

VTK를 이용한 무릎 MRI의 3차원 가시화

이성철 최학남 홍성욱 너치투준 김학일

인하대학교 정보공학과

{szli, xncui, swhong, june}@vision.inha.ac.kr, hikim@inha.ac.kr

3D Visualization of Knee MRI using VTK

Shengzhe Li, Xuenan Cui, Seongwook Hong, Chittoo June, Hakil Kim

Department of Information Engineering, Inha University

요 약

본 논문은 VTK를 이용한 3차원 무릎 MRI 가시화에 대한 프로그램 기술을 제안한다. 기존의 많은 연구에서는 VTK를 사용하여 의료영상에 대한 3차원 가시화 프로그램을 제안하였으나 골관절염 진단을 목표로 한 무릎 3차원 가시화 방법은 아직 많이 제안되지 않고 있다. 본 논문에서는 볼륨렌더링(Volume rendering) 기술과 다각형렌더링(Polygonal rendering)기술을 융합하여 무릎 및 연골을 효과적으로 가시화할 수 있는 방법을 제안한다. 프로그램은 사용자 상호작용이 가능하고 VTK를 이용한 GPU기반의 프로세싱을 기반으로 하기 때문에 실시간 렌더링이 가능하다. 실험결과로부터 제안한 3차원 가시화 기술은 연골과 무릎의 관계를 직관적으로 표현할 수 있어 골관절염 조기진단에 유용하게 사용될 것으로 기대한다.

1. 서 론

골관절염(Osteoarthritis)은 노화에 따른 대표적인 질환으로 뼈 사이의 관절 연골의 퇴행과 소실로 관절 주변 및 연골하골에 변화를 가져와 통증과 보행 장애를 유발하는 질환을 말한다. MRI를 이용하면 연골의 양, 두께, 면적 등을 측정할 수 있어 주기적으로 연골의 변화량을 관찰하여 골관절염의 조기진단을 할 수 있다.

한번의 MRI 촬영에서 다수의 연속영상을 획득할 수 있기 때문에 다수의 영상을 3차원으로 표현하고 분석하는 요구가 생기게 되었다. 기존의 OpenGL, DirectX 등 그래픽기술은 의료영상을 목적으로 하는 것이 아니기 때문에 의료영상 가시화 하는데 많은 데이터처리 과정이 필요하게 된다.

본 논문은 VTK를 이용하여 무릎영상 3차원 가시화 기법을 제안한다. VTK는 오픈소스 프로젝트로서 언어 및 플랫폼에 무관한 3차원 가시화 툴이다[1]. 기존에 VTK를 이용하여 의료영상에 적용한 사례가 많이 있지만 무릎 MRI 3차원 가시화를 목표로 한 연구는 아직 많지 않다.

김경섭 등[2]은 VTK를 이용한 소프트웨어를 개발하여 자기공명영상과 초음파영상을 3차원 가시화 하는 연구를 진행하였고, 김민석 등[3]은 VTK를 이용한 영상처리시스템을 구축하여 2차원 단면영상 가시화 및 3차원 볼륨 가시화 기술을 소개하였고, 명현국 등[4]은 객체지향프로그래밍 기법을 사용하여 MRI 데이터 가시화용 후처리 프로그램을 개발하였다. 황진영 등[5]은 VTK를 이용하여 뇌에서 취득한 fMRI 3차원 가시화를 통하여 손가락 운동을 분석하였다. 이현규

등[6]은 JAVA언어를 이용하여 VTK기반의 CT 영상 3D 가시화 프로그램을 개발하여 3차원 가시화 기술이 u-Health 분야로 확장 할 수 있다는 것을 보여주었다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 서론, 프로그램 설계, 그래픽 파이프라인 설계, 실험결과 및 분석과 결론으로 이루어 졌다. 서론에서는 골관절염 조기진단용 MRI 가시화 기술의 필요성과 기존 연구에 대해 소개하였고, 프로그램 설계부분에서는 프로그램의 구조 및 개발 방법에 대해 소개하였고, 그래픽 렌더링 파이프라인 설계에서는 VTK를 이용한 볼륨렌더링과 다각형렌더링 파이프라인의 설계와 사용된 클래스들을 소개하였고, 구현 방법 및 절차에서는 상세한 구현 방법 및 소스에 대하여 설명하였고, 실험결과 및 분석 부분에서는 결과영상에 대해 설명하고, 성능을 평가 하였으며, 마지막으로 결론에 대해서 서술하였다.

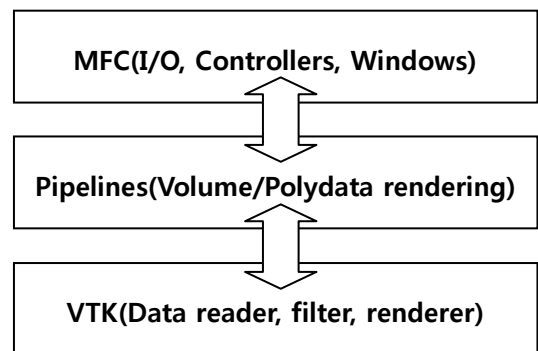


그림 1 프로그램 구조

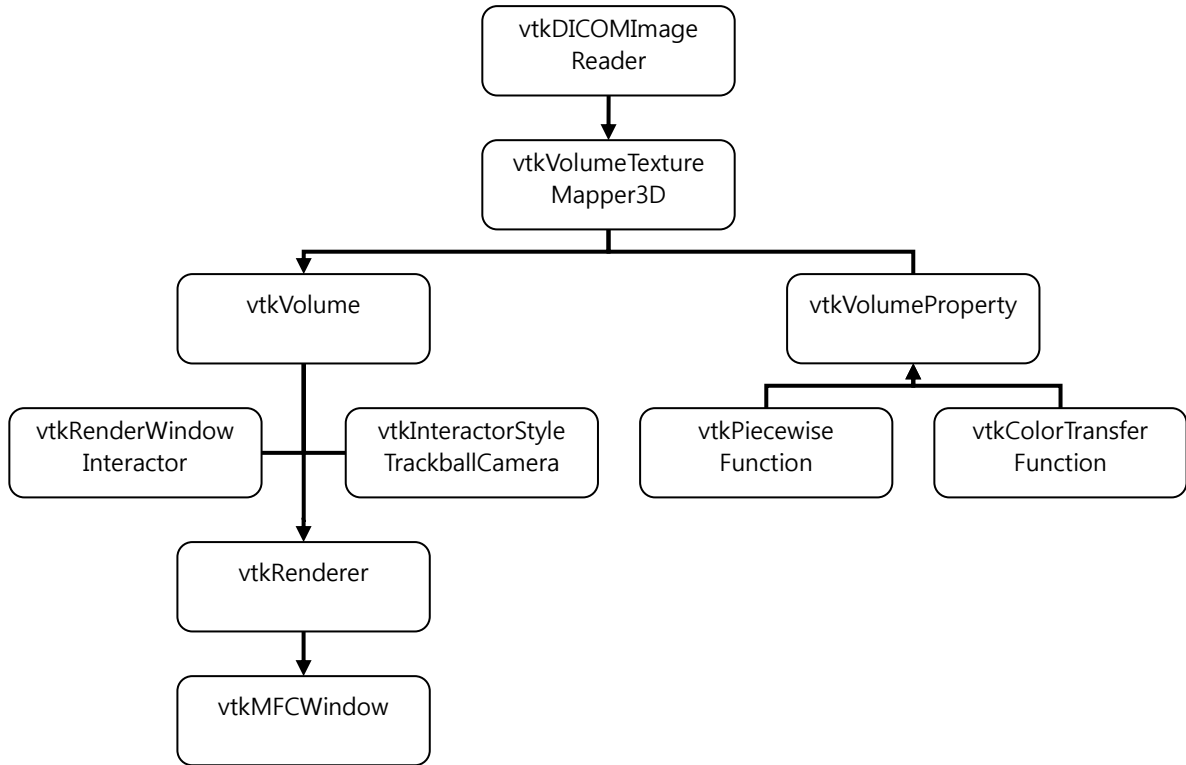


그림 2 볼륨 렌더링 파이프라인 구조

2. 프로그램 설계

본 논문에서는 MFC와 VTK 라이브러리를 이용하여 윈도우 GUI 프로그램을 구축한다. MFC는 마이크로소프트 파운데이션 클래스 라이브러리로서, 윈도우 API를 객체지향적으로 프로그래밍할 수 있다. 또한 VTK 라이브러리에서는 윈도우 GUI에 대해 지원하기 때문에 비주얼 스튜디오를 이용하여 두 라이브러리를 동시에 사용하여 고속 프로그램 개발이 가능하다.

잘 설계된 프로그램은 기능뿐만 아니라 사용자 인터페이스에도 많은 고려를 해야 한다. 본문에서 제안한 프로그램은 MFC의 다양한 컨트롤들을 이용하여 사용자와의 상호작용을 진행할 수 있도록 구성하였다. 예를 들면 DICOM 파일 불러오기, 렌더링 명령수행, 실시간 볼륨 속성 조정 및 뷰어 등이 있다.

본 논문에서는 프로그램의 유연성 및 확장성을 높이기 위하여 파이프라인(Pipeline)들을 클래스로 정의하여 향후에 파이프라인 추가를 더욱 쉽게 할 수 있도록 구성하였다. 예를 들면 뇌 MRI 3차원 가시화에 적합한 파이프라인을 추가할 경우 프로그램에 새로운 클래스를 추가시키면 바로 적용 가능하다.

제안한 볼륨 렌더링 파이프라인 구조는 그림 1 과 같이 3단계의 구조를 가지고 있다. 제일 바깥쪽에는 사용자와 직접 상호작용하는 MFC층이 있고 중간단계에는 각종 렌더링을 수행하는 파이프라인층이 있으며 마지막으로 구체적인 알고리즘이 들어 있는

VTK층이 있다.

3. 그래픽 렌더링 파이프라인 설계

그래픽 렌더링 파이프라인의 주된 기능은 가상 카메라, 3차원 객체, 광원, 조명 처리 모델, 텍스처 등으로부터 2차원 이미지를 만들어내는 것인데, 렌더링 이라고도 한다.[7].

본 논문에서는 MRI 기기에서 취득한 다수의 연속적인 무릎영상을 3차원으로 표현하기 위하여 볼륨 렌더링 (Volume Rendering)과 다각형 렌더링 (Polygonal Rendering)을 결합하는 방법을 제안한다. 볼륨 렌더링은 입력된 연속적인 2차원의 MRI 영상을 3차원의 볼륨 데이터로 변환시키고 볼륨을 직접 렌더링 하여 직관적으로 무릎부근의 구조를 보여줄 수 있다. 그리고 골관절염 진단에서 주로 관심을 가지고 있는 부분인 연골 부분에 대해서는 추출된 연골부분에 대해 다각형 렌더링을 통하여 연골의 구조를 정확하게 표현한다. 두 가지 기법을 사용하여 렌더링 한 영상을 하나의 장면(Scene)에서 표현하여 골 관절염 진단에서 2차원 데이터에는 제공하지 못하는 추가적인 정보를 제공할 수 있다.

3.1 볼륨렌더링 파이프라인

볼륨 렌더링은 복셀(Voxel)로 표현된 데이터를 렌더링하는 것을 말한다. 이러한 방식으로 표현한

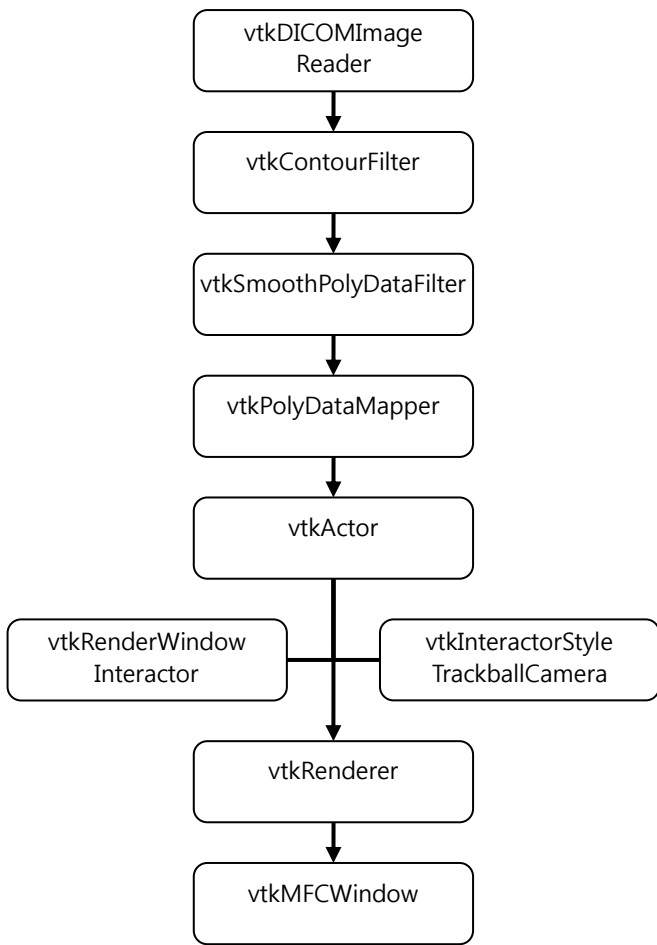


그림 3 다각형 렌더링 파이프라인 구조

데이터는 마치 연속적인 이미지를 투명하게 또는 반투명하게 만들어 겹쳐 보이는 기능을 구현할 수 있다. 따라서 볼륨 내부의 구조를 한번에 확인할 수가 있다. 본 논문에서는 여러 가지 볼륨렌더링 기법 중에서 텍스처 매핑 방법을 사용하였는데, 이 방법은 그래픽 하드웨어에서 제공하는 텍스처 매핑 기능을 적용하여 실행속도가 빠르고 실시간 렌더링이 가능한 장점이 있다.

파이프라인은 그림 2 와 같이

- DICOM 이미지 리더(Dicom image reader),
- 컬러 전송 함수(Color transfer function),
- 투명도 전송 함수(Opacity transfer function),
- 볼륨 텍스처 매퍼(Volume texture mapper),
- 볼륨(Volume),
- 윈도우 렌더러(Window renderer),
- 카메라(Camera),
- 인터랙터(Interactor),
- 렌더러(Renderer)

등으로 구성되어 있다. 여기에서 볼륨 텍스처 매퍼는 사용자의 상호작용이 가능할 수 있도록 그의 속성을

고정시키지 않는다. 예를 들면 사용자가 볼륨의 투명도를 조절할 때 매퍼는 새로운 속성을 부여하게 되고 따라서 볼륨을 다시 렌더링 시키는 것이다.

3.2 다각형렌더링 파이프라인

무릎 MRI에서 연골 맵을 분할하는 기법은 manual 분할 방법, semi-automatic 분할 방법, automatic 분할 방법[8] 등이 있는데 본 논문에는 의료영상학과 의사가 수동으로 추출한 연골 맵을 이용하여 3차원의 다각형 모델을 만들고 다각형 렌더링 파이프라인을 사용하여 3차원 연골을 표현한다.

다각형 렌더링 파이프라인은 그림 3 과 같이

- DICOM 이미지 리더(Dicom image reader, 연골맵의 데이터타입에 따라 다를수 있음),
- 경계선 필터(Contour filter),
- 다각형 스무스 필터(Smooth filter),
- 다각형 데이터 매퍼(Poly data mapper),
- 액터(Actor),
- 윈도우 렌더러(Window renderer),
- 카메라(Camera),
- 인터랙터(Interactor),
- 렌더러(Renderer)

등으로 구성되어 있다. 연골 맵은 이진화 영상으로 사용하였고 연골 부분을 1로 표현하였다. 따라서 경계선 추출 시, 경계값을 0으로 설정하면 쉽게 경계선을 추출하게 된다. 여기에서 다각형 스무스 필터는 선택적으로 사용할 수 있는데 그 원인은 무릎 MRI 촬영에서 보통 연속된 두 영상 사이에 일정한 간격이 있는데 이를 3차원 모델로 구성 할 때 계단형 왜곡현상이 발생한다. 이 간격을 고려한 파라미터를 가진 스무스 필터를 사용함으로써 매끄러운 연골 모델을 렌더링 할 수 있다.

4. 구현 방법 및 절차

4.1 VTK의 빌드

VTK 라이브러리를 만들기 위해서는 먼저 CMake를 설치해야 한다. CMake 는 멀티플랫폼에서 사용할 수 있는 Make의 대용품을 만들기 위한 오픈소스 프로젝트로 키트웨어와 인사이트 콘소시엄에서 만들었다[9]. CMake에서 비주얼 스튜디오 컴파일러를 선택하고 옵션에서 VTK_USE_GUISUPPORT와 VTK_USE_MFC를 선택하면 MFC를 지원하는 라이브러리를 생성 할 수 있다.

4.2 MFC 윈도우 구현

MFC 다이로그에서 VTK의 렌더링 결과를 보여주기

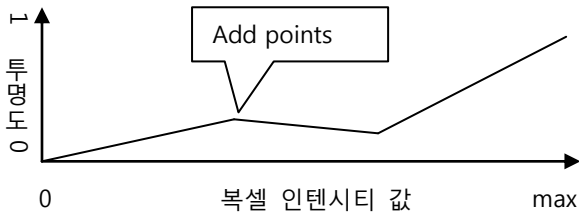


그림 4 투명도 전송 함수

위해서 vtkMFCWindow 클래스를 사용해야 한다. 구체적인 방법은 다음과 같다.

```

vtkRenderer myRenderer = vtkRenderer::New();
vtkMFCWindow myWin =
    new vtkMFCWindow(GetDlgItem(IDC_WND));
//IDC_WND는 윈도우 컨트롤러의 ID
myWin->GetRenderWindow()->AddRenderer(myRenderer);
    
```

4.3 볼륨렌더링 파이프라인 구현

볼륨렌더링 파이프라인에서는 우선 볼륨의 투명도 및 컬러를 지정하기 위하여 vtkVolumeProperty 인스턴스를 생성하게 되고 투명도 및 컬러 멤버변수에 대해서 값을 부여한다. 그리고 vtkDICOMReader 클래스를 사용하여 MRI영상 데이터를 읽어 들인다. 읽어 들인 연속적인 영상파일은 vtkVolumeTextureMapper3D를 통하여 볼륨데이터 vtkVolume 와 매핑하게 되고 최종의 렌더러(myRenderer) 에 추가시키고 렌더링을 수행한다.

그중에서 컬러 전송 함수는 다수의 픽셀의 밝기값과 컬러값을 입력으로 받아 컬러맵을 구성하고 볼륨데이터에 컬러를 매핑 시킨다. 그러므로 사전에 MRI영상에서 각 조직에 대응하는 밝기값을 알아내고 합리적인 컬러맵을 정의해야 한다.

투명도 전송 함수는 볼륨 데이터에서 각 픽셀의 밝기 값을 투명도(0~1)로 매핑 시키는 함수인데 점 (AddPoint) 또는 선(AddSegment)을 입력하여 그림 4 와 같은 투명도 전송 함수를 생성할 수 있다.

```

// 컬러와 투명도 설정
vtkVolumeProperty *prop = vtkVolumeProperty::New();
vtkColorTransferFunction *color =
    vtkColorTransferFunction::New();
color->SetColorSpaceToRGB();
color->AddRGBPoint(index,r,g,b);
//index:0~max, r,g,b: 0~1,
vtkPiecewiseFunction *opacity =
    vtkPiecewiseFunction::New();
opacity->AddPoint(index,opacity);
//index:0~max, opacity: 0~1,
// 텍스처 매핑
    
```

```

vtkVolumeTextureMapper3D mapper =
    vtkVolumeTextureMapper3D::New();
//DICOM영상 읽어오기
mapper->SetInput(dicomReader->GetOutput());
vtkVolume volume = vtkVolume::New();
volume->SetMapper(mapper);
volume->SetProperty(prop);
// 렌더링
myRenderer->AddVolume(volume);
myWin->GetRenderWindow()->Render();
    
```

5.4 다각형렌더링 파이프라인 구현

다각형구조를 렌더링 하기 위해서는 우선 연골맵 영상을 읽어 들이고 vtkContourFilter를 이용하여 3차원의 경계면을 추출한다. 추출된 다각형 구조는 다시 vtkSmoothPolyDataFilter를 거쳐 매끄러운 3차원 연골 모델을 렌더링 한다. 렌더링은 볼륨데이터와 같은 장면에서 진행되어 두 모델이 정합하여 나타나도록 한다.

```

// 경계선 필터
vtkContourFilter *contFilter = vtkContourFilter::New();
contFilter->SetInputConnection(dicomReader->
    GetOutputPort());
contFilter->SetValue(0,contValue); // contValue: 경계값
vtkPolyDataNormals *contNormals =
    vtkPolyDataNormals::New();
contNormals->SetInputConnection(contFilter->
    GetOutputPort());
vtkPolyDataConnectivityFilter* connFilter =
    vtkPolyDataConnectivityFilter::New();
connFilter->SetInputConnection(contNormals->
    GetOutputPort());
// 스무스 필터 (옵션)
vtkSmoothPolyDataFilter* smoothFilter =
    vtkSmoothPolyDataFilter::New();
smoothFilter->SetRelaxationFactor(f);
smoothFilter->SetNumberOfIterations(i);
smoothFilter->SetInputConnection(connFilter->
    GetOutputPort());
// 다각형 데이터 매핑
vtkPolyDataMapper* mapper=vtkPolyDataMapper::New();
mapper->SetInputConnection(smoothFilter->
    GetOutputPort());
cont=vtkActor::New();
cont->SetMapper(mapper);
// 렌더링
myRenderer->AddActor(cont);
myWin->GetRenderWindow()->Render();
    
```

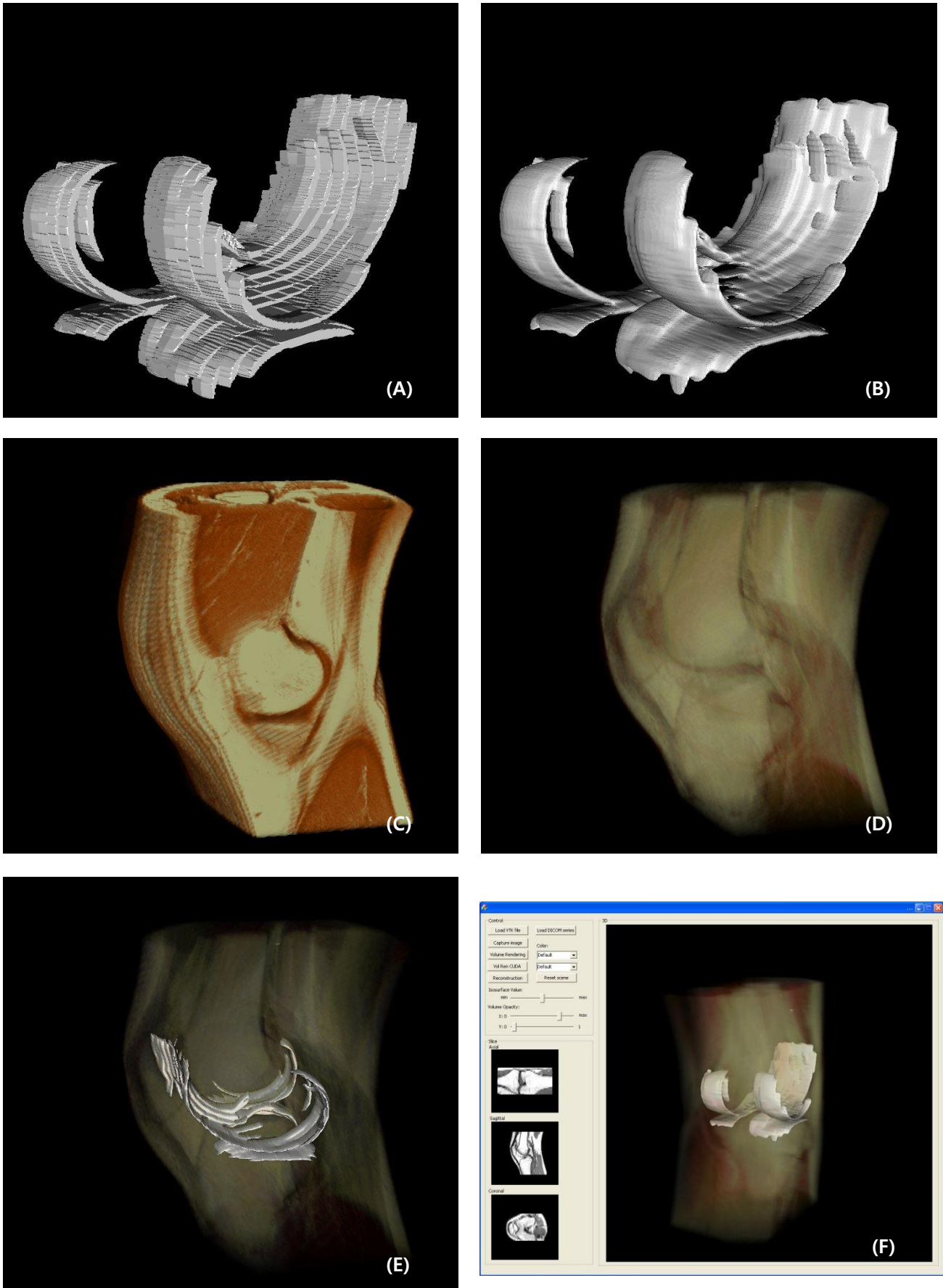


그림 5 렌더링 결과 및 GUI. (A) 연골부분의 다각형렌더링 결과, (B) 스무스 필터를 적용한 결과, (C) 낮은 투명도의 볼륨렌더링 결과, (D) 높은 투명도의 볼륨렌더링 결과, (E) 두 가지 렌더링 기법을 동시에 사용한 결과, (F)는 프로그램 GUI이다.

5. 실험결과 및 분석

실험 데이터는 아주대병원 영상의학과에서 취득한 무릎 MRI 데이터를 사용하였다. 총 25 장의 연속된 영상을 사용하였는데 영상사이즈는 512 x 512이고 픽셀에 대응하는 실제 물체의 사이즈는 0.29 x 0.29 mm 이고 슬라이드 간격은 2.9 mm이다.

그림 5 는 각 단계의 렌더링 결과 및 프로그램 GUI를 표시한 것이다. (A)는 연골부분에 대해 모델을 구성하고 다각형렌더링 기법을 사용하여 3차원 가시화한 영상이고, (B)는 모델에 대해 스무스 필터를 적용한 영상이다. 이때 연골 모델의 계단 현상을 일정하게 제거할 수 있는 것을 확인 할 수 있다. (C)와 (D)에서는 볼륨렌더링에서 다른 투명도를 가진 두 가시화 결과를 표현한 것인데, (D)에서 무릎 영역의 내부구조를 더욱 잘 표현 할 수 있다는 것을 볼 수 있다. (E)는 두 가지 렌더링을 동시에 사용할 경우인데, 이때 연골이 무릎 안에서의 위치까지 확인 할 수 있다는 것을 볼 수 있다. (F)는 프로그램 GUI 이고, 이는 컨트롤 패널, 3축 단면 패널과 메인 뷰어 등으로 구성되어 있어 사용자 상호작용이 가능하다.

개발한 무릎 MR영상 3차원 가시화 프로그램은 Intel Core Quad CPU 2.4GHz, 4G 메모리, NVidia GeForce 8800 환경에서 실시간 렌더링이 가능하다. 이는 VTK가 내부적으로 OpenGL과 포팅(Porting)되어 있어 GPU를 이용한 가속화 알고리즘을 적용하기 때문이다.

6. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 VTK를 이용한 3차원 무릎 MRI 가시화에 대한 프로그램 기술을 제안 하였다. 무릎 MRI는 구조가 복잡하고 또한 표현하려는 연골부분이 아주 얇기 때문에 기존의 MRI 3차원 가시화 기술을 사용하면 국한성이 있다. 제안된 프로그램은 무릎 MRI에 대해 볼륨렌더링과 다각형 렌더링 기술을 동시에 적용하여 무릎 및 연골 구조를 3차원으로 표현할 수 있었다.

향후 더욱 많은 파이프라인들을 설계하고 유용한 기능을 추가시켜 뇌 MR영상 가시화, CT영상 가시화 등과 같은 다양한 분야에 적용할 수 있도록 개발할 예정이다.

또한 최근에 각광 받고 있는 GPU 기반의 CUDA 병렬처리 기법을 사용하여 대용량 데이터를 처리를 실시간으로 할 수 있는 기술개발을 추가적으로 진행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 보건복지가족부 보건의료연구개발사업의 지원에 의하여 이루어진 것임. (과제고유번호: A091120)

참고문헌

- [1] Will Schroeder, Ken Martin and Bill Lorensen, "The Visualization Toolkit - 2nd Edition", A Simon & Schuster Company, 1998.
- [2] 김경섭, 윤태호, 한명희 & 송철규, "VTK 3차원 가시화 소프트웨어", 전기의 세계, vol. 53, no. 5, pp. 57-60, 2004
- [3] 김민석, 옥경달, 이상범 & 탁계래, "VTK를 이용한 3차원 의료영상처리 시스템", 한국정보과학회, pp. 442-444. 2002
- [4] 명현국 & 최훈희, "MRI Data 가시화용 후처리 프로그램 개발", 한국전산유체공학회, pp. 67-72, 2007
- [5] 황진영, 박현욱, "VTK 를 이용한 3 차원 뇌 가시화", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 제주, 2010
- [6] 이현규, 최민국, 이상철, "VTK 를 이용한 CT 영상의 3D 시각화", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 제주, 2010
- [7] 신병식, 오경수, "리얼-타임 렌더링 2판", 정보문화사, 2003
- [8] 최학남, 홍성욱, 이성철, 너릿투준, 곽규성, 김학일, "골관절염 조기진단을 위한 다중에코 기반의 무릎 MR 영상 분할", 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 제주, 2010
- [9] CMake, <http://www.cmake.org>