

소아만곡족 수술 시물레이션을 위한 원격 진단보조시스템 설계 및 구현

홍헬렌, 김민아, 김명희

이화여자대학교 공과대학 컴퓨터학과

Design and Implementation of Remote Diagnosis Support System for Surgery Simulation on Clubfoot

Helen Hong, Min-A Kim, Myoung-Hee Kim

Dept. of Computer Science and Engineering, Ewha Womans University

요 약

족부(足部)의 구조적 복잡성으로 인하여 부상이나 질병을 진단하거나 수술계획을 수립하는데 있어 많은 어려움이 있다. 본 논문에서는 소아만곡족(小兒彎曲足) 수술 시물레이션을 위한 원격 진단보조시스템을 설계하고 구현하였다. 본 시스템은 족부를 구성하는 뼈간의 관계를 정의하고 기형 정도를 파악하기 위하여 일련의 2차원 진단 영상들을 공간적으로 구성하여 입체적 영상을 생성하고, 이동, 회전, 확대/축소, 컬러링과 같은 다양한 조작 기능을 제공한다. 본 개발 시스템은 원격 수술 시물레이션을 위하여 클라이언트-서버 구조로 이루어졌으며, 시스템 간 사용되는 메시지 처리를 위한 진단 제어 관리기, 족부별 가시화 및 조작을 위한 수술 시물레이션 관리기, 원격 사용을 위한 통신망 제어기, 그리고 각종 환자 정보를 위한 데이터베이스 관리기로 구성된다. 또한 범용의 데스크탑 컴퓨터 상에서 사용자 인터페이스를 통하여 서버에 접속하여 진단보조시스템을 사용함으로써 보다 많은 사용자들이 동시에 사용할 수 있는 이점이 있다.

1. 서 론

족부의 구조적 복잡성으로 인하여 부상이나 질병을 진단하거나 수술계획을 수립하는데 많은 어려움이 있다[1][2]. 일반적으로 족부의 기형 정도를 파악하기 위해서 X-ray 영상이나 컴퓨터 단층촬영 영상, 자기공명 영상과 같은 2차원 진단 영상이 사용된다. 하지만 이러한 2차원 진단 영상들은 족부의 실제 형태와 뼈간의 상대적 위치 관계를 파악하기 어렵기 때문에 족부의 기하학적 관계를 유추하여 3차원 입체 영상 생성 및 기형 분석을 위한 다양한 기능 제공이 필요하다[3][4][5]. 또한 편리하고 일반적인 사용자 환경에서 범용의 데스크탑 컴퓨터를 사용하여 여러 전문의들이 동시에 시스템 사용을 할 수 있도록 함으로써 사용 효율을 증진시킬 수 있다[6].

시스템은 족부를 구성하는 뼈간의 관계를 정의하고 기형 정도를 파악하기 위하여 일련의 2차원 진단 영상들을 공간적으로 구성하여 입체적 영상을 생성하고, 이동, 회전, 확대/축소, 컬러링과 같은 다양한 조작 기능을 제공한다.

본 논문에서는 소아만곡족 수술 시물레이션을 위한 원격 진단보조시스템을 설계하고 구현하였다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 연구에서 구현한 원격 진단보조시스템의 전체구조 및 세부 기능을 살펴보고, 3장에서는 본 시스템 구현 결과를 보여주며 마지막으로 4장에서는 본 연구에서 구현한 원격 진단보조시스템에 대한 결론을 맺는다.

2. 원격 진단보조시스템의 구조 및 기능

본 연구에 의해 개발된 원격 진단보조시스템은 한 개의 서버와 여러 개의 클라이언트 컴퓨터 상에서 운영되는 클라이언트-서버 구조로 설계되었다. 그림 1은 원격 진단보조시스템의 구조를 도식화한 것이다.

서버는 진단 제어 관리기, 통신망 관리기, 데이터베이스 관리기, 영상처리기로 구성되어 있다. 클라이언트는 서버와 실시간 상호작용을 위하여 그래픽 사용자 인터페이스, 진단 제어 관리기, 통신망 관리기, 파일관리기와 영상조작기로 구성되어 있으며, 사용자 인터페이스를 통하여 족부의 입체적 영상과 조작 결과 영상을 서버와 주고 받게 된다. 통신망 시스템은 각종 정보를 전송하고 통신망 간 연동서비스를

본 연구는 보건복지부 '97보건의료개발사업 연구비 지원에 의한 결과임.

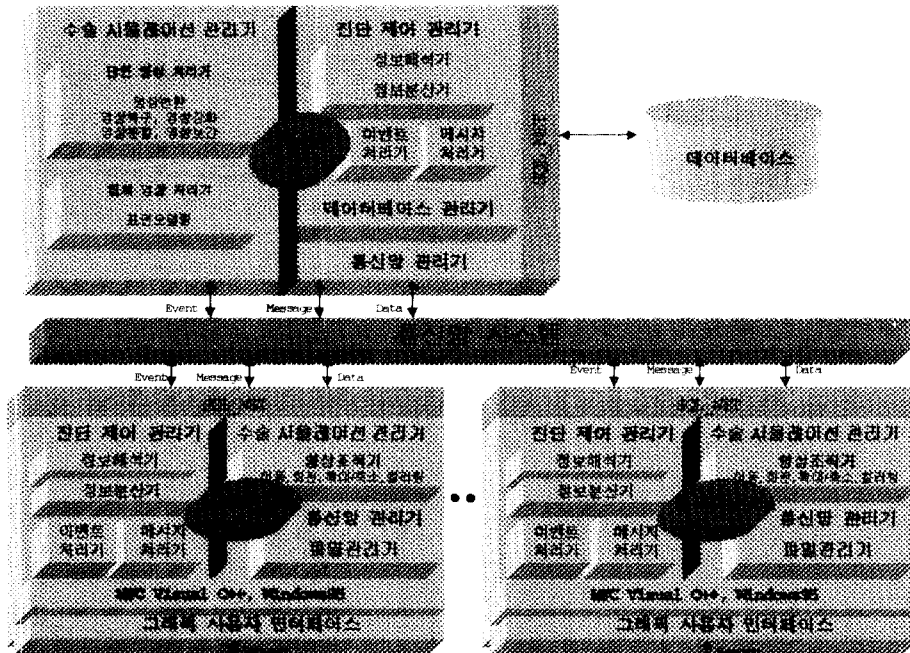


그림 1. 원격 진단보조시스템의 클라이언트-서버 구조
 제공하기 위해 TCP/IP 프로토콜을 사용하여 운영되
 어진다.

클라이언트-서버 간의 상호 작용은 대부분 클라
 이언트 컴퓨터 상의 사용자에게 의해 이루어진다. 서
 버는 여러 클라이언트들에게 다양한 서비스와 문자
 및 영상 정보를 제공하고, 클라이언트들은 서버에게
 서비스를 요청함으로써 다양한 서비스를 지원받는
 다.

2.1 진단 제어 관리자

본 시스템에서는 환자관련 정보 및 시스템 관련
 정보를 위하여 구조 정보, 문서 정보, 영상 정보를
 다룬다. 구조 정보는 통신망 접근 제어 및 서비스와
 관련된 것으로 진단 영상인 경우 해부학적 정보 뿐
 아니라 환자이름, 나이, 성별, 검사일자 등이 있으며
 그밖에 영상크기 및 획득기기의 특성에 대한 정보가
 포함되어 진다. 문서 정보의 경우 영상에 대한 의사
 의 간단한 메모나 진단 소견 등을 포함하며, 영상
 정보의 경우 2차원 진단 영상 뿐 아니라 수술 시뮬
 레이션 관리기를 통하여 생성되는 3차원 입체 영상
 도 포함한다.

진단 제어 관리기는 하나의 서버와 다수의 클라
 이언트를 관리하기 위한 자료구조를 유지하며, 서버
 와 클라이언트 간에 작용하는 다양한 요구 정보를
 제어한다. 진단 제어 모듈은 정보해석기(information
 interpreter), 정보분산기(information distributor), 이
 벤트 처리기(event processor), 메시지 처리기
 (message processor)를 포함한다. 정보해석기는 서
 버나 클라이언트로 들어오는 정보를 검사하여 오류
 가 없으면 내부의 정보분산기를 이용하여 해당 정보
 종류에 따라 이벤트 처리기나 메시지 처리기로 보내
 어 처리하도록 한다.

2.2 수술 시뮬레이션 관리자

수술 시뮬레이션 관리기는 대상 환자의 2차원 진
 단 영상들을 3차원적으로 재구성하여 가시화하고 입
 체적으로 재구성된 영상을 사용자가 대화식으로 다
 양하게 조작할 수 있는 기능을 제공하기 위하여 단
 면영상처리기와 입체영상처리기를 포함하는 영상처
 리기(image processor)와 객체 이동, 회전, 확대/축
 소, 컬러링 기능을 포함하는 영상조작기(image
 manipulator)로 구성되어 있다.

사용자는 서버로부터 제공되는 각종 영상처리 기
 능을 사용하기 위하여 서버에게 요구 메시지를 전송
 하여 영상처리기 모듈에 접근하며, 클라이언트 상에
 서 제공되는 렌더링 및 영상조작 기능을 수행하기
 위하여 사용자는 인터페이스 상에서 마우스를 통하
 여 조작 메시지를 클라이언트의 영상조작기 모듈로
 전송한다.

그림 2는 입체영상 가시화 및 조작 단계를 도식
 화한 것으로 환자의 2차원 진단 영상들을 영상획득
 기기로부터 얻은 후, 필요에 따라 영상변환 및 영상
 필터링 등의 전처리 과정을 수행한다.

단면 영상처리기는 영상변환 모듈, 영상복구 모
 들, 영상강화 모듈, 영상분할 모듈과 영상보간 모
 들을 포함한다. 영상변환 모듈은 영상획득기기로부터
 직접 컴퓨터 처리 가능한 영상으로 변환하는 기능을
 제공한다. 영상복구 및 강화 모듈에서는 영상 촬영
 시 대상 물체의 미세한 움직임이나 센서 장치 등의
 잡음으로 인하여 영상의 질이 저하될 수 있으므로
 이들 영상의 질을 개선시키고 잡음을 감소시키는 처
 리가 이루어진다[7].

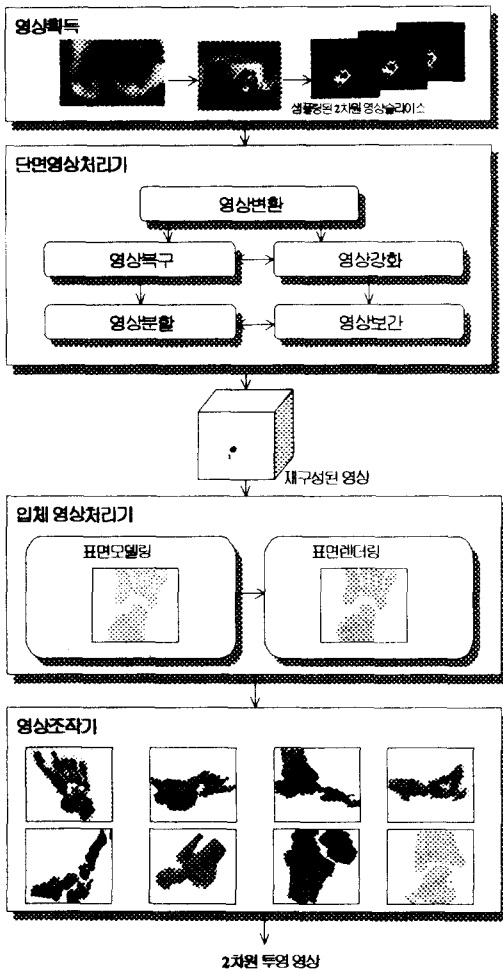


그림 2. 입체 영상 가시화 및 조작 단계

영상보간 모듈은 영상 획득시 각 영상 슬라이스 들 간의 간격이 한 영상 슬라이스 내 픽셀들 간의 간격보다 넓으므로 발생하는 영상의 계단화 현상을 보완하기 위하여 3차원 공간적으로 등방해상도를 유지시키는 기능을 포함한다[8][9][10][11]. 영상분할은 8-비트 영상의 경우 각각의 256 그레이-레벨 영상을 특별히 관심 대상이 되는 몇가지 인체기관(뼈, 지방, 근육 등)으로 분리하는 것이다[12].

입체 영상처리기는 표면모델링 모듈을 통하여 재구성된 입체적 와이어프레임 모델에 사용자의 명령에 따라 렌더링을 한 후, 이동, 회전, 확대/축소, 컬러링 등 여러 가지 진단 동작을 할 수 있도록 한다 [13][14].

본 시스템에서는 이와같은 일련의 단계들을 수행하기 위하여 클라이언트는 우선 진단보조시스템이 있는 서버에 접속한 후, 진단시에 사용되는 진단 영상 및 환자 정보를 서버에게 전송한다. 그리고 여러 장의 2차원 진단 영상으로부터 3차원적 입체 영상을 재구성하기 위해서는 많은 계산량과 저장 공간이 요구되므로, 진단 시에 필요한 단면 영상처리기와 입체 영상처리기 중 표면모델링 모듈을 서버에서 수행하게 하였고 그 결과 2차원적 화면에 투영되는 디지

털 그래픽 영상과 영상조작기 모듈은 클라이언트에서 수행하게 하였다. 따라서 클라이언트는 2차원 진단 영상, 2차원 영상 전처리 결과영상, 입체적으로 재구성하여 가시화한 영상을 해당 윈도우에 디스플레이하는 기능을 가지며, 마우스를 통하여 다양한 조작 기능을 수행한 후, 결과 영상을 디스플레이한다. 즉, 원격 진단시, 서버쪽 모듈은 클라이언트의 요청에 따라 기능 수행 후, 결과 영상을 클라이언트에게 전송하며, 클라이언트는 그 결과 영상을 화면에 디스플레이하고 조작하는 역할을 한다.

3. 구현결과

본 연구에서는 발목부위를 종단과 횡단으로 단층촬영하여 얻은 자기공명 영상 중 소아만곡족 기형분석에 주요 영향을 미치는 투자골, 주상골, 종골, 거골을 중심으로 분할하여 얻는 256x256 크기의 영상 116장을 사용하여 실험하였다.

본 시스템은 클라이언트-서버 구조를 기반으로 두가지 다른 환경에서 개발되었다. 서버는 Solaris 2.x를 탑재한 SUN Sparc 계열 워크스테이션 상에서 C언어를 사용하여 구현하였고, 클라이언트는 운영체제를 Windows95로 하는 데스크탑 컴퓨터 상에서 C를 사용하여 구현하였다. 본 시스템에서 사용하는 모든 사용자 인터페이스는 MFC Visual C++ 환경 상에서 수행되어지며, 다양한 영상 조작을 위해서 OpenGL과 연결하여 사용하였고 TCP/IP 프로토콜을 사용하여 텍스트 및 영상 정보를 전송한다.

사용자 인터페이스는 시스템 접속 및 전송관련 부분과 단면 영상처리기 관련 부분, 입체 영상처리기 및 조작 관련 부분으로 구성되어 있다. 시스템 접속 및 전송관련 부분에서는 클라이언트가 서버의 진단보조시스템을 사용하기 위하여 사용자이름과 암호를 입력하는 초기화면부터 진단에 필요한 관련 문서 및 영상자료들을 서버에게 업로드하고 서버의 다양한 자료들을 다운로드 받는 기능을 가진다. 단면 영상처리기 부분에서는 클라이언트가 환자 영상에 대하여 2차원 영상복구, 영상강화, 영상분할, 영상보간을 수행하도록 한다. 마지막으로 입체 영상처리기 및 영상조작기 부분에서는 2차원적으로 전처리된 일련의 영상들을 재구성하여 와이어프레임 모델을 구성한 후, 렌더링 및 다양한 조작을 제공함으로써 효율적 진단 지원하는 기능을 수행한다.

그림 3은 사용자가 마우스 제어 하에 볼륨 회전을 수행한 결과이다. 좌측 상단 윈도우는 영상복구의 효과를 보여주기 위해 인공적으로 잡음을 첨가한 2차원 진단 영상이며, 우측 상단 윈도우는 영상 복구 후에 잡음이 상당히 감소한 결과 영상이다. 좌측 하단 윈도우는 표면모델링 후 생성되는 와이어프레임 모델을 보여주며, 우측 하단 윈도우는 마우스 제어하에 와이어프레임 모델을 회전한 결과 영상을 보여준다.

그림 4는 사용자의 마우스 제어 하에 와이어프레임 모델의 확대 기능을 수행한 결과로 우측 하단 윈도우는 좌측 하단 윈도우에 보여지는 와이어프레임

모델을 확대한 것이다.

그림 5는 렌더링 모델의 축소 기능을 수행한 결과로 우측 하단 윈도우는 좌측 하단 윈도우에 보여지는 렌더링 모델을 축소한 것이다.

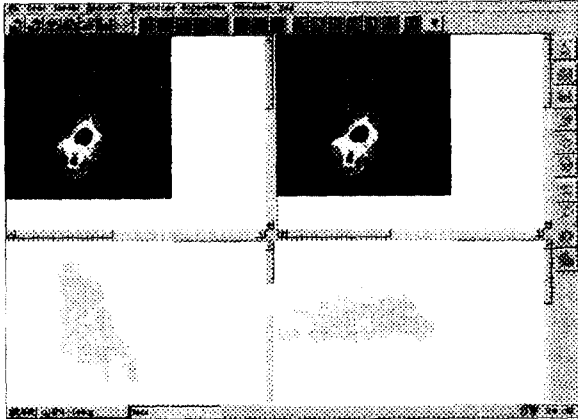


그림 3. 회전 결과 사용자인터페이스

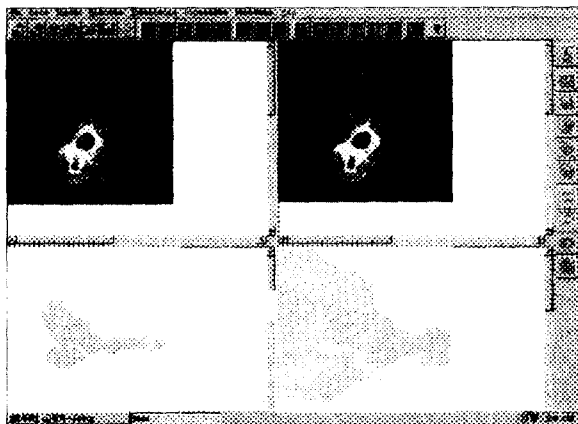


그림 4. 확대 결과 사용자인터페이스

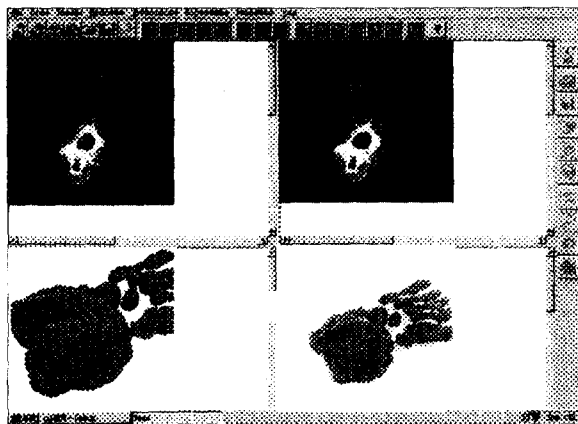


그림 5. 축소 결과 사용자인터페이스

4. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 소아만곡족 수술 시물레이션을 위한 원격 진단보조시스템을 개발하였다. 본 시스템은

통신망 상에서 한 개의 서버와 여러 클라이언트 컴퓨터에서 동시에 운영 가능한 것으로 시스템 간 사용되는 메시지 처리를 위한 진단 제어 관리기, 족부의 족부별 가시화 및 조작용을 위한 수술 시물레이션 관리기, 원격 사용을 위한 통신망 관리기, 그리고 각종 환자 정보를 위한 데이터베이스 관리기로 구성되었다.

본 시스템은 3차원 입체 영상 제공으로 대상 환자의 2차원 진단 영상으로부터 공간적 정보를 얻어 낼 수 있게 함으로써 환자의 병소 파악을 쉽게 할 뿐 아니라, 정확한 수술 계획을 수립할 수 있도록 도와준다. 또한 범용의 데스크탑 컴퓨터 상에서 사용자 인터페이스를 통하여 서버에 접속하여 다양한 기능을 사용함으로써 보다 많은 사용자가 이용할 수 있는 이점이 있다.

현재 개발된 시스템은 3차원 입체 영상 생성 및 가시화와 조작용 주를 이루고 있지만 보다 정확한 기형 분석을 위해서는 객체별 조작용이 이루어져야 하며, 다양한 파라미터 제공을 위한 연구가 이루어져야 한다.

참고문헌

- [1] Evams D., "Relapsed club foot", *Journal of Bone Joint Surgery*, Vol. 43, pp. 723-733, 1961.
- [2] Swann M. Catterall A., "The anatomy of uncorrected clubfoot - A study of rotation deformity", *Journal of Bone Joint Surgery*, Vol. 51, pp. 263, 1969.
- [3] Herzenberg J.E., Carroll N.C., Christoferson M.E. et al., "Clubfoot analysis with three-dimensional computer modeling", *Journal of Pediatric Orthopedics*, Vol. 2, pp. 347-356, 1988.
- [4] Charles E., Kelly J. Baker, Christiane Baunin, "Three-Dimensional Analysis of Clubfoot Deformity by Computed Tomography", *Journal of Pediatric Orthopedic Part B*, Vol. 4, No. 1, 1995.
- [5] M.A.Rodrigues, "Invariant Pattern Recognition for Clubfoot Classification", Research Report 98/2, Dept. of Computer Science, The University of Hull, 1998.
- [6] Helen Hong, Myoung-Hee Kim, "A Remote Diagnosis Support System for Orthopedic Deformity Analysis with Three-Dimensional Foot Model", *The Third Korea-Germany Joint Workshop on Advanced Medical Image Processing*, Aug., 1998.
- [7] Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley.
- [8] 홍헬렌, 박주영, 김명희, "3차원 그레이-스케일 영상 재구성을 위한 개선된 형태-기반 보간", *컴퓨터그래픽스 학회 논문지*, Vol. 2, No. 1, pp. 77-85, 1996.
- [9] William Barrett, Eric Bess, "Shape-Based Grayscale Interslice Image Interpolation", *AAAI Spring Symposium on Medical Applications of Computer Vision*, 1994.
- [10] Rob W. Parrott, Marin R. Stytz, Philip Amburn et al., "Towards Statistically Optimal Interpolation for 3-D Medical Imaging", *IEEE Engineering in Medicine and Biology*, 1993.
- [11] Stytz M.R., Parrott, R.W., "Using kriging for 3D Medical Imaging", *Computerized Medical Imaging and Graphics*, Vol. 17, No. 6, pp. 421-439, 1993.
- [12] Ioannis Pitas, *Digital Image Processing Algorithm*, Prentice Hall.
- [13] William E. Lorensen, "Marching Cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm", *Computer Graphics*, Vol. 17, No. 6, pp. 421-439, 1993.
- [14] Andreas Pommert, Bernhard Pflesser, Martin Riemer et al., "Medical Volume Visualization: Methods and Applications", *The First Germany-Korea Joint Conference on Advanced Medical Image Processing*, Oct. 1996.