

전역적 형태정보를 이용한 선택적 볼륨렌더링

홍 헬 렌[†] · 김 명 희^{††}

요 약

본 논문에서는 볼륨데이터와 전역적 형태정보를 이용하여 볼륨렌더링의 질적측면과 속도측면에서 개선될 수 있는 선택적 볼륨렌더링방법을 제안한다. 선택적 볼륨렌더링방법은 관심부위를 구성하는 의곽선으로부터 최소거리를 결정하는 거리변환을 통하여 거리변환분류를 생성하고 이를 렌더링하는 방법으로 형태정보를 이용함으로써 서로 다른 객체들간에 비슷한 명암도로 인해 동일 객체로 인식되는 것을 방지하고, 복잡한 형태를 효과적으로 나타낼 수 있다. 실험결과로는 EBCT 심장데이터에 선택적 볼륨렌더링방법을 적용하여 생성된 좌심실, 우심실 렌더링 결과영상과 함께 보간법에 따른 선택적 샘플링 방법 적용결과를 제시한다. 본 제안방법은 볼륨데이터로부터 얻은 형태정보로부터 관심객체 표면을 정확하고 빠르게 가시화할 수 있다.

Selective Volume Rendering Using Global Shape Information

Helen Hong[†] · Myoung-Hee Kim^{††}

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel technique of improving volume rendering quality and speed by integrating volume data and global shape information together. The selective volume rendering method is to generate distance transformed volume using a distance transform to determine the minimum distance to the nearest interesting part and then render it. The shape information prevents from object occlusions come from similar intensity of each objects. Thus it provides effective visual results that enable to get a clear understanding of complex structures. We show the results of selective volume rendering method of left ventricle and right ventricle as well as the results of selective sampling methods depending on the interpolation from EBCT cardiac images. Our method offers an accelerated technique to accurately visualize the surfaces of defined objects segmented from the volume.

1. 서 론

가시화(visualization)는 3차원 이산공간에서 주어진 볼륨데이터로부터 시각적인 영상정보를 추출하는 것으로 간접 볼륨렌더링방법(indirect volume rendering)과 직접 볼륨렌더링방법(direct volume rendering)이 있으며, 선이나 다각형 등으로 표현되는 기하학적 요소(geometric primitive)를 사용하거나 복셀(voxel)로 표현되

는 볼륨적 요소(volumetric primitive)를 사용하는 등 서로 다른 렌더링 요소를 사용한다[1]. 간접 볼륨렌더링방법은 일반적으로 마칭큐브 알고리즘을 사용하여 볼륨데이터로부터 주어진 값에 대한 등가면을 선이나 다각형으로 근사화한 후, 그래픽스 분야에서 전통적으로 사용하는 렌더링 방법으로 영상을 생성하는 반면, 직접 볼륨렌더링방법은 볼륨데이터를 기하학적 요소로 바꾸지 않고 복셀을 직접 관측평면(viewing plane)에 투영한다[1].

간접 볼륨렌더링방법은 기하학적 요소를 생성할 때, 볼륨데이터 정보 일부를 상실함으로써 근사치 오류 발

† 준 회원 : 이화여자대학교 대학원 컴퓨터학과

†† 중신회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수

논문접수 : 2000년 7월 4일, 심사완료 : 2000년 9월 27일

생 가능성이 높다는 제한점이 있다. 그러므로 실제감 있는 영상을 생성하기 위해서 볼륨데이터를 직접 사용하는 직접 볼륨렌더링방법이 많이 사용된다. 그러나 국소적 기울기 벡터 누적을 통한 볼륨렌더링방법으로는 서로 다른 객체간에 비슷한 명암도로 인해 동일 객체로 인식되는 문제점으로 특정 객체를 가시화하기 어렵다. 따라서 특정 객체의 실제적 가시화를 위해서는 볼륨데이터와 특정 객체의 형태정보를 함께 참조하여 가시화하는 것이 필요하다.

전역적 형태정보를 이용하여 가시화하는 관련연구는 다음과 같다. Vandermeulen 등은 3차원 컴퓨터단층촬영영상(CT), 자기공명영상(MRI)과 MR 혈관조영술영상(MRA)을 사용하여 뇌구조와 뇌혈관을 함께 가시화하는 방법을 제시하였다[2]. 본 방법은 일련의 단층영상으로부터 뇌구조를 반자동으로 분류하고, MR 혈관조영술영상으로부터 비선형 형태학적 필터(non-linear morphologic filter)를 사용하여 뇌혈관을 부분적으로 강화시켜 가시화하였다. 본 방법은 뇌구조와 뇌혈관 영상에 각각 다른 가시화방법을 적용하여 혼합가시화 결과를 생성하기 위하여 전역적 형태정보를 사용하였다. Sakas 등은 각 복셀마다 수동분할 정보를 가짐으로써 샘플링 여부를 알리는 방법을 제시하였다[3]. Cai 등은 영상단계(image level), 누적단계(accumulation level), 조명모델단계(illumination model level)에서 세 가지 볼륨을 혼합하는 방법을 제안하였다[4]. 본 방법은 방사선 치료계획을 위하여 CT 볼륨과 방사선 볼륨, 관심부위를 추출한 분할볼륨에 서로 다른 데이터 혼합 방법을 적용한 것으로 각 복셀마다 특정 객체에 해당하는지 여부를 나타내는 정수값과 이진 정보를 가진다. 그러나 특정 객체가 이진 정보만을 가지고 있기 때문에 상대적으로 가시적 질이 떨어진다라는 문제점이 있다.

이와 달리 본 논문에서는 전역적 형태정보를 거리정보로 변환하여 사용함으로써 샘플링 위치가 특정 객체의 내부 또는 외부에 있는지 파악할 수 있으며 선택적으로 샘플링 크기를 조절함으로써 가시화 시간을 가속화시킬 수 있다. 또한 볼륨데이터와 전역적 형태정보를 함께 참조함으로써 이진 정보로 인한 질적 문제를 해결할 수 있다.

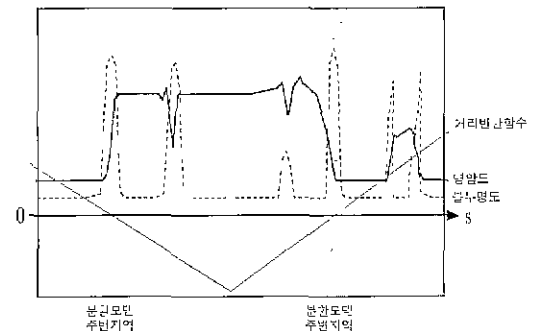
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 특정 볼륨을 위한 선택적 볼륨렌더링방법에 대하여 살펴보고, 3장에서는 선택적 볼륨렌더링방법 실험 및 분석결과를

제시한다. 마지막으로 4장에서는 본 논문에서 제안한 선택적 볼륨렌더링방법에 대한 결론을 맺는다.

2. 선택적 볼륨렌더링방법

대부분의 볼륨렌더링방법에서 볼륨을 구성하는 각 복셀은 관심부위를 강화하고 비관심부위를 투명하게 하기 위하여 불투명도(opacity)를 갖는다[5]. 이와 같이 각 복셀에 불투명도 속성을 부여하는 것은 서로 다른 특성을 가진 객체들 간의 분류를 가능하게 한다. 이때, 불투명도는 대개 각 복셀과 관련하여 국소적 특성 벡터를 가진 함수로 개산되어질 수 있다. 그러나 대부분의 경우, 서로 인접한 객체들이 지역적 특성을 공유함으로써 국소적 정보만 사용하여 관심부위를 분류한 후, 가시화하는 것은 상당히 어렵다.

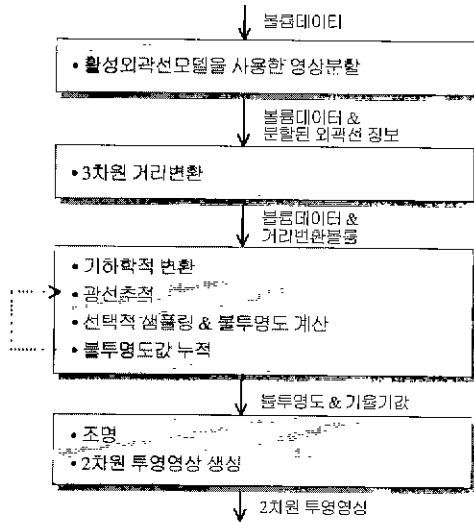
본 장에서는 볼륨데이터와 영상분할에 의해 생성된 전역적 형태정보를 함께 이용한 선택적 볼륨렌더링방법을 제시한다. 본 접근방법은 분할모델 표면 주위에 있는 볼륨데이터를 중심으로 볼륨렌더링을 수행함으로써 질적측면과 속도측면에서 효과적인 결과를 제공한다. 선택적 볼륨렌더링방법은 볼륨데이터와 분할모델 정보 모두 고려하여 복잡한 형태로부터 관심부위 표면을 추출하여 가시화하는 것으로 분할된 외곽선으로부터 최소거리를 결정하는 거리변환을 통하여 거리변환 볼륨을 생성하고 이를 렌더링한다. (그림 1)은 거리정보를 렌더링 과정에 적용한 개념을 도식화한 그림이다



(그림 1) 선택적 볼륨렌더링 개념

분할모델 표면주위로 지정된 주변지역의 기울기 벡터를 계산하고 가시영역까지 누적시킴으로써 분할모델 표면이 직접 볼륨렌더링방법을 바로 적용한 것과 같은 효과를 가진다. 따라서 선택적 볼륨렌더링방법의 주요

장점은 다음과 같이 요약될 수 있다 첫째, 불륨데이터의 일부분을 감추고 관심부위 표면만을 추출하여 가시화할 수 있으며, 둘째, 분할모델 구성시 발생하는 근사치 오류를 감소시킬 수 있다 셋째, 분할모델 표면 형태가 직접 볼륨렌더링방법을 바로 적용한 것과 같은 실제감을 가질 수 있으며, 넷째, 거리변환분류를 사용함으로써 가시화 시간을 가속화시킬 수 있다 (그림 2)는 선택적 볼륨렌더링 단계를 나타낸다[6, 7].



(그림 2) 선택적 볼륨렌더링 단계

2.1 3차원 거리변환

볼륨렌더링방법은 불륨데이터의 방대한 양으로 인하여 렌더링시 많은 시간을 요구한다 기존 연구에서 볼륨렌더링 속도 향상을 위하여 팔진트리(octree)나 피라미드 인코딩(pyramid encoding), k-진 트리(k-d tree) 등과 같은 몇몇 최적화 알고리즘이 제안되었다[8]. Levoy 등은 이진볼륨의 피라미드 형식을 사용한 계층적 열거기법(hierarchical enumeration technique)을 소개하였다. 계층적 열거기법은 피라미드의 다양한 계층 단계에서 관계있는 객체끼리 인코딩함으로써 비관심부위에 대한 처리과정을 제거하였다 이러한 연구들은 대부분 불륨데이터 내에 존재하는 응집성을 이용하는 것으로 계층구조로 이루어지며, 가시화할 필요가 없는 공간에 대한 광선추적을 피함으로써 불필요한 계산을 줄이는데 사용된다. 그러나 계층구조를 갖는 자료구조는 그 자료구조를 생성하고 자료구조 내 셀들에 대한

조건검사와 자료구조를 순회하는데 추가적인 비용이 든다는 문제점이 있다

따라서 본 논문에서는 계층적 자료구조를 사용하는 대신 거리정보를 이용함으로써 샘플링 지점과 표면수준으로부터 어느 정도 깊이에서 샘플링이 이루어져야 하는지 등을 알 수 있는 선택적 볼륨렌더링방법을 제안한다 선택적 볼륨렌더링에서 사용되는 거리변환함수는 실제 표면거리에 따라 샘플링 크기를 조절함으로써 광선추적시 속도를 가속화할 수 있으며, 불투명도 함수는 지정된 표면수준 주변지역에서만 불투명도가 누적됨으로써 표면수준에 가장 잘 정의된 거리에서 계산되어질 수 있다.

본 논문에서는 광선추적시 사용되는 거리변환분류를 생성하기 위하여 영상분할이 선행된다. 영상분할은 그레이-레벨 영상의 특정 부위를 선택하여 불륨데이터로부터 분리하는 것으로 본 논문에서는 Lagrangian 동역학을 이용한 B-스프라인 기반 활성외곽선모델(ACM : Active Contour Model)을 사용하여 분할한다[9] 본 방법은 관심대상이 되는 물체의 외곽선을 분할하기 위하여 초기곡선을 외곽선 근처에 위치시키고, Lagrangian 동역학을 사용하여 곡선을 변형시켜 외곽선을 동적으로 분할한다 초기 곡선은 여러 개의 정점들이 곡선 길이에 적용되는 매개변수 곡선으로 표현되며, 각 곡선을 구성하는 경계에는 길랑, 가속도, 속도가 대입된 후, 가속력과 제동력에 의해 외곽선에 결합된다. 길랑, 가속도, 속도는 (1)-(3)과 같이 반복적으로 계산되며, F는 가속력, D는 제동력, ΔT는 시간간격을 나타낸다

$$\frac{\partial^2 v(s)}{\partial t^2} = \frac{F(v(s))}{m(s)} \tag{1}$$

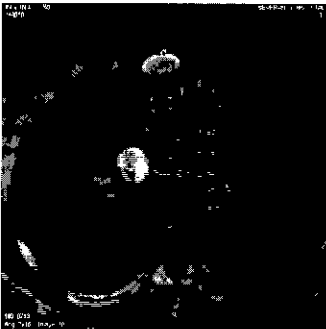
$$\frac{\partial v(s)}{\partial t} = \frac{\partial v(s)}{\partial t} + \Delta T \frac{\partial^2 v(s)}{\partial t^2} - D(v(s)) \frac{\partial v(s)}{\partial t} \tag{2}$$

$$v(s) = v(s) + \Delta T \frac{\partial v(s)}{\partial t} \tag{3}$$

(그림 3)은 EBCT 가슴부위영상 3장에 Lagrangian 동역학을 이용한 B-스플라인 기반 활성외곽선모델을 적용하여 중심선을 분할한 결과영상으로 (a)부터 (c)의 그림은 49장의 가슴부위영상 중 9번째 가슴부위영상부터 11번째 가슴부위영상의 분할결과로 중심선 부위가 외곽선으로 표현되어 분할됨은 알 수 있다.



(a) 9번째 가슴부위영상



(b) 10번째 가슴부위영상



(c) 11번째 가슴부위영상

(그림 3) 활성외곽선모델을 사용한 우심실 분할 결과영상

거리변환을 계산하기 위한 알고리즘들 중 가장 일반적으로 사용되는 chamfer 매트릭스는 일린의 기본벡터 총 길이를 계산함으로써 유클리디안 거리로 근사화하는 것으로 계산시간을 고려하여 기본벡터 길이가 정수로 근사화된다[10-12] 3차원 거리변환인 경우 본 논문에서는 기본 샘플링 간격을 고려하여 (1,1,1), (1,1,1), (1,1,1)을 사용한다 chamfer 프로세스를 적용한 템플릿-

기반 거리변환인 경우, 2차원 거리변환과 유사하게 3x3x3 템플릿이 사용되어 거리값이 계산되며, 보다 정확한 계산을 위하여 5x5x5 템플릿이 요구하는 chamfer 맵터가 사용될 수 있다. 그러나 3차원 거리변환인 경우 템플릿 크기가 커질수록 비례적으로 많은 계산시간을 요구한다. 그러므로 본 논문에서 사용하는 템플릿-기반 3차원 거리변환은 외곽선 지역은 0값, 외곽선 외부지역은 양수값, 외곽선 내부지역은 음수값으로 초기화된 거리맵에 3x3x3 템플릿이 연속적으로 적용되며, 샘플링 간격과 슬라이스 간의 간격에 따라 템플릿이 적용적으로 바뀌어진다.

다음은 거리변환을 계산하는 방법으로 O 는 특정 객체를 나타내고 ∂O 는 대상 객체 O 의 외곽선이며, (x, y, z) 은 3차원 공간에 존재하는 하나의 점이며 v 는 3차원 공간상에 존재하는 하나의 볼륨, 즉 3차원 영상이고, $v(x, y, z)$ 는 (x, y, z) 점에 위치하는 볼륨의 명암도라고 가정한다 이 때, $O \subset v$ 인 특정 객체를 가시화하고자 한다면, (1) 에서와 같이 객체 O 는 객체의 외곽선 부분만 값을 갖는 새로운 볼륨 I 로 명시될 수 있다

$$I(x, y, z) = \begin{cases} 0, & (x, y, z) \in \partial O \\ 25, & (x, y, z) \in O/\partial O \\ 255, & (x, y, z) \notin O \end{cases} \quad (4)$$

$C(m; z_k)$ 는 $z = z_k$ 인 슬라이스와 관련된 대상 객체 O 의 m 번째 영상이다. 여기서 O 는 I 의 $z = z_{k,1}$ 인 슬라이스에서 단지 하나의 영상 $C(1; z_{k,1})$ 만을 갖는다고 가정하면 해당 복셀로부터 대상 객체의 경계부분까지의 최소거리를 계산하기 위해 (2)와 같이 거리변환 D 를 구한다

$$D(x, y, z) = \begin{cases} 0 & (x, y, z) \in \partial O \\ -d(x, y, z), & (x, y, z) \in O/\partial O \\ +d(x, y, z), & (x, y, z) \notin O \end{cases} \quad (5)$$

∂O 는 z 슬라이스에 있는 대상 객체 O 의 단면 $C(I; z)$ 에 대한 경계부분을 나타내고, $O \setminus \partial O$ 는 대상 객체의 내부를 표현한다. $d(x, y, z)$ 는 ∂O 에 대한 점 (x, y, z) 의 3차원 유클리디안 거리의 근사치이다.

템플릿을 사용한 변환은 두단계에 걸쳐서 수행된다. 첫 번째 처리과정에서는 초기화된 거리맵의 왼쪽 상단에서부터 오른쪽 하단의 순으로 스캔해 가면서 복셀들

의 거리값을 수정해 나가며, 두 번째 처리과정에서는 첫 번째 거리과정을 끝낸 거리맵의 오른쪽 하단에서 왼쪽 상단 순으로 스캔해 가면서 복셀들의 거리값을 수정한다. (그림 4)는 3차원 공간상에서 3x3x3 깎플릿을 사용하여 두단계 처리과정시 빈환되는 주변 복셀을 나타낸다.

255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	0	0	0	0	0	0	255	255
255	0	25	25	25	25	25	25	0	255
255	0	25	25	25	25	25	25	0	255
255	0	25	25	25	25	25	25	0	255
255	255	0	0	0	0	0	0	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255

(a) 초기화된 거리맵

2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1
1	0	-1	-2	-2	-2	-2	-1	0	1
1	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	1
1	1	0	0	0	0	0	0	1	1
2	1	1	1	1	1	1	1	1	2

(b) 거리변환 후 거리맵

(그림 4) 깎플릿을 사용한 거리변환과정

2.2 선택적 샘플링

3차원 거리변환에 의해 생성된 거리변환볼륨에 대하여 광선에 부딪히는 위치를 샘플링하기 위하여 개선된 3D-DDA 알고리즘(3D Digital Differential Analyzer)을 제안한다. 알고리즘 1은 기존 3D-DDA 알고리즘으로 광선을 따라 임의의 샘플링 위치가 정해지면, 다음 샘플링될 위치는 광선방향과 샘플링 비율에 따라 미리 계산된 증가치만큼 더해져서 쉽게 계산되어질 수 있다[13].

```

TraverseDDA(Point start, Point end)
{
    // Calculate ray increment
    {dx,dy,dz,numSteps} = Calculate_Ray(start, end);
    // Set up local variables
    steps = 0;
    {x, y, z} = start;
    // Traverse
    while (steps <= numSteps) {
        Calculate_Normal();
        {x, y, z} += {dx, dy, dz};
        steps++;
    }
}
    
```

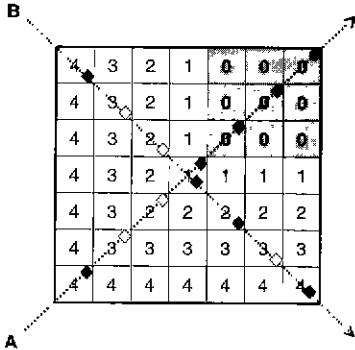
(알고리즘 1) 3D-DDA 알고리즘

본 논문에서는 알고리즘 1의 기존 3D-DDA 알고리즘을 개선하여 거리변환볼륨의 거리값을 참조하여 샘플링 비율을 계산하는 선택적 샘플링 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안한 선택적 샘플링 기본 원리는 다음과 같다. 광선추적 및 샘플링시 볼륨데이터 내 샘플링 위치와 해당 좌표값이 주어지면 동일 좌표값을 사용하여 거리변환볼륨에 접근함으로써 다음 샘플링 위치와 가장 가까운 거리를 계산한다. 거리변환볼륨의 거리값이 0 이하인 경우는 판심부위의 외곽선이나 내부를 나타내며, 다음 샘플링 위치는 기존 3D-DDA 알고리즘에 의해 계산되는 벡터 증가치와 동일하게 계산되어 사용된다. 거리변환볼륨의 거리값이 양수인 경우 샘플링 간격은 거리변환볼륨의 거리값으로 설정되어 샘플링이 생략되며, 거리값이 클수록 광선을 따라 샘플링 생략이 많아지므로 가시화 속도를 가속화시킬 수 있다

(그림 5)는 2차원 영상에서 선택적 볼륨렌더링을 위한 샘플링 원리를 보여준다. 각 셀은 판심부위 셀 경계로부터 근사화된 거리값을 가지며, 샘플링이 어느 셀에서 이루어지는가를 나타낸다. 광선 A와 광선 B를 따라 그려진 검은점 표현은 샘플링되는 위치를 표현한 것이며, 흰점 표현은 샘플링이 생략되는 위치를 표현한다. 따라서 기존 방법에서 모든 셀에 대하여 샘플링 하던 것을 거리변환볼륨을 사용한 선택적 볼륨렌더링 방법을 사용함으로써 불필요한 셀의 샘플링 단계를 생략함으로써 가시화 속도를 가속화시킬 수 있다.

광선 A의 경우, 기존 3D-DDA 알고리즘은 7번의 샘플링이 이루어지는 반면, 선택적 샘플링 알고리즘은 5

번의 샘플링이 이루어진다. 광선 B는 관심부위를 전혀 거치지 않는 경우로 기존 3D-DDA 알고리즘은 7번의 샘플링이 이루어지는 반면 선택적 샘플링 알고리즘은 4번의 샘플링이 수행된다.



(그림 5) 선택적 샘플링 원리

```

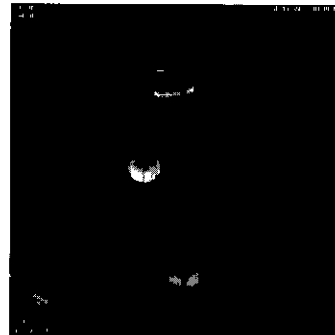
 TraverseDDA_FuzzySurface(Point start, Point end)
 {
    // Calculate the ray increment
    (dx,dv,dz,numSteps) = Calculate_Ray(start, end);
    // Set up local variables
    steps = 0;
    (x, y, z) = start;
    // Walk to implicit surface
    while (distance < 0 && steps < numSteps) {
        distance = DistanceVolume(x, y, z);
        // Skip distance samples
        (x, y, z) += (dx, dy, dz) * distance;
        steps += distance;
    }
    // Sample for shading
    return Calculate_Normals();
 }
    
```

(알고리즘 2) 단일 단위벡터 계산을 이용한 개선된 3D-DDA 알고리즘

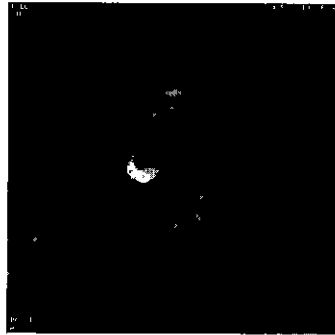
알고리즘 2는 (그림 5)의 선택적 샘플링 원리를 나타낸 것으로 비관심 부위의 샘플링을 생략하기 위한 개선된 3D-DDA 알고리즘이다. 알고리즘 2에서는 블룸레이터를 통하여 샘플링될 위치와 좌표값이 얻어지면, 동일한 좌표값으로 거리변환블룸의 거리값을 참조함으로써 다음에 샘플링될 위치값을 계산한다. 특히, 양수값이 큰 경우, 관심부위와 거리상으로 많은 차이가 있으므로 일정 차이만큼 샘플링을 효율적으로 생략할 수 있다. *Calculate_Normal* 함수는 관심부위 표면 위치에서 단위벡터를 계산하는 것으로 광선이 관심표면에 도달하기 전까지 샘플링을 생략한다.

3. 실험 및 결과분석

본 논문에서 제안한 선택적 블룸렌더링방법은 SGI Octane/MXE R12000 300MHz CPU와 512MB 주기억 장치를 가지는 워크스테이션에서 C 언어로 구현되었다. 실험에서 사용한 영상은 512x512 크기의 영상 49장으로 구성되어 있는 가슴부위 EBCT 영상을 사용하였다. (그림 6)은 본 실험에서 사용한 가슴부위 EBCT 영상 중 일부를 나타낸다.



(a)



(b)

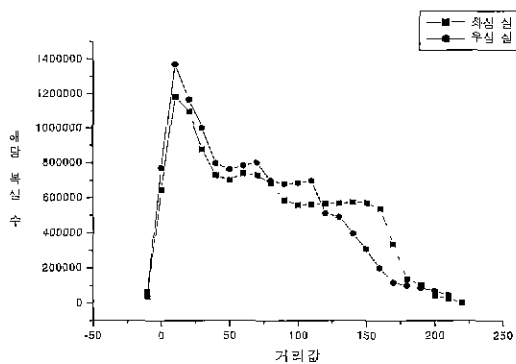


(c)

(그림 6) 가슴부위 EBCT 영상

본 실험은 결과영상의 질적측면과 렌더링시 걸리는 시간적 측면으로 결과를 분석하였다. 결과영상의 질적 측면에서는 거리변환볼륨에 선택적 볼륨렌더링방법을 적용하여 표면수준에 따라 렌더링되는 결과영상을 제시하고, 본 논문에서 제안한 선택적 샘플링 알고리즘을 적용하여 생성된 결과영상을 분석한다. 렌더링시 걸리는 시간적 측면에서는 관심부위를 추출한 특정 객체에 선택적 샘플링 비율을 사용한 선택적 볼륨렌더링 방법과 일정 샘플링 비율을 사용한 기존 영상기반렌더링방법을 적용하여 소요되는 시간을 비교하고, 본 논문에서 제안한 선택적 샘플링 알고리즘 적용시 걸리는 시간을 분석한다.

(그림 7)은 가슴부위 EBCT 영상으로부터 생성한 좌심실과 우심실 거리변환볼륨에서 거리값에 따른 해당 복셀수를 나타낸 히스토그램이다. 좌심실 거리변환볼륨의 경우 전체 볼륨의 5%가 관심부위를 나타내며 나머지 95%는 비관심 부위임을 알 수 있다. 우심실 거리변환볼륨의 경우 전체 볼륨의 6%가 관심부위를 나타내며 94%는 비관심 부위임을 알 수 있다. 따라서 선택적 볼륨렌더링방법은 전체 볼륨에 대하여 광선추적과 샘플링을 수행하는 대신 거리변환볼륨에서 선택적 샘플링 비율에 따라 관심부위만을 샘플링함으로써 가시화 속도를 가속화시킬 수 있다.



(그림 7) 거리변환볼륨의 히스토그램

(그림 8)은 가슴부위 EBCT 영상으로부터 영상분할과 3차원 거리변환을 통해 생성한 좌심실과 우심실 거리변환볼륨에 선택적 볼륨렌더링방법을 적용한 결과영상으로 y 축으로 200도, z 축으로 200도 회전하였다. (a)는 좌심실 선택적 볼륨렌더링 결과영상이며, (b)는 우심실 선택적 볼륨렌더링 결과영상으로 표면수준이 각각 0인 경우이다.



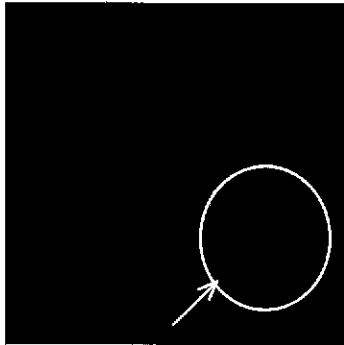
(a) 좌심실



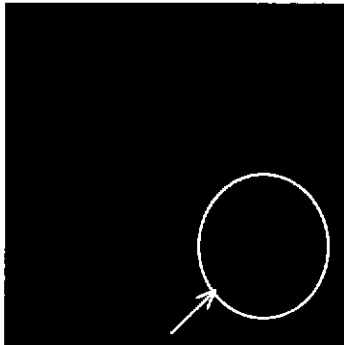
(b) 우심실

(그림 8) 선택적 볼륨렌더링 결과영상

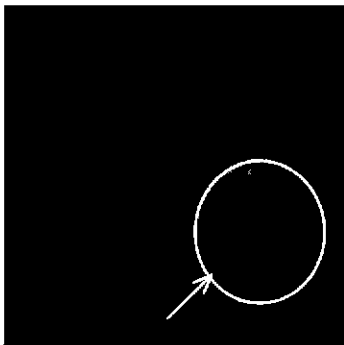
(그림 9)는 좌심실 거리변환볼륨에 선택적 볼륨렌더링방법을 적용한 결과영상으로 표면수준에 따른 변화를 나타낸다. 표면수준이 음수인 경우, 관심부위 내부 볼륨 수준에 따라 렌더링하며 표면수준이 양수인 경우, 관심부위 외부 볼륨 수준에 따라 렌더링한다. 따라서 본 연구에서 제안한 선택적 볼륨렌더링방법은 표면수준을 변화시켜 나가면서 가장 적합한 결과영상을 얻음으로써 분할모델 구성시 발생하는 근사치 오류를 감소시킬 수 있으며, 대부분의 분할볼륨이 이진형태를 가짐으로써 렌더링 후, 가시적 질이 떨어지는데 반하여 본 연구에서는 볼륨데이터와 전역적 형태정보 모두 참조함으로써 렌더링된 표면 형태가 직접 볼륨렌더링방법을 바로 적용한 것과 같은 실제감을 갖는다.



(a) 표면수준 : -1



(b) 표면수준 : 0



(c) 표면수준 : 1

(그림 9) 표면수준에 따른 좌심실 선택적 블룸렌더링 결과영상

선택적 블룸렌더링의 성능을 평가하기 위하여 2절에서 제시한 선택적 샘플링 알고리즘을 사용하여 속도측면과 질적측면에서 분석하였다. <표 1>은 블룸데이터로부터 관심부위를 추출한 우심실과 좌심실 거리변환 블룸에 인접평균보간, 삼각선형보간 적용 여부에 따른 두가지 선택적 블룸렌더링방법과 샘플링 비율이 일정한 기존 영상기반 블룸렌더링방법 간의 광선추적 및 샘플링 속도를 비교한 것이다

(1)과 (3)은 일정 샘플링 비율을 적용한 기존 3D-DDA 알고리즘 기반 영상기반 블룸렌더링방법으로 광선을 따라 임의의 샘플링 위치가 정해지면, 다음 샘플링될 위치는 광선방향과 샘플링 비율에 따라 미리 계산된 증가치만큼 더해져서 쉽게 계산되어진다 (2)와 (4)는 광선이 관심표면에 도달하기 전까지 샘플링을 생략하는 경우로 관심부위 표면 위치에서 단위벡터를 계산하는 방법이다.

인접평균보간을 적용한 선택적 블룸렌더링방법 (1)과 기존 영상기반 블룸렌더링방법 (2)를 비교하면, 선택적 블룸렌더링방법은 좌심실의 경우 6.05초 속도향상을 보이며, 우심실의 경우 5.94초 속도향상을 보인다. 또한 삼각선형 보간법을 적용한 선택적 블룸렌더링 방법 (4)는 (3)에 비해 좌심실의 경우 22.96초의 속도향상을 보이며, 우심실의 경우 22.45초 속도향상을 보인다.

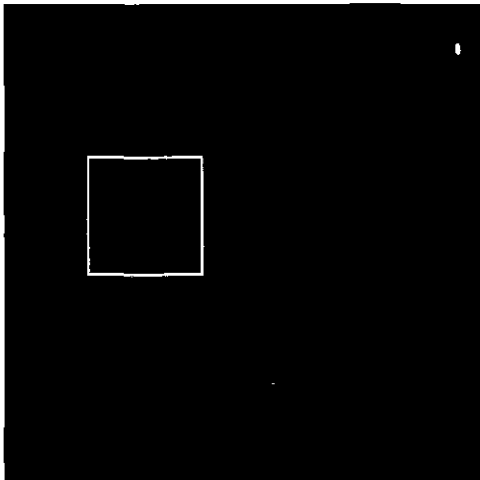
따라서 선택적 블룸렌더링방법에서의 샘플링 위치를 결정할 때, 거리변환블룸의 거리값이 큰 경우, 관심부위의 거리상으로 많은 차이가 있으므로 일정 차이만큼 샘플링 횟수를 생략할 수 있으므로 일정 샘플링 비율로 렌더링하는 기존 방법보다 속도 향상을 보임을 알 수 있었다. 특히, 샘플링 시마다 삼각선형 보간을 수행하는 선택적 블룸렌더링방법의 경우, 삼각선형 보간 횟수가 기존 블룸렌더링방법보다 줄어들었으므로 많은 속도 향상을 보임을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 제안한 선택적 블룸렌더링방법은 전체 영상에서 특징 객체 크기가 상대적으로 작은 경우 더 많은 속도 향상을 꾀할 수 있다.

<표 1> 선택적 블룸렌더링방법과 기존 영상기반렌더링방법의 시간비교

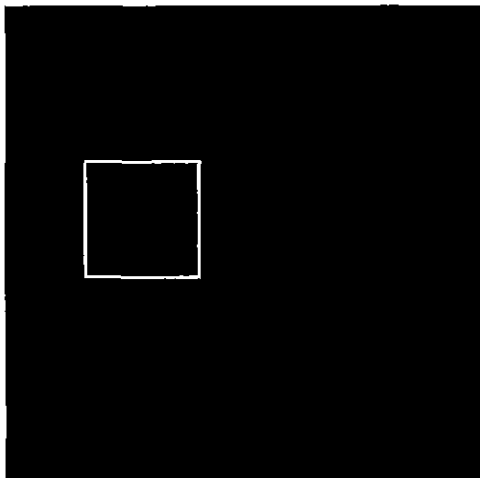
(단위 : 초)

적용 방법 실험 영상	(1) 일정샘플링비율/ 인접평균보간 적용 영상기반블룸렌더링	(2) 선택적 샘플링비율/ 인접평균보간 적용 선택적 블룸렌더링	(3) 일정샘플링비율/ 삼각선형보간 적용 영상기반블룸렌더링	(4) 선택적 샘플링비율/ 삼각선형보간 적용 선택적 블룸렌더링
좌 심 실	6.44	0.39	23.80	0.81
우 심 실	6.37	0.43	23.39	0.94

(그림 10)은 인접평균보간 적용 선택적 볼륨렌더링과 삼각선형보간 적용 선택적 볼륨렌더링 결과영상이다. (그림 10b)의 경우 삼각선형 보간 적용으로 인해 사각형으로 표시된 부분이 (그림 10a)보다 메끄럽게 표현됨을 알 수 있다.



(a) 인접평균보간 적용 결과영상



(b) 삼각선형보간 적용 결과영상

(그림 10) 우심실 선택적 샘플링과 노간섭에 따른 결과영상

4. 결 론

본 논문에서는 볼륨데이터와 진역적 형태정보를 이용하여 볼륨렌더링의 질적측면과 속도측면에서 개선할

수 있는 선택적 볼륨렌더링방법을 제안하였다. 선택적 볼륨렌더링방법은 관심부위를 구성하는 외곽선으로부터 최소거리를 결정하는 거리변환을 통하여 거리변환 볼륨을 생성하고 이를 렌더링하는 방법으로 형태 정보를 이용함으로써 서로 다른 객체들 간에 비슷한 명암도로 인해 동일 객체로 인식되는 것을 막고, 복잡한 형태를 효과적으로 나타내는 방법이다.

본 논문에서 제안한 선택적 볼륨렌더링방법을 사용함으로써 볼륨데이터로부터 관심부위의 특정 표면만을 추출하여 가시화할 수 있었으며, 표면수준에 따라 가시화함으로써 분할모델 구성시 발생하는 근사치 오류를 감소시킬 수 있었다. 또한 분할모델의 표면형태에 직접 볼륨렌더링방법을 적용함으로써 동일한 실제감을 가질 수 있었으며, 거리변환볼륨을 사용하여 선택적 샘플링 비율을 이용함으로써 가시화 시간을 가속화시킬 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Kaufman, A., Cohen D., Yagel, R., "Volume Graphics," *IEEE Computer*. Vol.26, No.7, pp.51-64, 1994.
- [2] Vandermuelen, D., Plets, P., Ramakers, S., et al, "Integrated Visualization of Brain Anatomy and Cerebral Blood Vessels." *ACM workshop on Volume Visualization*, pp.39-46. 1992
- [3] Sakas, G., Schreyer, L.A., Grimm, M., "Case Study. Preprocessing, Segmenting and Volume Rendering 3D Ultrasonic Data." *IEEE Trans. on Computer Graphics and Applications*, Vol.15, No.4, pp.47-54, 1995.
- [4] Cai, W., Sakas, G., Data Intermixing and Multi-Volume Rendering, *Eurographics*. Vol 18, No.3, 1999.
- [5] Levoy, M., Display of Surfaces from Volume Data. *IEEE Computer Graphics & Applications*, Vol.8, No.3, pp 29-37, 1988.
- [6] Hong, H. Kim, M.H. "Direct Multi Volume Rendering Method of Cardiac Volume Data Sets." *Proc. of the 4th Germany-Korea Joint Workshop on Advanced Medical Image Processing*. Darmstadt-Hedelberg, Germany, 1999.
- [7] Sakas, G., "Interactive Volume Rendering of Large

Fields," *Visual Computer*, Vol.9, pp.425-438, 1993.

[8] Levoy, M., "Efficient Ray Tracing of Volume Data." *ACM Trans. on Graphics*, Vol.9, No.3, pp.245-261, 1990.

[9] Sun-Young P., Myoung-Hee K., Stefan, G., "Segmentation of Medical Images by Application of an Improved Active Contour Model," *Proceedings of 1998 Computer Assisted Radiology*, 1998.

[10] Verwer, Ben, J. H., *Distance Transformations-Metrics, Algorithms and Applications*, PhD thesis, Delft University of Technology, 1991.

[11] Herman, G.T., Zheng, J., Bucholtz, C.A., "Shape-based Interpolation," *IEEE Computer Graphics and Application*, Vol.12, No.1, pp.65-71, 1992

[12] Borgefors, G., "Distance Transformation in Digital Images," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, Vol.34, No.3, pp.344-371, 1986

[13] Hearn, D., Baker, M.P., 'Computer Graphics : C version', Prentice Hall.



홍 헬렌

e-mail : hlhong@mm.ewha.ac.kr
 1994년 이화여자대학교 전자계산
 학과 졸업(이학사)
 1996년 이화여자대학교 대학원
 전자계산학과(이학석사)
 1996년~현재 이화여자대학교 대학원
 컴퓨터학과 박사과정

관심분야 : 영상정합 및 영상가시화



김 명 희

e-mail : mhkim@mm.ewha.ac.kr
 1979년 서울대학교 계산통계학과
 (석사)
 1986년 독일 괴팅겐대학교 전자계
 산학과(박사)
 1987년~현재 이화여자대학교 컴
 퓨터학과 교수

관심분야 : 영상가시화, 시뮬레이션 및 가상현실