

초고속 정보통신망을 통한 3차원 영상 정보의 가상현실 관리에 관한 연구

김진호[†]·김지인^{††}·장천현^{†††}·송상훈^{††††}

요 약

본 논문에서는 각종 단층 촬영 의료영상 장비로 촬영한 2차원 단면화상 데이터들을 3차원 재구성 알고리즘을 사용하여 3차원 영상으로 재구성한 다음, 웹 서버의 데이터베이스에 저장하고 관리하며, 인터넷 가상현실 표준언어인 VRML(Virtual Reality Modeling Language)로 표현된 3차원 의료영상을 비롯한 각종 의료영상 정보를 웹브라우저를 사용하여 검색해 볼 수 있는 의료영상정보시스템(Medical Image Information System)에 관하여 기술한다. 본 연구를 통하여 개발한 의료영상정보시스템에서는 단층 촬영된 2차원 단면화상을 처리한 다음, 3차원 의료 영상을 생성하기 위하여 표면기반 렌더링 방법(Surface-based Rendering Method)을 사용하였다. 인터넷을 통하여 전송되는 영상파일의 크기를 줄이기 위하여 삼각형 메쉬(Triangle Meshes)을 이루는 다각형의 개수를 줄이는 알고리즘을 사용하면, 3차원 의료영상 데이터의 크기를 약 50%이상 줄일 수 있다. 아울러, 3차원 영상 데이터 파일을 압축을 하게 되면 파일의 크기를 80% 이상 줄일 수가 있으므로 웹상에서 신속하게 3차원 의료영상 데이터를 검색할 수 있고, 의료영상을 VRML을 사용하여 표현하므로 고성능의 그래픽 카드가 없는 일반 PC에서도 인터넷을 통하여 디스플레이 할 수 있다. 또한, CGI(Common Gateway Interface) 방식을 사용하여 서버의 데이터베이스에 저장되어 있는 CT(Computerized Tomography), MRI(Magnetic Resonance Imaging), PET(Positron Emission Tomography), SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography)등의 단층 촬영 장비로 촬영한 다양한 종류의 디지털 의료영상을 사용자에게 의료영상정보시스템을 통하여 2차원 단면화상 또는 3차원 영상으로 표현하여 보여주고, 환자에 관한 각종 정보와 진단정보 등을 신속하게 제공한다. 본 논문에서 제안하는 의료영상정보시스템은 초고속 정보통신망을 통하여 원격의료시스템을 구축하는데 활용될 수 있을 것이다.

A Study on Virtual Reality Management of 3D Image Information using High-Speed Information Network

Jin-Ho Kim[†] · Jee-In Kim^{††} · Chun-Hyon Chang^{†††} · Sang-Hoon Song^{††††}

ABSTRACT

In this paper, we describe a **Medical Image Information System**. Our system stores and manages 3 dimensional **medical image data** and provides the 3 dimensional medical data via the Internet. The Internet standard VR format, VRML(Virtual Reality Modeling Language) is used to represent the 3D medical image data. The 3D images are reconstructed from medical image data which are generated by medical imaging systems such as CT(Computerized

* 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단 대학부설연구소 연구과제 연구비에 의하여 연구하였음.

† 중 회 원 : 건국대학교 대학원 컴퓨터공학과

†† 성 회 원 : 건국대학교 컴퓨터공학과 교수

††† 종신회원 : 건국대학교 컴퓨터공학과 교수

†††† 성 회 원 : 세종대학교 컴퓨터공학과 교수

논문 접수 : 1998년 7월 31일, 심사완료 : 1998년 9월 28일

Tomography), MRI(Magnetic Resonance Imaging), PET(Positron Emission Tomography), SPECT(Single Photon Emission Computed Tomography). We implemented the medical image information system which uses a **surface-based rendering method** for the reconstruction of 3D images from 2D medical image data. In order to reduce the size of image files to be transferred via the Internet. The system can reduce more than 50% for the triangles which represent the surfaces of the generated 3D medical images. When we compress the 3D image file, the size of the file can be reduced more than 80%. The users can promptly retrieve 3D medical image data through the Internet and view the 3D medical images without a graphical acceleration card, because the images are represented in VRML. The image data are generated by various types of medical imaging systems such as CT, MRI, PET and SPECT. Our system can display those different types of medical images in the 2D and the 3D formats. The patient information and the diagnostic information are also provided by the system. The system can be used to implement the "Tele medicine" systems.

1. 서 론

의료영상처리 기술이 발전하면서 CT, MRI, PET, SPECT 등의 의료영상 진단 장비 등을 이용하여 인체의 내부를 자세히 볼 수 있게 되었다. 그러나, 이러한 첨단의료 장비들은 수 억에서 수십 억원 대의 고가 장비이기 때문에, 대도시에 집중되어 있는 대규모의 종합 병원들을 제외하고는 이러한 장비를 구입하여 운영하기가 어려운 실정이다. 또한, 이 장비를 통해 얻어지는 환자에 대한 2차원 단면화상을 정확하게 판독할 수 있는 능력을 갖춘 전문가가 되기 위해서는 많은 시간과 훈련이 필요하다. 특히, 이러한 기술을 가지고 있는 전문 의료진이 대도시에 집중되어 있기 때문에 지방에 있는 중소규모의 병원에서는 거액을 투자하여 첨단 의료 영상장비를 구입하였다 해도, 이 장비를 이용하여 얻어 낸 이미지를 판독할 수 있는 전문인력이 매우 부족한 상태이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 방법 중의 하나는 초고속 정보통신망을 통한 원격 진단방식을 도입하는 것이다. 즉, 첨단 의료영상 장비가 없는 지방에 사는 환자가 대도시에 있는 병원에서 첨단 의료장비를 이용하여 단층 촬영을 하고 전문가가 그 결과를 판독한 다음, 환자가 살고 있는 지방의 주치의에게 초고속 정보통신망을 통해 의료영상과 판독 결과를 보내줄 수 있도록 하여 환자나 의사, 병원 모두 효율적으로 첨단의료영상장비를 활용할 수 있도록 하는 것이다. 그렇게 되면 환자는 자기 집 근처의 병원에 입원하여 저렴한 비용으로 자신의 주치의로부터 치료를 받을 수 있게 되어 편리하고, 환자의 주치는 자기 환자를 정확하게 진단하여, 완쾌 시킬 수 있는 확률을 높일 수 있다. 지방의 병원에서는 고가의 장비를

구입하지 않고도 첨단 장비를 이용하여 환자를 진단할 수 있는 유리한 점이 있고 대도시 소재의 병원에서는 고가의 의료 장비를 효율적으로 사용하여 장비의 가동률을 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 따라서, 의료영상 진단 정보들을 원격으로 필요에 따라 초고속 정보통신망을 통해 제공할 수 있는 의료영상정보시스템의 필요성이 증가하고 있다.

그러면 초고속 정보통신망에서 의료영상정보시스템을 이용하여 원격진료를 수행하는데 있어서 기술적으로 해결해야 할 문제는 무엇인가? 우선, 웹 서버와 클라이언트는 의료 영상 데이터 파일을 네트워크를 통하여 신속하게 주고 받을 수 있어야 하고, 클라이언트 쪽의 컴퓨터는 3차원 영상을 효율적으로 디스플레이 하고 조작할 수 있어야 하며, 의사나 일반 사용자들이 의료영상정보시스템을 배워서 사용하기가 쉽고 관해야 할 것이다.

3차원 의료영상정보시스템을 이용하여 원격 진료를 수행하는데 있어서 연구해야 할 문제들을 자세히 살펴 보면, 다음과 같이 정리할 수 있다.

- 초고속 정보통신망을 통하여 전송되는 3차원 의료 영상을 신속하게 전송할 수 있어야 한다. 예를 들어, 512x512x113(4byte/pixel)의 해상도를 갖는 흑백 3차원 의료영상 데이터의 경우 약 125메가 바이트의 크기를 갖는 파일에 저장된다. 현재의 인터넷 속도를 가지고는 이 정도 크기의 3차원 의료영상파일을 만족할 만한 수준으로 전송하기가 불가능하다. 따라서 많은 양의 데이터를 빠르게 전송할 수 있는

초고속 정보통신망을 이용하거나, 전송해야 할 파일의 크기를 전송매체의 속도에 맞추어 줄이거나 압축해야 한다.

- 3차원 의료영상을 판독하기 쉽도록 선명한 영상을 제공하고, 이미지 처리를 자유자재로 처리할 수 있도록 클라이언트를 위한 그래픽 전용 워크스테이션이 필요하다. 3차원 의료영상 데이터의 크기는 보통 수 메가(MB)에서 수백 메가 바이트 정도로, 이렇게 큰 데이터를 지역 컴퓨터에서 렌더링하려면 렌더링 속도를 향상시키는 그래픽 가속 카드를 장착하거나 대용량의 계산 능력을 갖추어야 한다. 만약, 일반 PC를 사용하여 3차원 영상을 디스플레이하고 조작하려면, 사용자에게 느껴지는 3차원 의료영상의 렌더링 시간은 엄청나게 길어질 수 밖에 없다. 따라서, 용량이 큰 의료영상 데이터를 빠른 시간에 렌더링 할 수 있는 새로운 기법이나 고성능의 그래픽 전용 워크스테이션이 필요하다.

- 의료영상정보시스템은 컴퓨터 전문가가 아닌 일반인이나 의사가 사용하기에 편하도록 의료영상 정보검색을 위한 사용자 인터페이스를 배우고 쉽고 사용하기 편하게 설계하여야 한다. 의료영상 데이터를 사용하는 사람은 컴퓨터 전문가가 아닌 의사나 일반인들이기 때문에 다루기 쉽고 친숙해야 하며 가능한 사용자의 오류를 최소화 할 수 있는 편리한 사용자 인터페이스를 제공해야 한다.

본 논문에서는 위에서 언급한 문제점들을 해결하여 네트워크 기반의 의료영상정보시스템을 이용한 원격 의료 체제를 효과적으로 구축하기 위한 방안을 다음과 같이 제안한다.

- 3차원 의료영상 데이터의 전송속도를 향상시키기 위하여 파일의 크기를 줄인다. 재구성된 3차원 의료영상 데이터의 크기가 크기 때문에 네트워크를 통하여 파일을 전송하려면 많은 시간이 걸린다. 의사나 일반 사용자들이 의료영상정보시스템을 이용하여 3차원 영상을 모르고 할 때 전송시간이 너무 오래 걸리게 되면 그 시스템을 다시 이용하고 싶은 생각이 들지 않을 것이다. 본 논문에서는 의료영상 파일의 크기를 줄여서 전송시간을 단축시키는 방법

을 제안한다. 3차원 의료영상을 구성하는 다각영의 개수를 줄이고, 방법과 영상파일을 압축하는 방법을 병행하여 파일의 전송속도를 향상시키려고 한다.

- 일반 PC를 사용하여 3차원 의료영상정보를 볼 수 있도록 인터넷 가상현실 표준언어인 VRML (Virtual Reality Modeling Language)를 사용하여 3차원 영상을 표현한다. 3차원 의료영상 데이터를 디스플레이하기 위하여 고성능의 그래픽 워크스테이션을 사용해야 한다면, 의료영상정보시스템을 널리 보급하는데 문제가 될 것이다. 고가의 그래픽 장비를 갖추지 않은 일반 PC에서도 3차원 의료 영상을 볼 수 있다면 바람직할 것이다. 본 연구에서는 3차원 영상을 VRML[1, 2, 3, 4]로 표현하여 인터넷을 통해 일반 PC에서도 3차원 의료 영상을 다양한 해상도로 표현하여 디스플레이 할 수 있도록 하였다.

- 의료영상정보시스템에 저장된 의료영상들을 검색하고 선택된 의료영상을 디스플레이하고 영상 조작을 하는데 있어 배우기 쉽고 사용하기 편한 사용자 인터페이스를 제공한다. 의료영상정보시스템을 이용하는 의사나 일반 사용자들은 컴퓨터에 관한 전문 지식을 갖추지 못하는 경우가 많다. 따라서, 이들이 의료영상정보시스템을 잘 사용할 수 있도록 의료정보를 저장 관리하는 데이터베이스에 접근하거나 의료영상을 디스플레이하고 영상을 조작하는 과정을 배우기 쉽고 사용하기 편하게 만들어 주어야 한다. 우리는 간단한 문자 입력 창과 메뉴, 버튼 등을 이용하여 사용자가 편하게 사용할 수 있도록 의료영상정보 시스템을 위한 사용자 인터페이스를 설계하고 구현하였다.

본 논문에서 제안한 의료영상정보시스템을 활용하면 대도시와 중소도시를 연결하는 초고속 정보통신망을 기반으로 하여 의료영상정보를 환자의 진단과 치료에 활용하는 원격의료(Tele medicine)가 활성화될 것으로 기대한다. 따라서, 국민들의 최첨단 의료영상장비를 활용할 수 있는 기회가 확대되어 국민 의료 복지 수준이 높아질 것으로 기대된다.

우리는 인터넷 3차원 가상현실 표준 언어인 VRML을 사용하여 각종 단층촬영 장비로 얻어낸 2차원 단면

화상을 3차원 영상 데이터로 재구성하고 데이터베이스화 한 다음, 이 데이터를 웹상에서 제공하는 다중매체 의료영상정보시스템을 개발하였다. 또한, 본 시스템에서는 환자의 개인정보와 진단정보, 2차원 단면화상, VRML 형식으로 표현된 3차원 영상 데이터 등과 같은 멀티미디어 데이터를 웹상에서 제공하고 있다. 본 논문의 구성을 보면, 1장의 서론에 이어, 2장에서는 관련 연구, 3장에서는 의료영상정보시스템의 구성, 3차원 영상 재구성 알고리즘, 다각형 개수 줄이기 알고리즘에 대하여 서술하였다. 4장에서는 시스템의 구현과 실험 결과에 대하여 토론하였고, 5장에서 결론과 향후 연구 과제에 대하여 기술하였다.

2. 관련연구

3차원 체적 데이터를 웹 상에서 제공하는 연구들이 다양하게 연구되고 있다. 캘리포니아 대학의 "Library and Center for Knowledge Management"에서는 2차원 단면화상을 3차원 영상으로 재구성한 다음, 이 영상을 동화상으로 변환하여 웹상에서 제공하는 방식을 연구하고 있다. 또한, 웹 브라우저 소스를 변경하여 의료영상 시스템에 적합한 사용자 인터페이스를 구축하여 2차원 단면화상, 동화상, 데이터의 특성 등을 제공하고 있다. 그러나, 동화상으로 구성된 영상은 회전, 확대, 축소 등과 같은 처리를 할 수 없고 단지 전용브라우저를 통해 이용해야 하는 단점이 있다[5].

샌디에고의 슈퍼컴퓨터 센터에 있는 Todd Elvins의 연구에서는 인터넷을 통하여 사용자가 필요한 영상에 관한 정보를 질의어로 작성하여 입력한다. 질의에 알맞은 3차원 재구성 알고리즘을 실행하여 계산결과를 3차원으로 보여 주는 VRML 파일을 사용자에게 제공하고 있다. 그러나, 3차원 체적 데이터 출력에 관련된 데이터베이스 부분을 중심으로 다루고 있고 3차원 재구성 알고리즘을 CGI(Common Gateway Interface) 방식으로 PERL(Practical Extract and Report Language)을 사용하여 구현하였기 때문에 알고리즘이 실행되는 처리시간이 길어지고, 출력되는 데이터 파일의 전송속도가 늦다. 따라서, 사용자에게 신속한 검색을 제공하지 못한다는 단점이 있다[6].

2차원 단면화상을 3차원 영상으로 재구성하는 알고

리즘은 크게 나누어 표면기반 렌더링 방법(Surface-based Rendering Method)과 체적기반 렌더링 방법(Volume based Rendering Method)으로 구분된다. 표면기반 렌더링 방법은 체적데이터로부터 3차원 시각화할 표면의 밝기 값을 추출하여 삼각형 매쉬(Triangle Meshes)를 생성하는 방법이다. 이 방법은 빠른 시간 내에 삼각형 매쉬를 생성하는 장점이 있다[7]. 표면기반 렌더링 방법에 삼각형 매쉬 크기의 개수를 줄이는 "Decimation"과 "Jasper James Jensen"등의 알고리즘을 사용하면 삼각형의 개수를 줄이기 때문에 3차원 영상 데이터 파일의 크기를 줄일 수 있다. 이 알고리즘은 3차원 영상의 본 모양을 유지하면서 삼각형 매쉬의 삼각형 개수를 줄이는 방법으로 출력되는 데이터의 크기가 줄어들기 때문에 렌더링 속도가 향상되는 장점이 있지만 생성되는 3차원 영상의 질(Quality)이 떨어지는 단점이 있다. 체적기반 렌더링 방법은 3차원 체적 데이터로부터 이미지를 직접 생성하는 알고리즘으로 표면기반 렌더링보다 정보의 손실이 없다는 장점이 있지만 처리시간이 오래 걸리는 단점이 있다.

본 논문과 위에 언급된 관련 연구들과 비슷한 점은 3차원 체적 데이터를 웹 상에서 제공한다는 점, 질의어를 사용하여 영상 데이터를 검색한다는 점 등이다. 구별되는 특징은 위의 언급된 연구들은 빠른 계산능력과 렌더링 능력을 가진 그래픽 전용 워크스테이션을 염두해 두고 작업이 이루어 졌으나, 본 논문에서 구현된 시스템은 저가의 장비인 PC에서도 3차원 영상을 볼 수 있도록 개발되었다는 점이다. 본 연구의 또 다른 특징은 여러 의료영상장비를 사용하여 촬영한 다중매체 방식의 의료영상 데이터를 처리할 수 있고, 2차원 단면화상, 3차원 영상 등과 같은 다양한 의료영상 데이터를 사용자에게 신속하게 제공할 수 있다는 것이다. 또한, 여러 종류의 3차원 재구성 및 다각형 개수 줄이기 알고리즘을 이용하여 3차원으로 재구성하고 의료영상 데이터의 크기를 50%이상 줄여 인터넷을 통하여 의료영상을 검색하는 사용자에게 신속하게 제공할 수 있다는 점 등을 들 수 있다.

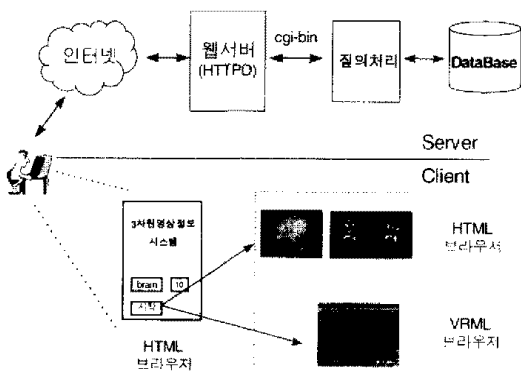
3. 의료영상정보시스템

의료영상정보시스템은 일반 사용자가 초고속 정보통신망을 통해 다양한 의료영상 데이터와 환자 정보

등을 검색해 볼 수 있도록 설계된 시스템이다. 본 시스템을 원격진료에 효과적으로 적용할 수 있다. 예를 들면, A병원에 있는 갑의사는 MRI, PET, SPECT 등과 같은 첨단의료영상 장비가 없으며, 그런 첨단 의료 장비로 촬영한 환자 이미지를 관독하여 진단할 능력을 가지고 있지 않다고 가정하자. 그런 경우에, 갑의사는 인근 대도시의 B병원에 있는 을의사에게 자신의 환자를 보내어 첨단영상기기로 환자를 촬영하고 그 이미지에 대한 관독을 부탁하게 된다. 을의사는 환자에 대한 촬영을 실시하고 관독을 한 후에 환자의 2차원 단면화상과 관독결과를 의료영상정보시스템에서 검색해 볼 수 있도록 데이터베이스에 저장한다. 갑의사는 인터넷을 사용하여 B병원에 있는 의료영상정보시스템에 접근하여 을의사가 진단한 진단정보와 갑의사의 이해를 돕기 위해 2차원 단면화상을 3차원 영상으로 재구성하여 놓은 3차원 의료영상 정보를 함께 검색해 본다. A병원의 갑의사는 의료영상정보시스템에서 얻어낸 진단 정보를 활용하여 환자를 적절하게 치료한다. 이러한 원격 의료기술을 활용하면, 적은 경비로 첨단 진단 영상 기기를 이용하여 환자를 진단하고, 환자는 집에서 가까운 곳에서 자신의 주치의에게 편안한 마음으로 병을 치료 받을 수 있게 되며, 병원은 고가의 첨단의료장비를 효율적으로 운영할 수 있게 된다.

3.1 시스템 구성

본 연구에서 개발한 의료영상정보시스템은 클라이언트 서버(Client-Server)의 구조를 가지고 있고 시스템은 (그림 1)과 같이 구성된다. 클라이언트는 웹 브라우저를 사용하여 사용자로부터 질의어를 입력 받아 사



(그림 1) 인터넷 3차원 의료영상정보시스템
(Fig. 1) A 3D Medical Image Information System for the Internet

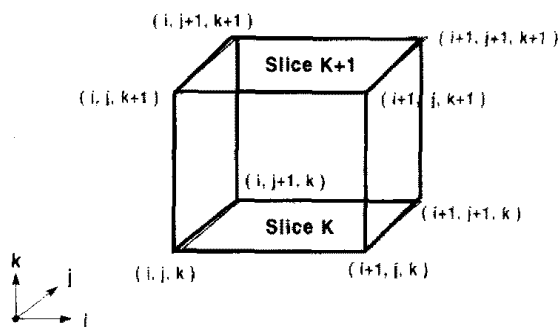
용자가 검색 버튼을 누르면 웹 서버로 질의 데이터가 전송된다. 웹 서버는 클라이언트로부터 전송 받은 질의 데이터를 입력 받은 후 검색엔진을 실행하여 질의에 알맞은 2차원 단면화상, 3차원 영상 데이터 등을 생성하여 클라이언트에 전송하여 준다.

사용자가 질의한 내용을 처리하는 프로그램은 CGI 방식을 사용하여 구현하였고, 웹 서버는 GUI로 표현된 여러 항목들(내용 기반의 데이터, 알고리즘, 단층촬영 장비, 초기값(threshold))을 검색엔진의 표준입력으로 제공한다. 웹 서버는 검색엔진으로부터 출력된 웹 문서를 웹 브라우저에 전송하는데 전송하는 데이터는 2차원 단면화상, 3차원 의료영상 등이다. 3차원 의료영상 데이터는 마칭큐브(Marching Cubes)[8], Decimation[9], Jasper James Jensen[10]등 세 가지의 3차원 재구성 알고리즘을 사용하였고 출력 파일 포맷은 VRML 2.0 문법으로 표현하여 인터넷을 통하여 의료영상정보시스템 서버에 접속한 사용자에게 제공된다.

3.2 영상 재구성 알고리즘

의료영상정보시스템에서는 처리속도, 해상도, 생성되는 파일의 크기 등을 고려하여 세 가지의 서로 다른 3차원 영상 재구성 알고리즘을 사용한다. 각각의 알고리즘은 마칭큐브(Marching Cubes) 알고리즘을 기초로 하여 3차원 데이터를 표현하여 준다. 마칭큐브 알고리즘은 2차원 의료영상 데이터를 입력으로 하여 상수 밀도 표면(Constant Density Surfaces)으로 구성된 3차원 삼각형 모델을 생성한다. 이 알고리즘은 (그림 2)와 같이 2차원 단면화상 사이에 연결성을 이용하여 3차원 영상의 표면을 계산해 낸다. 이 알고리즘에서는 연속된 2장의 2차원 영상의 픽셀들로서 8개의 꼭지점으로 구성되는 정입방체(Cube, Cartesian Grid)을 기반으로 하여 3차원 영상표면을 만든다. 즉, 사용자가 입력하게 되는 값(threshold)을 가지고 정입방체의 꼭지점 밝기 값을 비교한 다음, 선택한 표면이 정입방체에 포함하고 있는지 없는지, 포함한다면 어떤 꼭지점이 선택한 표면의 내부에 있고 어떤 꼭지점이 외부에 있는지를 구별하여 3차원 영상의 표면을 구한다. 이 경우 8개의 점 각각의 포함 여부를 고려하면 생길 수 있는 경우의 수는 모두 $2^8=256$ 가지이다. 그러나, 정입방체의 대칭성을 기반으로 한 여러 가지 합성 법칙을 고려하게 되면 14개의 경우의 수로 줄어들게 된다. 알고리즘의 실행 절차를 간단히 정의하면, 2차원 단면화상 사이의 연결

법을 사용하여 삼각형의 모양을 정의하고 3차원 의료 영상 데이터를 읽어 들여 사용자가 정의한 값과 비교한 다음, 선형 보간법(Linear Interpolation)을 사용하여 삼각형의 꼭지점의 좌표를 계산한다. 그 다음, 표면 이미지의 질(Quality)을 보증하기 위해 각 삼각형의 꼭지점들을 정렬화 한 후, 꼭지점과 삼각형을 모델하기 위한 꼭지점 사이의 연결(삼각형)을 출력한다[8][12].



(그림 2) 마칭큐브 알고리즘의 기본이 되는 정입방체 (Fig. 2) Cube is based on Marching Cubes algorithm

Decimation(Decimation of Triangle Meshes) 알고리즘은 마칭큐브 알고리즘에서 출력된 데이터를 입력으로 하여 삼각형 매쉬 안에 있는 삼각형의 개수를 줄이는 알고리즘이다. 기본적으로 이 알고리즘은 매쉬의 부분적인 구조에 따라 선택된 여러 요소들(꼭지점, 선분, 삼각형)을 반복적으로 삭제하여 매쉬의 크기를 줄인다. 매쉬의 일부분을 점검하여, 기하학적 구조에 기반한 거리나 각도들을 기준으로 삭제될 꼭지점을 선택하고, 꼭지점이 제거되면서 생겨나는 구멍을 여러 삼각형으로 재분할하는 과정을 반복적으로 수행하면서 매쉬의 크기를 줄여간다[9].

Jasper James Jensen 알고리즘은 삼각형 매쉬 축소 알고리즘과 마찬가지로 마칭큐브 알고리즘 출력결과를 입력으로 사용하여 삼각형의 개수를 줄이는 알고리즘이다. 이 알고리즘의 절차를 간략하게 정의하면, 먼저 마칭큐브 알고리즘에서 출력되는 모든 삼각형 변의 길이의 평균을 구한다. 삼각형 변의 길이 중에서 변의 평균길이보다 작은 변을 탐색한다. 탐색된 작은 변의 중심을 구한 다음, 작은 변을 제거하고 작은 변이 포함된 매쉬 안의 꼭지점들을 작은 변 중심에 연결하여 삼각형의 개수를 줄인다[10].

본 논문에서는 위에서 설명한 세 가지의 알고리즘을 사용하여 의료영상 데이터를 3차원으로 재구성하였다. 이 알고리즘들을 조합하면 다음과 같이 정의할 수 있다.

- **마칭큐브(Marching Cubes) 알고리즘** : 3차원 영상의 표면을 삼각형 매쉬로 처리하여 출력하여 3차원 의료영상 데이터를 출력하는 기본적인 알고리즘이다.
- **Decimation(Decimation of Triangle Meshes) 알고리즘** : 마칭큐브 알고리즘에서 출력된 삼각형 매쉬를 입력으로 사용하여 매쉬 안에 있는 삼각형 개수를 줄이는 알고리즘으로 가장 기본적인 삼각형 매쉬 축소 알고리즘이다.
- **Jasper James Jensen 알고리즘** : 마칭큐브 알고리즘에서 출력된 삼각형 매쉬를 입력으로 하여 매쉬 안에 있는 삼각형 개수를 줄이는 알고리즘으로 Decimation 알고리즘과 다른 방식으로 삼각형의 개수를 줄인다.

위의 알고리즘을 사용하여 의료영상 데이터를 3차원 재구성하고 3차원 영상 표면을 나타내는 삼각형의 개수를 줄일 수 있다. 또한, 3차원 의료영상 데이터의 크기를 줄이기 위해 데이터를 압축하여 지역 컴퓨터에서 압축을 푼 다음 렌더링 할 수 있도록 하였다.

3.3 알고리즘 성능비교

세 가지의 3차원 재구성 알고리즘의 처리시간과 삼각형의 개수를 비교해 보면 <표 1>과 같다. 이 데이터의 통계결과를 같은 알고리즘을 10번 이상 실행하여 출력된 데이터의 처리시간(Process Time)과 삼각형 개수(Triangle Number)를 평균으로 나누어 얻을 결과이다.

<표 1> 알고리즘의 성능비교
<Table 1> Comparison of Performance of the algorithms

	3dhead(30)		Cthead(80)		Cthead(100)	
	처리 속도 (초)	삼각형 개수	처리 속도 (초)	삼각형 개수	처리 속도 (초)	삼각형 개수
Marching Cubes	11.99	86324	3.25	39477	6.17	45928
Jasper James Jensen	18.22	38314	7.51	14393	8.65	18726
Decimation	18.15	43912	7.33	19709	8.42	22156

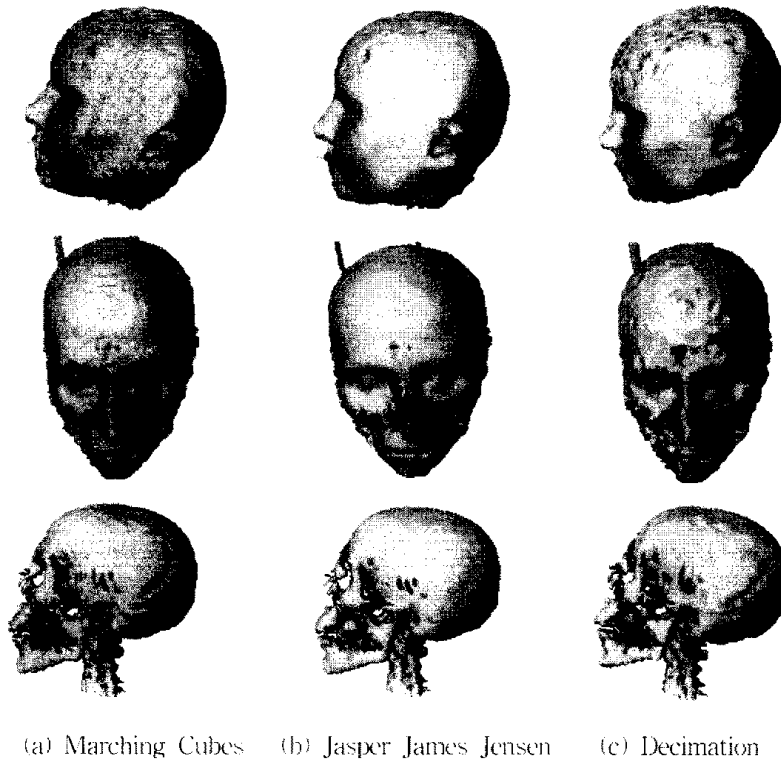
실형 데이터는 두 사람의 머리를 촬영한 CT 데이터를 사용하였다. 한 사람의 머리(3dhead, 크기: 64x64x56(4byte/pixel))는 조기값(threshold)을 30으로 주고 다른 사람의 머리(Cthead, 크기: 64x64x56(4byte/pixel))는 80과 100으로 주어 세 가지의 알고리즘을 실행시켜 얻은 3차원 영상 데이터의 처리시간과 생성되는 삼각형의 개수를 SGI O2(OS : Irix 6.3) 환경에서 실행한 결과이다. 3차원으로 재구성한 데이터를 렌더링해서 디스플레이 한 다음 이미지의 질(Quality)을 평가해 보았다. (그림 3)은 디스플레이 된 3차원 영상들이다.

이와 같이 출력된 3차원 재구성 알고리즘의 성능을 여러 가지 통계로 비교해본 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 마칭큐브 알고리즘은 처리시간이 빠르고 이미지의 질이 높은 반면, 출력 데이터의 크기가 큰 단점이 있어 인터넷을 통하여 데이터를 전송하고 일반 PC에서 렌더링 하기에는 부리가 맞지 않는다. Jasper James Jensen와 Decimation 알고리즘은 출력 데이터의 크기가 마칭큐브 알고리즘 보다 반으로 줄어드는 반면 처리시간이 길어지고 이미지의 질이 떨어지는 단

점이 있다. 그러나, 출력되는 데이터의 크기가 작기 때문에 마칭큐브 알고리즘 보다 인터넷을 통한 전송시간이 줄어들고, 일반PC를 사용해도 신속하게 렌더링 할 수 있다. 따라서, 의료영상정보시스템의 사용자는 본인의 가지고 있는 하드웨어의 성능과 원하는 영상의 질을 고려하여 필요로 하는 알고리즘을 선택할 수 있게 된다. 또한, 이 과정을 통하여 디스플레이 할 3차원 영상의 질과 파일의 크기를 적절히 선택하여 사용할 수 있다.

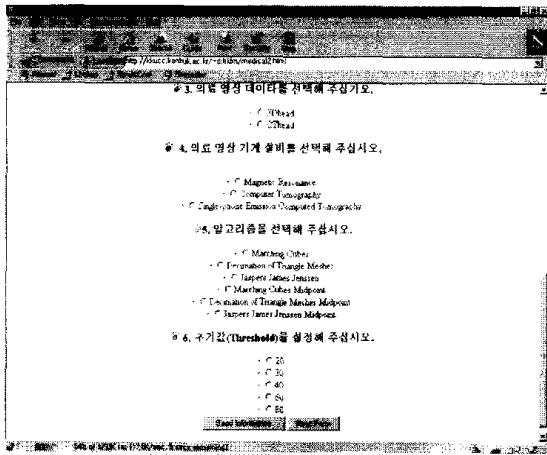
4. 구 현

본 논문에서는 인터넷을 통하여 3차원 의료영상정보를 검색할 수 있는 의료영상정보시스템을 개발하였다. 이 시스템은 클라이언트/서버의 구조를 가지고 있고 사용자가 웹 브라우저를 사용하여 디스플레이 하기를 원하는 의료영상에 대한 질의를 하면, 웹 서버가 데이터베이스를 검색하여 질의에 적합한 의료영상 데이터를 웹 브라우저에 제공한다. 의료영상정보시스템은 의료영상장비를 이용하여 촬영한 2차원 단면화상을



(그림 3) 출력 데이터 질 비교
(Fig. 3) Comparison of output images

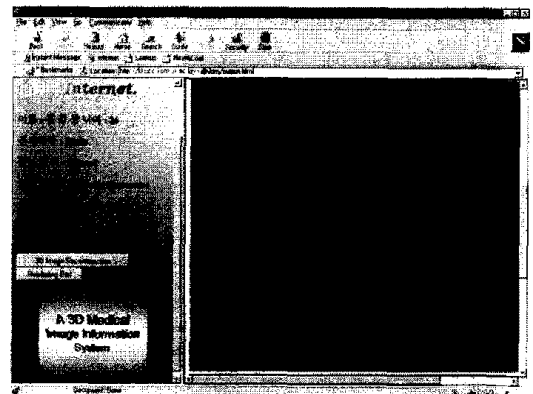
직접 디스플레이 해주고, 이들을 3차원으로 재구성하여 3차원 입체영상을 보여준다. 2차원 의료영상 뷰어(2D Medical Image Viewer)는 다양한 단층촬영 장비로 촬영한 2차원 단면화상을 보여주고 데이터의 잡음 제거, SUV 이미지 표현, 확대, 축소 등의 작업을 통하여 보다 선명하고 유용한 단면화상을 볼 수 있게 해준다. 2차원 의료영상 뷰어의 사용자 인터페이스는 X환경의 모티프(Motif)를 사용하여 구현하였다[11]. 3차원 의료영상 데이터는 앞 절에서 언급한 마칭큐브[12], Jasper James Jensen, Decimation 등의 알고리즘을 사용하여 VRML로 표현해준다. 그러므로 3차원 의료영상은 CosmoPlayer 같은 VRML 브라우저를 가지고 디스플레이하고 조작할 수 있게 된다.



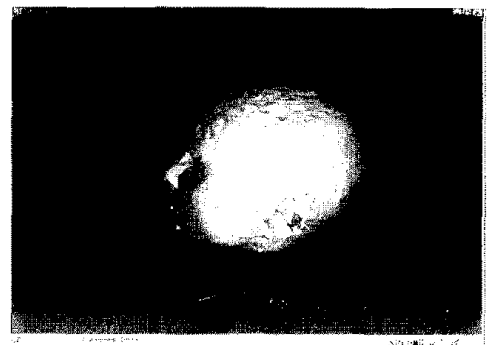
(그림 4) 사용자 입력 화면
(Fig. 4) A Screen for User Inputs

이들 알고리즘들은 나름대로의 장단점을 가지고 있어 사용자가 필요에 따라 알고리즘을 선택하여 사용하기 원하는 영상의 질이나 전송속도에 따라 3차원 의료영상을 만들어 낼 수 있게 해준다. 본 시스템을 위한 웹 서버는 Apache 1.3.1 서버를 사용하였다. 의료영상 정보시스템에서의 질의 처리 방식은 메뉴와 버튼을 이용한 HTML기반의 GUI를 활용하였다. 기본적인 질의 처리에 대한 GUI는 (그림 4)와 같이 표현하였다. 즉, 사용자는 검색하고자 하는 데이터를 찾기 위해 (그림 4)에서 예시된 바와 같이 환자의 이름, 촬영 부위, 단층촬영 장비, 3차원 재구성 알고리즘, 초기값(Threshold) 등을 입력하고 선택한 다음, 최종적으로 의료영상 데이터를 검색하라는 명령으로 검색 버튼을 누른다. 그러면, 질의어는 인터넷을 통하여 의료영상성

모시스템이 실행되는 웹 서버에 전달된다. 웹 서버는 질의에 맞는 영상을 데이터베이스에서 검색하여 (그림 5)의 (a)와 같은 화면으로 출력한다. 출력되는 데이터는 환자의 개인정보와 2차원 단면화상이다. 사용자가 원하는 데이터를 찾아내고 그 부분을 3차원 영상으로 재구성하여 보고 싶으면 3D Image Reconstruction 버튼을 선택한다. 만약, 원하는 의료영상 정보를 검색하지 못해서 검색을 다시 하고 싶을 경우에는 (그림 4)의 화면으로 돌아가 다시 검색을 시작 하면 된다. 3D Image Reconstruction 버튼을 선택했을 때 2차원 단면화상들을 3차원으로 재구성하여 출력되는 3차원 영상 화면은 (그림 5)의 (b)와 같다. 이러한 3차원 영상은 인터넷 가상현실 표준 언어인 VRML 2.0로 표현되어 (그림 5)의 (b)처럼 나타난다. 그리고, 이 3차원 영상을 보기 위한 VRML 2.0브라우저는 CosmoPlayer 2.0을 사용하였다.



(a) 환자의 개인정보와 2차원 단면화상
(a) Patient data and 2D images



(b) 3차원 영상
(b) 3D image

(그림 5) 출력 화면
(Fig. 5) Output Screens

5. 결 론

본 논문에서는 의료영상 데이터를 2차원 단면화상과 3차원 영상으로 표현하여 진단정보와 함께 웹 서버에 저장한 다음 인터넷을 통하여 원격으로 디스플레이함으로써 의료영상과 진단 정보를 편리하게 검색할 수 있는 의료영상정보시스템을 개발하였다. 또한, 의료영상 데이터를 다양한 3차원 재구성 알고리즘과 압축 기술을 사용하여 사용자가 신속하게 검색할 수 있도록 파일의 크기를 줄였고 인터넷 가상현실 표준 언어인 VRML 형식으로 표현하여 데이터를 표준화 하였다. 따라서, 고성능 그래픽 워크스테이션이 아닌 일반 PC를 가지고, 인터넷을 통하여 3차원 의료영상 데이터를 검색할 수 있다.

인터넷에서 제공하는 3차원 의료영상 정보를 이용하여 원격진료를 구현하는 연구는 전 세계적으로 아직 초기 단계에 머무르고 있다. 본격적인 원격진료를 이룩하려면 의료영상 정보의 검색방식, 3차원 의료영상의 재구성 및 디스플레이 속도의 향상, 시스템 사용자의 편의성 제고, 그리고 임상실현을 바탕으로 한 시스템의 성능개선 등이 이루어져야 한다.

본 연구에서 거둔 현재까지의 결과를 바탕으로 해서 인터넷을 통한 원격진료를 구현하기 위하여, 앞으로 계속하여야 할 작업을 정리해 보면 다음과 같다.

● 내용기반 검색방식(Content-based Retrieval)

다중 매체의 방식의 데이터, 2차원 단면화상, 3차원 영상 등과 같은 대용량의 영상 데이터를 검색하기 위한 방법으로 현재는 문자기반의 검색방식(Text-based Retrieval)을 사용하고 있기 때문에 검색 효율이 떨어지고 있다. 따라서, 의료영상 데이터 자체의 의미를 검색할 수 있는 내용기반 검색방식(Content-based Retrieval)[13]을 사용해서 데이터를 효과적으로 관리하고 검색할 수 있는 의료영상 데이터를 위한 멀티미디어 데이터베이스 시스템을 연구 개발하는 작업이 필요하다.

● 3차원 영상의 병렬 렌더링

의료영상 데이터를 3차원 영상으로 재구성하여 렌더링 하는데 여러 가지의 알고리즘이 연구 개발되어 있다. 그러나, 3차원 의료영상을 재구성하는데 필요한

계산이나 기억장치의 용량이 엄청나게 크므로 일반 컴퓨터를 가지고 3차원 재구성 알고리즘을 실행하면 처리 속도가 너무 느리다. 그러므로, 3차원 의료영상으로 재구성하는 알고리즘들을 병렬화하여 슈퍼컴퓨터나 병렬컴퓨터를 이용하는 병렬 렌더링 방식을 개발해야 한다. 병렬 렌더링 기법을 사용하여 3차원 영상을 만들어 내면 기존의 컴퓨터를 이용한 방식에 비해 처리속도가 엄청나게 개선될 것이다.

● 시각화 인터페이스 설계

현재의 문자 위주의 질의처리방식을 문자가 아닌 메뉴, 버튼 등을 이용한 GUI 방식을 기반으로 한 다른 편리한 형태로 바꾸어 컴퓨터를 잘 모르는 일반 사용자도 쉽고 편리하게 의료영상 데이터를 검색할 수 있도록 도와주는 방법을 개발해야 할 것이다.

● 의사와 공동 연구를 통한 시스템 성능 개선

현재의 시스템은 공학자들로 구성된 본 연구팀의 단독연구에 의해 주로 이루어졌다. 임상에서 유용한 의료영상정보시스템을 개발하려면, 실제로 의료영상을 진단에 이용하고 있는 사용자인 방사선과나 핵의학과의 영상 관독 전문의들과 긴밀하게 협조하여 의료영상 정보를 실제 환자의 진단에 적용하여 보아야 할 것이다. 이러한 작업을 통하여 의료영상정보시스템의 문제점을 찾아 수정하고 그 기능을 개선하여 사용자 중심의 유용한 시스템을 개발하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Pesce, M., VRML-Browsing & Building Cyberspace, New Riders, 1995.
- [2] Ames, A. L., D. R. Nadeau, & J. L. Moreland, The VRML Source Book, John Wiley & Sons, 1996.
- [3] Josie Wernecke, The Inventor Mentor. Programming Object-Oriented 3D Graphics with Open Inventor, Release 2, Open Inventor Architecture Group.
- [4] VRML 2.0 Specification, August 4, 1996
- [5] Cheong S. Ang., David C. Martin, Michael D.

Deyle, Integrated Control of Distributed Volume Visualization Through the World-Wide-Web, Proceedings of VRML '95, December 1995.

[6] Elvins, T. T. & R. Jain, Web-based Volumetric Data Retrieval, Proceedings of VRML '95, pp. 7-12, December 1995.

[7] Arie E. Kaufman, Volume Visualization, Volume Visualization Principles and Practice #34, SIGGRAPH 96, August, 1996.

[8] Lorensen, W. E. & H. E. Cline, Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm, Computer Graphics, Vol.21, No.4, pp.163-169, July 1987.

[9] William J.Schroeder, Jonathan A. Zarge, William E. Lorensen, Decimation of Triangle Meshes, General Electric Company Corporate Research and Development Consolve, Inc, Computer Graphics, 26, 2, July, 1992.

[10] Jesper James Jenson, 3D Visualisering, Denmark Tekniske University, July 1995.

[11] 김진호, 김지인, 장천현, 송상훈, 다중 매체 방식의 3차원 의료영상 표현을 위한 VRML 시스템 개발, 정보과학회 '96 가을학술발표논문집 Vol.23, No.2, pp.417-420, 1996.

[12] Isovix Source program, <ftp://ftp.ncsa.uiuc.edu/Unix/Isovis>

[13] William I. Grosky, Multimedia Information System, IEEE Computer Society, pp.12-23, Spring, 1994.



김 지 인

e-mail : jnkm@kkucc.konkuk.ac.kr

1982년 2월 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)

1984년 2월 한국과학기술원 전산학과 졸업(석사)

1993년 5월 University of Pennsylvania 전산학과 졸업(박사)

1982년 3월~1987년 5월 금성통신(주) 주임 연구원

1987년 7월~1993년 5월 University of Pennsylvania 연구조교

1993년 6월~1995년 2월 미국 CCCC 전산과학자

1995년 3월~현재 건국대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 시각 프로그래밍, 의료영상처리, 컴퓨터 그래픽스, 가상현실



장 천 현

e-mail : chchang@kkucc.konkuk.ac.kr

1977년 서울대학교 계산통계학과(학사)

1979년 한국과학기술원 전산학과(석사)

1985년 한국과학기술원 전산학과(박사)

1988년~1989년 Virginia 대학교 연구원

1984년~현재 건국대학교 컴퓨터공학과 교수

관심분야 : 컴파일러, 프로그래밍언어



김 진 호

e-mail : jhkim@pluto.konkuk.ac.kr

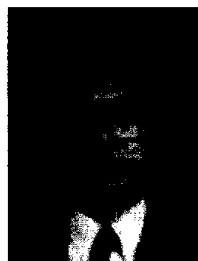
1995년 2월 호서대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)

1997년 2월 건국대학교 컴퓨터공학과 졸업(석사)

1997년 3월 현재 건국대학교 컴퓨터공학과 박사과정

1997년 8월~현재 보승정보시스템(주) 연구원

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 의료영상처리, 가상현실



송 상 훈

e-mail : song@kunjasejong.ac.kr

1977년 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)

1979년 KAIST 전산학과 졸업(석사)

1992년 University of Minnesota 전산학과 졸업(박사)

1992년~현재 세종대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : VLSI Testing, Parallel Processing, Multimedia, Storage systems