

## 가상 인물의 동작 제어

신 현 준\*, 이 제 희\*, 윤 여 천\*\*, 신 성 용\*  
\*한국과학기술 전산학과, \*\*KBS기술연구소

### 요약

가상 인물은 컴퓨터에 의해 합성된 가상적인 연기자로 최근 많은 영상물에 사용되어 대중에게 큰 호응을 얻고 있고 점차 그 활용 범위가 확대될 전망이다. 가상 인물의 동작은 가상 인물의 사실성을 좌우하기 때문에 자연스러운 동작을 보다 적은 노력으로 빠르게 만들기 위해 다양한 방법들이 연구되었다. 가상 인물의 동작의 기본이 되는 자세를 제어하기 위해 다관절체와 인체 변형 기법들이 제안되었다. 키프레임 보간법은 소수의 자세로 동작을 생성하고 역운동학을 이용하여 편리하게 동작을 제어할 수 있지만 사용자의 많은 노력과 시간을 요구한다. 대안으로 제시된 동력학 기반 동작 생성은 자연스러운 동작을 자동으로 생성할 수 있는 반면 사용자의 제어가 어렵다. 최근에 각광 받고 있는 연기 기반 방법은 실제 연기자의 동작을 가상 인물에 대입하여 빠르고 자연스러운 동작 생성을 가능하게 한다. 생성된 동작은 동작 혼합이나 전이의 방법으로 재사용된다. 가상 인물 스스로가 충돌을 검사하여 충돌을 피할 수 있는 경로를 계획하여 동작을 생성하게 하는 연구, 더 나아가서 가상 인물이 주변 상황을 파악하고 능동적으로 대처할 수 있게 하는 연구를 통해 가상 인물은 보다 실제 인간에 가까운 모습으로 발전하고 있다.

### 1. 머리말

가상 인물(virtual actor)은 컴퓨터에 의해 합성된 가상적인 연기자다. 컴퓨터 그래픽스 기술의 발달로 사실적인 가상 인물을 생성할 수 있게 되면서 많은 영상물에서 가상 인물을 접할 수 있게 되었다. 특히 삼차원 비디오 게임이나 영화, 광고 등에 사용되는 가상 인물이 그 좋은 예이다. Virtual사의 "Virtual Fighter"에서 사용되는 무사들이나 Walt Disney의 영화 "토이 스토리"(toy story)에 등장하는 사람 형태의 장난감들, 그리고 Pepsi사의 광고에 등장하는 가상 인물은 대중에게 큰

호응을 얻고 있다. 국내에서도 "아담" 등과 같은 사이버 가수가 등장 했으며 점차 그 활용 범위가 확대될 전망이다. 특히 방송 분야에서 가상 인물의 활용은 괄목 할만 하다. MiraLab에서 제작한 가상 Marilyn이 13개국 이상의 국가에서 방송됨으로써 가상 인물의 가능성을 확증한 바 있다. 영국의 BBC는 "Ratz"라는 만화 형태의 가상 인물을 사용하였고, 프랑스 ITV에서는 "Codsby"라는 물고기 모양의 가상 인물을 방송에 사용하여 좋은 반응을 얻은 바 있다. 현재 프랑스의 MediaLab에서는 "Donkey Kong"이라는 가상 고릴라를 TV시리즈에 등장시켰을 뿐만 아니라 "Burt the Fish", "Barz" 그리고 "Cleo" 등의 실시간으로 제어되는 가상 인물을 제작하여 방송에 사용하고 있다.

동작 생성이란 가상 인물이 움직이게 하기 위해서 동작을 지정해 주는 것이다. 즉 적절한 동작을 생성하여 가상 인물로 하여금 사용자가 원하는 행동을 하게 할 수 있다. 이런 과정을 통하여 가상 인물은 마치 실제 사람과 같이 말하고 움직일 수 있게 된다. 따라서 동작 생성은 가상 인물에 생명력을 불어 넣는 중요한 작업이라 할 수 있다.

가상 인물의 동작은 가상 인물의 사실적으로 보이게 하는데 매우 중요한 역할을 한다. 사람의 동작은 특정한 행위를 하기 위한 것 뿐만 아니라 의사 소통의 수단이 되기도 하고 감정 표현의 방법이 되기도 한다. 또한 사람의 성격이나 특성, 습관 등에 따라 미묘하게 변하기도 하기 때문에 사람의 동작은 매우 복잡하다. 따라서 일상 생활의 경험을 통해 사람의 동작에 익숙해진 대중들에게 자연스럽게 느껴지는 동작을 생성하는 일은 대단히 어려운 일이다.

사람의 동작은 다른 사물의 그것과는 비교할 수 없을 만큼 복잡하고 미묘하기 때문에 가상 인물의 제어를 위한 동작을 생성하는 기술은 컴퓨터 그래픽스의 중요한 연구 분야로 자리잡고 있다. 가상 인물의 동작을 생성하는 방법들에 있어서 중요하게 고려해야 할 부분은 크게 세가지로 요약 될 수 있다. 자연스러운 가상 인물의 동작을 생성하는 것이 가장 중요한 목표이

다. 실제 사람과 같은 착각을 불러일으킬 만큼 자연스러운 동작을 생성하여 가상 인물의 현실감을 높일 수 있기 때문이다.

가상 인물을 원하는 대로 정확히 동작시키는 것도 중요하다. 간단한 방법으로 가상 인물을 제어하여 사용자가 원하는 정확한 동작을 생성할 수 있어야 한다. 대화형 애니메이션 등에서 동작 생성의 속도는 매우 중요한 고려 대상이다. 특히 생방송등에 가상 인물이 적용 될 경우 실시간으로 가상 인물의 동작을 생성해야 한다.

자연스러운 동작을 보다 적은 노력으로 만들고 사용자가 원하는 정확한 동작을 빠른 시간에 생성하기 위한 많은 연구 결과들이 알려져 있다. 본고는 동작 생성을 위해 발표된 여러 가지 기술들을 소개한다. 2절에서는 동작 생성을 위해 기본적으로 가상 인물의 자세를 제어하는 과정을 설명한다. 3절에서는 자세를 연결하여 동작을 생성하는 것을 비롯하여 그 외에 자연스러운 동작을 쉽게 생성하기 위한 다양한 연구 결과들을 소개하고, 4절은 가상 인물과 주변 환경의 그리고 가상 인물간의 상호 작용을 다룬다.

## 2. 자세 제어 기법

가상 인물이 지정한 자세(posture)를 취하게 하는 과정을 자세 제어(posture control)이라고 한다. 가상 인물의 자세를 결정하기 위해서 모든 정점(vertex)이나 제어점(control point)을 일일이 원하는 자세가 되도록 변형시켜서 자세를 취하게 해야 한다면 그 과정은 가상 인물의 모델링(modeling) 작업 만큼이나 많은 작업량을 필요로 하게 된다. 따라서 보다 쉽게 자세를 생성하기 위해서 가상 인물의 단순화가 필요하다. 인체 모델의 자세를 제어하기 위해서 일반적으로 사용되는 단순화 방법이 다관절체(articulated body)다. 다관절체는 인체 모델이 관절로 연결된 골격에 의해 움직이는 것으로 보고 골격을 제어함으로써 가상 인물의 자세를 제어한다.

다관절체에 의해 자세를 조절하는 방법은 골격 생성과 운동학을 기반으로 한 골격 제어, 그리고 골격의 자세에 맞게 인체 모델을 변형하는 세가지 과정으로 이루어진다.

주어진 인체 모델에 대하여 골격의 개수와 각 골격의 위치, 길이 등을 지정하고, 각 골격의 연결 구조, 즉 관절 구조(joint structure)를 정의하는 과정을 골격 생성(skeleton modeling)이라 한다. 골격의 개수는 가상 인물의 특성이나 애니메이션의 성격에 따라 다양하게 결정할 수 있다. 부드럽고 다양한 자세를 취해야 하는 가상

인물의 경우 비교적 많은 관절과 골격을 필요로 하기 때문에 동시에 이들을 제어해야 하는 어려움이 따른다. 따라서 자세의 부드러움과 작업의 편리함 사이의 적절한 절충이 필요하다. Perin은 19개의 골격으로 이루어진 가상 인물을 사용하였다[Per95]. 또한, 세부수준(level of detail) 기법을 사용하여 여러 단계의 복잡도를 가진 관절 구조가 제시되었다[MB91, Bad95, GCB95]. Badler가 제안한 다단계 다관절체 구조의 "Jack"이란 가상 인물은 단순한 경우 12개의 골격을, 중간 단계에서는 19개의 골격을 가지며, 가장 복잡한 수준의 인체 모델은 골격 수가 69개에 달한다[Bad95]. 또한 인체의 특정 부분을 자세히 표현하기 위한 여러 가지 관절 구조가 연구되었다. Badler는 어깨를 쇄골과 어깨뼈로 나누어 표현했다[Bad92]. 그리고 상완의 위치와 방향에 따라 쇄골과 어깨뼈의 위치 관계를 조정하였다. Thalmann 등은 어깨의 움직임을 잘 나타내기 위해 회전뿐 아니라 수축도 가능한 관절을 사용했다[TT91]. Monheit와 Badler는 여러 개의 골격으로 이루어진 척추 모형을 사용하여 몸통이 부드럽게 움직이게 했다[MB91]. 그리고 Scheepers 등은 일반적으로 한 개로 단순화 되어 사용되는 팔의 골격을 해부학적 근거에 따라 두개로 구분하여 보다 자연스러운 팔의 움직임을 나타낼 수 있게 했다[SPMC96].

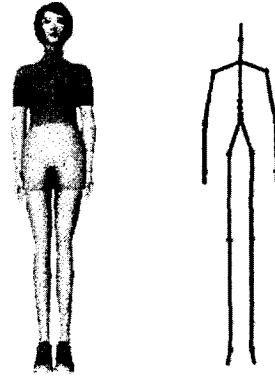


그림 1. 인체 모델과 골격 구조의 예

관절 구조는 골격들 상호간의 연결 상태를 지칭한다. 일반적으로 골격 구조는 몸통을 최상위로 하고, 몸통에서 팔, 다리, 그리고 머리로 뻗어나가는 트리 형태의 연결 구조를 갖는다. 실제 인체 관절은 회전하는 방향과 운동 범위에 제한이 있다.

각 관절이 움직일 수 있는 방향은 관절의 자유도(degree of freedom)로 정의된다. 해부학적으로는 어깨나 척추, 발목, 고관절 등은 세 개의 자유도를 가지며 팔꿈

치, 손목은 두개, 무릎은 한 개의 자유도를 가진다. 물론 Perlin과 같이 모든 관절을 세 방향으로 모두 움직이는 것으로 관절을 정의하는 경우도 있지만[Per95], Badler와 같이 각 관절의 자유도를 적절히 제한하는 것이 일반적이다[Bad95]. 관절의 운동 범위는 각 자유도에 대하여 관절이 움직일 수 있는 각(angle)의 한계를 지정하여 결정한다. 이와 같이 관절의 운동에 제한을 줌으로써 가상 인물이 실제 인간이 할 수 없는 부자연스러운 자세를 취하는 것을 방지할 수 있다. 다관절체로 단순화 된 인체 모델은 운동학(kinematics)을 응용하여 자세를 제어할 수 있다. 상위 골격에 대한 골격의 상대적인 각도를 관절각(joint angle)이라고 한다. 운동학은 하나의 관절각을 조절할 때 골격의 길이와 관절의 연결 상태의 유지에 따른 나머지 골격의 움직임을 계산하기 위해 사용된다. 예를 들면 어깨의 관절각을 조절하면 팔 전체가 따라서 움직이도록 팔의 각 부분의 골격의 위치를 계산하는 것이다. 즉, 골격의 각 부분의 위치와 방향을 조절하는 대신 각 관절의 관절각을 조절하여 가상 인물의 자세를 지정할 수 있다.

골격의 자세에 따라 인체 모델의 피부의 변형을 다루는 인체 변형 기법(human body deformation)은 이미 독립된 연구 분야로 정착될 만큼 많은 연구가 진행되어 왔다. 인체 모델에 골격의 자세를 대입하는 일반적인 방법에는 중첩되는 관절을 이용한 강체(rigid body) 방법, 관절 부분만을 변형하는 국지적 변형(local deformation), 그리고 근육을 고려한 변형(muscle deformation) 등이 있다. 자세 대입에 강체를 이용하기 위해서는 골격의 움직임에 따라 인체 모델이 움직일 수 있도록 각 부분을 조각(segment)으로 분리하여 모델링 한다. 그리고 골격의 위치와 방향이 주어지면 인체 모델의 각 조각을 골격과 같은 위치와 방향을 반영하도록 변환(transformation)한다. 이때 각 관절은 연결되는 부분은 중첩 되게 함으로써 관절각이 변해도 관절이 연결되어 있는 것처럼 보이게 한다. 중첩되는 관절에 의한 강체 모델은 강체에 대한 간단한 변환을 사용하기 때문에 효율적으로 인체 모델에 자세를 대입할 수 있다. 하지만 관절각이 임의로 변할 경우에도 중첩되는 관절을 자연스럽게 보이도록 인체를 모델링 하는 매우 어렵다. 따라서 인체 전체를 한 조각(one skin model)으로 모델링하고 관절 부분을 여러 가지 방법을 이용하여 국지적으로 변형하기도 한다. Thalmann 등은 손으로 물체를 잡는 동작을 생성할 때 손가락 마디를 변형하여 자연스러운 손의 모습을 만들었다[TLT88]. Singh는 관절 부분의 다면체를 내재 함수(implicit function)로 임베딩(embedding)하여 그럴듯한 관절의 모습을 얻었다[Sin95].

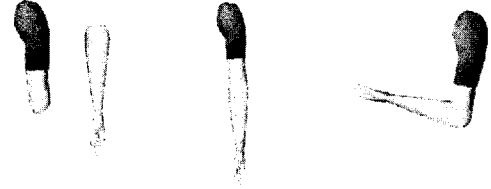


그림 2. 강체 모델 및 중첩되는 관절

관절만을 변형해서는 역동적으로 변하는 인체를 잘 표현할 수 없다. 인체가 움직일 때 골격에 붙어있는 근육의 수축, 확장이 일어나고 변형된 근육의 모양에 따라서 피부가 변형된다. 이런 사실에 근거하여 근육의 움직임을 피부에 적용하여 인체의 관절 이외의 부분도 자연스럽게 변형할 수 있다. Chadwick등은 골격의 자세로부터 근육의 모양을 근사적으로 계산하고 자유 변형 기법을 이용하여 다면체로 표현된 피부를 변형시켰다[CHP89].

보다 정밀한 근육의 움직임을 계산하기 위해서 Chen과 Zeltzer는 유한요소법(finite element method)을 이용하여 근육을 표현하고 변형의 결과를 얻었다[CZ92]. Schpeepers나 Wilhelms등은 정밀하게 근육을 변형시키기 위해 해부학적 지식을 사용하여 근육을 나타내고 그 결과를 바탕으로 피부의 형태를 만들어냈다[SFCM97, WG97].

다면체로 표현된 인체 모델을 변형하면 다면체가 조밀한(dense) 부분과 성긴(sparse) 부분의 분포가 바뀌게 된다. 따라서 다면체의 분포에 따라서 변형된 인체 모델에 거친 부분이 나타날 수 있다.

그렇다고 다면체를 전반적으로 조밀하게 하여 이런 문제를 해결 한다면 변형 과정의 계산량이 많아진다는 또 다른 문제가 발생한다. 따라서 부드러운 변형을 위해 인체 모델을 다면체 대신 변형하기 쉬운 개체(primitive)들로 모델링하여 사용하는 근육 변형이 연구되었다. Nahas 등은 매개 변수 곡면으로 인체를 모델링하고 제어점(control point)을 조정하여 변형하였다[NHS88]. Henne와 Singh는 인체 모델을 내재 함수로 구성하고 이들의 배치와 크기를 조절함으로써 자연스러운 근육들의 모양을 얻어냈다[Hen90, Sig95]. 매개 곡면이나 내재 함수는 그의 특성상 인체 모델링 과정에서 흔히 사용하는 다면체보다 부드러운 변형 결과를 얻을 수 있지만 다수의 모델러(modeler)에게 익숙한 다면체에 비해 모델링이 자유롭지 못하고 렌더링(rendering)에 많은 시간이 걸린다는 한계가 있다.

사람의 동작은 근본적으로 어느 한 자세에서 다른 자세를 취하기 위해 움직이는 것이다. 따라서 사람이 많이 취하는 자세들로부터 기본 자세를 추출하고, 각각

기본 자세에서 다른 기본 자세로 바꾸기 위한 일련의 자세 전이 과정을 그래프(graph)로 모델링하여, 동작 생성에 이용할 수 있다. 기본 자세를 정점(node)으로 하고 직접 전환이 가능한 자세들간의 관계를 에지(edge)로 하여 자세 전이를 그래프(motion transition graph)로 표현할 수 있다. 이 그래프로부터 한 자세에서 다른 자세로 움직일 때 거쳐야 하는 중간 자세를 최소 경로 알고리즘과 같은 그래프 탐색 방법을 이용하여 얻는다.

예를 들면 누워있는 자세에서 서있는 자세로 변화하기 위해서 앉아 있는 자세를 거쳐야 한다는 것을 자세 전이 그래프에 의해 쉽게 찾아낼 수 있다.

따라서 보다 빠른 속도로 자세 사이의 변환 과정을 생성할 수 있다[BBG94, GCB95].

### 3. 동작 생성 기법

가상 인물의 동작은 매 순간의 자세를 제어하고 이를 연속적으로 연결하여 생성한다. 모든 프레임의 자세를 일일이 제어하여 동작을 생성하는 것은 많은 작업량을 요구한다. 또한 연속되는 두 프레임 사이의 시간 간격이 짧기 때문에 매우 조금씩 자세를 변화 시켜야 한다. 이런 자세의 작은 변화들을 통해 부드러운 전체 동작을 생성하기 위해서는 많은 노력과 시간이 요구된다. 본 절에서는 중요한 몇 개의 자세만을 지정하여 동작을 생성하는 키 프레임 보간법과 자연스러운 동작을 생성하기 위해서 물리학을 적용하는 방법, 그리고 더 나아가서 실제 사람의 동작을 그대로 참조하여 사용하는 동작 포착 기반 동작 생성 기법을 설명한다. 그리고 생성된 동작들을 혼합하거나 연결하여 복잡한 동작을 생성하는 과정을 설명한다.

#### 3.1 키프레임 보간법 및 역운동학

만화 영화를 제작하는데 있어서 등장 인물의 동작을 매 프레임 그리기 위해서는 많은 비용이 필요하다. 만화 영화 제작사들은 인물의 전체 동작 중 소수의 프레임만이 동작을 결정하는 중요한 역할을 하고, 나머지 프레임은 이 중요한 프레임을 바탕으로 쉽게 그릴 수 있다는 점에 착안했다. 즉 비용이 비싼 원화 작가는 몇 개의 중요한 프레임(keyframe)을 그리고, 비교적 간단한 동화 작업은 비용이 싼 동화 작가가 그리게 함으로써 보다 적은 비용으로 애니메이션을 제작한다.

이런 방법은 삼차원 애니메이션에 그대로 적용되었다. 키프레임 애니메이션(keyframe animation) 기법은 모든 프레임의 자세를 결정하는 대신 몇 개의 중요한

프레임, 즉 키프레임을 사용자가 설정하고, 나머지 부분은 컴퓨터에 의해 보간하여 작업량을 크게 줄인다[GCB95]. 가상 인물 애니메이션에서 키프레임은 연속된 동작 중 그 동작을 잘 나타내는 몇 개의 자세와 그 자세가 나타나야 할 시간으로 정의된다. 따라서 사용자는 몇 개의 중요한 자세를 지정함으로써 동작의 모양을 결정하고, 각 자세에 대한 시간을 지정하여 동작의 속도를 제어할 수 있다.

주어진 키프레임 사이의 자세는 일반적으로 다관절체의 관절각과 중심(root)의 위치를 보간하여 생성한다. 중심 위치를 보간하기 위하여 삼차원 곡선 보간법(interpolation curve)을 사용한다. 관절각을 나타내는 데는 중심의 위치와는 달리 여러 가지 표현(representation)이 사용되고, 이에 따라서 보간법도 달라진다. 대표적인 관절각 표현법인 오일러 각(Euler angle)의 경우 일반적으로 세 개의 축에 대한 각도를 각각 보간 하는 방법이 사용된다. 이 경우, 오일러 각이 가지는 성질에 의해 특이성(singularity)이 발생한다[Stu64]. 이런 문제를 해결하기 위해 최근에는 관절각을 단위 쿼터니온(unit quaternion)으로 표현하고, 단위 쿼터니온 보간법을 이용하여 곡선으로 보간한다[Sho85]. 키프레임의 모든 관절각을 지정하는 방법은 사용자가 원하는 동작을 정확하게 만들 수 있지만, 모든 관절각을 지정해야 하는 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다.

가상 인물의 모든 관절각을 지정하는 불편함을 줄이기 위하여 역운동학(inverse kinematics)을 응용한다. 가상 인물이 손으로 물체를 잡는 경우나, 정해진 발자국을 따라서 걷는 경우 등과 같이 가상 인물의 동작을 결정하는데 있어서 손, 발의 위치가 지정되어야 할 경우가 빈번히 나타난다. 역운동학을 이용하여 손과 발 같은 말단(end effector)의 위치와 방향이 지정되었을 때, 인체의 나머지 부분의 관절의 움직임을 계산할 수 있다[WW92]. 비교적 가까이 물체를 잡는 경우 어깨와 팔의 관절을 움직이는 것으로 충분하지만, 비교적 멀리 있는 물체를 잡기 위해서는 허리를 움직여야 하는 경우가 생긴다. 따라서 목표에 만족하기 위해서 동원되어야 하는 관절의 범위는 상황에 맞게 선택 된다. 인체 모델의 경우 결정해야 하는 관절들의 자유도(degree of freedom)가 조건의 자유도보다 많기 때문에 목표를 만족하는 관절의 움직임은 유일하게 정해지지 않는다. Girard 등은 각 관절이 움직일 때 말단이 움직이는 방향과 크기(Jacobian)를 계산하고, 말단이 목표에 가까워지는 방향으로 관절을 조금씩 움직여서 자세를 생성하는 방법을 제안했다[GM85]. Gleicher 등은 역운동학을 이용해서 자세를 제어하기 위해 최적화 기법을 사용했다[GW91]. 즉 실제 가상 인물의 말단과 조건으로 주어진 말단의 위치 및 방향 차이를 목적 함수(objective

function)로 하고, 목적 함수를 최소화(minimization)하는 관절각을 구함으로써 조건을 만족하는 자세를 생성한다. 뿐만 아니라 관절의 운동 범위에 제한하여 인간이라는 특성을 고려하였다.

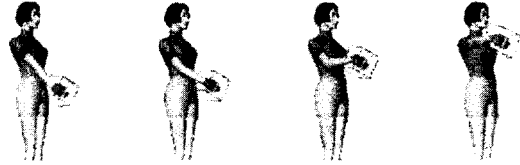


그림 3. 역운동학을 이용한 동작 제어의 예

Boulic 등은 가상 인물의 걷는 동작을 생성하기 위해 사람의 동작을 통계적으로 분석하고 임의의 보폭이나 속도가 주어졌을 때 관절각의 궤적을 생성하는 방법을 제안했다[BTT90]. Ko 등은 임의의 방향으로 걷기 위한 동작을 생성하고 이들을 이용하여 주어진 경로를 따라가는 걸음 걸이를 생성하는 방법을 개발했다[KB93]. Bruderlin 등은 걸음 걸이를 조절하는 여러 가지 변수를 두어지면 걷거나 뛰는 동작에 있어서 중요한 키프레임을 생성하고 이를 보간하여 동작을 생성하는 방법을 사용하였다[BC89].

### 3.2 동력학 기반 생성 기법

키프레임 보간법이나 역운동학 등은 자연스러운 동작을 생성하기 위해 사용자가 많은 노력을 해야 한다. 특히 이와 같은 방법으로 물리학적으로 정확한 자연스러운 동작을 생성하는 것은 매우 많은 노력과 시간이 요구된다. 실제 물체들이 모두가 역학 법칙의 지배를 받는다는 사실에 착안하여 역학 법칙에 따라 동작을 자동으로 생성하는 동력학 기반 동작 생성 기법(dynamics-based animation)이 제안되었다. 여기서는 물체에 작용하는 힘, 즉 중력과 물체들 간의 충돌에 의한 반발력(impact), 다관절체 관절에서 발생하는 자발적인 토크(self actuating torque) 등에 따른 물체의 속도 변화를 계산하고, 그 결과 물체의 동작을 자동으로 생성한다[BW76].

동력학 기반 동작 생성 기법은 매우 자연스러운 동작을 생성할 수 있다. 하지만 가상 인물을 원하는 대로 정확하게 제어하기 힘들다. 따라서 역학적으로 자연스러운 동작을 사용자의 의도에 따라 쉽게 조절하기 위해 시공간 제어(spacetime control) 기법이 도입되었다. 시공간 제어는 동작 초기 상태와 목표가 주어졌을 때 목표를 만족하기 위한 토크를 계산하여 동작을 생성하는 방법이다. Witkin 등은 가상 인물이 동작을 취했을

때 그 동작이 목표를 만족시키는 정도를 동작의 함수로 표현하고 이 함수를 최소화 하여 동작을 생성했다[WK88]. Cohen은 목적 함수와 제한 조건을 사용자가 대화형으로 조절함으로써 편리한 동작 생성이 가능하게 했다[Coh92]. Liu 등은 Cohen의 결과를 더욱 발전시켜서 계층적 웨이블릿(hierarchical wavelet)을 사용하여 계층적인 목적 함수를 설정하여 보다 편리하게 동작을 제어할 수 있게 했다[LGC94]. 하지만 시공간 제어는 사용자가 지정한 목표를 만족하는 토크를 생성하는데 기본적으로 최적화 기법을 사용하기 때문에 상당히 많은 계산량을 필요로 한다.

관절에서 발생하는 토크를 자동으로 생성하기 위해 Hodgins 등은 실제 사람들의 동작을 관찰하여 몇 개의 동작에 대하여 시간에 따른 각 관절의 토크를 인위적으로 수식화 하였다[HWBO95]. 또한 수식화 된 관절의 토크를 기하학적 특성이나 역학적 특성이 다른 가상 인물에 적용하기 위해 변경하는 방법을 제안했다[HP97]. Kurii 등은 역동역학(inverse dynamics)을 이용하여 실제 연기자의 동작을 해석하여 토크를 생성하고 이를 적절히 수정하여 동력학 기반 동작 생성에 사용했다[KS90].

동력학 기반 동작 생성 기법이나 시공간 조절 기법은 자체적으로 많은 계산량을 필요로 하는 역학적 모의 실험(dynamic simulation)과정을 거쳐야 하기 때문에 많은 시간이 소요되는 기법이다. 뿐만 아니라 사람의 감정이나 특성에 따른 미묘한 차이를 나타내기 어렵고 사용자가 원하는 정확한 동작을 생성하기 힘들다는 단점이 있다. 동작의 자연스러움을 잃지 않고 빠른 시간에 사용자가 원하는 동작을 정확히 얻어내기 위하여 연기 기반 동작 생성 기법이 등장했다.

### 3.3 연기 기반 생성 기법

연기 기반 애니메이션(performance-based animation) 기법은 실제 연기자(puppeteer)의 동작을 가상 인물이 적용함으로써 가상 인물의 동작을 생성한다[WP95]. 이 방법은 실제 연기자가 동작을 취하기 때문에 사용자는 원하는 동작을 정확히 얻을 수 있다. 또한 사람의 동작을 사용하기 때문에 다른 방법에 비해 사람다운 자연스러운 동작을 생성할 수 있다. 실제 연기자의 동작을 빠르고 정확하게 포착하기 위해서 이미 생체역학(bio-mechanics)분야나, 전투기의 조준(targeting)에 사용되던 동작 포착 장비가 도입되었다. 동작 포착 장비는 크게 보철 기구(prosthetics), 광학적 장비(optical device), 전자 기적 장비(electromagnetic device) 등이 있다. 보철 기구는 관절에 붙여서 분압기(potentiometer) 등을 통해 관절 각을 직접 얻는 장비이다. 광학적 장비는 실제 연기자

의 신체 중 동작을 잘 드러내는 몇 부분에 카메라로 판별하기 쉬운 색상의 표시(marker)를 붙이고 연기자가 움직이면 몇 개의 카메라로 그 영상을 포착, 해석하여 각 표시의 3차원적인 좌표를 얻는다. 전자기적 장비는 세 축 방향으로 전자기장을 방출하는 발신기(transmitter)와 전자기장을 수신하여 위치와 방향을 감지하는 센서(sensor)로 이루어진다. 이 장치는 센서를 인체의 주요한 부위에 부착하고 센서의 위치와 방향을 얻어 연기자의 동작을 획득한다.

포착된 동작은 여러 방법에 의해 가상인물에 대입된다. Badler 등은 4개의 센서를 사용하여 가상 인물 동작 제어에 필요한 정보를 얻었다[BHG93]. 그는 먼저 손과 발의 위치와 방향을 센서로부터 입력 받고 나머지 관절각은 역운동학을 이용하여 계산했다. 이런 방법은 말단의 위치를 정확하게 따르는 동작을 생성할 수 있지만, 나머지 관절들이 자연스럽게 않은 경우가 발생하기 쉽다. Molet 등은 14개의 센서를 인체의 주요 부분에 부착하여 각 부분의 방향 정보를 얻고 관절 구조에 따라 관절각을 계산했다. 또한 척추와 같이 많은 수의 골격이 분포하는 부분에 대해서는 보간을 통하여 관절각을 구했다[MBT96]. 이런 방법은 인체의 모든 부분의 동작을 그대로 대입하기 때문에 비교적 자연스러운 동작을 얻을 수 있지만 실제 인물과 가상 인물의 골격의 크기가 다를 때 오차의 누적(error propagation)에 의해 말단의 위치가 심하게 변할 수 있고, 따라서 발이 미끄러지는 현상등이 발생한다. Bodenheimer 등은 8개의 센서의 방향 정보와 위치 정보를 입력 받아 해석적(analytic)인 방법으로 각 관절의 관절각과 위치를 계산하고, 그 결과를 최적화 기법을 이용하여 가상 인물에 잘 맞는 동작으로 변형하여 가상 인물에 대입했다[BRRP97]. 이런 방법은 실제 연기자와 가상 인물의 생김새가 약간 다르더라도 매우 자연스럽게 동작을 대입할 수 있다는 장점을 가진다. 하지만, 계산량이 많기 때문에 실시간 동작 생성에 사용하기 힘들다.

동작 포착에 의해서 생성된 실제 연기자의 동작을 애니메이션에 사용하는 방법에는 크게 실시간으로 동작 포착의 결과를 가상 인물에 대입하는 온라인(online) 방법과 포착된 동작을 저장하여 사용하는 방법으로 구분된다. 온라인으로 동작을 대입하는 경우에는 적절한 잡음 제거 과정을 이용하여 실시간으로 동작을 생성할 수 있기 때문에 생방송에 등장하는 가상 인물의 경우처럼 실시간 대화형(real-time interactive) 애니메이션에 사용될 수 있다. 동작을 저장하고 필요한 동작을 연결하여 사용하는 방법은 포착된 동작에 목적에 따라 인위적인 수정을 가할 수 있기 때문에 보다 질 좋은 동작을 생성하는 것이 가능하다. 포착된 동작을 수정하기 위해 운동학이나 역운동학 등에 의한 각 프

레이의 자세를 수정하거나 특정한 순간에 가상 인물의 자세를 지정하고 포착된 동작이 이를 만족하도록 부드럽게 변화 시키는 동작 변형(motion warping) 기법을 사용할 수 있다[WP95]. 더 나아가서 신호처리에서 사용되는 기법들을 이용하여 동작의 성격(characteristic)을 변화 시키기도 한다[BW95, UAT95].

동작 포착은 가상 인물과 실제 연기자의 생김새가 심하게 다를 경우 자가 충돌(self-collision)이나 발의 미끄러짐(slicing) 등의 문제가 발생할 수 있다. 따라서 일반적으로 가상 인물을 실제 연기자로 제한하거나 실제 연기자의 동작을 제한하여야 한다. 또한 실제 연기자가 원하는 동작을 해야 하기 때문에 사람이 할 수 없는 동작은 생성할 수 없다는 한계가 있다. 이런 단점들을 극복하기 위해 동작을 변형하여 임의의 가상 인물에 대입하는 방법이나 동작을 과장 혹은 완화 시키는 방법이 활발히 연구되고 있다.



그림 4. 연기 기반으로 생성된 동작의 한 장면

### 3.4 동작의 혼합과 전이

동작 생성 과정의 생산성을 높이기 위해 키프레임 보간법, 동력학적인 방법, 혹은 동작 포착 방법등에 의해 동작들을 미리 생성하여 동작 라이브러리(motion library)에 저장하고 필요한 시점에서 원하는 동작들을 선택하여 사용할 수 있다[Pat95, WP95]. 동작 라이브러리를 이용하면 잘 만들어진 동작을 필요할 때 재사용할 수 있다. 또한 이미 만들어진 동작을 선택해서 사용하기 때문에 짧은 시간으로 동작을 생성할 수 있다. 하지만, 동작 라이브러리에 포함되는 동작의 길이와 종류에는 한계가 있다. 무수히 많은 가상 인물의 동작을 모두 라이브러리에 포함시킬 수 없기 때문에 그 활용에 제한을 받는다. 따라서 몇 개의 동작을 연결하거나 혼합하여 보다 다양한 동작을 생성한다. 두개 이상의 동

작의 혼합하는 방법을 동작 혼합(motion blending)이라고 하고, 두개의 동작 사이를 연결하기 위해 새로운 동작을 추가하는 방법을 동작 전이(motion transition)라 한다.

동작 혼합은 두개 이상의 동작을 혼합하여 새로운 동작을 생성하는 과정이다. Bruderlin 등은 가상 인물의 동작을 혼합하기 위해서 동적 시간 변형(dynamic time warping)과 동작 신호 처리(motion signal processing) 기법을 이용했다[BW95]. 그는 각 관절각을 다중 해상도로 분해하고 각각의 성분을 적당한 비율로 혼합하여 다양한 동작을 새로 생성해 냈다. 또, 혼합하고자 하는 두개의 동작이 반복적인 동작일 때 두 동작 사이의 주기를 일치시키기 위해서 동적 시간 변형을 사용했다. Unuma 등은 동작들을 푸리에 변환(Fourier transform)을 이용하여 주파수 영역으로 변환하고 이를 혼합하여 감정 상태가 다른 두 동작을 자연스럽게 혼합하는 방법을 제안했다[UAT95]. 동작 혼합 기법을 동작 변형에 사용한 경우도 있다. Witkin 등은 동작 라이브러리의 동작을 변형하기 위해서 원래 동작에 사용자가 기술한 동작을 혼합하여 부드러운 동작을 재생산 했다[WP95].

동작의 전이는 두개의 동작 사이를 연결하는 동작을 삽입하여 동작들이 부드럽게 연결되게 하는 것이다. Rose 등은 동작 사이의 자연스러운 중간 동작을 생성하기 위해서 역운동학과 시공간 제어 기법을 이용했다[RGBC96]. 이를 위하여 먼저 바닥을 딛고 있는 발과 같이 두 동작 사이에 움직이지 않아야 할 말단을 사용자가 결정해야 한다. 말단의 위치가 고정되면 앞 동작의 마지막을 초기 상태로 하고 뒤 동작의 처음 상태를 목표로 하는 시공간 제어 기법을 적용하여 중간 동작을 생성한다. 생성된 중간 동작은 말단의 위치를 유지하기 위해서 역운동학을 이용하여 조정된다. 이 방법은 역학적으로 자연스럽게 단절이 없는 부드러운 연결 동작을 생성할 수 있다. 하지만 계산량이 많고 사용자의 개입이 필요하기 때문에 실시간으로 동작 라이브러리를 참조하여 동작을 생성해야 하는 경우에는 사용할 수 없다.

#### 4. 상호 작용 및 능동적 가상 인물

가상 인물의 동작을 생성하는데 있어서 가상 인물과 주변 물체들 간의 상호 작용을 고려하기 위한 충돌 검사 및 충돌 회피는 영상의 사실성을 향상 시키는데 중요한 역할을 한다. 예를 들어, 가상 인물로 하여금 물체를 집어 들게 하기 위해서는 충돌 검사를 통해 손과 물체가 접하는 점 등을 계산할 필요가 있다. 또한, 실제계의 사용자에게 의해 움직이는 수동적 가상 인물과 달리 스스로 주변 환경과 상황에 능동적으로 대처해야

하는 능동적 가상 인물에 있어서는 충돌 검사 및 충돌 회피 이외에 보다 복잡한 형태의 반응을 기술하는 행동 양식이 요구되며, 그에 따른 동작 계획도 필요하다.

##### 4.1 충돌 검사

충돌 검사는 크게 정지한 물체들 간의 충돌 검사와 움직이는 물체들 간의 충돌 검사로 나뉘어진다. 정지한 두 다면체간의 충돌을 효율적으로 검사하기 위한 시도로서 계층적 경계구(hierarchical bounding sphere)와 방향성 경계상자(oriented bounding box)를 사용한 방법들이 제시되었다[Hub95, Hub96, GLM96]. 이들은 각 다면체를 구성하는 다각형들을 충돌 검사가 비교적 용이한 구나 직육면체 등을 이용하여 계층적으로 표현함으로써 서로 다른 물체에 속하는 다각형 쌍들 간의 교차 검사 횟수를 줄인다. 특히, Hubbard는 구 트리(sphere tree)를 이용하여 다면체를 근사하여 실시간 충돌 검사에 적합한 근사적 충돌 검사 기법을 개발하였다[Hub96]. 또한 한 다면체를 계층적으로 표현하는 것과 같은 맥락으로 다면체들 전체를 옥트리(octree) 및 계층적 경계상자(hierarchical bounding box)를 이용하여 계층적으로 표현함으로써 여러 다면체들 간의 충돌을 효율적으로 검사하는 방법들도 제시되었다[MW88, OB79, WG92]. 움직이는 물체 사이의 충돌 검사는 시간을 증가 시키는 기법(time incremental technique)과 근을 찾는 기법(root finding technique) 두 가지로 나뉘어진다. 먼저, 시간을 증가 시키는 기법은 물체들이 움직이는 궤적을 모르는 경우에 정해진 시간 간격만큼 시간을 증가 시켜가며 매 순간 물체들의 교차 여부를 판단한다. 이때, 단순히 정지한 물체들 간의 충돌 검사를 사용하여 교차 여부를 판단 할 수도 있으나, 두 물체 사이의 거리를 계산하여 교차 여부를 판단하고 이를 다음 순간의 교차 검사에 보다 효율적으로 사용할 수도 있다[GF90, GJK88, HS88]. 이와 달리, 물체의 궤적이 미리 알려져 있는 경우에는 궤적에 관한 식을 세우고 그 해를 구하여 두 물체 사이의 교차점을 찾을 수 있다. 이 기법은 시간 간격에 상관 없이 정밀하게 충돌점을 찾을 수 있는 반면, 많은 계산 시간을 요구하는 단점도 있다. Boyse는 단순히 이동만 하거나 회전만 하는 물체에 대해서, Canny는 단위 쿼터니온을 사용하여 회전하면서 이동하는 물체에 대해서, Barford는 선형 기법을 사용하여 이동만 하는 물체에 대해서 식을 세우고 그 해를 구하였다[Bar89, Boy79, Can86]. 물체의 궤적을 선형 경로 선분으로 근사하여 4차원 시공간 문제로 변환하는 방법과 3차 곡선으로 근사하여 6차식을 세우는 방법도 각각 Camerson과 Kwabe 등에 의해 제시되었다[Cam85, KOS88].

#### 4.2 충돌 회피

충돌을 회피하기 위해 널리 사용되는 방법으로는 시각에 기반한 충돌 회피와 전위장 기반의 충돌 회피가 있다. 먼저, 시각에 기반한 충돌 회피는 사람들이 주변 물체들과 충돌하지 않기 위해서 시각을 이용하여 주변 장애물들을 인식하고 충돌 가능성이 있는 물체들을 회피한다는 점에 착안하여, 가상 인물 주위에 있는 물체들을 가상 시각(synthetic vision)을 이용하여 인식하고 충돌 가능성이 있는 물체를 판별한 후, 판별된 물체와 가상 인물의 위치 관계, 가상 인물의 진행 방향 및 진행 속도 등을 고려하여 충돌을 회피하기 위한 휴리스틱(heuristic)을 적용한다. 가상 시각에 기반한 충돌 회피는 주로 가상 인물의 보행 경로나 인공 동물들의 이동 경로를 생성하기 위해 사용된다. 하지만, 휴리스틱을 사용하기 때문에 실제로 충돌 회피가 가능하더라도 실패할 수 있다. Thalmann 등은 각각의 물체에 고유번호(ID)를 할당한 다음 가상 인물의 시점에서 그래픽스 하드웨어를 통해 물체들을 렌더링하여 가상 인물의 진행을 방해하는 물체들을 식별하고, 복도로 이루어진 건물 내부와 같은 제한된 환경에서의 장애물 회피 휴리스틱을 적용하여 충돌 없는 국지적 경로를 생성하였다 [RTT90]. Reynolds와 Terzopolus 등도 유사한 방법으로 새나 물고기 등의 시각에서 물체들을 식별하고 그에 따른 충돌 회피 휴리스틱을 적용하였다 [Rey87, Rey93, TT94].

전위장 기반의 방법들은 장애물이 형성하는 가상적인 척력(repulsive force)에 의해 가상 인물과 장애물 사이의 충돌을 방지한다. 장애물들의 척력은 가상 인물의 국지적 목표 지점에서 작용하는 가상적인 인력과 함께 가상 인물에 작용하는 에너지 전위장(energy potential field)을 형성한다. 에너지 전위장의 변화가 가장 급격한 방향을 따라 가상 인물을 이동 시켜 가면, 장애물의 척력에 의해 장애물과의 충돌 없이 목표 지점에서의 인력에 의해 목표 지점에 도달한다. 전위장에 기반한 충돌 회피는 사람이 장애물로부터 멀리 떨어지려는 성향을 직관적으로 반영한다. 하지만 에너지 전위장의 극소값(local minima)에 의해 가상 인물의 동작이 멈추게 되는 현상이 발생할 수 있다.

Ko 등은 전위장에 기반한 국지적 경로 계획 기법을 제시 하였다. 이 기법에서는 목표 지점 이외에 가상 인물이 우호적으로 생각하는 물체에서도 인력이 작용하게 하였다. 또한, 여러 가상 인물들이 이동하는 경우에는 각각의 가상 인물이 다른 가상 인물들을 좋아하는가, 혐오하는가에 따라 인력과 척력을 작용할 수 있게 하였다. 따라서 가상 인물들은 혐오하는 물체를 회피하며 우호적인 물체 근처를 지나 목표 지점에 도달한다

[RKBB94]. 한편, Badler 등은 두개의 인체 자세가 주어질 때 주변 장애물들과 충돌 하지 않고 두 자세를 보간하는 포즈들을 만들기 위하여 충돌을 고려하지 않고 인체의 자세를 보간한 후, 장애물과 교차하는 포즈들에 대해서 장애물의 척력에 의해 관절각이 최소로 변하며 장애물과 충돌하지 않는 포즈를 만들었다[BGG94]. Reynolds는 전위장을 사용하여 새 떼 등의 애니메이션에서 각각의 새가 주변 장애물들이나 다른 새들과의 충돌을 피하게 할 수 있음을 시사하였다[Rey87].

#### 4.3 동작 계획

시작 위치에서 목표 위치까지 이동하는 동안 장애물들과 충돌하지 않는 동작을 생성하기 위한 동작 계획은 로보틱스 및 계산 기하학 분야에서 지난 수십 여년간 활발히 연구되어왔다[Lat91]. 충돌 회피가 긴박한 충돌을 피하기 위하여 주변 장애물들만을 살피는데 반하여, 동작 계획은 목표 위치에 도달하는 충돌 없는 경로를 구하기 위하여 장애물들 전체를 고려한다. 따라서, 동작 계획은 충돌 회피에 비하여 상대적으로 복잡하고, 빈번한 충돌 검사에 의해 많은 시간을 요구한다. 동작 계획은 본질적으로 가상 인물의 자유도와 장애물들 사이의 관계를 기술하는 C-공간(configuration space)에서 이루어진다. 예를 들어 가상 인물의 팔 동작을 계획하는 경우 팔에 있는 모든 관절각들은 팔의 C-공간을 구성하고, 주변 장애물들과 교차하는 팔의 관절각들은 C-공간 장애물(configuration space obstacle)이 된다. 따라서, 동작 계획 문제는 시작 위치와 목표 위치를 연결하며 C-공간 장애물을 지나지 않는 경로를 찾는 문제이다.

Thalmann 등은 국지적 내비게이션(local navigation)을 통해 충돌 없는 C-공간을 이산적으로 구한 후, A\* 등의 탐색으로 시작 위치에서 목표 위치로 충돌 없이 이동하는 전역적 내비게이션(global navigation)을 제안 하였다[NRTT95]. 이들은 탐색 속도를 빠르게 하기 위하여 평면에서 이동하는 가상 인물의 방향을 고려하지 않고 단지 위치만 고려하는 2차원 C-공간을 구성하였다. Ko 등도 가상 인물의 위치만으로 구성된 2차원 C-공간을 균일하게 분할한 후, 전위장에 기반하여 보행 경로를 계획하였다[RKBB94]. 2차원 이산 C-공간에서의 경로 계획은 게임 등에서도 널리 사용된다. 평면에서 가상 인물의 위치만 고려하는 보행 경로 계획과 달리, 다관절체로 표현된 가상 인물의 동작 계획은 다차원 C-공간에서 충돌 없는 경로를 찾아야 한다. 다차원 경로 계획을 위한 일반적인 알고리즘들이 제시 되었지만, 차원이 증가하면 계산 시간은 기하급수적으로 증가하기 때문에 C-공간의 차원이 5이상이면 너무 많은 시



간을 요구하여 사실상 계산이 불가능하다. 따라서, 자유도가 매우 높은 가상 인물의 동작 계획에 이들을 적용할 수 없다[Lat91, KKKL94].

Badler 등은 다관절체의 자유도(DOF)를 한꺼번에 모두 고려하는 대신, 인체의 특성을 감안하여 C-공간 그룹(C-space group)으로 분할하고 그들 간의 순서를 결정 후, 순서에 따라 그룹을 하나씩 늘려가며 경로를 계획하였다[CE92, BPW93]. 이때, 매 단계에서는 이전 단계에서 찾은 경로를 바탕으로 현재 고려할 그룹에 대한 이산 C-공간을 구성하고 A\* 탐색 기법을 적용하여 현재 그룹까지의 충돌 없는 경로를 찾는다. 충돌 없는 경로를 찾지 못하면 이전 단계에서 다시 시작 한다. 따라서, 마지막 단계에서 모든 그룹을 감안한 충돌 없는 동작을 찾을 수 있다. 최악의 경우에는 C-공간 전체를 탐색하지만, 많은 경우에 있어서 일부분만을 탐색하여 빠른 시간에 충돌 없는 동작을 생성한다. Koga 등은 팔 동작을 계획하기 위하여 전위장에 기반한 확률적 경로 계획(randomized path planning)을 사용하였다[KKKL94]. 이들은 C-공간을 균일하게 분할하여 전위장 기법 고유의 극소값에 의해 동작이 정지하는 경우를 판단하고, 이 경우 무작위로 이동할 방향을 결정하여 극소값을 벗어나게 하였다. 하지만 장애물들이 매우 많이 밀집한 극단적인 환경에서는 목표점에 도달하는 경로를 찾지 못한다. 또한 대단히 많은 계산 시간을 요구하므로 실시간 시스템에서 사용하기에는 부적합하다.

#### 4.4 능동적 가상 인물

주변 환경을 인지하여 자신이 처한 상황을 판단하고 사용자의 간섭 없이 능동적으로 대처하는 능동적 가상 인물(autonomous virtual human)은 애니메이션 작성에 있어서는 제작자가 시나리오의 세세한 면까지 전부 고려해야 하는 불편함을 덜어주고, 제작자가 참여할 수 없는 실시간 대화형 게임에서는 사용자에게 실제 사람과 게임을 하고 있는 듯한 착각을 줄 수도 있다. 이와 같은 능동적 가상 인물에 대한 연구는 Reynolds[Rey87]가 새 떼나 소 떼와 같이 무리 지어 움직이는 동물들의 애니메이션을 자동으로 생성하기 위해 행위 기반 애니메이션(behavioral animation)을 도입한 이후로 활발히 진행 되었다. 능동적 가상 인물은 자신에게 부가된 목표들을 만족하기 위해 시시각각 변하는 복잡한 환경에서 주변 물체나 다른 가상 인물들을 지각하고 자신이 취할 행동을 결정하여 이들과 상호 작용할 수 있어야 한다[Mae90]. Reynolds는 새로 하여금 일정 거리 이내의 장애물이나 다른 새들을 지각하게 하였다[Rey87]. Badler 등은 물체 감지기, 범위 감지기, 지형 감지기, 사람 감지기 등의 분화된 감지기들을 통해 가상 인물로

하여금 장애물과의 거리 및 방향, 특정 범위의 가시 영역에 드는 물체들, 가상 인물 주위의 지형, 다른 가상 인물 등을 지각하게 하였으며[BB93], Thalmann 등은 실제 사람의 시각, 청각, 촉각과 유사한 가상 감각(synthetic sensor)에 의해 주변 물체, 소리, 다른 가상 인물 등을 인식하게 하였다[NRTT95, NT95, RTT90, THN96].

지각에 의해 획득한 정보와 개인, 집단, 종족 등의 행동 양식에 기반한 동작을 결정하기 위해서는 이들을 적절히 기술하고 관리하여 기본적인 동작에 의해 만족될 수 있는 세부 목표들을 세우고 서로 대립되는 세부 목표들을 해결해야 한다. 행동 양식은 “관심이 있는 물체에 접근한다”, “장애물을 회피한다”, “무리에서 이탈하지 않는다”, “배가 고프면 음식을 먹는다” 등과 같은 고 수준의 기술인 반면, 기본적인 동작은 “걷는다”, “왼쪽으로 움직인다”, “물체를 집는다”, “고개를 흔든다” 등과 같이 가상 인물의 동작 제어에 대한 저 수준의 기술이다.

Thalmann 등은 주변 환경에 반응하며 성장하는 식물들의 성장 애니메이션을 위해 제시된 시간에 따른 생성 시스템(timed production system)을 가상 감각 등을 고려하여 확장한 행위 기반 L-시스템(behavioral L-system)으로 능동적 가상 인물의 목표와 행동 양식을 기술 하였다[NT93, NT96]. Badler 등은 가상 인물이 수행할 활동(activity)을 목표(goal), 태스크(task), 스키마(schema) 단계에서 명시하는 Pat-Net(Parallel Transition Network)을 사용하였다[BB93]. 또한, Blumberg 등은 대화형 가상 환경을 위하여 동기 부여 단계(motivational level), 작업 단계(task level), 직접적인 운동 단계(direct motor level)에서 능동적 가상 인물을 감독할 수 있는 방법을 제안하고 서로 대립되는 세부 목표들을 해결하였다[BG95].

능동적 가상 인물은 행동 양식에 따라 결정된 동작을 수행함으로써 주변 물체들이나 다른 가상 인물들과 상호 작용하게 된다. 충돌 검사 및 충돌 회피 등은 주변 물체들에 대한 전형적인 상호 작용이며 일반적인 몸 동작 제어 기술을 통해 가상 환경과 상호 작용한다.

#### 5. 결론 및 향후 전망

본 고에서는 가상 인물의 동작을 생성하기 위한 여러 방법들을 설명했다. 가상 인물의 자세를 운동학을 기반으로 제어 하는 방법, 자세를 기반으로 인체를 변형하는 방법, 그리고 자세들을 구분하고 자세간의 전이 방법을 알아보았다. 동작을 생성하기 위해 제시된 키 프레임 및 역운동학 방법, 그리고 역학이나 연기기반으

로 동작을 생성하고 이들을 연결, 혼합하는 방법을 정리했다. 또한 가상 인물이 능동적으로 자세를 동작을 계획하고 생성하는 방법들을 살펴보았다. 그리고 이들을 동작의 자연스러움과 사용자의 제어의 편리함, 동작 생성의 속도면에서 비교 분석하였다.

키프레임 보간법은 오랜 기간 동안 대부분의 가상 인물 동작 생성에 사용되어 왔다. 수 많은 자동, 혹은 반자동적인 동작 생성 방법들이 개발되고 구현되었지만 이런 방법들에 비해 키프레임 방법이 실제로 많이 쓰이는 이유는 그 탁월한 제어 성능에 기인한다. 키프레임 방법은 여타 방법들에 비해 사용자가 원하는 정확한 동작을 만들 수 있을 뿐만 아니라 역운동학과의 병용으로 보다 편리하게 동작을 생성할 수 있고, 또한 구현이 간단하기 때문에 많은 상용 소프트웨어에서 지원되었다.

동력학이나 시공간 기법 등의 자동 생성 기법들은 자연스러운 동작을 자동으로 생성할 수 있는 장점을 가지는 반면 제어가 어렵고 생성 시간이 느리다는 이유로 아직은 그리 널리 사용되고 있지는 않다. 하지만 이들을 이용하여 보다 빠르고 편리하게 동작을 생성할 수 있게 하는 많은 연구가 진행되고 있다는 점을 고려해 볼 때 점차 많은 분야에서 사용될 가능성이 크다.

최근에는 연기 기반 동작 생성 기법이 널리 사용되고 있고 그 활용 범위가 급진적으로 확대될 전망이다. 연기 기반 방법은 기존의 어떤 방법 보다 자연스러운 동작을 매우 빠른 시간에 생성할 수 있는 방법이기 때문이다. 따라서 격투나 스포츠 경기를 소재로 하는 삼차원 비디오 게임이나 가상 인물이 등장하는 영화, 방송 등의 매우 자연스러운 동작이 필요한 분야에서, 또 생방송과 같은 실시간 대화형 애니메이션에서 적극 활용되고 있다.

현재 알려져 있는 연기 기반 동작 제어 기법들의 문제점들, 즉 제한적인 가상 인물에 대해서만 적용할 수 있다는 문제점과 동작의 제한이 있다는 문제점들에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다. 따라서 미래에는 연기 기반 동작 제어 기법을 통하여 보다 다양한 가상 인물을 자유롭게 동작시킬 수 있을 것이다. 이런 과정을 통하여 가상 인물은 보다 현실감 있는 동작으로 점차 많은 분야에 활용될 것으로 기대 된다.

## 참 고 문 헌

- [Bad92] N. I. Badler. Graphical behaviors and animated agents. In *Advanced Techniques in Human Modeling, Animation, and Rendering (SIGGRAPH '92 Course Notes #17)*, 1992.
- [Bad95] N. Badler, *Dynamic Behaviors Real-Time Synthetic Humans (SIGGRAPH '95 Course Notes #11)*, pp. C-107C-17, 1995.
- [Bar89] D. A. Barford. Fast detection of collision between moving bodies. In *Proc. SIAM Conf. Geometric Design*, 1989.
- [BB93] W. Becket and N. I. Badler. Integrated behavioral agent architecture. In *Proc. Workshop on Computer Generated Forces and Behavior Representation*, pages 57-68, 1993.
- [BGC94] N. I. Badler, R. Bindiganavale, J. P. Granieri, Susanna Wei, and Xinmin Zhao. Posture interpolation with collision avoidance. In *Proc. Computer Animation '94*, pp. 137-20, 1994.
- [BC89] A. Bruderlin and T. W. Calvert. Goal-directed, dynamic animation of human walking. *Proceedings of SIGGRAPH '89*, In *Computer Graphics '89*, pp. 233-242.
- [BHG93] N. Badler, M. J. Hollick, J. P. Granieri, Real-Time Control of a Virtual Human Using Minimal Sensors, a Forum short paper in *Presence*, 2(1), pp 82-86, MIT.
- [BG95] B. M. Blumberg and T. A. Galyean. Multi-level direction of autonomous creatures for real-time virtual environments. In *Proc. SIGGRAPH '95*, pp. 477-54, 1995.
- [Boy79] J. W. Boyse. Interference detection among solids and surfaces. *Comm. ACM*, 22(1):379, 1979.
- [BPW93] N. I. Badler, C. B. Phillips, and B. L. Webber. *Simulating Humans*. Oxford University Press, 1993.
- [BRRP97] Bobby Bodenheimer, Charles Rose, Seth Rosenthal, and John Pella, *The Process of Motion Capture: Dealing with the Data*, *Computer Animation and Simulation '97. Proceedings of the Eurographics Workshop*, 1997.
- [BTT90] 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.
- [BW76] N. Burtnyk and M. Wein, *Interactive Skeleton Techniques for Enhancing Motion Dynamics in Key Frame Animation*, *Communications of the ACM*, pp. 564-569, 1976.
- [BW95] A. Bruderlin and L. Williams. Motion signal processing. In *Proc. SIGGRAPH '95*, pp. 977-104, 1995.
- [Cam85] S. Camerson. A study of the clash detection problem in robotics. In *Proc. IEEE Intern. Conf. Robotics and Automation*, pp. 488-493, 1985.
- [Can86] J. Canny. Collision detection for moving polyhedra. *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-8(2):200-209, 1986.
- [CB92] 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.
- [CHP89] J. E. Chadwick, D. R. Haumann, and R. E. Parent. Layered construction for deformable animated characters. In Proc. SIGGRAPH '89, pp. 243?252, 1989.
- [Coh92] Michael F. Cohen, Interactive spacetime control for animation, Computer Graphics (SIGGRAPH '92 Proceedings), July 1992, pp. 293?302.
- [CZ92] 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, pp. 89?98, 1992.
- [GCB95] 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, pp. 369?394, Addison-Wesley, 1992.
- [GF90] 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, pp. 158?163, 1990.
- [GJK88] 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.
- [GLM96] S. Gottschalk, M. C. Lin, and D. Manocha. Obbtree: A hierarchical structure for rapid interference detection. In Proc. SIGGRAPH '96, pp. 171?180, 1996.
- [GM85] Michael Girard and Anthony A. Maciejewski, Computational Modeling for the Computer Animation of Legged Figures, Computer Graphics (SIGGRAPH '85 Proceedings), Volumn 19, Jul 1985, pp. 263?270.
- [GW91] Michael Gleicher and Andrew Witkin, Differential Manipulation, Proceedings of Graphics Interface '91, pp. 61?67, 1991.
- [Hen90] M. Henne. A constraint-based skin model for human figure animation. Master's thesis, University of California, 1990.
- [HP97] Jessica K. Hodgins and Nancy S. Pollard, Adapting Simulated Behaviors For New Characters, In SIGGRAPH '97 Conference Proceedings, pp. 153?162, Aug 1997.
- [HS88] G. Hurteau and N. F. Stewart, Distance calculation for imminent collision indication in a robot system simulation. Robotica, 6:47?51, 1988.
- [Hub95] P. M. Hubbard. Collision detection for interactive graphics applications. IEEE Trans. Visualization and Computer Graphics, 1(3):218?230, 1995.
- [Hub96] P. M. Hubbard. Approximating polyhedra with spheres for time-critical collision detection. ACM Trans. Graphics, 15(3):179?210, 1996.
- [HWB095] J. K. Hodgins, W. L. Wooten, D. C. Brogan, and J. F. O'Brien. Animating human athletics. In Proc. SIGGRAPH '95, pp. 71?78, 1995.
- [KB93] H. Ko and N. I. Badler. Straight line walking animation based on kinematic generalization that preserves the original characteristics. In Proc. Graphics Interface '93, pp. 9?16, 1993.
- [KKKL94] Y. Koga, K. Kondo, J. Kuffner, and J.-C. Latombe. Planning motions with intensions. In Proc. SIGGRAPH '94, pages 395?408, 1994.
- [KOS88] S. Kawabe, A. K. Okano, and K. Shima. Collision detection among moving objects in simulation. In Proc. 4th Intern. Symp. Robotics Research, pp. 489?496, 1988.
- [KS90] Tosiyasu L. Kunii and Lining Sun, Dynamic Analysis-Based Human Animation, In Proc. CG International '90, pp. 3?15, 1990.
- [Lat91] J.-C. Latombe. Robot Motion Planning. Kluwer Academic Publishers, 1991.
- [LGC94] Zicheng Liu and Steven J. Gortler and Michael F. Cohen, Hierarchical Spacetime Control, In Proceedings of SIGGRAPH '94, pp. 24?29, 1994.
- [Mae90] P. Maes. Situated agents can have goals. Journal for Robotics and Autonomous Systems, 6:49-70, 1990.
- [MB91] 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.
- [MBT96] T. Molet, R. Boulic, D. Thalmann, A Real-Time Anatomical Converter for Human Motion Capture, In Proc. 7h Eurographics Workshop on Animation and Simulation, Springer-Verlag, Wien, September 1996.
- [MW88] M. Moore and J. Wilhelms. Collision detection and response for computer animation. In Proc. SIGGRAPH '88, pp. 289?298, 1988.
- [NHS88] M. Nahas, H. Huitric, and M. Saintourens. Animation of a B-spline figure. The Visual Computer, 3(5):272?276, 1988.
- [NRTT95] 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.
- [NT93] H. Noser and D. Thalmann. L-system-based behavior animation. In Proc. Pacific Graphics '93, pp. 133?146, 1993.
- [NT95] H. Noser and D. Thalmann. Synthetic vision and audition for digital actors. In Proc. Eurographics '95, pp. 325?336, 1995.
- [NT96] H. Noser and D. Thalmann. The animation of autonomous actors based on production rules. In Proc. Computer Animation '96, 1996.
- [OB79] 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.

- [Per95] K. Perlin, Real Time Responsive Animation with Personality, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 1(1), 1995.
- [Rey87] C. W. Reynolds. *Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model*. In Proc. SIGGRAPH '87, pages 257-34, 1987.
- [Rey93] 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.
- [RGBC96] C. Rose, B. Guenter, B. Bodenheimer, and M. F. Cohen. Efficient generation of motion transitions using spacetime constraints. In Proc. SIGGRAPH '96, pp. 147-154, 1996.
- [RKBB94] B. Reich, H. Ko, W. Becket, and N. I. Badler. Terrain reasoning for human locomotion. In Proc. Computer Animation '94,
- [RTT90] 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.
- [Sin95] K. Singh. Realistic Human Figure Synthesis and Animation for VR Applications. PhD thesis, The Ohio State University, 1995.
- [Sho85] Ken. Shoemake, Animating Rotation with Quaternion Curve, Proceedings of SIGGRAPH '85, In Computer Graphics 19(3), pp. 245-254, July 1985.
- [SPMC96] 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.
- [SPCM97] F. Scheepers, R. E. Parent, W. E. Carlson, and S. F. May. Anatomy-based modeling of the human musculature. In Proc. SIGGRAPH '97, pp. 163-172, 1997.
- [Stu64] J. Stuelpnagel, On the Parametrization of the Three-Dimensional Rotation Group, SIAM Review 6(4), 422-430, 1964.
- [TLT88] N. M. Thalmann, R. Laperriere, D. Thalmann, (1988) *Joint-dependent local deformation for hand animation and object grasping*, In Proceedings of Graphics Interface '88, pp. 26-33, 1988.
- [TNH96] 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.
- [TT91] N. M. Thalmann and D. Thalmann. Complex models for animating synthetic actors. IEEE Computer Graphics and Applications, 11(5):32-44, 1991.
- [TT94] X. Tu and D. Terzopoulos. Artificial fishes: Physics, locomotion, perception, behavior. In Proc. SIGGRAPH '94, pages 427-48, 1994.
- [UAT95] Munetoshi Unuma and Ken Anjo and Ryoza Takeuchi, Fourier Principles for Emotion-based Human Figure Animation, In SIGGRAPH 95 Conference Proceedings, pp. 91-96, 1995.
- [WG92] R. Webb and M. Gigante. Using dynamic bounding volume hierarchies to improve efficiency of rigid body simulation. In Proc. CGI '92 (Visual Computing), pp. 825-842, 1992.
- [WG97] J. Wilhelms and A. Van Gelder. Anatomically based modeling. In Proc. SIGGRAPH '97, pp. 173-180, 1997.
- [WK88] Andrew Witkin and Michael Kass, Spacetime Constraints, In Computer Graphics (SIGGRAPH '88 Proceedings), Volume 22, pp. 159-168, Aug 1988.
- [WP95] A. Witkin and Z. Popovic. Motion warping. In Proc. SIGGRAPH '95, pp. 105-108, 1995.
- [WW92] A. Watt and M. Watt. Advanced Animation and Rendering Techniques: Theory and Practice, chapter 15, 16, pp. 339-394. Addison-Wesley, 1992.

## 필자 소개



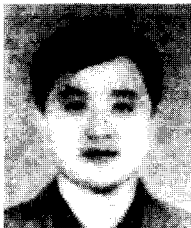
신현준

- 1995년 2월 한국과학기술원 전산학과 학사
- 1997년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1997년 3월~현재 한국과학기술원 전산학과 박사과정
- 주관심분야: 컴퓨터 그래픽스



이제희

- 1993년 2월 한국과학기술원 전산학과 학사
- 1995년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1995년 3월~현재 한국과학기술원 전산학과 박사과정
- 주관심분야: 컴퓨터 그래픽스



윤여천

- 1982년 2월 경북대학교 전자공학과 학사
- 1985년 2월 한국과학기술원 전산학과 석사
- 1985년 3월~현재 한국방송공사 기술연구소 연구원
- 주관심분야: 컴퓨터 그래픽스



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
- 1981년 ~ 1996년 한국과학기술원 전산학과 부교수
- 1997년 ~ 현재 한국과학기술원 전산학과 교수
- 주관심분야: 컴퓨터 그래픽스, 계산기하학