Journal of Korea Multimedia Society Vol. 8, No. 2, February 2005(pp. 249-257)

3차원 임플리시트 곡면 렌더링을 위한 시프트(shifted) 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 연구

김학란†, 박화진††

요 약

본 논문은 3차원 임플리시트(implicit) 곡면을 렌더링할 때 시프트 멀티 Z-버퍼를 이용하여 앨리어싱을 줄이는 것을 목적으로 한다. 복셀로 표현된 임플리시트 곡면은 고해상도를 사용하면 앤티 앨리어싱 효과를 볼 수 있지만 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 따라서 복셀로 표현되는 곡면을 렌더링할 때 저해상도에서도 양질의 이미지를 생성하는 새로운 앤티 앨리어싱이 필요하다. 이에 각 복셀마다 여러 개의 Z-버퍼를 이동함으로써 샘플링되는 값을 다양화하고 평활하는 방법을 제안한다. 이 방법은 메모리의 효율성을 고려하여 연산이 간단하고 필터링 적용이 쉬운 장점이 있다. 다만 z-버퍼의 개수를 증가시키면 시간소비량이 증가하므로 향후 과제로서 이미지의 질 향상 정도와 소비시간증가의 관계를 수치로 나타내는 연구가 요구된다.

A Study on Shifted Multi-Z-Buffers Anti-Aliasing for 3D Implicit Surface Rendering

Kim Hak Ran†, Park Hwa Jin††

ABSTRACT

This paper aims at reducing aliasing in pixel-based rendering for 3D implicit surfaces by shifted multi Z-buffers. The voxelized implicit surfaces with high resolution take so much time in generating high quality image without aliasing. So in rendering a voxelized implicit surfaces, a new antialiasing method which can generate a high quality image at a lower resolution is required. Therefore, this paper suggests that a method which get various sampling values by shifting several z-buffers in each voxel and average them, The advantages are effective memory, simple calculation and easy convergence with various filters. But, the increase of number of z-buffer also increase the consuming time rapidly. Therefore, the research for representing the relation the degree of image quality with the consumption of time as a number is required.

Key words: Implicit Surfaces(음함수 곡면), Antialiasing(앤티 앨리어싱)

1. 서 론

3차원 컴퓨터 그래픽은 게임이나 애니메이션을 비롯하여 의료 영상, 건축 및 산업디자인, TV광고, 영화 등의 분야에 획기적인 발전을 이끈 응용기술이다. 최근에는 컴퓨터의 성능 및 그래픽 하드웨어 가속기의 급속한 성장과 함께 3차원 사실적 이미지의 실시간 렌더링 기술이 개발되어지고 있다. 동시에 물리에 기반 한 유연한 물체의 모델링이나 사진과 같은 사실적 렌더링, 실감형 가상현실 등을 개발하여 활용 분야를 다양화 하고 있다.

사실적 렌더링을 위해서 앨리어싱은 그래픽의 고질적문제이며 이를 해결하기 위하여 stochastic 샘플

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김학란, 주소 : 서울시 용산구 청파동 2가 53-12번지(140-742), 전화 : 02)710-9379, FAX : 02)710-9704, E-mail : imhera@sookmyung.ac.kr
접수일 : 2004년 11월 12일, 완료일 : 2005년 1월 25일
† 준회원, 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학 박사과정
†† 종신회원, 숙명여자대학교 멀티미디어과학과 교수
(E-mail : hwajinpk@sookmyung.ac.kr)
※ 본 연구는 숙명여자대학교 2003년도 교내특별연구비 지원에 의해 수행되었음.

링이나 EWA와 같은 필터링을 사용하여 왔다[1]. 하지만 이들 방법은 대체적으로 시간소비가 크다는 단점을 가지고 있어 사용이 제한적일 수밖에 없다. 따라서 실시간 게임이나 상호작용 해야 하는 애니메이션 같은 경우에는 빠른 계산 시간이 요구되는 방법을 사용하고 있으며, 반면에 영화의 특수효과 라든지 사실적 이미지를 생성해야 하는 경우에는 고해상도의 앤티 앨리어싱을 이용하고 있다.

본 논문은 복셀로 표현된 3차원의 임플리시트 곡면을 포인트 기반으로 렌더링할 때 발생하는 앨리어싱을 줄이기 위해 시프트 멀티 z-버퍼를 제안한다. 본 연구에서 적용한 사례는 실시간 보다는 사실적 이미지 생성을 주요 목적으로 한다.

임플리시트 곡면이란 3차원 만화 캐릭터나 물의 곡면과 같은 유연한 곡면을 표현하기 위하여 Blinn에 의해 처음 만들어졌으며, 분자 안의 일정한 에너지 곡면을 모델하기 위한 것이다[6]. 임플리시트 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. p가 음수이면 곡면 밖에 양수이면 곡면 안에 존재한다. 반면에 익스플리시트 곡면의 함수 f는 $z=f(x,y)$와 같은 방정식을 갖게 되는데, 곡면의 모양을 제한하며 돌출이나 수직경사면 같은 것을 표현 할 수가 없다. 그래서 그 어려움을 해결하기 위한 접근법으로 제안된 것 중의 하나가 임플리시트 방법이다[2]. 물론 임플리시트 곡면은 애니메이션이나 인체, 유기체 등과 같은 다양한 분야의 모델링에 유용하게 사용되고 있으며, 적용분야에 따라서 실시간 앤티 앨리어싱 방법이 필요할 수 있지만 본 논문에서는 비 실시간 앤티 앨리어싱 방법을 제안한다.

임플리시트 곡면을 표현하는 방법은 레이 트레이싱이나 텍스쳐 맵핑등 렌더링에 의한 방법과 복셀에 의한 방법이 있다. 레이 트레이싱이나 텍스쳐 맵핑에 의한 임플리시트 곡면의 앤티 앨리어싱 방법은 보통 stochastic 샘플링 방법이 연구되고 있으며 사용되고 있지만, 본 논문에서의 임플리시트 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.

일반적으로 복셀(voxel)로 표현된 임플리시트 곡면은 해상도가 매우 높기 때문에 이미지가 부드럽게 나타나 보이지만 이런 이미지를 표현하기 위해서는 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 다음의 그림 1은 Nilo Stolte에 의해서 해상도 500*500*500으로 함수 $\sin(9\times\theta)\times\sin(18\times\pi)-r=0$로 표현된 임플리시트 곡면의 예이다[8].

하지만 본 논문에서 사용하게 될 예제는 해상도가 일반적으로 많이 사용되고 있는 임플리시트 곡면과 비교해 볼 때 해상도가 낮은 수준이어서 앨리어싱으로 인하여 재기현상이 나타난다. 이런 문제를 해결하기 위해 새로운 앤티 앨리어싱 방법으로서 시프트 더블 Z-버퍼를 제안하여 효과를 입증하였다[9]. 그러나 시프트 더블 Z-버퍼는 이동범위 및 Z-버퍼의 사용개수가 단순하여 유용성이 부족한 것이 사실이다.

따라서 본 논문은 시프트 더블 Z-버퍼의 개념을 확대함으로써 즉, Z-버퍼의 이동범위를 조절하고 또한 Z-버퍼의 사용 개수를 일반화시킴으로써 보다 유용성이 있으며 효율적인 시프트 멀티 Z-버퍼를 제안한다.

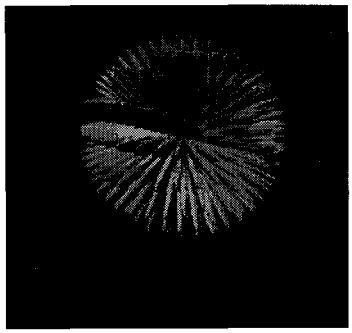


그림 1. 임플리시트 곡면 예

2. 기존연구

복셀로 표현된 저 해상도의 임플리시트 곡면에 적용시킬 수 있는 기존의 앤티 앨리어싱 방법에 대한 연구가 많지 않은데 이는 복셀에 일일이 적용시키기에는 기존 방법들이 적합하지 않아서 이다.

제안된 앤티 앨리어싱 방법을 보면 postfiltering 방법 중 stochastic 방법을 적용한 사례가 눈에 띈다. Monte Carlo 시뮬레이션에 stochastic 처리를 적용하여 복잡한 임플리시트 곡면에 빠르고 정형화된 샘

플링 포인트들을 만들어 낼 수 있음을 보여주고 있다. stochastic 샘플링 방법은 파티클 시스템을 기반으로 물리법칙에 따른 샘플링에 범위를 둘 수 있다. 그런데 일반적인 그래픽 곡면의 경우에 stochastic 샘플링 방법이 적용되는 또 다른 이유는 바로 레이 트레이싱 방법으로 곡면이 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 adaptive 슈퍼 샘플링 방법을 적용하는데, 직선이나 규칙적인 텍스쳐와 같은 규칙적인 구조와 규칙적인 샘플 그리드와 서로 상호 작용하여서 이 또한 앨리어싱이 발생한다. 예로 모아레 패턴을 들 수가 있다. 그래서 적용된 샘플링 방법이 통계적 무작위 적인 샘플 방법인 stochastic을 적용한 것이다[1].

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 첨

자식 곡면으로 변환해야만 아는 어려움이 있다. 또한 이 논문에서는 stochastic 미분 방정식을 풀기 위해서 Box-Muller 방법과 Euler 공식 등을 사용했으며 Runge-Kutta 방법도 고려되고 있다[7]. 당연히 복잡한 계산에 따른 속도 저하가 문제점으로 부각된다. 따라서 복셀로 표현된 임플리시트 곡면을 위해서는 stochastic 방법이 앤티 앨리어싱을 적용시키기에 적합하지 않다는 것이다. 그 결과, 복잡한 계산을 요구하지 않으며 구현하기 간단한 시프트 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법이 제안되었다[9].

3. 시프트 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱

시프트 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법은 특정한 임플리시트 함수를 통하여 얻어진 3차원 객체를 표현하기 위해서 프레임 버퍼를 사용하는 대신에 Z-버퍼를 사용한 프로그램에 시프트된 멀티 Z-버퍼를 더 추가하여서 모든 Z-버퍼의 픽셀 값을 평활화 하여 앨리어싱을 줄이는 것이다. 이런 처리 절차는 대비가 심한 두 픽셀 사의의 중간 값을 생성시켜서 대비를 완화시키는 효과로 부드러운 객체로 표현된다.

시프트 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 구현하기위해서 임의의 임플리시트 곡면을 따로 생성하여 적용시키지 않고 기존에 이미 만들어져 있는 함수를 사용하였다.

아래의 수식(1)과 (2)는 예제로 사용한 2개의 임플리시트 함수들이다. 이 함수들은 Sarah F. Frisken, Ronald N. Perry, Alyn P. Rockwood, Thouis R. Jones에 의해서 발표된 논문인 'Adaptively Sampled Distance Fields: A General Representation of Shape for Computer Graphics'에서 예제로 사용된 함수 중의 하나로 skeleton으로 표현되었다. 이 함수로 표현된 곡면들은 앤티 앨리어싱이 적용되지 않은 곡면들로 앨리어싱으로 인하여 매우 거칠어 보인다. 향후과제중의 하나로 앤티 앨리어싱의 적용이 제안되었었으며 저해상도의 복셀로 표현된 임플리시트 함수를 위한 앤티 앨리어싱 방법이 필요한 예제들이었다. 그림 2와 그림 3은 예제로 사용한 식(1)과 식(2)의 함수로 표현된 2개의 임플리시트 곡면을 나타낸

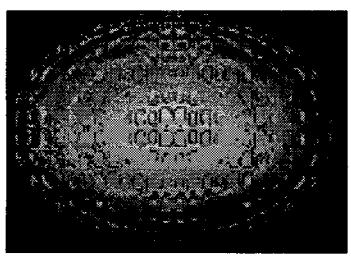


그림 2. 식(1)에 의해 생성된 임플리시트 이미지1

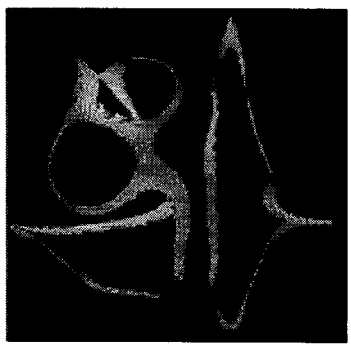


그림 3. 식(2)에 의해 생성된 임플리시트 이미지2

이미지들이다.

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

where,

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

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

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

$$f_o = F + TempF$$

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

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

$$miro = |F| + |F1| \tag{2}$$

where ,

$$F = 3.2 - \frac{0.3}{\sqrt{Y - 0.6} + \sqrt{Z} + 0.1} - \frac{0.3}{\sqrt{X - 0.5} + \sqrt{Z} + 0.1}$$
$$- \frac{0.3}{0.2 * \sqrt{x + 0.8} + \sqrt{y + 0.8} + \sqrt{z - 0.7} + 0.1}$$
$$- \frac{0.1}{\sqrt{x - 0.9} + \sqrt{y} + \sqrt{z} + 0.1}$$
$$- \frac{0.4}{\sqrt{x + 0.8} + \sqrt{y} + \sqrt{z} + 0.1}$$
$$- \frac{0.3}{\sqrt{x}\sqrt{y + 0.6} + \sqrt{z - 0.7} + 0.1}$$
$$\frac{0.4}{\sqrt{\sqrt{x + 0.3} + \sqrt{\sqrt{y - 0.6} + \sqrt{z - 0.4}} + 0.1}}$$

$$F1 = 3.2 - \frac{0.3}{\sqrt{Y - 0.6} + \sqrt{Z} + 0.1} - \frac{0.3}{\sqrt{x - 0.6} + \sqrt{z - 0.3} + 0.1}$$
$$- \frac{0.3}{\sqrt{x + 0.7} + 2 * \sqrt{y + 0.8} + \sqrt{z - 0.7} + 0.1}$$
$$- \frac{0.1}{\sqrt{x - 1.2} + \sqrt{y + 0.3} + \sqrt{z} + 0.1}$$
$$- \frac{0.4}{\sqrt{x + 0.8} + \sqrt{y} + \sqrt{z - 0.4} + 0.1}$$
$$- \frac{0.3}{\sqrt{x + 0.15} + \sqrt{y + 0.7} + \sqrt{z - 0.9} + 0.1}$$
$$- \frac{0.4}{\sqrt{\sqrt{x + 0.5} + \sqrt{\sqrt{y - 0.7} + \sqrt{z - 0.5}} + 0.1}}$$

위의 수식(1)과 (2)에서 보듯이 하나의 임플리시트 곡면을 나타내기 위해서 복잡한 함수 계산이 필요하다. 때문에 곡면 표현시간을 많이 요구하지 않는 방법은 매우 중요하며, 복셀에 일일이 적용되어지는 앤티 앨리어싱 방법은 표현시간이 너무 많이 걸리게 되므로 프로그램에서는 표현되어지는 복셀 값만 Z-버퍼에 저장하여 사용하게 된다. 예제로 사용한 곡면 이외에도 11개의 임플리시트 함수로 표현되는 예제 프로그램에 시프트 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 모두 적용 시켜서 효과가 있음이 가시적으로 나타났으나, 복셀 간 색상 대비가 심해서 앨리어싱이 비교적 많이 나타나며, 상대적으로 앤티 앨리어싱 효과를 더 뚜렷이 관찰할 수 있는 위의 식(1)과 식(2)의 임플리시트 곡면을 선택하여 구현결과를 보였으며. 언급한 2개의 함수와 다른 여러 함수들은 모두 해상도 150*150*150이다. 이는 일반적인 3-D 모델링을 위한 복셀로 표현되는 임플리시트 곡면의 해상도와 비교할 때 낮은 수준이다. 본 논문에서는 저해상도인 150*150*150을 그대로 유지하면서 시프트 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 적용하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 시프트 멀티 Z-버퍼는 시프트 더블 Z-버퍼[9]의 기본개념을 확대 발전하여 제안한 앤티 앨리어싱 방법이다. 따라서 이해를 돕기 위하여 3.1절은 시프트 더블 Z-버퍼 앤티앨리어싱 방법 및 구현결과를 요약하고 [9], 3.2절에서 본 논문에서 제안한 시프트 멀티 Z-버퍼의 사용방법 및 구현결과를 자세히 설명한다.

3.1 시프트 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱

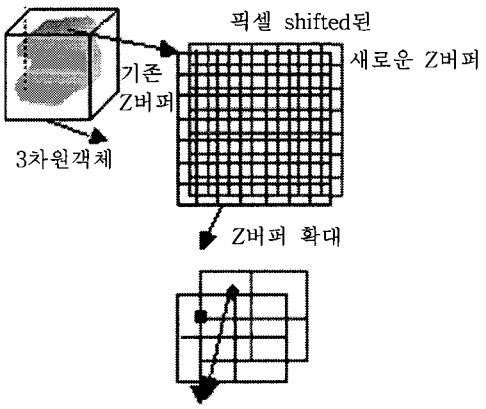
임플리시트 곡면에 몇 개의 Z-버퍼를 추가하여 앤티 앨리어싱을 구현하기 위해, 우선 하나의 Z-버퍼를 더 추가하여 적용시켜 보았다. 따라서 더블 Z-버퍼를 사용하였으며, 앤티 앨리어싱 방법을 적용한 처리 절차를 보면 다음과 같다.

먼저, 원래의 함수 값에 의한 Z-버퍼와 x, y, z축으로 각각 0.5픽셀씩 움직여준 값에 의해 생성된 함수에 의한 또 다른 Z-버퍼를 만든다. 이렇게 만들어진 Z-버퍼와 원래의 Z-버퍼의 픽셀 값을 더한 후에 평균을 구하여 그 값을 Z-버퍼 값으로 출력한다. 이런 처리 절차는 대비가 심한 두 픽셀 사의의 중간 값을 생성시켜서 대비를 완화시키는 효과로 부드러운 객체로 표현된다.

다음 그림 4는 위에서 설명한 시프트 더블 Z-버퍼의 적용 개념도 이며 0.5씩 시프트한 하나의 Z-버퍼를 더 사용하여 두 개의 Z-버퍼를 사용한 방법을 적용한 결과 앤티 앨리어싱 효과가 확연히 나타났다. 다음 그림 5와 그림 6은 더블 Z-버퍼를 적용한 결과이다.

3.2 시프트 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱

더블 Z-버퍼를 적용한 후에 앨리어싱이 줄어들었지만 만족할 만한 수준이 아닌 경우가 존재한다. 이



(■+●)의 평균값을 구하여 Z-버퍼의 값으로 입력한다

그림 4. 시프트 더블 Z-버퍼의 적용 개념도

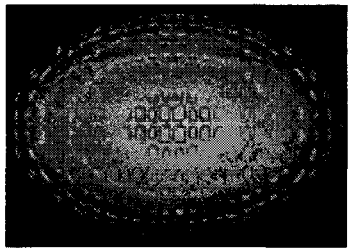


그림 5. 시프트 더블 Z-버퍼 적용 후 이미지1

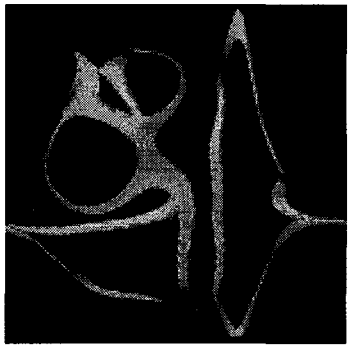


그림 6. 시프트 더블 Z-버퍼 적용 후 이미지2

경우에 더블 Z-버퍼의 개념을 확대하여 즉, 시프트의 범위를 축소시키고 이에 따라서 Z-버퍼의 사용개수는 늘어난 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 제안한다. 시프트 Z-버퍼를 사용한 앤티 앨리어싱 방법이 Z-버퍼의 개수를 늘릴 경우 앤티 앨리어싱 효과가 증대 되는 방법임을 일반화시키기 위해 여러 개의 Z-버퍼를 사용하여 적용한 구현결과를 보인다.

시프트 멀티 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법은, 원래의 함수 값에서 각각 x, y, z값에 $\frac{1}{3}$을 시프트한 값을 더한 여덟 개의 함수 값을 계산해 준다. 그 후 그 함수값에 해당하는 Z-버퍼를 만든 후 원래의 Z-버퍼와 시프트된 여덟 개의 Z-버퍼를 합하여 모두 아홉 개의 Z-버퍼의 평균값을 구하여 표현한다. 여덟 개로 시프트한 Z-버퍼를 사용하였다는 것은 결국 여덟 개의 포인트로부터 값을 샘플링하여 렌더링 하는 방법이다. 이는 하나의 포인트 샘플링이 아닌 주변 값을 같이 샘플링하여 평활화 하는 방법으로 샘플링하는 포인트를 많이 할수록 앤티 앨리어싱 효과는 더 높은 것으로 나타난다.

원래의 프로그램처럼 하나의 포인트를 대푯값으로 하여 렌더링을 한 경우보다는 더블 Z-버퍼를 사용하여 두 개의 포인트 값을 고려하여 렌더링을 한 경우가 더 정확한 이미지로 표현 되었으며, 멀티 Z-버퍼를 사용하여 아홉 개의 포인트를 참조한 본 논문에서는 표현된 이미지가 매우 부드러워 보일뿐 아니라 원래의 이미지에서는 표현되지 않았던 세부 정보를 더 많이 표현하고 있음을 알 수 있다.

원래의 함수를 $f(x, y, z) = F(x, y, z)$라고 할 때, 다음 식들은 각 x, y, z값을 시프트한 여덟 개의 함수 값이다.

$$f1(x, y, z) = F(x+\frac{1}{3}x, y+\frac{1}{3}y, z+\frac{1}{3}z) \quad (3)$$

$$f2(x, y, z) = F(x+\frac{1}{3}x, y+\frac{1}{3}y, z+\frac{2}{3}z) \quad (4)$$

$$f3(x, y, z) = F(x+\frac{1}{3}x, y+\frac{2}{3}y, z+\frac{1}{3}z) \quad (5)$$

$$f4(x, y, z) = F(x+\frac{2}{3}x, y+\frac{1}{3}y, z+\frac{1}{3}z) \quad (6)$$

$$f5(x, y, z) = F(x+\frac{2}{3}x, y+\frac{1}{3}y, z+\frac{2}{3}z) \quad (7)$$

$$f6(x, y, z) = F(x+\frac{1}{3}x, y+\frac{2}{3}y, z+\frac{2}{3}z) \quad (8)$$

$$f7(x, y, z) = F(x+\frac{2}{3}x, y+\frac{2}{3}y, z+\frac{1}{3}z) \quad (9)$$

$$f8(x, y, z) = F(x+\frac{2}{3}x, y+\frac{2}{3}y, z+\frac{2}{3}z) \quad (10)$$

임의의 f값을 기준으로 주변의 시프트한 픽셀 값들은 각각 같은 위치에 대칭으로 위치하고 있는 여덟 개의 주변 값들이다. 아래의 그림 7은 원래의 함수값을 원으로 시프트한 여덟 개의 함수 값은 사각형으

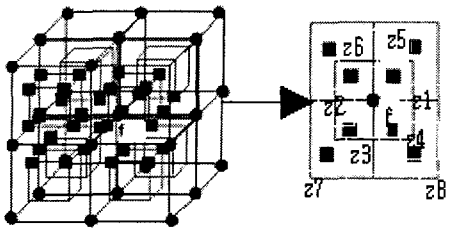


그림 7. 시프트 멀티 Z-버퍼의 개념도

로 표시한 시프트 멀티 Z-버퍼의 개념도이다. 각각 3차원 복셀로 표현 했을 경우와 Z-버퍼로 나타냈을 경우이다. 그림에서 원으로 표시되고 있는 임의의 f 값 주위로 숫자로 1~8까지 표시되어 있는 사각형들이 참조되는 값들이다. 결국 원래의 함수 값 f로 인하여 생성된 Z-버퍼 값과 시프트된 주변 $f1-f8$ 까지의 함수 값으로 생성된 멀티 Z-버퍼의 값들을 더하여 평균하는 것을 수식으로 나타내면 식 (11)과 같다.

임의의 x, y에 대해서,

$$Z(x,y) = (Z(x,y) + Z1(x,y) + Z2(x,y-1) + Z3(x,y-1) + Z4(x,y-1) + Z5(x-1,y) + Z6(x,y-1) + Z7(x-1,y-1) + Z8(x-1,y-1))/9.0 \quad (11)$$

아래 그림 8과 그림 9는 시프트 멀티 Z-버퍼를 적용하여 구현한 임플리시트 곡면이다. 원래의 이미지 뿐만 아니라 시프트 더블 Z-버퍼를 적용한 경우와 비교해 보아도 앤티 앨리어싱 효과가 더 증가되어 이미지가 매우 부드러워졌으며, 이미지가 원래의 정보에 더 충실하게 표현되어 그림 8의 경우 구체안의 모양들이 아주 또렷이 나타나는 것을 알 수 있다. 또한 그림 9는 이미지의 가장자리 부위를 살펴보면 나타내고자 하는 픽셀을 제대로 나타내지 못해서 거칠어 보이는 원래의 이미지와 시프트 더블 Z- 버퍼를

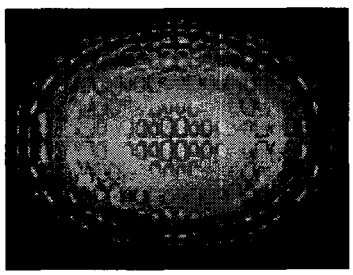


그림 8. 시프트 멀티 Z-버퍼를 적용한 이미지1

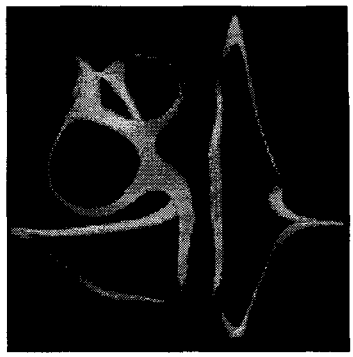


그림 9. 시프트 멀티 Z-버퍼를 적용한 이미지2

적용한 경우보다 매우 부드럽게 가장자리 부위가 표현되어 있음을 알 수 있다.

다음 그림 10에서 15는 적용한 각각의 구현 결과물에 대한 곡면의 일부분을 확대한 이미지들이다. 특정부분을 확대한 이미지들을 차례대로 비교함으로써 앤티 앨리어싱 효과가 어떻게 나타나는지 자세하게 비교 관찰할 수 있다. 각각 원래의 앨리어싱이 나타난 이미지1, 2와 시프트 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱 방법을 적용한 이미지1, 2 그리고 시프트 멀티 Z-버퍼를 적용한 이미지1, 2이다.

시프트 Z-버퍼를 사용한 앤티 앨리어싱 방법은 시

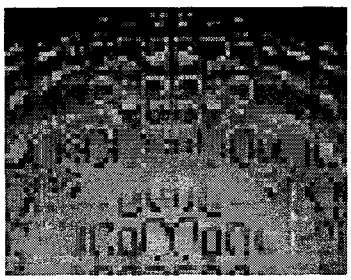


그림 10. 앨리어싱이 발생한 이미지1

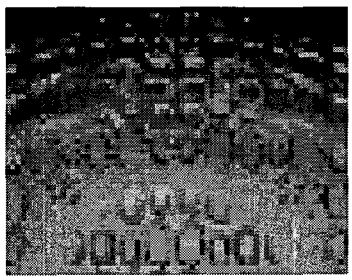


그림 11. 시프트 더블 Z-버퍼 적용한 이미지1

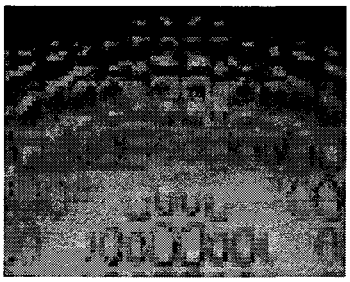


그림 12. 시프트 멀티 Z-버퍼적용한 이미지1

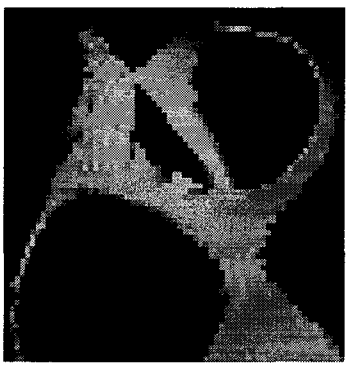


그림 13 앨리어싱이 발생한 이미지2

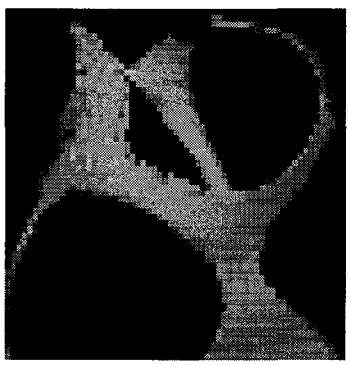


그림 14 시프트 더블 Z-버퍼 적용한 이미지2

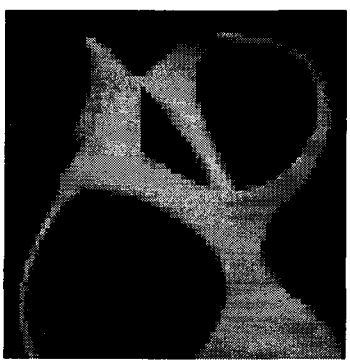


그림 15 시프트 멀티 Z-버퍼 적용한 이미지2

프트한 횟수에 따라 필요한 Z-버퍼의 수를 일정한 비율로 요구하게 된다. 150*150*150해상도를 그대로 유지 하면서 앤티 앨리어싱을 적용 했을 경우 시프트 된 Z-버퍼를 위해 필요한 메모리는 더블 Z-버퍼를 사용한 경우 하나의 Z-버퍼가 더 필요하며, 현재의 방법과 같이 $\frac{1}{3}$로 시프트 하였을 경우 여덟 개의 Z-버퍼가, $\frac{1}{4}$로 시프트 하였을 경우 27개의 Z-버퍼가 더 필요하다. 결국 시프트한 횟수에 따른 픽셀을 나눈 비율을 $\frac{1}{n}$이라 할 때, 원래의 Z-버퍼 외에 필요한 Z-버퍼의 수는 $(n-1)^3$개만큼이 더 필요하며, 거기에 따른 연산이 더 요구된다(표 1 참조). 시프트 하여 픽셀을 나누어서 많은 포인트를 참조 할수록 표현되는 이미지의 질은 향상됨을 알 수 있다. 하지만 연산시간과 메모리의 요구를 고려하여 본 논문에서는 $\frac{1}{3}$씩 시프트한 여덟 개의 멀티Z-버퍼를 사용하여서 앤티 앨리어싱 효과를 증가시켰다.

표 1. 시프트 횟수에 따른 Z-버퍼 수

시프트 횟수(n)	비율	필요한 Z-버퍼 수
1	1/2	1
2	1/3	8
3	1/4	27
4	1/5	64
5	1/6	625

4. 결론 및 향후과제

저해상도의 복셀로 표현된 임플리시트 함수로 만들어진 곡면에 나타나는 앨리어싱을 줄이기 위해서 새로운 앤티 앨리어싱 방법인 시프트 멀티 Z-버퍼를 이용한 앤티 앨리어싱 방법을 제안하였다.

곡면이 양질의 이미지를 나타내기 위해서는 고해상도를 필요로 하지만 이 방법은 표현시간을 너무 많이 요구하며 본 논문에서와 같이 복잡한 함수를 계산하여 연산시간이 오래 걸리는 예제의 경우 특히 간단한 앤티 앨리어싱 방법이 필요하다. 또한 일반적인 앤티 앨리어싱 방법의 적용이 복셀로 표현되는 임플리시트 곡면에는 적용이 어려움에 따라 본 논문에서는 시프트 멀티 Z-버퍼를 프로그램에 적용하여 구현한 결과 효과적으로 앨리어싱을 줄여 부드러운 이미지를 생성하는 것으로 나타났다. 구현 결과를 보

면 곡면에 픽셀 사이의 대비가 심하게 나타나서 색상 값으로 인한 보기 싫은 앨리어싱을 나타내는 함수에 중간 정도의 픽셀 값으로 표현함으로써 픽셀 간 대비를 완화시키는 효과가 있음이 밝혀졌다. 이로 인하여 부드러운 이미지의 양질의 임플리시트 곡면으로 표현되고 있다. 복셀 간 색상 대비가 많이 나타나는 곡면 예제의 경우가, 즉 앨리어싱이 많이 느껴지는 예제일수록 더 뚜렷이 앤티 앨리어싱 효과를 느낄 수 있었다.

결론적으로 하나의 Z-버퍼에 시프트한 여덟 개의 멀티 Z-버퍼를 이용한 앤티 앨리어싱 방법이 복셀로 표현된 임플리시트 곡면에 적용하기 간단하면서 복잡한 계산은 피한 효율적인 방법임이 구현결과로 나타났다.

반면, 앤티 앨리어싱하는 과정 중, 세부 픽셀의 값을 통합하면서 원래의 픽셀 값이 유실될 수 있다. 특히 의료영상분야와 같이 정확도가 요구되어지는 분야에서는 유실되는 정보에 무척 민감하다. 따라서 보여지는 이미지의 질을 중요시 하는 응용분야에서는 시프트 멀티 Z-버퍼가 적절한 앤티 앨리어싱 방법이 되지만 원래의 값을 그대로 표현해야하는 분야에서는 적절하지 않을 수도 있다.

그러나 본 논문에서 예제로 사용한 임플리시트 곡면의 경우 하나의 포인트로부터 샘플링하여 렌더링하는 경우보다 시프트된 Z-버퍼를 많이 사용할수록 주변의 포인트들을 더 많이 샘플링하여 렌더링을 하게 되므로 픽셀의 대표성이 증가하여 앤티 앨리어싱이 적용된 이미지가 더 많은 정보를 포함한다고 할 수 있다. 즉, 주변의 포인트를 더 많이 샘플링 할수록 앤티 앨리어싱 효과는 더 증가 되므로 더 많은 시프트 멀티 Z-버퍼를 사용하는 것이 이미지의 질을 향상 시키는 것은 사실이다. 하지만 더 많은 시프트된 Z-버퍼를 계속 사용할 수 없는 이유는 계산에 따른 표현시간이 너무 많이 걸린다는 단점이 있다. 또한 시프트한 각 함수를 저장하기 위한 메모리 공간과 Z-버퍼를 위한 메모리 공간의 증가도 고려해야 할 사항이다. 따라서 더 많은 시프트된 멀티 Z-버퍼를 사용하여 앤티 앨리어싱 방법을 적용하는 것은 표현시간과 메모리 요구를 고려할 때 사용자의 요구에 따라 최적의 Z-버퍼 개수가 달라질 수 있다.

향후 연구로는 최적의 시프트 Z-버퍼의 개수를 결정하기 위해서 앤티 앨리어싱의 효과를 객관적으로 수치화할 방법이 요구된다.

또한, 본 논문에서는 다루지 않았지만 필터링을 할 경우 앤티 앨리어싱 효과가 증대되는데 향후 시프트 멀티 Z-버퍼에 여러 가지의 필터링을 적용하여 앤티 앨리어싱 효과를 상승시킬 수 있을지에 대한 연구가 더 필요하다.

참 고 문 헌

[1] Alan Watt, Maru Watt, *Advanced Animation and Randering Techniques (Theory and Practice)*, ADDISON WESLEY PUBLISHING COMPANY, Boston, MA., 1992.

[2] Bloomenthal, Bajaj, Blinn, Cani-Gaxcuel, Rockwood, Brian Wyill, Geoff Wyvill, *Introduction to Implicit Surfaces*, MORGAN KAUFMANN PUBLISHERS, INC., San Francisco, CA., 1997.

[3] George Wolberg. *Digital Image Warping* (Third Edition), IEEE Computer Society Press Monograph, Los Alamitos CA. 1994.

[4] Andrew P. Witkin, Paul S. Heckbert, "Using Particles to Sample and Control Implicit Surfaces", Computer Graphics, Proc. SIGGRAPH, 269-277, 1994.

[5] J.C. Hart, "Sphere tracing: A geometric method for the antialiased ray tracing of implicit surfaces", The Visual Computer, Vol.12, No. 10, 527-545, 1996.

[6] Matthew Jondrow. "A Survey of animation related Implicit surfaces Papers", AT in Computer Graphics, 227-237, 2000.

[7] Satoshi Tanaka, Tomoharu Nakamura, Miharu Ueda, Hiroaki Yamamoto, Kisou Shino, "Application of the stochastic sampling method to various implicit surfaces", Computers & Graphics, Vol.25, No.1, 441-448, 2001.

[8] Nilo Stolte Homepage http://nilo.stolte.free.fr/graphics.html

[9] 김학란, 박화진, "복셀로 표현된 임플리시트 곡면을 위한 시프트(shifted) 더블 Z-버퍼 앤티 앨리어싱," 멀티미디어학회논문지, 7권, 1호, pp. 44-53, 2004.

김 학 란

1987년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)
2003년 숙명여자대학교 정보통신대학원 멀티미디어 전공(석사)
2004년 ~ 현재 숙명여자대학교 대학원 컴퓨터과학과 박사과정
관심분야 : 컴퓨터 그래픽, 애니메이션, 가상현실, 멀티미디어

박 화 진

1987년 숙명여자대학교 전자계산학과(학사)
1989년 숙명여자대학교 대학원 전자계산학과(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, 멀티미디어