

절단면 재렌더링 기법을 이용한 GPU 기반 MIP 볼륨 렌더링

홍인실[†], 계획원^{**}, 신영길^{***}

요 약

의료영상에서 사용하는 MIP 볼륨 렌더링은 CT나 MR 등의 볼륨데이터에서 시각 광선으로부터 높은 밝기 값을 추출하여 혈관과 뼈와 같은 환자의 조직을 보여주는 볼륨 렌더링 기법이다. 최근 GPU를 MIP 볼륨 렌더링에 사용하여 대용량 의료영상 데이터에 대해서도 속도가 빠른 렌더링이 가능하게 되었다. 볼륨데이터를 여러 각도에서 관찰하면, 일반적으로 시각과 동일한 방향의 텍스처 평면과 볼륨 경계평면이 비스듬하게 교차한다. 볼륨데이터의 외부에는 값이 존재하지 않으므로 경계부분에서 공간 주파수가 높게 나타난다. 기존의 MIP 렌더링은 샘플링 간격이 일정하기 때문에 경계부분에서 데이터의 손실이 생겨 알리아싱이 나타나는 문제가 있다. 화질을 개선하기 위해 샘플링 간격을 줄여 슬라이스수를 증가시킬 수 있으나, 이때는 렌더링 수행 시간이 길어지게 된다. 이 논문에서는 기존 렌더링 결과에 볼륨 경계 평면을 추가로 렌더링하는 방법을 제안한다. 이 방법은 주파수가 높은 경계 부분의 샘플링 간격을 줄여 화질을 향상시킨다. 한편 MIP는 샘플링 순서에 무관하므로 추가된 슬라이스는 기존 렌더링 영상을 손실시키지 않는다. 증가된 슬라이스는 경계부분인 여섯 평면에 불과하므로 렌더링 수행시간에는 거의 영향을 주지 않고 화질을 개선할 수 있다.

GPU based Maximum Intensity Projection using Clipping Plane Re-rendering Method

Insil Hong[†], Heewon Kye^{**}, Yeong Gil Shin^{***}

ABSTRACT

Maximum Intensity Projection (MIP) identifies patients' anatomical structures from MR or CT data sets. Recently, it becomes possible to generate MIP images with interactive speed by exploiting Graphics Processing Unit (GPU) even in large volume data sets. Generally, volume boundary plane is obliquely crossed with view-aligned texture plane in hardware-texture based volume rendering. Since the ray sampling distance is not increased at volume boundary in volume rendering, the aliasing problem occurs due to data loss. In this paper, we propose an efficient method to overcome this problem by Re-rendering volume boundary planes. Our method improves image quality to make dense distances between samples near volume boundary which is a high frequency area. Since it is only 6 clipping planes are additionally needed for Re-rendering, high quality rendering can be performed without sacrificing computational efficiency. Furthermore, our method could be applied to Minimum Intensity Projection (MinIP) volume rendering.

Key words: MIP, Re-Rendering(재렌더링), Clipping Plane(절단면), Aliasing(알리아싱)

※ 교신저자(Corresponding Author): 홍인실, 주소: 서울시 관악구 신림9동 서울대학교(151-744), 전화: 02)880-1860, FAX: 02)886-7589, E-mail: jerress@cglab.snu.ac.kr
접수일: 2006년 9월 21일, 완료일: 2007년 1월 8일

[†] 계획원, 서울대학교 공과대학 컴퓨터공학과 박사과정

^{**} 계획원, 서울대학교 컴퓨터연구소 연구원
(E-mail: kuei@cglab.snu.ac.kr)

^{***} 계획원, 서울대학교 컴퓨터공학부 교수
(E-mail: yshin@cse.snu.ac.kr)

1. 서 론

의료영상처리와 가상화에서 정확하고 빠른 알고리즘은 의료데이터들을 관찰하기에 중요한 요소이며 현재 빠르게 발전하고 있다. 볼륨 렌더링 기법 중 MIP(Maximum Intensity Projection) 볼륨 렌더링은 CT나 MR 등의 볼륨 데이터로부터 시각 광선(viewing ray)을 따라 높은 밝기 값을 추출하여 혈관이나 뼈와 같은 환자의 해부학적 구조를 보여주는 볼륨 렌더링 기법이다. 최근 GPU(Graphics Processing Unit)를 사용하여 직접적인 볼륨 렌더링이 활발하게 이루어지고 있는데 대용량 의료영상 데이터에 대해서도 GPU를 적용하여 실시간으로 빠른 렌더링이 가능하게 되었다.

GPU를 기반으로 하는 MIP 볼륨 렌더링에서 특히 볼륨 데이터의 특정 영역을 관찰하기 위해 잘라 냈을 경우 그 절단면에서 몇 가지 나타날 수 있는 문제점이 있다. 일반적으로 볼륨 데이터를 여러 각도로 회전하면서 관찰할 때, 볼륨의 경계부분의 평면이 시각과 동일한 방향의 텍스처 평면(texture plane)과 주로 비스듬하게 교차하게 된다. 그런데 이때 잘려진 볼륨 경계부분의 외부에는 데이터 값이 존재하지 않기 때문에 경계부분 평면에서 주파수영역대가 높게 나타난다. 그 결과로 잘려진 볼륨의 경계부분에서 알리아싱(aliasing) 현상이 나타나게 되는데 이것은 영상의 화질을 떨어뜨리는 결과를 초래한다. 알리아싱 현상으로부터 영상의 화질을 개선하기 위한 간단한 해결 방법은 슬라이스간의 샘플링 간격을 줄이는 것 즉, 슬라이스수를 증가시키는 방법이 있다. 하지만 이 방법을 사용하게 되면 결과 영상의 화질 향상은 얻을 수 있지만 늘어난 슬라이스 수만큼 렌더링을 더 시행하기 때문에 렌더링 수행시간이 길어지는 단점이 있다.

이 논문에서는 기존 MIP 볼륨 렌더링 결과에 볼륨 경계부분 평면을 추가로 렌더링 하는 방법을 제안한다. 볼륨의 잘려진 경계부분의 평면으로부터 데이터 값을 취하여 MIP 볼륨 렌더링을 한 번 더 시행함으로써 화질을 향상시킬 수 있다. 또한 MIP 볼륨 렌더링은 샘플링 순서(order)에 영향을 받지 않으므로 추가된 슬라이스는 렌더링 순서에 관계없이 기존 렌더링 결과 영상을 손실시키지 않는다. 증가된 슬라이스는 볼륨의 경계부분에 해당되는 여섯 평면에 불과하므로 렌더링 수행시간에는 거의 영향을 주지

않고 결과 영상의 화질을 개선할 수 있다. 본 제안 방법은 MinIP(Minimum Intensity Projection) 볼륨 렌더링과 빛이 진행하는 방향에 따라 해당되는 볼륨의 밝기 값을 계속적으로 더해가는 레이섬(raysum) 볼륨렌더링이나 VOI(Volume of Interest) 등과 같이 볼륨 데이터의 특정부분을 관찰하기 위해 볼륨을 절단하는 부가 기능을 사용하는 모든 경우에 적용이 가능하다.

2장 관련연구에서는 MIP 볼륨 렌더링과 관련된 화질을 개선하는 기법들과 속도를 빠르게 볼륨 렌더링하는 방법들과 GPU를 사용하여 대용량 의료 볼륨 데이터를 처리하는 방법에 관하여 기술하고 3장 절단면에서 재렌더링 기법에서는 절단된 여섯 개의 평면에 대하여 추가로 렌더링을 시행하는 제안된 재렌더링 기법에 관하여 자세히 서술한다. 4장에서는 제안된 방법을 사용하여 실험한 결과를 수행 시간적인 측면과 이미지 화질측면으로 나누어 결과를 정리하고 또한 제안된 방법을 사용하지 않은 기존의 연구 결과를 서로 비교한다. 마지막 5장에서는 결론을 기술한다.

2. 관련연구

MIP 볼륨 렌더링은 정해진 시각 광선을 따라 최대 밝기 값을 찾는 볼륨 렌더링 기술 중의 하나로서 의료 영상 데이터를 통해 환자의 뼈나 혈관 같은 특정 조직들을 관찰하기 용이한 기술이다. 시각방향에 의한 광선(viewing ray)을 적분하여 쌓는 대신에 방정식 (1)을 사용하여 이미지 평면상의 하나의 픽셀에 뿌려질 값을 찾기 위해 최대 밝기 값을 추출해 낸다. 아래 방정식에서 $s(x)$ 는 공간상 위치에 대한 입자의 밀도함수 이고, D 는 관찰자로부터의 최대거리이며 $x(\lambda)$ 는 관찰자로부터의 거리 λ 에 대한 위치 함수이다.

$$I = \max(s(x(\lambda))), \quad (0 < \lambda < D) \quad (1)$$

MIP 볼륨 렌더링이 볼륨 광선 적분과 다른 점은 중간에 다른 물질에 의해 감쇄되거나 가려지는 효과가 없다는 것이다. 그러나 감쇄 효과가 없기 때문에 입체감이 떨어지는 단점이 있다. 이것을 보완하기 위해서는 여러 각도에서 빠르게 관찰 할 수 있어야 함

으로 MIP 볼륨 렌더링은 빠른 속도와 좋은 화질이 요구된다. MIP 렌더링에서는 빠른 속도를 내기 위한 방법인 조기 광선 종료(early ray termination)를 사용할 수 없다. 다만, 관찰자가 바라보는 시각방향에 의한 광선에서 높은 밝기 값만 처리되기 때문에, 상대적으로 작은 샘플 값을 처리하지 않아도 된다는 이점이 있다.

볼륨 렌더링을 가속화하기 위한 하나의 기법으로 계층적 캐시 메모리(cache memory)를 이용할 수 있다. Paker는 캐시 메모리의 효율성을 최적화하는 방법으로 프로세서 캐시 메모리에 적당하게 데이터를 블록 단위로 나누는 방법을 제안하였다. 이 방법은 벡터화(vectorization)와 광선 상에서 의미 없는 블록들은 뛰어 넘는 방식과 결합되어 일반화된 듀얼 PC(dual PC)를 사용하는 대용량 의료영상 데이터를 거의 실시간으로 속도의 저하 없이 렌더링 할 수 있다[1]. Morz는 전처리 과정에서 전체 볼륨 데이터를 내림차순으로 정렬하여 리스트로 저장한 뒤 렌더링 시 리스트 순서대로 스플래팅(splatting)하여 볼륨 렌더링을 가속화 하였다[2]. 이 알고리즘은 정렬한 리스트가 있어 밝기 값이 작은 리스트의 뒷부분에서는 어떤 샘플의 밝기 값이 더 큰지를 비교하지 않아도 되기 때문에 속도 면에서 향상효과를 얻을 수 있고, 점진적인 정렬이 자연스럽게 가능하다. 단점은 정렬을 하기 위한 전처리 시간이 길다는 것과 밝기 값의 배열로 저장된 데이터를 공간 좌표의 배열로 전환하는데 원래 메모리의 2배가 소요 된다는 점이다. Csebfalvi는 밝기 값을 일정한 구간으로 양자화(quantization)시켜 비트열의 논리 연산으로 변환하는 방법을 제시하였다[3]. 이 방법을 통해 비교 연산의 수를 대부분 제거하게 되어 속도를 향상시켰다. 그러나 밝기 값이 넓은 영역으로 분포되어 있는 경우에는 양자화의 효과가 크지 않다는 단점이 있다. 또 다른 방법 중 하나로 쉬어왁(shear-warp)기법을 사용하는 것인데 쉬어왁 기법은 볼륨 렌더링에도 사용되는 방법으로 GPU를 사용하지 않고 CPU를 사용하여 MIP 볼륨 렌더링의 속도를 향상시킬 수 있다. SIMD 연산을 통해 비교연산을 제거하고, 순차적 메모리 접근으로 메모리 참조 효율을 증가시켜 MIP 볼륨 렌더링을 구현할 수 있다[4].

현재 볼륨 렌더링을 위한 특수목적의 GPU가 지속적으로 발전 되고 있고, 이러한 GPU를 사용하여 대

용량 볼륨 데이터의 MIP, MinIP 볼륨 렌더링이 좀 더 빠르게 처리 될 수 있도록 하는 많은 연구들이 진행 되고 있다. 최근의 볼륨 렌더링만을 위해 제작된 볼륨 프로(VolumePro)는 1024³의 16비트 볼륨 데이터를 초당 30 프레임(frame)을 생성할 수 있는 능력을 가지고 있다[5]. 하드웨어 기반 볼륨 렌더링 중에서는 텍스처 메모리(texture memory)를 참조하는 방법은 범용 GPU를 이용한 렌더링 가속화 방법 중 하나이다. 초기의 텍스처 맵핑(texture mapping)은 하드웨어 기능의 한계로 제한적인 기능만을 사용할 수 있었다. 텍스처 메모리를 사용한 최초의 볼륨 렌더링은 서버 그래픽 보드(server graphic board)를 사용하는 SGI 워크스테이션(workstation) 상에서 실행되었다[6]. 텍스처 메모리를 사용한 또 다른 방법은 Rezk-Salama에 의해 제안되었다. 3D 텍스처 샘플링이 지원되지 않는 경우에 2D 상에서 슬라이스들 간의 보간(interpolation)으로 3D를 대치하는 기법이다[7]. MIP 볼륨 렌더링에 GPU를 사용하여 구현한 경우는 Heidrich가 3D 텍스처 맵핑을 사용하지 않고 다각형 렌더링 엔진(polygon rendering engine)을 사용하여 MIP 볼륨 렌더링을 시행하였다[8]. Morz는 등위 표면(iso-surface) 데이터 값에 대응하는 다각형의 깊이 정보에 대하여 회색조 값(gray scale value)의 영역으로 z버퍼(z-buffer)를 사용하여 MIP 볼륨 렌더링을 구현하였다[9]. GPU의 계산 장치(processing unit)인 버텍스 셰이더(vertex shader)와 픽셀 셰이더(pixel shader)를 사용한 볼륨 렌더링의 구현은 속도 향상 면에서 큰 이점을 가진다[5,10]. MIP 볼륨 렌더링 또한 GPU를 사용함으로써 속도 면에서 가속화 될 수 있다. Kiefer는 GPU를 MIP 볼륨 렌더링에 사용함은 물론 메모리 접근 최적화 방법인 계층적 캐시 메모리 구조(hierarchical cache memory architectures)를 사용하여 속도 측면에서 MIP 볼륨 렌더링의 결과를 향상시켰다[11].

3. 절단면에서의 재렌더링(Re-rendering) 기법

치료를 목적으로 환자의 볼륨 데이터를 관찰할 때, 주위 깊게 살펴봐야할 영역에 관하여 볼륨 데이터를 절단하는 것은 환자의 정확한 상태를 파악하는데 필요한 작업이다. 따라서 원하는 영역에 대하여서

만 볼륨 렌더링 결과를 얻을 수 있도록 볼륨을 잘라내는 것이 시도된다. 잘려진 볼륨은 각각 x , y , z 축에 따라 얻어진 좌, 우 두 개의 경계 부분의 값과, 앞, 뒤 두 개의 경계 부분의 값과, 상, 하 두 개의 경계부분의 값, 즉 전체 여섯 개의 경계부분의 값들에 의해 새로운 볼륨 데이터 영역이 정해진다. 전체볼륨 데이터를 관찰이 필요한 영역으로 잘라내는데 발생할 있는 문제점이 바로 절단 되어진 평면에서 나타날 수 있는 이미지 평면상 직선의 계단현상인 알리아싱이다. 볼륨을 상하 좌우의 여러 방향으로 회전변환을 시행하다보면 일반적으로 시각과 동일한 방향의 텍스처 평면은 볼륨 데이터의 경계부분 평면과 주로 비스듬하게 교차하게 된다. 이 때 볼륨 데이터의 외부에는 특정한 샘플 값이 존재하지 않고 볼륨 데이터의 내부에는 샘플 값이 존재하기 때문에 경계부분 평면에서 공간 주파수(spatial frequency)의 영역대가 높게 나타난다. 이런 이유에서 볼륨의 경계부분 평면에서 알리아싱 현상이 일어나게 된다. 또한 기존의 MIP 렌더링은 샘플링 간격이 일정하기 때문에 경계부분에서 데이터의 손실이 나타남으로 2D 화면상 직선부분인 볼륨 데이터의 경계 평면에서 계단현상이 생기게 된다.

볼륨의 경계부분에서 나타날 수 있는 알리아싱 문제는 볼륨 데이터의 슬라이스수를 증가 시키면 간단하게 화질을 개선할 수 있다. 하지만 늘어난 슬라이스 수만큼 MIP 볼륨 렌더링을 더 실행해야하기 때문에 결과적으로 렌더링 수행시간이 늘어나는 단점이 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 볼륨이 잘려진 경계부분의 절단면에 대하여 재렌더링 기법을 적용한다.

절단면 재렌더링 기법은 절단면을 따라 그 평면에 해당되는 좌표 값을 읽어 들여 절단된 평면에 대하여 3D 텍스처 맵핑을 다시 한 번 해주는 것이다. 볼륨은 각각의 축에 따라 여섯 개의 지점에 대하여 육면체 모양으로 잘려지기 때문에 회전변환을 시킬 때 우리가 관찰할 수 있는 부분이 상, 하, 좌, 우, 위, 아래의 여섯 개의 경계부분 평면이 된다. 따라서 여섯 개의 경계부분 평면에 대하여 재렌더링을 실시한다. 절단되어 새로 정해진 육면체 볼륨의 여섯 면에 대하여 버텍스 버퍼를 새로 정의하고 정의된 좌표에 의해 텍스처 맵핑을 한 번 더 시행한다. 이 방법을 사용하게 되면 데이터 값의 부재로 인해 영상에 나타내게

되는 알리아싱 문제를 해결할 수 있다. 또한 렌더링 수행시간에 대하여서도 추가된 여섯 개의 볼륨 경계부분 평면에 해당하는 슬라이스들만 추가로 렌더링하는 것임으로 크게 영향을 미치지 않게 된다. 즉 렌더링 수행시간은 절단면을 재렌더링 하기 전과 재렌더링을 한 후가 거의 변화가 생기지 않게 된다. 따라서 렌더링 수행시간의 증가 없이 이미지 평면상의 결과 영상의 화질을 개선할 수 있다.

d_1 은 볼륨 슬라이스로부터 얻어진 밝기 값을 나타내고, d_2 는 절단된 평면으로부터 얻어진 밝기 값을 나타낸다. d_1 의 밝기 값이 200이고 d_2 의 밝기 값이 225인 $d_1 < d_2$ 인 경우가 있다고 가정하자. 여기서 기존의 방법으로 MIP 볼륨 렌더링을 시행하게 된다면 절단면에 대해서는 고려하지 않게 됨으로 해당되는 볼륨 슬라이스로부터 얻어진 밝기 값 즉, $d_1(200)$ 의 밝기 값이 이미지 평면의 픽셀 값으로 정해지게 된다. 하지만 $d_1 < d_2$ 인 경우이므로 절단된 평면으로부터 얻어진 밝기 값인 $d_2(225)$ 의 밝기 값이 볼륨 슬라이스로부터 얻어진 밝기 값 $d_1(200)$ 보다 더 크기 때문에 $d_2(225)$ 의 밝기 값이 최대 밝기 값이 되어야 한다. 따라서 $d_2(225)$ 의 밝기 값이 이미지 평면의 픽셀 값으로 뿌려져 최종 영상에 반영되어야 한다. 기존의 방법을 사용하면 절단된 평면으로부터의 밝기 값을 고려하지 않고 볼륨 슬라이스들 간의 최대 밝기 값을 시각 광선을 따라 비교하기 때문에 정확한 최대 밝기 값을 얻기가 어렵다. MIP 절단면 재렌더링 기법을 사용함으로써 기존의 MIP 볼륨 렌더링에서 $d_1(200)$ 의 밝기 값이 최대 밝기 값이 되어 이미지 평면에 뿌려지게 됨으로 시각의 변화에 따라 나타나는 알리아싱 현상을 줄이고 결과 영상의 화질을 개선할 수 있게 된다. 그림 1은 d_1 의 밝기 값이 200이고 d_2 의 밝기 값이 225인 $d_1 < d_2$ 인 경우에 대하여 2D 영상으로 설명하고 있다. 그림 1의 (a)는 기존의 방법으로 MIP 볼륨 렌더링을 실행할 때 이미지 평면위에 볼륨 슬라이스로부터 얻어진 최대 밝기 값이 픽셀 값으로 뿌려지는 것을 나타내고 그림 1 (b)는 절단된 평면으로부터 얻어진 밝기 값이 최대 밝기 값이 되어 이미지 평면에 결과 영상으로 되는 것을 설명한다.

렌더링 수행시간을 줄이기 위해 샘플링 간격을 넓게 하면 즉 슬라이스 수를 줄여서 렌더링을 하게 되면 부분 용적 효과(partial volume effect)에 의해

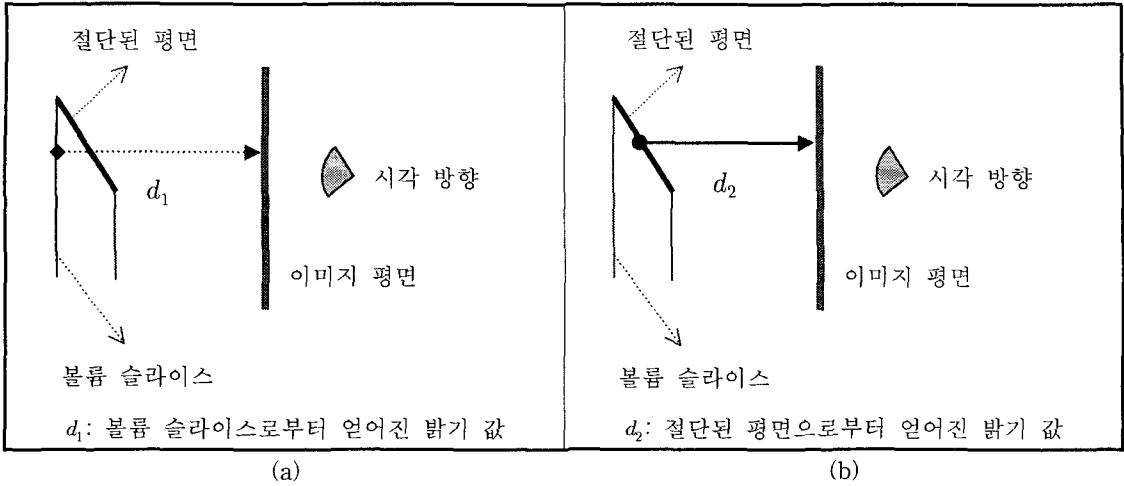


그림 1. $d_1 < d_2$ 인 경우에 대한 최대 밝기 값에 관한 2D 영상

(a) 볼륨으로부터 최대 밝기 값을 얻고 있는 경우 (b) 절단면으로부터 최대 밝기 값을 얻고 있는 경우

영상에서 알리아싱이 일어나게 된다. 그리고 반대로 결과 영상의 화질을 좋게 하기 위해 슬라이스 수를 늘린다면 렌더링 수행시간이 길어지게 되어 상충관계(trade off)가 일어난다. 제안된 절단면 재렌더링 기법을 사용하게 되면 기존의 화질을 개선하기 위해 슬라이스수를 늘려서 렌더링할 때 발생하는 문제점인 렌더링 수행시간이 길어지는 단점을 보완할 수 있다. 재 렌더링이 필요한 부분은 절단된 평면인 여섯 개의 면임으로 결과적으로 렌더링 수행시간은 늘어나지 않으면서 결과 영상의 화질을 개선할 수 있다.

아래 그림 2는 전체볼륨에 대하여 MIP 볼륨 렌더링은 실행할 때 절단면에서 재렌더링을 시행하는 과정을 위에서 내려다본 모양으로 2D 그림으로 나타낸 것이다.

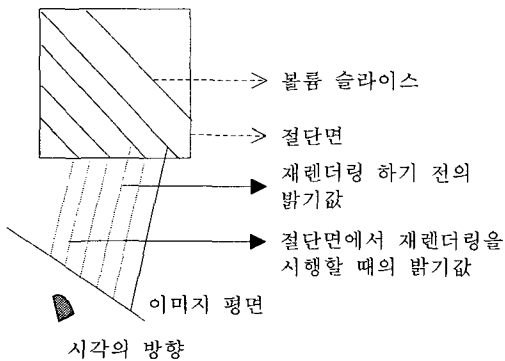


그림 2. 절단면에서 재렌더링 기법

4. 실험결과

본 논문에서는 절단면 재렌더링 기법을 구현하기 위해 256MB의 텍스처 메모리를 가진 라데온(Radeon) 9800pro 그래픽카드를 장착한 2.8 GHz 인텔 펜티엄 IV PC에서 실험하였다. 구현된 MIP 볼륨 렌더링은 3D 텍스처 하드웨어(3D texture hardware)에 기반을 둔다. 우리의 실험과 테스트는 3개의 의료 볼륨 데이터와 노이즈를 가진 하나의 팬텀 데이터(phantom data)에 적용하였고 데이터별 분류는 아래 표 1과 같다. 제안된 재렌더링 기법에 대한 성능 평가는 먼저 수행시간에 대하여 제안된 기법을 사용한 경우의 렌더링 수행시간과 사용하지 않았을 경우의 수행시간을 비교하여 평가한다. 그리고 영상의 화질에 관하여 제안된 기법을 사용하였을 경우 결과 영상의 화질과 기존의 방법으로 MIP 볼륨렌더링을 실행했을 때의 결과 영상의 화질에 관하여 비교 분석한다.

표 1. 실험에 사용된 데이터의 종류와 특성

데이터 종류	비트수 (Bit)	볼륨의 크기	의학적 특성
Big Head	16	256 × 256 × 240	병원 CT 데이터
Angio	16	256 × 256 × 256	병원 CT 데이터
환자의 머리 일부	16	512 × 256 × 220	병원 CT 데이터
노이즈를 가진 팬텀	16	256 × 256 × 96	팬텀 CT 데이터

아래 그림 3은 주어진 4개의 CT 볼륨데이터에 대하여 볼륨 전체를 3D 텍스처 메모리 GPU기반 하에 MIP 볼륨 렌더링한 결과영상이다.

4.1 절단면 재렌더링 결과에 대한 화질 분석

소프트웨어를 사용한 셰이딩(shading) 기술, 분류 기법과 3D 텍스처 하드웨어 보간법을 사용하여 MIP 볼륨 렌더링을 구현하였다. 절단면 재렌더링 기법을 사용하지 않았을 경우와 기존의 방법으로 재렌더링을 하지 않았을 경우로 나누어 화질을 비교한다. 기존의 방법대로 MIP 볼륨 렌더링을 구현한 경우는 아래 그림 4의 (a)에서도 알 수 있듯이 왼쪽에서 오른쪽 45도 방향으로 알리아싱 현상이 나타나는 것을 볼 수 있다. 재렌더링 기법은 효율적으로 샘플링 간격을 줄여 기존의 방법에서 나타날 수 있는 알리아싱 문제를 해결할 수 있다. 그림 4의 (b)에서 보면 그림 4의 (a)와 같은 데이터를 사용하고 같은 각도로 회전 변환한 결과 영상인데 알리아싱 현상이 없어지고 결과 영상의 화질이 개선된 것을 볼 수 있다.

4.2 절단면 재렌더링 결과에 대한 수행시간 분석

절단면에서 재렌더링을 시행한 경우와 하지 않은

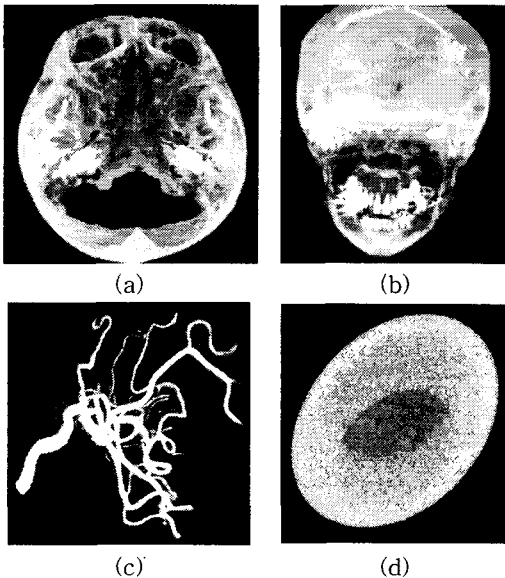


그림 3. GPU를 사용한 MIP 볼륨 렌더링 결과 영상
(a) 환자 머리의 일부 (b) Big Head
(c) Angio (d) 노이즈를 가진 팬

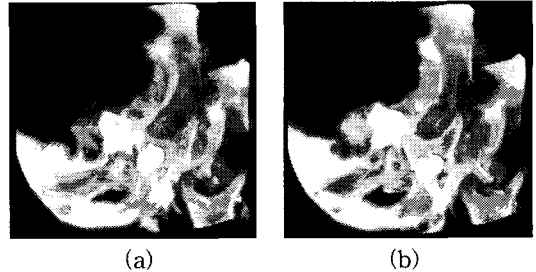


그림 4. 절단면에서 재렌더링한 MIP 볼륨 렌더링 결과

- (a) 기존의 방법으로 절단면에서 재 렌더링을 하지 않았을 경우 알리아싱 현상을 보임.
- (b) 절단면에서 재렌더링을 시행하여 알리아싱을 없앤 경우 결과 영상. 두 경우 모두 Big Head 데이터의 같은 부분을 절단하여 MIP 볼륨 렌더링을 시행했음.

경우 렌더링 수행시간을 비교하여 보면 두 경우 모두 FPS(Frame Per Second)의 차이를 크게 볼 수 없다. 표 2를 보면 절단면에서 재렌더링한 경우가 149.83 FPS이고 기존 방법을 사용한 경우가 150.81 FPS로 초당 프레임수가 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

재렌더링 기법을 사용하지 않고 화질을 좋게 하기 위해 샘플링의 수를 늘리는 방법으로 슬라이스 수를 256에서 400장 512장으로 늘린 경우와도 비교해 보면 400장 슬라이스가 되도록 했을 때 렌더링 수행시간의 경우 거의 1.6배 가까이 느려지는 것을 볼 수 있다. 또 2배로 슬라이스 수를 늘린 512장 슬라이스의 경우는 렌더링 수행시간이 약 2배 증가하는 것을 볼 수 있다. 슬라이스 수를 조절한 경우 MIP 볼륨 렌더링 결과는 그림 4에서도 알 수 있듯이 화질이 어느 정도 나아지는 것을 알 수 있지만 상대적으로 FPS가 많이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 그리고 2배 이상으로 슬라이스 수를 증가시켰을 때 화질이 어느 정도 좋아 지는 것을 알 수 있고 슬라이스수가 2배에 못 미치는 경우에는 알리아싱 현상이 그대로 나타남을 볼 수 있다.

표 2. 슬라이스 수에 따른 MIP 볼륨 렌더링 수행시간과 재렌더링 수행시간 비교

	재렌더링 기법을 수행하였을 경우 256 슬라이스	절단면 재렌더링 기법을 사용하지 않은 기존의 방법		
		256 슬라이스	400 슬라이스	512 슬라이스
MIP 볼륨 렌더링	149.83	150.81	97.24	73.85

단위: FPS(Frame per Second)

이와 같은 재렌더링 기법은 MinIP 볼륨렌더링과 레이섬(Raysum)에도 동일하게 적용할 수 있다. 아래 그림 4는 (a), (b), (c), (d)모두 Big Head 데이터의 일부분을 회전 변환하여 동일한 각도에서 바라본 MIP 볼륨 렌더링 결과영상이다. 확대된 부분을 보면 그림 5의 (a), (b), (c)의 모든 결과 영상에서 알리아싱 현상이 나타나고 있는 것을 쉽게 확인할 수 있다.

5. 결론

MIP 볼륨 렌더링에서 볼륨의 특정부분을 관찰하기 위해 볼륨의 일부분을 절단하여 그 내부를 관찰

하는 것이 필요하다. 이 때 잘려진 절단면에서 직선의 계단현상인 알리아싱이 나타나 결과 영상의 화질이 떨어지는 것이 문제점이다. 본 논문에서는 이미지 평면에서 나타날 수 있는 알리아싱 현상을 줄이기 위해 렌더링 수행시간에 영향을 미치지 않으면서 결과영상의 화질을 높이는 방법으로 절단된 볼륨의 경계부분 평면을 따라 다시 한 번 더 렌더링 하는 절단면 재렌더링 기법을 제안하였고 이 방법에 따라 볼륨의 슬라이스 수를 늘리지 않고도 영상의 화질을 개선하였다. 볼륨의 샘플링 수를 증가시켜 영상의 화질을 개선할 때 나타날 수 있는 또 다른 문제점인 렌더링 수행시간의 증가이다. 제안된 재렌더링 기법은 이러

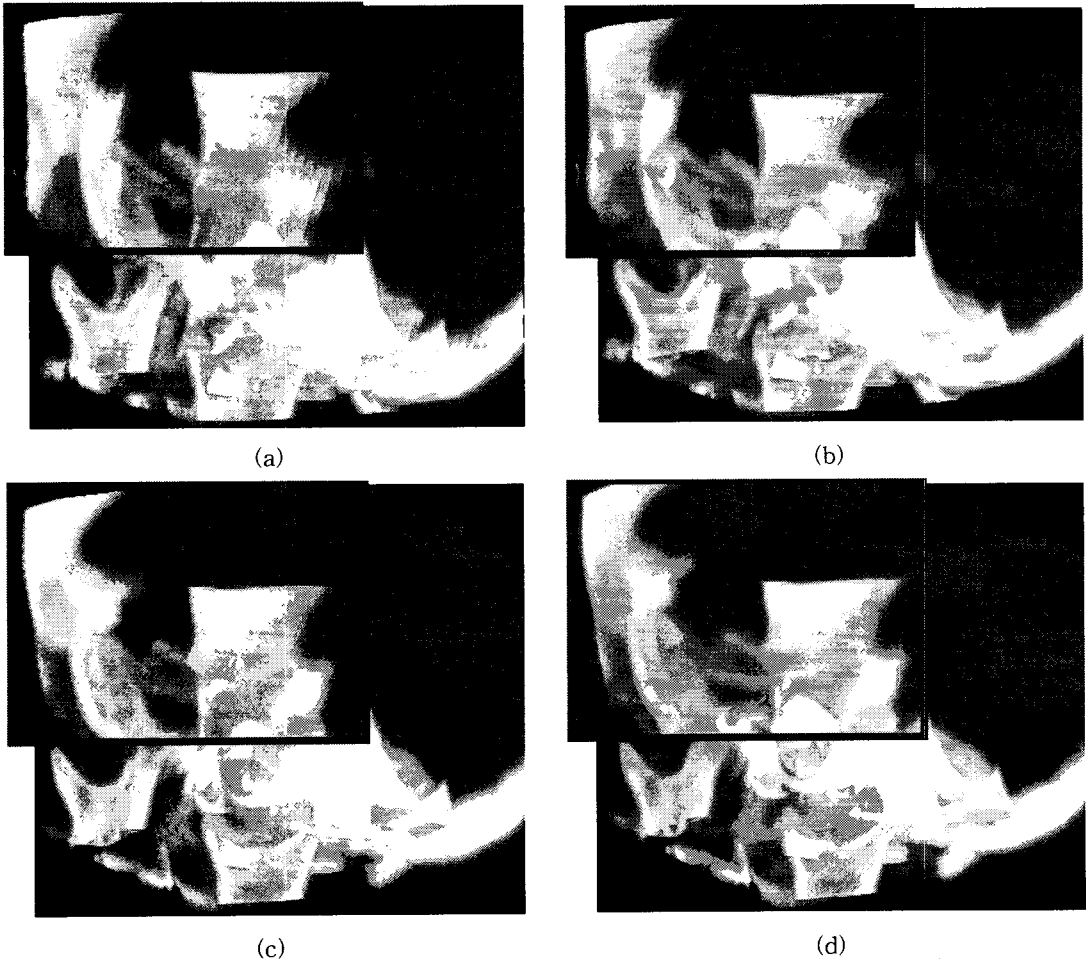


그림 5. 슬라이스 수에 따른 절단면에서 MIP 볼륨 렌더링 결과영상

(a) 256장 슬라이스 (b) 400장 슬라이스 (c) 512장 슬라이스 (d) 256장 슬라이스를 절단면에서 재렌더링한 경우 결과 영상. 네 경우 모두 Big Head 데이터의 동일한 부분을 절단하여 MIP 볼륨 렌더링을 시행했음.

한 영상의 화질과 렌더링 수행시간 간의 상충관계 또한 해결하였다. 이 제안 방법은 MIP 볼륨 렌더링 뿐만 아니라 MinIP 볼륨 렌더링 그 외에 레이섬 볼륨 렌더링과 같이 볼륨의 특정부분을 관찰하기위해 볼륨을 절단하는 모든 경우에도 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] W. Heidrich, M. McCool, and J. Steens, "Interactive maximum projection volume rendering," *In Proceedings visualization*, pp. 11-18, 1995.

[2] L. Mroz, H. Hauser, and M. E. Groller, "Interactive high-Quality Maximum intensity Projection," *Computer Graphics Forum*, Vol. 19, No. 3, pp. 341-350, 2000.

[3] B. Csebfalvi, A. Konig, and E. Groller, "Fast maximum intensity projection using binary shear-warp factorization," *In Proceedings of the 7th International conference in central Europe on computer Graphics*, WSCG, pp. 47-54, 1999.

[4] 계희원, "대화형 볼륨 가시화를 위한 효율적 메모리 참조 기법", 서울대학교 공학박사 학위 논문, pp. 27-32, 2005.

[5] K. Dempski, *Real time rendering, tricks and techniques in DirectX*, Premier Press, 2002.

[6] B. Cabral, N. Cam, and J. Foran, "Accelerated volume rendering and tomographic reconstruction using texture mapping hardware," *Symposium On Volume Visualization*, pp. 91-98, 1994.

[7] C. Rezk-Salama, K. Engel, M. Bauer, G. Greiner, and T. Ertl, "Interactive Volume rendering on standard PC graphics hardware using multi-textures and multi-stage-rasterization," *Proc. of SIGGRAPH / Eurographics Workshop on Graphics Hardware*, pp. 109-118, 2000.

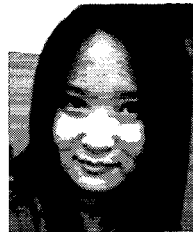
[8] V. Pekar, D. Hempel, G. Liefer, M. Busch, and J. Weese, "Efficient visualization of large medical image data sets on standard PC

hardware," *Joint EUROGRAPHICS-IEEE TCVG Symposium on Visualization*, pp. 135-140, 2003.

[9] L. Morz, A. Konig, and E. Groller, "Real-time maximum intensity projection," *Joint EUROGRAPHICS - IEEE TCCG Symposium on Visualization*, pp. 135-144, 1999.

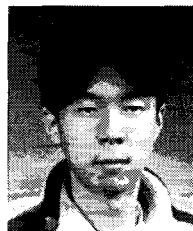
[10] R. Fernando, *GPU Gems, Programming Technique, Tips, and Tricks for Real-time Graphics*, Addison-Wesley, second printing, 2004.

[11] G. Kiefer, H. Lehmann, and J. Weese, "Fast Maximum Intensity Projection of Parge Medical Data Sets by Exploiting Hierarchical Memory Architectures," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, Vol. 10, No. 2, pp. 385-394, 2006.



홍 인 실

1995 가톨릭대학교 수학과 학사
 1998 홍익대학교 교육대학원 수학과 석사
 2002 가톨릭대학교 컴퓨터공학과 석사
 2004 가톨릭대학교 컴퓨터공학부 수업전담 초빙 교수
 2006 서울대학교 공과대학 컴퓨터공학과 박사수료
 현재 서울대학교 공과대학 컴퓨터공학과 박사과정
 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 3D 볼륨 렌더링, HCI



계 희 원

1999 서울대학교 전산학과 학사
 2001 서울대학교 컴퓨터공학부 석사
 2005 서울대학교 컴퓨터공학부 박사
 2005 (주) 인피니트 테크놀로지 연구원
 2006~현재 서울대학교 컴퓨터연구소 연구원
 관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 볼륨 가시화, 실시간 렌더링



신 영 길

1982년 서울대학교 계산통계학과 학사.

1984년 서울대학교 계산통계학과 석사.

1990년 미국 University of Southern California 전산학과 박사.

1990년~1992년 경북대학교 전자계산학과 전임강사.

1992년~현재 서울대학교 컴퓨터공학부 교수.

관심분야 : 볼륨 렌더링, 하드웨어 기반 렌더링, 의료 영상 처리.