

거리변환을 통한 특정 볼륨의 선택적 렌더링과 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법

(Selective Rendering of Specific Volume using a Distance Transform and Data Intermixing Method for Multiple Volumes)

홍 헬렌^{*} 김명희^{**}

(Helen Hong) (Myoung-Hee Kim)

요약 단일 볼륨렌더링과 다중 볼륨렌더링의 가장 큰 차이점은 데이터 혼합방법으로 본 논문에서는 특정 볼륨을 표면수준에 따라 선택적으로 빠르게 가시화하는 선택적 렌더링방법과 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법을 제안한다. 선택적 렌더링방법은 관심부위를 구성하는 외곽선으로부터 최소거리를 결정하는 거리변환을 통하여 거리변환볼륨을 생성하고 이를 렌더링하는 방법이며, 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법은 명암도 가중치 방법, 불투명도 가중치 방법, 깊이 정보를 고려한 불투명도 가중치 방법을 이용하여 여러 개의 볼륨을 혼합하는 방법이다. 실험 결과로는 EBCT 가슴부위 영상에 선택적 렌더링방법을 적용하여 생성한 좌심실, 우심실 영상을 제시하며, 가슴부위 볼륨과 좌심실 볼륨 또는 우심실 볼륨에 세 가지 다른 혼합방법을 적용하여 얻은 혼합 영상을 제시한다. 본 제안방법은 거리변환볼륨을 사용함으로써 표면수준에 따라 특정 볼륨을 가시화하고 가시화 시간을 가속화시킬 수 있으며, 데이터 혼합을 통하여 단일 볼륨렌더링 한계를 극복하여 동일 공간 상에 다중 영상을 함께 표현함으로써 복잡한 형태로부터 관심부위의 형태와 상대적 관계를 효과적으로 나타낼 수 있다.

Abstract The main difference between mono-volume rendering and multi-volume rendering is data intermixing. In this paper, we first propose a selective rendering method for fast visualizing specific volume according to the surface level and then present data intermixing method for multiple volumes. The selective 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 data intermixing method for multiple volumes is to combine several volumes using intensity weighted intermixing method, opacity weighted intermixing method, opacity weighted intermixing method with depth information and then render it. We show the results of selective rendering of left ventricle and right ventricle generated from EBCT cardiac images and of data intermixing for combining original volume and left ventricular volume or right ventricular volume. Our method offers a visualization technique of specific volume according to the surface level and an acceleration technique using a distance transformed volume and the effective visual output and relation of multiple images using three different intermixing methods in three-dimensional space.

1. 서론

과학적 가시화(scientific visualization)는 다양한 형

태의 실험에서 산출한 방대하고 추상적인 데이터로부터 직관적이고 의미 있는 정보를 가시적으로 추출하도록 도와주는 기술으로써 여러 응용 분야에서 단일 영상으로부터 생성된 시각적 형태보다 다중 영상으로부터 생성된 시각적 형태를 필요로 한다. 과학적 가시화의 세부분야 중 하나인 볼륨가시화(volume visualization)는 3차원 이산공간에서 주어진 볼륨 데이터로부터 시각적인 영상 정보를 추출하는 것으로 간접 볼륨렌더링 방법(indirect volume rendering)과 직접 볼륨렌더링 방법

^{*} 학생회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과
hlhong@mm.ewha.ac.kr

^{**} 종신회원 : 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수
mhkim@mm.ewha.ac.kr

논문접수 : 1999년 11월 12일

심사완료 : 2000년 5월 24일

(direct volume rendering)이 있으며, 선이나 다각형 등으로 표현되는 기하학적 요소(geometric primitive)를 사용하거나 복셀(voxel)로 표현되는 볼륨적 요소(volumetric primitive)를 사용하는 등 서로 다른 렌더링 요소를 사용한다. 간접 볼륨렌더링 방법은 일반적으로 마칭큐브 알고리즘을 사용하여 볼륨 데이터로부터 주어진 값에 대한 등가면을 선이나 다각형으로 근사화한 후, 그래픽스 분야에서 전통적으로 사용되는 렌더링 방법으로 영상을 생성하는 반면, 직접 볼륨렌더링 방법은 볼륨 데이터를 기하학적 요소로 바꾸지 않고 복셀을 직접 관측 평면(viewing plane)에 투영한다[1,2].

이를 바탕으로 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법은 크게 세가지로 나누어질 수 있다. 첫째, 기하학적 요소와 기하학적 요소를 혼합하는 방법, 둘째, 기하학적 요소와 볼륨적 요소를 혼합하는 방법, 셋째, 볼륨적 요소와 볼륨적 요소를 혼합하는 방법이다. 기하학적 요소와 기하학적 요소를 혼합하는 방법은 기하학적 요소를 합한 후, 그래픽스 분야에서 전통적으로 사용되는 간접 볼륨렌더링 방법을 사용하여 영상을 생성한다[3]. 기하학적 요소와 볼륨적 요소를 혼합하는 방법은 Kaufman이나 Fruehauf 등에 의해서 제안된 방법으로 기하학적 요소를 볼륨적 요소로 변환하는 접근 방법, 볼륨적 요소를 기하학적 요소로 변환하는 접근 방법, 그리고 독립적인 렌더링 프로세스에 의해서 렌더링 결과를 혼합하는 세 가지 접근 방법이 있다[4,5]. 볼륨적 요소와 볼륨적 요소를 혼합하는 방법은 볼륨적 요소의 명암도를 계산함으로써 투영 전 교차부분의 각 데이터를 일정 규칙에 의해 혼합할 수 있다.

기하학적 요소를 가시화하는 간접 볼륨렌더링 방법은 선이나 다각형이 깊이 정보를 가지고 있지 않기 때문에 두 개의 기하학적 요소가 서로 교차하는 경우, 교차되는 부분에 작은 선이나 다각형을 생성하게 되고, 깊이에 따라 모든 다각형이 정렬되어 시점에 따라 각 픽셀에 투영되는 다각형목록을 생성한다. 또한 두 다각형이 교차된 하나의 표면을 공유하는 경우, 이 두 다각형의 투영 순서는 임의적으로 생성된다. 따라서 두 개의 기하학적 요소가 서로 교차하는 경우, 교차 부분에 잡음과 인공물질을 생성하고 실제감을 감소시키며 두 기하학적 요소의 특성을 가시화하기 위한 데이터 혼합이 이루어지기보다 특정 순서에 따라 동일 픽셀에 투영된다.

볼륨적 요소를 가시화하는 직접 볼륨렌더링 방법은 볼륨의 색상이나 불투명도와 같은 광학적 매개변수에 따라 볼륨적 요소의 명암도를 계산함으로써 서로 다른 광학적 매개변수를 가진 볼륨적 요소라 할지라도 투영

전 교차부분의 각 데이터를 일정 규칙에 의해 혼합함으로써 잡음과 인공물질 생성에 자유롭고 현실감 있는 영상을 생성할 수 있다. 따라서 이러한 볼륨적 요소의 혼합방법은 다중 볼륨을 간접 볼륨렌더링 방법에 의해 가시화하는 것보다 잡음과 인공물질 생성에 자유로운 가시화 효과를 나타낼 수 있다.

본 논문에서는 특정 볼륨을 표현수준에 따라 선택적으로 빠르게 가시화하는 선택적 렌더링방법과 볼륨적 요소와 볼륨적 요소를 혼합하는 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법을 제안한다. 선택적 렌더링방법은 관심부위를 구성하는 외곽선으로부터 최소거리를 결정하는 거리 변환을 통하여 거리변환볼륨을 생성하고 이를 렌더링하는 방법으로 표면수준에 따라 특정 볼륨을 가시화하고 거리변환볼륨을 사용함으로써 가시화 시간을 가속화시킬 수 있다. 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법은 명암도 가중치 방법, 불투명도 가중치 방법, 깊이 정보를 고려한 불투명도 가중치 방법을 이용하여 여러 개의 볼륨을 혼합하는 방법으로 단일 볼륨의 한계를 극복하여 복잡한 형태로부터 관심부위의 형태와 상대적 관계를 효과적으로 나타낼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구와 관련된 연구를 살펴보고, 3장에서는 특정 볼륨을 위한 선택적 렌더링방법에 대하여 살펴본다. 4장에서는 명암도 가중치 방법, 불투명도 가중치 방법, 깊이 정보를 고려한 불투명도 가중치 방법을 사용한 데이터 혼합방법에 대하여 살펴보고, 5장에서는 선택적 렌더링방법과 데이터 혼합방법의 실험 및 분석결과를 제시한다. 마지막으로 6장에서는 본 논문에서 제안한 선택적 렌더링방법과 데이터 혼합방법에 대한 결론을 맺는다.

2. 관련연구

볼륨렌더링 방법은 볼륨 데이터의 방대한 양으로 인하여 렌더링 시 많은 시간을 요구한다. 기존 연구에서 볼륨렌더링 속도를 향상시키기 위하여 팔진트리(octree)나 피라미드 인코딩(pyramid encoding), k-진 트리(k-d tree) 등과 같은 몇몇 최적화 알고리즘이 제안되었다. Levoy 등은 이진 볼륨의 피라미드 형식을 사용한 계층적 열거기법(hierarchical enumeration technique)을 소개하였다[6]. 계층적 열거기법은 피라미드의 다양한 계층 단계에서 관계 있는 객체거리 인코딩함으로써 비관심 부위에 대한 처리과정을 제거하였다. 팔진트리 관련 최적화 알고리즘으로는 Subramanian 등이 제안한 k-진 트리와 Wilhelms 등이 제안한 가지순위 팔진트리(branch-on-need octree)가 있다[7,8]. k-진 트리는 중

간값 절단 공간분할 기법(median cut space partitioning technique)을 사용하여 트리를 구성함으로써 불균형적인 이진트리를 구성하며, 가지순위 팔진트리는 팔진 트리 노드 내에 최대 그레이값과 최소 그레이값을 저장함으로써 등가면에 대한 가시화 속도를 가속화 시켜준다. 이러한 연구들은 대부분 볼륨 데이터 내에 존재하는 응집성을 이용하는 것으로 계층구조로 이루어지며 가시화할 필요가 없는 공간에 대한 광선추적을 피함으로써 불필요한 계산을 줄이는데 사용된다. 그러나 계층 구조를 갖는 자료구조는 그 자료구조를 생성하고 자료구조 내의 셀들에 대한 조건검사와 자료구조를 순회하는데 추가적인 비용이 든다는 문제점이 있다.

따라서 본 논문에서는 계층적 자료구조의 문제점을 피하고 기존 영상기반 렌더링 방법인 레이캐스팅의 광선추적 속도를 가속화하기 위하여 거리변환을 사용한 선택적 렌더링 방법을 제안한다. 본 논문에서 제안한 선택적 렌더링 방법은 관심부위를 구성하는 외곽선으로부터 최소거리를 결정하는 거리변환(distance transform)을 통하여 거리변환볼륨(distance transformed volume)을 생성하고 이를 렌더링하는 방법으로 표면수준에 따라 특정 볼륨을 가시화하고 거리변환볼륨을 사용함으로써 가시화 시간을 가속화시킬 수 있다.

또한 다중 영상으로부터 생성된 시각적 형태를 표현하기 위하여 여러 볼륨들을 혼합하기 위한 데이터 혼합이 이루어져야 한다. 광선이 볼륨을 통과하는 경우, 단일 볼륨이나 다중 볼륨에 상관없이 볼륨 자체의 광학적 속성을 가지고 있게 되고, 여러 개의 볼륨이 혼합되어 가시화되는 경우, 각 볼륨에 적용된 조명 모델과는 독립적으로 혼합이 되므로 각 볼륨의 특성이 유지될 수 있다. 따라서 단일 볼륨을 위한 렌더링과 다중 볼륨을 위한 렌더링의 주요 차이는 데이터 혼합에 있다고 볼 수 있다.

Drebin 등은 객체 구성요소 특성별로 혼합하여 가시화하는 방법을 제안하였다[9]. 구성요소 내부와 구성요소별 경계부분을 셰이딩 모델을 사용하여 색상으로 구분하여 표현하였고, 영상 투영은 시점으로부터 광선이 흡수되는 정도에 따라 표현하였다. 영상분류(classification)를 사용하여 구성요소 특성별 볼륨을 생성한 후, 각 구성요소의 경계부분을 찾기 위해 3차원 경사도 연산을 적용하여 분류볼륨을 생성하고, 볼륨에 의해 방사되고 표면에 의해 흡수되는 광선의 합을 셰이딩 볼륨으로 표현하였다. 따라서 본 방법은 다중 볼륨을 위한 혼합방법이기 보다 단일 볼륨의 내부 구조를 구성요소별로 구분하여 셰이딩하는 방법이라고 할 수 있다.

Jacq 등은 퍼지 표면모델링을 기반으로한 다중 볼륨 렌더링 구조를 제안하였다[10]. 본 방법은 볼륨을 구성하는 구성요소별로 퍼지이론을 적용하여 분류하고 혼합 모델을 생성하는 것으로 각 샘플링 시마다 서로 다른 볼륨의 구성 요소 비율을 계산한 후, 혼합 규칙에 따라 혼합하여 가시화한다. 본 방법에서 사용하는 다중 볼륨은 동일한 요소 속성을 가진다는 제한을 가지고 있으므로 서로 다른 요소 속성을 가진 볼륨인 경우 적용하지 못한다는 문제점이 있다.

Chen 등은 서로 교차하지 않는 여러 볼륨들을 감싸고 있는 외접입방체를 광선이 순회하면서 병렬적으로 가시화하는 다중 볼륨 렌더링 알고리즘을 제안하였다[11, 12]. 이 경우, 광선추적은 볼륨을 감싸고 있는 외접입방체별로 이루어진다는 것을 제외하고는 단일 볼륨 렌더링과 동일하며 다중 볼륨이 서로 겹쳐진 경우는 적용되지 못하므로 데이터 혼합이 전혀 이루어지지 않는다.

Cai 등은 영상단계(image level), 축적단계(accumulation level), 조명모델단계(illumination model level)에서의 데이터 혼합방법과 직접 볼륨렌더링을 위한 단계를 제시하였다[13]. 본 방법은 방사선 치료계획을 위하여 CT 볼륨과 방사선 볼륨, 관심부위를 추출한 분할볼륨에 서로 다른 데이터 혼합방법을 적용한 것으로 세가지 볼륨은 서로 다른 광학적 속성을 가지며 기하학적 크기와 위치를 동일하게 공유한다는 가정을 가진다. 또한 암부위를 추출한 분할볼륨이 이진 정보만을 가지고 있기 때문에 상대적으로 가시적인 질이 떨어진다는 문제점이 있다.

본 논문에서는 선택적 렌더링방법을 제안함으로써 원볼륨과 관심부위를 추출한 거리변환볼륨을 모두 참조함으로써 이진 정보로 인해 분할볼륨의 가시적 질이 떨어지는 문제점을 해결할 수 있으며, 명암도, 불투명도 및 깊이 정보를 고려하여 다중 볼륨을 혼합하는 데이터 혼합방법을 제안함으로써 단일 볼륨의 표현 한계를 극복하고, 복잡한 형태로부터 관심부위의 형태와 상대적 관계를 효과적으로 나타낼 수 있다.

3. 특정 볼륨을 위한 선택적 렌더링방법

선택적 렌더링방법은 원볼륨과 분할모델 정보를 고려하여 복잡한 형태로부터 관심부위의 표면을 추출하여 가시화하는 것으로 분할된 외곽선으로부터 최소 거리를 결정하는 거리변환을 통하여 거리변환볼륨을 생성하고 이를 렌더링한다. 선택적 렌더링방법의 주요 장점으로 첫째, 원볼륨의 일부분을 감추고 관심 부위의 표면만을 추출하여 가시화할 수 있으며 둘째, 분할모델 구성시 받

생하는 근사치 오류를 감소시킬 수 있고, 셋째, 분할 모델의 표면 형태가 직접 볼륨 렌더링 방법을 바로 적용한 것과 같은 실제감을 가질 수 있으며, 넷째, 거리변환 볼륨을 사용함으로써 가시화 시간을 가속화시킬 수 있다. 그림 1은 선택적 렌더링 단계를 도식화한 것으로 단면 영상처리단계, 입체 영상처리단계, 영상조작단계로 나누어 볼 수 있다.

3.1 단면 영상처리단계

단면 영상처리단계에서는 광선추적 시 사용되는 거리 변환볼륨을 생성하기 위하여 영상분할과 3차원 거리변환이 이루어진다. 영상분할은 그레이-레벨 영상의 특정 부위를 선택하여 원볼륨으로부터 분리하는 것으로 본 논문에서는 활성 외곽선 모델을 사용하여 분할하였다 [14]. Kass 등에 의해 처음 "Snake"라고 소개된 활성 외곽선 모델(ACM: Active Contour Model)은 불규칙적이고 잡음이 많은 영상에 견고하며 물체의 경계선을 추출함과 동시에 하나의 곡선 모델로 적합시킬 수 있는 장점 때문에 물체의 외곽선 분할 방법으로 널리 사용되고 있다.

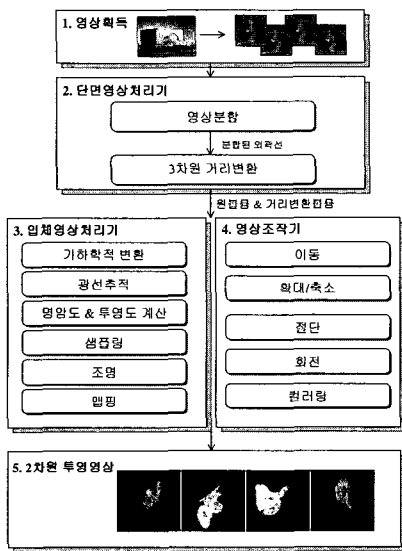


그림 1 선택적 렌더링 단계



(a) (b) (c) (d)

그림 2. 활성 외곽선 모델을 사용한 우심실 분할 결과영상

활성 외곽선 모델에서는 관심 대상이 되는 물체의 경계선을 분할하기 위하여 초기 곡선을 물체의 경계 근처에 위치시키고 에너지 최소화 방법을 사용하여 곡선을 변형시켜 경계선을 동적으로 분할한다. 그림 2는 EBCT 심장영상 4장에 활성 외곽선 모델을 적용하여 우심실을 분할한 결과영상으로 (a)부터 (d)의 그림은 49장의 심장영상 중 8번째 심장영상부터 11번째 심장영상의 분할 결과로 우심실 부위가 외곽선으로 표현되어 분할됨을 알 수 있다.

방대한 양의 볼륨 렌더링 시간을 줄이기 위한 방법 중 하나인 팔진트리, 피라미드 인코딩, k-진 트리와 같은 계층적 인코딩 방법을 사용하는 대신 영상분할에 의해 얻어진 일련의 외곽선들의 집합으로부터 거리변환볼륨을 생성하는 거리변환방법을 사용한다. 거리변환 방법은 영상측정(image measurement), 영상매칭(image matching)과 형태기반보간(shape-based interpolation) 등에 사용되는 방법으로 본 논문에서 제안한 선택적 렌더링 방법에서는 3차원 거리변환을 통하여 관심부위로부터 가장 가까운 거리로 최적화되는 거리값을 계산하는데 사용된다.

거리변환을 계산하기 위한 알고리즘들 중 가장 일반적으로 사용되는 chamfer 매트릭스는 일련의 기본 벡터 총 길이를 계산함으로써 유클리디안 거리로 근사화하는 것으로 계산시간을 고려하여 기본 벡터의 길이가 정수로 근사화된다. 2차원 거리변환인 경우, chamfer 벡터로 대부분 (1, 0), (1, 1), (2, 1)이 사용되어진다. chamfer 프로세스를 적용한 템플릿-기반 거리변환인 경우, 두단계 거리 템플릿을 적용하여 원볼륨의 그레이값 변화를 거리변화로 나타내는 것으로 첫 번째 chamfer 프로세스 동안에는 사용 템플릿이 왼쪽 상단에서 오른쪽 하단 방향으로 움직이고, 두 번째 chamfer 프로세스 동안에는 오른쪽 하단에서 왼쪽 상단 방향으로 움직이면서 거리값이 계산된 후, 두 단계의 결과값이 혼합되어 거리변환을 수행한다. 2차원 영상에 대한 템플릿-기반 거리변환 방법은 계산과 구현 면에서 효율적이다.

3차원 거리변환인 경우, chamfer 벡터로 대부분 (1, 0, 0), (1, 1, 0), (1, 1, 1)이 사용된다. chamfer 프로세스를 적용한 템플릿-기반 거리변환인 경우, 2차원 거리변환과 유사하게 3x3x3 템플릿이 사용되어 거리값이 계산되며 좀 더 정확한 계산을 위하여 5x5x5 템플릿이 요구하는 chamfer 벡터 (2, 1, 0), (2, 1, 1), (2, 2, 1)이 사용된다. 그러나 3차원 거리변환인 경우 템플릿 크기가 커질수록 비례적으로 많은 계산 시간을 요구한다.

본 논문에서는 템플릿-기반 거리변환을 사용함으로써

메모리 요구량이 상대적으로 적으면서 비교적 단순한 템플릿을 사용하고, 정수계산을 함으로써 계산 속도를 개선할 수 있으며, 3차원 거리변환을 수행함으로써 입체적으로 보다 정확한 거리값을 계산하고자 한다. 본 논문에서 사용하는 템플릿-기반 3차원 거리변환은 외곽선 지역은 0 값을, 외곽선 외부지역은 양수값, 외곽선 내부 지역은 음수값으로 초기화된 거리맵에 그림 3과 같은 템플릿이 연속적으로 적용되며, 샘플링 간격과 슬라이스 간의 간격에 따라 템플릿이 적용적으로 바뀌어진다.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

1	1	1
1	0	1
1	1	1

1	1	1
1	1	1
1	1	1

그림 3 3x3x3 크기의 템플릿

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

$$I(x, y, z) = \begin{cases} 0, & (x, y, z) \in \partial O \\ 25, & (x, y, z) \in O/\partial O \\ 255, & (x, y, z) \notin O \end{cases} \quad (1)$$

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

$$D(x, y, z) = \begin{cases} 0, & (x, y, z) \in \partial O \\ -d(x, y, z), & (x, y, z) \in O/\partial O \\ +d(x, y, z), & (x, y, z) \notin O \end{cases} \quad (2)$$

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

의 3차원 유클리디안 거리의 근사치이다. 그림 4는 템플릿을 사용한 변환 과정을 보여준다. 첫 번째 처리과정에서는 초기화된 거리맵의 왼쪽 상단에서부터 오른쪽 하단의 순으로 스캔해 가면서 픽셀들의 거리값을 수정해 나가며 두 번째 처리 과정에서는 첫 번째 거리과정을 끝낸 거리맵의 오른쪽 하단에서 왼쪽 상단 순으로 스캔해 가면서 픽셀들의 거리값을 수정해 나간다.

3.2 입체 영상처리단계 및 영상 조작단계

입체 영상처리단계에서는 객체좌표계와 화면좌표계를 정의하는 기하학적 변환과 광선추적, 투명도 계산 및 선택적 샘플링, 조명 및 맵핑이 이루어진다. 본 논문에서 제안하는 선택적 렌더링 방법에서 사용하는 볼륨은 이미 정확하게 분할 및 거리변환이 이루어져 있다는 가정 하에 진행된다. 단면 영상처리단계에서 생성된 거리 변환볼륨에 대하여 광선에 부딪히는 위치를 샘플링하기 위하여 3D-DDA 알고리즘(3D Digital Differential

255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	0	255	255	255	0	0	255	255	255	255
255	255	0	0	0	0	255	0	0	0	255	255	255
255	255	0	-255	-255	0	255	255	0	0	255	255	255
255	255	0	0	0	0	255	255	255	0	255	255	255
255	255	0	255	255	255	255	0	0	0	255	255	255
255	255	0	255	255	255	0	0	-255	0	255	255	255
255	255	0	255	255	0	0	-255	-255	0	255	255	255
255	255	0	0	0	0	0	0	0	0	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255
255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255	255

(a) 거리변환 전 거리맵

2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3
2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	3	3
1	1	0	1	2	1	0	0	1	1	2	3	3
1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	2	3	3
1	0	-1	-1	0	1	1	0	0	1	2	3	3
1	0	0	0	0	1	1	1	0	1	2	3	3
1	0	1	1	1	1	0	0	0	1	2	3	3
1	0	1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	2	3
1	0	1	1	0	0	-1	-1	0	1	2	3	3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	3	3
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3

(b) 거리변환 후 거리맵

그림 4 템플릿을 사용한 거리변환과정

Analyzer)을 개선하여 구현하였다. 광선을 따라 임의의 샘플링 위치가 정해지면 다음 샘플링 될 위치는 광선의 방향과 샘플링 비율에 따라 미리 계산된 증가치만큼 더해져서 쉽게 계산되어질 수 있다. 원볼륨을 통하여 샘플링될 위치와 좌표값이 얻어지면, 동일한 좌표값을 가지고 거리변환볼륨의 내용을 참조함으로써 다음에 샘플링될 위치값이 계산되어진다. 특히, 양수값이 큰 경우는 관심부위와 거리상으로 많은 차이가 있으므로 일정 차이만큼 샘플링을 생략할 수 있다.

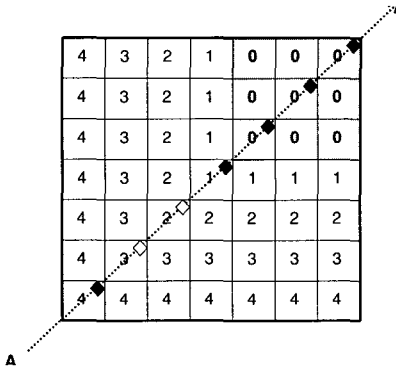


그림 5 2차원 영상에서 선택적 렌더링의 샘플링 원리

그림 5는 2차원 영상에서 선택적 렌더링을 위한 샘플링 원리를 보여준다. 각 셀은 관심 부위 셀의 경계로부터 근사화된 거리값을 가진다. 이와같이 거리값이 주어졌을 때 그림 5는 샘플링이 어느 셀에서 이루어지는지를 나타낸 것이다. 광선 A를 따라 그려져 있는 검은점 표현은 샘플링 되는 위치를 표현한 것이며, 흰점 표현은 샘플링이 생략되는 위치를 표현한다. 따라서 기존 방법에서 모든 셀에 대하여 샘플링하던 것을 거리변환볼륨을 사용한 선택적 렌더링 방법을 사용함으로써 불필요한 셀의 샘플링 단계를 생략함으로써 가시화 속도를 가속화시킬 수 있다.

4. 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법

본 논문에서 제시한 데이터 혼합방법은 원볼륨과 분할 모델로부터 생성된 거리변환볼륨을 혼합하여 가시화하기 위한 방법으로 세 가지 서로 다른 렌더링 방법을 제공한다. 다중 볼륨을 위한 볼륨 렌더링 구조로 볼륨적 가시화를 위한 최대 명암도 투영방법(maximum intensity projection), 표면적 가시화를 위한 등가면 표면 가시화방법(isosurface volume rendering), 그리고 분할 모델을 가시화하기 위한 선택적 렌더링방법을 제공한다. 각각의 렌더링 방법은 영상기반 투영방법을 바탕으로

영상을 생성하며, 생성된 버퍼값에 명암도 가중치 방법, 불투명도 가중치 방법, 깊이 정보를 고려한 불투명도 가중치 방법을 적용하여 데이터 혼합 결과를 얻는다.

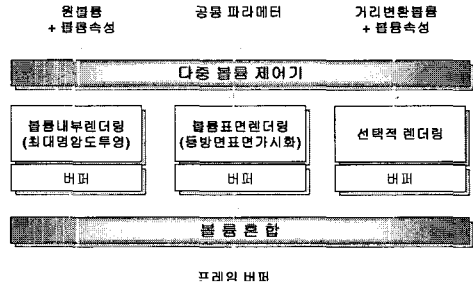


그림 6 다중 볼륨을 위한 볼륨 렌더링 구조

그림 6은 데이터 혼합을 위한 볼륨렌더링 구조를 나타낸다. 원볼륨과 분할 모델의 거리변환볼륨을 혼합하기 위하여 여러 개의 매개변수가 설정된다. 이러한 매개변수들은 렌더링 형태와 혼합 결과의 질을 조절하는데 사용된다. 혼합에 필요한 매개변수들과 원볼륨 및 거리변환볼륨 등이 다중 볼륨 제어기에 저장되고 제어된 후, 각각의 볼륨렌더링 방법이 적용되어 혼합 결과를 생성한다. 본 논문에서 제안하는 다중 볼륨을 위한 혼합방법은 다중 볼륨이 동일한 크기와 위치값을 갖는다는 가정 하에 진행된다.

4.1 명암도 가중치 혼합방법

명암도 가중치 혼합방법은 다중 볼륨으로부터 렌더링한 각각의 결과 영상들을 명암도 가중치 비율에 의해 혼합하는 방법으로 각 볼륨에 대한 결과 영상을 생성한 후, 혼합된 최종 결과 영상을 위하여 다중 볼륨으로부터 계산된 각 픽셀의 명암도를 혼합 비율에 따라 혼합함으로써 생성된다.

(식 3)은 명암도 가중치 비율에 따른 혼합방법을 나타내는 수식으로 I 함수는 각 볼륨의 명암도를 나타내고 wf 는 사용자가 지정하는 명암도 가중치 비율을 나타낸다.

$$I(V) = wf \cdot I(V_1) + (1.0 - wf) \cdot I(V_2) \quad (3)$$

명암도 가중치 혼합방법은 첫 번째 볼륨과 두 번째 볼륨이 서로 교차하는 경우, 명암도 가중치 비율에 따라 두 개의 결과 영상이 점차적으로 가려지거나 표면으로 나타나는 효과를 나타낼 수 있다. 그러나 명암도 가중치 비율에 따라 다중 볼륨이 혼합됨으로써 각 볼륨이 실제

명암을 가지기 보다 비율에 따른 명암도를 가지게 된다.

4.2 불투명도 가중치 혼합방법

불투명도 가중치 혼합방법은 다중 볼륨으로부터 렌더링한 각각의 결과 영상들을 불투명도 가중치 값에 의해 혼합하는 방법으로 각 볼륨에 대한 결과 영상을 생성한 후, 혼합된 최종 결과 영상을 위하여 다중 볼륨으로부터 계산된 각 픽셀의 명암도와 불투명도를 혼합 비율에 따라 혼합함으로써 생성한다.

불투명도 가중치 혼합방법은 명암도 가중치 혼합방법에서 두 볼륨의 교차부분이나 겹쳐지는 부분에 대한 경계를 세밀하게 표현하기 위하여 불투명도 가중치 비율을 사용하여 혼합하는 방법으로 (식 4)와 같이 표현된다.

$$I(V) = wf \cdot I(V_1) + (1.0 - wf \cdot \alpha(V_1)) \cdot I(V_2) \quad (4)$$

α 함수는 해당 볼륨의 불투명도를 나타내는 것으로 첫 번째 볼륨의 해당 픽셀이 불투명한 경우 혼합 결과는 명암도 가중치 혼합방법을 적용한 결과와 동일하며, 첫 번째 볼륨의 해당 픽셀이 투명한 경우, 불투명도 가중치 혼합 결과는 두 번째 볼륨의 명암도 값을 가진다. 결과적으로 (식 4)의 혼합 결과는 첫 번째 볼륨의 불투명도 정도에 따라 많은 영향을 받게 된다.

4.3 깊이 정보를 이용한 불투명도 가중치 혼합방법

명암도 가중치 혼합방법이나 불투명도 가중치 혼합방법은 사용자가 가중치 비율을 조절하면서 혼합 결과를 결정할 수 있으며, 원볼륨과 분할 모델의 거리변환볼륨을 함께 혼합하여 가시화함으로써 복잡한 해부학적 형태로부터 특정 부위의 형태와 상대적 관계를 용이하게 파악할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 명암도 가중치 혼합방법이나 불투명도 가중치 혼합방법 모두 혼합된 여러 볼륨들 간에 깊이 관계를 충분히 표현하지 못한다는 단점을 가진다. 따라서 본 연구에서는 (식 5)와 같이 각 볼륨들 간의 깊이 정보를 고려한 불투명도 가중치 혼합방법을 이용하여 이와 같은 문제점을 부분적으로 개선하였다.

$$I(V) = \begin{cases} wf \cdot I(V_1) + (1.0 - wf \cdot \alpha(V_1)) \cdot I(V_2), & d(V_2) > d(V_1) \\ wf \cdot I(V_2) + (1.0 - wf \cdot \alpha(V_2)) \cdot I(V_1), & d(V_1) > d(V_2) \end{cases} \quad (5)$$

$d(V_2)$ 는 두 번째 볼륨 중 해당 픽셀의 깊이를 나타내며, $d(V_1)$ 은 첫 번째 볼륨 중 해당 픽셀의 깊이를 나타낸다. 두 번째 볼륨의 픽셀 깊이가 첫 번째 볼륨의 픽셀 깊이보다 깊은 경우, 첫 번째 볼륨의 불투명도 값에 따라 혼합 결과가 많은 영향을 받게 되며, 그 반대의 경우, 두 번째 볼륨의 불투명도 값에 따라 혼합 결과가 많

은 영향을 받는다.

5. 실험 및 결과분석

본 논문에서 제안한 선택적 렌더링방법과 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법은 Silicon Graphics OCTANE/MXE R12000 300MHz CPU와 512MB 주기억장치를 가지는 워크스테이션에서 C 언어로 구현되었다. 실험에서 사용하는 영상은 512 x 512 크기의 영상 49장으로 구성되어 있는 가슴부위 EBCT 영상을 사용하였다. 그림 7은 가슴부위 EBCT 영상 중 일부를 나타낸다.

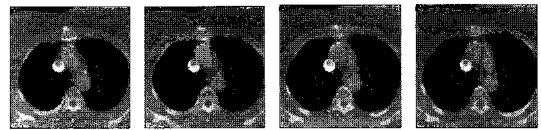
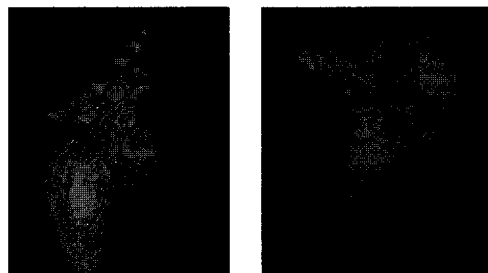


그림 7 가슴부위 EBCT 영상

본 실험은 결과영상의 질적 측면과 렌더링시 걸리는 시간적 측면으로 결과를 분석하였다. 결과영상의 질적 측면에서는 거리변환볼륨에 선택적 렌더링방법을 적용하여 표면수준에 따라 렌더링되는 결과영상과 본 논문에서 제안한 세가지 데이터 혼합방법을 적용한 결과영상을 분석하였고, 렌더링시 걸리는 시간적 측면에서는 관심부위를 추출한 특정 볼륨에 선택적 샘플링 비율을 사용한 선택적 렌더링방법과 일정 샘플링 비율을 사용한 기존 영상기반 렌더링방법을 적용하여 소요되는 시간을 비교하였다.

그림 8은 가슴부위 EBCT 영상으로부터 영상분할과 3차원 템플릿-기반 거리변환을 통해 생성한 좌심실과 우심실 거리변환볼륨에 선택적 렌더링 방법을 적용한 결과영상으로 z 축으로 각각 150도 회전하였다. (a)는



(a) 좌심실 선택적 렌더링 결과영상 (b) 우심실 선택적 렌더링 결과영상

그림 8 선택적 렌더링 결과영상

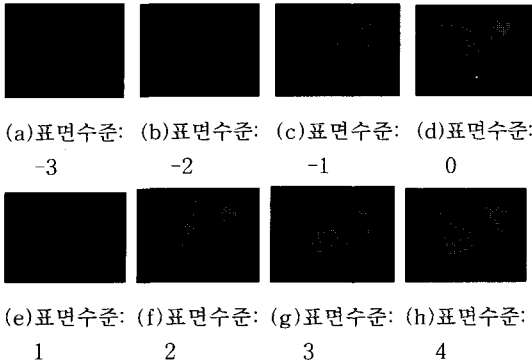


그림 9 표면수준에 따른 선택적 렌더링 결과영상

좌심실 선택적 렌더링 결과영상이며, (b)는 우심실 선택적 렌더링 결과그림 9는 우심 좌심실 선택적 렌더링 결과영상이며, (b)는 우심실 선택적 렌더링 결과영상으로 표면수준이 각각 0인 경우이다.

그림 9는 우심실 거리변환볼륨에 선택적 렌더링방법을 적용한 결과영상으로 표면수준에 따른 변화를 보여준다. 표면수준이 음수인 경우, 관심부위 내부를 수준에 따라 렌더링하며 표면수준이 양수인 경우, 관심부위 외부를 수준에 따라 렌더링한다. 따라서 본 연구에서 제안한 선택적 렌더링 방법은 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 원볼륨과 분할모델 정보 모두 참조함으로써 렌더링된 표면 형태가 직접 볼륨렌더링 방법을 바로 적용한 것 같은 실제감을 가진다.

표 1은 원볼륨으로부터 관심부위를 추출한 우심실과 좌심실 볼륨에 선택적 샘플링을 적용하여 적용적으로 샘플링 비율이 바뀌는 선택적 렌더링방법과 샘플링 비

표 1 선택적 렌더링 방법과 기존 영상기반렌더링 방법의 시간 비교

(단위: 초)

데이터	크기	방법	시간	가속화	데이터	크기	방법	시간
우심실 (거리변 환볼륨)	512x	FAST	1.107	17.23	우심실 (이진 볼륨)	512x	FAST	18.337
	512x49	HIGH	1.604	104.05		512x49	HIGH	105.654
좌심실 (거리변 환볼륨)	512x	FAST	1.182	18.905	좌심실 (이진 볼륨)	512x	FAST	20.087
	512x49	HIGH	1.532	120.33		512x49	HIGH	121.862

율이 동일한 기존 영상기반 렌더링방법 간의 가시화 속도를 비교한 것이다.

표 1의 선택적 렌더링 방법의 FAST와 HIGH는 선택적 샘플링 비율을 적용한 DDA 알고리즘 기반 방법과 선택적 샘플링 비율과 삼각선형 보간 알고리즘을 적용한 DDA 알고리즘 기반 방법을 말하여 기존 영상기반 렌더링 방법의 FAST와 HIGH는 일정 샘플링 비율을 적용한 DDA 알고리즘 기반 방법과 삼각선형 보간 알고리즘을 적용한 DDA 알고리즘 기반 방법을 말한다.

선택적 샘플링 비율을 적용한 선택적 렌더링 방법이 일정 샘플링 비율을 적용한 기존 영상기반 렌더링 방법보다 FAST 방법에서는 우심실의 경우는 17.23초, 좌심실의 경우는 18.905초 속도 향상을 보이며, HIGH 방법에서는 우심실의 경우는 104.05초, 좌심실의 경우는 120.33초 속도 향상을 보인다. 선택적 렌더링방법에서는 샘플링 위치를 결정할 때, 거리변환볼륨의 거리값이 큰 경우, 관심부위와 거리상으로 많은 차이가 있으므로 일정 차이만큼 샘플링을 생략할 수 있으므로 일정 샘플링 비율로 렌더링하는 기존 방법보다 속도 향상을 보임을 알 수 있다. 특히, 샘플링 시마다 삼각선형 보간을 수행하는 HIGH 방법인 경우 선택적 렌더링방법의 경우 삼각선형 보간 횟수가 기존 렌더링방법보다 줄어들어서 더 많은 속도 향상을 보임을 알 수 있다. 또한 본 연구에서 제안한 선택적 렌더링방법은 전체 영상에서 특정 볼륨의 크기가 상대적으로 작은 경우 더 많은 속도 향상을 꾀할 수 있다.

그림 10은 가슴부위 EBCT 영상으로부터 얻은 원볼륨과 우심실 거리변환볼륨에 본 연구에서 제안한 세가지 데이터 혼합방법을 적용하여 생성한 결과영상이다. 그림 10 (a)의 명암도 가중치 방법은 원볼륨과 거리변환볼륨이 서로 교차하는 경우, 명암도 가중치 비율 wf 에 따라 두 개의 결과영상이 점차적으로 가려지거나 표면으로 나타나는 효과를 나타낸다. 그러나 명암도 가중치 비율 wf 에 따라 원볼륨과 거리변환볼륨이 실제 명암이 아닌 가중치 비율에 따른 명암도를 가지며, 원볼륨과 거리변환볼륨의 깊이 관계는 제대로 나타내지 못함을 알 수 있다.

그림 10 (b)의 불투명도 가중치 방법은 우심실 거리변환볼륨의 불투명도에 따라 다중 볼륨의 혼합결과가 많은 영향을 받게 된다. 즉, 우심실 거리변환볼륨의 해당 픽셀이 불투명한 경우, 두 볼륨에 명암도 가중치 방법을 적용한 결과와 동일하며, 우심실 거리변환볼륨의 해당 픽셀이 투명한 경우, 원볼륨의 명암도값에 많은 영향을 받게 된다. 따라서 불투명도 가중치 방법은 우심실

거리변환볼륨의 볼투명도값에 많은 영향을 받도록 설정할 경우 명암도 가중치 방법에서 가중치 비율에 따라 볼륨의 명암도가 변경되는 문제점을 해결하고, 두 볼륨의 교차부분이나 겹쳐지는 부분에 대한 경계를 좀더 세밀하게 표현할 수 있음을 알 수 있다.

그림 10 (c)는 우심실 거리변환볼륨의 해당 픽셀 깊이가 원볼륨의 해당 픽셀 깊이보다 깊은 경우, 원볼륨의 볼투명도에 따라 혼합결과가 많은 영향을 받게 되며, 반



(a) 명암도 가중치 혼합방법 적용 결과영상($\alpha=0.8$)



(b) 볼투명도 가중치 혼합방법 적용 결과영상($\alpha=0.8$)



(c) 깊이정보를 이용한 혼합방법 적용 결과영상($\alpha=0.8$)

그림 10 데이터 혼합방법에 따른 결과 영상

대로 원볼륨의 해당 픽셀 깊이가 우심실 거리변환볼륨의 해당 픽셀보다 깊은 경우, 우심실 거리변환볼륨의 투명도값에 따라 혼합결과가 많은 영향을 받게됨으로써 깊이 관계를 표현할 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 데이터 혼합방법은 관심부위를 추출한 특정 볼륨이 대부분 이진형태를 가지는 기존방법과는 달리 원볼륨과 분할모델 정보를 함께 사용하여 관심부위의 특정 볼륨을 렌더링하고 혼합방법과 혼합비율에 따라 데이터 혼합 결과를 제시함으로써 보다 질 좋은 결과영상 생성이 가능하며, 다중 볼륨 간의 상대적 관계와 깊이 관계 파악이 용이하다.

6. 결론 및 향후연구방향

본 논문에서는 특정 볼륨을 표면수준에 따라 선택적으로 빠르게 가시화하는 선택적 렌더링방법과 볼륨적 요소와 볼륨적 요소를 혼합하는 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법을 제안하였다. 특정 볼륨을 위한 선택적 렌더링방법은 관심부위를 구성하는 외곽선으로부터 최소 거리를 결정하는 거리변환을 통하여 거리변환볼륨을 생성하고 이를 렌더링하는 방법이며, 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법은 명암도 가중치 방법, 볼투명도 가중치 방법, 깊이 정보를 고려한 볼투명도 가중치 방법을 이용하여 여러 개의 볼륨을 동일 공간 상에 혼합하는 방법이다.

본 논문에서 제안한 특정 볼륨을 위한 선택적 렌더링 방법을 사용함으로써 원볼륨으로부터 관심부위의 특정 표면만을 추출하여 가시화할 수 있었으며, 분할모델 구성시 발생하는 근사치 오류를 감소시킬 수 있었고, 분할 모델의 표면 형태에 직접 볼륨렌더링 방법을 적용함으로써 동일한 실제감을 가질 수 있었으며, 거리변환볼륨을 사용함으로써 가시화 시간을 가속화시킬 수 있었다. 또한 다중 볼륨을 위한 데이터 혼합방법은 단일 볼륨의 한계를 극복하여 복잡한 형태와 상대적 관계를 동일 공간에 효과적으로 나타낼 수 있었다. 향후 연구로는 계층적 자료구조를 사용한 렌더링 방법과 선택적 렌더링 방법과의 가시화 속도 비교가 이루어져야 하며, 다중 볼륨들 간의 정확한 깊이 관계를 표현하기 위한 방법 개선이 이루어져야 한다.

참 고 문 헌

[1] William E.L., Harvey E.C., "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm," Computer Graphics, Vol. 21, No. 4, July, 1987.

- [2] Marc L., "Volume Rendering Display of Surfaces from Volume Data," IEEE Computer Graphics & Applications, May, 1988.
- [3] Helen H., Jung-Jin K., Myoung-Hee K., "A Medical Telediagnosis Support System for Orthopedic Deformity Analysis," '99 SCS Western Multiconference - Medical Sciences Simulation, Jan., 1999.
- [4] Arie K., Roni Y., Daniel C., "Intermixing Surface and Volume Rendering, 3D Imaging in Medicine: Algorithms, Systems, Applications," K.H.Hoehne, H.Fuchs, S.M.Pizer, Eds., Springer-Verlag, Berlin, pp. 217-227, 1990.
- [5] Martin F., "Combining Volume Rendering with Line and Surface Rendering," EUROGRAPHICS'91 Proceedings, pp. 21-32, 1991.
- [6] Marc L., "Efficient Ray Tracing of Volume Data," ACM Transactions on Graphics, Vol. 9, No. 3, pp.245-261, 1990.
- [7] Subramanian K.R., Fussel D.S., "Applying Space Division Techniques to Volume Rendering," Proceedings Visualization'90, IEEE Computer Society Press, Los Alamitos, California, pp. 150-159, 1990.
- [8] Wilhelms, J., Van Gelder A., "Octrees for Faster Isosurface Generation," Computer Graphics, San Diego Workshop on Volume Visualization, Vol. 25, No. 5, pp.57-62, 1990.
- [9] Rober A.D., Loren C., Pat H., "Volume Rendering," Computer Graphics, Vol. 22, No. 4, pp. 65-74, Aug. 1988.
- [10] Jaeq J.R., "A Direct Multi-Volume Rendering Methods Aiming at Comparison of 3D Images and Methods," IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, Vol. 1, No. 1, pp. 30-43, 1997.
- [11] Min C., Adrian L., "Parallel Multi-Volume Rendering on Distributed Memory Architecture," First Eurographics Workshop on Parallel Graphics and Visualization, Bristol, pp. 173-187, 1996.
- [12] Min C., John V.T., Adrian L., "CROVE-A Rendering System for Constructive Representations of Volumetric Environments," International Workshop on Volume Graphics, Swansea, pp. 275-294, 1999.
- [13] Wenli C., Georgios S., "Data Intermixing and Multi-Volume Rendering," Proceedings of 1998 EUROGRAPHICS, Aug., 1998.
- [14] 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, 1988.



홍 헬렌

1994년 이화여자대학교 전자계산학과 이학사. 1996년 이화여자대학교 전자계산학과 이학석사. 1996년 ~ 현재 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사과정. 관심분야는 영상가시화 및 시뮬레이션



김 명희

1979년 서울대학교 계산통계학과 석사. 1986년 독일 괴팅겐대학교 전자계산학과 박사. 1987년 ~ 현재 이화여자대학교 컴퓨터학과 교수. 관심분야는 영상가시화, 시뮬레이션 및 가상현실