

비월주사식 볼륨 광선 투사법

최이규[○], 신병석*
 인하대학교 정보공학과[○]
 {luciel95}@naver.com, {bsshin}@inha.ac.kr

Interlaced Scanning Volume Raycasting

Eiky Choi[○], Byeong-Seok Shin*
 Dept. of Computer and information engineering, Inha University

요 약

볼륨 데이터는 용량이 크고 논리적으로 3차원의 형태를 가지고 있어 처리 할 때 많은 비용을 필요로 한다. 따라서 볼륨데이터의 처리 속도를 높일 수 있는 여러 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 시간 일관성을 적용해 이전 프레임에서 샘플링 한 일부 결과를 현재 프레임의 영상을 생성하는데 재활용함으로써 속도를 높이고 화질의 손실을 줄이는 방법을 제안한다. 일반적인 볼륨 광선 투사법에서 매 프레임마다 모든 픽셀에서 광선을 투사하여 렌더링 하는 것과 달리 영상 평면으로부터 투사 되는 광선을 n개씩 묶은 블록 단위로 나누고, 블록 내의 각 픽셀에서 광선을 프레임별로 나누어 투사한 후 이들을 모아서 현재 프레임의 영상에 반영한다. 따라서 n번의 프레임이 지날 때마다 1개의 완전한 영상이 만들어진다. 이 방법은 인간 시각의 잔상 효과를 이용하여 단순한 화면공간 서브샘플링 방법보다 좋은 화질의 영상을 얻을 수 있으며, 처리속도는 기본 볼륨광선 투사법보다 n배 빨라진다.

ABSTRACT

In general, the size of volume data is large since it has logical 3D structure so it takes long time to manipulate. Much work has been done to improve processing speed of volume data. In this paper, we propose a interlaced scanning volume rendering that reduce computation time by using temporal coherence with minimum loss of image quality. It renders a current frame by reusing information of previous frame. Conventional volume raycasting renders each frame by casting rays on every pixels. On the other hand, our methods divided an image into n-pixel blocks, then it casts a ray on a pixel of a block per each frames. Consequently, it generates an image by accumulating pixel values of previous n frames. The quality of rendered image of our method is better than that of simple screen space subsampling method since it uses afterimage effect of human cognitive system, and it is n-times faster that the previous one.

Keywords : Volume Rendering, Volume Raycasting, Interlacing, Computer Graphics

접수일자 : 2009년 07월 23일

심사완료 : 2009년 08월 14일

* 이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

1. 서 론

볼륨렌더링은 볼륨 데이터로부터 의미있는 정보를 추출하여 가시화 하는 기법이다. 볼륨 데이터는 용량이 크고 논리적으로 3차원 격자 형태를 가지고 있어 데이터 처리 시 많은 비용이 소요된다. 이를 해결하기 위해 볼륨데이터의 처리속도를 높일 수 있는 여러 연구가 진행되고 있다. 기존의 볼륨렌더링에서 속도를 높이는 기법으로 일부 픽셀에서만 컬러 값을 얻어낸 후 이를 확대해서 사용하는 화면 서브샘플링(screen sub-sampling) 방법이 사용되고 있으나, 영상 품질이 떨어지는 문제가 있다.

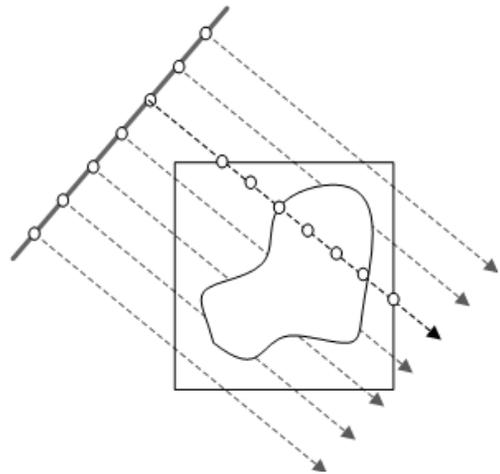
본 연구에서는 시간 일관성과 인간 시각의 잔상 효과에 근거하여, 이전 프레임들에서 사용된 데이터를 현재 프레임을 만드는데 재사용한다. 볼륨 광선 투사법에서 화질은 이미지 평면의 각 픽셀에서 볼륨 데이터로 투사된 광선의 개수에 비례한다. 이미지 평면에서 광선이 투사되는 각 픽셀을 n 개 단위로 묶어 블록으로 구성하고, 특정 프레임에서는 각 블록내의 한 픽셀에서만 광선을 투사한다. 나머지 픽셀들의 값은 이전 $n-1$ 개의 프레임들에서 광선을 투사하여 만든 것을 사용한다. 기존 화면 서브샘플링(screen sub-sampling) 방법은 화면상의 공간 일관성(spatial coherence)에 근거한 것으로 블록내의 한 픽셀에서만 광선을 투사하여 컬러값을 계산한 후 이것을 보간하여 나머지 픽셀값들을 얻어내기 때문에 영상이 몽롱화(blur)되는 문제가 있다. 이 논문에서 제안하는 방법은 프레임간의 시간 일관성(temporal coherence)에 근거한 것으로 각 픽셀값을 보간하지 않고 실제 광선 추적한 값을 사용하므로 몽롱화 되지 않는다. 그래픽 하드웨어의 비선형 보간 기능을 사용할 경우는 두 가지 방법 모두 원래 광선투사법에 비해 n 배의 속도향상 효과가 있지만 소프트웨어적으로만 처리할 경우는 비선형 보간보다 단순 대치(replace)연산이 빠르게 처리속도도 빠르다. 제안하는 방법은 시점이 이동할 때나 물체가 이동할 때에도 영상 품질이 서브샘플링 할 때에 비해 우수하며, 관측 조건이 고

정되면 n 프레임이 경과된 후부터는 원래 볼륨투사법의 결과와 같다. 따라서 화면 서브 샘플링의 화질저하를 개선하기 위한 점진적 화질개선(adaptive refinement)이 필요 없다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구를 정리하고, 3장에서 제안하는 방법을 설명한다. 4장에서 실험결과를 보이며 5장에서 결론을 내린다.

2. 관련연구

볼륨광선 투사법은 이미지 기반 직접 볼륨 렌더링의 대표적인 기법으로서 이미지 평면의 한 픽셀에서 볼륨으로 가상의 광선을 투사하고, 광선이 진행하는 방향의 복셀을 샘플링하여 색상을 결정한다 [1,2,3,4].



[그림 1] 볼륨 광선 투사법

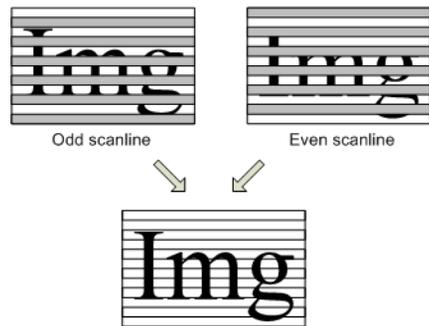
볼륨 광선 투사법에서 렌더링 속도는 이미지 평면의 광선 샘플링 간격에 영향을 받는다. 이 특성을 이용한 간단한 가속화 기법 중 하나로 화면 서브샘플링 방법이 있다[5]. 이 방법은 이미지 평면에서 광선의 샘플링 간격을 일정수준 넓혀서 렌더링 속도를 향상시킨다. 하지만 광선의 샘플링 간격

을 넓힐수록 영상의 화질이 떨어지는 문제가 있으므로 이를 보완하기 위해 응용 프로그램에서 시점이나 물체가 이동할 때 이동 속도에 따라 샘플링 간격을 넓히고 정지하였을 때 원래 해상도로 복원하는 점진적 화질개선 방법[6]이 사용된다. 쉬어왁 분해(shear-warp factorization) 방법은 렌더링 단계를 쉬어(shear) 단계와 왁(warp) 단계로 나누어 투영과정에서 좌표변환의 비용을 줄이고 메모리 연관성을 높여 속도를 향상시키는 기법이다[7][8]. 이것은 소프트웨어 기반의 볼륨 렌더링 기법 가운데 가장 빠른 방법으로 알려져 있으나, 중간영상을 와핑할 때 화질 손실이 발생하고 투시투영을 하기 어려운 문제가 있다.

렌더링 속도는 또한 이미지평면과 물체사이의 색상값 결정에 영향을 주지 않는 공간을 건너뛰므로서(space-leaping) 향상될 수 있다. 이에 따른 가속화 기법으로 거리맵 기반(distancemap-based) 방법이 제안되었다[9][10]. 거리맵 기반 방법은 볼륨 내 각 복셀에서 가장 가까이 이웃한 불투명 복셀의 거리를 계산하고 거리맵 구조체에 그 거리를 저장한다. 저장된 거리 값은 물체에 도달하는 최소 거리를 나타내므로 볼륨 탐색 시 투사된 광선은 투명한 공간을 곧바로 도약하므로 속도가 향상된다. 이 방법은 전처리 과정으로 거리맵의 생성이 필요하고, 볼륨데이터의 불투명도 전이함수(opacity transfer function)값이 바뀔 때 마다 새로 생성되어야 한다. 다른 개선된 방법으로 깊이 서브샘플링 기법이 제안되었다[11]. 이 방법은 이미지 평면을 픽셀 블록으로 나누고 각 블록에서 최소 깊이를 저장한다. 이미지 평면의 모든 픽셀에서 깊이 계산을 하지 않고 일부 픽셀에 대해서만 계산하여 광선의 공간도약에 이용하므로 속도가 향상된다.

비월주사(interlacing) 방식은 비디오 영상장치에서 고정된 비디오 신호 대역폭 내에서 주사율을 높여 화질을 높이는 기법이다[12]. 한 장의 영상은 여러 개의 스캔라인으로 이루어지며 매 프레임 당 홀수와 짝수 스캔라인을 나누어 번갈아 주사하여 결과영상을 만든다. 비월주사 방식은 현재 아날로

그 방송 영상의 표준 기법으로 채택되어 있으며 HDTV 1080i 에 적용되어 있다. 주어진 프레임 대역폭 보다 높은 프레임율을 나타낼 수 있기 때문에 부드러운 영상품질을 얻을 수 있으나 프레임 간 영상의 차이가 크거나 프레임 갱신률(frame rate)이 낮은 경우는 잔상이 나타나는 단점이 있다.



[그림 2] 비월 주사 방식 영상

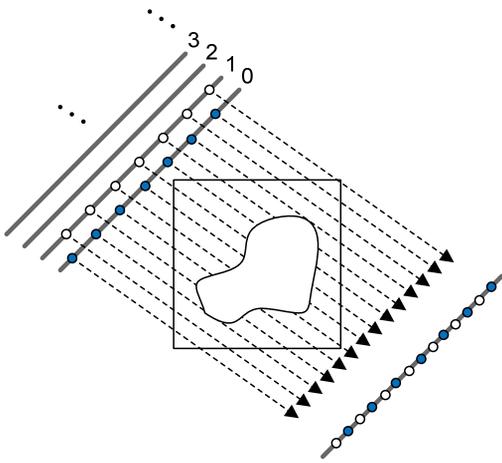
3. 비월 주사식 볼륨 광선 투사법

본 연구에서는 비월주사 방식을 응용한 서브샘플링 방법을 제안한다. 비월주사의 장점은 주어진 프레임 대역폭에 대하여 두 배의 프레임율로 영상을 재생할 수 있다는 것이다. 프레임율이 지나치게 낮을 경우는 눈에 거슬리는 잔상이 보이는 문제가 있지만 적절한 프레임율을 유지할 경우는 오히려 부드러운 영상을 얻을 수 있다.

제안하는 방법은 렌더링 된 결과 영상이 매 프레임 간 시간 일관성을 가진다고 가정하고, 이미지 평면의 모든 픽셀에서 광선을 투사하는 대신에 정해진 순서에 따라 특정 픽셀에서만 광선을 투사하여 갱신함으로써 연속적으로 결과영상을 만드는 것이다. 이렇게 하면 각 프레임에서 블록별로 한 개의 픽셀만 처리하면서 렌더링이 가능하다. 렌더링 성능에 따라서 블록의 크기를 조절함으로써 균일한 프레임율로 영상을 만들어낼 수 있다.

이미지 평면에서 광선이 투사되는 픽셀을 n 개씩 묶어서 하나의 블록을 구성한다. 각 블록 내에서

갱신할 픽셀의 순서를 지정하여 매 프레임 별로 지정된 픽셀에서만 샘플링하여 결과 영상의 정해진 위치에 반영한다. 결과 영상은 이전 $n-1$ 프레임의 샘플링 결과를 누적하여 만들며 현재 프레임에서는 블록당 1개 픽셀만을 샘플링하여 갱신하므로 렌더링 속도가 n 배 향상된다. 본 논문에서 n 을 4로 했으며 2×2 의 정사각형 블록으로 구성하여 계산이 용이하도록 했다.



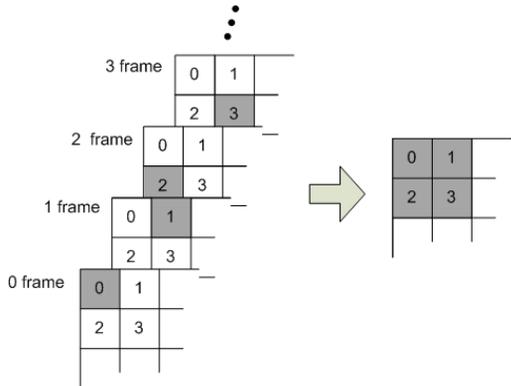
[그림 3] 비월 주사식 블록 광선 투사법

[그림 3]에서, 매 프레임 별로 이미지 평면에서 블록으로 광선이 투사된다. 이미지 평면의 각 픽셀은 이전프레임과 중복되지 않도록 서로 다른 위치에서 정해진 순서대로 광선을 투사한다. 현재 프레임에서 정해진 픽셀 이외에는 샘플링하지 않으며 이러한 식으로 이전프레임으로 부터 샘플링된 데이터는 누적되고 여기에 현재 프레임의 샘플링 결과를 갱신하여 최종 결과영상을 생성한다.

[그림 4]와 같이 n 이 4일 때의 예를 보면, 매 4 프레임 별로 광선을 투사하는 픽셀의 위치가 보는 바와 같이 결정된다. 영상평면에서 샘플링 위치는 2×2 의 정사각형 단위로 나누어지며 각 샘플링 위치를 순차적으로 지정한다. 처음 최종 결과 영상은 서로 다른 픽셀위치에서 샘플링한 4프레임의 영상 데이터를 조합하여 만든다. 이후 매 프레임마다 정

해진 샘플위치에서 서브샘플링 한 결과를 차례대로 최종결과 영상의 정해진 픽셀위치에 누적하여 갱신한다.

화질측면에서 볼 때, 속도 향상을 위해 서브샘플링 방법으로 렌더링할 경우 낮은 광선 샘플링 간격으로 뭉뚱화 현상이 발생하기 때문에 화질이 떨어진다. 제안하는 방법은 결국 서브샘플링 방법과 샘플링간격은 동일하지만, 공간적으로 낮은 해상도의 영향을 시간적으로 분산하였으므로 현재 시점에서 영상의 해상도는 원래 영상의 해상도와 같다.



[그림 4] $n=4$ 일 때 광선 픽셀의 위치

화질의 이점은 시점이 고정되었을 때 극대화되며, 블록의 픽셀 수만큼 프레임이 진행되었을 때 이미지 평면의 모든 픽셀에 대해 광선을 투사한 것과 같게 된다. 이렇게 생성된 결과 영상은 원래의 블록광선 투사법과 동일하고, 추가적인 비용없이 자동으로 점진적 화질개선이 적용되는 효과를 얻는다. 일반적인 삼차원 영상을 생성할 때 사실감을 높이기 위해 누적 버퍼(accumulation buffer)를 이용한 잔상 효과를 적용하는 경우가 있는데 이 방법은 보통 처리비용이 많이 필요한 작업이다[13]. 제안하는 방법은 특성상 이전 프레임의 데이터를 누적하여 현재 프레임에 반영하므로 추가 비용없이 누적버퍼를 이용한 잔상기법과 동일한 효과를 낸다. 이를 통해 부드러운 이동 영상을 얻을 수 있고, 프레임율이 올라갈수록 그 효과는 더욱 커진다.

4. 실험결과

실험을 위해 Intel Core2 2.13GHz CPU와 2Gbyte의 주 메모리를 장착한 PC를 사용하였다. 구현 개발환경은 비주얼 C++ 6.0을 사용했고 실험에 사용된 데이터의 종류는 engine, bonsai, bighead로, 각 데이터의 크기는 2563이며 1 복셀당 1 바이트이다. 뷰포트의 크기는 512×512픽셀이다.

실험은 기존의 광선 투사법으로 렌더링한 영상과 화면 서브샘플링 기법을 적용한 영상, 제안한 방법으로 렌더링한 영상을 비교 하였다. 또한 각 기법에 거리맵을 추가로 적용하여 렌더링한 영상을 비교하였다.

[표 1]에서, engine 데이터를 보면 기존 소프트웨어 기반의 볼륨 광선투사법의 경우 프레임 당 1.16초의 렌더링 시간이 소요되었다. 서브샘플링한 경우와 제안한 방법을 적용한 경우 렌더링 시간은 0.23초로 약 4배의 속도향상 효과가 있었다. 거리맵 기법을 적용하였을 경우 각 방법 모두 전반적으로 속도가 증가하게 된다. 거리맵을 적용한 볼륨 광선투사법의 경우프레임 당 0.36초의 렌더링 시간이 소요되었고 서브샘플링 한 경우와 제안한 방법을 적용한 경우 렌더링 시간은 0.09초로 추가된 가속화기법에 상관없이 역시 약 4배의 속도향상 효과가 있음을 알 수 있다.

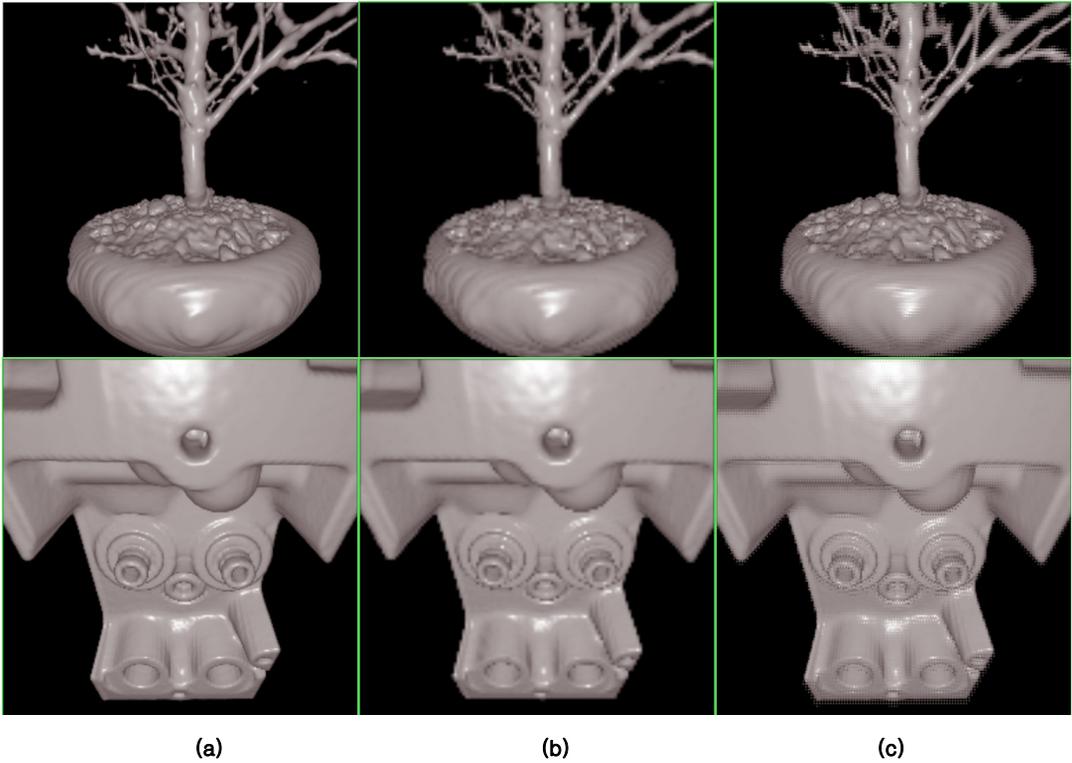
[그림 5]에서, 각 영상은 시점이 이동되는 동안 캡처한 영상으로 (a)는 기존 광선투사법으로 렌더링한 영상이고 (b)는 화면 서브샘플링 기법을 적

용한 영상이다. 제안한 방법을 적용한 결과(c)와 비교해 낮은 광선 샘플링 간격 때문에 화질이 떨어진다. 낮은 샘플링 비율의 영상을 보간하는 과정에서 뭉뚱화 현상이 발생하기 때문인데, 제안하는 방법은 보간을 하지 않고 광선을 샘플링 한 값을 그대로 사용하기 때문에 뭉뚱화가 생기지 않는다. 이동방향과 수직인 물체의 외곽선에 잔상이 생길 수 있으나 그 외에는 더 선명한 외형을 보인다. 렌더링 시간의 경우 제안하는 방법은 1/4 서브샘플링하는 방법과 광선의 샘플링 간격이 같기 때문에 약 4배로 속도가 향상된다. 하지만 서브샘플링 방법은 화면확대 시 보간 연산을 텍스처 하드웨어로 하기 때문에 이것이 속도에 크게 영향을 주지 않지만, 만일 하드웨어를 사용하지 않고 확대할 경우 속도가 매우 느려진다. 하지만 제안하는 방법은 광선 샘플링 값을 보간 연산 없이 그대로 사용하므로 텍스처 하드웨어가 없어도 속도향상에는 변함이 없다.

비월주사 방식의 영상은 이전프레임과 현재프레임간 영상의 차이가 클 경우 잔상이 생기는 단점이 있다. 제안한 방법도 역시 비월주사 방식이 가진 한계를 그대로 가지고 있다. 만일 급격한 시점의 변화로 프레임 간 시간 일관성이 떨어지는 경우 이전 프레임의 정보가 그대로 남아있게 되어 잔상이 생길 수 있다. 이와 같은 화질의 열화는 속도 향상에 따른 이점을 상쇄할 가능성이 있다. 하지만 본 논문에서 제안하는 방법은 광선 샘플링 간격을 낮추는 방법에 비해 좋은 화질을 얻을 수

[표 1] 실험 결과. 값은 영상 생성 시간 (단위:sec)

	거리맵 사용하지 않음			거리맵 기반		
	original ray casting	subsampled	interlaced	original ray casting	subsampled	interlaced
engine	1.16	0.23	0.23	0.36	0.09	0.09
bonsai	1.91	0.42	0.42	0.42	0.12	0.12
bighead	1.27	0.30	0.30	0.38	0.1	0.1



[그림 5] (a) 기존 광선투사법 영상과 (b)1/4 서브샘플링 된 영상, (c)제안한 방법 영상의 비교

있으면서 빠른 렌더링 속도를 보장하므로 의미가 있다. 또한 시간 일관성이 높은 상황에서 양호한 화질을 얻을 수 있고, 뷰포트의 해상도가 높을수록 잔상의 영향은 적어진다. 속도 향상을 통해 프레임율이 일정 이상 확보될 경우 잔상이 줄어 역시 기존방법에 비해 좋은 화질을 얻을 수 있다. 또한 제안한 방법의 특성상 시점이 이동하거나 물체가 이동한 후 정지했을 때 자연스럽게 원래 이미지로 수렴하므로 추가적인 점진적 화질개선 기법을 적용할 필요가 없다. 이러한 점을 볼 때 제안하는 방법은 볼륨광선 투사법에서 속도 향상을 위한 기존 서브샘플링 방법을 대체할 수 있다. 화질 저하는 객체의 외곽선에서 두드러지게 일어나는 경우가 많으므로 볼륨 모델의 내부를 이동하는 가상 내시경과 같은 어플리케이션에 적용할 경우 좋은 효과를 기대할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 비월주사 기법을 볼륨 광선 투사법에 적용하여, 기존 서브샘플링 기법을 적용한 낮은 해상도의 영상에 비해 좋은 품질을 나타내는 방법을 제안하였다. 렌더링 속도 면에서 기존의 볼륨 광선투사법 만을 적용한 경우보다 빠르고, 서브샘플링 기법과 같이 이미지 평면에서 광선의 간격을 넓히지 않고도 속도 향상을 이루고 있다. 영상의 품질 면에서는 시각적 잔상을 이용하여 시점의 이동시에도 몽롱화 없이 좋은 영상을 제공하며 시점이 고정되면 영상의 품질은 원래의 광선투사법과 동일했다.

향후 연구로 비월주사 방식의 특징인 이동 시 잔상의 문제를 해결하기 위해 de-interlacing 기법이 제안되어있는데, 이러한 기법을 차후에 적용한다면 화질을 향상 시킬 수 있을 것이다. 또한 속

도의 손실 없이 잔상을 줄이기 위한 다양한 샘플링 패턴의 고안이 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] M. Levoy, "Display of Surfaces from Volume Data," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.8, No. 3, pp. 29-37, 1988.
- [2] K. Engel, "Real-Time Volume Graphics," A K PETERS, pp. 1-45, 2006.
- [3] 김주환, 권구주, 신병석, "블리킹을 이용한 대용량 초음파 볼륨 데이터 렌더링," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 13권, 제 7호, 117-126쪽, 2008년 12월.
- [4] 손봉수, "시변 볼륨 데이터의 압축과 가시화 기법," 한국컴퓨터정보학회논문지, 제 12권, 제 3호, 85-93쪽, 2007년 7월.
- [5] J. Danskin, P. Hanrahan, "Fast Algorithms for Volume Ray Tracing," Workshop on Volume Visualization, pp. 91-98, 1992.
- [6] M. Levoy, "Volume Rendering by Adaptive Refinement," The Visual Computer, Vol.6, No.1, pp. 2-7, 1990.
- [7] P. Lacroute, M. Levoy, "Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation," SIGGRAPH, pp. 451 - 458, 1994.
- [8] T. Möller, E. Haines, "Real Time Rendering," A K PETERS, 342-344, 2002.
- [9] K. Zuiderveld, A. Koning, M. Viergever, "Acceleration of Ray-Casting Using 3D Distance Transforms," Visualization in Biomedical Computing, pp.324 - 335, 1992.
- [10] S. Lim, B. Shin, "Bidirectional Distancemap for Efficient volume Ray Casting," LNCS, Vol. 4263, pp. 334-342, Oct. 2006. pp. 324-335, 1992.
- [11] B. Shin, Y. Chae, "Acceleration of Perspective Volume Rendering Using Depth-Subsampling," LNCS, Vol.3280, pp. 110-117, 2004.
- [12] G. Tonge, "The Television Scanning Process," SMPTE Journal, pp. 657-666, 1984.
- [13] M. Miyahara, "Improvements of Television Picture Quality by Eliminating the Disturbances Caused by Interlaced Scanning,"

IEEE TOC, Vol 31, No. 7, pp. 902-906, 1983.

- [14] P. Haeberli, K. Akeley, "The accumulation buffer: hardware support for high-quality rendering," Computer graphics and interactive techniques, pp. 309 - 318, 1990.

최이규(Choi, Eikyu)



2002년 2월 인하대학교 전자계산공학과 학사
2004년 2월 인하대학교 전자계산공학과 석사
2007년~현재 인하대학교 정보공학과 박사과정

관심분야 : 볼륨 그래픽스, 의료영상

신병석(Shin, Byeong-Seok)



1990년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1992년 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
1997년 서울대학교 컴퓨터공학과 박사
2000년~현재 인하대학교 정보공학과 부교수

관심분야 : 실시간 렌더링, 볼륨그래픽스, 의료영상

— 비월주사식 불륜 광선 투사법 —