상도에 따라 점의 위치 데이터에 오차가 생길 수 있으므로 얼굴 모형을 이용하여 모델링할 경우 가급적 실물 크기로 만들어야 한다.

직교 사진(orthogonal photographic image)에 의한 모델링 방법은 측정될 점들의 위치를 표시한 얼굴의 정면 및 측면 사진을 촬영하고 이 2매의 사진으로부터 각 점들의 3차원 좌표를 계산해 내는 방식이다. 이것은 부가적인 장비비를 이용하는 여러 방법들 중 가장 간단하지만 정확도는 떨어지는 방법이다. 2매의 사진만으로 얼굴의 모델링이 가능해지는 것은 얼굴이 좌우 대칭이라고 가정하기 때문인데, 측면 사진을 촬영하지 않은 반대 면의 경우는 촬영된 면에서 만들어진 모델에 대칭되도록 점들을 위치시키면 된다. 직교 사진에 의한 모델링 방법



그림 5 직교 사진 모델링 기법을 위한 사진 이미지

의 가장 큰 문제점 중 하나는 사진 촬영시에 생기는 투시적 원근 효과에 의한 영상의 왜곡인데, 이것은 촬영이 가급적 초점 거리가 먼 렌즈를 사용하여 왜곡을 최소화하는 것 외에 별다른 해결 방법이 없다.

레이저 스캐너는 레이저 광선을 대상체에 조사하여 반사되는 광선을 측정하는 방식으로 동작하는 3차원 스캐너인데, 빠른 시간에 많은 점을 입력할 수 있어서 비교적 정확한 모델링이 가능하며 대상체의 기하학적 정보 외에 표면의 색상 정보까지 얻을 수 있다는 것이 장점이다. 스캔된 데이터로부터 3차원 피부 모델을 구성한 후 표면 색상 정보를 텍스처 매핑(texture mapping) 기법으로 피부 모델에 입혀서 사실적인 표현이 가능하다. 이 방법에서 문제가 되는 것은, 입력된 점의 수가 너무 많고 점들 사이의 연결에 관한 정보는 생성되지 않으므로 추가적인 후처리 작업이 필수적이라는 사실이다. 또한 기기 자체가 상당히 고가라는 것도 단점이다.

## 5.2 얼굴 모델의 애니메이션

얼굴 모델의 애니메이션 작업은 크게 나누어 감정 표현, 즉 표정의 애니메이션과 대화시 입술 모양의 변화(lip synchronization)를 중심으로 하는 대화 애니메이션 부분으로 구분할 수 있다. 표정 애니메이션의 경우 약간의 문화적 차이를 제외한다면 거의 세계 공통의 보편적인 요소들로 이루어지는 반면 대화 애니메이션의 경우는 언어에 따른 차이를 고려해야 한다.

구체적으로 얼굴 애니메이션의 생성을 위해 사용되는 기법 역시 앞서 언급한 다관절체 애니메이션 기술과 마찬가지로 키프레임 애니메이션과 동작 제어 애니메이션, 그리고 모션 캡처 기법 등으로 구분할 수 있는데 현재 상업용의 캐릭터 애니메이션 제작시 가장 많이 쓰이는 방법은 역시 키프레임 애니메이션 기법이다.

키프레임 애니메이션 기법을 사용하는 경우에 있어 얼굴 애니메이션은 다른 부위의 애니메이션 제작 과정과 기본적으로 동일하다. 입의 표정을 만들기 위해 중요한 키프레임들에

서의 얼굴 모델의 상태를 지정하고, 이들 사이를 인-비트윈에 의해 연결하는 것으로 애니메이션이 생성된다. 그러나 2차원 캐릭터 애니메이션에서의 달리 3차원 캐릭터 애니메이션의 경우 키프레임 애니메이션 기법은 큰 문제점을 가지게 되는데, 그것은 표정이나 대화 등 얼굴 표면의 변화가 짧은 시간에 불연속적으로 이루어진다는 얼굴 애니메이션의 특징에 기인하는 것이다. 즉, 적절한 수준의 애니메이션을 생성하기 위해서는 상당히 많은 수의 키프레임이 필요하게 되어 수작업의 양이 늘어나는 것이다. 따라서 얼굴 애니메이션에 있어서는 전통적인 방식인 수작업에 의한 키프레임 애니메이션보다 이후 설명하게 될 파라메트릭 모델에 의한 애니메이션 기법 또는 이 두 방법의 혼합형이 더욱 적절한 것으로 여겨지고 있다.

얼굴 모델에 대한 동작 제어 애니메이션 기법은 주로 파라메트릭 모델에 의한 접근 방법이라고 할 수 있는데 이는 얼굴 표정의 변화가 몇 개의 안면 근육의 움직임에 의해 만들어진다는 점에 착안한 것이다. 즉, 표정 변화의 기본 요소들의 조합에 의해 임의의 표정이나 발음 모양을 조합하는 방식이다. 이렇게 함으로써 적은 수의 파라미터의 제어만으로 다양한 표정 및 대화 애니메이션의 생성이 가능해지게 된다.

파라메트릭 모델의 근간이 되는 것이 바로 1970년대에 Ekman과 Friesen에 의해 제시된 Facial Action Coding System(FACS)[5]으로 이것은 각 안면 근육들의 위치와 운동 형태 및 이들이 얼굴 표면에 미치는 영향을 조사하고 이로부터 43개의 대표적 Action Unit(AU)를 포함한 총 66개의 AU들을 정의한 것이다. Action Unit란 안면 근육의 변화에 의해 얼굴에 나타날 수 있는 표현들의 기본 요소로, 거의 모든 표정이 하나 또는 그 이상의 AU들의 조합에 의해 표현될 수 있다. 때로 여러 근육의 움직임이 하나의 AU를 만들기도 하고 반대로 한 근육의 움직임이 2개의 AU로 나타나기도 하는데 이는 AU가 근육 개개라기보다는 얼굴 표현 부위에 기준을 두고 만들어졌기 때문이다.

최근까지 이루어지고 있는 얼굴 애니메이션

관련 연구의 대부분이 바로 이 FACS에 기반을 두고 있는데, 실제로 각 AU들과 그들의 조합으로 이루어지는 다양한 표정을 구현하기 위해 사용되는 방법에는 여러 가지가 있다. 가장 간단한 것으로는 보간법에 의한 애니메이션이 있는데 이는 각 파라미터에 대해 얼굴 모델을 이루는 각 점들이 움직이는 범위를 정하고 선형 또는 비선형 보간법에 의해 그 중간 단계의 위치를 계산하는 것이다. 이 방법은 간단한 알고리즘으로 별 어려움 없이 구현할 수 있으나 수작업에 의한 키프레임 애니메이션과 다를 바 없는 시간과 노력이 소요된다는 단점이 있다.

이와 비슷하지만 조금 더 진보된 방법으로 얼굴 모델의 각 점을 파라미터화하는 대신 특정한 움직임을 이루는 점의 집단을 하나의 파라미터로 묶어 제어하도록 하는 기법도 제시되었다. 이를 직접 파라미터화(direct parameterization) 기법이라고 하는데, 기본적으로는 보간법에 의한 애니메이션 기법과 같은 방식이지만 각 점들을 직접 제어하는 대신 사용자가 소수의 파라미터들의 조합을 입력하여 얼굴 애니메이션을 생성할 수 있도록 한다. 이때 파라미터는 얼굴 표정을 나타내는 것들과 얼굴 형태에 관한 것들의 두 부류로 나뉘어지는데, 얼굴 표정 파라미터는 눈을 뜨거나 입을 벌리는 정도를 나타내는 것이며 얼굴 형태 파라미터는 코나 눈의 모양과 같은 요소들을 정의하는 것이다.

얼굴 애니메이션 생성 기법에 있어서 동작 제어 애니메이션 기법의 물리 기반 모델링에 해당하는 것이 바로 근육 기반(muscle-based) 모델링 기법이다. 이것은 안면 근육 자체나 이에 해당하는 움직임의 요소를 모두 모델화하고, 마치 안면 근육이 얼굴 피부에 영향을 미치듯이 근육 모델이 피부 모델에 미치는 변화를 프로그램화하는 것이다. Platt와 Badier[18], Waters[21] 등에 의해 제시된 이 방법은 얼굴 모델을 해부학적으로 해석하여 얼굴 골격과 피부 사이에 연결된 근육을 스프링 모델로 재현하였다. FACS의 각 AU들은 특정 근육들의 움직임을 정의하므로 이를 스프링의 수축과 이완으로 변환하여 동역학적으로 계산하고 이로부터 얻어진 결과를 피부 모델의 변

형에 이용하는 것이다.

현재는 얼굴 피부를 표면, 표피 지방층, 근육층의 세 층으로 구분하여 각각의 움직임을 시뮬레이션하는 기법까지 제시되어 있는데, 이러한 방법들은 해부학적으로 정확한 표정 묘사가 가능하지만 대신 계산량이 많아진다는 결정적 단점을 가지고 있어서 이의 효율성을 높이기 위한 시도들이 이루어지고 있다.

한편, 모션 캡처 기술의 발달로 얼굴 애니메이션에 있어서도 새로운 접근 방법이 많이 연구되고 있다. 얼굴 표정을 기록할 수 있는 특수한 모션 캡처 장비를 이용하여, 액터의 얼굴에 부착된 마커와 캐릭터의 얼굴 모델의 조절점을 연동시켜 액터가 다양한 표정을 지음에 따라 캐릭터 모델을 변형시키는 방법은 실시간 애니메이션이 가능하므로 현재 방송 등에 가장 널리 쓰이고 있다. 그리고 비디오 카메라 등을 이용하여 촬영된 이미지로부터 얼굴 애니메이션을 생성하는 방법도 다양하게 연구되고 있는데, 모션 캡처 장비와 마찬가지로 얼굴의 각 부위에 점을 그리고 이를 인식하여 애니메이션에 이용하는 방법과 촬영된 얼굴의 이미지를 부위별로 합성하여 다양한 얼굴 표정을 생성해 내는 방법[3, 10, 17] 등이 시도되고 있다.

## 6. 결 론

지금까지 캐릭터 애니메이션의 새로운 흐름이라 할 수 있는 3차원 컴퓨터 그래픽 기술에 의한 캐릭터 애니메이션의 기술 동향에 대해 알아보았다. 3차원 캐릭터 애니메이션 기술은 기존의 방식인 키프레임 애니메이션 기법에 의존하던 것에서 점차 동작 제어 애니메이션 기법을 활용, 보다 사실적이고 자연스러운 움직임을 생성해 내고자 하는 방향으로 발전해 가고 있다. 컴퓨터 성능의 발달과 저가격화로 인해, 동작 제어 애니메이션 기법을 구현하는데 최대의 걸림돌이라 할 수 있을 계산 시간의 증가에 따른 생산성 저하의 우려가 낮아지고 있는 것도 이러한 추세를 뒷받침하고 있다. 또한 모션 캡처 기술 역시 아직까지는 기술적으로 해결해야 할 난제가 많이 있지만 다른 기법에 서는 얻을 수 없는 여러 가지의 장점들로 인해

점점 그 사용 빈도가 늘어나고 있다.

향후 3차원 캐릭터 애니메이션 기술은 보다 자연스러운 동작과 얼굴 표정을 가능한 한 실시간에 생성해 낼 수 있도록 하기 위한 방향으로 나아가게 될 것이며, 모션 캡처 데이터의 변형 및 합성 등과 같은 동작 데이터 조작 기술이나 이미지 기반 모델링 및 렌더링 기술 등의 발전이 이를 뒷받침하게 될 것이다.

## 참고문헌

- [1] S. Choe, M. S. Lee, J. H. Park and W. S. Kim, "Classification and Extension of Universal Human Figures", Proc. of Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, 1997.
- [2] M. F. Cohen, "Interactive Spacetime Control for Animation", Computer Graphics, Vol. 26, No. 2, pp. 293-302, 1992.
- [3] D. DeCarlo, D. Metaxas and Matthew Stone, "An Anthropometric Face Model using Variational Techniques", Computer Graphics (SIGGRAPH 98 Proceedings), pp. 67-74, 1998.
- [4] P. Ekman, Unmasking the Face: A Guide to Recognizing Emotions from Facial Clues, Prentice Hall, 1975.
- [5] P. Ekman and W. Friesen, Facial Action Coding System, Consulting Psychologists Press, 1978.
- [6] P. Ekman, "About Brows: Emotional and Conversational Signals", Human Ethology (Ed. M. Von Cranach, K. Foppa, W. Lepenies and D. Ploog), Cambridge Press, 1979.
- [7] G. Faigin, The Artist's Guide Complete Guide to Facial Expression, Watson-Guptil Publications, 1990.
- [8] J. D. Foley, A. van Dam, S. K. Feiner and J. F. Hughes, Computer Graphics - Principles and Practice(2nd Ed.), Addison-Wesley Publishing Company,

- 1996.
- [9] M. Gleicher, "Retargetting Motion to New Characters", Computer Graphics (SIGGRAPH 98 Proceedings), pp. 33-42, 1998.
- [10] B. Guenter, C. Grimm, D. Wood, H. Malvar and F. Pighin, "Making Faces", Computer Graphics (SIGGRAPH 98 Proceedings), pp. 55-66, 1998.
- [11] J. K. Hodgins, W. L. Wooten, D. C. Brogan and J. F. O'Brien, "Animating Human Athletics", Computer Graphics (SIGGRAPH 95 Proceedings), pp. 71-78, 1995.
- [12] Z. Liu, S. J. Gortler and M. F. Cohen, "Hierarchical Spacetime Control", Computer Graphics (SIGGRAPH 94 Proceedings), pp. 35-42, 1994.
- [13] J. T. Ngo and J. Marks, "Spacetime Constraints Revisited", Computer Graphics Annual Conference Series (SIGGRAPH 93 Visual Proceedings), pp. 343-350, 1993.
- [14] M. O'Rourke, Principles of Three-Dimensional Computer Animation, W. W. Norton & Company, 1995.
- [15] F. I. Parke, "A Model for Human Faces that Allows Speech Synchronized Animation", Computer Graphics, Pergamon Press, 1975.
- [16] F. Parke and K. Waters, Computer Facial Animation (Ed. A. K. Peters), Wellesley, Massachusetts, 1996.
- [17] F. Pighin, J. Hecker, D. Lischinski, R. Szeliski and D. Salesin, "Synthesizing Realistic Facial Expressions from Photographs", Computer Graphics (SIGGRAPH 98 Proceedings), pp. 75-84, 1998.
- [18] S. M. Platt and N. Badler, "Animating Facial Expressions", Computer Graphics, Vol. 15, No. 3, pp. 245-252, 1981.
- [19] C. Rose, B. Guenter, B. Bodenheimer and M. F. Cohen, "Efficient Generation of Motion Transitions using Spacetime Constraints", Computer Graphics Annual Conference Series (SIGGRAPH 96 Visual Proceedings), pp. 147-154, 1996.
- [20] C. T. Waite, The Facial Action Control Editor, Face: a Parametric Facial Expression Editor for Computer Generated Animation, Master Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts, 1990.
- [21] K. Waters, "A Muscle Model for Animating Three-Dimensional Facial Expression", Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, pp. 17-24, 1987.
- [22] A. Witkin and M. Kass, "Spacetime Constraints", Computer Graphics, Vol. 22, No. 4, pp. 159-168, 1988.

---

### 김 응 순



1981 고려대학교 학사  
 1981~현재 한국전자통신연구원 컴퓨터그래픽스 연구팀 팀장  
 1991~1993 일본 쓰쿠바대학 연구과장  
 1998~현재 한국컴퓨터그래픽스학회 총무이사  
 1999 고려대학교 석사(컴퓨터그래픽스 전공)  
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 멀티미디어

E-mail: woong@etri.re.kr

### 김 영 수



1994 서울대학교 지구과학과 학사  
 1995~현재 한국전자통신연구원 컴퓨터·소프트웨어기술연구소 연구원  
 1996 서울대학교 지구과학과 석사  
 관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 시뮬레이션

E-mail: forex@etri.re.kr

---