

# CT와 MRI 영상을 이용한 간담도계 간접볼륨렌더링

진계환, 이태수\*

남부대학교 방사선학과, 충북대학교 의과대학 의공학교실\*

## Indirect Volume Rendering of Hepatobiliary System from CT and MRI Images

Gye-Hwan Jin(ghjin@nambu.ac.kr), Tae-Soo Lee\*(tslee@chungbuk.ac.kr)

### <요 약>

본 논문에서는 CT(Computed Tomography)와 MRI(Magnetic Resonance Imaging)을 이용하여 획득한 2차원의 복부영상을 영역분할, 문턱치법 등의 전처리과정을 거쳐 3차원영상을 생성하는 방법을 제시함으로써 가상내시경(Virtual Endoscopy)에 응용하고자 한다. 3차원영상 가시화 방법으로는 개인용 컴퓨터에서 이용되는 범용의 그래픽가속기를 이용하여 빠른 속도로 렌더링을 할 수 있는 장점을 가지는 표면볼륨기법을 이용하였다. 여기에 이용한 알고리즘은 계산량이 적은 Marching Cubes 이다. 그리고 워크스테이션이나 전용의 프로그램이 없더라도 웹 브라우저 상에서 실행되는 가상현실모델링언어(VRML, Virtual Reality Modeling Language)양식의 3차원 영상을 생성하는 방법을 제시한다. CT의 3차원 영상 파일의 노드 수와 삼각형 수 및 크기는 각각 85,367, 174,150, 10,124이었고, MRI의 3차원 영상 파일의 노드 수와 삼각형 수 및 크기는 각각 34,029, 67,824, 3,804이었다.

**중심단어** 가상내시경, 표면볼륨렌더링, 간담도계, 컴퓨터단층촬영, 자기공명영상장치

### Abstract

This paper presents a method of generating 3-dimensional images by preprocessing 2-dimensional abdominal images obtained using CT (computed tomography) and MRI (magnetic resonance imaging) through segmentation, threshold technique, etc. and apply the method to virtual endoscopy. Three-dimensional images were visualized using indirect volume rendering, which can render at high speed using a general-purpose graphic accelerator used in personal computers. The algorithm used in the rendering is Marching Cubes, which has only a small volume of calculation. In addition, we suggested a method of producing 3-dimensional images in VRML (virtual reality modeling language) running on the Web browser without a workstation or an exclusive program. The number of nodes, the number of triangles and the size of a 3-dimensional image file from CT were 85,367, 174,150 and 10,124, respectively, and those from MRI were 34,029, 67,824 and 3,804, respectively.

**Key word** virtual endoscopy, surface volume rendering, Hepatobiliary System, CT, MRI

## I. 서론

윈트겐의 X-ray 발견은 비침습적인 방법으로도 인체 내부병변을 확인할 수 있도록 하였다. 이를 위해서 방사선과 전문의와 임상 의사들은 2차원 영상의 해석을 통하여 정상 또는 비정상 병변부위를 3차원의 해부학적 구조를 이해할 수밖에 없었다. 1972년 Hounsfield가 개발한 전산화단층촬영장치(CT, computed tomography)을 시작으로 자기공명영상장치(MRI, magnetic resonance imaging), 단일광자방출 전산화 단층촬영기(SPECT, single photon emission computed tomography), 양전자방출 단층촬영기(PET, positron emission tomography) 등 다양한 단층촬영 장치들이 개발되면서 우리의 몸속을 입체적으로 관찰할 수 있는 영상의학의 시대를 열었다.

3차원 의학영상은 1979년 Herman이 CT 단면영상을 처리하여 컴퓨터 모니터에 나타냄으로써 시작되었다[1]. 이후 Herman은 3차원 영상 알고리즘을 General Electric사 CT에 적용하여 3D82라는 응용프로그램으로 발전시켜 3차원 영상이 임상적으로 응용되기 시작하였다. 그리고 W. Luboldt 등은 MRI 영상을 이용하여 가상 대장경(conolnscopy)을 만들어 용종(polyps)의 분별력에 평가를 하였으며[2], Y. Kato 등은 CT 영상을 이용하여 뇌혈관의 3차원 영상을 만든 후 뇌혈관의 일부가 풍선처럼 부풀어져 보이는 뇌동맥류(aneurysm)를 확인하였다[3]. Stanford 대학의 3D Medical Imaging Laboratory와 National Biocomputation Center, Wake Forest 대학의 Virtual Endoscopy Center에서는 의학영상 데이터를 이용한 가상내시경을 임상에서 이용하고 있다. ViewTec사에서 개발한 MedView 프로그램과 HT Medical Systems사의 The PreOp Endoscopy Simulator가 개발되어 있다. 국내에서도 3차원 의학영상 가시화 프로그램에 관한 연구가 진행되고 있으며, 가상내시경의 개발을 위한 3차원 영상처리에 관한 연구도 진행되고 있다[4]. 이러한 3차원 의학영상의 발전은 영상유도 수술(image-guided surgery), 가상내시경(virtual endoscopy), 가상 수술 시뮬레이션(surgical simulation)과 같이 이전에는 없던 새로운

기술 분야를 창출하며 21세기의 새로운 진료영역으로 발전해 나가고 있다.

간담도계의 수술여부를 결정할 때 간담도의 해부학적 구조를 파악하고 간담도의 폐색의 부위와 원인 정확히 알아내는 것이 매우 중요하다. 간담도계의 표준 검사방법으로 이용되는 내시경적 역행성 담췌관 조영술(ERCP, endoscopic retrograde cholangiopancreatography)은 담도 결석의 진단에 있어 표준검사 방법으로 담관과 췌관의 해부학적 정보를 제공하며 내시경적 중재적 시술을 시행하면 유두 괄약근절개술(sphincterotomy)이나 생검(biopsy) 등의 치료적 접근이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 매우 침습적이며 진정(sedation)이나 마취가 필요한 경우도 있고, 특히 어린이는 전신 마취가 반드시 필요하다. 침해적이어서 췌장염이나 장천공 등의 합병증이 있을 수 있다. 또한 전리 방사선의 피폭이 심하다. 실패율이 약 20%이고 부분 조영, 담관만 조영되거나 췌관만 조영되는 등 불안전 검사(incomplete study)가 흔하며 수술 후에는 검사가 거의 불가능하다[5]. 그러나 CT, MRI를 이용하여 인체 내부에 대한 연속된 단면 영상을 얻어낸 후 인체의 3차원적 구조를 재구성함으로써 내시경 카메라로 보는 것과 같은 가상의 3차원 영상을 만들어내는 기법인 가상내시경을 이용하면 비침습적으로도 인체기관의 내부와 외부를 자유롭게 관찰할 수 있도록 한다. 가상내시경에 이용하기 위한 3차원 영상을 만들어 내는 기법에는 표면볼륨기법과 직접볼륨렌더링기법이 있다[6-9].

본 논문은 CT와 MRI를 이용하여 획득한 2차원의 복부영상을 영역분할, 문턱치법 등의 전처리과정을 거쳐 3차원영상을 생성하는 방법을 제시함으로써 가상내시경(virtual endoscopy)에 응용하고자 한다. 3차원영상 가시화 방법으로는 개인용 컴퓨터에서 이용되는 범용의 그래픽가속기를 이용하여 빠른 속도로 렌더링을 할 수 있는 장점을 가지는 표면볼륨렌더링 방법을 이용하였다. 여기에 이용한 알고리즘은 계산량이 적은 Marching Cubes 이다 [10-11]. 그리고 워크스테이션이나 전용의 프로그램이 없더라도 웹 브라우저 상에서 실행되는 가상현실 모델링언어(VRML, virtual reality modeling language)

양식의 3차원 영상을 생성하는 방법을 제시한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 개발 환경 및 3차원영상 생성과정

표면볼륨방식의 3차원영상을 만들기 위한 개인용 컴퓨터 시스템의 구성은 운영체제(OS)로는 Windows2000이며 중앙처리장치(CPU)는 Intel Pentium IV 2.4GHz, 그래픽카드(VGA)는 3D OpenGL을 지원하는 비디오 RAM이 64Mbyte인 NVIDIA GeForce4 MX 440을 사용했으며, RAM은 SDRAM 512Mbyte 사용하였다. 프로그래밍언어로 컴파일러(compiler)에는 Visual C++ 6.0이고 3D 그래픽 라이브러리(graphic library)로 C++로 구현되어 있는 VTK(visualization toolkit)이용하였다. 그림 1은 3차원 영상을 생성하는 과정을 나타낸 것이다.

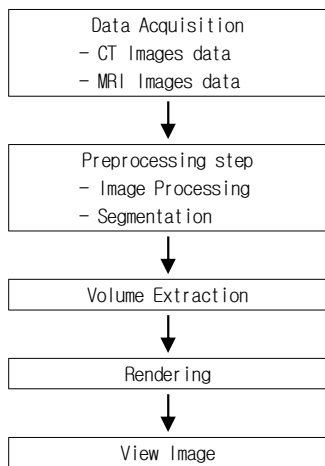


그림 1. 3차원영상 가시화 순서도

CT와 MRI의 다층의 2차원 영상을 얻고 임의의 문턱치(threshold)를 이진화를 통해 원하는 데이터만을 분할해 내는 데이터의 분할화(segmentation)과정과 직각 좌표계의 3방향 모두에서 동등한 데이터 값을 가질 수 있도록 동일한 간격의 데이터 보간삽입(interpolation)의 과정을 가진다. 이러한 영상 처리 과정을 통하여 2차원 단면상의 윤곽(contours)을 연결하여 피사체를 재구성하는 표면 렌더링(surface rendering)을 통하여 가상내시경을 위한 간

담도관 3차원영상을 생성한 후 기관 내부와 외부 를 관찰하는 가상내시경을 구현할 수 있다.

### 2. 데이터획득

3차원영상 만들기 위한 단면영상은 DICOM(digital image communication in medicine)을 지원하는 CT와 MRI를 이용하여 표 1과 같은 단면영상을 얻었다.

표 1. CT와 MRI 단면영상 DICOM 정보

Modality	Image Size	Pixel Spacing	Slice Distance	Slices Number
CT	512×512	0.62500mm	3.0 mm	71
MRI	256×256	1.40625 mm	4.0 mm	20

PTC(percutaneous transhepatic cholangiogram : 경피경간담도조영) 후에 간내담도에 삽입하고 있는 관(tube)을 통해서 조영제(contrast medium)와 생리식염수를 1 : 10 정도로 희석하여 약 50ml를 주입한 후 두께(thickness) 3mm로 CT 단면영상을 획득하였다. CT영상은 한 번의 호흡정지만으로도 많은 단면영상을 얻을 수 있지만 방사선에 의한 생물학적 영향을 방지하기 위하여 적절한 두께를 선택하였다. 조영제를 적정농도로 희석하여 인공물(artifact)에 의한 영상의 왜곡현상을 방지한다. 그림 2는 인피니트사의 DICOM Viewer에서 보이는 CT 횡단면 영상이다[12].

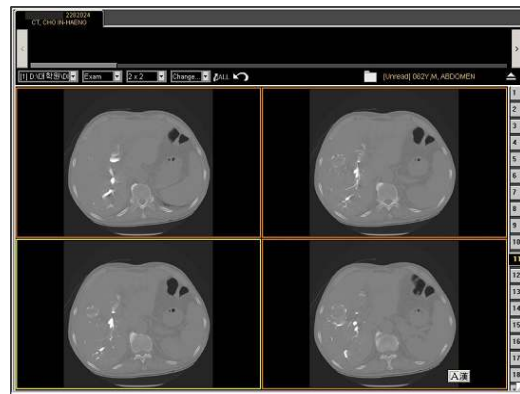


그림 2. CT 횡단면영상

MRI의 단면영상들은 호흡중지 상태에서 영상을

얻는 방식인 half-Fourier acquisition single-shot turbo spin-echo(HASTE)이 이용하였다. Stationary fluid(bile, pancreatic juice)는 고 신호강도를, solid organ은 저 신호강도를, 그리고 flowing blood는 signal void를 나타내는 특성을 이용하여, 담즙이나 췌장액의 고 신호강도와 주위조직의 저 신호강도 사이의 대조도 차이를 이용함으로써 조영제를 사용하지 않고 영상을 획득하였다. 그림 3은 MRI 관상단면(cornal) 영상으로 DICOM Viewer에서 보여지는 모습이다.



그림 3. MRI 관상단면

CT와 MRI에서 획득한 단면영상은 그림 4와 같은 과정을 거쳐 인피니트사의 DICOM server로 전송한 다음, 개인용 컴퓨터의 DICOM Viewer에서 영상을 획득하였다. 그림 4는 PACS (picture archiving and communication system)의 구성도이다.

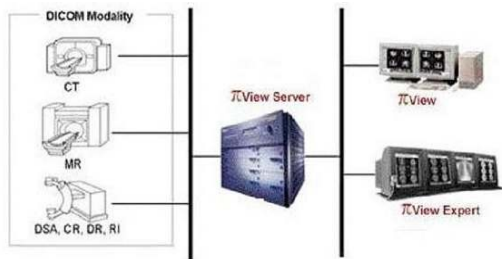


그림 4. PACS의 구성도

### 3. 전처리과정

전처리과정이란 시간차이를 갖는 영상을 포함하는 모든 단면영상으로부터 3차원모델로 구성하

는 처리과정을 말한다.

#### 1) 보간삽입(interpolation)

CT와 MRI에서 획득한 image data set을 스캔(scan) 방향으로 배열한 것을 볼륨 데이터(volume data)라 하며, 그 단위가 되는 기본 구성요소를 복셀(voxel)이라고 한다. 2차원의 단면영상의 Z축 방향의 화소크기와 X, Y축 방향의 화소크기가 차이를 가지게 된다. 그러나 3차원모델로 가시화하기 위해서는 비등방성(anisotropic) 데이터를 등방성(isotropic) 데이터로 변환해주었다.

#### 2) 영상분할(segmentation)

의학영상의 분할(segmentation)이란 CT와 MRI로부터 획득한 2차원 슬라이스(slices) 데이터를 처리하여 간담도관의 구조(structure)를 나타내기 위해 간담도관 정보를 추출하는 것을 말한다. 영상분할에 쓰이는 알고리즘으로 문턱치(threshold), 모폴로지(morphology)를 이용하였다. 영역분할법은 어떤 구조를 나타내기 위하여 필요한 영역을 남기고 나머지를 일정한 틀로써 제거하는 방법을 말하며, 문턱치법은 영상전체의 히스토그램을 기준으로 원하는 부위의 화소값에 해당하는 값들은 남기고, 나머지 값은 0으로 처리하는 것으로 장점은 처리가 빠르며, 균일한 강도값을 갖는 피사체나 현격한 강도 차이를 갖는 구조에서의 분할이 유리하나 서로 다른 구조물이 많이 중복된 피사체의 분할에는 사용이 제한된다. 모폴로지법은 폐곡선을 이루는 경계선을 검출하여 그 내부와 외부를 구분하는 기법이다.

#### 3) 3차원 재구성 및 볼륨 렌더링(rendering)

3차원영상 가시화기법에는 표면볼륨기법과 직접볼륨렌더링기법이 있다. 간접 볼륨 렌더링은 물체의 표면이 면으로 표현될 수 있다는 가정하에 다각형의 망으로 표현하고, 다각형과 광원의 상호작용이 카메라에 어떻게 나타나는가를 계산하는 기법이다. 직접볼륨렌더링은 물체를 구성하는 각 체적소를 분류해서 칼라 및 불투명도를 계산한 다음 가상의 카메라에 어떻게 나타날 것인가를 계산하는 기법이다. 직접볼륨렌더링으로 가시화된 3차원영

상은 내부가 채워져 있는 복셀(voxels)로 구성되기 때문에 가상수술에 있어서 기관의 절단이나 변형(deformation)의 경우에 유용하나, 프레임의 변화가 많으면 계산량이 많아지므로 가상내시경을 위한 3차원영상의 가시화하는 방법으로는 적당하지 않아 계산량이 적은 간접 볼륨 렌더링이 사용되었으며 Marching Cube 알고리즘을 통해 표면을 계산하였다.

Marching Cube의 접근 방법은 3차원 볼륨 데이터의 단위인 복셀들 각각을 독립적으로 간주하고, 이들을 나누어 공략(divide & conquer)하는 방법을 사용한다. 이 방법은 영상 외곽이 복셀들로 이루어진 6면체(cube)와 교차하는 유형이 유한하다는 가정에서 출발한다. 그러면 가능한 경우의 6면체 위상 상태를 나열하는 Case 테이블을 만들 수 있고, 이를 이용하여 영상표면 외곽을 근사하여 생성한다. 3차원 볼륨 데이터를 차례차례 썰아 올려서 만들었다(그림 5).

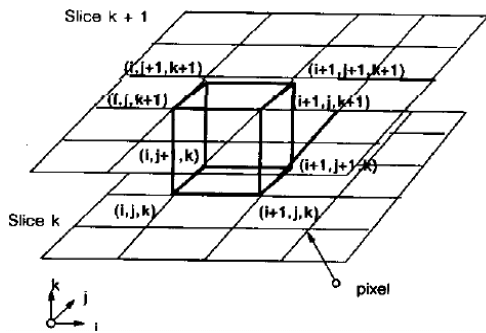


그림 5. 인접 슬라이스 관계도

아래는 인접 슬라이스 관계도를 나타내기 위한 프로그래밍이다.

```

/* C is contour value */
/* p[k], k=0, 7 contains vertex value */
index = 0;
for ( k=0; k<8; k++ )
{
    if ( p[k] > C ) index = index | 1<<k;
}
/* topology is a reference to a suitable
   structure which contains intersecting
   edge list */
topology = top_table [index]
    
```

인접한 2개의 슬라이스를 선택하여 그림 6과 같이 6면체를 만든다. 6면체는 8개의 꼭짓점을 가지므로 하나의 6면체가 정해질 수 있는 가능성은 모두  $2^8 = 256$  가지이다. 이 경우들은 6면체의 대칭성 때문에 그림6과 같이 15가지로 줄어든다. 어떤 경우의 6면체도 회전, 대칭을 이용하여 위상적으로 같은 Case 테이블에 있는 15가지 6면체중의 하나가 된다. 따라서 모서리에서의 값을 분류하여 내부/외부를 결정한다. 다음, 15가지 중에서 하나를 선택함으로써 체적소 내에 있는 등위면의 polygon을 계산해 낼 수 있다.

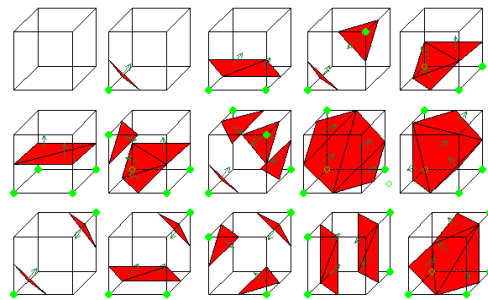


그림 6. Marching Cube 알고리즘 모식도

4) VRML 영상

CT와 MRI 간담도계 단면영상으로부터 같은 문턱치(threshold value)끼리 연결하는 등위면을 형성하고 각 슬라이스 영상을 쌓아올려 3차원영상은 VRML 파일로 생성했다. 워크스테이션이나 전용의 프로그램이 없더라도 웹 브라우저 상에서 실행되는 가상현실 모델링 언어(VRML, virtual reality modeling language)양식의 3차원 영상을 생성하기 위하여 Kitware에서 제공하는 공개프로그램인

vtk(Visualization Toolkit) 이용하였다[13].

아래는 vtk에서 VRML 파일을 다루기 위한 명령어로 사용되는 vtkVRMLExporter를 이용하는 예이다.

```

/* VTK and VRML C++ examples */
vtkVRMLExporter *VRML = vtkVRMLExporter : :
New ( );
VRML->SetInput(this->RenderWindow);
VRML->SetFileName(test.wrl);
VRML->Write ( );
VRML->Delete ( );
    
```

### III. 결과

#### 1. 3차원 영상의 특성

표 2는 3차원영상의 특성들을 나타내고 있다. CT의 3차원 영상 파일의 노드 수와 삼각형 수 및 크기는 각각 85,367, 174,150, 10,124이었고, MRI의 3차원 영상 파일의 노드 수와 삼각형 수 및 크기는 각각 34,029, 67,824, 3,804이었다. 2차원 영상의 파일의 해상도를 256×256에서 512×512으로 높이면 4배, 슬라이스 수에는 비례하여 노드가 증가함을 보이고, 3차원 영상 파일의 삼각형 수는 노드 수의 2배로 증가함을 보였다.

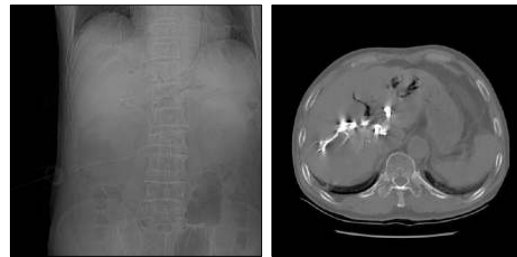
표 2. 3차원 영상 파일의 노드 수와 삼각형 수 및 크기

Modality	Vertex	Polygon	크기(kb)
CT	85,367	174,150	10,124
MR	34,029	67,824	3,804

#### 2. CT 영상

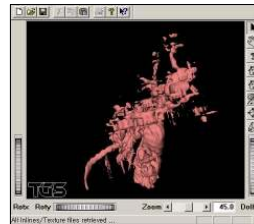
그림 7은 첫 번째 얻은 영상과 생성된 3차원영상이며, (a)는 CT Scout영상이며, (b)는 CT 단면영상으로 우측의 밝은 부분은 조영제에 의한 것이며, (c)와 (d) 간담도관 3차원영상으로 좌우측 간내담관은 보이지만 좌우측 간내담관이 만나는 간문(porta hepatis)의 폐색으로 총담관이 보이지 않고, (e)는 간내담관 3차원영상 내부 모습이고, (f)는 간내담관 3차원영상 내부 모습으로 간문부분이 폐색된 모습이

다.



(a) CT scanogram 영상

(b) CT 단면영상



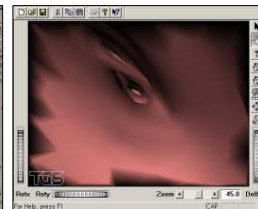
(c) 정면에서 본 3차원영상



(d) 밑에서 본 3차원 영상



(e) 3차원영상 내부

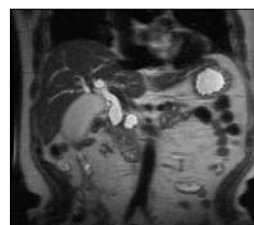


(f) 3차원영상 폐색된 부분

그림 7. CT 영상

#### 3. MRI 영상

그림 8은 MRI 영상으로 (a)는 DICOM 3.0 형식의 관상단면(cornal)영상이며, (b)는 간담도계 3차원 영상으로 좌우측 간내담관과 총담관의 폐색으로 총담관과 담낭(gall bladder)이 확장되어 있고, (c)는 간내담관이 분기된 모습이고, 총담관의 아래 부분으로 폐색되어 있다. 그림 9는 (a)와 (b)는 웹 브라우저에서 보여지는 CT와 MRI 가상내시경을 위한 3차원 영상이다.

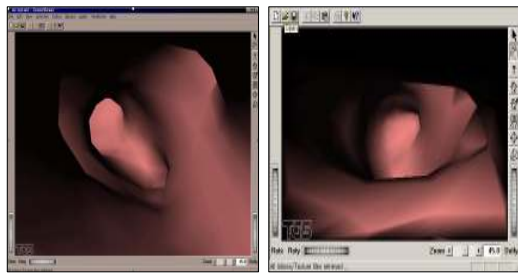


(a) MRI 단면영상



(b) 정면에서 본 3차원 영상





(c) 3차원영상 내부 (d) 3차원영상 폐색된 부분

그림 8. MRI 영상

#### 4. VRML 뷰어

VRML 파일을 보기 위해서는 웹브라우저의 플러그인으로 장착될 수 있는 VRML 뷰어인 Cosmo Player가 필요하다. wrl 파일로 생성한 3차원 영상을 사용자가 보고, 움직이고, 회전 등의 상호 작용이 가능하다. 그림 9는 오프라인 상태에서 Cosmo Player에서 실행되고 있는 CT와 MRI 영상이다.



(a) CT 영상 (b) MRI 영상

그림 9. VRML 뷰어 실행

### IV. 결론 및 고찰

본 논문에서 CT와 MRI 단면 영상으로부터 간담도계 가상내시경에 사용하기 위한 표면볼륨렌더링으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CT와 MRI 단면 영상을 계산량이 적은 Marching Cubes 알고리즘을 이용하여 3차원영상의 가시화가 가능함을 확인하였다.
- 2) 개인용 컴퓨터에서 이용되는 범용의 그래픽 가속기를 이용하여 3차원영상의 가시화가 가능함을 확인하였다.
- 3) VRML을 형식으로 생성한 3차원 영상은 오프

라인 웹 브라우저 상에서 실행할 수 있음을 확인하였다.

간담도계의 검사 방법인 ERCP는 매우 침습적이며 진정이나 마취가 필요한 경우가 많고, 특히 어린이는 전신 마취가 반드시 필요하다. 매우 침습적인 검사 방법으로 췌장염이나 장천공 등의 합병증이 있을 수 있다. 또한 전리방사선의 피폭이 심하며, 실패율이 약 20 % 정도이고 부분 조영, 담관만 조영되든가 췌관만 조영되는 등의 불완전한 검사(incomplete study)가 흔하며 수술 후에는 검사가 거의 불가능하다. 이 검사는 내과 의사, 방사선과 의사, 간호사, 방사선사 등의 최소한 4명의 인력이 약 1시간 정도 투입되어야 하는 고난도 검사이다. 그리고 초음파검사와 CT 단면영상만으로는 담관의 이상을 객관적으로 묘사하고 공간 해부학적 구조를 외과 의사가 이해하기에 부적합한 경우가 많으며, 간담도가 완전폐색인 경우에는 ERCP을 시행할 수 없다[5]. 그러나 MRI 간담도계 가상내시경은 전혀 아프지 않고 진정도 필요하지 않아 어린이도 검사할 수 있다. 단 환자가 20-30초 정도 숨을 잘 참느냐가 문제이다. 물론 후유증도 없고 방사선 장애도 없다. 숨을 잘 못 참는 사람 외에는 성공률이 매우 높다. 또한 전에 시행한 담관이나 복부 수술에 관계없이 시행할 수 있다. CT 간담도 가상내시경은 PTC를 시행한 다음 삽입하고 있는 관(tube)를 통해 조영제를 주입하고 얻은 영상을 가지고 만든 영상을 가상내시경에 적용함으로써 협착이나 폐색의 원인 및 정도를 파악할 수 있어 수술계획에 도움이 될 것이다. 또한 수술 중에 삽입하고 있는 T-tube를 통해 조영제 주입 후 얻은 영상으로 만든 영상을 가상내시경에 적용함으로써 수술의 성공여부 평가에도 이용할 수 있다.

본 논문에서 3차원영상의 가시화 방법으로 제시한 표면볼륨렌더링 진단, 교육, 훈련 등 다양한 이용이 가능할 것으로 여겨진다. 그러나 Web 서버 구축, 삼각형의 개수가 증가할 때의 속도저하를 가져오는 문제와 직접볼륨렌더링에 비해 부자연스러운 결과를 보여주는 문제를 해결하여야 할 것이다.

### 참고문헌

- [1] J. K. Udupa and G. T. Herman, "3D Imaging in Medicine", CRC, 2000.
- [2] D. C. Hemmy, F. W. Zonneveld, S. Lobregt, and K. Fukuta, "A decade of clinical three-dimensional image : A review Part 1. Historical development", Investigative radiology, Vol. 29, No. 4, pp 489-496, 1994.
- [3] W. Luboldt, J. F. Debatin, "Virtual Endoscopic Colonography based on 3D MRI", Abdom Imaging, Vol. 23, No. 6, pp 568-572, 1998.
- [4] <http://kidbs.itfind.or.kr/new-bin/WZIN/WebzineRead.cgi?recno=0901013989&mcode=jugidong>
- [5] Hyung Jin Oh, Jae Mun Lee, Seung Eun Jung, Eung Kook Kim, Jae Kwang Kim, Sung Tae Han, "The Diagnostic Utility of MR Cholangiography before Laparoscopic Cholecystectomy", J Korean Radiol Soc, Vol. 42, No. 3, vpp 497-503, 2000.
- [6] G. Barequet, D. Shapiro and A. Tal, "Multilevel sensitive reconstruction of polyhedral surfaces from parallel slices", The Visual Computer, Vol. 16, No. 2, pp 116-133, 2000.
- [7] M. Levoy, "Display of Surfaces from Volume Data", Computer Graphics and Applications, Vol. 8, No. 3, pp 29-37, 1988.
- [8] D. Laur and P. Hanrahan, "Hierarchical Splatting : A Progressive Refinement Algorithm for Volume Rendering," In Computer Graphics (SIGGRAPH '91 Proceedings), 1991.
- [9] S. Rusinkiewicz and M. Levoy, "Qsplat : A Multiresolution Point Rendering System for Large Meshes," In Computer Graphics(SIGGRAPH '00 Proceedings), 2000.
- [10] W. Lorensen and H. Cline. "Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm". In Computer Graphics (SIGGRAPH '87 Proceedings), Vol. 21, No. 4, pp 163-169, 1987.
- [11] H. M. Fenlon, T. V. Bell, H. K. Ahari and S. Hussain "Virtual cystoscopy : early clinical experience. Radiology", Vol. 205, No. pp 272-275, 1997.
- [12] <http://www.mediface.com>
- [13] <http://www.kitware.com>