

가상 내시경에서 볼륨프로 하드웨어를 이용한 투시투영 기법

임석현^{*} 신병석^{*}
인하대학교 전자계산공학과
g2011498@inhavision.inha.ac.kr, bsshin@inha.ac.kr

Perspective Projection Using VolumeProTM in Virtual Endoscopy

Suk-Hyun Lim^{*} Byeong-Seok Shin^{*}
Dept. of Computer Science & Engineering, Inha University

요약

볼륨렌더링(volume rendering)은 3차원의 물체 내부를 가시화하기 위한 기법이다. 여기서는 물체를 복셀(voxel)이라 불리는 미소한 입방체나 미립자의 집합으로 표현하며 의료영상 등 다양한 분야에 이용된다. 볼륨렌더링은 전통적인 렌더링 방법으로 표현할 수 없는 물체의 내부나 반투명한 물체를 표현할 수 있는 장점이 있다. 하지만 방대한 데이터량 다루기 때문에 컴퓨터의 성능이 좋아야 하고 처리 시간이 오래 걸린다. 미쯔비시사는 PC에서 쉬어-워프(shear-warp) 방법을 기반으로 실시간 볼륨렌더링을 할 수 있는 전용 하드웨어인 볼륨프로(VolumePro)를 발표했다. 하지만 볼륨프로는 직교투영만을 하기 때문에 투시투영을 하지 못한다는 단점을 가지고 있다. 본 논문에서는 볼륨프로의 크로핑(cropping)을 이용한 서브볼륨(subvolume)을 판용하여 투시투영에 근접한 효과를 보여주는 방법을 제안한다.

1. 서론

볼륨렌더링은 3차원의 볼륨 데이터로부터 의미 있는 부분을 추출하여 가시화 시켜주는 기법을 말한다. 하지만 볼륨렌더링을 통하여 영상을 얻어내기 위해서는 상당히 많은 연산을 해야 한다. 이는 가상 내시경과 같은 응용 분야에서 대화형 볼륨 렌더링(interactive volume rendering)이 어려운 이유이다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 1999년 4월 볼륨프로 하드웨어가 미쯔비시사(Mitsubishi Electric)에서 개발되었다[1]. 볼륨프로는 볼륨렌더링 전용 워크스테이션이 아닌 일반 PC에서 볼륨 데이터를 직교투영(orthogonal projection)하여 초당 30프레임의 속도로 렌더링할 수 있는 하드웨어이다. 하지만 볼륨프로는 직교투영만이 가능하기 때문에 투시투영(perspective projection)을 할 수 없다는 단점이 있다. 이는 사용자가 물체를 외부에서 바라볼 경우에는 매우 효과적인 결과를 보여주지만, 가상내시경과 같이 사용자가 물체 내부에 있을 때는 깊이(depth) 정보를 보여줄 수 없어 비현실적인 결과를 초래한다.

직교 투영을 이용하여 투시 투영 기능을 모사하기 위한 기존의 방법으로는 볼륨프로에서 제공해주는 절단면(cut plane) 기능을 이용하여 슬랩(slab)을 만들고 부분적으로 직교 투영된 영상을 결합하여 투시 투영을 한 것과 같은 효과를 내도록 하는 것이 있다. 그러나 슬랩 이용 방법은 사용자 임의로 전체 볼륨의 폭과 너비는 설정할 수 없고 두께만을 설정[2]할 수 있으므로 볼륨의 두께를 제외한 나머지 영역에 대해서는 모두 계산해야 한다. 반면 서브볼륨을 이용하는 방법은 필요한 부분의 볼륨만을 설정[2]하여 계산할 수 있으므로 슬랩 이용 방법에 비해 처리시간을 단축시킬 수 있다. 본 논문에서는 서브볼륨을 이용하여 투시투영 영상을 만들어 낼 수 있는 방

법을 제안한다. 또한 기존의 슬랩 이용 방법과 성능을 비교, 분석해 본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 볼륨렌더링 방법에 대해 살펴보고, 3절에서는 본 논문이 제안한 방법에 대해 살펴본다. 4절에서는 실험 방법과 실험 결과에 대해 기술하고 5절에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 관련연구

볼륨렌더링 기법은 크게 표면 렌더링기법과 직접 볼륨 렌더링 기법으로 나눌 수 있다

직접 볼륨 렌더링은 다시 하드웨어 기반 방법[1]과 소프트웨어 기반 방법[3][4]으로 나뉜다. 이들 방법 중 소프트웨어 기반 방법인 쉬어-워프 렌더링 기법[3]은 쉬어-워프 분할에 의해 시 각행렬을 단순화하고 객체순서 복셀 순회와 런길이 부호화를 이용하여 가장 빠른 속도를 보여준다. 하드웨어 이용방법은 병렬처리가 가능한 특수한 하드웨어나 전용 워크스테이션을 사용하는 방법이 주류를 이루고 있다. 최근에 발표된 볼륨프로는 일반 PC에서 쉬어-워프 기반의 레이-캐스팅(ray-casting)[3] 기법을 이용하여 초당 30프레임으로 렌더링할 수 있다. 또한 실시간으로 합성(composite), 분류(classification)와 음영처리(shading)가 가능하다.

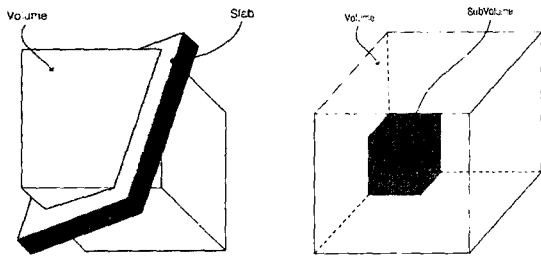
직교투영을 이용하여 투시투영을 모사하는 기존의 방법으로는 카메라의 위치와 방향에 따라 전체 볼륨을 여러개의 슬랩들로 나누어 투시투영을 근사하는 기법이 소개되었다[5]. 또한 수학적 증명을 통하여 거리에 따라 가변적으로 슬랩 두께를 설정함으로써 좀 더 현실감있는 영상을 얻어내는 방법이 발표되었다[6].

3. 볼륨프로를 이용한 투시투영 기법

본 논문에서는 볼륨프로 하드웨어를 이용하여 투시투영 영상을 만들어 낼 수 있는 기존의 슬랩 이용 기법 대신에 서브볼륨 기법을 이용하여 투시투영을 할 수 있는 방법을 제안한다.

3.1. 슬랩과 서브볼륨

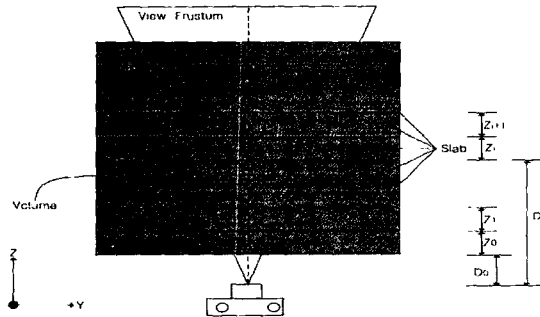
VLI(Volume Library Interface) API는 볼륨프로의 모든 기능을 제공하기 위한 C++ 클래스의 집합이다. VLI에서 제공해주는 기능 중에 임의의 좌표값에 따라 볼륨의 특정 영역을 나눌 수 있는 방법으로 슬랩과 서브볼륨방법이 있다.



[그림 1-1] 슬랩 [그림 1-2] 서브볼륨

3.2. 슬랩을 이용한 투시투영 기법

슬랩을 이용한 투시투영기법에서는 카메라 위치와 방향이 정해지면 전체 볼륨에서 일정한 두께를 가지는 여러 슬랩들로 볼륨을 나눈다[그림 2][6].



[그림 2] 볼륨프로를 이용한 슬랩 렌더링

[그림 2]에서 $Z_0 \sim Z_n$ 까지는 각각의 슬랩들을 의미한다.

VLI API에서 슬랩을 생성할 때는 카메라로부터의 거리와 두께만을 정의할 수 있다. 그러므로 슬랩을 이용하여 투시투영을 하려면 전체 볼륨에 대해 각각의 슬랩을 렌더링하여 중간영상을 만든 후 절두체(view frustum)에 해당하는 부분을 최종 단계인 텍스처 매핑(texture mapping) 단계에서 해당하는 부분의 텍스처만을 추출하여 렌더링하는 작업이 필요하다.

이 방법은 일단 전체 볼륨에 대해 두께별로만 볼륨을 나누고 이를 렌더링 하므로 실제 최종영상에 기여하지 않는 부분까지 계산하는 문제가 있다.

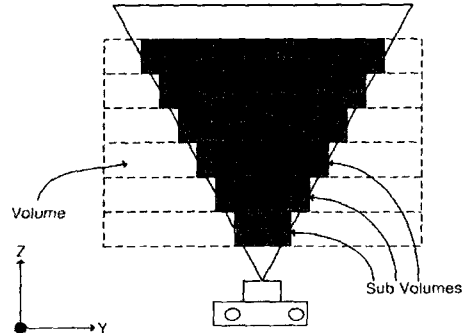
3.3 서브볼륨을 이용한 투시투영 기법

VLI API에서는 특정 영역을 표현하는 서브볼륨 기능을 제공한다. 이 방법은 관심영역 (volume of interest : VOI)에 해당하는 볼륨만을 따로 생성할 수 있다. 그러므로 절두체에 해당하는 영역만을 계산하여 서브볼륨을 만들고 이것만을 렌더링함

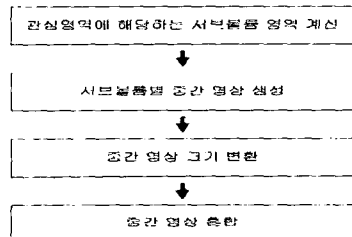
으로써 슬랩을 이용하는 방법에 비해 속도가 빠르다.

[그림 3]은 절두체에 맞게 각각의 서브볼륨을 표현한 그림이다. 두께를 제외한 전체 볼륨을 렌더링하는 [그림 2]와 달리 서브볼륨을 이용하는 [그림 3]은 절두체에 해당하는 볼륨만을 렌더링한다.

[그림 4]는 서브볼륨을 이용하여 투시투영을 모사하는 기법의 흐름도이다.



[그림 3] 관심영역 내의 서브볼륨



[그림 4] 서브볼륨을 이용한 투시투영 기법 흐름도

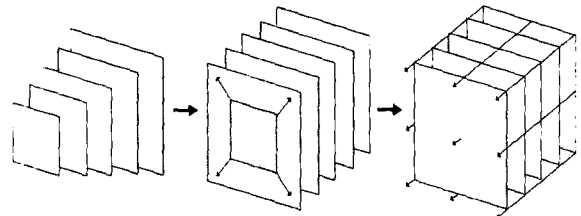
[그림 4]의 관심영역에 해당하는 서브볼륨을 계산하기 위하여 임의의 위치 j 에서 서브볼륨의 거리 D_j , 측면면의 폭 $Width_j$ 과 높이 $Height_j$ 를 계산하면 다음과 같다.

$$D_j = D_0 + \sum_{i=0}^{j-1} \Delta Z_i \quad (1)$$

$$Width_j = 2 \times D_j \times \tan(\theta) + \frac{\Delta Z}{2} \quad (2)$$

$$Height_j = 2 \times D_j \times \tan(\gamma) + \frac{\Delta Z}{2} \quad (3)$$

식(1), 식(2)과 식(3)을 이용하여 서브볼륨들의 X축의 최소·최대값, Y축의 최소·최대값 그리고 Z축의 최소·최대값을 계산하여 원하는 서브볼륨을 만들 수 있다.



(A)중간영상 (B)크기변환(scaling) (C)혼합(blending)
[그림 5] 서브볼륨을 이용한 투시투영 기법 과정

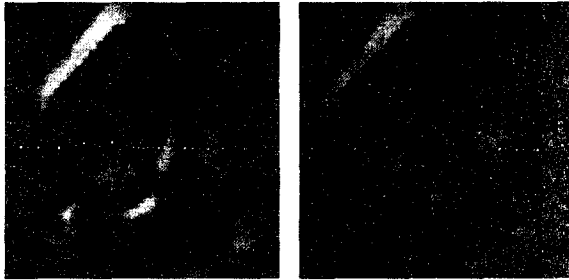
관심영역에 해당하는 볼륨 영역의 계산이 끝나면 각각의 서브볼륨들을 렌더링[그림 5-A]하여 중간영상을 얻은 후 크기변환(scaling)하는 과정[그림 5-B]이 필요하다.

최종적으로 크기변환이 된 중간영상들을 혼합하여 최종 영상을 얻어낸다[그림 5-C].

4. 실험결과

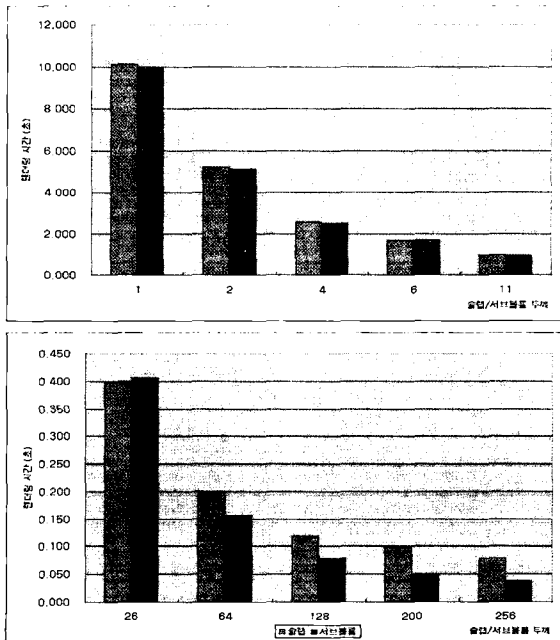
본 논문에서는 256MB의 복셀메모리를 가진 VolumePro500 모델을 사용하였다. VLI API의 버전은 1.2이고 OpenGL 버전은 1.1이다. 실험에 사용한 PC는 펜티엄IV 1.7GB, 1GB Main Memory, GeForce 2 MX 그래픽카드를 사용하였다. 또한 테스트용 실험데이터는 256×256×240 해상도로 복부를 촬영한 CT 데이터를 사용하였다.

[그림 5]는 슬랩을 이용한 것이고 [그림 6]은 서브볼륨을 이용한 것이다. [그림 5]와 [그림 6] 모두 두께가 3개의 복셀 크기를 갖도록 설정하였다. 최종 영상의 해상도는 400×400이고, Z축 방향으로 2배의 슈퍼샘플링(super sampling) 한 것이다. 두 가지 방법 모두 화질의 차이는 거의 없음을 볼 수 있다.



[그림 5] 슬랩을 이용한 투시투영 영상

[그림 6] 서브볼륨을 이용한 투시투영 영상



[그림 7] 슬랩과 서브볼륨을 이용한 렌더링 시간 측정

[그림 7]은 슬랩을 이용한 경우와 서브볼륨을 이용한 경우에 대한 최종 영상을 만들 때까지의 시간을 측정한 것이다. 두께가 1인 경우에는 완전한 투시투영을 한 경우이고, 두께가 256인 경우에는 완전한 직교투영을 한 경우이다.

결과를 보면 슬랩과 서브볼륨의 두께가 64, 128, 256개의 복셀 크기인 경우와 1, 2, 4개의 복셀 크기인 경우인 경우에는 서브볼륨을 이용한 경우에 속도가 빠른 것을 알 수 있다. 두께가 6, 11, 26개의 복셀 크기인 경우인 경우에는 거의 비슷한 결과를 보여주고 있다.

직교투영을 이용하여 투시투영을 모사하는 경우에 오차를 가한 줄여 좀 더 현실감 있는 투시투영의 효과를 얻기 위해서는 슬랩이나 서브볼륨의 두께를 얇게 설정해야 한다[그림 7].

실험결과에서 보듯이 두께를 얇게 설정할 경우에는 슬랩을 사용하는 경우보다 서브볼륨을 사용한 경우가 처리시간이 좀 더 단축되었음을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 볼륨프로의 서브볼륨을 이용하여 투시 투영을 모사하는 방법을 제안하고 이를 실험해 보았다. 결과적으로 현실감 있는 투시투영의 효과를 얻기 위하여 슬랩이나 서브볼륨의 두께를 얇게 설정한 경우에는 서브볼륨을 이용하는 것이 슬랩을 이용하는 경우보다 효과적이라는 결론을 얻었다. 이는 가상내시경이나 다른 의료영상부분에서와 같이 깊이 정보가 중요한 경우에는 처리시간을 단축하는 결과를 얻을 수 있다.

향후 연구과제로는 거리에 따라 가변적으로 서브볼륨을 나누어서 영상의 질을 향상시키는 연구가 필요하다. 또한 다른 알고리즘을 사용하여 투시투영의 속도를 더욱 빠르게 하는 과정이 필요하고 최종 영상의 질을 더욱 향상시킬 수 있는 방안이 필요하다.

참고문헌

- [1] H.Pfister, J.Hardenberg, J.Knittel, H.Lauer, and L.Seiler. The VolumePro real-time ray-casting system. In ACM SIGGRAPH 99, pages 47-54. IEEE, 1996.
- [2] Volume Library Interface User's Guide, Real Time Visualization. <http://www.rtviz.com>
- [3] P.Lacroute and M.Levoy. Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation. In SIGGRAPH 94, pages 451-458. July 1994.
- [4] M.Wan, A.Kaufman, and S.Bryson. High performance presence-accelerated ray casting. In IEEE Visualization 99, pages 379-386. IEEE, nov 1999.
- [5] M.Wan, W.Li, K.Kreeger, I.Bitter, A.Kaufman, Z.Liang, D.Chen, and M.Wax. 3D Virtual Colonoscopy with Real-time Volume Rendering. SPIE Medical Imaging 2000
- [6] A.Vilanova, R.Wegenkittl, A Konig and E.Groller. Mastering Perspective Projection through Parallely Projected Slabs for Virtual Endoscopy. SCCG'01-Spring Conference on Computer Graphics, pages 287-295, 2001.