

원격 모의 수술 시스템 프로토타입*

A Prototype of Telepresent Surgical Simulation System

남상아** · 박주영** · 김명희*

Sang-Ah Nam · Joo-Young Park · Myoung-Hee Kim

Abstract

In medical applications, the cooperation work using computer network is in the spotlight as next generation technology, because it offers sharing of equipments, knowledge of specialists, and data and surmounts the limitations of geographical position and time.

We present a prototype of telepresent surgical simulation system in this treatise. It is a telemedicine system using volume image, which is reconstructed from radiological images such as MRI and CT. It is used as a tool for surgical simulation among telepresent doctors. It provides the functions of conference control, volume reconstruction and manipulation, and multimedia database management among one server and multi-clients through high-speed network. It is implemented on Unix workstation using X-windows and C language, TCP/IP protocol and UNiSQL as DBMS.

1. 서론

의학의 발전은 의료 분야에 있어 고도의 전문화를 가져왔으며 환자에게 최적의 처치를 하기위한 자문과 협동에 대한 요구를 증대시켰다. 그러나 지역적, 시간적 제한 때문에 이러한 상호 협동 작업이나 공동 회의의 개최는 현실적으로 여러 가지 문제를 갖고 있는 실정이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 컴퓨터 지원 공동 작업(CSCW : Computer Supported Cooperative Work)의 개념[4][5]에 기반하여 원격지에 있는 병원 의사들간에 입체 의료 영상, 문서 및 음성 등의 멀티미

디어 자료 공유를 제공하는 원격 회의 시스템이 필요하다[8]. 특히 정형외과, 신경외과, 산부인과 등에서 실제 환자에 대한 수술을 시행하기 전에 장소에 관계없이 여러 의사들이 함께 원격 회의 시스템을 이용하여 수술 계획을 세우거나, 모의 수술의 실행, 수술 후 결과에 대한 예측을 할 수 있다면 보다 정확한 수술과 수술 시간의 단축, 발생 가능한 오류의 감소 효과를 기대할 수 있을 것이다.

한편, 신체 내부 기관을 가시화 하는 것은 수세기 동안 인류의 관심을 끌여온 연구 주제로 만일 X-ray의 발견이 방사선학을 낳았다면, CT와 MRI의 발명은 방사

* 본 연구는 정보통신부의 '95 및 '96 초고속통신 응용기술개발사업의 지원으로 수행한 과제입니다.

** 이화여자대학교 전자계산학과

선학의 혁명을 가져왔다. 최근 들어 발전되고 있는 컴퓨터를 이용한 3차원 입체 영상은 신체에 손상을 주지 않으면서 신체 내부 기관을 가시화 하고자 하는 오래된 욕구를 좀더 만족시켜 준다. 입체 영상은 다양한 형태의 의학적 구조의 가시화, 조작, 그리고 분석을 위한 기초 분야로 발전되었다. 나아가 입체 영상에 대한 시물레이션은 수술 계획, 수술 리허설, 진단, 의학 교육 등의 다양한 영역에서 그 필요성이 증대되고 있다.

본 논문에서는 원격지의 여러 사용자가 함께 회의 시스템 형식을 이용하여 이차원 의학영상 처리뿐만 아니라 입체 영상 처리를 통해 원격지의 의사들이 함께 모의 수술 작업을 할 수 있도록 지원하는 시스템에 대한 프로토타입을 제시하고자 한다. 본 시스템은 원격 통신, 의료 영상 처리, 환자정보 및 본 시스템 사용에 대한 정보를 데이터베이스로 구축하는 기능을 제공하며, 초고속 통신망을 이용해 여러 의사들 간의 협동 작업을 지원한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구와 관련된 연구들을 모의 수술과 원격 의료 분야로 나누어 분석하며, 3장에서는 원격 모의 수술 시스템의 구현을 위해 필요한 기본적인 요구 사항에 대해 언급한다. 4장에서는 본 연구에서 개발한 프로토타입의 설계에 대해 설명한다. 5장은 구현에 관련하여 원격 회의 시스템과 정보 처리 및 운영 시스템에 의해 처리된 결과를 보인다. 마지막으로 6장에서는 본 연구의 결론 및 향후 연구 방향에 대해 제시한다.

2. 기존 연구

본 장에서는 원격 모의 수술 시스템에 관련하여 기존의 모의 수술과 원격 의료에 관한 연구를 살펴보고자 한다. 모의 수술은 대부분 컴퓨터에서 재구성된 입체 의료 영상을 이용하여 이루어지며, 그 진행 형태는 한 곳에서의 독립적인 수행 형태와 원격 의료 시스템의 하나로서 통신망을 이용한 원격 수행 형태로 나눌 수 있다.

2.1 모의 수술

모의 수술 시스템을 3차원 영상 처리에 중점을 둔

것과 가상 현실 기법에 중점을 둔 것으로 분류해 보면 다음과 같다.

빠른 영상 처리에 중점을 두고 만들어진 모의 수술 시스템으로 CLiPSS가 있다. 이 시스템은 일본 Miyagi National Hospital과 일본 IBM 동경 연구소에서 신경수술을 지원하기 위해 개발한 것이다. 일반적으로 신경수술에서 의사들은 뇌 깊숙한 곳에 위치한 병소를 수술이나 방사선을 쏘여 치료한다. 실제 수술을 집도하기 전에 3차원 컴퓨터 영상을 가지고 수술 계획과 모의 수술을 시행해 본다면 수술을 더욱 안전하고 정확하게 하도록 할 수 있을 것이다. CLiPSS는 IBM RS/6000 워크스테이션에서 X 윈도우 환경에서 C 언어를 이용해 구현되었다. 이를 실행시키기 위한 특별한 하드웨어의 사용은 필요하지 않다. CLiPSS의 기본 기능으로는 디스플레이, 편집, 그리고 의료 영상 자료의 렌더링이 있다. 이 시스템은 3차원 영상을 빠르게 대화식으로 생성하여 기존의 다중 모달리티(modality)로부터 얻는 정보보다 더욱 유용한 정보를 유도한다[11].

가상 현실 기법을 이용한 모의 수술 시스템으로 VRSAP과 Georgia Tech에서 개발한 모의 수술기가 있다. "Virtual Reality Assisted Surgery Planning (VRSAP)"는 미국의 Mayo Clinic and Foundation에서는 병원 수술장에 설치될 목적을 가지고 개발 중에 있다. 이것은 의사가 컴퓨터를 통해 실시간에 환자 자료를 변경하고 제어할 수 있게 할 것이다. 이 시스템은 수술 계획, 수술 리허설, 수술 집도 단계에서 사용될 수 있다. 한가지 예로 VRSAP의 부분인 "3차원 가시화와 가상환경 시스템을 이용한 방사선 전립선절제 수술을 위한 수술 계획 시스템"이 있다. 전립선암에 대한 방사선 전립선절제 수술은 널리 사용되고 있는 수술 방법이나 수술 후 요실금과 같은 부작용의 위험성을 갖고 있다. 수술 전 중요 해부학 구조에 대한 3차원 가시화는 환자의 중요한 해부기관의 관계를 의사가 쉽게 이해할 수 있게 해준다. 이와 같은 이해는 사망 비율을 낮추어 주며 특히 수련의들에게 더욱 그러하다. 환자 특유 해부학적 자료는 미리 조작된 3차원 MRI 진단 영상으로부터 획득되며, 중요 구조에 대한 볼륨을 대화식 영상 편집 도구를 이용해 분할하고 3차원 렌더링 알고리즘을 통해 일반 워크스테이션에서 디스플레이한다. 수술 계획을 위해 좀 더 진보시킨 가시화 접근은 가상환경 디

스플레이 시스템에서 구현될 것이다. 그 같은 실제적 디스플레이는 몰입(immersive) 형태로 모든 의사들이 동시에 실제적인 방법으로 수술을 계획하고 리허설을 하기 위해 해부학 구조를 보고 조작할 수 있도록 할 것이다. 궁극적으로는 가상현실 시스템이 수술장에 설치되어 의사가 수술을 집중하는 것을 도와주게 된다 [10]. Georgia Tech의 Medical College of Georgia을 중심으로 여러 연구기관에서 함께 개발한 의료 모의 실험기로서 눈 수술 모의 실험기, 내시경 기관지 수술 시뮬레이터, 원격 촉진 모의 실험기가 있다. 연구진은 눈 수술을 할 때의 시각과 촉각을 모의 실험하는 가상환경과 연계된 장치를 개발하였다. 이 모의 실험기의 일차 장점은 의대학생과 현장 의사들을 위한 반복적이고 시간기준 훈련을 위한 환경을 제공한다는 것이다. 이 시스템을 이용하여 의사는 비행기 조종사가 비행훈련을 하듯이 응급하고 예측할 수 없는 상태를 복제해 실습할 수 있다. 모의 실험기는 선형 촉각 피드백을 실시간에 느끼도록 해준다[2].

예시된 연구 개발 사례에서 본 바와 같이, 모의 수술을 위한 연구는 신경 수술, 전립선 수술, 눈 수술, 내시경 수술 등과 같이 다양한 분야에 적용될 수 있다. 모의 수술은 의료 영상을 기반으로 이루어지며, 사용자에게 편리한 사용 환경을 제공하기 위해 가상현실 기법 도입 노력을 계속하고 있다.

2.2 원격 의료

원격 의료는 의료 서비스의 분배를 위한 통합된 시스템으로, 의료 서비스 제공자와 소비자 간에 직접적인 만남에 의한 관계를 원격 통신과 컴퓨터 기술을 이용하여 대체하는 것이다. 이는 특히 지역적으로 공평하지 못한 의료 서비스 및 가격의 불편을 겪는 사람들에게 대한 제한된 의료 서비스 문제 해결, 환자 관리, 교육, 그리고 의료 정보의 공유에 대한 가능성을 구현해 보이고 있다. 현재 전 세계적으로 많은 국가들에서 원격 의료에 대한 연구가 진행 중에 있으며 원격 자문, 원격 진단, 원격 영상 분석을 중심으로 다음과 같은 연구들이 있다.

원격 자문을 위한 연구로 European Telemed Project와 The Georgia State Telemedicine Program이 있다.

European Telemed Project는 원격지에 위치한 워크스테이션 사이의 협동작업을 위한 원격 의료 시스템으로 the University Hospital of Geneva를 중심으로 개발되었다. 이 시스템은 영상에 대한 원격 자문과 의사들 간의 실시간 상호 작업을 가능하게 하는 협동적인 의료 영상 해석 요구들을 만족시키기 위해 다지점간 원격 방사선학(teleradiology) 시스템과 영상 가시화와 조작 소프트웨어인 ORISIS와의 조합으로 구현되었다. 영상과 자료는 ISDN(Integrated Service Digital Network) 상에서 전송되며 다양한 장소의 서로 다른 컴퓨터 환경을 조정하기 위해 하드웨어에 독립적인 소프트웨어가 설계되었다. 이 시스템은 동기적 모드(협동작업)와 비동기적 모드에서 모두 사용될 수 있다[12]. The Georgia State Telemedicine Program은 hub-and-spoke 통신망을 통해 주 전체의 주민에게 의료와 자문 서비스를 제공하는 프로그램이다. 이것이 완성되면 주 전체를 통해 여러 제 3의 보건 센터와 의료 센터의 이차적인 중심 집단으로 구성될 것이다. 전체적인 협동작업, 구현 그리고 점점은 조지아 의대에 있는 원격 의료 센터에 의해 제공된다[6].

원격 진단을 위한 원격 의료 시스템으로는 "ACTS and Supercomputing in Remote Cooperative Medical Triage Support and Radiation Treatment Planning" 프로젝트를 들 수 있다. 국가간 이미 광케이블로 연결되었거나 연결될 제 3의 국가간 통신망 연결은 마치 위성에 의한 통합에 의존해야만 하는 고비용의 복잡한 일처럼 보여진다. 거의 기가 비트의 속도를 내고 유연하게 조종되는 안테나 기능을 갖춘 ACTS(Advanced Communication Technology Satellite)는 그의 기술적인 전시의 성공과 네트워크 통합 잠재력 양면에 있어 중요한 역할을 하리라고 점점 더 인식되고 있다. 하와이 대학에서는 PTS관련 위성 통신 기술에 대한 연구를 하였다. 그 중 하나인 이 프로젝트는 ARPA 지원으로 수행되었으며, 슈퍼 컴퓨팅, 3차원 볼륨 모델링 기술, 그리고 영상을 기반으로 환자 상태에 대한 의료 등급을 판별하는 작업에 디지털 방사선 영상이 얼마나 적합한지에 대한 실험들이 중점적으로 다루어지고 있다[1].

방사선 진단 영상의 분석을 위한 원격 의료 시스템으로 KAMEDIN(Kooperative Arbeiten und MEDizinische Diagnostik auf Innovativen Netzen)이 있다. KAMEDIN

은 방사선과에서의 협동 작업을 지원하기 위한 컴퓨터 지원 협동 작업 (CSCW) 기능을 현실화시킨 것으로서 독일에서 개발하였다[9]. 방사선 영상 자료는 ISDN을 통해 연결된 원격지의 두 전문 의사에 의해 교환되고, 처리되고, 분석되며, 인공 신경망과 고화질의 영상 처리 프로시듀어들은 서로 다른 티슈들의 분류와 3차원 재구성을 위해 사용된다.

Los Alamos National Labortory가 중심으로 참여하여 개발한 TeleMed는 의사들에게 진단 기술의 자습과 환자에게 병을 설명하는데 사용될 수 있다. 이 시스템은 초기에 Los Alamos의 National Jewish Center와 the National Institutes of Health in Bethesda, MD 사이에 인터넷으로 연결되어 있었다. 차후로 the Center for Disease Control in Atlanta, GA, the Bureau of Tuberculosis Control in New York, 그리고 the Department of Health Services in Los Angles, CA가 연결될 것이며 통신망의 대역폭도 증가될 것이다. TeleMed에서 중심을 두고 개발한 핵심 기술들은 영상 처리, 고성능 계산,

진보된 통신, 멀티미디어 정보 시스템이다[7].

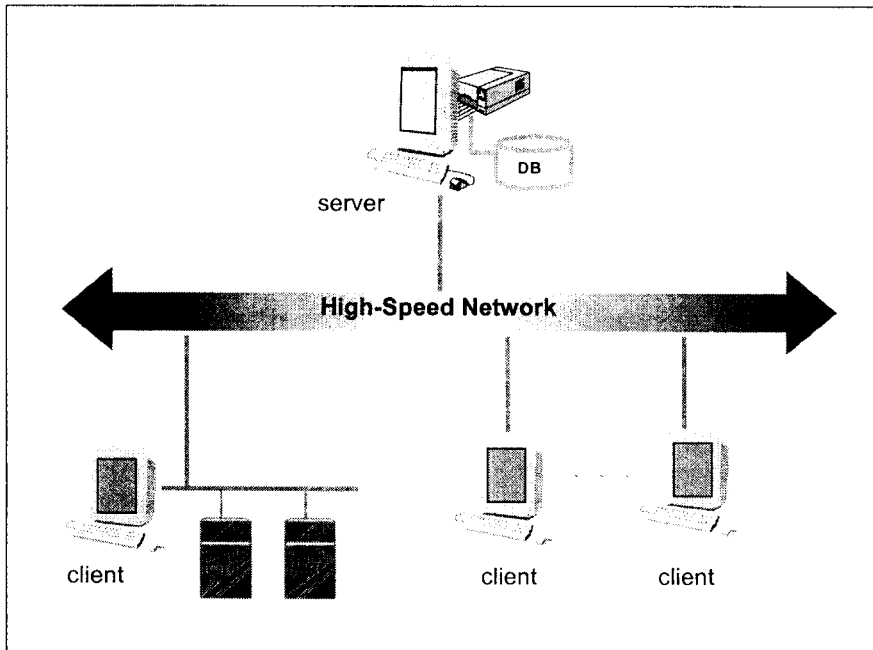
예시된 원격 의료 시스템들과 같이 모든 원격 의료 시스템들은 공통적으로 의사결정에 충분한 정보의 교류 기능을 기본적으로 요구하고 있다.

3. 시스템 구현을 위한 기본 요구 사항

원격 모의 수술을 지원하는 시스템은 모의 수술 시스템으로서의 요구와 원격 시스템으로서의 요구를 모두 만족시켜야 한다.

모의 수술 시스템이 갖추어야 할 기능에 대한 요구 사항은 다음과 같다.

- 환자 또는 수술 대상 부위를 3차원적으로 볼 수 있어야 한다. 일반적으로 얻어지는 환자의 질병 부위에 대한 시각적 정보는 진단 영상의 촬영을 통해 이루어진다. 그러나 이러한 진단 영상은 2차원적인 것이 대부분으로, 실제 수술에서 접하게 되는 3차원의 대상과는 이질적이다. 모의 수술에서는 이러한 한계를 극복



<그림 1> 네트워크 위상

하고 입체적인 대상을 다룰 수 있어야 한다[3][11].

- 수술에 도움을 주는 병소의 정확한 위치, 해부학적 객체간의 관계, 객체의 크기 및 각도 등과 같은 특성 값의 추출이 가능해야 한다. 이는 실제 수술에 있어 수술 시간의 감소 및 위험 부담을 줄여주는 요인이 된다[11].

- 수술 행위를 재연할 수 있어야 한다. 어떠한 행위를 가상의 환자에게 행해 보고 이에 따르는 대상의 변화 현상을 보여줌으로써 행위의 결과 예측, 리허설, 반복 훈련 등의 효과를 얻을 수 있다[10].

- 컴퓨터에 전문적인 지식이 부족한 의사와 같은 의료 요원이 쉽게 사용할 수 있어야 한다[10].

원격 시스템으로서 갖추어야 할 기능에 대한 요구사항은 다음과 같다.

- 여러 사용자들이 함께 작업을 할 수 있는 동기 모드를 제공해야 한다. 물론 필요에 따라서는 각 사용자가 단독적으로 작업을 수행할 수 있는 비동기 모드도 가능해야 한다[9][12].

- 작업 및 자료가 공유되어야 한다. 작업 공유를 위해서는 공용 작업 공간을 두고 그 공간에 있는 자료를 모든 사용자가 함께 보고 한 사람의 작업 결과가 모든 다른 사용자에게도 똑같이 적용될 수 있도록 해야 한다. 이는 여러 사용자의 협동 작업을 위해 반드시 필요한 기능이다[9].

- 편리한 의사 소통 수단을 제공해야 한다. 멀리 떨어진 사용자들의 의사 소통을 위해서는 메시지의 교류뿐만 아니라 한 장소에서 이야기하듯 음성을 비롯한 오디오 형태로도 의사 소통을 지원하여야 한다.

- 여러 원격지의 사용자들을 효과적으로 제어해야 한다. 원격 시스템은 단일 사용자를 위한 시스템이 아니므로 접속 제어를 비롯하여 사용자들을 제어할 수 있는 체계가 필요하다.

4. 시스템 설계

본 장에서는 재구성된 입체 의료 영상을 기반으로 초고속 통신망을 통한 다자간 원격 모의 수술을 지원하는 시스템의 설계에 대해 기술한다. 본 시스템의 설계는 원격 모의 수술 시스템에 대한 요구 사항을 토대로 설계되었으며, 원격 회의 시스템을 위한 기반 환경

과 모의실험을 위한 자료 처리 및 운영에 대한 설계로 나뉘어 질 수 있다.

4.1 원격 회의 시스템을 위한 기반 환경

4.1.1 네트워크 환경

본 시스템의 네트워크 구조는 <그림 1>과 같이 하나의 서버와 여러 개의 클라이언트가 초고속 통신망을 통해 연결되어야 한다. 초고속 통신망은 영상, 음향, 문자와 같은 다양한 멀티미디어 자료의 신속한 전송을 위해 요구된다. 서버에는 원격 모의 수술 시스템에 필요한 자료를 저장하고 검색하기 위한 데이터베이스 시스템과 영상 처리 기능, 시스템 제어 기능을 갖고 있다. 클라이언트들은 서버에 접속하여 상호 통신을 할 수 있게 되며, 여러 클라이언트들 중에는 회의에 필요한 자료를 제공하는 클라이언트가 포함된다. 이 클라이언트는 원격회의를 요구하는 클라이언트로서 회의의 대상이 되는 환자에 대한 여러 자료를 획득해 서버에게 전송할 수 있는 환경을 갖추고 있어야 한다. 즉, 본 시스템은 일반적인 문자 형태의 자료 외에 환자의 상태 파악 및 모의 수술을 위해 환자의 영상 자료를 다루므로 이를 위한 영상 획득 시설이 있어야 한다. 본 시스템에서 대상으로 하는 영상은 MRI나 CT와 같은 방사선 영상이다. 이외의 클라이언트들은 단순 참여 클라이언트로서 회의 참여를 통해 환자 자료를 공유할 수 있게 된다. 클라이언트의 주요 기능은 서버와는 달리 입출력 작업을 중심으로 사용자의 입력 및 결과의 출력에 관련된 기능을 수행한다.

서버와 클라이언트 간 통신 제어를 위해 본 시스템에서는 서버에서 모든 통신을 제어하는 중앙 제어 구조를 사용한다. 중앙 제어 구조는 분산 제어 구조에 비해 제어가 용이하다는 잇점을 갖고 있다. 클라이언트들의 접속 및 운영을 위해서는 라운드-로빈 방식을 도입하고 있다. 이는 클라이언트들을 순차적으로 검사해 서비스 요구가 있는 지를 검사하고, 만일 서비스 요구가 있을 경우에는 이를 처리한 후 다음 클라이언트의 요구를 검색하는 것이다. 이러한 방식은 서비스 요구가 균등하게 발생하지 않는 환경에는 비효율적이라는 문제를 갖고 있으나, 어떤 일부 클라이언트에게만 서비스가 집중되는 문제를 해결할 수 있다. 서버와 클라

이연트간의 통신은 메시지에 의해 이루어진다. 메시지는 공통부와 개별부 두 부분으로 구성된다. 공통부는 모든 메시지에 공통으로 포함되는 것으로 메시지 종류, 개별부에 첨가되는 자료의 크기, 메시지 발생 시각으로 구성된다. 메시지는 크게 제어 메시지와 자료 전송 메시지로 분류된다. 제어 메시지는 호 제어, 상태 전이, 작업 공유, 2차원 영상 처리, 3차원 영상 처리, 연동 및 비연동 모드 제어, 데이터베이스 자료 입출력을 위한 메시지들이며, 자료 전송 메시지는 영상, 음성, 문자와 같은 멀티미디어 자료를 전송하기 위한 것이다.

4.1.2 회의 운영

본 시스템은 회의 진행, 토큰 소유, 그리고 영상 연동 모드에 따라 시스템의 상태 및 기능이 달라진다.

원격회의의 진행은 세 가지 단계에 따라 이루어진다. 먼저 회의 진행 전 단계이다. 이 단계에서는 회의 요구 클라이언트로부터 회의 대상 환자에 대한 각종 자료가 전송되고, 이를 서버에서는 데이터베이스에 저장하고 입체 영상을 재구성하기 위한 영상 전처리 작업들을 수행한다. 그 후 회의 참여 클라이언트들이 서버에 접속하여 서버로부터 회의 대상 환자에 대한 자료를 일괄적으로 전송 받게 된다. 두 번째 단계로 회의 진행 단계는 토큰을 소지한 활성 클라이언트에 의해 시작되며 모든 클라이언트들이 서로 토큰을 주고받으며 회의를 진행하게 된다. 즉, 회의는 활성 클라이언트에 의해 주관된다. 이 단계에서 각종 모의실험 및 개별적인 자료의 검색이 이루어질 수 있다. 마지막으로 회의 후 단계는 활성 클라이언트가 회의를 종료함으로써 시작된다. 즉, 회의는 끝났으나 클라이언트가 아직 서버와의 접속을 종료하지 않은 상태로 클라이언트는 데이터베이스 검색 서비스를 받을 수 있다. 한편 의사 소통을 원활하게 하기 위해 각 클라이언트는 회의 진행 단계와 무관하게 음성 정보를 서로 주고받을 수 있다. 본 시스템은 회의 도중 새로운 클라이언트의 참여는 허용하지 않으나 회의 중간에 개별적인 탈퇴는 가능하도록 하고 있다. 이는 본 시스템의 주요 작업들이 공유된 상태를 유지해야 하는 특성상 모든 클라이언트들의 동기화를 유지하기 위해서이다.

토큰은 작업 공유와 회의 진행의 두 가지 기능을 동

시에 갖고 있다. 토큰이 갖는 상태는 자유 토큰 상태(free token), 토큰 요청 상태(token request), 토큰 획득 상태(token acquisition)가 있다. 자유 토큰 상태는 아무도 토큰을 소유하지 않은 상태에서 만일 임의의 클라이언트가 토큰을 요구하게 되면 토큰 요청 상태가 된다. 토큰 요청 상태에서 토큰이 자유 토큰 상태인지를 확인해 자유 토큰인 경우에는 토큰을 요청한 클라이언트가 토큰을 소유하게 되고 토큰은 토큰 획득 상태가 된다. 토큰을 획득한 클라이언트는 활성 클라이언트가 되어 각종 제어권을 갖게 되며, 다른 나머지 클라이언트들은 수동 클라이언트 상태가 되어 활성 클라이언트의 작업 제어를 받게 된다. 만일 토큰 요구 시 이미 다른 클라이언트가 토큰을 획득한 후라면 토큰이 자유 토큰 상태가 될 때까지 기다리게 된다. 토큰 획득 상태에서 자유 토큰 상태로의 전환은 활성 클라이언트가 토큰을 해제시킴으로써 가능해진다. 그리고 긴급한 의사 표현을 위해 프리엠프션(preemption)을 허용해 토큰을 강제로 소유할 수 있도록 허용한다.

본 시스템에서 제공하는 작업 공간은 네 개의 영상 디스플레이를 위한 공유 윈도우와 하나의 문자를 위한 윈도우로 구성된다. 이중 영상 디스플레이 윈도우는 모든 클라이언트에서 공유할 수 있는 작업 공간이다. 각 윈도우에는 입체 의료 영상과 그 영상에 세 가지 기본 축 방향의-sagittal, coronal, transaxial- 단면 2차원 영상이 보여지게 된다. 공용 윈도우에서 공유될 수 있는 작업은 볼륨과 객체에 대한 원격 포인팅(telepointing), 다양한 주석 작업, 그리고 영상 처리 및 조작이다. 원격 포인팅은 공용 윈도우에 원격 포인터를 제공하여 한 사용자의 포인터를 다른 모든 사용자들이 똑같이 보도록 하는 것으로 본 시스템에서는 하나의 공유 포인터를 두어 이를 시스템 포인터와 원격 포인터로 필요에 따라 변환 이용한다. 원격 포인터는 활성 클라이언트에 의해서만이 조작 가능하고, 원격 포인터가 동작할 수 있는 범위는 공용 윈도우 내로 한정된다. 원격 포인터와 시스템 포인터로의 변환은 토큰의 획득과 해제 및 포인팅 위치에 따라 이루어진다. 공용 윈도우에 그려진 영상 위에 다양한 형태의 주석을 달 수 있다. 선, 타원, 직사각형, 자유 드로잉, 문자열을 여러 색상을 사용하여 나타낼 수 있다. 이는 클라이언트들 간의 의사 소통을 좀 더 원활하게 하기 위한 것이다.

본 시스템이 제공하는 영상 디스플레이 윈도우는 초기 모드, 연동 모드, 비연동 모드의 세 가지 모드에 따라 입체 영상의 변화의 영향을 2차원 영상들이 받을지 여부가 결정된다. 초기 모드는 회의가 개시된 후 갖는 기본적인 모드로서 활성 클라이언트에 의해 재구성된 입체 의료 영상이 로드됨과 동시에 그에 관한 세 기본 축 방향으로 자른 단면 2차원 영상들을 영상 디스플레이 윈도우에 보여준다. 이 모드는 연동 모드를 선택하기 전까지 유지되며 기본 환자 정보로 회의 개시 전에 받은 재구성된 볼륨 자료로부터 클라이언트가 자체적으로 생성해 낸다. 연동 모드는 서버에서 처리되는 3차원 영상 조작 결과로 얻어진 볼륨 자료에 대해 세 가지 단면 영상을 생성한 후, 연결된 모든 클라이언트들에게 전송하여 디스플레이하는 모드이다. 기본적으로 보여지는 단면은 볼륨 자료의 각 축에 대한 1/2에 해당하는 위치를 선정한다. 그러나 클라이언트에서 다른 위치를 보여달라는 요구가 오면 볼륨 자료에서 해당 위치의 단면 영상을 재전송 한다. 비연동 모드는 연동 모드에서 모의 수술 및 조작 결과에 대한 단층면을 생성해 각 클라이언트에게 전송 및 디스플레이하는 작업 수행에서 오는 시간 소모를 줄이기 위하여 연동 모드의 기능을 중지시키는 것이다. 비연동 모드에서 클라이언트가 다른 단면 영상을 보여달라는 요구를 할 경우 서버는 비연동 모드를 선택하기 바로 전의 볼륨 자료에서 처리하여 보여주게 된다. 따라서 연동 모드에서 입체 윈도우에서 영상 조작이 이루어질 때마다 단면 영상 윈도우들이 바뀌던 것과는 달리 입체 윈도우의 영상이 바뀌더라도 단면 영상 윈도우들의 화면은 바뀌지 않는다.

4.2 모의실험을 위한 정보 처리 및 운영

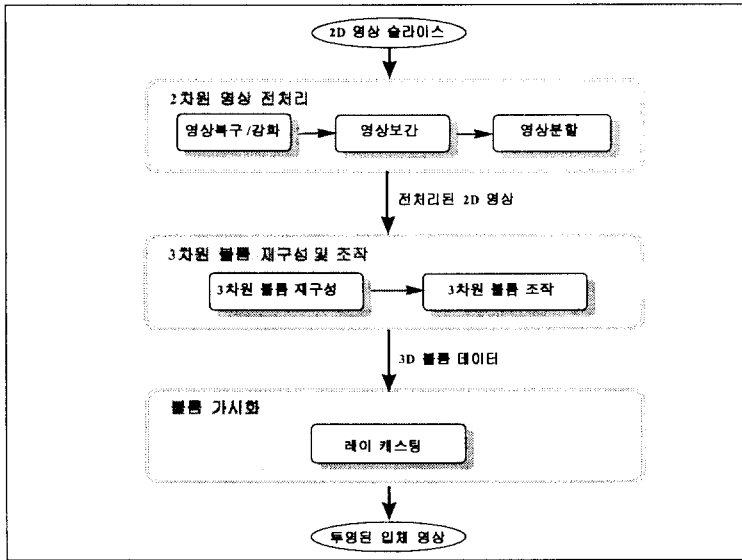
본 시스템은 사용자에게 모의실험에 필요한 정보의 생성, 제공 및 저장 기능을 제공한다. 이를 위해서는 영상의 생성 및 조작, 중요 정보의 저장 및 검색을 위한 데이터베이스 구축 운영이 필요하다.

4.2.1 영상 정보

일반적으로 널리 이용되고 있는 의료 영상은 MRI, CT, X-ray와 같은 영상들이다. 그러나 이들 영상들은

2차원적인 평면 영상만을 제공하기 때문에 실제적인 인체 구조에 대한 이해를 위해서는 이들로부터 입체 공간적인 정보를 유추해 내야 한다. 본 시스템에서는 환자의 2차원 단층 영상들로부터 입체 영상을 위한 볼륨 자료를 재구성하고 이를 대화식으로 다양하게 조작할 수 있는 기능을 제공한다. 입체 영상의 재구성은 회의 개시 전 상태에서 서버에 의해 오프라인(off-line) 작업으로 이루어진다. 의료 영상은 모달리티와 대상 부위에 따라 적용되어야 하는 기법이 다양하게 변하며 영상으로부터 추출해 내야 하는 특성 값들이 매우 다르므로, 영상 처리 전문가가 가장 적합한 기법을 사용해 최적의 볼륨 자료로 재구성한다. 볼륨 조작 기능은 모의 수술을 위한 기본 기능으로서 원격 회의 진행 중에 영상의 절단, 회전등과 같은 조작을 통해 환자 상태 파악, 수술 계획, 수술 후의 상태 예측 등에 유용하게 이용될 수 있다.

영상 정보 처리를 단계적으로 좀더 살펴보면 다음과 같다(〈그림 2〉 참조). 2차원 영상 자료에 대한 전처리 단계에서는 영상의 복구 및 강화, 보간 그리고 분할 작업을 통해 2차원 영상들로부터 필요한 정보를 수정 또는 추출하게 된다. 의학 영상 촬영 기기로부터 얻어진 영상은 영상 촬영시 대상 물체의 움직임이나 센서 장치 등의 잡음에 의해 영상에 오류를 포함할 수 있다. 특히 의학 영상 촬영기기로부터 직접 디지털 영상을 받아들이지 않고 영상 필름을 스캐너로 읽어 입력하는 경우는 오류의 가능성이 매우 높아진다. 영상 복구는 이렇게 손상된 영상의 질을 회복하기 위한 것이며, 영상 강화는 디지털 영상의 질을 개선시키는 데에 중점을 둔 기술이다. 보간은 자료 집합을 등방 요소(isotropic element)로 전환시키기 위해 필요한 작업이다. 입체적 영상에서 하나의 평면을 이루는 영상을 슬라이스(slice)라고 한다. 방사선 진단 영상 기기에 의해 얻어지는 일련의 2차원 영상은 슬라이스의 모임이 된다. 연속적인 슬라이스들에서 위치의 분리는 한 영상 내에서 x축과 y축으로의 복셀들의 차원보다 매우 크므로, 일반적으로 복셀의 모양은 정입방체가 아닌 직평행육면체가 된다. 나아가 연속되는 슬라이스 위치간에 분리 정도가 일량이 아닐 수 있다. 여러 가지 이유로 특히 정확성과 수행 효과 때문에 비일량 형태의 원영상에서 일량의 영상 자료를 만들어 낼 필요가 있다. 이를 위해 2



〈그림 2〉 입체 영상 처리 단계

차원 영상간의 해상도를 한 영상내의 해상도에 비례하도록 새로운 영상을 생성 추가하게 된다. 영상 분할은 영상을 영역으로 분리하는 것으로서 의료 영상 자료의 경우 원하는 특정 해부학적 구조로 자료를 전환시키는 작업을 의미한다.

입체 영상을 생성하기 위한 볼륨 자료의 재구성은 전처리된 2차원 영상들을 쌓아 올려 생성한다. 생성된 볼륨 자료는 바로 가시화 되거나 일련의 조작을 거쳐 새로운 볼륨 자료를 생성하여 가시화 된다. 이때 재구성되는 볼륨 자료는 해부학적 객체에 대한 분류 없이 전체를 하나의 덩어리로 인식해 구성될 수도 있고 각 해부학적 객체를 따로 재구성할 수도 있다. 본 시스템에서 제공되는 볼륨 조작으로 이동, 회전, 확대, 가시각도 변환, 절단이 있다. 임의의 한 점 V에 대한 이동, 확대, 그리고 회전을 매트릭스 표시법으로 나타내면 다음과 같다.

$$V' = V + D$$

$$V' = VS$$

$$V' = VR$$

이때, D는 이동 벡터이고 S와 R은 확대와 회전 매트릭스이다.

가시각도의 변환은 객체를 보는 시선의 방향을 바꾸는 것으로 이는 상대적으로 현재 객체의 각도를 바

꾸어 시선의 각도를 바꾸어 놓는 것과 동일한 개념이다. 객체의 각도를 바꾸는 작업은 이동, 회전, 확대의 작업을 조합으로 구성된다. 절단 조작은 수학적 평면의 방정식을 이용하여 수행된다. 3차원 볼륨은 x, y, z의 기본 축에 대한 좌표 값을 갖고 있다. 절단 평면 방정식을 $ax+by+cz=d$ 로 정의한다면, a는 x축의 절단 매개변수로 대입되고, b는 y축의 절단 매개변수로 대입되며, c는 z축의 절단 매개변수로 대입된다. d는 단위 복셀의 크기인 1로 한다. 절단에 의해 제거 되어야 하는 부분과 남아 있는 부분에 대한 결정은 다음의 식을 통해 결정된다.

$$x' / a + y' / b + z' / c < 1 \rightarrow \text{제거}$$

$$x' / a + y' / b + z' / c > 1 \rightarrow \text{보존}$$

절단 매개변수는 평면 방정식을 형성하고 그 평면 방정식에 의해 복셀의 제거 여부를 판별하여 최종적으로 절단된 볼륨을 얻는다.

볼륨 자료를 가시화하는 데에는 표면의 정보를 추출하여 가시화 하는 표면 렌더링 기법과 체적 자료를 그대로 이용하여 바로 가시화시키는 체적 렌더링 방법이 있다. 표면 렌더링 기법은 적은 계산 시간과 기억 용량을 필요로 한다는 장점이 있으나 체적 내부 정보를 잃는다는 문제를 갖고 있다. 이에 반해 체적 렌더링 기

법은 각 픽셀의 색과 불투명도를 계산하여 체적 내부에 관한 정보가 하나의 영상 안에 보여지게 한다. 표면 렌더링에 반해 체적 렌더링은 긴 계산 시간과 큰 기억 용량을 요구하는 문제가 있다. 본 시스템에서는 입체 영상의 자유로운 조작을 허용하기 위해 체적 내부 자료를 보존하는 체적 렌더링 기법을 선택하였다. 체적 렌더링 기법에는 여러 가지 가지화 방법들이 있는데 그 중 레이 캐스팅(ray casting) 방법을 적용하였다. 레이 캐스팅 방법은 화면의 각 픽셀로부터 체적 공간을 향하여 보이는 벡터에 따라서 빛을 던지는 image-order 방법의 하나이다.

본 시스템에서는 3차원 입체적 영상 재구성 및 조작뿐만 아니라 2차원과 3차원 영상의 저장 및 검색을 지원한다. 2차원 진단영상에 관한 정보는 촬영에 대한 정보와 함께 저장된다. 즉 촬영일자, 촬영시간, 촬영기기, 촬영신체부위, 일련번호 그리고 각 진단영상이 저장된 파일명에 대한 정보 및 진단영상 판독 결과가 포함된다. 입체 영상에 대한 저장 및 검색은 회의록 형태를 빌려 이루어진다. 회의록 정보는 해당 회의가 진행되면서 이루어지는 주요한 결정을 보존하기 위한 것으로 회의 번호와 기록 주제, 그리고 환자의 진단 영상을 입체적으로 재구성하여 조작하여 본 모습과 그에 대한 세 가지 기본 축 방향에서의 절단 모습 즉, 사용자들이 회의 도중 임의의 순간에 화면에서 보고 있는 네 가지 영상을 저장한다. 이러한 기록은 회의가 진행되는 동안 토큰을 소유한 사용자에게 한하여 기록 권한을 제한하며 이러한 제한은 개인정보를 위한 데이터베이스의 공유 문제를 해결하기 위한 것으로 회의의 진행상에도 혼란을 막기 위한 것이다.

4.2.2 일반 환자 정보

영상 정보 외에도 모의 수술회의에 필요한 자료는 문자형태로 이루어진 수술 대상 환자에 대한 정보와 회의 자체에 대한 정보가 필요하다.

환자 관련 정보로는 앞 절에서 언급한 진단 영상 정보 외에도 환자 개인 정보, 병력 정보, 진단 정보, 회의주제 정보, 병원 정보가 필요하다. 병력 정보는 현재 환자가 호소하는 통증과 의사가 본 환자의 현재 상태 그리고 물리적 실험의 결과 및 환자 개인이 과거에 걸렸거나 현재까지 가지고 있는 병들에 대한 정보와 환

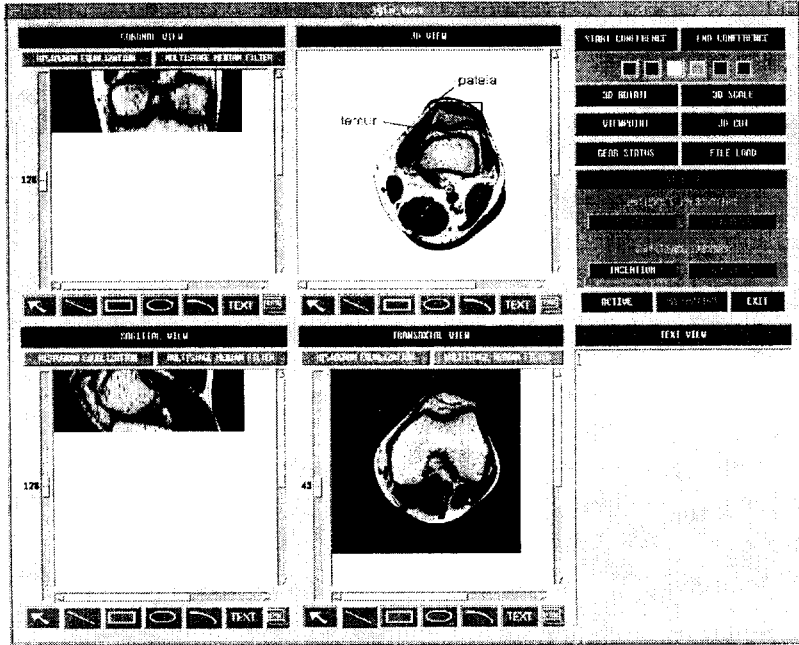
자의 유전적 환경을 살피기 위한 가족 병력을 포함한다. 진단 정보에서 진단명은 병변 부위와 병명의 조합으로서 경우에 따라서는 여러 가지 병변이 함께 발생할 수 있으므로 세 가지의 진단을 가능하게 한다. 회의주제 정보는 해당 환자의 회의를 소집한 주요한 사유에 대한 간단한 정보를 포함한다. 병원 정보는 환자가 속한 병원의 이름과 진료과, 그리고 주치의들에 대한 정보를 포함한다. 회의 대상 환자 정보 입력과 검색 정보 제공은 회의 진행 전 단계에서 이루어진다. 또한 본 데이터베이스에 보관된 다른 환자에 대한 정보의 검색을 지원한다. 다른 환자란 본 시스템을 이용해 이루어진 회의에서 토의된 환자를 말하며, 이러한 정보에 대한 검색 역시 회의 대상 환자 정보 검색과 마찬가지로 회의 진행과 무관하게 이루어질 수 있다. 그러나 환자 정보에 대한 검색은 개인적 정보이므로 보안을 위해 정확한 환자에 대한 자료 즉, 환자 번호나 이름과 같은 정보를 갖고 있을 때만 환자 정보를 검색할 수 있도록 한다.

회의 관련 정보는 회의에 대한 기록을 남기기 위한 것으로 회의 등록을 위한 정보 및 회의록 기록에 관한 정보가 필요하다. 회의 등록 정보는 회의 번호, 회의 대상 환자 번호, 회의 개최 날짜 및 시간, 회의 참가자, 회의 주제를 포함하며, 회의 등록은 시스템 운영자와 각 사용자에게 의해 이루어진다. 회의록의 기록은 앞에서 언급한 바와 같이 입체 영상과 그에 관련된 단면 영상의 저장을 통해 이루어진다. 회의 및 회의록 검색은 회의 진행과 무관하게 이루어지며 기록된 모든 회의에 대한 검색이 가능하다.

5. 구현

5.1 원격 회의 시스템

본 시스템은 초고속 통신망을 통한 서버와 클라이언트 간의 접속을 지원하기 위해 classical IP over ATM 프로토콜을 이용한 ATM상에서 TCP/IP 프로토콜을 사용해 구현하였다. 서버는 Sun Server 1000에서 C 언어와 X-Windows/Motif를 사용하여 구현되었으며, 클라이언트 프로그램 역시 C 언어와 X-Windows/Motif를 사용하여 Sun Sparc 20과 SDT 500 기종에서 개발 및 실험



〈그림 3〉 연동 모드에서의 영상 표시 결과 화면

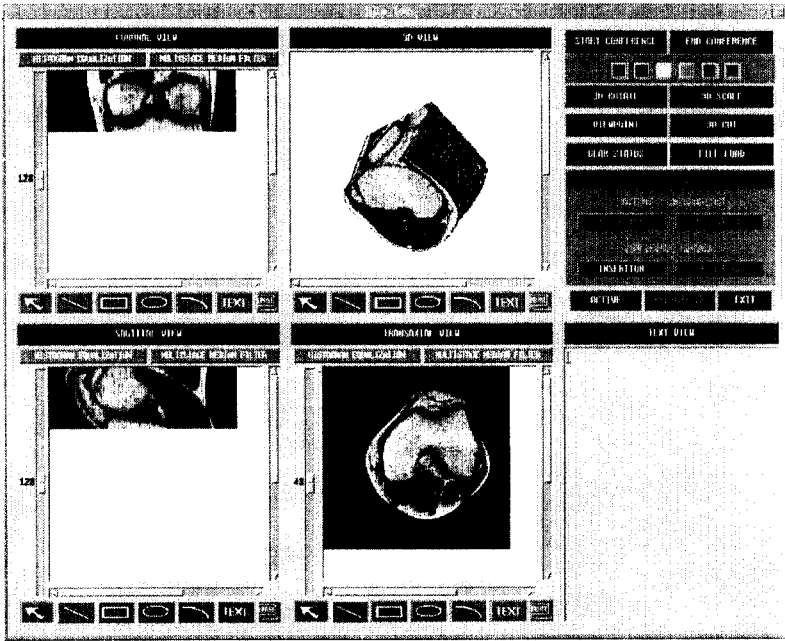
하였다. 실험 대상 환자 정보 중 진단 영상은 5mm 간격으로 무릎 부위를 촬영한 일련의 MRI 2차원 영상을 필름 스캐너를 사용해 디지털화 하여 사용하였다.

클라이언트의 사용자 인터페이스는 네 개의 공용 윈도우와 문자 입력을 위한 윈도우 그리고 제어판으로 구성된다. 공용 윈도우는 각기 입체 영상과 세 가지 기본 축에 따라 절단된 2차원 단면 영상들을 가시화시키며 2차원 영상에 대해서는 영상 복구와 강화 처리를 할 수 있는 버튼을 둔다. 영상 복구는 영상에 따라 2차원 영상에서 발생될지도 모를 잡음 제거를 위한 것이며, 강화는 어두운 영상의 경우 영상의 판별력을 높이기 위해 히스토그램 동등화 기법을 이용하기 위한 것이다. 각 공용 윈도우 하단에 있는 버튼들은 영상에 주석을 달기 위한 표식을 선택하는 기능을 한다. 문자 입력 윈도우는 회의록을 기록하기 위한 것으로 공용 윈도우와는 달리 다른 클라이언트들과 공유되지 않는 윈도우이다. 제어판은 회의 진행, 토큰 제어, 영상조작, 데이터베이스 운영에 관련된 명령 버튼들로 구성되어 있다. 〈그림 3〉은 연동 모드에서 무릎 볼륨 자료에서

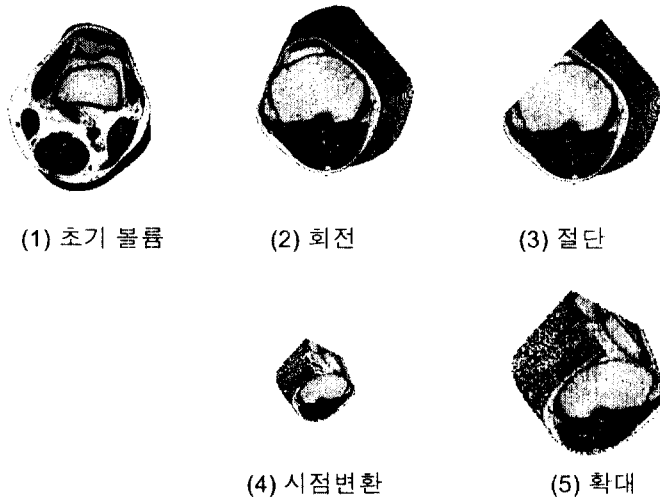
각종 영상 표식을 한 결과 화면이다. 〈그림 4〉는 비연동 모드에서 무릎 볼륨 자료를 임의의 평면에 의해 절단한 것으로 입체 영상에 대한 볼륨 자료와 2차원 영상 사이에는 연관성을 갖지 않는다. 이때의 2차원 영상들은 가장 최근의 연동 모드에서 얻어진 볼륨 자료에 대한 단면 영상이다.

5.2 정보 처리 및 운영 시스템

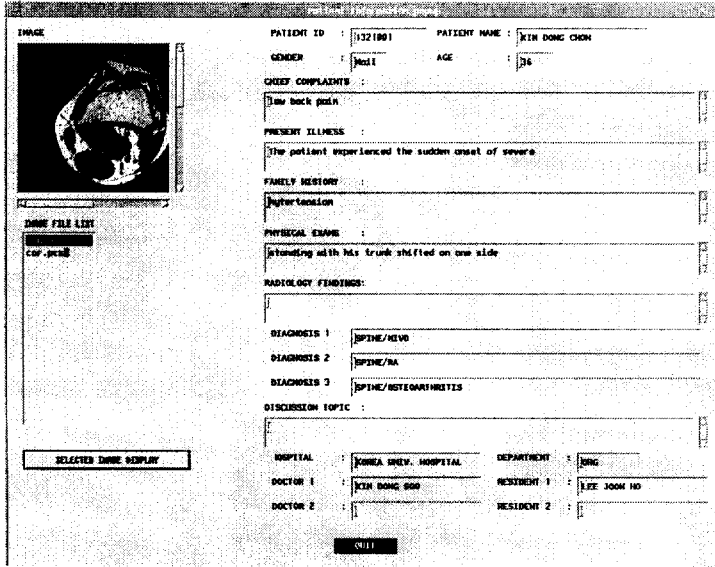
획득된 진단 영상을 볼륨 자료(256x256x82)로 재구성하기 위해 복구, 보간, 분할을 수행한다. 〈그림 5〉는 볼륨 자료를 조작한 결과들로서 (1)은 볼륨 자료에 아무런 조작을 가하지 않은 상태에서 본 영상이다. (2)는 볼륨을 x축을 기준으로 회전시킨 것이며, (3)은 회전시킨 볼륨에 대해 임의의 평면을 기준으로 절단한 영상이다. (4)는 절단된 볼륨 자료를 y축에 대해 회전시킨 후 시점변환을 통해 볼륨을 먼 위치에서 관찰할 수 있도록 한다. (5)는 볼륨 자료 자체를 확대시켜 좀 더 자세히 볼륨 자료를 관찰할 수 있도록 한다.



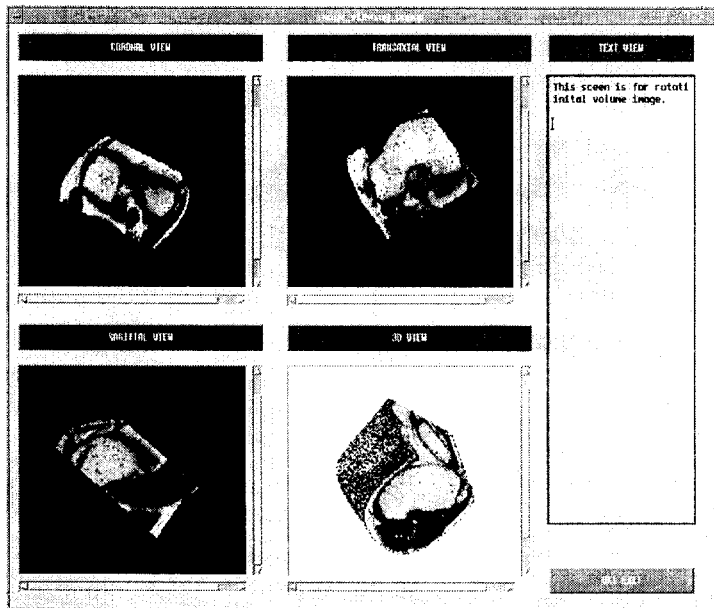
<그림 4> 비연동 모드에서의 볼륨 절단 화면



<그림 5> 볼륨 자료 조작 결과 영상



<그림 6> 환자 자료 검색 화면



<그림 7> 회의록 검색 화면

영상 정보와 일반 문자형태의 정보들은 환자 자료의 입력과 검색 그리고 회의록 기록과 검색을 통해 저장 및 검색된다. <그림 6>은 환자 자료를 검색하는 단계에 대한 화면으로 각종 환자 정보를 하나의 윈도우 내에서 한번에 볼 수 있다. <그림 7>은 일정 조건에 따라 검색된 회의록 검색 결과 화면이다.

6. 결론 및 향후 연구 방향

6.1 결론

본 논문에서는 원격지의 다중 사용자가 함께 모의 수술을 할 수 있도록 하는 컴퓨터 지원 협동 시스템에 대한 프로토타입의 설계 및 구현 내용을 설명하였다.

본 프로토타입은 서버와 클라이언트 구조로서, 원격 회의 시스템과 정보 처리 및 운영 시스템으로 구성된다. 본 시스템은 일반 워크스테이션에서 Unix 운영체제를 기반으로 X-windows 상에서 사용 가능하며, 서버와 클라이언트간의 네트워킹은 멀티미디어 자료의 원활한 전송을 위해 ATM과 같은 초고속 정보 통신망을 이용하여야 한다.

본 프로토타입이 제공하는 기능은 다음과 같다. 첫째, 원격지의 다중 사용자의 협동 작업을 지원하며 둘째, 2차원 및 3차원 영상을 공유하며 셋째, 멀티미디어 데이터베이스 관리 기능을 갖는다. 넷째, 내부 단면 영상 가시화와 영상 복구, 영상 강화 및 영상 조작 기능으로 입체 의학영상의 절단, 회전, 시점 변환을 수행한다.

본 시스템은 모의 수술 외에도 원격 의료 진단 및 원격 의학 교육 등에 활용될 수 있으며, 나아가 원격 로봇 수술의 기초 기술로 쓰일 수 있다.

6.2 향후 연구

본 연구의 향후 연구 방향은 하드웨어 독립적 시스템으로의 전환, 사용자 인터페이스 기법 개선, 사용 범위의 다양화로 분류될 수 있다. 하드웨어 독립적 시스템으로의 전환은 현재 워크스테이션급의 컴퓨터에서만 사용 가능한 본 시스템을 개인용 컴퓨터를 포함한 여러 다양한 컴퓨터에서의 사용을 지원하도록 하여 사용

자에게 설비에 의한 제한점을 축소하기 위한 것이다. 인터페이스 기법의 개선은 사용자에게 좀 더 사실적인 시각이나 촉각에 의한 가상 환경을 제공하므로써 다양한 컴퓨터와 인터랙션이 가능하도록 한다. 사용 범위의 다양화를 위한 연구로 정형외과, 신경외과, 산부인과, 흉부외과 등 여러 의료 분과의 모의 수술을 지원할 수 있도록 각각의 대상 신체 부위에 적합한 영상 처리 기술을 개발하고, 객체 측정, 객체 변형 등 다양한 모의 수술 기능을 보완한다.

참고문헌

- [1] David Y. Yun and H. M. Chen-Garcia, *PTR : Sharing Computational Resource and Medical Images Via ACTS-Linked Networks*, <http://www.ptc.org/pub/PTR/June96/2.html>.
- [2] D. Shefman, *Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, Robotics Institute, Carnegie Mellon Univ., PA, <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/mrcas/www/mrcas-home/MRCAS.html>.
- [3] Ioannis Pitas, *Digital Image Processing Algorithm*, Prentice Hall, 1993
- [4] J. F. Patterson, et al., *Rendezvous: An Architecture for Synchronous Multi-User Application*. In Proceedings of the Conference on Computer Supported Cooperative Work(CSCW 90), October 1990.
- [5] John S. Quarterman, Smoot Carl-Mitchel, *The Internet Connection : System Connectivity and Configuration*. Unix and Open System Series. 1994.
- [6] Laufa N. Adams and R. Kevin Grigsby, *The Georgia State Telemedicine Program : Initiation, Design, and Plans*, *Telemedicine Journal*, 1:3, 1995, 227-235.
- [7] National Jewish Center for Immunology and Respiratory Medicine, Los Alamos National Laboratory, *TeleMed*. <http://www.acl.lanl.gov/TeleMed/background.html>.
- [8] Michael Jäger, Utz Osterfeld, Hans-Josef Ackermann, *Building a Multimedia ISDN PC*, IEEE CG&A, Sep., 1993, 24-33.
- [9] P. Bernardes, Ch. Busch, et al., *KAMEDIN-*

Teleconferencing and Automatic Image Analysis for Medical Applications, Workshop on Graphics and Modelling in Science & Technology.

[10] Richard A. Robb, *VRASP : Virtual Reality Assisted Surgical Program*, Medicine Meets Virtual Reality III : Interactive Technology & the New Paradigm for Healthcare, SanDiego, Jan.19-22, 1995.

[11] Ryo Yoshida, Tatsuo Miuazawa, Akio Doi, and Taisuke Otsuki, *Clinical Planning Support System - CliPSS*, IEEE Computer Graphics & Applications, Nov., 1993.

[12] R. Welz, et al., *Design of a Cooperative Teleradiology System*, Telemedicine Journal, 1(3), 1995, 195-201.

● 저자소개 ●



남상아

1989년

이화여대 전산학과 학사

1991년

이화여대 전산학과 석사

1994년~현재

이화여대 전산학과 박사과정

관심분야

시뮬레이션 방법론 및 응용, 영상 가시화 및 네비게이션



박주영

1991년

이화여대 전산학과 학사

1993년

이화여대 전산학과 석사

1993년~현재

이화여대 전산학과 박사과정

관심분야

모의 수술 시뮬레이션, 모델링, 영상 처리 및 가시화



김명희

1979년

서울대학교 전산학과 석사

1986년

독일 Geottingen 대학교 전산학과 박사

1987년~현재

이화여대 전산학과 부교수

관심분야

시뮬레이션 방법론과 모델링, 영상처리 및 가시화