

스마트 기기용 의료 콘텐츠를 위한 영상 가시화 시스템

권구주[†], 강동수^{**}, 고영인^{***}, 신병석^{****}

요 약

3차원 볼륨렌더링 방법은 인체의 외형뿐만 아니라 내부의 모습도 투과하여 보여줄 수 있기 때문에 의료영상 분야에서 널리 사용된다. 기존의 의료영상 장비는 볼륨렌더링 방법을 이용하여 다양한 3차원 영상을 제공하고 있다. 최근 의료영상 분야에서는 휴대성의 장점을 가진 스마트 기기를 도입함으로써 기존 의료영상 분야의 결과물을 의사와 환자들 사이에서 소통이 원활하게 하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 논문에서는 비교적 저 사양인 휴대용 스마트 기기에서 3차원 볼륨데이터를 가시화하기 위하여 2차원 텍스처를 활용하는 방법을 제안하고 다양한 2차원, 3차원 진단영상을 제공하는 휴대용 의료영상 가시화 시스템을 제안한다.

Medical Contents Visualization System for Smart Device

Koojoo Kwon[†], Dong-Su Kang^{**}, Youngihn Kho^{***}, Byeong-Seok Shin^{****}

ABSTRACT

Three-dimensional volume rendering method which shows the inside of human body is widely used in medical imaging area. Existing medical imaging system using a volume rendering method already has provided a variety of three-dimensional results. Recently existing results in the medical imaging among physicians and patients to facilitate communication have been studied since smart device which has advantage of portability applied in the medical imaging. In this paper, we propose 3D volume visualization system for a relatively low spec portable smart devices by using 2D textures and we also implements 2D diagnostic images of portable medical imaging visualization system.

Key words: Mobile device(휴대용 기기), Smart device(스마트 기기), Volume rendering(볼륨렌더링), Medical Imaging(의료 영상)

1. 서 론

의료영상 가시화 방법은 CT, MRI 그리고 초음파 등의 의료장비에서 획득한 다수의 영상을 종합하여 하나의 영상으로 재구성하는 것을 말한다. 이 과정에서 2차원 및 3차원 영상으로 재구성 할 수 있으며, 3차원 의료영상을 생성하기 위하여 2차원 영상들을

순차적으로 쌓아 볼륨데이터로 가공하고 볼륨 광선 투사법을 이용하여 영상을 생성한다.

최근 그래픽 가속기의 발전으로 3차원 대용량 볼륨 데이터에 대한 실시간 렌더링이 가능하게 되었다. 그리고 스마트폰과 태블릿 PC같은 휴대 장치가 보급되면서 모바일 환경에서의 컴퓨터 그래픽스 연구가 활발히 진행되고 있다. 그러나 제한적인 그래픽스 성

※ 교신저자(Corresponding Author) : 신병석, 주소 : 인천 남구 용현동 253 인하대학교 하이테크센터 1401호(402-751), 전화 : (032) 860-7452, FAX : (032) 872-7454, E-mail : bsshin@inha.ac.kr

접수일 : 2012년 6월 28일, 수정일 : 2012년 9월 5일

완료일 : 2012년 9월 6일

[†] 정회원, 인하대학교 컴퓨터정보공학부 (E-mail : mysofs@hanafos.com)

^{**} 준회원, 인하대학교 컴퓨터정보공학부 (E-mail : gagalchi@msn.com)

^{***} 정회원, 삼성종합기술원 (E-mail : youngihn.kho@samsung.com)

^{****} 정회원, 인하대학교 컴퓨터정보공학부

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 45256-01)

※ 이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

능을 가진 스마트 기기에서의 볼륨 렌더링은 성능 면에서 많은 제약을 갖는다.

휴대용 스마트 기기에 쓰이는 그래픽 칩은 기존의 볼륨 렌더링에서 사용되는 3차원 텍스처 기능을 지원하지 않는다. 따라서 데스크탑 컴퓨터용 그래픽 카드에서 제공하는 삼선형 보간을 사용할 수 없고, 최종 결과 영상의 화질이 저하된다. 그리고 스마트 기기는 SOC(System On a Chip)개념으로 AP(Application Processor)에 중앙처리장치(CPU) 코어와 그래픽코어를 하나의 칩에 넣기 때문에 일반 그래픽처리장치(GPU)와 비교하여 명령어 수 등 현저하게 성능이 떨어지며, 또한 제조사에 따라 제공하는 그래픽스 관련 API(Application Programming Interface)도 차이가 많다. 그리고 스마트 기기에서 사용하는 OpenGL ES는 OpenGL에 비해 많은 기능이 삭제된 버전이다. 따라서 스마트 기기용 의료영상 시스템은 제공하는 기본 자료구조를 활용하고 최소한의 명령어를 이용하여 작성하는 것이 효율적이다.

본 논문에서는 이러한 제한사항을 해결하기 위해 2차원 텍스처 기반 볼륨 렌더링 기법[1,2]을 이용하여 스마트 기기에 적합한 고화질 3차원 영상 가시화 방법을 제안하고, OpenGL ES 2.0을 사용하여 셰이더 기반 볼륨렌더링 방법을 최적화하여 구현하였다. 그리고 3차원 볼륨렌더링 영상뿐만 아니라 3차원 공간의 각 축에 해당하는 단면을 보여주는 다중 축단면 영상(Multi-Planer Re-projection: MPR)과 인접한 여러 장의 단면을 나열하여 보여주는 다중 단면영상(Multi-Slice View: MSV) 기능을 구현하여 휴대용 스마트 기기에서 활용 가능한 의료영상 시스템을 제안한다.

논문의 2장에서는 관련연구를 살펴보고 3장에서는 제안한 시스템의 내용을 설명하고 4장에서 구현 결과를 보이고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련연구

볼륨렌더링은 컴퓨터 그래픽 분야에서 잘 알려진 가시화 방법이다[3,4]. 특히 최근 의료영상과 특수효과를 표현하는 데 많이 사용되고 있으며 좋은 결과를 만들고 있다. 일반적인 볼륨렌더링 방법은 3차원 텍스처 데이터를 메모리에 적재하고 관측평면에 색상

을 누적하는 볼륨 광선 투사법을 사용한다. 하지만, 하드웨어의 성능이 부족하거나 제공하는 자료구조의 제약이 따르는 경우에는 뷰정렬 또는 관측평면정렬(view-aligned) 또는 축에 정렬(axis-aligned)로 관측 면을 나열하여 누적하는 슬라이스 기반 렌더링 방법을 사용하여 가시화 한다.

스마트 폰과 태블릿 PC는 대표적인 휴대용 스마트 기기로 그 성능이 좋아지고 하드웨어 사양도 높아지는 추세이다. 이처럼 스마트 기기가 발전하고 있지만 볼륨렌더링과 같이 고성능을 요구하는 가시화 방법을 실행하기에는 그래픽 칩에서 제공하는 자료구조가 단순하고 저장장치의 용량이 부족하다. 그리고 스마트 기기는 처리 능력이 떨어지고 개발 환경도 아직은 열악하기 때문에 그래픽 장치의 렌더링 파이프라인을 제한적으로만 사용할 수 있다. 따라서 렌더링 결과의 화질뿐만 아니라 속도도 저하된다.

이러한 제한점을 해소하기 위해 고성능 서버 모델을 사용하는 방법이 Lamberti와 Sanna에 의해 제안되었다[5]. 이 방법은 클라이언트-서버 모델의 대표적인 방법으로 고성능 서버컴퓨터를 이용하기 때문에 그래픽스 처리성능이 좋고 대용량 데이터를 이용하여 가시화 하는 것이 가능한 장점을 가지고 있다[6,7]. 하지만, 네트워크로 결과물을 전송해야 하기 때문에 스트리밍에 제한이 따르며 경우에 따라 지연(latency)이 발생하여 대화식 처리가 불가능하다는 단점을 가지고 있다[8].

Huang 등은 모바일 장치에서 직접 3차원 모델을 가시화 하는 방법을 제안하였다[9]. 이 방법은 기하 모델을 가시화할 때 관심영역 이외의 모델들을 실루엣만을 이용하여 표현하도록 함으로써 제한된 하드웨어 성능을 감안하도록 하였다. Moser와 Weiskopf 는 결과 영상의 프레임수(FPS)에 따라 해상도를 가변적으로 조절함으로써 성능을 개선하였다[10].

이처럼 스마트 기기를 이용한 볼륨렌더링 방법은 하드웨어의 낮은 성능과 제공 API의 부족과 같은 제약 사항으로 인하여 구현에 제한이 따른다. 본 논문에서는 비교적 큰 화면을 제공하는 태블릿과 휴대성이 높은 스마트 폰을 대상으로 2차원 텍스처 자료를 기반으로 3차원 인체모델을 가시화 하고 2차원 의료영상 기능을 구현하여 진단영역에서 활용도 높은 의료영상 가시화 시스템을 제안한다.

3. 휴대용 스마트 장치기반 볼륨렌더링

3.1 안드로이드 플랫폼 기반 볼륨렌더링

최근 스마트 기기에 내장된 그래픽 하드웨어의 성능이 비약적으로 발전하면서 3차원 그래픽스 기능을 활용한 콘텐츠가 늘어나고 있다[11]. 3차원 그래픽스 구현을 위한 그래픽스 라이브러리 중에서 대표적인 것으로는 OpenGL ES가 있다[12]. 크로노스 그룹에서는 PC환경의 3차원 그래픽스 라이브러리인 OpenGL의 모바일 장치를 위한 서브셋으로 OpenGL ES를 발표하였고, 이를 바탕으로 모바일 하드웨어에서의 3차원 그래픽스 응용을 발전시켜 나가고 있다.

본 연구에서는 스마트 기기용 운영체제인 안드로이드 플랫폼에서 모바일 그래픽 장치를 이용한 볼륨 렌더링 기술을 운영체제의 시스템 API 연동을 위해 최근 많이 사용되는 JDK과 eclipse를 이용하여 개발하였다(그림 1). 또한, C 언어에 최적화된 OpenGL ES를 안드로이드 기반의 플랫폼에 적재하기 위해 Native Development Kit (NDK)를 사용하고, C언어 기반의 라이브러리들을 바로 사용하는 프레임워크인 Java Native Interface (JNI)를 이용하여 JAVA기반의 어플리케이션과 연동 할 수 있도록 하였다. 안드로이드 플랫폼에서 그래픽 디바이스를 제어하기 위해 EGL을 사용한다. EGL은 OpenGL ES와 OpenVG등에서 제공하는 그래픽 렌더링 API와 동기화하며, 텍스처와 같은 그래픽 메모리의 자원을 관리하는 역할을 한다.

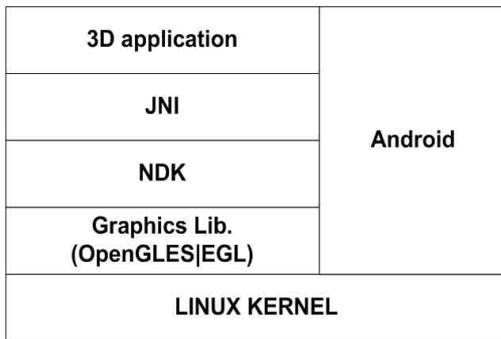


그림 1. 안드로이드 플랫폼기반 그래픽스 시스템 개발 구성요소

3.2 의료영상 볼륨데이터 처리

스마트 기기의 볼륨 렌더링은 기존의 일반 PC 기기의 고사양 볼륨렌더링에서와 같이 3차원 텍스처를

사용할 수 없기 때문에 2차원 텍스처를 이용해야 한다. 일반적으로 2차원 텍스처를 이용한 볼륨 렌더링은 삼선형 보간(tri-linear interpolation)을 사용하지 못하기 때문에 영상의 화질이 낮다. 따라서, 볼륨데이터의 세 축(X, Y, Z축)에 해당하는 2차원 텍스처들을 쌓은 스택을 3세트 사용하고 각 축 방향으로 2차원 보간을 함으로써 화질저하를 막는다. 이것은 볼륨의 특정 축에 따라 바라보는 관측자의 시점이 바뀔 때 발생하는 우드 그레인(wood grain)과 같은 알리어싱(aliasing) 현상을 줄일 수 있을 뿐만 아니라, 추가적인 후필터링(post-filtering) 기법을 적용하면 기존의 볼륨 렌더링과 비슷한 수준의 결과 영상을 생성할 수 있다. 그러나 매우 많은 수의 2차원 텍스처를 필요로 하기 때문에 하드웨어적으로 텍스처 슬롯이 제한된 경우는 적합하지 않다. 또한 메모리 적재과정이나 텍스처를 참조하는 과정에서 과도한 텍스처 변환 참조가 필요하다. 본 논문에서는 각 축에 대한 3개의 볼륨세트를 각각 한 장의 2차원 텍스처에 펼쳐 저장하고, 저장된 위치에 따라 상대적으로 텍스처를 참조하도록 한다. 일반적으로 볼륨데이터는 밀도 값만 저장하는데 이것을 RGBa채널에 각각 저장하여 텍스처의 수를 줄일 수 있다. 그림 2는 볼륨텍스처를 하나의 2차원 텍스처에 펼쳐 저장하는 과정을 보여준다. 제안한 방법에서는 x, y 그리고 z축 방향에 해당하는 총 세 장의 2차원 텍스처를 사용한다. 이렇게 함으로써 텍스처의 수를 최소화 할 수 있다.

볼륨 광선투사법은 3차원 텍스처를 샘플링 하는 과정이 필요한데 제안한 방법에서는 이것을 2차원 텍스처의 공간으로 변환하는 과정이 필요하다. 수식 1은 3차원 볼륨좌표를 2차원 텍스처 좌표로 변환하는 과정을 계산하는 수식이다.

$$\begin{aligned}
 I_x &= S_x (V_x \bmod m) C + V_x \\
 I_y &= S_y \left\lfloor \frac{V_z}{n} \right\rfloor C + V_y
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서, I 는 볼륨 데이터를 펼쳐 저장한 2차원 텍스처의 좌표를 의미하고, V 는 3차원 볼륨 데이터의 좌표이다. S 는 볼륨 데이터의 각 축 길이이고 C 는 텍스처의 채널이다. m, n 은 각각 볼륨 데이터의 한 슬라이스를 2차원 텍스처의 x축 방향으로 나열한 수와 y축 방향으로 나열한 수이다.

초음파 데이터는 CT, MRI와는 달리 빠른 속도로 다양한 방향에서 스캔 할 수 있기 때문에 실시간으로

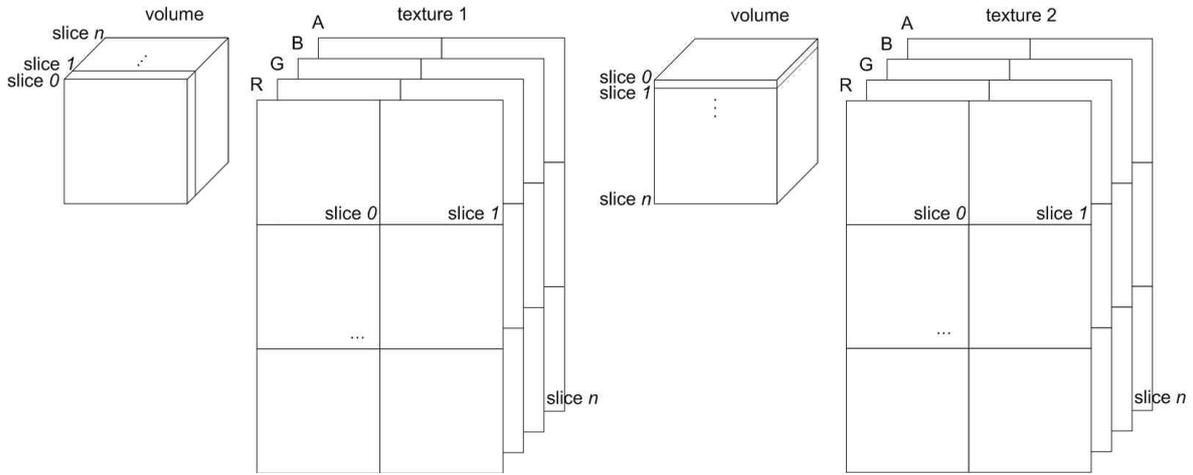


그림 2. 2차원 텍스처 기반 참조방법을 활용한 볼륨렌더링. z-축방향 볼륨 슬라이스를 2차원 컬러 텍스처의 각 채널(red, green, blue, alpha)에 펼쳐 저장(왼쪽)과 y-축방향 볼륨 슬라이스를 2차원 컬러 텍스처에 저장한 경우 (오른쪽)

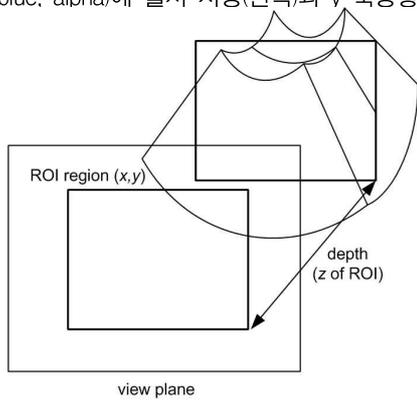


그림 5. 초음파 볼륨데이터에서의 영역 기반 관심영역 설정. 관측 평면의 x, y 영역과 깊이값을 이용하여 관심영역을 설정

원하는 부위를 관찰할 수 있는 장점이 있다. 하지만, 초음파 볼륨데이터는 동심구 좌표계를 기반으로 하

기 때문에 가시화 하는 과정에서 좌표변환이 필요하며 이 과정에서 렌더링 속도가 떨어질 수 있다. 그림 3은 획득장치로부터 전송된 동심구좌표계의 밀도값을 참조하기 위하여 직교좌표계를 거쳐 모바일 장치에 저장된 2차원 텍스처 좌표계로 참조하는 과정을 보여준다. 이 과정에서 그림 4로부터 얻을 수 있는 수식 2의 연산을 모든 샘플링 위치마다 수행해야 한다.

$$\alpha = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1}\left(\frac{y}{z}\right)$$

$$\beta = \frac{\pi}{2} + \tan^{-1}\left(\frac{x}{z}\right)$$

$$\gamma = R - a$$
(2)

여기서, a 는 동심구 좌표계에서 y 축 기준으로 펼쳐진 각도이고 β 는 x 축 기준으로 펼쳐진 각도이다. r 는 동심구의 중으로부터의 거리 R 에서 일정거리 a

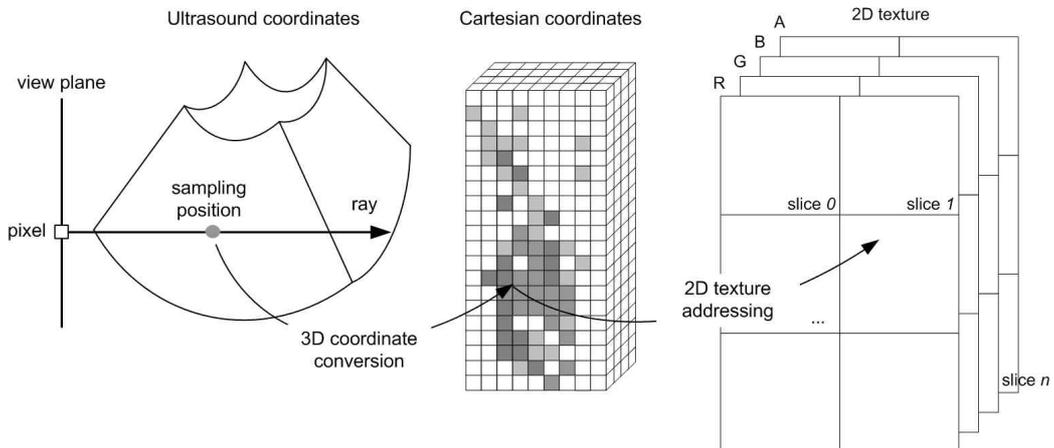


그림 3. 초음파 볼륨데이터 가시화 과정에서의 좌표변환. 동심구좌표계(왼쪽)의 초음파 볼륨데이터는 직교좌표계(가운데)에 따라 참조되고 이것은 모바일 장치에 저장된 2차원 텍스처(오른쪽)의 값을 불러오는 과정을 거쳐게 된다

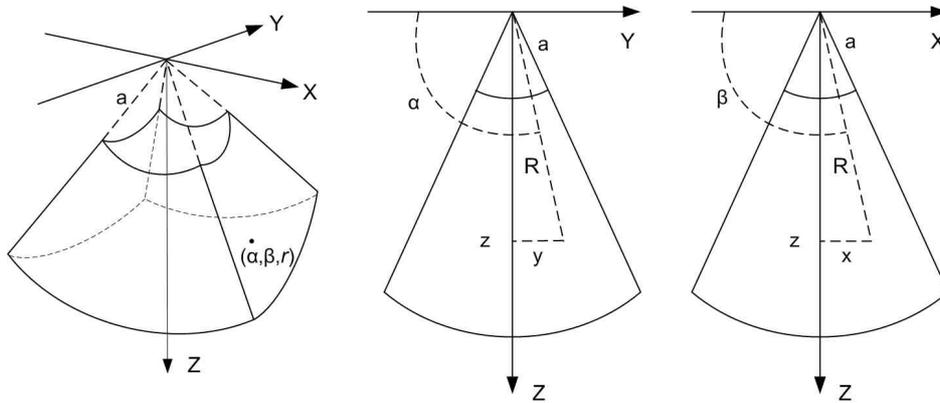


그림 4. 초음파 볼륨데이터의 좌표변환. 동심구 좌표계의 초음파 볼륨데이터(왼쪽)는 직교좌표계에 해당하는 위치로 변환된다

만큼을 제외한 길이를 나타낸다. 초음파의 동심구 좌표계산에 필요한 연산은 셰이더에서 제공하는 삼각함수를 이용하여 매 샘플링 위치마다 변환된 위치를 찾도록 한다.

초음파 영상을 만드는 과정에서 관심영역(Region Of Interest: ROI)을 설정하는 것은 진단을 돕는 효율적인 방법이다. 초음파 볼륨데이터의 경우 태아와 태반의 밀도값 차이가 크지 않고 부유물이나 잡음이 많기 때문에 영역 기반 관심영역 설정이 매우 유용하다. 그림 5에서 보는 것과 같이 특정 영역을 선택하여 선택한 영역만 광선을 투사함으로써 관심영역을 설정할 수 있다.

그림 5는 관측평면을 기준으로 스마트 기기용 OpenGL ES에서도 지원하는 glScissor() 함수를 이용하여 x, y축 방향으로 가시영역을 선택하도록 하였고, z방향은 깊이값(depth)을 조절하여 설정하도록 하였다. 관심영역 설정은 관측평면에서 관측광선의 수를 줄이고 관측광선 진행 과정에서 샘플링 수를 줄일 수 있기 때문에 가시화 속도에 영향을 미치지 않는다.

제안한 시스템에서는 렌더링 과정에서 대화식의 속도를 위해 서브샘플링 방법을 사용한다. 최종 결과 영상을 렌더링 할 때는 화면 전체 해상도로 광선 투사법을 실행하고, 사용자가 조작하여 수시로 뷰가 바뀌는 경우에는 화면의 x, y축을 기준으로 1/2만큼 다운샘플링 한 점진적 렌더링 기법을 이용함으로써 모델을 조작하는 동안은 빠른속도로 낮은 화질의 영상을 생성하고, 움직임이 멈췄을 경우에만 고화질의 렌더링을 수행한다.

3.3 2차원 의료영상 생성

의학적 관점에서 3차원 모델을 보여주는 것과 함께 인체의 단면을 살펴보는 것은 매우 중요하다. 제안한 시스템에는 볼륨 렌더링 기술과 x, y, z 각 방향에서의 단면을 표시해주는 다중 축단면영상 생성 기능과 여러 인접한 슬라이스를 한 눈에 보이도록 하는 다중단면영상 생성 기능이 포함되어 있다.

휴대용 스마트 기기는 화면크기는 작지만 해상도는 1024 × 600 정도로 낮지 않다. 이 경우, 각 단면의 크기가 약 500 × 300 정도인 다중 축단면영상을 얻을 수 있다. 그리고 하나의 축에 대한 여러 개의 인접한 슬라이스들을 선택하여 가시화하는 방법인 다중단면영상 기능을 사용하려면 해상도보다 큰 2차원 텍스처를 사용한다. 예를 들어 인접한 슬라이스들을 300 × 300 크기로 3 × 9 정도의 매트릭스 형태로 표현하기 위해서는 900 × 2700 정도의 텍스처가 필요하다. 그림 6은 다중단면영상을 생성하는 과정을 보여준다. 다중단면영상이 실행되면 우선 초기 뷰(view)에 해당하는 슬라이스0 부터 슬라이스5 순서로 렌더 타겟(render target)을 이동하며 생성한다. 뷰를 사용자가 아래로 이동하면 다음 슬라이스들을 보여줘야 하는데 이 때, 뷰영역 밖에 위치한 슬라이스들을 점진적으로 렌더 타겟을 이동하며 생성하도록 한다. 이것은 900 × 2700 크기의 결과 텍스처를 생성하는 동안 기다리는 것 보다 빠르게 다중단면영상을 사용할 수 있도록 한다.

4. 구현결과

본 연구에서 개발한 프로그램은 안드로이드 운영

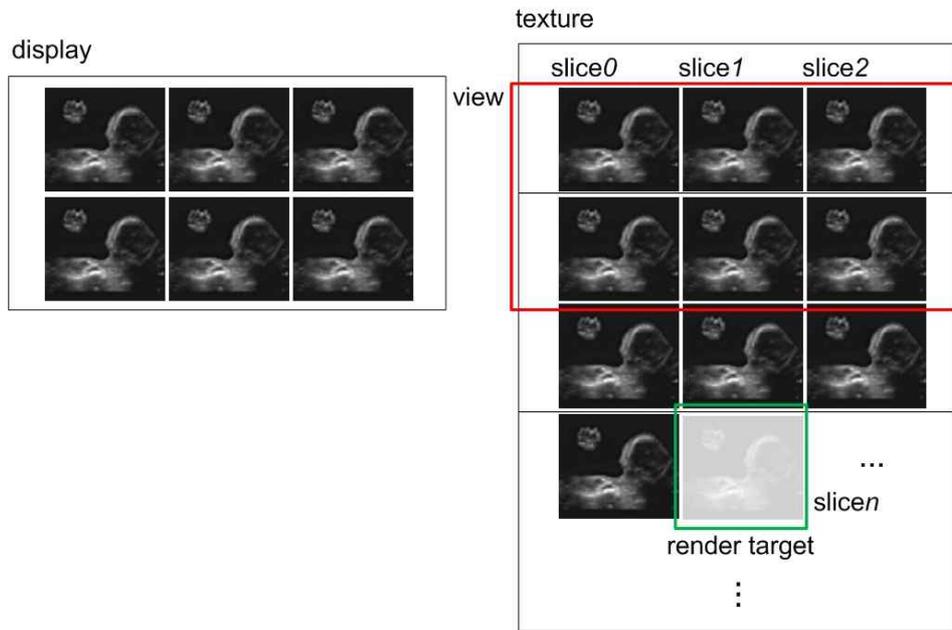


그림 6. 다중단면영상 생성과정. 초기 뷰에 해당하는 슬라이스0부터 슬라이스5순서로 렌더 타겟을 이동하며 생성한 후, 사용자가 아래로 뷰를 이동하면 뷰영역 밖에 위치한 슬라이스들을 점진적으로 렌더 타겟을 이동하며 생성

체제 버전 2.2이상에서 수행된다. 최대 화면 해상도는 1024×800 이며, 대상 볼륨의 크기는 128^3 이고 대표적인 벤치마킹 데이터인 CT 머리 데이터와 초음파 태아 데이터를 사용하였다. 대상 기기는 삼성 갤럭시 노트, 갤럭시 탭7, 갤럭시2 모바일폰 그리고 동일한 사용환경의 HTC 및 모토로라 모바일폰에서도 실험하였다. 렌더링 속도는 갤럭시 노트에서 1.5GHz 스냅드레곤S3를 이용하여 3차원 영상을 생성할 경우, 관측영역이 최대인 전체해상도에서 4 fps로 측정되었고, 사용자가 조작을 하는 동안 가로세로 방향으로 각각 1/2의 해상도로 서브샘플링 한 경우 14 fps로 측정되었다. 그림 7은 갤럭시 노트에서 CT 머리데이터와 초음파 태아데이터의 볼륨렌더링 화면과 다중 축단면영상을 보여주고 있다.

그림 8은 다중 축단면영상이 각 축의 어느 위치에 해당하는지 위치정보를 알려주는 기하모형을 함께 보여주는 그림이다. 사용자는 화면의 각 사분면들과 오른쪽 아래 기하모형을 터치하여 각 축의 단면 위치를 조절할 수 있다.

다중 단면영상은 다중 축단면영상과는 달리 하나의 축에 대한 여러 개의 인접한 슬라이스를 선택하여 가시화하는 방법이다. 이 방법은 관심물체 내부에 연결정보를 한 눈에 확인 할 수 있도록 하기 때문에 의료영상 분야에서 많이 사용되고 있다. 제안한 시스

템에서는 사용자가 자신이 원하는 슬라이스의 행, 열을 지정할 수 있으며 화면을 드래그하여 슬라이스를 넘겨 볼 수 있다. 그림 9는 각각 3×2 , 6×5 배열의 다중 단면영상이다.

그림 10은 초음파 태아데이터를 대상으로 관심영역을 설정한 결과를 보여준다. 그림 10의 왼쪽은 z축 방향으로 관심영역을 선택하지 않아 부유물에 태아의 모습이 가려져 있지만 오른쪽에서와 같이 z축의 관심영역을 줄여 부유물 부분을 제거하면 태아의 모습을 확실히 관측할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 스마트 기기에 적합한 의료용 3차원 볼륨 데이터를 대화식 수준의 속도로 가시화하는 시스템을 제안하였다. 최근 그래픽 가속기의 발전으로 대용량의 볼륨 데이터에 대한 실시간 렌더링이 가능하게 되었다. 그러나 제한적인 성능을 가진 스마트 기기의 볼륨 렌더링은 성능적인 부분에서 많은 제약이 있다. 3차원 텍스처 기능이 지원되지 않고, 계산 능력이 낮으며 개발 환경이 아직은 많이 제한적인 문제점이 있다. 이것은 그래픽 장치의 프로그래밍 가능한 파이프라인의 사용을 제한하며, 결국 렌더링 결과의 화질과 속도를 저하시키는 요인이 된다.

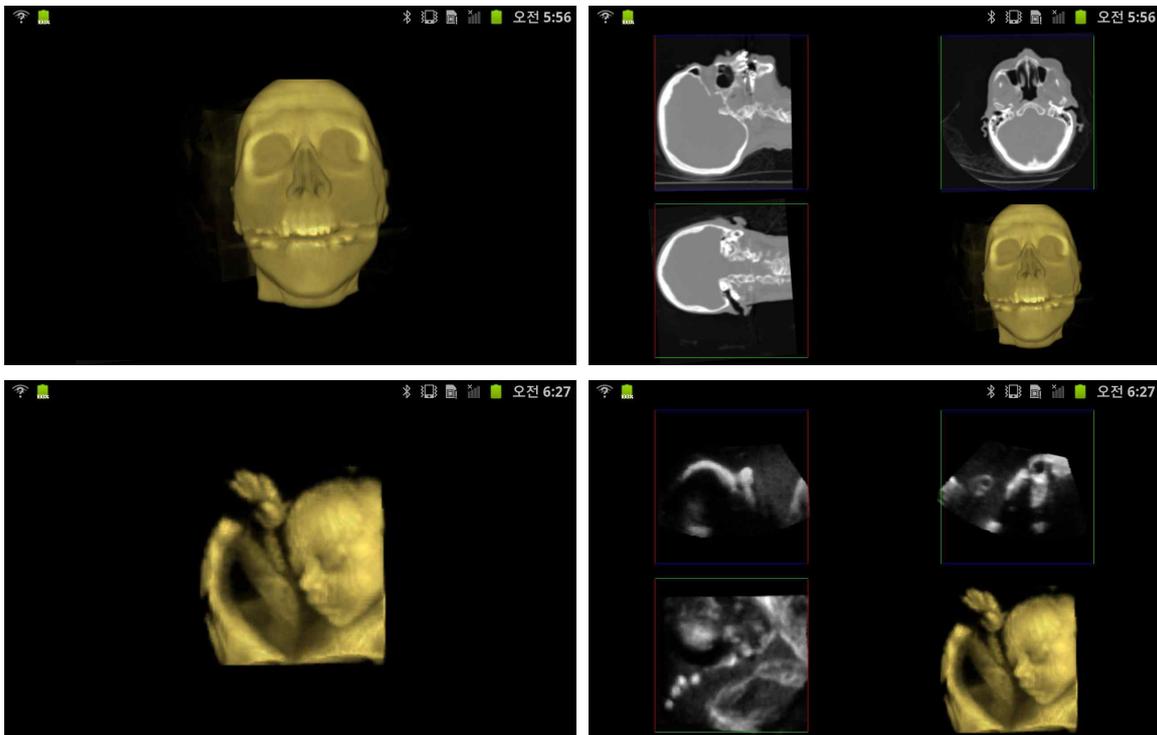


그림 7. 갤럭시 노트 모바일 장치의 볼륨 렌더링 프로그램. 3차원 볼륨모델 (왼쪽 위)과 다중 축단면영상(오른쪽 위), 3차원 초음파 볼륨모델(오른쪽 아래)과 다중 축단면영상(오른쪽 아래)

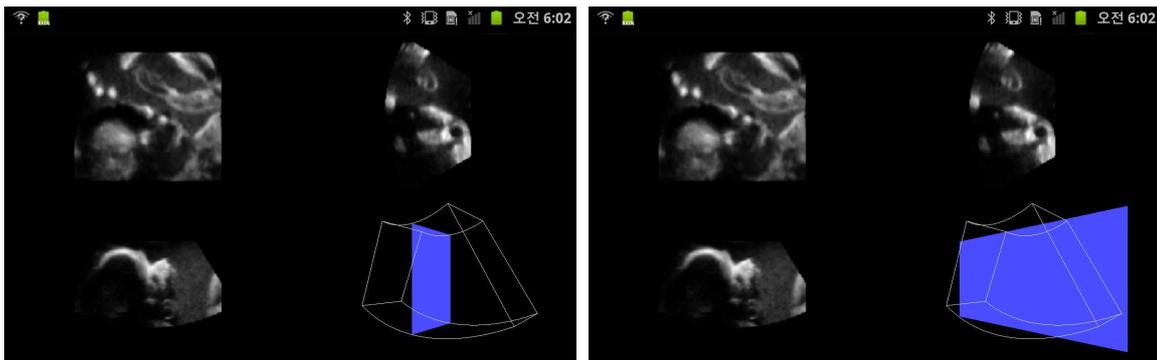


그림 8. 다중 축단면영상의 단면을 보여주는 화면. 화면의 오른쪽 아래 기하모형은 각 축의 현재 위치를 표시



그림 9. 초음파 데이터를 다중 축단면영상으로 가시화 한 결과. 각각 3 × 2 행렬 화면(왼쪽)과 4 × 3 행렬 화면(오른쪽)을 보여줌

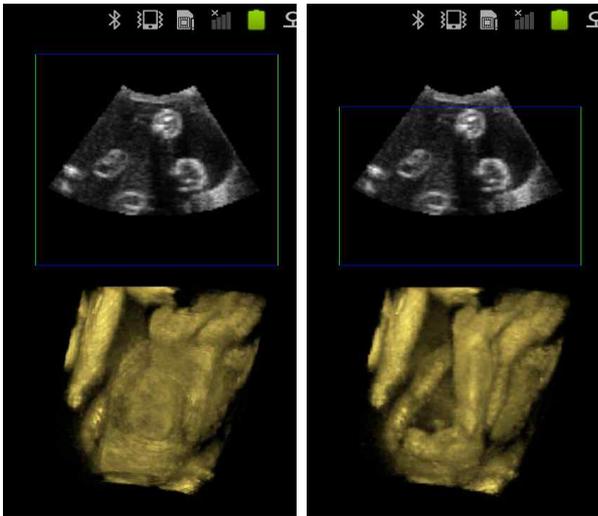


그림 10. 초음파 볼륨데이터의 관심영역 설정. 관심영역을 설정하지 않은 상태(왼쪽)와 관심영역을 설정하여 부유물을 제거한 결과(오른쪽)

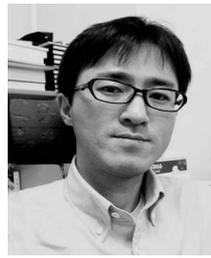
본 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 2차원 텍스처기반의 스마트 기기용 3차원 영상을 가시화 하는 방법과 OpenGL ES 2.0을 사용하여 GPU 기반의 셰이더를 이용한 모바일 볼륨 렌더링 방법을 제안하였고, 각 축의 단면을 확인할 수 있는 다중 축 단면영상 기능과 여러 장의 슬라이스를 나열하여 확인하는 다중 단면영상 기능을 구현하였다.

참 고 문 헌

- [1] K. Engel, M. Hadwiger, J. Kniss, C. Rezk-Salama, and D. Weiskopf, "Real-time Volume Graphics," *ACM SIGGRAPH 2004 Course Notes*, No. 29, pp. 24-36, 2004.
- [2] J. Krüger, R. Westermann, "Acceleration Techniques for GPU-based Volume Rendering," *Proceedings of the 14th IEEE Visualization '03*, pp. 287-292, 2003.
- [3] 계획원, 김준호, "GPGPU 환경에서 최대최소투영 렌더링의 고속화 방법," 멀티미디어학회논문지, 제14권, 제8호, pp. 981-991, 2011.
- [4] 강동수, 신병석, "포인트 프리미티브를 이용한 실시간 볼륨 렌더링 기법," 멀티미디어학회논문지, 제14권, 제10호, pp. 1229-1237, 2011.
- [5] F. Lamberti and A. Sanna, "A Streaming-Based Solution for Remote Visualization of 3D Graphics on Mobile Devices," *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 13, No. 2, pp. 247-260, 2007.
- [6] K.-L. Ma and D. Camp, "High Performance Visualization of Time-varying Volume Data Over a Wide-area Network," *Proc. Supercomputing, ACM/IEEE 2000 Conference*, pp. 29-29, 2000.
- [7] S. Stegmaier, M. Magallon, and T. Ertl, "A Generic Solution for Hardware-accelerated Remote Visualization," *Joint EUROGRAPHICS - IEEE TCVG Symposium on Visualization 2002*, pp. 87-92, 2002.
- [8] N. Tolia, D.G. Andersen, and M. Satyanarayanan, "Quantifying Interactive User Experience on Thin Clients," *Computer*, Vol. 39, No. 3, pp. 46-52, 2006.
- [9] J. Huang, B. Bue, A. Pattath, D. S. Ebert, and K.M. Thomas, "Interactive Illustrative Rendering on Mobile Devices," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 27, No. 3, pp. 48-56, 2007.
- [10] M. Moser and D. Weiskopf, "Interactive Volume Rendering on Mobile Devices," *In Workshop on Vision, Modelling, and Visualization VMV '08*, pp. 217-226, 2008.
- [11] <http://www.w3.org/2001/di/>. (W3C Ubiquitous Web domain, Device Independence 2001)
- [12] <http://www.opengl.org>. (OpenGL ES, 2007)
- [13] J. Kuo, G.R. Bredthauer, J.B. Castellucci, O.T. Von Ramm, "Interactive Volume Rendering of Real-time Three-dimensional Ultrasound Images," *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control*, Vol. 54, No. 2, pp. 313-318, 2007.
- [14] S. Röttger, S. Guthe, D. Weiskopf, T. Ertl, and W. Strasser, "Smart Hardware-accelerated Volume Rendering," *Proc. of the Symposium on Data Visualization '03*, pp. 231-238, 2003.
- [15] H. Scharsach, "Advanced GPU Raycasting," *Proc. of CESC'05*, pp. 69-76, 2005.
- [16] K. Kwon, *A Study on Acceleration of Rende-*

ring using Ultrasound Volume Data, Inha University Ph.D Thesis, 2006.

- [17] V. Shamdasani, U. Bae, R. Managuli, and Y. Kim, "Improving the Visualization of 3D Ultrasound Data with 3D Filtering," *Proc. of SPIE 2005*, Vol. 57 No. 44, pp. 455-461, 2005.
- [18] G. Sakas and S. Walter, "Extracting Surfaces from Fuzzy 3D-Ultrasound Data," *Proc. of the 22nd Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, pp. 465-474, 1995.
- [19] G. Sakas, L.A. Schreyer, and M. Grimm, "Pre-processing and Volume Rendering of 3D Ultrasonic Data," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 15, No. 4, pp. 47-54, 1995.
- [20] T.R. Nelson and T.T. Elvins, "Visualization of 3D Ultrasound Data," *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 13, No. 6, pp. 50-57, 1993.
- [21] S. Lim and B. Shin, "Reliable Space Leaping using Distance Template," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 3337, No. ??, pp. 60-66, 2004.
- [22] K. Kwon and B. Shin, "Fast Volume Visualization Techniques for Ultrasound Data," *Journal of Biomedical Engineering Research*, Vol. 27, No. 1, pp. 6-13, 2006.
- [23] G. Knittel, "The UltraVis System," *Proc. of IEEE Volume Visualization 2000*, pp. 71-79, 2000.
- [24] A. Fenster, S. Tong, S. Sherebrin, D.B. Downey, and R.N. Rankin, "Three-dimensional Ultrasound Imaging," *Proc. of SPIE Medical Imaging*, Vol. 2432, pp. 176-184, 1995.
- [25] R. Fattal and D. Lischinski, "Variational Classification for Visualization of 3D Ultrasound Data," *Proc. of Visualization 2001*, pp. 403-410, 2001.



권 구 주

1999년 2월 우석대학교 컴퓨터공학과 학사
2001년 2월 인하대학교 컴퓨터정보공학과 석사
2007년 2월 인하대학교 컴퓨터정보공학과 박사

2012년~현재 인하대학교 박사후연구원
관심분야 : 볼륨 그래픽스, 실시간 렌더링, 의료 영상



강 동 수

2005년 2월 인하대학교 컴퓨터정보공학과 학사
2007년 2월 인하대학교 컴퓨터정보공학과 석사
2008년 3월~현재 인하대학교 컴퓨터정보공학과 박사과정

관심분야 : 볼륨 그래픽스, 의료 영상, 병렬 처리

고 영 인

2006년~현재 삼성종합기술원 FIT연구소



신 병 석

1990년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1992년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 석사
1997년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 박사

2000년 3월~현재 인하대학교 컴퓨터공학부 교수
관심분야 : 실시간 렌더링, 볼륨 그래픽스, 의료 영상, HCI