

교육 분야 응용을 위한 가상 현미경 시스템

조 승 호[†] · Mike Beynon^{**} · Joel Saltz^{***}

요 약

본 논문에 의해 구현된 시스템은 광학 현미경을 통해 캡처된 조직 샘플들에 대한 데이터들을 분산/병렬 시스템 상에 분할 저장한다. 사용자들은 컴퓨터 상에서 마치 현미경을 사용하듯이 이들 이미지들을 관찰할 수 있다. 이 시스템은 고객 서버 모델에 의거 고객, 조정자 노드, 데이터 관리자 노드로서 구성되고, 메시지를 통해 데이터를 송수신한다. 본 연구에서는 이미지 표시나 텍스트 주석 등 교육용 응용에 필요한 기능들을 갖춘 이미지 검색용 고객 프로그램을 구현하였고, 새 요소간 통신 규약을 정의하였다. 또한 대용량 데이터들을 저장하는 테이프 장치 도입을 위한 실험을 수행하였으며, 이러한 실험은 데이터 분할 및 인덱싱 기법에 의해 성능 향상을 나타내었다.

A Virtual Microscope System for Educational Applications

Seung Ho Cho[†] · Mike Beynon^{**} · Joel Saltz^{***}

ABSTRACT

The system implemented in this paper partitions and stores specimen data captured by a light microscope on distributed or parallel systems. Users can observe images on computers as we use a physical microscope. Based on the client-server computing model, the system consists of client, coordinator, and data manager. Three components communicate messages. For retrieving images, we implemented the client program with necessary functions for educational applications such as image mark and text annotation, and defined the communication protocol. We performed the experiment for introducing a tape storage which stores a large volume of data. The experiment results showed performance improvement by data partitioning and indexing technique.

키워드 : 고객-서버 모델, 가상 현미경(Virtual Microscope), 통신 규약, 분산/병렬 컴퓨터, 디스크 병렬성(Disk Parallelism), R-트리

1. 서 론

데이터 전송 속도의 증가, 컴퓨터 처리 능력의 향상, 각종 센서들의 소형화 및 고기능화에 따라 GIS, 과학/공학 시뮬레이션, 위성 탐사, 멀티미디어, 의료 등의 분야에서 많은 양의 데이터들이 수집되고 있다. 이러한 데이터들은 네트워크 또는 내부 스위치로 연결된 분산 시스템이나 병렬 시스템[1]상에 분산 저장 및 처리가 가능해지고 있다. 의료 분야에서는 X선 촬영, 컴퓨터 단층 촬영, MRI 등에 대한 필름 사진들은 PACS(Pictures Archiving and Communication System)[20]를 통해 효율적인 관리가 이루어지고 있으나, 임상 병리에서 사용되는 조직 샘플에 대한 광학 현미경의 관찰은 수작업 차원에 머물러 있다. 이러한 분야에서는 아직도 체계적인 데이터 관리가 어려워 경험의 축적이나 정보의 공유가

사실상 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 예를 들면, 광학 현미경으로 조직 샘플 관찰시 통상적으로 1000×1000픽셀로 이루어지는 현미경 사진이 약 50×50개 정도 생성된다. 각 픽셀들은 RGB 3바이트씩 차지하므로 하나의 초점 평면에 대해 대략적으로 약 7.5GB라는 대량의 디지털 데이터가 생성된다.

본 연구는 의과 대학, 병원 및 의학 연구 기관에서 보관하고 있는 환자의 조직 샘플들을 고해상도 디지털 이미지(high resolution digital image)로 변환하여 인터넷이나 LAN을 통해 현미경을 사용하듯이 검색할 수 있도록 제공하고자 하는 연구로서 기존의 가상 현미경에 대한 연구[6,21]를 한층 발전시킨 것이다. 먼저 기본적인 현미경의 관찰 기능은 물론 교육 분야 응용을 위한 이미지상의 표시, 텍스트 추가 등을 지원하는 뷰어(viewer) 구현, 전체 시스템의 통신 규약 정의, 그리고 대용량 데이터 저장을 위한 테이프 저장 장치의 도입에 대한 연구를 수행하였다.

실제 현미경에서는 제공하기 어렵고 본 연구에 의해서만 얻을 수 있는 이점으로는 현미경을 활용하는 교육 분야를

* 본 논문은 2000년도 강남대학교 교내연구비에 의해 지원되었음.

† 정 회 원 : 강남대학교 지식정보공학부 부교수

** 비 회 원 : Researcher, MIT Lincoln Lab

*** 비 회 원 : Professor and Chair, Department of Biomedical Informatics, The Ohio State University

논문접수 : 2002년 7월 24일, 심사완료 : 2002년 10월 22일

꿈을 수 있다. 예를 들어 강의실에서 모든 학생들이 현미경을 통해 샘플들을 관찰하고자 할 때 물리적인 현미경을 이용한다면 다수의 학생들이 동시에 샘플을 관찰하는 것이 불가능하나, 이 시스템을 이용한다면 동일한 샘플을 동시에 보면서 강의를 진행할 수 있어 보다 효과적으로 강의를 진행할 수 있다. 이외에 병원에서 의사가 관련 조직 샘플을 보면서 진로나 상담할 수 있으므로 서비스 수준을 향상시킬 수 있고, 의학 연구자들은 저장된 조직 샘플들을 언제든지 검색할 수 있으므로 의학 연구 정보의 공유가 가능해져 의학 연구에 기여할 수 있을 것이다.

본 논문의 2장에서는 관련된 연구들에 대하여 기술하고, 3장에서는 시스템의 주요 기능 및 구성에 대하여 설명하고, 4장에서는 3계층으로 구성된 3요소간에 정보 교환을 위한 통신 규약 및 메시지 구조에 대해 기술하고, 5장에서는 사용자 인터페이스를, 6장에서는 대용량의 데이터들의 분할 방법, 인덱싱 및 저장에 대해서, 7장에서는 본 시스템의 성능 실험 및 결과를 기술하고 8장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

본 연구와 관련된 연구로 생물, 재료, 의학 등의 분야에서는 전자 또는 광학 현미경을 통한 협업 연구[18, 19]들을 들 수 있다. 이러한 협업 연구에서는 원격에 위치한 고성능 현미경들을 연구자들이 직접 조작하고 관찰하는 과정을 통해 협동 작업을 추구한다. 이러한 원격 현미경(telemicroscopy) 분야의 연구로 Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL)의 DeepView[16], San Diego Supercomputer Center(SDSC)의 웹기반 원격 현미경[10] 등이 있다.

DeepView에서는 광역통신망을 통해 현미경 채널(Microscopy Channel)을 제공한다. 이 현미경 채널은 온라인 상에서 사용가능한 현미경들의 목록을 연구자들에게 제공하고 연구자들은 원하는 현미경을 선택하여 실험을 수행하고 데이터를 수집, 처리, 저장한다. 이러한 채널 자체가 동기적 또는 비동기적 협업을 지원하는 'CPSE(Collaborative Problem Solving Environment)'라 할 수 있다. 이 연구에서는 전자 및 광학 현미경들을 이용하여 재료과학, 생물학 등에 주로 응용하는 시험을 수행한다. 이 현미경 채널은 측정 서비스(Instrument Service), 교환 서비스(Exchange Service), 계산 서비스(Computational Service)로 구성되고 CORBA[14]로 구현되었다.

CMDA(Collaboratory for Microscopic Digital Anatomy)는 기본적으로 인터넷을 통해 연결된 컴퓨터상에서 수행되는 소프트웨어 컴포넌트들로 구성되었으며, 연구자들이 지역적으로 다른 곳에 위치한 고성능 전자 현미경을 활용할 수 있도록 제공한다. 사용자 인터페이스인 VidCon(Video-based Controller)는 비디오 창(video panel), 제어창(control panel), 이미지창(image panel)으로 구성된다. 비디오 창은 현재 원

격에 위치한 현미경의 관찰하에 있는 샘플에 대한 비디오 이미지를 제공하고, 비디오 창을 보고 있는 원격 연구자들은 제어 창을 통해 관찰중인 현미경에게 배율 변동, 렌즈 이동 등의 명령어들을 보낼 수 있다. 이러한 과정을 통해 원하는 이미지에 대한 획득 명령을 내리고 획득된 이미지를 저장한다. 이미지는 HDF(Hierarchical Data Format)나 JPEG 형식으로 저장하므로 JPEG으로 저장한 이미지들에 대해 웹 브라우저로 통해 검색할 수 있다.

본 연구와 관련된 또 다른 연구로는 영상 분석, 저장, 검색 기능을 제공하는 연구[13]들이 있다. 이 중에서 의학 분야에서 대표적으로 활용되는 소프트웨어로 PACS(Picture Archiving and Communication System)[20]가 있다. 본 연구가 PACS와 유사한 점은 영상 입력 장치로부터 영상들을 획득한 후, 이들을 저장하여 검색 기능을 제공한다는 점이고, 차이점으로는 본 연구가 조직 샘플들의 수십 GB에 달하는 대용량의 데이터들을 분산/병렬 시스템에 저장하여 가상적으로 현미경적 관찰을 제공하는 반면에, PACS들은 X-ray, CT, MRI 등 상대적으로 작은 크기의 의학 영상들을 전송 및 저장하여 의사나 연구원들이 필름대신에 사용하게 제공한다는 점이다.

3. 시스템 구성

본 절에서는 전체 시스템의 주요 기능 및 구성에 대하여 기술한다.

3.1 주요 기능

본 시스템은 사용자에게 다음의 기능들을 제공할 뿐만 아니라 저장 시스템의 역할을 수행한다.

3.1.1 조직 샘플 선택

본 시스템이 제공하는 조직 샘플들의 목록을 제시하고 사용자가 선택하게 한다.

3.1.2 배율 선택

사용자가 선택한 조직 샘플에 대해 원하는 배율로 관찰할 수 있게 한다.

3.1.3 초점 평면 선택

본 시스템이 제공하는 초점 평면을 사용자가 선택하게 한다.

3.1.4 관심 영역 관찰

전체 이미지를 축소하여 보여주는 썸네일(thumbnail) 상에서 뷰박스(view box)를 통해 원하는 부분을 관찰할 수 있다.

3.1.5 빠른 스캐닝/지역 브라우징

사용자가 조직 샘플 전체를 빠르게 스캐닝할 수도 있고, 일정 부분에서 세밀한 관찰을 위해 지역적인 브라우징할 수 있다.

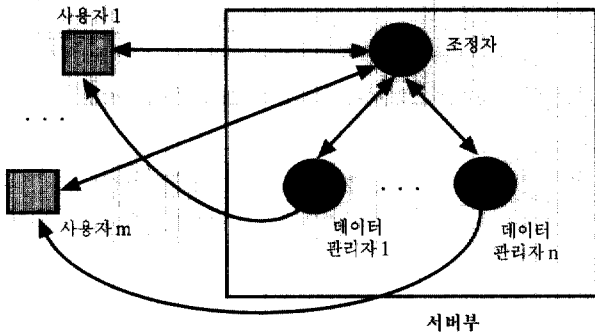
3.1.6 특정 부위 표시

사용자가 특정 부위에 대하여 원이나 사각형 등으로 표시를 할 수 있다.

3.1.7 소견 기록

사용자가 관찰한 부위에 대한 소견을 기록할 수 있다.

3.2 시스템 개요



(그림 1) 시스템 구성

본 시스템은 (그림 1)과 같이 고객(client)과 서버(server) 부로 구성되며, 3계층의 고객/서버 구조(3-tier client/server architecture)[15]를 기반으로 한다. 서버부는 대용량의 데이터에 대한 처리가 요구되므로 분산 시스템 또는 병렬 시스템으로 구성될 수 있게 다시 조정자(coordinator)와 데이터 관리자(data manager)로 나뉘어진다. 이러한 구성 요소들은 정의된 통신 규약(communication protocol)에 따라 다른 계층과 정보를 송수신한다. 고객이 검색을 하고자 하면 먼저 질의(query)를 조정자에게 송신한다. 조정자는 요청된 질의를 분석하여 해당 데이터 관리자들에 질의내용을 배분한다. 데이터 관리자들은 각자에게 할당된 질의를 수행하기 위하여 저장된 다차원 데이터들을 검색하여 데이터들을 처리한 후 결과들을 고객에게 전송한다.

4. 통신 규약

본 절에서는 시스템의 각 구성 요소들이 다른 계층과 메시지를 송수신하는 과정을 규정한 통신 규약(communication protocol) 및 메시지 구조에 대해 기술한다.

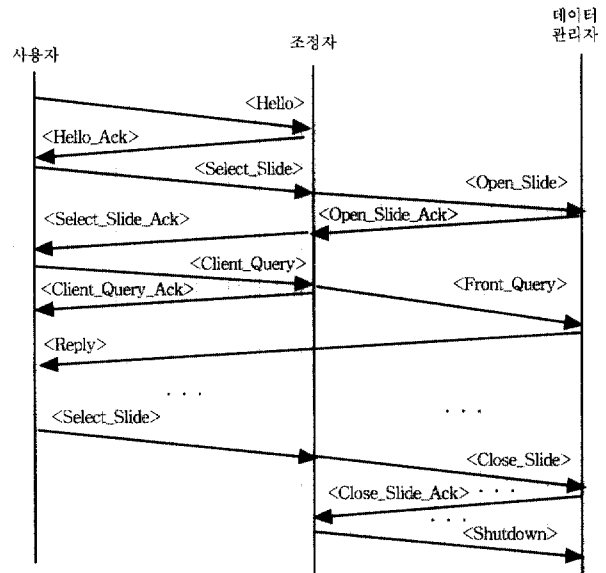
4.1 통신 규약

본 시스템의 세 요소들은 (그림 2)와 같이 아래의 단계를 따라 통신을 수행한다.

- 단계 1 : 사용자는 네트워크 접속을 위해 <Hello> 메시지를 통해 조정자에게 접속을 시도한다.
- 단계 2 : 조정자가 사용자의 접속 요구를 수락할 수 있으면 <Hello_Ack> 메시지를 사용자에게 응답한다. 이

메시지에는 서버가 관리하는 조직 슬라이드들의 목록을 포함한다.

- 단계 3 : 사용자는 조정자가 보낸 조직 슬라이드 목록으로부터 원하는 슬라이드를 검색하여 <Select_Slide> 메시지를 조정자에게 보낸다.
- 단계 4 : 조정자는 요청된 조직 슬라이드에 대한 정보를 데이터 관리자에게 <Open_Slide> 메시지로 전송한다.
- 단계 5 : 데이터 관리자는 조정자로부터 요청받은 슬라이드를 열은 후 조정자에게 <Open_Slide_Ack> 메시지로 응답한다. 그러면 조정자는 다시 사용자에게 <Select_Slide_Ack> 메시지로 응답한다.
- 단계 6 : 사용자는 해당 슬라이드상에서 관심 영역에 해당하는 위치 정보를 포함한 <Client_Query> 메시지를 조정자에게 요청한다.
- 단계 7 : 조정자는 이에 대해 응답 메시지로 <Client_Query_Ack>를 사용자에게 전송하고, 요청된 질의 영역을 포함한 <Front_Query> 메시지를 모든 데이터 관리자들에게 전송한다.
- 단계 8 : 각 데이터 관리자들은 자신들이 보관하고 있는 지역 데이터에 대한 처리 결과를 사용자에게 <Reply> 메시지로 직접 응답한다.



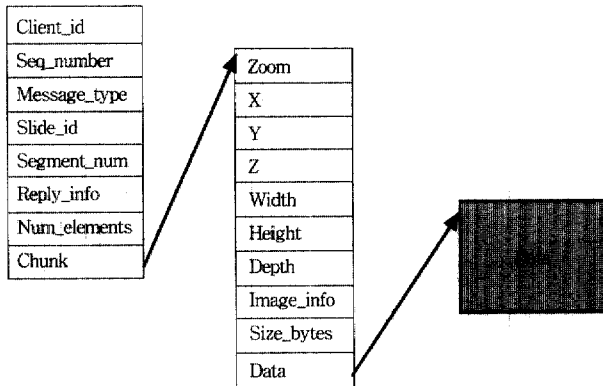
(그림 2) 통신 규약

사용자 인터페이스는 데이터 관리자로부터 모든 이미지 조각들을 전송받은 후 이들을 조합하여 완전한 이미지를 사용자에게 보여 준다. 이외에도 사용자가 검색하는 도중에 <Select_Slide> 메시지로 새로운 슬라이드에 대해 검색을 요청하는 경우에는, 조정자가 데이터 관리자에게 현재 열려있는 슬라이드를 닫도록 <Close_Slide> 메시지를 보내고, 데이터 관리자는 이에 대해 <Close_Slide_Ack> 메시지

로 응답한다. 그런 다음 조정자는 새로운 슬라이드를 여는 단계 4와 단계 5의 과정을 수행한다. 마지막으로 사용자가 조정자와 접속을 끊는 경우에는 조정자가 데이터 관리자에게 <Shutdown> 메시지를 보내 접속을 종료한다.

4.2 메시지 구조

앞 절에서 언급된 메시지들 중 데이터 관리자가 사용자에게 결과 데이터들을 보내주는 <Reply> 메시지의 구조를 (그림 3)에서 보여준다.



(그림 3) 메시지 구조

여기에서 Client_id는 요청한 고객에게 부여된 id, Seq_number는 사용자가 이제까지 발생시킨 질의의 일련번호, Message_type은 현 메시지의 형태로 이 경우에는 R(Reply)이 된다. Slide_id는 이미지 테이블에 대한 인덱스로서 요청된 슬라이드 id, Segment_num은 세그먼트 번호, Reply_info는 이 메시지와 관련된 추가적인 정보, Num_elements는 전송되는 이미지 조각의 갯수, Chunk는 실제 전송될 이미지 데이터 관련 정보를 포함하는 구조체에 대한 포인터를 보관한다.

Zoom은 현미경의 확대 배율을 나타내고, X, Y, Z는 이미지의 각 시작점 좌표를 표현하며, Width, Height, Depth는 시작점으로부터 이미지의 넓이, 높이, 깊이를 나타낸다. 현재는 이미지 들이 2차원 이미지이므로 Z와 Depth는 사용되지 않는다. 여기에서 Image_info는 이미지에 대한 정보를, Size_bytes는 이미지 조각의 크기를, Data는 실제 이미지 데이터에 대한 포인터를 저장한다.

5. 사용자 인터페이스

(그림 4)는 사용자들이 서버부에 저장되어 있는 조직 샘플들을 보다 쉽게 찾아볼 수 있도록 섬네일 이미지들로 구성된 홈페이지의 일부를 보여준다. 현재는 시스템에 저장된 조직 샘플의 개수가 많지 않으므로 이렇게 섬네일 이미지들을 보여주고 홈페이지를 통해 찾아 보도록 설계되었지만

점점 조직 샘플들의 개수가 증가하면 목록을 통해 검색할 수 있도록 확장되어야 할 것이다. 사용자가 원하는 섬네일 이미지를 홈페이지 상에서 클릭하게 되면 사용자 컴퓨터에 고객 프로그램이 설치되어 있는지를 확인하여 자동적으로 최근 버전의 고객 프로그램을 다운로드하여 (그림 5)와 같이 브라우징할 수 있다.



(그림 4) 홈페이지 일부

고객 프로그램은 다중스레딩(multithreading) 기술을 적용하여 사용자 인터페이스 스레드(user interface thread)와 망 접속 스레드(network interface thread), 두 개의 스레드로 구성되며, 사용자 인터페이스 스레드가 망 접속 스레드보다 높은 우선 순위를 갖는다. 사용자 인터페이스는 (그림 5)와 같이 크게 두 개의 창으로 이루어 지고, 우측의 작은 창이 제어창(control panel)이고, 좌측에 위치한 것이 관찰창(observation panel)이다. 이러한 그래픽 사용자 인터페이스(graphical user interface)는 Visual C++로 구현되었다.



(그림 5) 사용자 인터페이스

제어창은 다시 다음의 4개 창들로 구성된다.

① 샘플명(sample name)

서버부가 저장하고 있는 조직 샘플 슬라이드들의 목록을 보여준다. (그림 5)에서 현재 선택된 슬라이드는 전립선 조직 1(prostate tissue 1)이며 그 외에도 검색 가능한 다른 조직 슬라이드들을 보여 준다.

② 배율(magnification)

이것은 사용자가 관찰하고자 하는 현미경의 배율을 나타내며, 위 그림에서 전립선 조직 1에 대해서 50배, 100배, 200배의 배율로 확대하여 관찰할 수 있음을 알려준다.

③ 초점 평면(focal planes)

슬라이드를 구성하는 여러 초점 평면들의 목록을 보여 준다. 위 그림에서 전립선 조직 1은 한 개의 초점 평면만을 포함하고 있음을 보여준다.

④ 썸네일(thumbnail image)와 버튼들

하나의 초점 평면에 의해 관찰된 이미지를 축소된 것으로 전체 이미지에 대한 브라우징을 도와 준다.

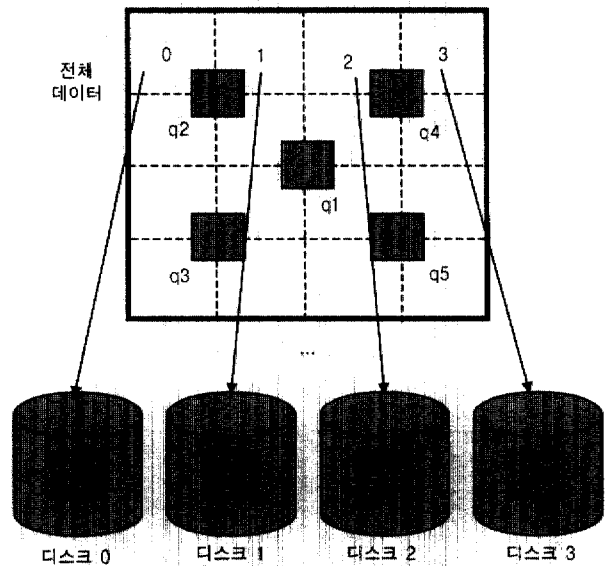
왼쪽에 위치한 다른 하나의 창은 관찰 창으로서 데이터 관리자로부터 도착한 이미지 조각들을 조합해서 사용자가 요구한 이미지를 보여 준다. 물론 이 창의 크기는 사용자가 원하는 대로 크기 조절이 가능하다. 또한 썸네일 상에서 뷰 박스를 다른 부분으로 빠르게 이동시킬 때에는 썸네일 이미지를 이용하여 원하는 이미지를 개략적으로 보여주며, 사용자가 마우스 이동을 마치고 마우스 버튼을 놓게 되면 고객 프로그램이 해당 부분의 위치 정보를 추출하여 검색용 질의를 조정자에게 발송한다.

6. 데이터 저장

대용량 데이터를 저장하는 데이터 관리자는 워크스테이션과 같은 단일 컴퓨터만 아니라 다수의 노드들로 구성되는 병렬 시스템이나 분산 시스템에서도 수행 가능하다. 일반적으로 데이터 관리자들은 광학 현미경으로 관찰된 다해상도 이미지 데이터들을 서비스하기 위하여 현미경에서 최고 배율로 캡처된 데이터들을 보관하고 있으며, 각 데이터 관리자들은 고객에게 최종 이미지 제공시 고객이 요청한 배율에 따라 디스크로부터 읽혀진 데이터들에 대해 데이터 변환을 수행한다. 이러한 작업들은 주로 디스크 입출력 연산(disk I/O)이므로 병렬 디스크 접근(parallel disk access)[5, 12]을 수행하도록 저장된다.

전체 데이터들은 (그림 6)과 같이 블록 분할(block partition) 방식으로 분할되며 각 분할 영역내 블록들은 분할 데이터 파일(partitioned data file)에 저장된다. 각 블록들은

블록내 모든 데이터들을 포함하는 MBR(Minimum Bounding Box)에 의해 각 블록 정보가 전체 다차원 좌표 상에 표현되고, 각 블록들의 좌표는 하위 수준의 인덱스 파일(low-level index file)에 하나의 엔트리로서 삽입된다. 본 연구에서는 하나의 분할 데이터 파일에 대응되는 하위 수준의 인덱스 파일이 하나 생성되며, 이들은 짝을 이루어 각 디스크에 분산 배치된다. 따라서 분할 데이터 파일이나 하위 인덱스 파일들은 분할의 크기에 따라 그 크기와 개수가 달라지며, (그림 6)은 전체 데이터를 4×4로 분할한 예를 보여준다. 그리고 모든 하위 수준의 인덱스 파일들을 검색하기 위한 상위 수준의 인덱스 파일(top-level index file)이 하나 구성된다. 사용자 질의가 도착하면, 2 단계 인덱스 파일들에 대한 접근을 통해 해당 블록들에 대한 정보를 추출하여 데이터를 읽어들인다[3]. 이러한 2 단계 인덱싱은 UC Berkeley의 GiST C++ 라이브러리[2]에 기초한 R-트리[9]를 이용하여 수행된다.



(그림 6) 4×4 데이터 분할 및 할당

7. 실험 환경 및 결과

본 절에서는 응답 시간(response time)과 서버 이용률(server utilization)를 사용하여 시스템 성능을 평가하고, 데이터 분할의 크기에 따른 데이터 적재시간, 인덱스 및 데이터 처리 시간 등에 대해 실험을 수행하였다.

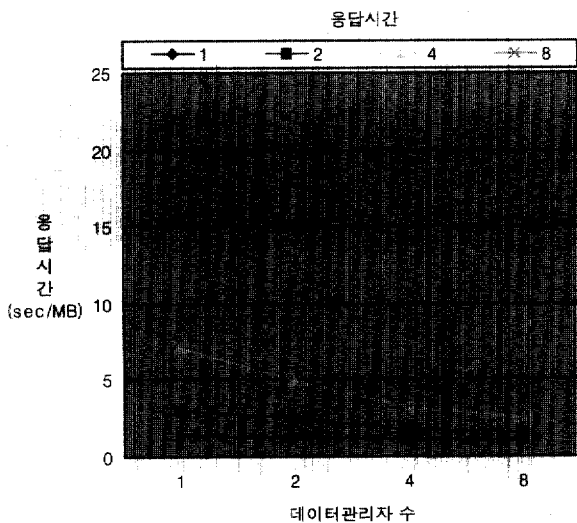
7.1 응답시간 및 서버 이용률

응답 시간은 본 시스템이 임의의 사용자들 요구에 얼마나 빠르게 응답하는지를 나타내는 척도로 사용하였고, 서버 이용률은 시스템 자원들이 얼마나 효율적으로 활용되는지 평가하기 위해 사용하였다. 본 실험을 수행하기 전에 먼저 현미경 사용에 익숙한 전문가로부터 미숙한 사용자에게 이르

기까지 이미지 검색하는 양상을 파악하기 위하여, 고객 프로그램을 통해 본 시스템에 대한 이벤트 추적(event trace)을 수집하였다. 이러한 추적으로부터 사용자의 검색 양상을 구동 프로그램(driver program)으로 작성하였다.

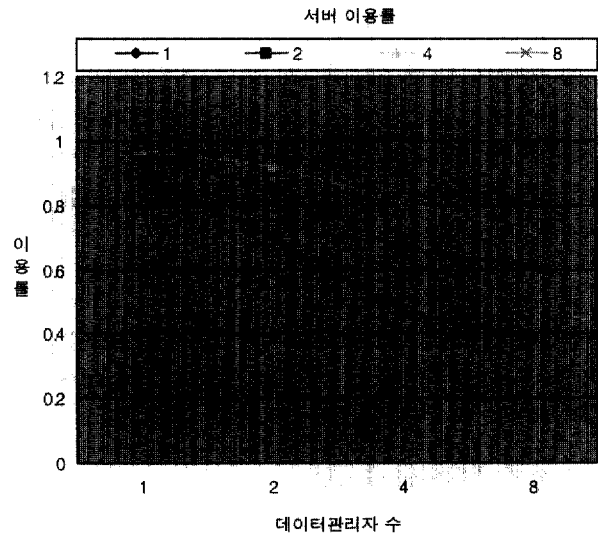
이 실험은 16개의 RS 6000/390 노드들로 구성된 Maryland 대학의 IBM SP2 병렬 컴퓨터[1]에서 수행되었다. 각 RS 6000 노드들에는 6개의 IBM Starfire 7200 디스크들이 장착되어 있고 AIX 4.2가 탑재되어 있다. 각 데이터 관리자들은 IBM SP2의 서로 다른 RS 6000 노드에서 실행되었으며 이들은 해당 노드의 지역 디스크에 저장된 데이터만을 접근한다. 그리고, 사용자 입력 구동 프로그램은 IBM SP2와 LAN으로 연결된 PC상에서 실행되었다[6].

(그림 6)은 개별 드라이버 프로그램의 요청에 대해 데이터 관리자 노드의 응답 시간을 보여준다. X축은 데이터 관리자 수를 나타내고 Y축은 응답시간을 나타낸다. 개별 그래프는 사용자 수에 따른 응답시간을 보여주는데, 여기서 응답 시간은 sec/MB(Megabyte)로 측정하였다. 이것은 사용자 질의에 의해 처리되는 이미지 양이 달라짐에 따라 고객에게 전송되는 메시지들의 크기도 달라지게 되어 1MB 데이터 전송시 소요된 응답시간으로 정규화하여 표현하였다. 이 그림에 따르면 사용자 수가 증가하더라도 데이터 관리자 노드 수를 증가시켜 가면 응답 시간이 점차적으로 짧아지는 것을 볼 수 있다.



(그림 7) 응답 시간(sec/MB)

응답 시간을 개선하기 위한 방법으로 이미지 캐싱(image caching) 기술이 있다. 이 기술은 사용자가 질의 생성시, 새로 요청하는 질의 영역이 관찰창에 존재하는 기존의 이미지와 비교하여 겹치는 부분이 있는 경우, 새로 추가된 영역만을 요청하는 기술이다. 이 기술은 사용자 PC가 이미 가져온 이미지를 부분적으로 재사용함으로써, 네트워크 통신 지연 및 데이터 처리 시간을 줄일 수 있는 효과가 있다.



(그림 8) 데이터 관리자 이용률

(그림 8)은 사용자 수에 따른 데이터 관리자의 이용률을 보여준다. 여기에서 데이터 관리자의 이용률은 데이터 관리자가 유용한 작업을 수행한 시간을 전체 질의 처리 시간으로 나눈 값이다. 전체적으로 사용자 수가 많은 경우 데이터 관리자 노드들이 증가시 평균 이용률이 서서히 감소하고 있음을 볼 수 있다.

7.2 데이터 분할 및 인덱싱

본 연구에서 사용하는 데이터들은 매우 방대하여 계속 누적되면 데이터 저장 용량이 하드 디스크로는 감당하기 어렵게 된다. 이러한 문제에 대해 본 실험에서는 대용량 테이프 장치를 도입하는 방안에 대해 실험을 수행하였다[3]. 이 방식에서는 데이터들이 사용되지 않는 동안에는 하드 디스크 대신에 대용량 테이프 장치에 보관되어 있다가, 이들에 대한 접근 요청이 들어오면 이들을 지역 디스크로 읽어와 처리하는 방식이다. 또한 이 실험에서는 전체 데이터에 대해 다양한 분할 방법을 적용하여 분할에 따른 인덱싱 효과를 관찰하였다.

이 실험에서 사용된 데이터의 크기는 JPEG 형식으로 약 4GB이고, 압축 해제시 90GB 정도되며, 10TB의 테이프 장치, 500GB 디스크 캐쉬가 장착된 Maryland 대학의 HPSS (High Performance Storage System)[17] 상에서 실험을 수행하였다. 이 HPSS 시스템은 IBM SP2의 16개 노드에 의해 접근 가능하다. 이 실험 수행시 고객 프로그램은 LAN 상의 PC에서 실행되고 질의 메시지의 네트워크 전송시간을 측정할 결과, 전송된 메시지들 중 90% 정도가 0.975ms 걸렸고, 10% 정도는 1.95ms 소요되었다[4].

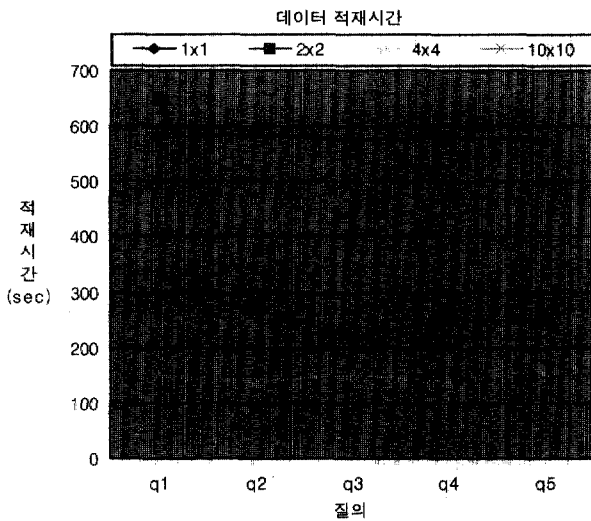
(그림 6)에서는 전체 데이터가 4×4로 분할된 경우를 보여주나, 전체 데이터를 1×1, 2×2, 4×4, 10×10로 분할하는 경우들에 대하여 질의 5개를 반복적으로 수행한다. 이들 질의들은 (그림 6)상에서 q1, q2, q3, q4, q5로 질의 영역을 표시하였으며, 각각의 질의에 대해 처리되는 데이터들의 크기는

<표 1>과 같다. 이 표에서 세 번째 항목의 처리할 데이터 크기는 질의에 의해 실제 처리될 데이터 크기를 의미한다.

<표 1> 질의 q1의 데이터 크기

형 태	데이터 양
압축시	3.60MB
압축 해제시	83.42MB
처리할 데이터 크기	57.83MB

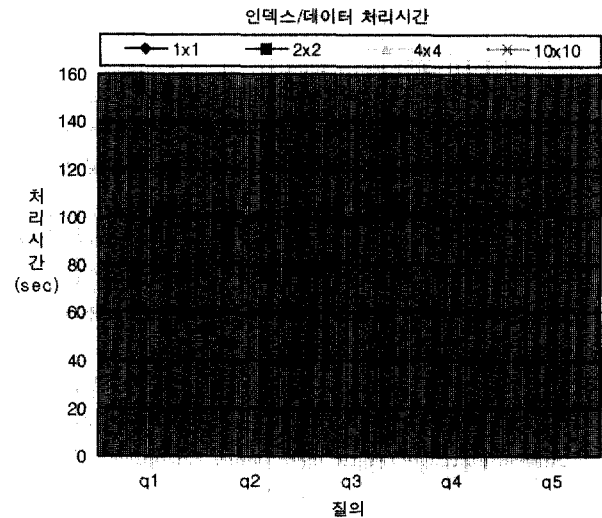
(그림 9)는 질의 영역과 교차하는 분할 데이터 블록들을 포함하는 분할 데이터 파일들을 접근하여 처리할 데이터들을 테이프로부터 디스크 캐쉬로 적재하는데 소요된 시간을 보여준다. 실험 결과는 분할이 세분화되어 분할 데이터 파일의 크기가 작아질수록 적재될 데이터의 크기가 감소하므로 분할 데이터 파일의 적재 시간이 점차적으로 감소하는 현상을 보여준다. 그러나 2×2 분할시 질의 q1의 경우에는 나머지 질의들은 단지 하나의 분할 데이터 파일을 적재하는 반면에, q1의 경우에는 4개의 분할 데이터 파일과 겹치므로 전체 데이터를 읽어오는 결과를 초래하였기 때문에 다른 질의와 달리 오랜 적재 시간이 소요되었다.



(그림 9) 데이터 적재 시간

(그림 10)은 질의 영역에 교차하는 분할 데이터 파일들을 찾기 위한 상위 및 하위 인덱스 파일들을 읽는데 소요된 시간과 디스크 캐쉬에 적재 완료된 데이터들의 처리 시간의 합을 보여준다. 이들은 IBM SP2의 개별 노드에서 수행된다. 이들은 분할의 크기가 1×1, 2×2, 4×4인 경우에는 거의 비슷한 시간을 보였으나 10×10으로 세분하여 분할한 경우에는 많은 증가를 나타내었다. 이것은 10×10이 되면서 분할의 크기가 작아졌기 때문에 그에 대응하는 하위 인덱스 파일들의 생성 개수가 증가하여 이들을 읽는데 소요된 시간이 증가하였기 때문이다. 10×10의 경우, (그림 9)에서는 데이터 적재 시간이 감소하는 효과가 있었지만 (그림

10)에서는 인덱스 및 데이터 처리시간이 오히려 증가하는 역효과가 나타난 점을 유의할 필요가 있다.



(그림 10) 인덱스 및 데이터 처리시간

8. 결 론

본 연구는 광학 현미경으로 관찰된 조직 샘플들에 대한 대용량 데이터들을 분산/병렬 시스템 상에 분할 저장하여 컴퓨터 상에서 마치 현미경을 사용하듯이 이들 이미지들을 관찰할 수 있게 하는 시스템이다. 실제 현미경의 기능을 그대로 제공하는 것은 물론 실제 현미경보다도 더 유용한 기능들을 추가로 제공한다. 본 시스템을 통해 사용자는 관심 있는 슬라이드를 선택한 후 실제 현미경을 통해 관찰하듯이 컴퓨터 상에서 조직 샘플들을 가상적으로 관찰할 수 있으므로 현미경을 사용하는 교육 분야 또는 병원 등의 의료 기관에서 유용하게 활용될 수 있다.

본 연구에 의해 구현된 시스템은 고객 서버 모델에 의거 고객, 조정자 노드, 데이터 관리자 노드 3 계층으로 구성되었고 이들은 정해진 통신 규약에 따라 메시지를 송수신한다. 이미지 검색을 위한 기능들 외에도 이미지 표시, 텍스트 추가 기능 등 교육용 응용에 필요한 기능들을 고객 프로그램에 구현하였고, 시스템 구성 요소간 통신 규약을 정의하였다. 또한 본 연구에서 다루는 데이터들의 대용량 특성에 따라 이들을 보관하는 저장 공간의 확장이 요구되므로 테이프 장치 도입을 위한 실험을 수행하였다.

향후에는 네트워크 전송 지연 시간으로 인한 이미지 데이터 전송 시간을 줄이기 위한 사전 인출(prefetching)이나 이미지 캐싱 기술의 적용을 위한 연구가 필요하고, 대용량 데이터들의 전송시 이의 크기를 줄이기 위한 압축 기술에 대한 연구가 수행되어야 한다. 또한 사용자 관점에서 볼 때 고객 프로그램에 이미지 분석 기능, 통계 처리 기능 등이 추가되도록 개선해가는 것이 바람직하다.

참 고 문 헌

[1] T. Agerwala, J. Martin, J. Mirza, D. Sadler, D. Dias, and M. Snir, "SP2 System Architecture," *IBM System Journal*, Vol.34, No.2, 1995.

[2] UC, Berkeley, <http://gist.cs.berkeley.edu:8000/gist/>.

[3] M. Beynon, T. Kurc, et al., "Distributed Processing of Very Large Datasets with DataCutter," *Parallel Computing 27* : (11), pp.1457-1478, 2001.

[4] M. Beynon, R. Ferreira, A. Afework and G. K. Mohan, "Performance Evaluation of Client-Server Architectures for Large-Scale Image-Processing Applications," *Technical Report CS-TR-3970*, University of Maryland, 1998.

[5] P. H. Carns, W. Ligon, R. Ross, and R. Thakur, "PVFS : A Parallel File System for Linux Clusters," *Proc. of the 4th Annual Linux Showcase and Conference*, pp.317-327, 2000.

[6] S. Cho, J. Saltz et al., "Digital Dynamic Telepathology - the Virtual Microscope," *Proceedings of the 1998 AMIA Annual Symposium*, pp.449-453, Oct., 1998.

[7] C. Faloutsos and P. Bhagwat, "Declustering Using Fractals," *Proceedings of the 2nd International Conference on Parallel and Distributed Information System*, pp.18-25, Jan., 1993.

[8] I. Foster and C. Kesselman, *The GRID Blueprint for a New Computing Infrastructure*, Morgan Kaufmann, 1999.

[9] A. Gutt, "R-trees : a Dynamic Index Structure for Spatial Searching," *Proc. of SIGMOD Conference*, Boston, pp.47-57, 1984.

[10] M. Hadida-Hassan, S. Young,, S Peltier, M. Wong, S. Lamont, and M. Ellisman, "Web-based Telemicroscopy," *Journal of Structural Biology*, 125, pp.235-245, 1999.

[11] T. Kurc, U. Catalyurek, C. Chang, A. Sussman and J. Saltz, "Exploration and Visualization of Very Large Datasets with the Active Data Repository," *IEEE Computer Graphics and Applications*, 21(4), pp.24-33, Jul./Aug., 2001.

[12] K. May, *Parallel I/O for High Performance Computing*, Morgan Kaufmann, 2000.

[13] Media Cybernetics, <http://www.optimas.com/>.

[14] Object Management Group(OMG), <http://www.omg.org/>.

[15] R. Orfali, D. Harkey and J. Edwards, *Client/Server Survival Guide*, 3rd edition, John Wiley and Sons, 1999.

[16] B. Parvin, J. Taylor, G. Cong, M. OKeefe and M. Barcellos-Hoff, "DeepView : A Channel for Distributed Microscopy and Informatics," *Proceedings of International Conference on Supercomputing*, 1999.

[17] The High Performance Storage System(HPSS), <http://www.sdsc.edu/hpss/>.

[18] R. Weinstein, A. Bhattacharyya, A. Graham, and J. Davis, "Telepathology : A ten-year progress report," *Human Pa-*

thology, 28(1), pp.1-7, Jan., 1997.

[19] S. J. Young, et al., "Implementing Collaboratory for Microscopic Digital Anatomy," *International Journal of Super-computer Applications and High Performance Computing*, pp.170-181, 1996.

[20] 김영훈, 최승욱, 최형식, "Archiving PACS for CT, MR, DSA", *대한 PACS 학회지*, 대한 PACS 학회, 제4권 제1호, pp.45-50, 1998.

[21] 조승호, "현미경적 분석을 지원하는 이미지 저장/검색 시스템", *추계학술대회논문집*, 정보처리학회, 제6권 제2호, pp. DB-38-45, 1998.



조 승 호

e-mail : shcho@kangnam.ac.kr

1985년 서울대학교 전자계산기공학과(학사)

1989년 서울대학교 전산학과(석사)

1993년 서울대학교 전산학과(박사)

1985년~1987년 삼성전자 컴퓨터부문

연구원

1997년~1999년 Maryland 대학교 및 Johns Hopkins 대학
연구교수

1993년~현재 강남대학교 지식정보공학부 부교수

관심분야 : 병렬 I/O, 실행시간 시스템, 데이터집적 컴퓨팅

Mike Beynon

e-mail : beynon@cs.umd.edu

1994년 Computer Science, University of New York at
Albany, B.S.

1998년 Computer Science, University of Maryland, M.S.

2001년 Computer Science, University of Maryland, Ph.D.

2001년~현재 Researcher, MIT Lincoln Lab.

관심분야 : 병렬 I/O, 실행시간 시스템, 데이터집적 컴퓨팅

Joel Saltz

e-mail : saltz-1@medctr.osu.edu

1977년 Mathematics and Physics, University of Michigan, B.S.

1978년 Mathematics, University of Michigan, M.S.

1985년 Computer Science, Duke University, M.D., Ph.D.

1986년~1989년 Assistant Professor, Department of Computer
Science, Yale University

1989년~1992년 Lead Computer Scientist, ICASE, NASA
Langley Research Center

1992년~2001년 Professor, Department of Computer Science,
University of Maryland

1996년~2001년 Professor, Department of Pathology, Johns
Hopkins Medical School.

2001년~현재 Professor and Chair, Department of Biomedical
Informatics, The Ohio State University

관심분야 : 실행시간 시스템, 데이터집적 컴퓨팅, 생물정보학