
메타큐브를 이용한 캐릭터 골격 및 애니메이션 자동 생성 방법

Method of Automatic Reconstruction and Animation of Skeletal Character Using Metacubes

윤재홍, 김은석, 허기택
동신대학교 디지털콘텐츠학과

Jae-Hong Youn(jhyoun@dsu.ac.kr), Eun-Seok Kim(eskim@dsu.ac.kr),
Gi-Taek Hur(gthur@dsu.ac.kr)

요약

음함수 곡면 모델은 캐릭터나 유체 등과 같은 복잡한 곡면으로 이루어진 객체들에 대한 모델링이 용이할 뿐만 아니라 적은 양의 데이터로 다양한 형태의 곡면을 표현할 수 있다. 또한 표면을 나타내는 특성과 볼륨을 나타내는 특성을 동시에 가지고 있어 물체의 변형 또한 용이하여 3D 애니메이션에 효과적으로 사용될 수 있다. 그러나 기존 음함수 프리미티브들은 축에 대해 평행하거나 모든 축 방향으로 대칭적인 특성을 가짐으로써 여러 가지 형태의 모션을 갖는 물체의 모델링에 사용이 용이하지 않았다. 본 논문은 기존의 음함수 프리미티브 중 하나인 메타큐브에 회전 요소를 추가함으로써 모션캡처 데이터와의 매칭에 따라 다양한 캐릭터의 포즈를 모델링할 수 있는 효과적인 애니메이션 제작 방법을 제안하고자 한다.

■ 중심어 : □ 애니메이션 □ 음함수 모델링 □ 메타큐브 □

Abstract

Implicit surface model is convenient for modeling objects composed of complicated surfaces such as characters and liquids. Moreover, it can express various forms of surface using a relatively small amount of data. In addition, it can represent both the surface and the volume of objects. Therefore, the modeling technique can be applied efficiently to deformation of objects and 3D animation. However, the existing implicit primitives are parallel to the axis or symmetrical with respect to the axes. Thus it is not easy to use them in modeling objects with various forms of motions. In this paper, we propose an efficient animation method for modeling various poses of characters according to matching with motion capture data by adding the attribute of rotation to metacube which is one of the implicit primitives.

■ keyword : □ Animation □ Implicit Modeling □ Metacube □

I. 서론

3D 애니메이션 기술은 인간이 상상할 수 있는 모든

세계를 표현하고 실제 세계에서 실현이 불가능한 것도 가능하게 해 주는 최첨단 표현기술의 진수이자 미래 핵심 산업으로 영화, 게임, 디지털콘텐츠, 디지털 TV, 광

* 본 연구는 2004년 동신대학교 교내 학술연구과제로 수행되었습니다.

접수번호 : #081011-001
접수일자 : 2008년 10월 11일

심사완료일 : 2008년 10월 30일
교신저자 : 윤재홍, e-mail : jhyoun@dsu.ac.kr

고, 인터넷 등의 산업에 미치는 효과와 부가가치는 이루 말할 수 없을 정도이다. 정보통신의 미래가 인터넷과 디지털 콘텐츠 기술 확보에 달려있는 현실 속에서, 고급 디지털콘텐츠 제작 기술인 3D 애니메이션의 기술력 확보는 무엇보다도 시급한 과제가 되었다[1]. 컴퓨터 그래픽스에 있어서 물체를 쉽고 빠르게 표현하는 방법에 대해 많은 연구가 있어왔다. 정의하기 쉽고 다루기 쉬운 간편한 요소들을 이용한 물체의 모델링은 응용분야의 효율성 측면에서 매우 중요한 요인이 된다[2].

음함수 곡면(Implicit Surface)은 정해진 에너지 밀도 함수인 음함수(Implicit Function)에 의해 형성된 밀도 분포 공간에서 특정 임계값을 만족하는 공간상의 점들의 집합으로 정의되는 곡면으로서, 매개변수 곡면의 일괄적인 다항식 표현에 의한 형태 규칙성에서 벗어나 다양한 형태의 변형이 가능하여 일반적으로 부정형 물체의 형상을 모델링하는데 성능이 뛰어나다[3]. 특히 음함수들의 에너지 밀도 분포가 겹치는 공간에서는 밀도값이 더해져 새로운 밀도 분포를 형성하는 블렌딩 특성을 이용함으로써 적은 수의 데이터로 다양한 형태의 곡면 표현은 물론 오브젝트의 자연스러운 변형 또한 가능하게 해준다. 함수의 모양에 따라 달라지는 음함수 곡면을 좀 더 간편하고 명시적(explicit)으로 표현하기 위해서 폴리곤 표면(Polygon Surface)의 삼각형과 같이 음함수 프리미티브를 사용하는데 이를 골격 요소(Skeleton)라 한다. 음함수 곡면 모델에서는 다양한 기하학적 도형을 골격 요소로 사용할 수 있으나, 정의가 쉽고 다루기 쉬운 형태의 점 요소(Point Skeleton)가 주로 사용되어 왔다[3]. 그러나 점 요소 형태의 음함수 프리미티브들은 전 방향으로 대칭적인 형태적 특성으로 다양한 형태의 물체의 모델링이 어렵다. 특히 캐릭터의 팔, 다리와 같이 축방향과 평행하지 않으면서 움직임이 많은 물체의 모델링은 모델의 형태 유지를 위해 여러 개의 음함수 프리미티브들과 이들의 세밀한 블렌딩 제어가 필요하다. 따라서 음함수 프리미티브를 이용한 캐릭터 모델의 자연스러운 애니메이션을 위해서는 움직임이 변할 때마다 캐릭터 형태 보정을 위해 음함수 프리미티브의 구성과 블렌딩 제어에 많은 수작업을 필요로 할 것이다.

본 논문은 기존의 음함수 프리미티브에 회전 요소를

추가하여 모델링에 사용될 프리미티브의 수를 감소시킴으로써 캐릭터의 골격 구성에 소요되는 시간을 단축하고, 모션캡처를 이용하여 얻은 데이터로부터 캐릭터의 형태를 자동으로 구성함으로써 다양한 형태의 모델링 및 자연스러운 음함수 캐릭터 애니메이션 방법을 제안하고자 한다.

II. 회전 속성을 갖는 메타큐브

1. 메타큐브

음함수 프리미티브들에 의해 형성되는 음함수 곡면은 3차원 공간상에서 $F: \mathbb{R}^3 \rightarrow \mathbb{R}$ 인 필드 함수 $F(x, y, z)$ 를 프리미티브로부터의 거리에 반비례하는 에너지 밀도 함수로 하여 주어진 임계값(Threshold Value) T 에 의해 정의된다.

(1)

식 (1)은 임계값 T 가 주어질 때 n 개의 음함수 프리미티브들에 의해 형성되는 등가곡면(Isosurface)을 나타낸다. 임계값 T 가 작을수록 음함수 프리미티브에서 등가곡면까지의 거리는 멀어지게 된다.

음함수 프리미티브들의 영역이 겹치는 부분에서는 밀도값이 서로 더해져 새로운 밀도분포를 형성하는 블렌딩 특성을 가지고 있다. 이러한 블렌딩 특성을 이용하여 프리미티브의 위치 조정에 의해 다양한 형태의 곡면을 표현할 수 있다.

Blinn[4], Nishimura[5], Murakami[6], Wywill[7] 등은 프리미티브의 특성을 고려한 다양한 음함수 프리미티브들과 다양한 필드함수를 사용하였다.

Blinn의 Blob은 물리적으로 가장 자연스러운 에너지장을 표현할 수 있는 지수함수를 사용하였고, 지수함수의 특성상 공간적으로 아주 먼 거리에 있는 위치라도 에너지 값이 0이 되지 않는 단점 때문에 지수함수를 근사하는 다항식을 필드함수로 갖는 요소들이 계속 개발되었다. Nishimura는 메타볼이라 불리는 구간별 2차 다항

식을 필드함수로 갖는 프리미티브를 제안하였다. 그러나 차수가 낮은 함수로 인해 구간 연결부분에서의 계산상 오차가 크다는 단점이 있다. Wywill은 6차 다항식 필드함수를 이용하여 soft object라 불리는 프리미티브를 제안하였다.

이러한 음함수 프리미티브들은 대부분 점 형태의 프리미티브를 사용하였고, 점을 중심으로 동일한 거리에 있는 위치들이 모두 같은 밀도값을 가지므로 하나의 음함수 프리미티브는 구형의 표면을 생성할 수 있다. 그러나 전방향으로 대칭인 점 프리미티브들은 대칭이 아닌 물체의 모델링을 위해서는 많은 프리미티브를 이용하여 구성해야 한다는 문제점이 있다.

메타큐브[8]는 크기 조정이 가능한 육면체(size variable cube) 형태의 골격 요소를 갖는 비등방성(anisotropic) 음함수 프리미티브로서, 적은 수의 프리미티브를 이용하여 다양한 비대칭 물체들을 모델링하는데 적합하다. 그러나 메타큐브 역시 축에 평행한 밀도 분포 구조로 정의됨으로써 축과 평행하지 않은 물체 모델링을 위해서는 많은 수의 프리미티브들을 연결하여 블렌딩함으로써 표현하여야 하는 단점을 갖는다.

메타큐브는 중심점 C로부터 골격요소의 크기를 나타내는 큐브반경 $d(d_x, d_y, d_z)$ 와 골격요소로부터 밀도 분포가 형성되는 최대 거리를 나타내는 필드반경 $r(r_x, r_y, r_z)$, 그리고 메타큐브 골격요소의 밀도값을 나타내는 w 에 의해 정의된다. 메타큐브는 d 값을 변화시킴에 따라 [그림 1]과 같이 다양한 형태의 골격요소를 생성할 수 있다.

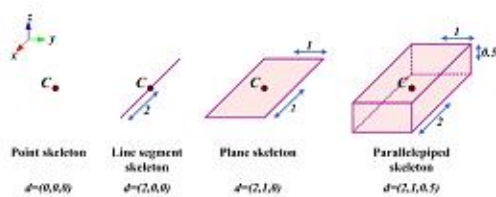


그림 1. 큐브반경에 따른 메타큐브 골격요소 형태

[그림 2]는 큐브반경 d 와 필드반경 r 의 값의 변화에 따른 메타큐브의 구조와 그에 의해 형성된 등가곡면의 예를 보여준다. 메타큐브의 골격요소인 크기조정이 가

능한 육면체는 중심점 C로부터 x, y, z 축 방향으로 뻗은 거리 값인 d_x, d_y, d_z 에 의해 정의되고, 밀도 분포는 골격요소 표면으로부터의 거리에 반비례하도록 형성되므로 유효거리에 따라 정의되는 곡면 역시 축에 평행한 형태를 유지하게 된다.

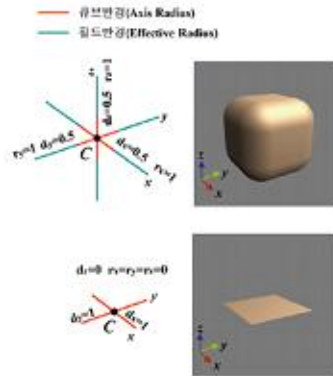
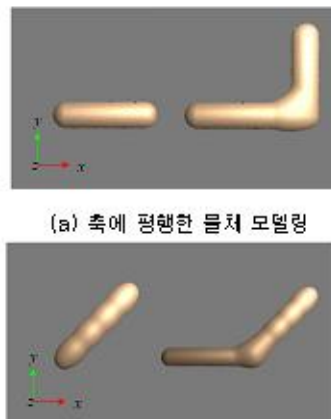


그림 2. 메타큐브의 구조와 등가곡면 형태

[그림 3]의 (a)와 (b)는 메타큐브를 이용하여 축에 평행한 물체와 비대칭의 축에 평행하지 않은 물체를 모델링한 예이다. 축 방향과 평행한 밀도 분포 구조를 갖는 음함수 프리미티브들의 블렌딩에 의한 물체의 표현은 물체가 축과 평행하지 않게 회전한 경우 프리미티브들을 다시 조정해야 하는 번거로움이 있다.



(a) 축에 평행한 물체 모델링
(b) 축에 평행하지 않은 물체 모델링
그림 3. 메타큐브를 이용한 물체 모델링 예

2. 회전 속성을 갖는 메타큐브

본 논문은 물체의 형태 유지를 위해 블렌딩 특성을 그대로 유지할 수 있도록 하고, 애니메이션과 같이 물체의 이동이 빈번한 응용에 자동 적용할 수 있도록 메타큐브에 회전 속성을 추가하여 회전 속성을 갖는 메타큐브를 제안한다. 회전 속성을 갖는 새로운 메타큐브 M은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M = (C, d, r, \Theta, w) \tag{2}$$

식 (2)에서 (C_x, C_y, C_z) 는 메타큐브의 중심점을 나타내는 3차원 좌표이고, $d(d_x, d_y, d_z)$ 는 중심점 C로부터 골격요소의 x, y, z 방향으로의 크기를 나타내는 3차원 벡터를 나타내며, $r(r_x, r_y, r_z)$ 은 골격요소의 표면으로부터 밀도 분포가 형성되는 최대 범위를 나타낸다. d 와 r 은 각각 큐브반경과 필드반경이라 부른다. $\alpha, \theta_x, \theta_y, \theta_z$ 는 메타큐브의 x, y, z 축에 대한 회전 값을 나타내며, w 는 골격요소의 밀도 값으로서 메타큐브의 최대 밀도 값이 된다.

프리미티브의 바운딩 박스를 이용한 공간 분할 방법을 이용하면 빠른 교차점사를 수행할 수 있다. 기존의 메타큐브는 회전 요소가 고려되지 않았기 때문에 큐브 반경과 필드반경만으로 바운딩 박스 계산이 가능했으나, 회전 속성을 갖는 메타큐브의 경우 바운딩 박스 프리미티브의 회전에 요소를 고려하여 계산되어야 한다.

메타큐브가 θ 만큼 회전되었을 때 큐브반경 d 와 필드 반경 r 에 의해 계산되어지는 각 축에 대한 프리미티브의 회전 길이를 $L(L_x, L_y, L_z)$ 라 할 때, z 축으로 θ_z 만큼 회전하는 메타큐브의 바운딩 박스는 식 (3)과 같이 계산되어질 수 있다.

$$\tag{3}$$

Min 과 Max 는 메타큐브 바운딩 박스의 각 축에 대한

최소값과 최대값을 나타내며, 이 때 회전 길이의 각 요소 값은 L_x, L_y, L_z 가 된다. x, y 축에 대한 회전 역시 식 (3)과 동일한 방법으로 구할 수 있다.

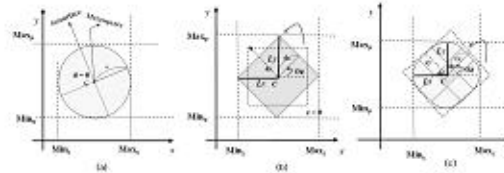


그림 4. 회전 속성을 갖는 메타스퀘어의 바운딩 박스

메타스퀘어는 메타큐브를 2차원으로 표현한 음함수 프리미티브이다. [그림 4]는 골격요소인 크기 조정 가능한 사각형의 크기를 조정함으로써 다양한 형태의 표면을 형성하는 메타스퀘어의 z 축 회전 값에 따른 바운딩 박스 형태를 나타낸 것이다.

3. 쿼터니언(Quaternion) 회전

본 논문에서 정의된 메타큐브의 회전값은 x, y, z 축을 회전축으로 하여 각각의 회전각을 지정하는 오일러 (Euler) 각도로 나타내었다. 그러나 오일러 각도로 표현된 회전각은 다음과 같은 문제를 유발하였다.

일반적으로 회전 연산은 회전 행렬을 이용한 행렬의 곱셈으로 이루어지는데, 각 축에 대한 회전 행렬은 따로 존재하므로 3개의 회전 행렬의 곱에 의해 하나의 회전 변환 행렬을 얻게 된다. 그러나 행렬의 곱셈은 교환법칙이 성립하지 않기 때문에 곱셈의 순서 즉 회전 순서가 일관되게 이루어져야 하며, 여러 시스템 사이의 회전 행렬이 호환되지 않는다는 문제가 생기게 된다.

또한 오일러 각도는 x, y, z 축에 대한 회전이 독립적이지 않기 때문에, 두 축의 회전이 나머지 하나의 회전 축을 상실케하는 효과를 발생시켜 원하는 회전 효과를 얻을 수 없게 되는 현상이 일어난다. 이러한 현상을 짐벌 록(Gimbal Lock) 현상이라 한다.

마지막으로 오브젝트의 연속적인 회전에 대한 보간값을 얻는 것이 어렵다. 오일러 각도로 표현된 경우 보간값 역시 x, y, z 축 각각에 대해 행해져야 하는데, 이렇게

얻어진 각 축값을 하나의 회전 행렬로 나타내는 것 역시 쉽지 않다.

이와 같은 문제점을 피하기 위해 본 논문은 메타큐브의 회전 속성 표현을 위해 쿼터니언을 이용하였다. 쿼터니언은 임의의 회전축을 나타내는 3차원 벡터와 그 축에 대한 회전각인 스칼라의 4개 값으로 구성되며 이 값들은 서로 독립적이다.

(4)

식 (4)는 쿼터니언 q 를 나타낸다. 여기서 w 가 단위벡터일 때, u 는 회전하고자 하는 회전축 벡터이고, θ 는 회전 각도를 나타낸다.

오일러 회전 변환이 3차원 회전을 위해 9개 값을 필요로 하는데 비해, 쿼터니언은 4개의 값만을 필요로 하므로 저장 공간적인 측면에서 유리하다. 또한 오일러 각도의 회전 변환을 위한 404 행렬의 곱셈 대신 벡터 곱으로 회전 결합이 가능하고, 현재 많은 컴퓨터 그래픽 시스템들이 빠른 3차원 오브젝트 회전을 위해 벡터계산을 위한 하드웨어 응용방법을 제공하고 있어 계산 속도 측면에서도 이득을 볼 수 있다는 장점을 갖는다.

쿼터니언은 두 개의 회전 보간을 위한 구면 선형 보간법(SLERP)[10]을 제공함으로써, 두 회전 행렬간의 보간을 행하는 것보다 훨씬 쉽고 효율적인 계산을 할 수 있게 해준다. 쿼터니언은 뼈대 구조의 키 프레임 애니메이션에서 뼈대의 다양한 자세에 필요한 대규모의 보간을 위해 효과적인 방법이라 할 수 있다.

III. 음함수 곡면 모델을 이용한 애니메이션

1. 관련 연구

음함수 프리미티브들은 시간 변화에 따른 부정형 물체나 분절적인 오브젝트의 움직임뿐만 아니라, 3D 만화 캐릭터와 인체 모델들과 같은 부정형 모양의 묘사에 매우 적합하다. 음함수 프리미티브들은 애니메이션 제어를 위해 골격요소에 기반을 둔 자체 제어 방법을 제공하며, 특히 점 요소로 이루어진 프리미티브들은 분자

(Particle) 집합들에 의해 구성된 오브젝트들의 표현에 사용될 수 있다.

음함수 곡면의 애니메이션은 곡면이 3차원 공간상에서 스칼라 필드의 등가곡면으로 정의되고 곡면의 애니메이션은 필드함수의 애니메이션으로 이루어지기 때문에 복잡한 과정을 가진다[11]. 그러나 음함수 곡면은 컴퓨터 애니메이션 응용에 있어서 매우 유용한 특징들을 제공한다. 매개변수 곡면(Parametric Surfaces)을 이용한 모델에서는 매우 어려운 위상변화를 포함하는 큰 변형 애니메이션이 가능하게 하며, 음함수 곡면을 이용한 표현들은 내부와 외부로 구별하는 in-out 함수를 제공하기 때문에 충돌 검출을 가속화할 수 있다[12].

Wyvill과 Beier는 캐릭터 애니메이션과 다각형이나 매개변수 곡면으로 생성하기 어려운 환경, 변형, 위상변화와 같은 효과에 적합한 음함수 곡면의 능력을 강조함으로써 캐릭터 애니메이션에 대한 음함수 곡면의 유용성을 언급했다[13].

캐릭터 애니메이션에 음함수 곡면을 이용하는 경우 다른 이점은 오브젝트의 구성에 내부의 골격과 외부의 스킨(등가곡면)에 대한 자연스러운 레이어 구조를 제공한다. 또한 스킨은 프리미티브들의 이동과 관계없이 항상 C, 연속성을 유지할 수 있다. 애니메이션 동안 스킨의 변형은 팔과 다리와 같은 가지 부분의 오브젝트들 간의 원치않는 블랜딩이 발생할 수 있어 제어가 어렵다. 이를 해결하기 위해 블랜딩 그래프가 요구되지만, 스킨의 변형에 따른 곡면의 불연속성을 피하기 위해 조심스럽게 선택되어야 한다[13].

Thalmann은 사람의 애니메이션 작업에 메타볼(metaball)을 사용한 JLD 방법을 제안하였다[14]. Wilhelms는 타원체 음함수 프리미티브를 이용하여 동물 모델을 생성하였고[15], 이를 응용하여 인간 모델 생성도 가능함을 보였다.

2. 음함수 곡면 애니메이션을 위한 고려사항

Opalach와 Maddock은 음함수 곡면에 대한 애니메이션을 생성하는데 있어서 형태(Appearance), 블랜딩(Blending), 일관성(Consistency)에 대한 근본적인 고려사항을 제시하였다[16].

애니메이션 동안 오브젝트의 형태는 알아볼 수 있게 유지되어야 하며, 키프레임들 사이의 동격 변화에 영향을 받지 않아야 한다. 또한 애니메이션 동안 원하지 않는 블렌딩(unwanted blending)을 피해야 하는데, 주의를 기울이지 않는 블렌딩 방법의 사용은 요소 거리 안에 있는 모든 프리미티브들을 혼합하게 된다. 골격요소에 대한 밀도값은 밀도 분포에 의한 필드값을 가중시키는 것으로써, 이러한 가중값을 두는 것은 등가곡면의 위치를 다양하게 하기 위해서 고려되는 요소이다. 일관성은 여러 개의 음함수 프리미티브들로부터 생성된 오브젝트가 애니메이션 동안 분리되지 않고 하나의 형태를 유지하도록 하기 위해 고려되는 요소이다.

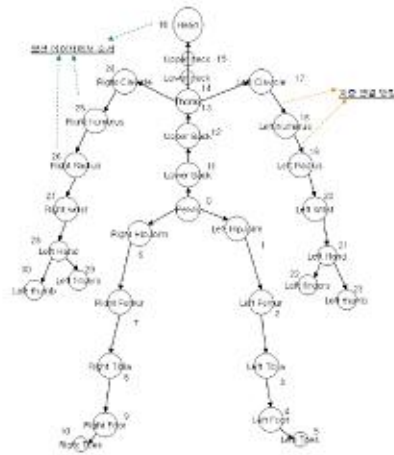


그림 5. 모션캡처 캐릭터 모델의 계층 구조

IV. 모션캡처 데이터를 이용한 음함수 캐릭터 애니메이션

1995년 최초의 3D 애니메이션 “토이스토리”가 상연된 이후, 최근 “반지의 제왕”의 ‘골룸’에 이르기까지 캐릭터 애니메이션 기술의 발전은 시대의 요구에 의해 점진적으로 진보해왔다. 이러한 캐릭터 애니메이션의 발전의 정점에 있는 기술이 모션캡처 기술이다.

모션캡처 기술은 사람의 신체와 같은 복잡한 관절체의 움직임을 시간에 따른 공간상의 주요한 위치 데이터로 기술하는 기술로서, 여러 개의 마커를 이용하여 중요한 위치 정보를 얻어 가상 캐릭터에게 적용함으로써 실제 동작자와 같은 자연스러운 움직임을 얻을 수 있다.

모션캡처 데이터는 시스템 개발회사마다 캡처 방식에 따라 각기 다른 데이터 구조를 제공한다[17]. 따라서 모션 데이터를 사용하기 위해서는 사용목적 및 특성에 맞게 적절하게 변환하여 사용하여 한다. 본 연구에서는 현재 가장 널리 사용되고 있는 데이터 구조 중 연구 환경에 적합하며 데이터 획득이 용이한 ASF & AMC 모션 데이터 구조를 사용한다.

ASF 데이터는 캐릭터의 골격에 대한 기본 구조와 각 관절간의 계층적 관계를 포함하고 있으며, AMC 데이터는 실제 캐릭터의 움직임에 대한 3차원 정보를 가지고 있다. [그림 5]는 ASF 데이터 구조에 의한 캐릭터 모델의 각 세그먼트들 간의 계층 구조를 도식화한 것이다.

1. 모션캡처 데이터를 이용한 음함수 캐릭터 모델링

음함수 캐릭터 모델링을 위한 메타큐브 추출은 모션 데이터로부터 메타큐브의 각 파라미터 값을 결정함으로써 이루어진다. ASF 데이터의 세그먼트를 연결하기 위해서는 메타큐브의 중심의 두 조인트의 중간 값으로 설정되어야 한다. [그림 6]은 ASF 데이터에서 캐릭터의 루트노드인 Pelvis와 자식노드인 Left Hip Joint를 연결하는 메타큐브의 중심점 C를 구하는 예를 나타낸다. 부모노드인 Pelvis(x_1, y_1, z_1)에 해당하는 벡터를 v_1 이라고 하고, 자식 노드 Lhipoint(x_2, y_2, z_2)에 해당하는 벡터를 v_2 라 하면, 이 두 joint를 연결하는 메타큐브의 중심점 M(C)는 식 (5)와 같이 계산된다.

$$(5)$$

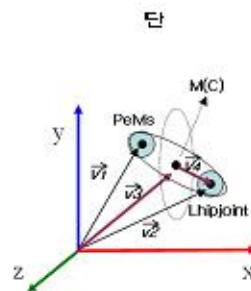


그림 6. 메타큐브의 중심점

기존의 메타큐브는 회전시킬 수 없기 때문에 [그림 9(a)]와 같이 여러 개의 프리미티브들을 위치시키고 각 프리미티브의 필드반경을 조정함으로써 회전속성을 갖는 메타큐브로 이루어진 모델과 유사한 모양 [그림 9(b)]를 만들었다.

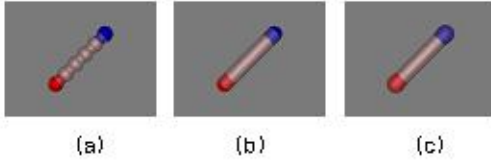


그림 9. 축 방향과 평행하지 않은 막대 모양 모델

회전속성을 갖는 메타큐브의 경우는 해당 각도로 프리미티브를 회전시킴으로써 [그림 9(c)]와 같이 동일 모델을 적은 수의 프리미티브로 쉽게 생성할 수 있다.

표 1. [그림 9]에 대한 렌더링 성능 비교

구분		[그림 9(a)]	[그림 9(c)]
수작업에 의한 부가 프리미티브 배치 시간		약 5분	-
프리미티브 수(개)		9	3
렌더링 시간 (sec)	샘플링수=1	12	5
	샘플링수=4	48	19
	샘플링수=9	104	43

[표 1]은 [그림 9]의 모델링에 대한 프리미티브 수와 샘플링 수에 따른 렌더링 시간을 비교한 것이다. 축 방향과 평행하지 않은 물체의 모델링의 경우 회전 속성을 갖는 메타큐브를 이용한 경우보다 적은 데이터를 가지고 모델링함으로써 렌더링 성능 향상을 가져올 수 있음을 알 수 있다.

[그림 10(a)]는 모션캡처 데이터의 각 노드 위치를 구형 메타큐브로 표시한 것이며, 이 모션캡처 데이터를 이용하여 모델링된 음함수 캐릭터 모델은 [그림 10(b)]에 나타나 있다. 회전 속성을 갖는 음함수 프리미티브를 이용한 음함수 캐릭터의 생성은 기존의 프리미티브에 비해 회전 값을 계산하는데 있어 요구되는 시간은 증가하지만 블렌딩 제어를 위한 추가적인 프리미티브의 요구

가 없어 결과적으로 렌더링 시간을 줄일 수 있다. 또한 캐릭터 모델 생성 및 애니메이션시 수작업 요구를 최소화함으로써 쉽고 빠른 애니메이션 생성을 가능하게 한다.

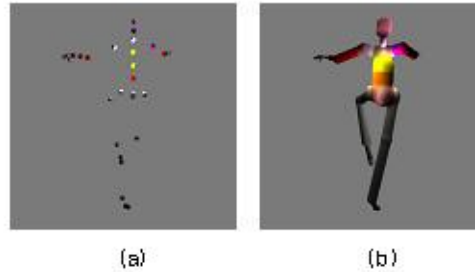


그림 10. 회전 값을 갖는 메타큐브를 이용한 캐릭터

[표 2]에서 볼 수 있듯이 음함수 캐릭터는 쿼터니언 회전을 이용함으로써 렌더링 시간에 있어 이득을 취할 수 있으며 짐벌 락 문제 또한 해결할 수 있다.

표 2. 음함수 캐릭터 모델링 성능 비교

구분		기존 메타큐브	오일러 회전을 이용한 메타큐브	쿼터니언 회전을 이용한 메타큐브
수작업에 의한 부가 프리미티브 배치 시간		약 20분	-	-
프리미티브 수(개)		46	31	31
렌더링 시간 (sec)	샘플링수=1	8	19	14
	샘플링수=4	32	78	51
	샘플링수=9	71	176	96



그림 11. 음함수 프리미티브 캐릭터 애니메이션

[그림 11]은 회전 값을 갖는 음함수 프리미티브와 모션캡처 데이터를 이용하여 생성한 애니메이션의 프레임의 일부를 나타낸 것이다. 음함수 프리미티브를 이용한 캐릭터 모델의 자동생성으로 캐릭터 움직임에 따른 동체의 자연스러운 모델을 가능하게 하였고, 모션캡처 데이터를 활용함으로써 매우 정교한 동작까지 표현할 수 있었다.

VI. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 메타큐브를 이용해 다양한 물체의 효율적인 모델링 및 캐릭터의 골격 생성을 위해 회전 속성을 갖는 음함수 프리미티브를 정의하고, 모션캡처 데이터를 이용한 음함수 캐릭터의 자동 생성 및 애니메이션 방법을 제안하였다. 제안된 메타큐브를 이용한 캐릭터의 골격 생성 및 애니메이션 방법은 음함수 프리미티브인 메타큐브의 블렌딩 제어에 소요되는 수작업에 의한 시행착오를 최소화할 수 있었으며, 회전에 의한 계산 시간을 고려하더라도 자동으로 캐릭터의 형태를 생성할 수 있으므로 훨씬 빠른 음함수 캐릭터의 모델링 및 애니메이션을 수행할 수 있었다.

음함수 곡면 모델링에 관한 연구는 아직 초기 단계에 머물고 있어 고품질의 결과 이미지를 얻을 수 있으나, 프리미티브의 블렌딩 계산에 소요되는 시간 때문에 직접적인 프리미티브의 제어 및 수정이 용이하지 않다는 문제가 아직도 남아 있다. 이러한 연구들이 활성화되기 위해서는 여러 응용 영역으로 확장 가능한 다양한 프리미티브의 개발과 음함수 프리미티브의 실시간 렌더링 기법에 대한 연구가 필요하다. 또한 사실적인 캐릭터를 자동 모델링하기 위한 음함수 프리미티브 자동 구성 기법에 대한 연구와 자연스러운 애니메이션을 위한 음함수 모델의 변형 기술에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 김정환, 이운철, 이동일, *전 세계 및 국내 애니메이션 산업과 SAW 시장 동향*, 3D Animation Market in 4D Strategic IT Fields, Gartner Consulting & ETRI, 2000.
- [2] A. Opalach and Marie-Paule Cari-Gascuel, "Local deformations for animation of implicit surfaces", In SCCG'97, Bratislava, Slovakia, 1997.
- [3] D. Hearn and M. P. Baker, *Computer Graphics*, Prentice-Hall Inc., pp.477-493, 1997.
- [4] J. F. Blinn, "A Generalization of algebraic surface drawing", *ACM Transaction on Graphics*, Vol.1, No.3, pp.235-256, July 1982.
- [5] H. Nishimura, A. Hirai, T. Kawai, T. Kawata, I. Shirakawa, and K. Omura, "Object Modeling by distribution function and a method of image generation.", *Journal of papers given at the Electronics Communications Conference 1985*, J68-D(4), 1985.
- [6] S. Murakami and H. Ichihara, "On a 3D Display Method by Mtaball Technique", *Journal of Electronics Communication*, Vol. J70-D, No.8, pp.1607-1615, 1987.
- [7] G. Wyvill, G. MacPheters, and B. Wyvill, "Data Structure for Soft Objects", *The Visual Computer*, Vol.2, No.4, pp.227-234, Aug. 1986.
- [8] J. J. Kim, E. S. Kim and S. K. Park, "An Automatic Description of Volumetric Objects Using Mtaballs.", *Proceedings Computer Graphics International 1997*, IEEE Computer Society Press, pp.65-73, June 1997.
- [9] 김은석, 김재정, "Sturm Sequence를 이용한 메타볼 렌더링에 관한 연구", *한국 정보과학회 가을 학술 발표 논문집*, Vol.23, No.2, pp.437-440, 1996.
- [10] N. Bobick, "Rotating Objects Using Quaternions", *Game Developer magazine*, Vol.2, Issue26, July 1998.
- [11] G. DeBunne, M. Desbrun, M. P. Cari, and A. H. Barr, "Adaptive Simulation of Soft Bodies in Real-Time", *Computer Animation* 2000,

[1] 김정환, 이운철, 이동일, *전 세계 및 국내 애니메이션 산업과 SAW 시장 동향*, 3D Animation Market

Philadelphia, May 2000.

- [12] M. Desbrun and M. P. Gascuel, "Adaptive Sampling of Implicit Surfaces for Interactive Modelling and Animation", Proc. 1st International Workshop on Implicit Surfaces'95, Grenoble, April 1995.
- [13] M. P. Gascuel, "An Implicit Formulation for Precise Contact Modelling between Flexible Solids", Proceedings of SIGGRAPH 93, In Computer Graphics Proceedings, Annual Conference Series, ACM SIGGRAPH, New York, pp.313-320, 1993.
- [14] D. Thalmann, *personal communication*, 1998.
- [15] J. Wilhelms and A. V. Gelder, "Anatomically based modeling." Proceedings of the 24th annual conference on Computer graphics & interactive techniques, Los Angeles, CA USA, pp.173-180, Aug. 1997.
- [16] A. Opalach and S. C. Maddock, "Implicit Surfaces: Appearance, Blending and Consistency", Proc. 4th Eurographics Workshop on Animation and Simulation, pp.233-245, 1993.
- [17] *Reality의 완성 Motion Capture*, Graphics Live, pp.118-151, 2001.

김 은 석(Eun-Seok Kim)

정회원



- 1995년 2월 : 전남대학교 전산학과(이학사)
- 1997년 2월 : 전남대학교 전산통계학과(이학석사)
- 2001년 2월 : 전남대학교 전산통계학과(이학박사)

•2002년 3월~현재 : 동신대학교 디지털콘텐츠학과 조교수

<관심분야> : 컴퓨터 그래픽스, 디지털콘텐츠, 애니메이션

허 기 택(Gi-Taek Hur)

정회원



- 1984년 2월 : 전남대학교 계산통계학과(이학사)
- 1986년 2월 : 전남대학교 계산통계학과(이학석사)
- 1994년 2월 : 광주대학교 전자계산학과(이학박사)

•1989년~현재 : 동신대학교 디지털콘텐츠학과 교수

<관심분야> : 영상처리, 유체역학, 디지털콘텐츠

저자 소개

윤 재 홍(Jae-Hong Youn)

정회원



- 1999년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학과(이학사)
- 2001년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학과(이학석사)
- 2005년 8월 : 동신대학교 컴퓨터학과(이학박사)

•2006년 3월~현재 : 동신대학교 디지털콘텐츠학과 전임 강사

<관심분야> : 3D모델링, 애니메이션, 정보통신