

그래픽 하드웨어기반의 3차원 질감을 사용한 볼륨 데이터의 3차원 객체 경계 가시화

김홍재[†], 최흥국^{**}

요 약

본 논문에서는 영상 볼륨 데이터의 내부 3차원 객체들을 표현하기 위하여 색상 전이함수와 불투명도 전이함수를 사용하였다. 대체로 전이함수에서 경계부분이 만나는 지점의 값 설정이 모호하므로 볼륨 렌더링의 대상이 되는 시각 객체를 구분하기 위하여 영상이 가지는 특징들과 각 객체들 사이의 분할방법으로 객체 경계의 특징값 추출에 역점을 두었다. 따라서 공간상의 영상 기울기 특징 값을 추출하였으며 GPU의 효율을 증대시켜서 다차원 전이함수를 생성하였다. 그러므로 이 함수들을 그래픽 하드웨어 기반에 3차원 질감사상의 객체 경계 가시화 방법을 수행함으로써 좋은 연구결과를 얻게 되었다.

Graphic Hardware Based Visualization of Three Dimensional Object Boundaries in Volume Data Set Using Three Dimensional Textures

Hong-Jae Kim[†], Heung-Kook Choi^{**}

ABSTRACT

In this paper, we used the color transfer function and the opacity transfer function for the internal 3D object visualization of an image volume data. In transfer function, creating values of between boundaries generally is ambiguous. We concentrated to extract boundary features for segmenting the visual volume rendering objects. Consequently we extracted an image gradient feature in spatial domain and created a multi-dimensional transfer function according to the GPU efficient improvement. Finally using these functions we obtained a good research result as an implementing object boundary visualization of the graphic hardware based 3D texture mapping.

Key words: Volume Data(볼륨데이터), Transfer Function(전이함수), Visual Object(시각객체), GPU, 3D Texture Mapping(3차원 질감사상)

1. 서 론

전형적인 모델링 기법에서 3차원 객체표현 방법은 주로 다각형 방식으로 구성되어져 왔다. 또한, 3차원 객체를 구성하는 각각의 다각형에 표면의 속성인 색상, 투명도, 법선벡터, 밀도 등의 값과 함께 그림자(shadow), 흐림(blurry), 조명(lightning) 등과 같은 셰이더(shader) 기법을 적용함으로써 최종결과 영상물

의 질적 향상을 도모했다. 그러나 이러한 표현은 표면의 성질만을 가지고 구축하기 때문에, 객체 내부의 또 다른 객체에 대한 표현 방법으로는 적절하지가 못하다. 즉, 내부의 특정 부위에 대한 관찰이 거의 불가능하다는 것이다[1].

이와 상반되는 개념으로 볼륨 렌더링이 있다. 볼륨 렌더링은 정규 격자 또는 비구조적 격자의 공간상의 위치/스칼라/벡터 등의 데이터를 통해 표면뿐만

※ 교신저자(Corresponding Author): 최흥국, 주소: 경남 김해시 어방동 607번지, 전화: 055)320-3643, FAX: 055)322-3107, E-mail: cschk@inje.ac.kr

접수일: 2007년 8월 28일, 완료일: 2008년 4월 4일

[†]인제대학교 의료영상과학과

(E-mail: hjkim@gmail.com)

^{**} 종신회원, 인제대학교 컴퓨터공학부, 의료영상과학과, 유비쿼터스 헬스케어 연구센터

※ 본 연구는 2005년도 인제대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음

아니라 내부 객체들의 상태 및 밀도 등의 특징값 관찰이 가능하다. 이러한 볼륨 렌더링에 필요한 볼륨 데이터들은 그 정보량이 큰 것이 특징이며 어떠한 목적을 가지고 렌더링을 하느냐에 따라서 부수적인 데이터들의 발생과 기억장치 접근정도가 결정되어 지므로 많은 하드웨어 자원인 대용량 데이터를 위한 저장 공간과 병렬처리 기법이 가능한 레지스터 명령어 집셋 등이 요구되어진다.

초기 볼륨 렌더링 기술은 볼륨 데이터들이 가지는 특성으로, 주로 대용량 데이터를 처리할 수 있는 워크스테이션이나, 전용 그래픽스 처리서버 혹은 분산 처리 컴퓨팅에서만 적용되어져 왔고, 이후 볼륨 렌더링의 지속적인 연구들이 범용 컴퓨터 하드웨어의 성능 발전과 접목함으로써 최근에는 개인용 컴퓨터 상에서도 볼륨 렌더링을 수행할 수 있게 되었다. 하지만, 대용량 처리에 대한 하드웨어적인 문제점은 아직도 제시되고 있다. 그 활용분야는 의료영상처리, 유체역학, 지질학, 대기학 분야 등에서 사용되어지고 있다. 특히 의료분야에서는 자기 공명 장치(MRI) 또는 컴퓨터 단층 촬영기(CT)와 같은 의료영상 스캐너로부터 인체 내부 장기의 영상을 3차원 배열로 나타내어 진단에 필요한 특징 값을 전이함수로 표현한 뒤에 3차원 재구성을 통하여 질병과 질환 등을 판독하는데 응용되었다. 최근 의료영상 스캐너의 해상도와 의료영상의 전산화 진행에 따라 진료기관에서의 의료영상 3차원 볼륨 가시화의 판독 활용도는 일반화의 단계에 있다.

볼륨 렌더링에 사용되어지는 볼륨 데이터들은 색상과 투명도와 같은 광학적 전이함수를 대입함으로써 볼륨 데이터의 내부 객체들을 구분할 수 있다. 특히 OTF(OTF: opacity transfer function)는 볼륨 데이터 내부의 객체를 가시화하기 위한 수단으로서 사용되어지고 있다[2]. 그러나 볼륨 렌더링의 대상이 되는 객체를 구분하는 CTF(CTF: color transfer function)와 OTF의 값을 규정 짓기는 매우 어렵다. 이를 위해서는 각 객체들만이 가지는 특징값 추출이 중요하다. 본 연구에서는 이러한 객체들이 가지는 특징 값을 영상 기술기반을 통하여 구한 뒤에 그래픽 하드웨어 기반의 질감 형식으로 다차원 전이함수를 생성하여 사용자 임의의 객체 분류가 가능하도록 하였다. 이를 통한 뚜렷한 결과를 3차원 가시화를 통하여 증명하였다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 연구배경과 최근 수행되어지고 있는 관련연구에 대한 그래픽 하드웨어 텍스처 기반의 볼륨 가시화와 전이함수에 대해 살펴보았다. 3장에서는 제안하고자하는 영상 기술기 기반의 다차원 전이함수와 그래픽 하드웨어 상에서의 3차원 절편을 다루었으며, 4장에서는 실험 및 볼륨 렌더링 결과를 제시하였으며, 5장에서는 결론으로 끝을 맺었다.

2. 연구배경 및 관련연구

2.1 질감 기반의 볼륨 가시화

1987년 IBM이 VGA(Video Graphics Array)라는 하드웨어를 소개한 후 최근의 범용 그래픽스 하드웨어까지를 총 4세대로써 구분하였다. 범용 컴퓨터 하드웨어의 기술적인 개발에 힘입어 제 4세대는 기존의 1, 2, 3세대와는 달리 정점 수준과 화소 수준의 프로그래밍 가능성을 제공했다. 즉, 복잡한 정점 변환과 화소 셰이딩 연산들을 CPU로부터 GPU(Graphics Processing Unit)로 이양하는 가능성을 열었고, OpenGL과 DirectX와 같은 3D API의 확장성을 제공받음으로써 GPU에서의 정점수준과 화소 수준에서의 프로그래밍 가능성을 제공받았으며, 저수준(low-level) 언어로써만 제공되어지던 정점, 화소 수준의 프로그래밍을 최근에는 고수준(high-level) 언어로의 탈바꿈으로 인해 프로그램의 용이성을 제시하고 있는 실정이다[3,4]. 본 논문에서는 이러한 GPU의 특징과 함께 고수준 언어를 사용하여 그래픽 하드웨어의 기능별 레지스터들을 프로그래밍 함으로써, 볼륨 렌더링 파이프라인에 그래픽 하드웨어의 가속화 알고리즘을 제안한다 (그림. 1).

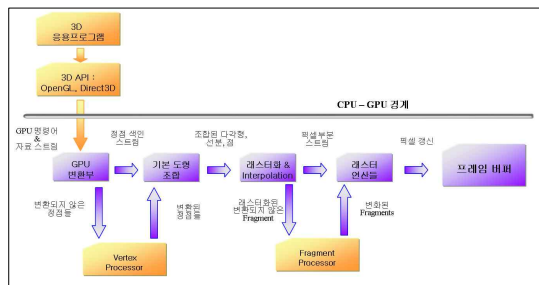


그림 1. 볼륨 렌더링 파이프라인

이러한 GPU의 가속화로 인하여 GPU에 자리 잡고 있는 각종 버퍼들과 2차원과 3차원 질감기법 그리고 정점 셰이더(vertex shader), 단편 셰이더(fragment shader)에 대해 프로그램을 작성함으로써 CPU의 부하를 줄일 수 있는 방법이 개발되어졌다[5-9]. 또한 Kai Xie[10] 등은 볼륨데이터가 고용량 데이터임을 감안하여 볼륨데이터를 웨이브렛 압축 기법으로 압축한 뒤 GPU 기억장치에 올려서 3차원 볼륨을 가시화 하였다. 프로그램이 가능한 GPU 가속화가 가능 하면서 볼륨 렌더링 또한 기존의 파이프라인에 약간의 변화가 생겼는데 기존의 CPU에 전적으로 의존해야 했던 색상 및 불투명 등의 광학적 속성을 계산하는 파이프라인을 GPU 파이프라인으로 넘길 수 있다는 것이다. 볼륨 데이터를 전처리 하거나 원본 데이터를 GPU 기억장치 안에 2차원 또는 3차원 질감 형식의 데이터를 구성하여 1차원 전이함수 또는 다차원 전이함수와 함께 3차원 공간상의 객체에 질감을 사상함으로써 3차원 가시화가 가능하다는 것이다.

2차원 질감 사상기법은 그림 2에서 볼 수 있듯이 한 방향으로의 객체정렬 절편(object-aligned slices) 기법이다. 즉 볼륨 데이터를 2차원 질감으로 나타내고 데이터의 순서와 동일하게 다각형 객체를 형성하고, 각 다각형에 2 차원 질감을 순서에 맞게 사상하는 기법이다. 이는 시각 축의 회전에 따라 다각형 객체를 회전하여야 하는데 각 시각 축에 변화에 따른 다른 영상을 준비해야하고 2차 선형 보간법이 적용되는 단점을 가지는 반면, 3차원 질감 기법에 비해 향상된 결과 영상물을 형성한다. 부수적인 기억장치의 필요에 대한 단점을 다각형과 다각형 사이의 중간영상 생성으로 해결할 수는 있으나 그러한 경우 샘플링 비율이 늘어나기 때문에 전반적인 볼륨 가시화의 처리속도 문제가 발생한다.

3차원 질감 사상기법은 2차원 질감 사상기법과 달리 뷰정렬 절편(view-aligned slices) 기법이다. 시각 축을 고정하고 회전변환을 질감 좌표계에 적용한 뒤

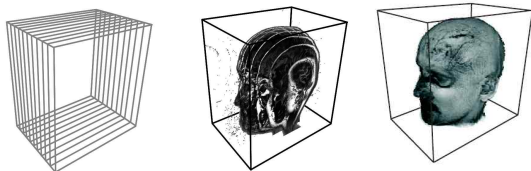


그림 2. 한 방향으로의 객체정렬 절편



그림 3. 질감과의 교차영역에서의 3차원 질감사상

에 시각 축에 일정한 거리만큼 평면 다각형을 형성하게 된다. 변환이 적용된 질감 좌표계의 값을 형성되어진 다각형으로 사상함으로써 또는 반대로 평면 다각형에 회전변환을 적용하고 고정되어져 있는 질감과의 교차 영역을 구함으로써 그림 3에서와 같이 3차원 질감 사상이 이루어진다. 3차원 질감 사상기법은 2차원 질감 사상기법에 비해 기억장치의 추가 비용이 필요하지는 않으나 사상된 최종 영상 결과물의 화질은 2차원 질감 결과 영상물에 비해서 떨어진다.

2.2 전이함수

OTF와 CTF는 볼륨 데이터로부터 자동 혹은 반자동 방식으로 결정되어지는 특징 값에 대한 가상색상 및 투명도 결정에 사용된다. 이러한 전이 함수는 다시 색상 전이 함수와 투명도 전이함수로 나뉘며 각각 가상색상과 투명도의 값을 조절하는 역할로 아래 수식을 통해 전이 함수식을 확인할 수 있다. 아래 수식(1)에서와 같이 뒤쪽에서 앞쪽으로 그리고 수식(2)에서와 같이 앞쪽에서 뒤쪽으로 각 볼륨 렌더링의 합성(compositing) 방법에 따른 전이 함수식을 확인할 수 있다.

Case 1: Back to Front Compositing (1)

$$C_{dst}' = (1 - \alpha_{src})C_{dst} + C_{src}$$

Case 2: Front to Back Compositing (2)

$$C_{dst}' = C_{dst} + (1 - \alpha_{dst})C_{src}$$

$$\alpha_{dst}' = \alpha_{dst} + (1 - \alpha_{dst})\alpha_{src}$$

C_{dst}' : 레이가 샘플복셀을 만난후의 누적색상

C_{dst} : 레이가 샘플복셀을 만나기 전의 누적색상

C_{src} : 샘플색상

α_{src} : 샘플복셀의 투명도

α_{dst}' : 레이가 샘플복셀을 만난후의 투명도

α_{dst} : 레이가 샘플복셀을 만나기 전의 투명도

볼륨 데이터의 경우 렌더링에 필요한 스칼라 데이터를 제공한다. 하지만 전이 함수를 통해 가상 표면이나 색상 그리고 투명도를 설정하지 않는다면 3차원 가시화의 의미가 전혀 없으므로 볼륨 렌더링의 가시화에 전이함수가 차지하는 비율은 매우 크다. 또한 볼륨 데이터에 대한 전이 함수가 가져야 되는 특징 값들이 매우 다르기 때문에 전이 함수의 선택이 매우 어려운 것이 사실이다.

2.2.1 1차원 전이함수

볼륨 렌더링을 위해 사용되어진 초기 전이 함수는 주로 1차원으로 구성되어 있다. 예를 들어, CT, MRI 같은 영상에서 공기(air), 연조직(soft tissue), 경조직(hard tissue)등을 보기 위해 히스토그램을 참고하여 그 부분에 대한 가상색상을 정하며 깊이 값에 따라서 투명도의 값을 변화시켜 3차원 볼륨 가시화를 한다. 하지만 앞서 논하였듯이 볼륨 데이터의 특성에 따라 전이함수의 선택은 매우 어렵다. 이러한 시행착오를 극복하기 위해 볼륨 데이터로부터 자동으로 관심 영역을 추출하는 1차원 전이 함수들이 제시되어졌다. 그중 대표적인 것으로 데이터 중심(data centric) 기법과 영상 중심(image centric) 기법이 있다. 데이터 중심 기법을 제시하였던 Bajaj[11,12] 등은 윤곽 스펙트럼을 사용하여 관심 데이터를 뽑아 가상 외곽선을 생성한 뒤에 이를 가시화 하였다. 영상 중심 기법을 제시하였던 He[13] 등은 영상의 엔트로피와 분산과 같은 영상 특징 값을 사용하여 1차원 전이 함수를 작성하였다. 영상 중심 기법의 경우 결과 영상물은 질적으로 높은 결과를 가지지만, 영상내의 어떠한 특징 값을 선택해야 하는지에 대한 단점이 있다. Marks[14] 등은 작성되어질 수 있는 모든 1차원 전이함수에 대한 결과물을 사용자로부터 입력 받도록 하였다. 이 경우 사용자에게 다양한 결과 영상을 제공하여 영상 선택의 폭을 넓히는 사용자 편의성은 있으나 모든 입력범위의 증가로 인한 경우수 증가로 그 결과 영상물의 시간 복잡도는 늘어나게 된다.

2.2.2 다차원 전이함수

다차원 전이함수는 원본 데이터에 여러 가지의 차원을 두어 뽑고자 하는 특징 값의 제한을 두게 하는 함수로써, 1차원 함수보다 결과 영상물의 질은 매우 높다. 하지만, 차원의 인자 값을 구성하는 방식에 따

라서 차원 수만큼의 계산 복잡도가 늘어나는 단점이 있다. Hladuvka 등은 두 객체 사이의 곡률이 틀리다는 점을 착안하여 2차원 곡률 전이함수를 생성하여 서로 다른 객체들의 곡률에 따른 서로 다른 색상을 사상 하였으며[15], Kindlmann 등은 이러한 2차원 곡률 전이함수를 기반으로 향상된 다차원 곡률 전이함수를 생성하여 곡선부분에 대한 두께 설정으로 경계에 대한 향상된 강조 영상을 제시하였다[16].

3. 제안된 방법론

3.1 3차원 객체 경계추출

3.1.1 객체의 경계

영상분할 알고리즘은 일반적으로 명암도의 두 가지 기본 성질인 불연속성 또는 유사성 중 하나를 기반으로 한다. 첫 번째 불연속성을 기반으로 한 방법은 영상의 윤곽선과 같은 명암도의 급격한 변화를 기반으로 하여 영상을 분할하는 것이며, 두 번째 유사성을 기반으로 한 중요한 방법들은 미리 정의된 특성에 따라서 유사한 영역들로 영상분할 작업에 기초를 둔다. 이와 같은 속성들로 인해 이상적인 경계 부분은 각 명암도에 따른 각각의 변화율을 가지는 부분이라고 할 수 있다[17].

3.1.2 지역 최소 최대 기울기 다차원 전이함수

본 연구에서 제안하는 LMMG (Local Min-Max Gradient) 알고리즘은 볼륨 데이터의 원본 값과 기울기 값의 비교연산을 통하여 색상과 불투명도를 입력할 수 있는 참조 테이블을 구성할 수가 있다. LMMG 알고리즘의 중요요소는 비슷한 밝기 값을 가지는 부위는 기울기 값이 현저하게 작고, 경계부분 같이 돌출부분이 있는 곳에서는 기울기 값이 크다는 점이다. 또한, 이를 응용하여 원본 데이터와 지역적 영상 기울기와의 값 대조를 통하여 원본 데이터의 지역적 변화율을 작성할 수가 있다. 이를 바탕으로 제안하는 LMMG 알고리즘은 크게 두 부분으로 나뉜다. 전체 볼륨 데이터에서 샘플링 하고자 하는 공간상의 좌표에 최근접 영역의 기울기 값이 작으면 복셀의 입력 값과 같은 위치에 다차원 참조 전이함수의 값을 증가시키고, 그렇지 않을 경우 최근접 영역에서 복셀의 최소 최대 값을 위치 정보 값으로 변환시켜 다차원 참조 전이함수의 값을 증가 시킨다. 그림 4에서는 제

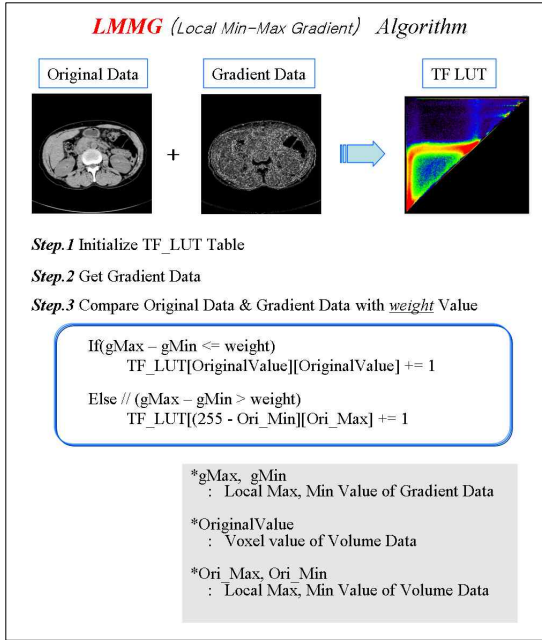


그림 4. LMMG 알고리즘

안하는 LMMG 알고리즘을 시각화 시켰다. 이를 구체적으로 살펴보면 첫 번째로 LMMG 다차원 전이함수를 색상(RGB)값과 불투명도(alpha)값을 가지는 2차원 참조 전이함수(TF_LUT) 로의 자료구조로 구성하고 초기화를 시켰다. 본 연구에서는 기본 값으로 검정색(RGB=0,0,0)과 불투명도 0%로 설정하였다(Step. 1). 두 번째로 볼륨 데이터 값을 사용하여 데이터의 기울기 값을 구한다(Step. 2). 세 번째로 볼륨 데이터와 기울기 데이터와의 영상을 특정 조건에 비교하여 2차원 전이함수의 값을 증가 시킨다(Step. 3). 이때 사용되어지는 특정 조건인 가중치(weight) 값은 기울기 값의 민감도를 감소시켜 잡음에 둔감하게 하도록 하기위해 사용되어졌다. 이렇게 생성되어진 2차원 참조 전이함수를 빈도수에 따른 가상색상을 사상함으로써 LMMG의 구성을 끝낸다.

본 연구에서 제안한 LMMG 알고리즘은 특정 값에 대한 기울기 변화율을 참조 전이함수로 가시화 시켰고 원본 볼륨 데이터와 기울기 데이터, 그리고 2차원 참조 테이블들의 값들을 GPU상에서 융합하였으며, 특정 범위에 대한 기울기 데이터 값만을 볼 수 있는 장점이 있다.

제안하는 LMMG 알고리즘을 다시 정리하면 다음과 같다. 볼륨 데이터를 구성하는 각각의 복셀 값들

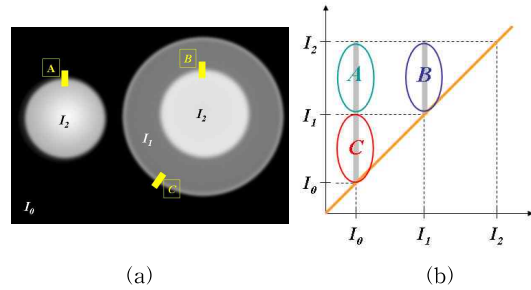


그림 5. 영상 기울기를 통한 2차원 전이함수; (a) 2차원에서 영상 기울기 영역, (b) 영상 기울기 전이함수

의 불연속적인 부분을 영상의 기울기 값으로 계산한 후에 원본 데이터와의 최소근접 지역과의 비교 값을 통하여 2차원 참조 전이함수를 생성하여 사용자로부터 반자동으로 관심 영역의 입력을 받을 수 있게끔 한 것이다. 그림 5에서 이를 자세히 살펴 볼 수가 있다. 밝기 값이 I_0, I_1, I_2 세 가지가 있고 각각의 밝기 값이 $I_0 < I_1 < I_2$ 으로 구성되어져 있다면 A 영역에 대한 변환은 I_0 에서 I_2 로, B 영역에 대한 변화는 I_1 에서 I_2 로, C 영역에 대한 변화는 I_0 에서 I_1 으로 변환되는 것을 알 수 있다(그림. 5(a)). 이러한 경계선이 가지는 특정 값을 통하여 그림 5(b)와 같은 2차원 참조 전이함수를 구성하였다.

그림 6에서는 위에서 제안한 다차원전이함수를 엔진블럭 영상에 적용한 결과이다. 그림 6-b의 경우는 (A)에서 (B)로 변화되는 부분을(붉은색), 그림 6(c)의 경우는 (B)에서 (C)로(주황색), 그리고 그림 6(d)의 경우는 (C)에서 (A)로 변화되는 경계부분(파랑색)을 가시화 한 것이다.

3.2 GLSL 기반의 볼륨 가시화

볼륨 데이터의 가시화를 위해서 볼륨 데이터의 관심 특정 값을 분류해야 한다면 관측평면 속에서 시각축에 수직인 평면 다각형에 해당 특정 값을 사상시킴으로써 가시화의 전체적인 파이프라인이 끝난다. 3차원 질감 사상기법은 3차원 질감이 그려지는 공간을 시각축에 수직인 평면 다각형에 사상을 하는 기법이라 앞서 논하였다. 구체적으로 논하면, 회전 등과 같은 공간적 변형을 3차원 질감에 적용하고 적용되어진 3차원 질감의 각 질감 복셀과 시각축에 수직인 평면 다각형 사이의 교차 지점을 찾아 사상을 시키거나 그 반대로 3차원 질감을 고정시키고 임의의

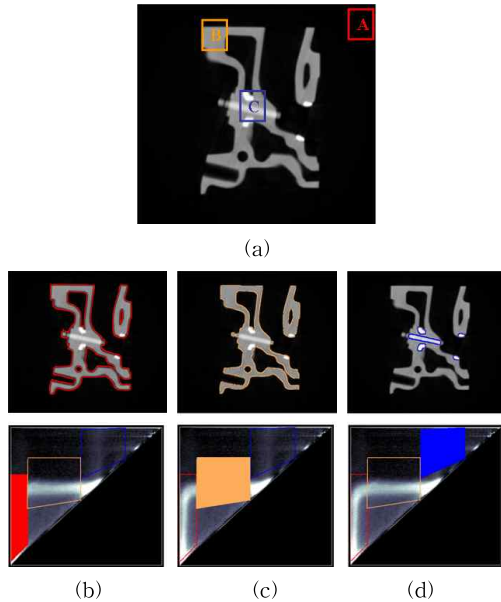


그림 6. 제안된 알고리즘에 의한 영상 가시화; (b) A에서 B로 변화된 경계부분, (c) B에서 C로 변화된 경계부분, (d) C에서 A로 변화된 경계부분

평면 다각형을 공간적 변형을 시킨 뒤에 텍셀(texture element)과의 교차지점을 찾아 다시 시각 축에 수직인 평면 다각형에 사상을 시키는 기법이다.

따라서 3차원 질감의 텍셀 값을 CPU 또는 GPU로부터 얻어 오고 시각 축에 수직인 평면 다각형은 질감이 그려지지 않는 부위에 대해서는 잘라냄으로써 나머지 부분은 텍셀로 채우게 된다. 하지만 이러한 기법은 텍셀로 채워질 다각형의 내부를 복잡한 계산과 더불어 CPU에 전적으로 의존하게 된다 [1,18,19].

본 연구에서는 CPU에 의존적인 3차원 절편 방법으로 발생되어지는 CPU의 계산적인 비용을 줄이기 위해 GLSL(OpenGL Shader Language)을 사용한 3차원 절편 기법을 사용하였다. 이 방식은 GLSL상에서 잘려지는 평면 객체를 관리하는 정점 셰이더 그리고 모니터에 뿌려질 색상 버퍼의 값을 결정하는 단편 셰이더만으로도 구성이 가능하며 시각행렬과 질감이 그려지는 공간을 구분하는 꼭지점 및 경계선을 통해 계산되어지는 기존의 복잡한 수식과는 달리 질감에 대한 회전 변환 행렬만을 입력 값으로 가지게 되므로 계산 복잡도를 줄일 수가 있었다. 이러한 GLSL 기반의 볼륨 가시화 파이프라인을 그림 7에 나타내었다.

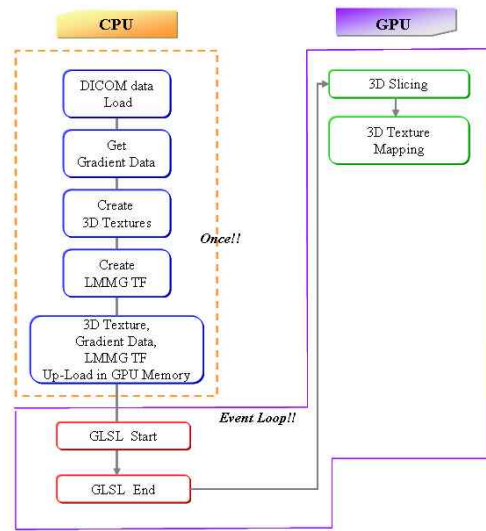


그림 7. GLSL을 기반한 볼륨 가시화 파이프라인

4. 실험 및 결과

4.1 실험 환경 및 재료

소프트웨어의 개발 환경은 Window XP Pro.에서 Intel P4 3.0GHz 프로세서와 1G 기억장치 NVIDIA Geforce 6600 그래픽 카드를 가진 컴퓨터에서 이루어졌다. 개발 언어로는 Visual Studio .Net ver.7.1에서 MFC와 OpenGL(version 2.1) 그리고 OpenGL 셰이딩 언어를 사용하여 구현하였다. 그리고 본 실험에서는 2차원으로 구성된 두가지 시리즈 의료영상 데이터들을 볼륨데이터로 재구성하였으며 부수적인 볼륨 데이터가 필요하지 않은 그래픽 하드웨어의 3차원 질감 사용과 함께 영상기울기의 다차원 전이함수 알고리즘을 적용하였다. 그리고 제안하는 알고리즘을 적용하기 위하여 본 연구에서는 2차원 격자데이터로 이루어진 의료영상데이터(DICOM: Digital Imaging and Communication in Medicine)를 사용하였다 (표 1). 본 연구에서는 시리즈별로 구성되어

표 1. DICOM 영상 실험 데이터

이름	사이즈	영상종류	가중치	TF No.
엔진	256×256×256	CT	0	2
머리	256×256×256	CT	0	3
폐	512×512× 70	CT	0	4
뇌	256×256×256	MR	40	2
췌	512×512×512	MR	75	2

진 10여 종의 DICOM 데이터들을 제안하는 알고리즘에 적용 3차원 볼륨 가시화를 실행하였다. 표 1에서는 실험에서 사용된 DICOM 데이터들 중에서 다섯 종의 DICOM 데이터들에 대한 정보들을 나타내었다.

4.2 결과

그림 8의 좌측 그림들은 배경과 객체를 분할한 결과 그림들이며 그림 8의 중앙 그림들은 제안된 결과

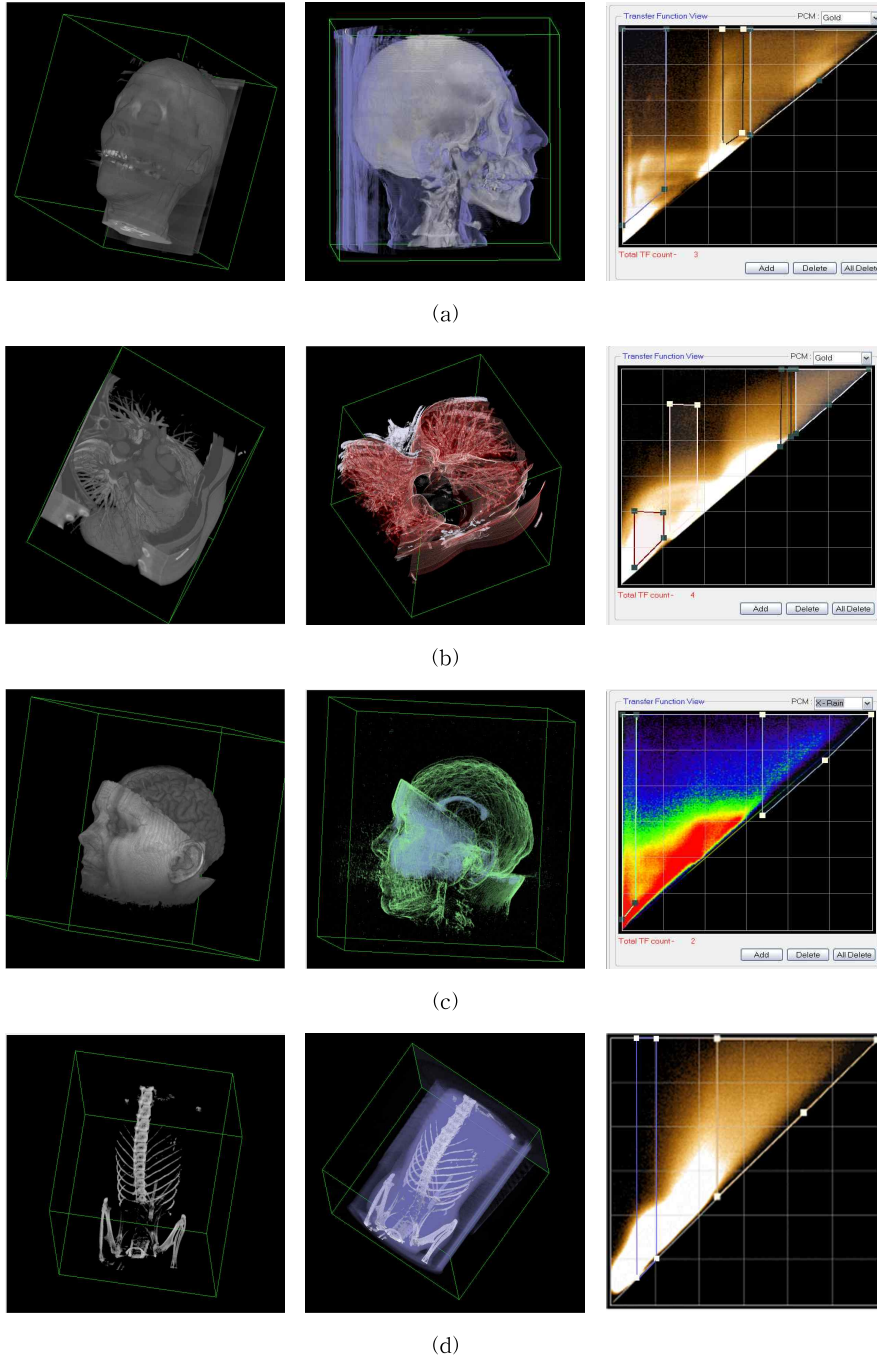


그림 8. (a) 머리 CT, (b) 폐 CT, (c) 뇌 MRI, (d) 쥐 MRI의 3D 가시화

영상들이다. 그림 8의 우측 그림들은 전이함수를 통하여 지역 영역부분을 구분하였다. 그림 8(a)는 12비트의 머리 영상이다. LMMG로부터 뼈에 대한 색상 및 투명도 속성 값을 설정하였으나, 동일 정보를 설정하는 이유 때문에 영상의 굴곡이 없어 보이지만, LMMG에서 뼈를 나타내는 부위 옆에 전이함수를 생성하고 색상을 검은색으로 다시 설정함으로써 문제점을 해결하였다. 즉, 셰이더와 같은 복잡한 계산을 하지 않고서도 경계선이 가지는 특징만으로써 굴곡 및 음영의 처리를 할 수 있음을 확인하였다. 그림 8(b)은 16Bit로 구성된 폐 CT 영상이다. 폐와 폐 속의 혈관부분을 가시화 한 영상이다. 그림 8(c)와 (d)는 각각 16 비트의 MR 영상이다. MR의 경우 CT영상과는 다르게 LMMG의 적용시 각각의 값에 따른 기울기 변화율이 뚜렷하지 않는데 그것은 MR 영상이 CT영상과 비교시 유사 값들이 영역부위가 잘 나타나지 않다는 것이다. 즉, CT의 경우 경조직의 잠음현상이나 연조직 등을 나타내는 값들은 동일하거나 매우 유사하지만 MR의 경우는 그렇지 못하다. 그래서 LMMG 기법의 사용시 가중치 값을 따로 설정하여, 특징 값의 범위를 가중치 값으로 축소시키게끔 한 것이다. 이러한 이유로 그림 8(c)과 그림 8(d)의 경우 40와 75의 가중치 값으로 각각의 특징 값들의 유사영역을 넓혔으며 볼륨 렌더링의 결과물을 가시화를 통하여 제안된 알고리즘의 좋은 결과 영상을 확인 하였다.

5. 결 론

볼륨 렌더링은 3차원 공간상의 의미있는 데이터들의 집합체들을 시각 축에 수직인 2차원 평면에 투영시키는 방법이다. 그리고 볼륨 렌더링의 지속적인 연구들이 범용 컴퓨터 하드웨어의 성능 발전과 접목함으로써 개인 컴퓨터상에서도 볼륨 렌더링을 수행할 수 있게 되었다. Kindlmann 등은 볼륨 데이터의 값을 1, 2차 미분 값으로 풀이하여 2차원 히스토그램 전이함수로 구성하여 인위적 현상인 흐림 현상을 경계부분 강화로 결과영상의 질을 향상시켰다[20]. Bergner 등은 전이함수에서 광원의 정보와 재질사이의 상관관계를 통해 볼륨을 가시화하였으며[21], Kniss 등은 Kindlmann이 제안한 내용을 더욱 발전시켜 볼륨 데이터의 1, 2차 미분 값과 분류장치를 사용하여 색상과 투명도를 같이 계산하도록 하여 3차

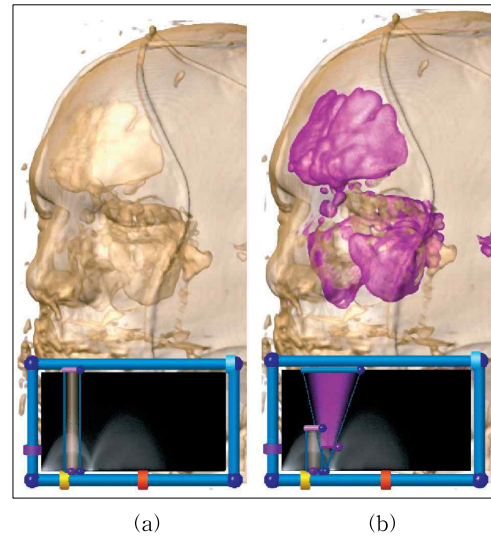


그림 9. (a) 1차원 전이함수 및 (b) 2차원 전이함수를 이용한 앞머리부분의 상악골[22]

원으로 시각화를 시켰다[22]. 아래 그림 9에서 보여 주듯이 Kniss의 경우 특정 객체의 1, 2차 미분을 통해 경계부분에 대한 강조 값을 획득하여 그 값을 기준으로 분류 값을 생성할 수가 있는데, 2차 전이함수에서 두개의 경계부분이 만나는 지점에 대한 특정 값 설정이 모호하다는 단점이 있다.

그러므로 영상기울기를 사용하여 다차원 전이함수의 경우 전처리 과정을 어떻게 하느냐에 따라서 그 값의 변화가 매우 다르게 나타나는 것과 사용자로부터 반자동의 값을 입력 받아드려야 하는 문제점을 가지고는 있다. 그러나 영상기울기 기법은 사용자의 관심 특징 값에 대한 경계변화를 눈으로 쉽게 확인할 수 있으므로 관심영역 추출에 대한 사용자 편의성을 제공하고 그래픽 하드웨어 지원상에서 이루어지므로 소프트웨어 의존적인 기존 방법에 비해 계산 비용을 CPU와 GPU가 나누어 가짐으로써 볼륨 데이터 연산 처리 비용을 낮출 수가 있었다. 볼륨 데이터로부터 의미있는 값을 추출하는 것은 사용자가 값의 의미를 어떻게 두는가에 따라 그 결과는 판이하게 틀려진다. 하지만, 볼륨 렌더링의 특징이 내부 객체의 가시화임을 고려할 때 각 객체들의 경계부분에 대한 가시화 기술은 볼륨 렌더링의 목적에 부합하다고 할 수 있다. 그래서 객체와 객체 사이들의 경계부분 추출을 위해 데이터 값의 유사성과 경계성의 특징을 고려하여 영상을 구성하는 공간상의 각 데이

터 값들과 그 값에 해당하는 지역적 최소 최대 기울기 값을 참조 전이함수로 재구성하여 그래픽 하드웨어 상에서 볼륨 렌더링을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 범용 그래픽 하드웨어를 사용한 볼륨데이터의 3차원 가시화에 그 목적을 두었으며 객체별 경계추출을 위한 다차원 전이함수와 그래픽 하드웨어 상에서의 3차원 질편 및 질감 사상기술을 수행하여 뚜렷한 3차원 객체 가시화를 보여 주게 되었다.

참 고 문 헌

- [1] E. Klaus, M. Hadwiger, J.M Kniss, A.E. Lefohn, C.R. Salama and D. Weiskopf, "Real-Time Volume Graphics," SIGGRAPH, 2004.
- [2] 정동균, 이철희, 신영길, "분할된 볼륨의 가시화에서 객체당 투명도," 한국멀티미디어학회 논문집, 제8권, 제9호 pp. 1239-1247, 2005.
- [3] <http://www.nvidia.com>, 2006.
- [4] R. Fernando and M.J. Kilgard, *The Cg Tutorial: The Definitive Guide to Programmable Real-Time Graphics*, Addison-Wesley Professional Publisher, New York, 2003.
- [5] Y. Heng and L. Gu, "GPU-based Volume Rendering for Medical Image Visualization," Proceedings of the 27th IEEE Engineering in Medicine and Biology, pp. 5145-5148, 2005.
- [6] R. Yagel, D.M. Reed, A. Law, A. Law, P. Shih and N. Shareef, "Hardware Assisted Volume Rendering of Unstructured Grids by Increment Slicing," Proceedings of the 1996 Symposium on Volume Visualization, pp. 55-62, 1996.
- [7] L. Fritz, *Survey-Interactive Diffusion-Based Volume Segmentation using Cg, a High-Level Shading Language*, Vrvis, Vienna, 2006.
- [8] W. Li, K. Mueller and A. Kaufman, "Empty Space Skipping and Occlusion Clipping for Texture-Based Volume Rendering," IEEE VIS 2003, pp. 317-324, 2003.
- [9] K.L. Ma, E.B. Lum and S. Muraki, "Recent Advances in Hardware-Accelerated Volume Rendering," Computers & Graphics, Vol.27, No.5, pp. 725-734, 2003.
- [10] K. Xie, J. Yang and Y.M. Zhu, "Real-Time Rendering of 3D Medical Data Sets," Future Generation Computer Systems, Vol.21, No.4, pp. 573-581, 2005.
- [11] C.L. Bajaj, V. Pascucci and D.R. Schikore, "The Contour Spectrum," Proceedings of the 8th Conference on Visualization '97, pp. 167-173, 1997.
- [12] H. Pfister, B. Lorensen, C. Bajaj, G. Kindlmann, W. Schroeder, L.S. Avila, K. Martin, R. Machiraju and J. Lee, "The Transfer Function Bake-Off," IEEE Computer Graphics and Applications, Vol.21, No.3, pp. 16-22, 2001.
- [13] T. He, L. Hong, A. Kaufman and H. Pfister, "Generation of Transfer Functions with Stochastic Search Techniques," Proceedings of the 7th Conference on Visualization, pp. 1-10, 1996.
- [14] J. Marks, B. Andalman and P.A. Beardsley, "Design Galleries: a General Approach to Setting Parameters for Computer Graphics and Animation," Proceedings of the Conference on Computer graphics and Interactive technique, pp. 389-400, 1997.
- [15] J. Hladuvka, A. Konig and E. Groller, "Curvature-Based Transfer Functions for Direct Volume Rendering," Proceedings of the Spring Conference Computer Graphics, Vol.16, pp. 58-65, 2000.
- [16] G. Kindlmann, R. Whitaker, T. Tasdizen and T. Möller, "Curvature-Based Transfer Functions for Direct Volume Rendering: Methods and Applications," Proceedings of the 14th IEEE Visualization Conference, VIS'03, pp. 513-520, 2003.
- [17] C.R. Gonzalez and E.R. Woods, *Digital Image Processing*, 2nd Ed., Prentice Hall Publisher, New Jersey, 2002.
- [18] B. Cabral, N. Cam and J. Foran, "Accelerated

Volume Rendering and Tomographics Reconstruction Using Texture Mapping Hardware,” Proceedings of the Symposium on Volume Visualizatoion, pp. 91-98, 1994.

- [19] <http://www.java3D.org>, 2006.
- [20] G. Kindlmann and J.W. Durkin, “Semi-Automatic Generation of Transfer Functions for Direct Volume Rendering,” Proceedings of the 1998 IEEE symposium on Volume visualization, VVS’98, pp. 79-86, 1998.
- [21] S. Bergner, T. Möller, M. Tory and M.S. Drew, “A Practical Approach to Spectral Volume Rendering,” IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol.11, No.2, pp. 207-216, 2005.
- [22] J. Kniss, G. Kindlmann and C. Hansen, “Multidimensional Transfer Functions for Interactive Volume Rendering,” IEEE Trans, Visualization and Computer Graphics, Vol.8, No.4, pp. 270-285, 2002.



김 홍 재

2005년 인제대학교 전산학과 학사
2007년 인제대학교 의료영상과
학대학원 공학석사

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 3차원 볼륨렌더링, 의료영상처리 및 분석



최 흥 국

1988년 Linköping Univ. Sweden, B.S.
1990년 Linköping Univ. Sweden, M.S.
1996년 Uppsala Univ. Sweden, Ph.D.
1997년~현재 인제대학교 컴퓨터

공학부 부교수
2007년 한국멀티미디어학회 부회장
관심분야 : 멀티미디어, 컴퓨터 그래픽스, 영상처리 및 분석