

## 실시간 정합을 위한 고속 DRR 영상 생성

박성진, 김계현, 홍헬렌  
{sjpark, iamkgh, hlhong}@cglab.snu.ac.kr

### Fast DRR generation for real-time registration

SeongJin Park, KyeHyun Kim, Helen Hong

#### 요 약

본 논문에서는 그래픽 하드웨어를 이용한 텍스처기반 볼륨렌더링으로 DRR 영상을 고속으로 생성하는 방법을 제안한다. 제안방법은 크게 세단계로 구성된다. 첫째, CT 영상 슬라이스 데이터에서 각 슬라이스를 최인접보간법으로 보간함으로써 등방해상도의 볼륨데이터를 생성한다. 둘째, 그래픽 하드웨어의 메모리용량 때문에 발생하는 문제를 해결하기 위해 텍스처 메모리의 효율적 관리방법을 제시한다. 셋째, 텍스처기반 볼륨렌더링을 이용해서 X-ray 영상과 유사한 투시투영한 DRR 영상을 생성한다. 본 논문에서 제안한 방법을 평가하기 위해서 인공 심장 데이터를 사용한다. 제안방법의 수행시간과 화질을 평가하기 위해서 기존 광선추적법, 복셀투영법을 적용한 DRR 영상과 비교 분석하였다. 실험결과 제안 방법은 기존 방법에 비해서 빠르게 DRR 영상을 생성하였고, 영상의 화질 또한 광선추적법의 결과 영상의 화질만큼 좋은 영상을 생성하였기 때문에 실시간 정합에 적합하였다.

#### 1. 서 론

수술 전 획득한 컴퓨터 단층촬영영상(CT: Computerized Tomography), 자기공명영상(MR: Magnetic Resonance) 등의 삼차원 볼륨데이터와 수술 중 실시간으로 얻어지는 X-ray 영상 등의 이차원 투영영상을 정합하는 것은 화상유도수술(image guided surgery) 또는 시술(intervention)에 유용한 정보를 제공한다. 하지만, CT 볼륨 데이터와 X-ray 영상은 서로 다른 차원의 영상이기 때문에 기존의 이차원간 정합이나 삼차원간 정합 등의 동일한 차원 내에서의 정합방법으로는 정합이 불가능하다. 따라서 CT 볼륨 데이터를 DRR(Digitally Reconstructed Radiographs) 영상으로 이차원 투영시킨 후에 X-ray 영상과 이차원간 정합하는 것이 일반적이다. DRR 영상을 생성하기 위해서 삼차원 볼륨데이터를 가시화하는 알고리즘들을 적용하게 된다. 이때, 기존 볼륨렌더링에서는 병렬적(parallel)인 투영방법이 사용되지만, X-ray가 투시적(perspective)으로 생성되었기 때문에 그림 1과같이 투시적으로 볼륨렌더링 알고리즘을 적용한다.

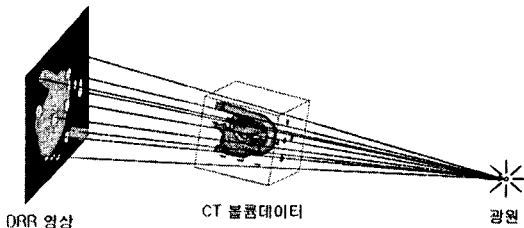


그림 1. 투시적 DRR 영상 생성원리

일반적으로 DRR 영상을 생성하기 위해서 광선추적법(ray casting)이 사용된다.[1] 광선추적법은 결과 영상의 화질은 매우 좋은 편이지만, 좋은 결과를 얻기 위해서는 샘플링 비율(sampling rate)이 커야하기 때문에 많은 계산 시간을 요구한다. 따라서 계산 시간을 줄이기 위해서 복셀투영법(voxel projection)[2,3]이나 쉬어-왁 분해법(shear warp factorization)[4,5] 등이 도입되었다. 그러나 복셀투영법은 볼륨데이터의 복셀들이 모두 정확히 이미지 공간의 픽셀(pixel)에 투영되는 것이 아니므로, 매끄러운 영상을 생성하지 못한다. 또한, 볼륨데이터의 해상도와 영상 공간의 해상도가 일치하지 않는 경우, 투영된 복셀들 사이에 홀(hole)이 생기는 문제점이 있다. 한편, 쉬어-왁 분해 방법은 삼각선형보간법이 아닌 이차선형보간법을 쓰고, 와핑(warping)단계에서의 왜곡이 있기 때문에 영상의 화질이 광선추적법의 결과와 비해 좋지 못하다. 따라서, 복셀투영법과 쉬어-왁 분해법으로 계산시간을 감소시킬 수는 있지만, 영상의 화질은 광선추적법을 사용한 영상의 화질보다는 떨어지는 결과를 보여주었다. 따라서 본 논문에서는 그래픽 하드웨어를 이용해서 텍스처 기반 볼륨렌더링 기법으로 DRR 영상을 생성함으로써 광선추적법의 영상 화질을 유지하며 고속으로 DRR 영상을 생성하고자 한다.

#### 2. 그래픽 하드웨어를 이용한 고속 DRR 영상 생성

본 논문에서는 DRR 영상을 생성하기 위하여, DirectX9에서 지원하는 셰이더(shader)언어로 하드웨어를 이용한 텍스처 기반 볼륨렌더링 방법을 사용한다.

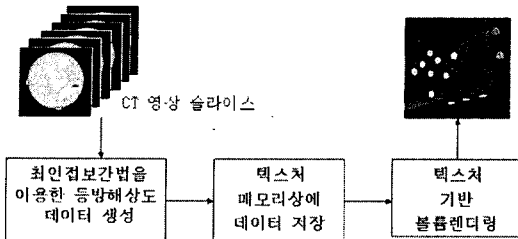


그림 2. DRR 영상 생성 단계

2.1 등방해상도의 볼륨데이터 생성

CT 영상진단기기로부터 획득한 CT 볼륨데이터는 x,y축 간 간격보다 z축의 간격이 일반적으로 큰 비등방해상도의 볼륨데이터이다. 따라서 그림 3과 같이 각각의 슬라이스 간격을 최근접보간법(nearest neighbor interpolation)으로 보간함으로써 삼차원 등방해상도의 볼륨데이터를 생성한다.

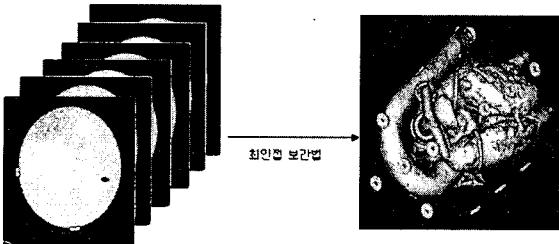


그림 3. 등방해상도의 볼륨데이터 생성

2.2 효율적 텍스처 메모리 관리

볼륨데이터를 기존 방법을 사용하여 삼차원 텍스처에 저장할 때 볼륨데이터의 크기가 512x512x512 이상이면 256MB의 메모리를 가지고 있는 그래픽 하드웨어에 저장하지 못한다. 기존 방법에서는 RGB채널에 8비트의 x,y,z 방향의 법선벡터(normal vector) 크기값을 저장하고, A 채널에 8비트의 밝기값(intensity)을 텍스처 메모리에 저장한다. 그러나 일반적으로 CT 영상은 -1024에서 3071 사이의 값을 갖는 12비트로 구성되어 있다. 따라서 12비트 데이터를 저장하기 위해서 8비트나 16비트의 저장공간에 밝기값을 저장한다. 원칙적으로 12비트의 데이터를 손실없이 저장하기 위해서는 한 텍셀(texel)에 16비트의 데이터를 저장해야 하지만, CT 영상 데이터의 크기가 512x512x512 이상의 데이터라면, 저장해야할 데이터량이 그래픽 하드웨어의 메모리를 초과하게 된다. 이를 효율적으로 제어하기 위해서 본 논문에서는 약간의 데이터 손실이 있더라도 12비트의 데이터를 8비트로 전환한 후 8비트의 데이터를 텍스처 메모리에 저장한다. 본 논문에서는 표식기를 찾아서 정합시키는 것이 목적이기 때문에 12비트중 상위비트의 값으로 8비트 데이터를 생성한다면 정보손실에 의한 문제를 방지할 수 있다. 그림 4는 12비트의 데이터를 8비트의 데이터로 변환시켜주는 관심영역의 8비트화 테이블에 관한 그림으로, 기준 밝기값과 관심영역으로 하고자 하는 최소 밝기값, 최대 밝기값의 차이를 이용해서 관심영역을 설정한 후 그 관심영역의 부분을 8비트로 사상(mapping) 시켜준다.

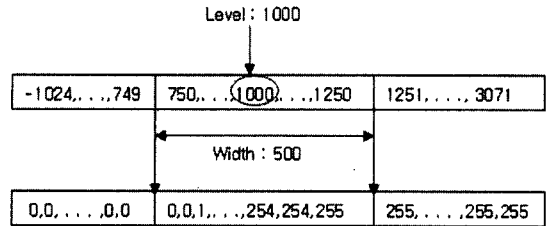


그림 4. 관심영역의 8비트화 테이블

예를 들어, -1024에서 3071사이의 밝기값중 기준 밝기값을 1000으로 하고 관심영역의 넓이를 500으로 설정하게 되면, -1024에서 750사이의 밝기값은 0의 밝기값을 갖게 되고, 1250보다 큰 밝기값은 255의 밝기값을 갖게 된다. 한편, 750과 1250사이의 밝기값은 0에서 255의 밝기값으로 변환되게 된다. 이로써 관심영역의 8비트화 테이블을 이용해서 밝기값을 0에서 255의 값으로 변환시킴으로써 8비트의 볼륨데이터를 삼차원 텍스처에 저장한다.

2.3 텍스처 기반 볼륨렌더링

일반적인 텍스처 기반 볼륨렌더링에서는 프록시 도형(proxy geometry)을 병렬투영방법으로 생성한다. 본 논문에서는 X-ray 광원의 거리에 따라 원근감을 나타내야 하므로 투시투영을 통한 DRR 영상을 생성한다. 그림 5는 투시투영을 사용한 프록시 도형의 생성원리를 나타낸 것이다.

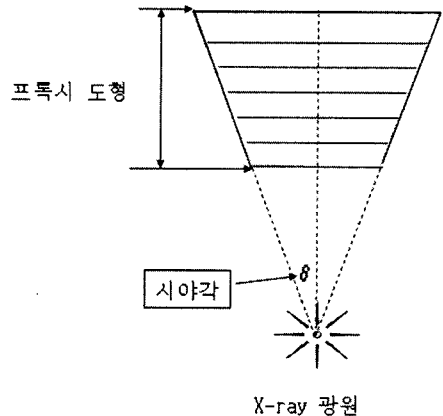


그림 5. 투시투영을 사용한 프록시 도형 생성 원리

그래픽 하드웨어의 메모리에 저장된 삼차원 텍스처를 투시적으로 생성된 프록시 도형에 사상한다. 사상된 단면들을 합성해서 프레임버퍼(frame buffer)에 저장하고 화면에 출력한다. 합성방법으로는 최소 밝기값을 투영하는 방법(minimum intensity projection), 밝기값들의 평균값을 투영하는 방법(average intensity projection), 최대 밝기값을 투영하는 방법(maximum intensity projection)을 제공하고 이 중 표식기가 잘 나타낼 수 있는 최대 밝기값 투영법을 사용한다.

3. 실험 및 결과 분석

본 실험은 Intel Pentium 4 CPU 2.6GHz와 1.0GB메모리

를 장착한 PC에서 수행하였다. 그래픽 하드웨어는 ATI Radeon 9600이고, 그래픽 하드웨어의 메모리는 256MB이었다. 실험에 사용한 데이터는 해상도가 512x512인 566장의 인공심장 데이터 2개를 사용했다.

하드웨어를 이용한 텍스처 기반 볼륨렌더링 기법과 계산시간과 화질을 비교하기 위해서 소프트웨어를 이용한 광선추적법과 복셀투영법을 사용했다.

표1은 광선추적법을 이용한 방법과 복셀투영법을 이용한 방법, 본 논문에서 제안한 텍스처 기반 볼륨렌더링을 이용한 방법에 대한 수행시간을 비교한 것이다.

표 1. DRR 영상 생성 방법에 따른 계산시간 비교  
단위(millisecond)

데이터	알고리즘	등방해상도	렌더링 시간	총 수행시간
		데이터 생성시간		
데이터 1	광선추적법		9052.51	9864.65
	복셀투영법	812.14	2048.75	2860.89
	텍스처기반 볼륨렌더링		40.35	852.49
데이터 2	광선추적법		10121.23	10933.55
	복셀투영법	814.32	2152.83	2967.15
	텍스처기반 볼륨렌더링		41.21	855.53

등방해상도의 볼륨데이터를 생성하는 시간을 제외했을 때 광선추적법을 사용하면 약 0.010프레임/초 정도의 속도가 나오고, 복셀투영법을 사용하면 이보다 약 4.7배정도 빨라진 0.047프레임/초 정도의 속도가 나왔다. 한편, 제안한 방법을 사용하였을 경우 이 두가지 방법의 속도보다 현저하게 빨라져서 2.45프레임/초 정도의 속도가 나왔다. 즉 소프트웨어적으로 빠른 복셀투영법보다도 약 50배정도 빠른 속도를 보여주었다.

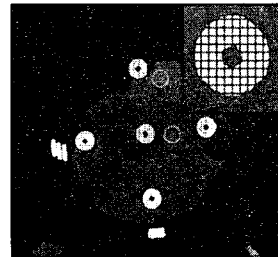
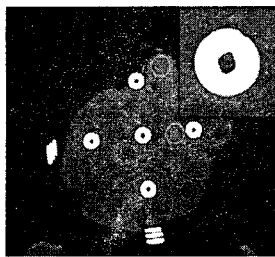
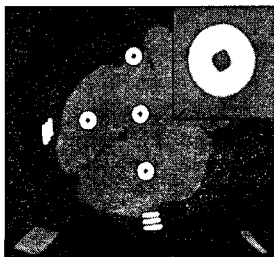
그림 6에서 볼 수 있는 것과 같이 영상의 화질을 비교하기 위해서 광선추적법과 복셀투영법, 제안한 방법을 사용해서 비교하였다. 복셀투영법을 사용한 경우 그림 6(c)와 같이 표식기에 홀이 발생하는 것을 볼 수 있다. 하지만, 본 논문에서 제안한 방법을 사용한 경우 광선추적법의 결과 화질과 유사하게 좋은 화질의 결과 영상을 얻을 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 서로 다른 차원의 두 영상을 보다 빠르게 정합하기 위해 그래픽 하드웨어 텍스처 기반 볼륨렌더링을 이용한 고속 DRR 영상 생성 방법을 제안했다. 우선, 슬라이스들의 x,y축 간격과 슬라이스간의 z축 간격을 동일하게 하기 위해서 등방해상도의 볼륨데이터를 생성하였다. 텍스처 메모리의 효율적 관리를 위해서 청보손실을 최소한으로 줄이면서 12비트의 데이터를 8비트의 데이터로 변환시켜 텍스처 메모리에 저장했다. 텍스처 메모리에 저장된 데이터를 프록시 도형에 사상시킴 때, X-ray 영상과 유사한 영상을 생성하기 위해서 투시적으로 생성된 프록시 도형에 사상시키고, 합성방법은 최대 밝기값 투영법을 사용해서 텍스처 기반 볼륨렌더링을 수행해서 DRR 영상을 생성했다. 제안한 방법으로 DRR 영상을 생성했을 때, 기존 광선추적법의 화질을 유지하면서, 평균 250배정도의 빠른 수행시간을 보였다. 또한, 복셀투영법보다 좋은 화질과 평균 50배정도의 빠른 수행시간을 보여주었다.

5. 참고문헌

[1] Fei Wang, Thomas E. Davis, Baba C. Vemuri Real-time DRR generation using cylindrical harmonics *MICCAI '02*, pp.671-678,2002  
 [2] E.Cosman, Jr.Rigid registration of MR and biplanar fluoroscopy *Master Thesis* Massachusetts Institute of Technology,2000  
 [3] L. Westover, Footprint evaluation for volume rendering *Proceedings of SIGGRAPH'90, Computer Graphics* 24, pp.367-376, August 1990  
 [4] J.Weese, R.Goecke, G.P.Penney, P.Desmedt, T.M.Buzug, H.Schumann, Fast voxel-based 2D/3D registration algorithm using a volume rendering method based on the shear-warp factorization. *Medical Imaging 1999: Image Processing* K.M.Hanson, ed., Proceedings of SPIE Vol.3661, pp. 802-810, 1999  
 [5] P.Lacroute, M. Levoy, Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation. In *Proceedings of SIGGRAPH'94*, Orlando, July 1994



(a) 텍스처 기반 볼륨렌더링 방법

(b) 광선추적법

(c) 복셀투영법

그림 6. DRR 생성 방법에 따른 영상화질 비교