

복셀로 표현된 임플리시트 곡면을 위한 시프트(shifted) 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱

김학란[†], 박화진^{**}

요 약

본 논문은 복셀(voxel)로 표현된 임플리시트(implicit) 곡면에 새로운 앤티 앨리어싱 방법을 적용하여 저해상도에서도 양질의 이미지를 구현하는 것을 목적으로 한다. 임플리시트 곡면은 독창적인 3-D 모델링과 제어 방법을 만들며 과학 유사 분야와 의료영상 가시화 부분, 애니메이션 원형과 의료용 시뮬레이션, 대화식 모델링 같은 분야에 많이 이용되고 있다. 레이 트레이싱이나 텍스처 맵핑으로 표현된 임플리시트 곡면에서의 앤티 앨리어싱 방법은 일반적으로 stochastic 샘플링 방법이 많이 사용되고 있지만 이 방법은 복잡한 함수로 표현된 임플리시트 곡면에 더 많은 어렵고 복잡한 계산을 요구하며 이에 따라 처리시간과 비용이 많이 든다. 반면에 복셀로 표현되는 임플리시트 곡면은 고해상도를 사용하여 부드러운 이미지를 나타내고 있지만 시간이 많이 걸리는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 시프트(shifted) 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 제안하였다. 시프트(shifted) 더블 Z-버퍼를 이용한 앤티 앨리어싱 방법 외에 box필터와 tent필터를 적용하여 앤티 앨리어싱 효과를 증가시킨 곡면 이미지를 구현하였다. 결론적으로, 시프트(shifted) 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법은 간단하고 효율적인 방법이며 여러 형태의 필터링 적용이 가능하고 멀티 Z-버퍼로의 확장성이 좋다.

A Double Z-buffer Antialiasing Method for Voxelized Implicit Surfaces

Kim Hak Ran[†], Park Hwa Jin^{**}

ABSTRACT

This paper aims at presenting high quality at low resolution apply by a new antialiasing method for voxelized implicit surfaces. Implicit surfaces create a unique type of 3D-modeling. Some use of implicit surfaces are scientific and medical visualization, animation, medical simulation and interactive modeling. One of previous antialiasing methods for implicit surfaces presented by raytracing or texture mapping is making use of a stochastic sampling. But this method requires more calculation time and costs which is caused by complicated and difficult implicit functions. In the meanwhile, voxelized implicit surfaces generally use high resolution for good quality images but it costs to generate. In order to this problem, this paper suggests a shifted double Z-buffer which is very simple, more efficient and easy. In addition, there are applied box-filter and tent-filter to the double Z-buffer antialiasing method for better images. For results this method generate high quality image and it is easy to apply to various filters and is able to extend to multi Z-buffer.

Key words: Computer Graphics(컴퓨터 그래픽), Implicit Surfaces(임플리시트 곡면), Antialiasing(앤티 앨리어싱)

※ 교신저자(Corresponding Author): 김학란, 주소: 서울 특별시 용산구 청파동 2가 53-12번지(140-742), 전화: 02) 710-9379, FAX: 02)710-9704, E-mail: imhera@sookmyung.ac.kr

접수일: 2003년 4월 8일, 완료일: 2003년 7월 11일
* 준회원, 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학 전공 박사과정

** 종신회원, 숙명여자대학교 멀티미디어과학과 교수
(E-mail: hwajinpk@sookmyung.ac.kr)

※ 본 연구는 숙명여자대학교 2002년도 교내연구비 지원에 의해 수행되었음.

1. 서 론

컴퓨터 그래픽이 발전함에 따라 3차원 컴퓨터 그래픽은 물체의 모델링이나 가상 시뮬레이션, 게임, 애니메이션등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 활용 분야에 따라서 앤티 앨리어싱 방법이 다르게 적용되는데 실시간 게임이나 상호작용 해야 하는 애니메이션 같은 경우에는 빠른 계산 시간이 요구되는 방법이

연구되고 있다. 반면에 모델링 분야나 가상 시뮬레이션 등 실시간으로 물체를 생성해야 할 필요가 없는 경우에는 시간이 좀 걸리더라도 양질의 이미지를 표현하는 방법이 적용된다. 본 논문에서는 실시간으로 그래픽 객체를 생성해야 하는 경우가 아니므로 빠른 계산 방법을 요구하는 엔티 앨리어싱 방법을 고려하지 않아도 되지만 임폴리시트 곡면을 표현하는데 따른 시간 소요가 많으므로 복잡한 계산으로 인한 시간 지연을 최대한 줄이는 방법을 적용 할 것이다. 본 논문에서 다루게 될 임폴리시트 곡면의 경우 독창적인 모델링과 제어 방법을 만들기 때문에 과학 유사 분야와 의료영상 가시화 부분, 애니메이션 원형과 의료용 시뮬레이션, 대화식 모델링 같은 분야에 많이 이용되고 있다. 일반적으로 복셀(voxel)로 표현된 임폴리시트 곡면은 해상도가 매우 높기 때문에 이미지가 부드럽게 나타나 보이지만 이런 이미지를 표현하기 위해서는 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 하지만 본 논문에서 사용하게 될 예제는 해상도가 일반적으로 많이 사용되고 있는 임폴리시트 곡면과 비교해 볼 때 낮은 수준이어서 앨리어싱으로 인하여 부드럽지 못한 곡면으로 표현되고 있다. 아래의 그림 1은 Nilo Stolte에 의하여 구형과 원기둥의 조합으로 만들어진 예제 곡면으로 복셀 공간을 위한 해상도가 512*512*512이다[9]. 이와 같이 단순히 해상도를 2배 정도만 높여도 양질의 이미지를 표현할 수는 있지만 저해상도를 사용한 임폴리시트 곡면을 위해서 표현 시간을 많이 필요로 하지 않는 새로운 엔티 앨리어싱 처리 과정이 요구된다.

임폴리시트 곡면을 표현하는 방법은 레이 트레이싱이나 텍스처 맵핑 등 렌더링에 의한 방법과 복셀에 의한 방법이 있다. 레이 트레이싱이나 텍스처 맵핑에



$$\sin(3 * \theta) * \sin(4 * \phi) - r = 0$$

그림 1. 복셀로 표현된 임폴리시트 곡면예제

의한 임폴리시트 곡면의 엔티 앨리어싱 방법은 보통 stochastic 샘플링 방법이 연구되고 있으며 사용되고 있지만, 본 논문에서의 임폴리시트 곡면은 복셀로 표현되어 있으므로 수많은 3차원 복셀에 샘플링 방법을 적용하기에는 계산이 복잡하고 많은 시간이 요구된다. 따라서 기존의 stochastic 샘플링 방법을 그대로 사용하기에는 큰 무리가 따른다.

그래서 본 논문에서는 같은 해상도를 유지하면서도 단순하고 구현하기 쉬우며 계산이 복잡하지 않고 메모리의 효율성도 높은 새로운 엔티 앨리어싱 방법을 적용하여 향상된 이미지의 그래픽 객체를 표현하고자 시프트 더블 Z-버퍼를 사용한 방법을 제안 한다.

시프트 더블 Z-버퍼 엔티 앨리어싱 방법은 3차원 객체를 나타내기 위해서 프레임 버퍼를 사용하는 대신에 Z-버퍼를 사용한 프로그램에 시프트된 하나의 Z-버퍼를 더 추가하여서 두개의 Z-버퍼의 픽셀 값을 평활화 하여 앨리어싱을 줄이는 것이다. 또한 시프트 더블 Z-버퍼에 가중치 필터를 적용하여 엔티 앨리어싱 효과를 향상시키도록 하였다.

2. 임폴리시트 곡면

애니메이션 산업 부문에 있어서 컴퓨터를 사용한 3차원 모델링의 사용은 최근 10년 동안 놀랄 만큼 빠르게 증가하고 있다. 상업적 시스템에서 이런 모델들을 위한 가장 인기 있는 원형체는 스플라인 곡면(Spline Surfaces)과 다각형 그물(polygon meshes)이다. 그러나 3차원 만화 캐릭터나 물의 곡면과 같은 유연한 객체를 만드는데는 불편하다. 유연한 곡면을 표현하기 위해 좀더 적합한 기술이 Blinn에 의해 처음 만들어졌는데, 분자 안의 일정한 에너지 곡면을 모델하기 위한 것이었다[7].

임폴리시트 곡면은 어떤 특별한 요구를 만족하는 3차원 공간 안의 점들로 구성되며, 그 요구는 한 점 p를 독립 변수로 갖는 함수 f로 표현된다. 만약 $f(p) = 0$ 이면, P는 곡면에 존재하게 된다. 반면에 익스플리시트 곡면의 함수 f는 $z = f(x,y)$ 와 같은 방정식을 갖게 되는데, 곡면의 모양을 제한하며 돌출이나 수직 경사면 같은 것을 표현 할 수가 없다. 그래서 그 어려움을 해결하기 위한 접근법으로 제안된 것 중의 하나가 임폴리시트 방법이다. 곡면은 보통 하나 혹은 두 가지 방법의 수학적으로 표현되는데. 그 중 하나가

앞에서 설명한 임플리시트 방법이며, 즉, $f(x, y, z) = 0$ 으로 표현되며, 다른 한가지 방법은 첨자식 방법이다. 첨자식 방정식은 다음과 같다[3].

$$\begin{aligned} X &= x(u, v) \\ Y &= y(u, v) \\ Z &= z(u, v) \end{aligned}$$

전통적으로, 컴퓨터 그래픽에서는 기하학적인 처리를 하는데 있어서 곡면 계산과 위치와 접촉의 조절이 용이하고 렌더링이 간단하기 때문에 임플리시트 곡면 위에 다량의 첨자식 표현을 선호해 왔다. 첨자식이 구분적인 곡면의 조각들을 내용으로 한 객체를 표현한 반면 임플리시트 곡면은 자연스럽게 객체의 내부부를 묘사한다. 다시 말하자면, 임플리시트 곡면은 고형체나 본질적인 혼합 속성을 자연스럽게 묘사하는 관점에서 주목 받고 있다[10].

비록 본 논문에서는 수학적 함수에 의해 표현된 몇몇 객체의 임플리시트 곡면을 대상으로 한 안티앨리어싱 알고리즘이 적용된 예를 보이게 되겠지만 애니메이션이나 부드러운 형태로의 변형과 같은 유기적 형태의 상업적인 애니메이션에서도 임플리시트 곡면의 사용이 증가되고 있다.

3. 임플리시트 곡면에 적용된 안티 앨리어싱 방법

기존의 임플리시트 곡면에 적용된 안티 앨리어싱 방법에 대해서는 해외 논문이나 학회지에 소개된 자료가 많이 나와 있지는 않다. 향후 과제 중 하나로 제안된 정도이다. 이는 3차원 복셀로 표현된 임플리시트 곡면에 적용시킬 수 있는 기존의 안티 앨리어싱 방법들이 적합하지 않아서이다. 그 이유와 연구되고 있는 몇몇 안티 앨리어싱 방법을 알아보자.

3.1 기존 연구

먼저 임플리시트 곡면을 샘플링하기 위한 파티클 시스템에 대한 논문을 예로 들어보자. 파티클 시스템을 사용한 이유는 두 가지 문제점 때문인데 그중 하나는 다음과 같다. 임플리시트 곡면이 레이 트레이싱에는 적합하지만 실시간으로 변하는 곡면을 렌더링하기 위해서는 생생하게 상호 작용해야 하는 문제점이 있으며, 두 번째 문제점은 임플리시트 곡면의 모양이 첨자식 방법보다 제어하고 특징짓기 어렵다는

것이다[5]. 여기에서 제안한 파티클들을 사용한 방법은 임플리시트 곡면의 빠른 샘플링이나 제어에 그 중심을 두고 있으므로, 앨리어싱을 제거한 부드러운 임플리시트 곡면을 원하는 방법과는 차이가 있다.

또 다른 제안된 몇몇 방법들을 보면 임플리시트 곡면을 샘플링 하기 위하여서 postfiltering 방법 중 stochastic 방법을 적용한 사례가 눈에 띈다. Monte Carlo 시뮬레이션에 stochastic 처리를 적용하여 복잡한 임플리시트 곡면에 빠르고 정형화된 샘플링 포인트들을 만들어 낼 수 있음을 보여주고 있다. stochastic 샘플링 방법은 파티클 시스템을 기반으로 물리법칙에 따른 샘플링에 범위를 둘 수 있다. 하지만 기존의 stochastic 파티클들을 사용한 방법과는 다르다. 그래서 각 파티클을 위한 멀티-파티클 시스템 계산을 완전하게 수행할 수 있다고 한다. 또한 임플리시트 곡면의 교점을 발견하기 위해서도 유용한 방법을 제공한다고 하는데, 이 방법의 다른 장점으로는 임플리시트 곡면 위의 굽은 면에서도 정형화된 분포 샘플링 포인트들을 발생시킬 수 있다는 것이다[6]. 그런데 일반적인 그래픽 곡면의 경우에 stochastic 샘플링 방법이 적용되는 또 다른 이유는 바로 레이 트레이싱 방법으로 표현이 되기 때문이다. 레이 트레이싱 알고리즘은 이미지의 모든 점에 대해서 하나의 색상으로 표현이 되는 것으로, 픽셀 당 하나의 광선을 적용한다면 앨리어스가 발생하는 것은 명백하다. 그래서 픽셀 당 여러 개의 광선을 적용하는 슈퍼 샘플링이나, 각 픽셀의 가운데와 네 모서리 부분에 각 광선을 쏘는 적용할 수 있는(adaptive) 슈퍼 샘플링 방법을 적용하는데, 직선이나 규칙적인 텍스처와 같은 규칙적인 구조와 규칙적인 샘플 그리드와 서로 상호 작용하여서 이 또한 앨리어싱이 발생한다. 예로 모아레 패턴을 들 수가 있다. 그래서 적용된 샘플링 방법이 통계적 무작위적인 샘플 방법인 stochastic을 적용한 것이다[2].

또한 임플리시트 곡면을 렌더링 하기 위하여 레이 트레이싱을 사용할 경우 임플리시트 곡면에 하나의 광선을 교차시키기 위하여 1차원 근의 값으로 줄여야 하는데, 이것은 복잡한 임플리시트 공식에 대해서는 속도가 매우 느려질 수 있다. 그래픽 하드웨어의 속도 증가를 위해 렌더링에 Z-버퍼 알고리즘을 이용하는데, 이는 임플리시트 곡면을 폴리곤이나 다른 첨자식 곡면으로 변환해야만 하는 어려움이 있다. 또한 이 논문에서는 stochastic 미분 방정식을 풀기 위해

서 Box-Muller 방법과 Euler 공식 등을 사용했으며 Runge-Kutta 방법도 고려되고 있다[8]. 당연히 복잡한 계산에 따른 속도 저하가 문제점으로 부각된다. 가장 큰 문제점은 복셀로 표현된 임폴리시트 곡면을 위해서는 stochastic 방법이 앤티 앨리어싱을 적용시키기에 적합하지 않다는 것이다. 그래서 복잡한 계산을 요구하여서 처리 시간과 비용이 많이 드는 stochastic 샘플링 방법 대신에 본 논문에서는 시프트 더블 Z-버퍼를 이용한 앤티 앨리어싱 방법을 제안 한다.

3.2 시프트 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱

본 논문에서 예제로 사용한 2개의 임폴리시트 함수는 다음과 같다.

$$F = \min(G, TempF) \tag{1}$$

where,

$$G = |f_i| + |f_o|$$

$$f_i = F - 0.15 \sin\left(\frac{x}{0.1}\right) \sin\left(\frac{y}{0.1}\right) +$$

$$0.3 \sin\left(\frac{x}{0.038}\right) \sin\left(\frac{y}{0.06}\right) \sin\left(\frac{z}{0.06}\right)$$

$$f_o = F + TempF$$

$$\text{where, } F = x^2 + 2.0 y^2 + 2.0 z^2 - 2.0$$

$$TempF = x^2 + 2.0 y^2 + 2.0 z^2 - 2.0 + 0.2$$

$$miro = |F| + |F| \tag{2}$$

where,

$$F = 3.2 - \frac{0.3}{\sqrt{Y-0.6+\sqrt{Z+0.1}}} - \frac{0.3}{\sqrt{X-0.5+\sqrt{Z+0.1}}}$$

$$- \frac{0.2 * \sqrt{x+0.8} + \sqrt{y+0.8} + \sqrt{z-0.7} + 0.1}{0.1}$$

$$- \frac{\sqrt{x-0.9} + \sqrt{y+\sqrt{z+0.1}}}{0.4}$$

$$- \frac{\sqrt{x+0.8} + \sqrt{y+\sqrt{z+0.1}}}{0.3}$$

$$- \frac{\sqrt{x}\sqrt{y+0.6} + \sqrt{z-0.7} + 0.1}{0.4}$$

$$- \frac{\sqrt{\sqrt{x+0.3} + \sqrt{y-0.6} + \sqrt{z-0.4} + 0.1}}{0.3}$$

$$F1 = 3.2 - \frac{0.3}{\sqrt{Y-0.6+\sqrt{Z+0.1}}} - \frac{0.3}{\sqrt{X-0.6+\sqrt{Z-0.3}+0.1}}$$

$$- \frac{\sqrt{x+0.7} + 2 * \sqrt{y+0.8} + \sqrt{z-0.7} + 0.1}{0.1}$$

$$- \frac{\sqrt{x-1.2} + y + 0.3 + \sqrt{z+0.1}}{0.4}$$

$$- \frac{\sqrt{x+0.8} + \sqrt{y+\sqrt{z-0.4}+0.1}}{0.3}$$

$$- \frac{\sqrt{x+0.15} + \sqrt{y+0.7} + \sqrt{z-0.9} + 0.1}{0.4}$$

$$- \frac{\sqrt{\sqrt{x+0.5} + \sqrt{y-0.7} + \sqrt{z-0.5} + 0.1}}{0.4}$$

이 함수들은 Sarah F. Frisken, Ronald N. Perry, Alyn P. Rockwood, Thouis R. Jones에 의해서 SIGGRAPH2000 학회에 발표된 논문인 'Adaptively Sampled Distance Fields: A General Representation of Shape for Computer Graphics'에서 예제로 사용된 함수 중의 하나로 skeleton으로 표현되었으며, 이 논문에서 향후의 연구 과제로 제시된 분야중의 하나가 앤티 앨리어싱이다. 본 논문에서 예제로 구현결과를 보인 2개의 곡면 이외에도 11개의 임폴리시트 함수로 표현되는 예제 프로그램에 본 논문에서 제안한 시프트 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 모두 적용시켰으나, 복셀간 색상 대비가 심해서 앨리어싱이 비교적 많이 나타나며, 상대적으로 앤티 앨리어싱 효과는 더 뚜렷이 나타나는 위의 식(1)과 식(2)의 임폴리시트 곡면을 선택하여 구현결과를 보인다. 언급한 2개의 함수와 다른 여러 함수들은 모두 해상도 150*150*150으로 표현되며 일반적인 3-D 모델링을 위한 복셀로 표현되는 임폴리시트 곡면의 해상도와 비교할 때 낮은 수준이다.

그림 2와 그림 3은 본 논문에서 예제로 사용한 식(1)과 식(2)로 표현된 2개의 임폴리시트 곡면을 나타낸 이미지들이다.

임폴리시트 곡면에 시프트 더블 Z-버퍼를 적용한 이유는 본 논문에서 사용한 곡면이 레이 트레이싱이나 텍스처 맵핑에 의한 것이 아닌 복셀로 표현된 임폴리시트 곡면이라는 사실이다. 복셀은 'volume

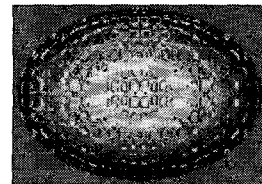


그림 2. 식(1)에 의해 생성된 임폴리시트 이미지1



그림 3. 식(2)에 의해 생성된 임폴리시트 이미지2

pixel' 또는 'volumetric pixel'이라고도 불리며 높이와 넓이, 질감(혹은 깊이)을 가진 3차원상의 큐빅형 유닛을 가리키는 말이다. 2차원 평면으로 그래픽을 표현하기 위해서는 폴리곤과 픽셀을 사용 하지만 평면적인 픽셀과는 달리 큐빅 모형의 복셀을 조합하면 3차원 물체와 공간을 창조해 낼 수 있다. 폴리곤을 이용한 3차원 그래픽에 비해서 복셀은 입체를 연결하고 연결해서 3차원 물체를 만들어내는 방법으로 사실적인 묘사에 뛰어나서 처음에는 의학용으로 개발되어 사용하였다. 픽셀 정보와 함께 픽셀에 대한 거리 값까지 표현하는 방식이므로 시프트 더블 Z-버퍼를 이용한 엔티 앨리어싱을 구현하기에 알맞다. 임플리시트 곡면에 시프트 더블 Z-버퍼 엔티 앨리어싱 방법을 구현하기 위한 시프트 더블 Z-버퍼의 구조를 보면, 먼저, 임플리시트 함수에 의한 3차원 객체를 표현하기 위하여 표현해야 할 함수값 중에서 사용자의 관점에서 가장 가까운 위치의 픽셀 z값을 Z-버퍼에 저장한다.

하나의 Z-버퍼를 사용한 임플리시트 곡면이 앨리어싱을 많이 나타내며 매끄럽지 못한 곡면을 나타내므로, 여기에 엔티 앨리어싱 방법을 적용시키기 위해서 0.5픽셀씩 각각 움직여준 또 다른 Z-버퍼를 만든다.

이렇게 만들어진 Z-버퍼와 기존의 Z-버퍼의 픽셀 값을 더한 후에 평균을 구하여 그 값을 Z-버퍼 값으로 출력한다. 이런 처리 절차는 대비가 심한 두 픽셀 사이의 중간 값을 생성시켜서 대비를 완화시키는 효과로 부드러운 객체로 표현된다.

다음 그림 4는 위에서 설명한 시프트 더블 Z-버퍼의 적용 개념도 이다.

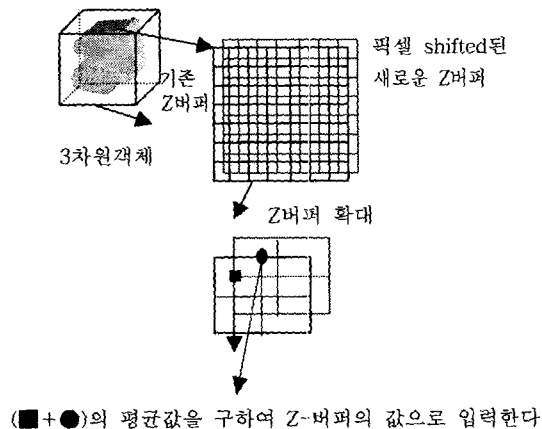


그림 4. 시프트 더블 Z-버퍼의 적용 개념도

시프트 더블 Z-버퍼를 이용하여 앨리어싱이 발생한 임플리시트 곡면에 적용한 엔티 앨리어싱 구현 결과를 보면 다음 그림 5와 그림 6과 같다.

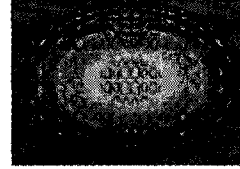


그림 5. 시프트 더블 Z-버퍼 적용 후 이미지1



그림 6. 시프트 더블 Z-버퍼 적용 후 이미지2

원래 곡면과 Z-버퍼 적용 후의 곡면을 전체 이미지로 비교해 보면 대비가 심한 픽셀들 사이에 중간 색상의 픽셀생성에 의해 전체적으로 이미지가 한결 부드러워졌음을 느낄 수 있다. 표현된 이미지의 일부분을 자세히 픽셀 확대시켜 보면 엔티 앨리어싱 효과를 더 확실히 알 수가 있으며 참조할 그림들은 본문 끝부분의 그림 12와 그림 13, 그림 16과 그림 17이다.

4. 가중치 필터링을 적용한 시프트 더블 Z-버퍼 구현

시프트 더블 Z-버퍼를 적용한 경우는 기존의 Z-버퍼 픽셀 값과 새로운 Z-버퍼의 픽셀 값 두 개를 평균하였으나 더 향상된 임플리시트 곡면 이미지를 얻기 위하여, 해당하는 기존픽셀 값과 그 주변의 새로운 픽셀 4개의 값을 평균하는 방법을 적용한다. 이렇게 하면 기존픽셀의 값이 주변 픽셀 값을 더 많이 고려하므로 더 나은 엔티 앨리어싱 효과를 나타내게 된다.

먼저, 이미지가 이산적인 픽셀로 구성되기 때문에 나타나는 앨리어스를 부드럽게 보이도록 처리하기 위하여 구현된 임플리시트 곡면에 대한 엔티 앨리어싱 처리 절차를 보면 다음과 같다.

1단계 : 곡면을 표현하기 위해서 1부터 149까지의 각각의 x, y, z 값에 대해서 특정한 임플리시트 함수를 적용한 후, 그 3차원 함수 값을 3차원 테이블에 저장한다.

2단계 : 각각의 x, y, z 에 대해서 0.5씩 더해준 후 새로운 함수 값을 생성, 저장한다. 이 과정은 0.5 픽셀씩 움직여 주는 새로운 Z-버퍼를 생성하기 위한 처리 과정이다.

3단계 : 1단계에서 처리한 임플리시트 함수 값을 모두 표현 하지 않고 보이는 값만을 표현 하기 위하여 각 복셀에 대한 z값을 Z-버퍼에 저장한다. 0.2보다 작은 함수 값에 대해서만 적용하였다. 이런 처리 과정은 특정한 임플리시트 곡면을 표현하기 위한 하나의 방법이다. 일종의 함수와 같은 기능을 한다. 따라서 0.2가 아닌 다른 수치 값을 적용할 경우 다른 형태의 곡면이 표현된다.

4단계 : 2단계에서 처리한 함수 값에 의한 새로운 Z-버퍼를 만든다. 즉, 0.5 픽셀씩 움직여 준 함수에 의한 새로운 Z-버퍼이다. 3단계와 같은 알고리즘을 거치게 된다.

5단계 : 임플리시트 곡면을 표현하기 위한 픽셀 값을 계산하기 위하여, 3차원 테이블에 저장된 기존의 함수 값과 0.5를 더해준 새로운 함수 값을 Z-버퍼와 새로운 Z-버퍼의 z-값에 의해서 한번 더 스케일링 처리과정을 거친 후 각각의 R, G, B를 계산한다.

6단계 : 픽셀 값을 중간 값으로 보간 하기 위하여 5단계 과정에서 구해진 원래 Z-버퍼에 의해서 표현해야 할 픽셀 값과 그 픽셀 주변의 새로운 Z-버퍼에 의해서 표현해야 할 주변4개 픽셀 값을 평균하여 화면에 나타내게 된다.

시프트 더블 Z-버퍼에 두 가지 형태의 필터를 또한 적용하였다. 필터링 기법을 사용했다는 것은 해당 픽셀에 가중치 마스크를 적용했다는 것과 유사하다. 일반적인 필터 함수로는 3가지가 가장 많이 사용되는데 box필터와 tent필터, 그리고 가우시안(gaussian) 필터이다. 본 논문에서는 box필터와 tent필터를 사용하여 더 향상된 이미지로 나타내도록 하였다.

4.1 box필터를 적용한 경우

이 방법은 가장 간단한 저 대역 필터로 적은 포인 트 샘플링에 의한 축소 배율과 픽셀 복사에 의한 화

대 배율로 얻어지며 큰 규모의 변화에 대해서는 이 방법은 이미지가 고르지 않을 수도 있다. 하지만 실시간 확대를 위한 방법으로 가장 많이 사용되어지며 본 논문의 알고리즘에 적용한 결과 간단하면서도 비교적 좋은 결과를 보여 주었다. box필터에 대한 기본 개념은, 필터 커널을 상자라고 하면, 상자의 높이를 1로 정하여 상자의 체적이 1이 되게 한 것이다.

본 논문에서의 box필터 처리 과정 알고리즘은 간단하다. 일반적인 필터링 마스크를 씌우는 처리과정을 본 논문에서는 같은 가중치를 가지도록 픽셀 값에 곱해주는 방법을 사용하였다. 기존의 Z-버퍼의 픽셀 값과 그 픽셀의 주변의 새로운 Z-버퍼로 생성된 4개의 픽셀 평균값을 구하여, 그 값을 곡면을 나타낼 픽셀 값으로 계산할 때, 기존 Z-버퍼 값과 새로운 Z-버퍼의 4개의 주변 픽셀 각각에 체적“1”값을 곱해 주었다. 그래서 전체 필터의 모양은 box형태를 띄게 되며 각각 5개의 픽셀이 “1”이라는 똑같은 가중치를 가지게 된다. 5개의 픽셀 값을 더해준 후 5로 나누어 평균 값을 구한다. 위에서 설명한 처리과정의 한 부분만을 간단히 표현해 보면 다음의 그림 7과 식 (3)과 같다. 여기서 사각형으로 표현되는 픽셀 값은 기존 Z-버퍼의 픽셀 값이며 4개의 원형은 사각형으로 표현되고 있는 기존 Z-버퍼 주변의 새로운 Z-버퍼 픽셀 값이다.

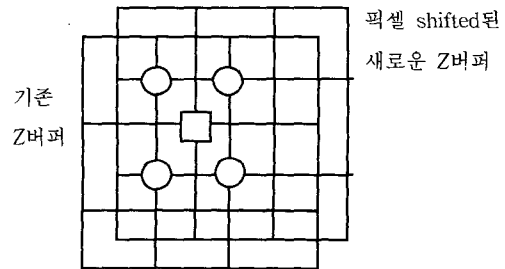


그림 7. box필터를 적용한 Z-버퍼 개념도

$$Z\text{-버퍼 값} = (\square + \circ + \circ + \circ + \circ) / 5 \quad (3)$$

다음 그림 8과 그림 9는 box필터를 적용한 후의 임플리시트 곡면의 구현 예이다.

시프트 더블 Z-버퍼를 적용한 곡면인 그림 5와 그림 6과 box필터 적용 후의 곡면인 그림 8과 그림 9를 비교해 보면 앤티 앨리어싱 효과가 더 뚜렷이 나타나며 전체적으로 부드러운 이미지로 표현되고 있음을

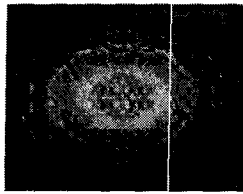


그림 8. box필터 처리 후 이미지1

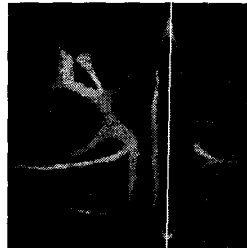


그림 9. box필터 처리 후 이미지2

볼 수 있다. 픽셀 확대한 그림 14와 그림 18을 보면 구현 결과를 더 자세히 참조할 수 있다. 2개의 주변 픽셀의 평균값을 사용한 시프트 더블 Z-버퍼보다는 5개의 주변 픽셀의 평균값을 사용한 box필터를 적용한 경우가 훨씬 더 좋은 안티 앨리어싱 효과를 나타내었다. 그러나 흐림 현상이 많이 나타나고 있는데, 이는 곡면이 표현해야 할 원래의 픽셀 값과 차이가 생겨서 나타나는 현상을 알 수 있다. 그래서 같은 안티 앨리어싱 효과를 가지면서 원래의 픽셀 값에 좀 더 근사한 tent필터를 적용해 보고자 한다.

4.2 tent필터를 적용한 경우

이 커널은 triangle 필터, tent필터, roof function, Bartlett 윈도우 등으로 불리며 주파수 영역에서는 적합한 좋은 저 대역 필터로 알려져 있다.

tent필터는 box필터가 주변 픽셀에 대해 똑 같은 가중치를 줌으로써 생기는 이미지의 흐림 현상을 개선시키는데, 이는 box필터가 원래의 픽셀 값과의 차이가 심해져서 나타나는 현상이다. tent필터에서의 가중치는 픽셀의 중심에 가까운 영역보다는 멀리 떨어져 있는 영역에 더 작은 가중치를 주어야 하는데, 이 필터를 쓰면 해당 픽셀이 최대의 강도로 밝아지는 않는다. 하지만 이로 인해서 인접한 픽셀들간의 강도 차이가 줄어들어서 구현 결과는 흐림 현상이 현저히 줄어드는 것으로 나타났다. 또한 중심부분에 큰 가중치를 주고 멀리 떨어져 있는 곳의 픽셀에 더

작은 가중치를 줌으로써 원래 픽셀 값과의 차이가 적어지므로 box필터보다 흐림 현상이 현저히 감소하면서도 픽셀을 확대해 보면 원래의 이미지에 더 충실하게 표현되어 안티 앨리어싱 효과는 더 뚜렷이 나타남을 볼 수 있다. 픽셀 확대한 이미지는 그림 15와 그림 19이다.

본 논문에서의 tent필터 처리과정을 살펴보면 box필터와 같은 알고리즘으로 프로그래밍 되었으며 가중치의 변화로 간단히 구현하였다. box필터가 "1"이라는 똑 같은 가중치를 5개의 픽셀 값에 각각 똑같이 곱해주는 반면에, tent필터를 적용시키기 위해서는 해당하는 원래의 Z-버퍼 값에는 중간 픽셀 값에 해당하는 가장 큰 가중치인 "0.5"를, 그리고 해당하는 원래의 픽셀 값 주변의 새로운 Z-버퍼의 4개의 픽셀 값에는 주변 픽셀 값에 해당하는 "0.125"의 값을 곱해 주었다. 그래서 5개의 픽셀 가중치를 합한 전체 체적의 합은 "1"이 되게 하였다. 따라서 가중치의 모양이 가운데 부분이 크고 주변은 작은 가중치를 가지게 되므로 tent 모양을 띄게 된다. Z-버퍼 값에 가중치를 곱해주는 수식과정을 tent필터의 가중치를 곱해주는 수식과정으로 나타내면 다음 식(4)와 같다.

■ : 기존 Z-버퍼 값 (그림 7 참조)

● : 새로운 Z-버퍼 값 (그림 7 참조)

$$Z\text{-버퍼 값} = (\blacksquare * 0.5 + \bullet * 0.125 + \bullet * 0.125 + \bullet * 0.125 + \bullet * 0.125) \quad (4)$$

아래 그림 10와 그림 11은 tent필터를 적용하여 구현한 임플리시트 곡면이다. Box필터를 적용한 경우와 비교해 보면 원래의 곡면 이미지를 더 충실하게 나타내면서 앨리어싱 효과는 그대로 나타남을 볼 수 있다. 즉 흐림 현상이 현저히 줄어들었다.

마지막으로 아래에 나열한 그림 12부터 그림 19는 예제로 사용한 임플리시트 함수에 안티 앨리어싱을



그림 10. tent필터 적용 후 이미지1

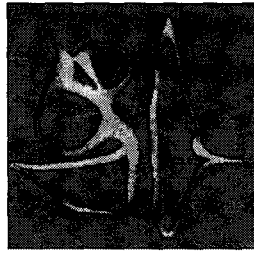


그림 11. tent필터 적용 후 이미지2

적용한 각각의 구현 결과 물에 대한 곡면의 일부분을 확대한 이미지들이다. 원래의 앨리어싱이 나타난 이미지1, 2와 시프트 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 적용한 이미지1, 2 그리고 여기에 box필터를 적용한 이미지1, 2 마지막으로 tent필터를 적용한 이미지1, 2이다. 일부분을 확대한 픽셀들을 비교해 보면 앤티 앨리어싱 방법의 적용에 따른 효과를 더 자세히 관찰할 수 있다.

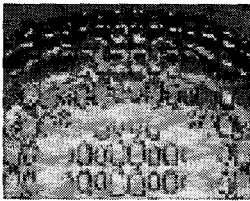


그림 12. 앨리어싱이 발생한 이미지1

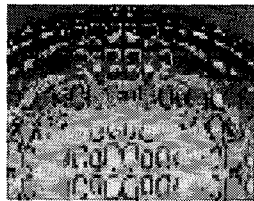


그림 13. 시프트 더블 Z-버퍼 적용 후 이미지1

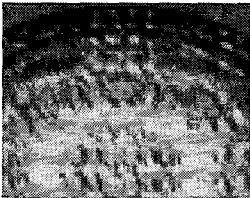


그림 14. box필터 적용 후 이미지1

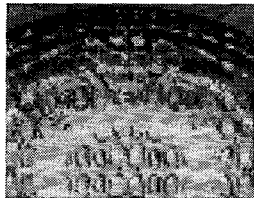


그림 15. tent필터 적용 후 이미지1



그림 16. 앨리어싱이 발생한 이미지2

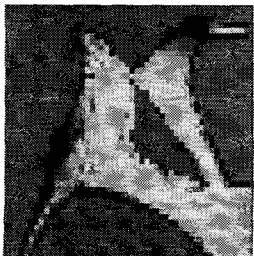


그림 17. 시프트 더블 Z-버퍼 적용 후 이미지2

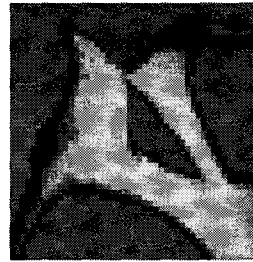


그림 18. box필터 적용 후 이미지2

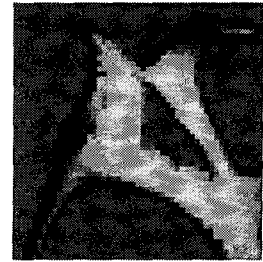


그림 19. tent필터 적용 후 이미지2

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 복셀로 표현된 임플리시트 함수로 만들어진 곡면이 저해상도를 적용했을 때 나타나는 앨리어싱을 줄이기 위해서 새로운 앤티 앨리어싱 방법을 제안한다. 이를 위하여 시프트 더블 Z-버퍼를 사용하여 저해상도로 표현된 임플리시트 곡면에 적용한 앤티 앨리어싱 방법을 구현하였다. 일반적으로 복셀로 표현된 임플리시트 곡면이 양질의 이미지를 나타내기 위해서는 고해상도를 필요로 한다. 하지만 이 방법은 표현시간을 너무 많이 요구한다. 따라서 본 논문에서는 시프트 더블 Z-버퍼를 프로그램에 적용하여 앤티 앨리어싱 방법을 구현하였으며 그 결과 다음과 같은 여러 가지 장점이 부각되고 있다.

첫째, 난해하고 복잡한 함수로 표현되는 임플리시트 함수에 더 많은 복잡한 계산을 필요로 하는 샘플링 알고리즘을 따로 적용하지 않아도 된다. 따라서 계산 시간이 많이 걸리지 않는다.

둘째, Z-버퍼를 이용하였으므로 메모리 면에서도 효율적이다. 비록 하나의 Z-버퍼를 더 사용하였으나 앤티 앨리어싱을 적용시키기 위한 최소한의 필요 메모리이다. 슈퍼 샘플링 방법과 비교해 보아도 부 픽셀로 나누는 단계가 많아질수록 필요한 메모리의 증가를 크게 줄일 수 있다.

셋째, 시프트 더블 Z-버퍼에 다양한 형태의 가중치 필터링을 간단히 적용시킬 수 있다.

마지막으로는, 시프트 더블 Z-버퍼 뿐만이 아니라 멀티 Z-버퍼로의 확장성이 좋으며 다른 필터를 쉽게 적용할 수 있다.

시프트 더블 Z-버퍼를 사용한 앤티 앨리어싱 방법을 적용시켜서 구현한 결과를 보면 곡면에 픽셀 사이의 대비가 심하게 나타나서 색상 값으로 인한 보기

낮은 앨리어싱을 나타내는 함수에 중간 정도의 픽셀 값으로 표현함으로써 픽셀간 대비를 완화시키는 효과가 있음이 밝혀졌다. 이로 인하여 부드러운 이미지의 양질의 임플리시트 곡면으로 표현되고 있다. 복셀간 색상 대비가 많이 나타나는 곡면 예제의 경우가, 즉 앨리어싱이 많이 느껴지는 예제가 더 뚜렷이 앨리어싱 효과를 느낄 수 있었다.

또한 시프트 더블 Z-버퍼에 box필터와 tent필터를 적용하여 가중치를 준 결과 더 나은 앨리어싱 효과가 나타났다. box필터를 적용한 결과 두 개의 예제 곡면 중 첫 번째 곡면에서 특히 심한 흐림 현상이 나타났으나, 전체적으로는 더 좋은 앨리어싱 효과를 나타냈으며, tent필터를 적용한 결과 앨리어싱 효과는 그대로 유지하면서 이미지의 이런 흐림 현상에 대한 문제점이 개선되어 나타났다.

반면, 앨리어싱하는 과정 중, 세부픽셀의 값을 통합하면서 원래의 픽셀 값이 유실될 수 있다. 특히 의료영상분야와 같이 정확도가 요구되어지는 분야에서는 유실되는 정보에 무척 민감하다. 그러나 픽셀의 대표성이 증가하므로 앨리어싱이 적용된 이미지가 더 많은 정보를 포함한다고 할 수 있다. 따라서 향후의 과제로서, 두 이미지의 보완방법을 고려할 필요가 있다. 그리고, 가우시안 필터 등 더 다양한 필터를 적용한 임플리시트 곡면에 대한 앨리어싱 방법을 적용시켜 보는 것과 특정한 임플리시트 함수가 아닌 더 많은 여러 종류의 곡면에 대해서도 효과가 있는지에 대한 연구가 필요하다. 또한 시프트 더블 Z-버퍼뿐만 아니라 비록 더블 Z-버퍼 보다는 계산시간이 많이 걸리거나 메모리의 사용 증가가 필요하더라도 멀티 Z-버퍼를 적용한 앨리어싱 방법의 연구 및 구현이 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] Alan Watt. *3D Computer Graphics Third Edition*, ADDISON WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1989.
- [2] Alan Watt, Maru Watt, *Advanced Animation and Rendering Techniques (Theory and Practice)*, ADDISON WESLEY PUBLISHING COMPANY, 1992.
- [3] Bloomenthal, Bajaj, Blinn, Cini-Gaxcuel, Rockwood, Brian Wyvill, Geoff Wyvill, *Introduction to Implicit Surfaces*, MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS, INC., 1997.
- [4] George Wolberg. *Digital Image Warping (Third Edition)*, IEEE Computer Society Press Monograph, 1994.
- [5] Andrew P. Witkin, Paul S. Heckbert, "Using Particles to Sample and Control Implicit Surfaces", *Computer Graphics, Proc. SIGGRAPH*, 269-277, 1994.
- [6] J.C. Hart, "Sphere tracing: A geometric method for the antialiased ray tracing of implicit surfaces", *The Visual Computer*, v.12, No, 10, 527-545, 1996.
- [7] Matthew Jondrow. "A Survey of animation related Implicit surfaces Papers", *AT in Computer Graphics*, 227-237, 2000.
- [8] Satoshi Tanaka, Tomoharu Nakamura, Mihar Ueda, Hiroaki Yamamoto, Kisou Shino, "Application of the stochastic sampling method to various implicit surfaces", *Computers & Graphics* 25, 441-448, 2001.
- [9] Nilo Stolte Homepage <http://nilo.stolte.free.fr/graphics.html>
- [10] L. Barthe, V. Gaildrat, R. Caubet. "Extrusion of 1D implicit profiles: Theory and first application", *International Journal of Shape Modeling*, Vol 7, No 2, 179-198, 2001.



김 학 란

1987년 숙명여자대학교 전자계산
학과(학사)
2003년 숙명여자대학교 정보통신
대학원 멀티미디어 전공
(석사)
2003년~현재 숙명여자대학교 강사

관심분야 : 컴퓨터 그래픽, 애니메이션, 가상현실, 멀티
미디어



박 화 진

1987년 숙명여자대학교 전자계산
학과(학사)
1989년 숙명여자대학교 대학원 전
자계산학과(석사)
1997년 Arizona State University
Computer Science 컴퓨터
그래픽 전공 (공학박사)

1997년~1998년 삼성 SDS 연구소 선임 연구원
1998년~2000년 평택대학교 전임강사
2000년~현재 숙명여자대학교 멀티미디어과학과 교수
관심분야 : 컴퓨터 그래픽, 3D모델링, 가상현실, 멀티미
디어