

VRML을 이용한 융합 영상에서 간질환자 발작 진원지의 3차원적 가시화와 위치 측정 구현

연세대학교 의과대학 BK21 의과학사업단*, 방사선의과학연구소[†], 진단방사선과학교실[‡], 의학공학교실[§]

이상호*.[†] · 김동현*.[†] · 유선국[§] · 정해조[‡] · 윤미진[‡]
손혜경*.[†] · 강원석*.[†] · 이종두*.[†] · 김희중*.[‡] · [‡]

World Wide Web (WWW)에서 Virtual Reality Modeling Language (VRML)를 이용하는 3차원 (3D) 디스플레이는 사용자에게 직관적인 정보를 더 효과적으로 제공해 준다. 웹을 기반으로 하는 해부학적 영상과 융합되는 기능적 영상의 3D 가시화는 아직까지 체계적인 방식으로 연구가 활발히 진행되지 않았다. 이 연구의 목적은 2D 영상들과 함께 웹에서 VRML을 이용하여 구현되는 3D 해부학적 표면 영상들과 기능적 표면 영상들을 동시에 관찰할 수 있게 하고 VRML을 통해 만들어진 거리 측정 도구를 가지고 관심영역의 공간적인 위치 정보를 제공하는 것이다. 본 연구에서는 한 명의 간질 환자로부터 Magnetic Resonance (MR) 측면 영상과 발작기 및 발작간기 Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) 측면 영상들을 각각 획득하였다. 발작 진원지의 확인을 향상시키기 위해서 subtraction ictal SPECT co-registered to MRI (SISCOM)을 수행하였다. SISCOM 결과로 나타난 각 2D 영상들은 모든 voxel들의 평균값 위로 1-표준편차와 2-표준편차에 해당하는 문턱 이상의 영상 값을 갖도록 하였다. SISCOM으로 나타나는 간질 발작 진원지들과 MRI 영상에서 회색질, 백색질 및 뇌척수액의 경계들을 각각 분할하고 marching cube 알고리즘에 의해 VRML 표면 영상들로 나타내었다. 측면 영상에서 실제 거리를 나타내는 x, y축의 길이를 획득하고 z축선의 길이를 계산하였다. VRML을 이용한 거리 측정 도구를 만들어 이전의 VRML 표면 영상들과 융합하였다. MRI 영상을 이용하여 3D 표면 영상들의 단면을 나타내고 3D 표면 영상들의 투명도를 설정하기 위해 Java Script 루틴을 사용자 인터페이스 도구로서 삽입하였다. 웹 페이지에서 구현되는 3D 표면 영상들의 투명도와 관찰 위치를 조절함에 따라 모델들 사이의 공간적인 정보를 직관적으로 알 수 있었다. 간질 발작 진원지에 대응하는 해부학적 구조를 3D 표면 영상들을 가로지르는 MRI 평면 영상들을 통해서 확인하였다. 간질 발작 진원지는 뇌의 오른쪽 측두엽에서 나타났고 공간적으로 발작 진원지의 실제 위치를 VRML 거리 측정 도구에 의해 알 수 있었다. 결론적으로 본 연구에서 제시하는 웹에 근거한 3D 융합 영상의 가시화와 위치 측정은 진단 및 치료 방사선학과 외과학 등의 분야에서 온라인 방식의 연구와 교육에 있어 많은 도움을 줄 것이다.

중심단어 : 가상현실 구현 언어(VRML), SISCOM, 영상 융합, 가시화, 위치 측정

서 론

World Wide Web (WWW)에서 Virtual Reality Modeling Language¹⁾ (VRML)는 3차원 (3D) 영상을 구현하고 다른 프로그램에 이식 가능한 파일 포맷으로서 직관적인 정보를 보다 더 효과적으로 제공해 주고 있다. 의료 분야에서 3D 영상은 컴퓨터를 이용하는 진단, 교육, 수술 계획 등의 목적으로 사용되어 왔다.^{2,3)} 최근에 웹 기술의 발전에 따라 인터

넷 사용자가 개인 PC 환경에서 온라인상으로 다양한 의료 영상을 보다 더 직관적으로 이해하고 사용자간에 정보를 즉시 교환할 수 있게 하기 위해서 VRML을 이용하는 시도가 증가하고 있는 추세이다.

VRML을 이용한 3D 의료 영상의 구현은 주로 Computed tomography (CT)나 Magnetic Resonance Imaging (MRI)를 이용하여 발전되어 왔다.⁴⁾ 기관지의 CT 영상을 이용한 VRML 가상 내시경의 구현,⁵⁾ 달팽이관(cochlea)의 CT 영상을 이용한 3D 모델링과 가시화⁶⁾ 그리고 중이(middle ear)의 MR 영상을 이용한 해부학적 3D 영상의 구현⁷⁾ 등은 이러한 예들이다. 이와 같이 VRML에 근거한 해부학적인 구현은 계속적으로 증가해 왔으나 기능적인 3D 영상의 구현은 아직까지 상대적으로 찾기가 어렵다. 특히, Single Photon Emis-

이 논문은 2003년 1월 16일 접수하여, 2003년 2월 21일 채택됨.

책임저자 : 김희중, (120-752) 서울시 서대문구 신촌동 134

연세대학교 의과대학 진단방사선과학교실

Tel : 02)361-5753, Fax : 02)313-1039

E-mail : hjkim@yumc.yonsei.ac.kr

이상호 외 8인 : VRML을 이용한 융합 영상에서 간질환자 발작 진원지의 3차원적 가시화와 위치 측정 구현

sion Computed Tomography (SPECT)나 Positron Emission Tomography (PET)과 같은 핵의학 영상을 가지고 VRML을 이용하여 구현하는 융합 영상에 대해서는 아직까지 보고된 바가 없다. 또한 여러 학자들이 융합 영상과 관련하여 주로 일반인들이 쉽게 이해하기 어려운 Talairach 좌표^{8,9)}에서 활성화 진원지의 분포를 해부학적으로 정의해 왔다.^{10,11)} 하지만 임상 의사들은 진단 및 치료와 관련하여 Talairach 좌표의 유용성에 대해서는 아직까지 의문이 많고 실질적으로 Talairach 좌표를 이용해서 영상을 진단하고 판독하는 일은 극히 드물다. 따라서 본 연구의 목적은 웹에서 2D 영상들과 함께 서로 다른 영상 장치로 획득한 영상들을 융합하여 VRML을 통해 구현되는 해부학적, 기능적 3D 영상들을 동시에 관찰할 수 있게 하고, 임상 의사들과 일반인들이 영상 정보를 쉽게 이해할 수 있도록 VRML을 이용하여 제작되는 거리 측정 도구를 가지고 공간적으로 관심 영역에 대한 위치 정보를 제공하는 것이다.

대상 및 방법

1. 대상

본 연구에서는 해부학적 영상과 기능적 영상을 구현하는

한 가지 예로 간질 환자의 MRI와 발작기 및 발작간기 SPECT 영상 데이터를 사용하였다.

2. 방법

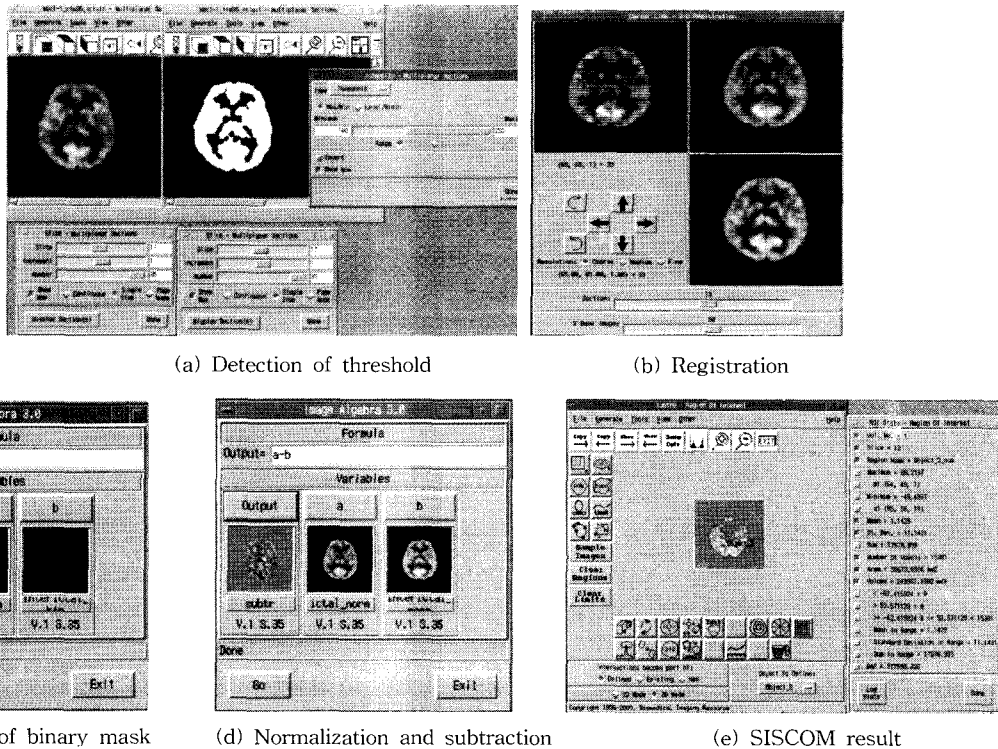
1) MR 영상의 획득

한명의 간질 환자를 대상으로 1.5T 초전도 기기 (General Electric Medical Systems, Milwaukee, WI, USA)를 이용하여 총 32개의 축면(axial) T2 강조 영상(TR = 4000 ms, TE = 105 ms, 절편두께 = 3.33 mm, 화소수 = 128×128)을 획득하였다. MRI 체적에서 voxel의 깊이(depth), 높이(height) 및 폭(width)은 각각 3.33 mm, 1.66 mm, 1.66 mm이었다.

2) 발작기와 발작간기 SPECT 영상의 획득

동일한 간질 환자에서의 뇌파와 환자 발작상태가 모니터로 관찰되었으며 발작기 뇌파와 SPECT를 얻을 수 있었다. 간질 발작이 시작되는 즉시 Tc-99m-ECD를 740 MBq (20 mCi)을 순간 정맥 주사하여 발작이 멈춘 뒤 1시간 후에 영상을 획득하였다. 발작간기 영상 역시 Tc-99m-EDC 740 MBq을 정맥 주사하고 1시간 후에 영상을 획득하였다.

영상은 저에너지고해상도 조준기를 부착한 3중헤드 CeraSPECT™ (DSI, USA)로 투사상 당 20초씩, 128×128



(c) Creation of binary mask

(d) Normalization and subtraction

(e) SISCOP result

Fig. 1. SISCOP procedure.

해상도, 총 32개의 측면 투사 상을 얻었다. MRI 체적과 마찬가지로 SPECT 체적은 3.33 mm (depth)×1.66 mm (height)×1.66 mm (width)의 voxel로 구성되었다.

3) SISCOM 영상 처리

간질 발작 전원의 활성화 영역을 찾기 위해 발작기와 발작간기 SPECT 영상들을 이용하여 Analyze 3.0 소프트웨어¹²⁾에서 subtraction ictal SPECT co-registered to MRI^{13, 15)} (SISCOM)을 수행하였다. SISCOM 과정은 1) 뇌 영상에서의 voxel들을 선택하기 위한 문턱 값(threshold value)의 결정(Fig. 1a), 2) 발작 및 발작 간 SPECT 영상들의 정합(registration) (Fig. 1b), 3) 뇌의 영역 분할 및 이진수(binary) 마스크의 생성(Fig. 1c), 4) 발작 및 발작 간 SPECT

영상들의 표준화와 차감(Fig. 1d), 5) 차감된 SPECT 영상에서 활성화 영역의 통계적인 결정(Fig. 1e), 6) MRI와 SPECT 영상들의 정합(Fig. 1b)을 포함한다. SISCOM 영상들을 이진수 마스크와 곱하여 관심영역을 선택하고 차감된 SPECT 체적 전체에서 모든 voxel들의 평균값 위로 1-표준편차와 2-표준편차의 문턱 값들에 의해서 나타내었다.

4) 관심영역의 분할과 3D 표면 영상 생성

SISCOM 영상에서 1-표준편차와 2-표준편차의 활성화 영역들과 MRI 영상에서 회색질, 백색질 및 뇌척수액의 경계 부분들을 각각 분할하여 object map으로 저장하였다(Fig. 2a). 이 object map들을 각각 SISCOM과 MRI 체적들로 load하여 marching cube algorithm¹⁶⁾에 의해서 3D 다각형

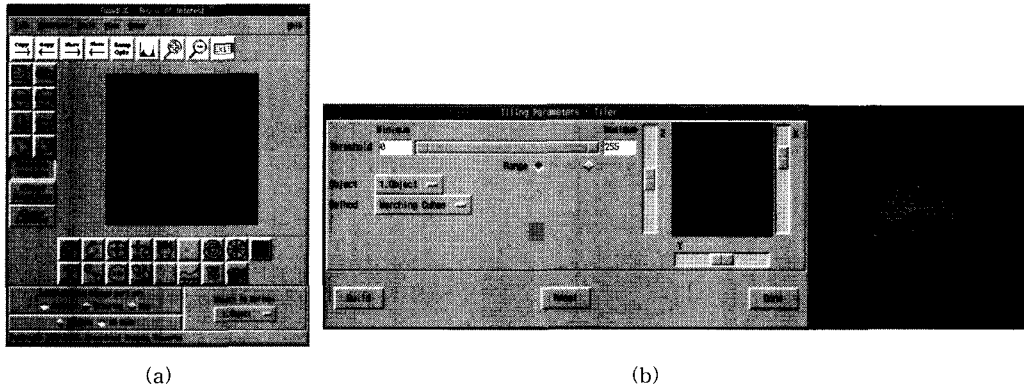


Fig. 2. (a) Boundaries of 1-standard deviation (1-SD), 2-standard deviations (2-SD), cerebrospinal fluid (CSF), white matter and gray matter were segmented respectively. (b) VRML surface model was created by marching cube algorithm.

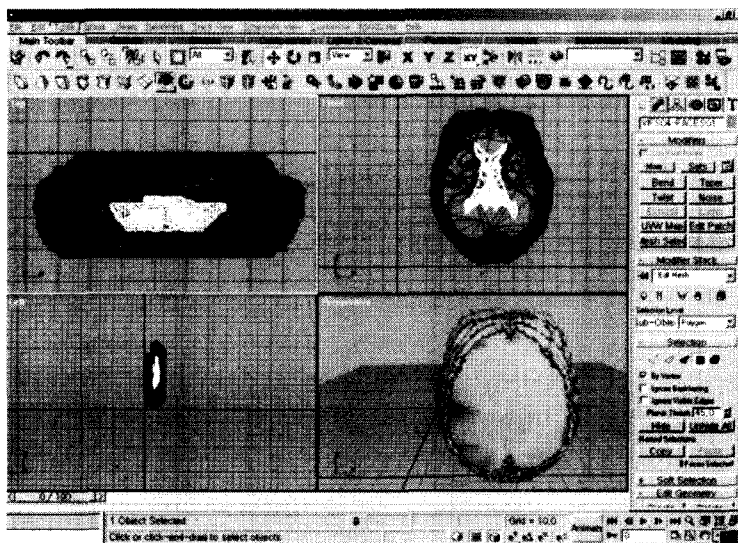


Fig. 3. Polygons of all surfaces were reduced by optimization modifier. All surfaces were exported to VRML 2.0 files.

이상호 외 8인 : VRML을 이용한 융합 영상에서 간질환자 발작 진원지의 3차원적 가시화와 위치 측정 구현

의 표면 영상들을 생성하였다(Fig. 2b). 이 표면 영상들은 VRML 1.0 파일들로 export하였다.

5) 다각형 개수의 축소

3D 다각형 표면 영상들을 3D Studio Max R3.1 소프트웨어¹⁷⁾에서 각각 import하였다. 각 모델들마다 서로 맞물린 다각형들의 수를 감소시키고 VRML 브라우저에서 네비게이션 성능을 향상시키기 위해서 최적화 수정자¹⁷⁾(optimization modifier)를 적용하였다(Fig. 3). 영상의 질이 심하게 저하되지 않는 범위 내에서 다각형들의 수를 반복적으로 감소시켰다. 이 압축된 영상들은 모두 VRML 2.0/97 파일 포맷으로 export하였다.

6) VRML을 이용한 거리 측정 도구의 제작

우리는 관심영역의 크기와 위치를 직각 좌표계 형식으로 표현하고자 하였다. 간질 환자로부터 획득한 2D 영상의 실제 크기를 측정하기 위해 Analyze 3.0 소프트웨어에서 임의로 하나의 측면 영상을 선택하여 실제 거리를 나타내는 x축과 y축의 line profile¹²⁾들을 획득하였다. MRI와 SPECT 영상

들의 x축과 y축의 최대 길이(211.67 mm)는 서로 같았다(Fig. 4). z축의 최대 길이(3.33 mm×(32-1)=103.23 mm)는 단면의 두께와 개수를 이용하여 계산하였다. 3D 표면 영상들의 위치와 크기를 측정하는 도구를 만들기 위해 몇 개의 측면 영상들을 가지고 영상 전체를 포함하는 경계 부분을 분할하여 상자 모양의 표면 영상을 생성하였다(Fig. 5). 이 표면 영상은 VRML 1.0 파일로 export하였다.

위 상자 표면 영상을 거리 측정 도구의 공간적 위치 선정을 위한 매개체로 이용하기 위해 3D Studio Max R3.1 소프트웨어에서 import하였다. 상자 표면 위에서 축의 방향과 평행하고 상자 표면의 모서리와 만나는 세 개의 거리 측정 도구 상자들을 만들었다(Fig. 6). 이 거리 측정 도구 상자들의 길이는 line profile을 통해 획득한 각 축의 최대 길이와 같았다. 세 개의 거리 측정 도구 상자들이 만나는 원점은 측면 영상에서 관찰자를 기준으로 오른쪽 아래의 꼭지점으로 정하였다. import하였던 상자 모양의 표면 영상을 지우고 남아있는 서로 직교하는 세 개의 측정도구 상자들을 VRML

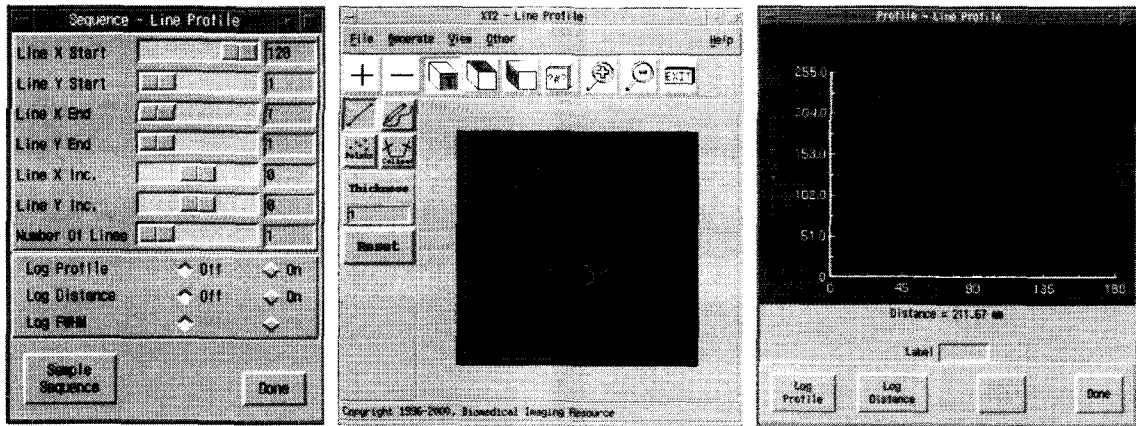


Fig. 4. Measure of line profiles. Maximum lengths of axes were x=y=211.67 mm, z=103.23 mm, respectively.

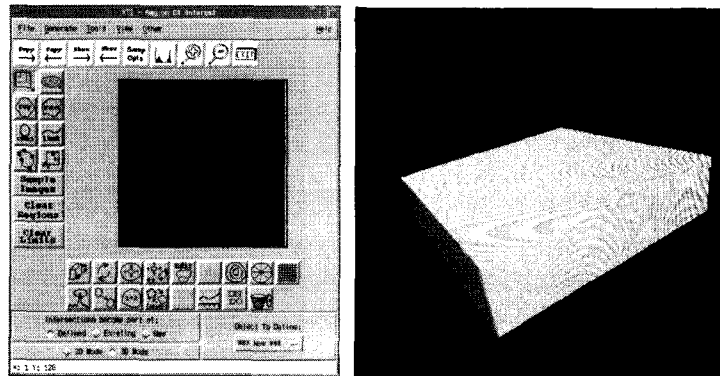


Fig. 5. Borders that contain backgrounds of several images were segmented and a box-shaped surface was rendered.

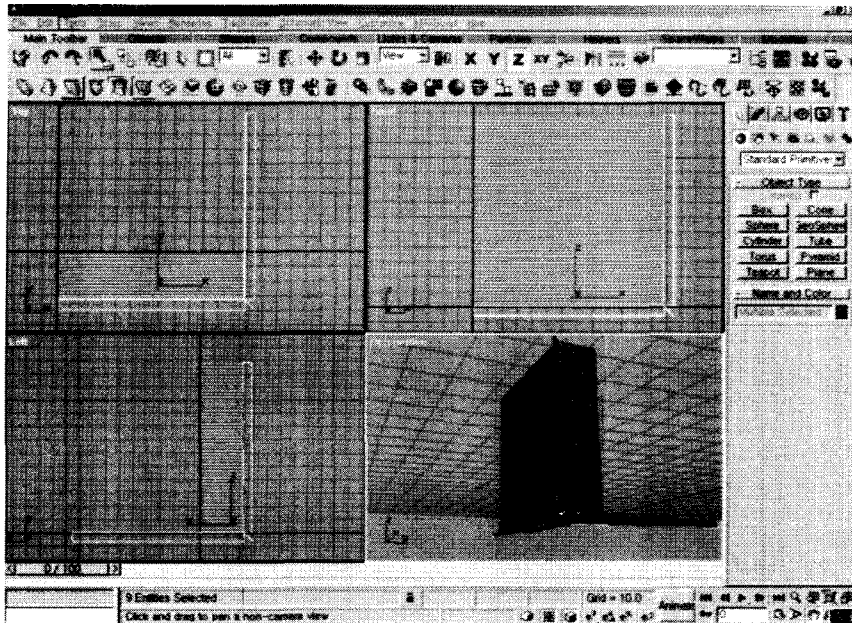


Fig. 6. Three thin measuring tool boxes that a side was parallel to x, y, and z-axis of the imported box were made in 3D Studio Max R3.1 software.

2.0/97 파일 포맷으로 export하였다.

마지막으로 눈금자의 영상을 만들어 내기 위해 Adobe Photoshop 6.0 소프트웨어에서 211.67 mm 크기의 새 창을 열고 눈금자가 보이게 했다. Capture Express 2000 version 1.0 소프트웨어를 이용하여 화면에 나타나는 눈금자의 영상을 또 다른 영상으로 잘라내고 GIF 파일로 저장하였다 (Fig. 7).

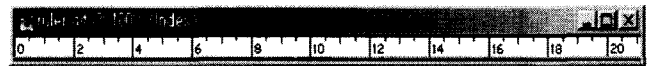


Fig. 7. Image of captured scale ruler.

5. VRML 프로그래밍

거리 측정 도구 상자들을 포함한 모든 3D 표면 영상 데이터들을 VRML 프로그래밍 에디터인 VRML Pad 1.3에서 읽어 들였다. VRML로 부호화된 표면 영상들의 크기 정보를 확인한 결과 VRML 표면 영상들의 크기와 실제 크기의 비는 약 605.9:1임을 알 수 있었다. 각 거리 측정 도구 상자들의 길이에 수직인 방향으로 3D 표면 영상들을 가로지르는 2D 단면들을 indexed face set node¹⁾에 의해 추가하였다. 또한 texture mapping¹⁾을 통해 측면(axial), 관상면(coronal), 시상면(sagittal)의 MRI 영상들을 각각 대응하는 축의 2D 단면들 위에 부착하였고 GIF 파일로 저장하였던 눈금자의 영상을 세 개의 거리 측정 도구 상자들 위에 부착하였다.

6. VRML과 Java script와의 결합

서로 직교하는 세 개의 거리 측정 도구들 위에 각각 하나씩의 버튼을 추가하고 Java script¹⁾ 루틴에 의해 버튼들이

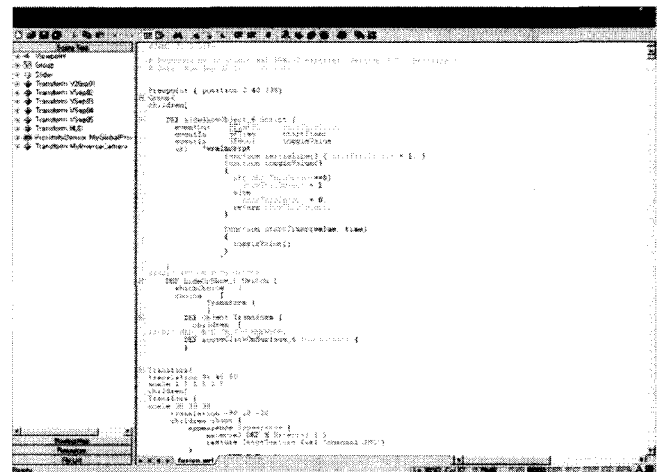


Fig. 8. Coding in VRML Pad 1.3.

자위를 미끄러져 이동할 수 있게 했다. 버튼이 이동하는 각 위치마다 texture mapping되는 MRI 단면 영상들을 안내하도록 했다. 또한 1-표준편차, 2-표준편차, 뇌척수액, 백색질 및 회색질에 대한 표면 영상들의 투명도를 설정하기 위한 다섯개의 sliding bar들과 나타남과 사라짐을 선택하기 위한 다섯개의 버튼들을 Java script 루틴과 함께 추가하였다.

이상호 외 8인 : VRML을 이용한 융합 영상에서 간질환자 발작 진원지의 3차원적 가시화와 위치 측정 구현

text node¹⁾에 의해 3D 표면 영상들 각각의 이름을 표시하여 사용자가 각 sliding bar와 버튼이 대응하는 표면 영상을 알아볼 수 있게 했다. 웹 페이지에 plug-in되어 VRML 표면 영상들을 나타내는 뷰어로서는 Cosmo player 2.1을 사용하였다.

결 과

모든 VRML 데이터가 인터넷을 통해 전송될 때 웹 브라우저는 VRML 오브젝트와 상호 작용하는 VRML 뷰어를 동작시켰다. 디스플레이가 웹에서 이루어졌기 때문에 구현되는 성능은 파일 크기와 관계되는 다운로드 시간과 모델의 복잡성과 연관되는 네비게이션 속도에 의존했다. 3D 표면 모델에서 단면 두께로 인한 staircase artifact가 나타났지만 VRML의 indexed face set node에 있는 crease angle field¹⁾의 추가로 날카로운 부분을 다소 부드럽게 처리할 수 있었다. 또한 최적화 수정자로 다각형의 개수를 축소한 모델들은 시각적으로 형태의 왜곡과 손실 없이 웹 페이지에서 잘 디스플레이 되었다. Sliding bar들로 표면 모델들의 투명도를 조절하였을 때 뇌의 해부학적 표면 형태와 활성화 영역들의 3D 분포들을 동시에 관찰할 수 있었다(Fig. 9). 또한 각 VRML 거리측정 도구 위에 있는 버튼들의 위치를 이동하였을 때 순차적으로 texture mapping되는 MRI 영상들이 나타났고 3D 표면 영상들을 가로지르는 MRI 단면 영상들을 통해 발작 진원지에 대응하는 해부학적 구조를 확인할 수 있

었다. 간질 발작 진원지들의 위치는 VRML 거리 측정 도구 위의 버튼이 가리키는 눈금에 의해서 확인할 수 있었다. 또한 SISCO 결과로 나타난 간질 발작 진원지는 1-표준편차의 영상에서는 여러 영역에서 나타났지만 2-표준편차의 영상에서는 오른쪽 측두엽에서만 나타났다(Fig. 10). 2-표준편차의 SISCO 결과로 나타나는 간질 발작 진원지의 중심은 VRML 거리 측정 도구에 의해서 원점으로부터 x=15 cm, y=8.25 cm, z=8 cm의 위치에 있었다(Fig. 11).

고안 및 결론

본 연구에서 개발된 VRML을 통한 응용은 몇 가지 장점을 가지고 있다. 첫째로, 3D로 융합하는 디스플레이와 해부학적 영상과 기능적 영상들의 제어를 웹에서 성취할 수 있었다. 둘째로, 3D 표면 영상에 대한 벡터 분석을 모델들의 실제 크기와 위치를 켈 수 있도록 만든 VRML 거리 측정 도구에 의해서 실시할 수 있었다. 셋째로, VRML을 통하여 발작 진원지에 대응하는 해부학적 구조를 MRI 영상들과 관련하여 직관적으로 이해할 수 있었다.

반면에 본 연구에서 시도된 웹에 근거하는 가시화 기술은 몇 가지 측면에서 더 개선되어야 할 점들이 있다. 첫째로, VRML 표면 영상의 staircase artifact를 감소시키고 원래의 형태에 가깝게 디스플레이하기 위해서 MR 단면 영상들을 더 많고 얇은 두께로 획득해야 한다. 하지만 이것은 영상 분할을 수행하는 시간을 더 늘리는 경우가 될 수도 있다. 둘째

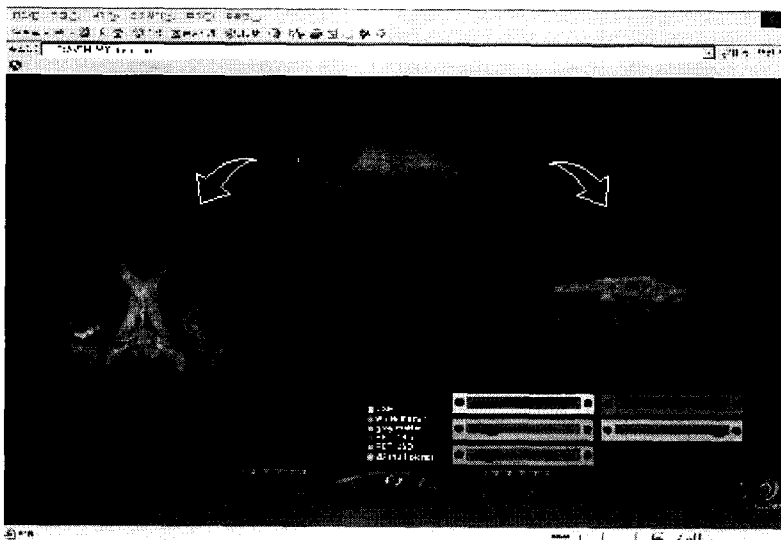


Fig. 9. Screenshot of a VRML fusion model of brain anatomic surfaces with functional surfaces at axial, coronal and sagittal view. Arrows represent the possibility for interactive exploration.

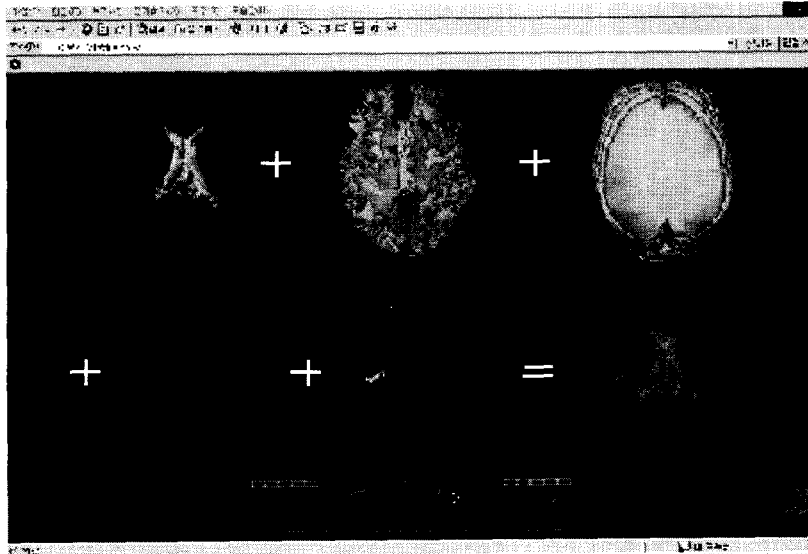


Fig. 10. This figure represents that all 3D anatomical and functional surface models can be interactively fused in VRML technology. From left to right, CSF, white matter, gray matter, 1-SD, 2-SD and fused images are shown.

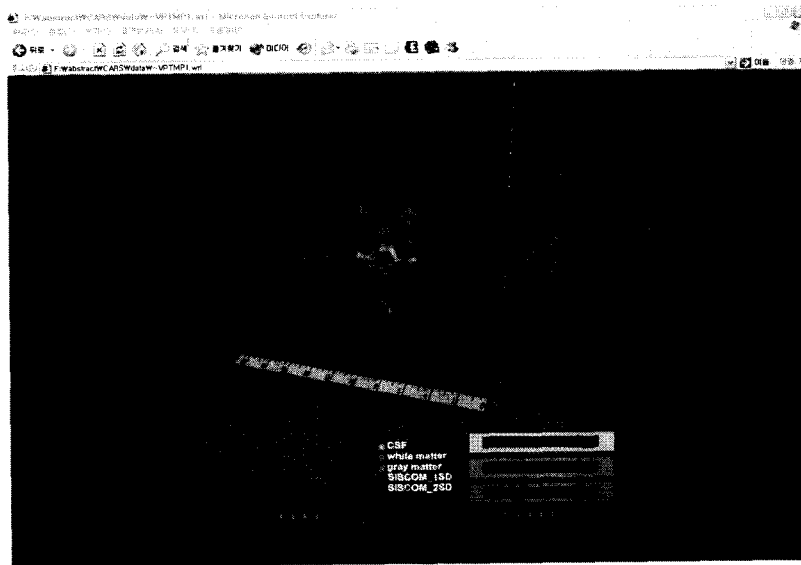


Fig. 11. Localization of 2-SD seizure focus using VRML measuring tool in 3D coordinate system ($x=15$ cm, $y=8.25$ cm, $z=8$ cm). The anatomy corresponding to the seizure focus could be confirmed by MRI planar images crossing 3D surface models.

로, 처리 시간을 단축시키기 위해 전 자동화되고 정확한 영상 분할 알고리즘과 3D 표현을 위한 연속적인 서버루틴을 개발해야 할 필요가 있다. 셋째로, SISCOM 영상에서 나타나는 잡음은, 표현되는 표면의 형태를 왜곡시키고 발작 진원지의 활성화 영역에 대한 정보를 혼동시킬 수 있기 때문에, 최소화될 수 있도록 구현해야 한다.

본 연구에서는 웹에서 VRML을 이용하는 3D 융합 영상의 가시화와 위치 측정에 대한 하나의 가이드를 제시했다. 비록 한 명의 간질 환자의 영상들을 가지고 3D 융합 영상으로 표현했지만 본 연구에서 제시한 방법은 또 다른 병변을 갖는 환자의 경우에도, 해부학적인 정보와 기능적인 정보만 있다면, VRML을 이용하여 3D 융합 영상으로 적용할 수 있

는 일련의 과정이라고 볼 수 있다. 다만 본 연구에서는 texture mapping되는 2D MRI 영상에 대한 압축은 고려하지 않았다. JPEG (Joint Photographic Experts Group) 또는 JPEG2000과 같은 2D 정지 영상 압축 알고리즘을 적용한다면 VRML 영상을 구현하는 데 필요한 데이터의 양을 더욱 효과적으로 감소시킬 수 있을 것이다. 또한 실험 과정에서 VRML 영상으로 표현하기까지가 몇 가지의 소프트웨어를 이용해야 했을 만큼 다소 복잡한 과정이었지만 VRML로 구현된 웹 페이지는 Java script와 결합하여 하나의 소프트웨어적인 기능으로 동작할 수 있고 인가가 필요한 소프트웨어의 설치 없이도 자유롭게 이용할 수 있는 온라인 컴퓨터 시스템이라는 점에서 본 연구의 가치가 있다. 결론적으로 웹에 근거하는 3D 융합 영상의 가시화와 위치 측정은 진단방사선학, 치료방사선학 및 외과학의 응용을 위한 온라인 연구와 교육에 많은 도움을 줄 수 있을 것이다.

감사의 글

This work was supported by a grant from the Basic Research Program of the Korea Science and Engineering Foundation (KOSEF) under Grant R01-2002-000-00205-0 (2002), Yonsei University, Seoul, Korea.

참고 문헌

1. VRML consortium: The virtual reality modeling language (1997)
2. Ćosić D: An open medical image processing and visualization. *IEEE Trans Inform Technol Biomed* 1:279-283 (1997)
3. Warrick PA, Funnell WRJ: A VRML-based anatomical visualization tool for medical education. *IEEE Trans Inform Technol Biomed* 2:55-61 (1998)
4. Tyszka JM: Virtual Reality publication of spiral ct-derived three-dimensional models. *Front Biosci* 1:2:f2-3 (1997)
5. Loncaric S, Markovinovic T: Web-based virtual endoscopy. *Stud Health Technol Inform* 77:1187-91 (2000)

6. Yoo SK, Wang G, Rubinstein JT, Skinner MW, Vannier MW: Three-dimensional modeling and visualization of the coclea on the internet. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 4(2):144-51 (2000)
7. Warrick PA, Funnell WR: A VRML-based anatomical visualization tool for medical education. *IEEE Trans Inf Technol Biomed* 2(2):55-61 (1998)
8. Kochunov P, Lancaster J, Thompson P, Toga AW, Brewer P, Hardies J, Fox P: An optimized individual target brain in the Talairach coordinate system. *Neuroimage* 17(2):922-7 (2002)
9. Nowinski WL: Modified Talairach landmarks. *Acta Neurochir (Wien)* 143(10):1045-57 (2001)
10. Eljamel MS, Forster A, Tulley M, Matthews K: Staged functional neurosurgery using image fusion: electronic atlas and microelectrode recording at Dundee. *Stereotact Funct Neurosurg* 73(1-4):140-2 (1999)
11. Nowinski WL, Fang A, Nguyen BT, Raphel JK, Jagannathan L, Raghavan R, Bryan RN, Miller GA: Multiple brain atlas database and atlas-based neuroimaging system. *Comput Aided Surg* 2(1):42-66 (1997)
12. Robb RA and ANALYZE™ et al: Reference manual: *Biomedical Imaging Resource*. Mayo Foundation (1993)
13. O'Brien TJ, So EL, Mullan BP, et al: Subtraction SPECT co-registered to MRI improves postictal SPECT localization of seizure foci. *Neurology* 52:137-146 (1999)
14. Kaiboriboon K, Lowe VJ, Chantarujikapong SI, Hogan RE: The usefulness of subtraction ictal SPECT coregistered to MRI in single- and dual-headed SPECT cameras in partial epilepsy. *Epilepsia* 43(4):408-414 (2002)
15. Bouilleret V, Valenti MP, Hirsch E, Semah F, Namer IJ: Correlation between PET and SISCOM in temporal lobe epilepsy. *J Nucl Med* 43:991-998 (2002)
16. Lorensen WE, Cline HE, Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm. *Computer Graphics* 21(4):163-169 (1987)
17. Murdock KL: *3D Studio Max R3 Bible*. Hungry Minds Inc. (2000)

Visualization and Localization of Fusion Image Using VRML for Three-dimensional Modeling of Epileptic Seizure Focus

Sang Ho Lee^{*,†}, Dong-Hyun Kim^{*,†}, Sun Kook Yoo[§], Haijo Jung^{†, †}, Mijin Yun[†],
Hye-Kyung Son^{*,†}, Won-Suk Kang^{*,†}, Jong Doo Lee^{*, †, †}, Hee-Joung Kim^{*, †, †}

^{*}BK21 Project for Medical Sciences, [†]Research Institute fo Radiological Sciences,
[‡]Department of Radiology, [§]Department of Medical Engineering,

In medical imaging, three-dimensional (3D) display using Virtual Reality Modeling Language (VRML) as a portable file format can give intuitive information more efficiently on the World Wide Web (WWW). The web-based 3D visualization of functional images combined with anatomical images has not studied much in systematic ways. The goal of this study was to achieve a simultaneous observation of 3D anatomic and functional models with planar images on the WWW, providing their locational information in 3D space with a measuring implement using VRML. MRI and ictal-interictal SPECT images were obtained from one epileptic patient. Subtraction ictal SPECT co-registered to MRI (SISCOM) was performed to improve identification of a seizure focus. SISCOM image volumes were held by thresholds above one standard deviation (1-SD) and two standard deviations (2-SD). SISCOM foci and boundaries of gray matter, white matter, and cerebrospinal fluid (CSF) in the MRI volume were segmented and rendered to VRML polygonal surfaces by marching cube algorithm. Line profiles of x and y-axis that represent real lengths on an image were acquired and their maximum lengths were the same as 211.67 mm. The real size vs. the rendered VRML surface size was approximately the ratio of 1 to 605.9. A VRML measuring tool was made and merged with previous VRML surfaces. User interface tools were embedded with Java Script routines to display MRI planar images as cross sections of 3D surface models and to set transparencies of 3D surface models. When transparencies of 3D surface models were properly controlled, a fused display of the brain geometry with 3D distributions of focal activated regions provided intuitively spatial correlations among three 3D surface models. The epileptic seizure focus was in the right temporal lobe of the brain. The real position of the seizure focus could be verified by the VRML measuring tool and the anatomy corresponding to the seizure focus could be confirmed by MRI planar images crossing 3D surface models. The VRML application developed in this study may have several advantages. Firstly, 3D fused display and control of anatomic and functional image were achieved on the WWW. Secondly, the vector analysis of a 3D surface model was defined by the VRML measuring tool based on the real size. Finally, the anatomy corresponding to the seizure focus was intuitively detected by correlations with MRI images. Our web based visualization of 3-D fusion image and its localization will be a help to online research and education in diagnostic radiology, therapeutic radiology, and surgery applications.

Key words : VRML, SISCOM, Image fusion, Visualization, Localization