

회전 값을 갖는 음함수 프리미티브 모델링

윤재홍*, 김은석**, 허기택**

*동신대학교 컴퓨터학과

**동신대학교 디지털컨텐츠학과

e-mail : jhyoun@dsu.ac.kr

Implicit Primitive Modeling By Rotational Parameter

JaeHong Youn*, EunSeok Kim**, GiTaek Hur**

*Dept of Computer Science, DongShin University

**Dept of Digital Contents, DongShin University

요 약

음함수 곡면 모델의 대표적인 구조요소인 메타볼은 다양한 형태의 곡면을 모델링 하는데 뛰어난 성능을 갖는다. 그러나 복잡한 형태의 물체는 곡면 뿐 아니라 평면적인 요소를 포함하기 때문에 메타볼 만으로 부정형 물체를 모델링하는 데에는 많은 어려움이 따른다. 본 논문은 음함수 프리미티브를 이용해 물체를 생성하고 효과적으로 애니메이션하기 위해 각각의 프리미티브에 회전 값을 부여함으로써 적은 수의 음함수 프리미티브를 이용해 기울어진 형태의 물체를 표현하기 위한 방법을 제시하였다.

1. 서론

컴퓨터그래픽스에 있어서 물체를 쉽고 빠르게 표현하는 방법에 대해 많은 연구가 있어 왔다. 정의하기 쉽고 다루기 간편한 요소들을 사용하여 물체를 나타내는 것은 많은 응용분야에서 필수적인 용도가 되고 있다. 그러나 사실적인 장면을 생성하기 위해서는 복잡한 형태의 물체를 표현하고 렌더링하는 것이 필수적이다[1].

음함수 곡면(Implicit Surface)은 점이나 선분, 원 또는 기타의 다양한 기하학적 도형을 골격 요소(Skeletal Primitives)로 사용하여, 정해진 에너지 밀도 함수에 의한 특정 임계값을 만족하는 공간상의 점들의 집합으로 정의되는 곡면으로서 매개 변수 곡면 표현의 다항식 형태의 수식 표현에 의한 형태 규칙성에서 벗어나 다양한 형태의 변형이 가능하여 일반적으로 부정형 물체의 형상을 모델링하는데 성능이 뛰어나다. 또한 골격 요소 사이의 용이한 블렌딩으로 유기체의 표현이나 뼈와 같은 골격을 가진 사

람의 모델링, 동물의 동체, 신체의 장기, 근육의 표현 등의 모델링 및 애니메이션에 많이 이용되고, 유용하다는 장점을 갖는 기법이다[2].

하지만 기존에 제안된 다양한 형태의 프리미티브들은 크기와 위치에 대한 매개변수 값만을 가지고 표현함으로써 기울어진 형태의 회전 값을 갖는 물체를 표현하기 어려웠다. 본 논문에서는 프리미티브에 회전 값을 갖도록 하여 보다 적은수의 프리미티브를 이용한 모델링 방법을 제안한다.

2. 음함수 모델링

2.1 음함수 곡면

음함수 곡면은 3차원 공간상에서 $F:R^3 \rightarrow R$ 인 필드함수(Field Function) $F(x, y, z)$ 를 골격 요소로부터의 거리에 반비례하는 에너지 강도를 나타내는 에너지 밀도 함수로 하여 실수 임계값(Threshold Value) T 에 의해 정의 되는 곡면이다.

$$F(x, y, z) - T = 0$$

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원 사업의 연구결과로 수행되었음

따라서 임계값 T는 필드 함수 값이 T가 되는 점 P(x, y, z)들의 집합인 등가면(Isosurface)을 정의하게 된다. 임계값 T가 작을수록 에너지 소스에서 등가곡면까지의 거리는 멀어지게 되므로 필드함수는 에너지 소스와 공간상의 한 점 사이의 거리 r에 따른 함수 F(r)로 표현할 수 있다[3].

2.2 음함수 프리미티브(Implicit Primitive)

음함수 곡면을 정의하기 위해 다양한 음함수가 사용될 수 있으나 계산비용을 고려하여 일반적으로 다항식을 사용한다. 이 다항식은 물체의 형태에 따라 복잡도가 달라지며, 매우 복잡한 형태의 물체를 표현하기 위해서는 고차다항식이 필요하게 되지만, 5차 이상의 고차다항식은 근의 공식이 존재하지 않아 근사해를 구하는 수치해석적인 방법을 이용하여 하므로 계산비용에 있어서 문제가 될 수 있다. 또한 빠르게 근사해를 구하는 방법을 사용하더라도 정확한 해를 얻기 위한 여러 고려사항들이 필요하므로 다루기 까다롭다.

Blinn[4], Nishimura[5], Murakami[6], Wyvill[7], Kim[8] 등에 의해 프리미티브 특성을 고려한 다양한 필드 함수들이 개발되어 왔다. 1986년 Blinn에 의해 제안된 음함수 프리미티브인 blobby model은 원자의 전자구름이나, 분자의 물리적인 ball and stick 모델에 기초를 두고 있다. 따라서 자기장, 중력장 같은 에너지 장을 표현하는데 자연스러우며 지수함수의 간단한 함수로 정의되는 장점이 있다. 그러나 지수함수의 특성상 공간적으로 아주 먼 거리에 있는 점에서도 에너지 값이 0(zero)이 되지 않는 단점이 있다. 이러한 단점 때문에 지수함수를 근사하는 다항식을 필드함수로 갖는 요소들을 개발하려는 노력이 계속 되어 왔다.

Nishimura는 독자적으로 음함수 곡면 모델 개발하여 메타볼이라 하였고, 지수함수를 두 개의 간단한 2차 다항식으로 근사하는 구간별 2차식을 필드함수로 사용하였다. 그러나 차수가 낮은 함수로 인해 지수함수를 근사하는 두개의 2차 함수가 만나는 부분에서의 계산상의 오차가 크다는 단점이 있다. Wyvill의 지수함수를 근사하는 다항식의 필드함수를 갖는 요소를 정의하고 이에 관한 디스플레이 함수를 개발하여 soft object라 불렀다.[5]

이러한 점 요소들은 점을 중심으로 하여 동일한 거리에 있는 위치들이 모두 같은 밀도 값을 가지므로 하나의 점 요소는 구형의 표면을 생성할 수 있

다. 또한 이러한 점 요소들은 적당한 거리에 배치하게 되면 서로의 밀도 함수 값이 더해져(Blending) 새로운 형태의 곡면을 형성할 수 있다. 음함수 곡면 모델링을 위한 프리미티브들은 사용되는 필드함수에 따라 다른 이름으로 불리며, 각각에 따라 렌더링을 위한 곡면 위치를 찾는 방법들도 달라지고 있다[2].

표 1 음함수 프리미티브와 필드 함수의 형태

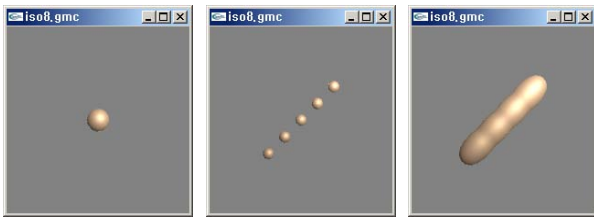
함수 종류	표현식	제안자/년도	Primitive
지수 함수	$f_i(r) = e^{-\pi r^2}$	Blinn /1982	Blobs
구간별 2차 다항식	$f_i(r) = \begin{cases} 1 - 3\left(\frac{r}{R_i}\right)^2 & \text{if } (0 \leq r < \frac{R_i}{3}) \\ \frac{2}{3}\left(1 - \left(\frac{r}{R_i}\right)\right)^2 & \text{if } (\frac{R_i}{3} \leq r \leq R_i) \end{cases}$	Nishimura /1983	MetaBall
4차 다항식	$f_i(r) = \left(1 - \left(\frac{r}{R_i}\right)\right)^2$	Murakami /1987	MetaBall
6차 다항식	$f_i = -\frac{4}{9}\left(\frac{r}{R_i}\right)^6 + \frac{17}{9}\left(\frac{r}{R_i}\right)^4 - \frac{22}{9}\left(\frac{r}{R_i}\right)^3 + 1$	Wyvill /1986	Soft Object
6차 다항식	$f_i = \left(1 - \left(\frac{r}{R_i}\right)\right)^3$	Kim /1996	Metaball/ Metacube

지금까지 개발된 음함수 프리미티브들은 회전에 대한 매개변수 값을 표현 할 수 없었기 때문에 기울어진 형태의 물체를 표현하는데 있어서, 여러 개의 프리미티브들을 블렌딩 함으로써 원하는 결과를 얻어야만 했다. 회전 값이 없는 다수의 프리미티브를 이용한 모델링 및 애니메이션은 각각의 프리미티브의 음함수 곡면을 계산 하는데 많은 시간을 요구하며, 여러 프리미티브들의 블렌딩 제어 및 원하는 모양을 얻기 위해 여러 번의 실험을 수행해야만 했다.

3. 회전값을 갖는 음함수 모델링

본 논문에서는 기존의 음함수 프리미티브들이 회전에 대한 매개변수 값을 표현 할 수 없었기 때문에 기울어진 형태의 물체를 표현하는데 있어서 여러 개의 프리미티브들을 블렌딩 함으로써 원하는 결과를 얻어야만 했던 것을 메타큐브에 회전 값을 갖도록 하여 블렌딩 없이 단일 프리미티브로 기울어진 모양을 표현할 수 있는 방법을 제안 한다.

<그림 1>는 기울기를 갖는 물체를 표현하기 위해 5개의 메타큐브 프리미티브를 이용하여 블렌딩 함으로써 얻어진 결과를 나타내고 있다.



<그림 1> 회전 값이 없는 프리미티브 모델링

기존의 메타큐브 M은 중심점 C와 큐브를 형성하는 중심점에서 각 축으로의 거리를 나타내는 큐브반경 d, 큐브로부터 필드값이 존재하는 범위를 나타내는 필드반경 r, 그리고 메타 큐브 자체의 밀도 값 w의 4가지의 요소에 의해 다음과 같이 정의 하였다[8].

$$M = (C, d, r, w)$$

이러한 메타 큐브에 3차원 공간상에 대한 회전 값 R을 추가하여 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$M' = (C, d, r, w, R)$$

(단, $R = (\text{Rotate } x, \text{Rotate } y, \text{Rotate } z)$)

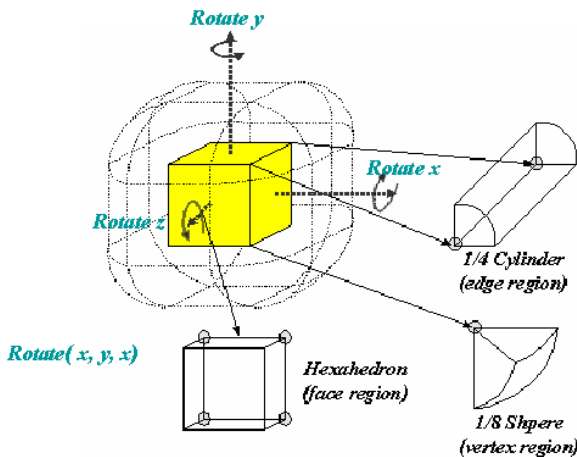


그림 2 회전값을 고려한 메타큐브의 구조

<그림 2>은 음함수 프리미티브인 메타큐브에 회전 값을 정의하기 위한 매개변수를 나타내고 있다.

회전 값이 없는 다수의 프리미티브를 이용한 모델링 및 애니메이션은 각각의 프리미티브의 음함수 곡면을 계산 하는데 많은 시간을 요구하며, 원하는 모양을 얻기 위해 여러 번의 실험을 수행해야만 했다.

본 연구에서는 음함수 프리미티브에 회전 값에 대한 매개변수 값을 부여함으로써 여러 개의 프리미티브를 이용해야만 했던 모델링 방법을 개선하였다.

<그림 3>은 회전 값을 부여한 메타큐브의 모델링 결과를 보여 주고 있다.

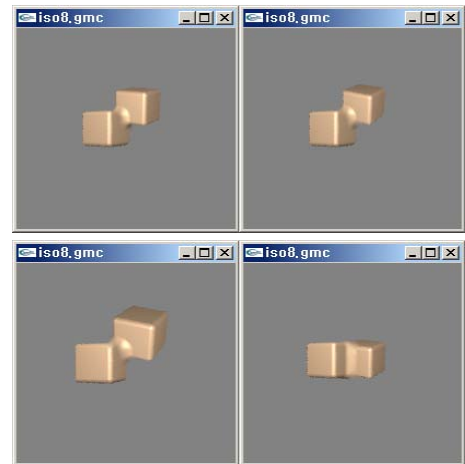


그림 3 회전값을 갖는 프리미티브

음함수 프리미티브를 이용해 물체를 생성하고 효과적으로 애니메이션하기 위해 각각의 프리미티브에 회전 값을 부여함으로써 계산에 드는 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 다수의 프리미티브를 사용할 때 발생할 수 있는 원치 않는 블렌딩을 최소화함으로써 각각의 프리미티브의 블렌딩 제어에 소요되는 노력을 최소화 할 수 있다.

4. 실험결과

기존의 음함수 프리미티브들은 회전에 대한 매개변수 값을 가지고 있지 않기 때문에 기울어진 형태의 모양을 가진 물체를 표현하고자 할 경우 여러 개의 프리미티브의 블렌딩을 통해서 원하는 물체의 모양을 모델링하였다.



(a) (b) (c)

<그림 4> 회전 값이 없는 프리미티브 모델링

<그림 4> (a)는 회전 값을 갖지 않는 한 개의 프리미티브를 이용한 모델링 결과이며, <그림 4> (b)는 2개의 프리미티브를 이용한 모델링 결과이다. 하지만 <그림 4> (c)와 같이 기울어진 형태의 물체를 모델링하기 위해서는 더 많은 수의 프리미티브가 요구 된다. <그림 4> (c)는 6개의 프리미티브를 이용해 만든 기울어진 형태의 물체를 모델링 한 결과이며, 이와 같은 형태의 모양을 생성하기 위한 여러번

의 실험을 수행해야만 했다.



(a) (b) (c)

<그림 5> 회전 값을 갖는 프리미티브 모델링

<그림 5> (a)와 (b)는 회전 값을 갖는 프리미티브를 이용해 모델링한 결과이며, 기존에 표현하기 어려웠던 기울어진 형태의 모양을 쉽게 생성할 수 있었다. <그림 5> (b)는 기존에 6개의 프리미티브를 이용해야만 했지만 단지 2개의 프리미티브를 이용해 생성된 결과이다. <그림 5> (c)는 회전 값을 갖는 3개의 프리미티브를 이용해 기울어진 모양의 물체를 생성한 결과이다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 음함수 프리미티브를 이용해 물체를 생성하고 효과적으로 애니메이션하기 위해 각각의 프리미티브에 회전 값을 부여함으로써 적은 수의 음함수 프리미티브를 이용해 기울어진 형태의 물체를 표현하기 위한 방법을 제시하였다. 실험결과 계산에 드는 비용을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 다수의 프리미티브를 사용할 때 발생할 수 있는 원치 않는 블렌딩을 최소화함으로써 각각의 프리미티브의 블렌딩 제어에 소요되는 노력을 최소화할 수 있었다.

향후 연구 방향으로는 회전 값을 갖는 음함수 프리미티브를 이용한 애니메이션에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] Nishita, T. and Nakamae, E., A Method for displaying Metaballs by using Bezier Clipping, Proc. Eurographics '94, Vol.13, No.3, pp.271-280, 1994
- [2] L. Velho, J. Gomes, L. H. Figueiredo, "Implicit Objects in Computer Graphics", Springer-Verlag New York, 2002.
- [3] J. Montagnat, H. Delingette, N. Ayache, "A review of deformable surfaces: topology, geometry and deformation," Image and Vision Computing 19, 2001, pp.1023-1040.
- [4] Blinn, J. F., "A Generalization of Algebraic Surface Drawing", ACM Transactions on Graphics, Vol.1, No.3, pp.235-256, July 1982.
- [5] Nishimura, H., Hirai, M., Kawai, T., Kawata, T., Shirakawa, I. and Omura, K., "Object Modeling by Distribution Function and a Method of Image Generation", Trans. IEICE Japan, Vol. J68-D, No4, pp.718-725, 1986.
- [6] S. Murakami and H. Ichihara, "On a 3D Display Method by Metaball Technique," Journal of Electronics Communication, Vol.J70-D, No.8, 1987, pp.1607-1615.
- [7] G. Wyvill, G. MacPheeter, and B. Wyvill, "Data structure for soft objects," Visual Computer, Vol. 2, 1986, pp.227-234.
- [8] E. S. Kim, G. T. Hur, J. J. Kim, "Metacube: An Anisotropic Skeletal Element for Implicit Model," Proceedings of SCI 2003, pp.173-178, July 27-30, 2003.