

# 고성능 가상 현미경 시스템에 관한 연구

조석향, 윤정모

서울산업대학교 전자계산학과

e-mail : cshlch@hotmail.com

## A Study on High Quality Virtual Microscope System

Seok-Hyang Cho, Jung-Mo Yoon

Dept. of Computer Science, Seoul National University of Technology

### 요 약

본 논문은 광학 현미경을 컴퓨터 상에서 구현한 소프트웨어 시스템인 Medieye 시스템에 가장 큰 문제점인 대용량의 영상 데이터를 압축하는 기법을 제안하고, Medieye 시스템에 대하여 기술한다. 현재 구현된 Medieye 시스템은 환자의 조직 샘플에 대한 고해상도 디지털 영상을 인터넷 상에서 제공하고 있으며, 궁극적으로는 의료 기관 및 의학 연구 기관의 슬라이드로 꼭 찬 캐비닛을 디지털 저장 시스템으로 대체하기 위한 클라이언트 서버 구조 기반의 소프트웨어 시스템이다. Medieye 시스템은 클라이언트 프로그램, 네트워크 서버, 데이터 서버 3 부분으로 구성되었고, 이들은 정해진 통신 규약에 따라 메시지를 서로 주고 받음으로써 각 부분이 상호 독립적이다. 이 시스템에 적용할 영상 압축 기법은 블록 기반의 웨이블릿 변환을 이용한 영상 압축이다. 입력 영상 신호를 여러 개의 부밴드 영상으로 분해하고 각 부밴드 영상에 대하여 독립적으로 다시 작은 블록으로 나누어 각 부밴드의 특성에 맞추어 영상을 압축하는 알고리즘을 제안하였다. 이 기법은 제로 트리와 비슷한 성능을 보이면서도 구조가 비교적 간단하여 계산적인 면과 수행 속도 면에서 우수한 성능을 보여 준다.

### 1. 서론

네트워크의 전송 속도의 향상과 웹 기반의 멀티미디어가 많은 분야에서 발전하면서, 저 비트로 데이터를 효율적으로 시스템에 저장하고 전송하는 기술이 중요해졌다. 가상 현미경은 고성능의 광학 현미경의 기능을 디지털로 변환하여 컴퓨터 상에서 구현한 소프트웨어 시스템이다. 이러한 소프트웨어 시스템은 물리적인 현미경이 할 수 없는 새로운 형태의 기능을 가능하게 한다. 예를 들면, 교육 환경에 적용될 수 있는데, 여러 사용자(학생)에 의해 똑같은 슬라이드를 동시에 접근해서 보고, 조작할 수 있는 일이다. 또 다른 예는 원격 진료와 원격 회의인데, 서로 다른 지역에 있는 의사가 인터넷을 통하여 슬라이드를 볼 수 있고, 이를 토대로 원격 진료가 가능하고, 회의도 가능하게 한다.

그러나, 가상 현미경의 기능을 제공함에 있어 주된 어려움은 극도의 큰 양의 데이터를 효율적으로 다루는 것이다. 200 배 확대한 하나의 반점이 1000 × 1000 픽셀의 격자(grid)를 생기게 하면, 이 슬라이드 영상은 수 기가 바이트를 요구한다. 그러므로 거대한 저장 장소가 필요하고, 데이터베이스로부터 여러 가지 유형의 질의에 빠른 응답 시간을 이루려면 어려움이 따른다.

따라서, 기존의 압축률과 화질 측면에서 상당히 높은 성능을 보이고 있는 EZW(Embedded Zero-tree

Wavelet)의 계산량 측면의 단점을 보완하고, 웨이블릿 블록 기반 압축 알고리즘을 웨이블릿 계수의 특성을 이용하고 새로운 비트 할당 알고리즘을 적용한, 가변 블록 기반의 웨이블릿 변환 압축 기법을 사용한다. 이때, 분해된 영상을 합성한 영상과 원래 영상과의 차영상을 무손실 압축하여 영상을 복원할 때 데이터가 손실되지 않도록 한다.

의학 영상들에 대한 현미경적 관찰을 목적으로 구현된 Medieye(Medical Eye) 시스템[1]은 광학 현미경을 컴퓨터 상에서 구현한 소프트웨어 시스템으로 클라이언트 프로그램은 Java[2]로 개발되었기 때문에 Java 가상 기계가 설치되어 있는 환경이면 어디서든 실행되며, 현미경 영상 데이터를 저장, 검색, 처리하기 위한 서버 프로그램들은 C/C++로 UNIX 상에서 개발되었으므로 Solaris 워크스테이션, Linux 용 서버, AIX가 탑재된 IBM SP2 나 Digital 의 Alpha 워크스테이션 클러스터와 같은 고성능 병렬 컴퓨터에서 실행된다. 서버는 두 부분으로 나뉘어 지는데, 하나는 네트워크 서버(network server)이고 다른 하나는 데이터 서버(data server)이다. 네트워크 서버는 클라이언트 프로그램으로부터 질의(query)를 받아 들인 후 이를 다수의 데이터 서버 프로세스들에게 전달하며, 데이터 서버 프로세스들은 사용자 질의를 만족시키는 슬라이드 영상 데이터를 저장 검색한 후, 요구한 영상 데이터를 클라

이언트 프로세스에게 전송한다.

Medieye 시스템이 제공하는 연산들을 보면 다음과 같다.

- ① 관심 영역을 찾기 위한 슬라이드의 빠른 브라우징
- ② 현 화면 주변의 영역을 관찰하기 위한 지역 브라우징
- ③ 배율 변화
- ④ 초면 변화

이 논문은 2 절에서는 데이터 압축 방법, 3 절에서는 시스템 설계 부분으로 사용자 인터페이스 제공을 위한 클라이언트 프로그램, 두 개의 서버인 네트워크 서버와 데이터 서버의 설계를 기술한다. 마지막으로 4 절에서는 결론과 향후 과제를 기술한다.

## 2. 데이터 압축

대단히 큰 양의 자료를 다루는 것은 Medieye 시스템에 있어 중요한 문제이다. 즉, 저장된 슬라이드 데이터의 압축인데, 슬라이드당 각각의 초면은 수 기가바이트의 압축되지 않은 RGB 데이터이다. 실제 영상 데이터베이스는 수백에서 수천 슬라이드를 포함할 것이라고 예상하기 때문에, 압축이 Medieye 시스템에서 데이터 기억 장소 요구를 줄이기 위하여 매우 중요한 역할을 함에 틀림없다. 압축은 또한 질의에 응답하기 위하여 서버에 요구되는 입·출력의 양을 줄일 것이지만, 사용자에게 반환하기 위하여 영상을 만들어내는 데 요구되는 계산 양을 증가시킬 것이다.

많은 서로 다른 압축 알고리즘이 제안(예를 들어, JPEG [3]) 되어 왔지만, Medieye 시스템은 고도의 압축과 낮은 정보 손실 둘 모두를 요구한다. 이것은 얼마 안 되는 방법으로 압축 기술을 찾게 하고, 본 논문에서는 웨이블릿 압축 기술을 사용한다. [4]

줄여야 하는 기억 장소와 입·출력 요구를 제외하고, 웨이블릿 압축 기술은 다른 유용한 성능 특징을 가지고 있다. 먼저, 웨이블릿 압축은 데이터에서 지역성을 유지하는데, 만일 사용자가 전체 영상의 작은 이웃부분을 요구하면, 시스템은 압축되어 저장된 영상에서 상응하는 영역을 계산할 수 있고, 거기에는 검색하기 위하여 소수의 이웃하여 저장된 영역만이 있을 것이다. 이러한 특성은 Medieye 시스템의 성능에 대해 좋은 암시를 가지는데, 디스크로부터 검색되어져야만 하는 얼마간의 데이터 블록이, 저장된 영상 전체의 크기가 아니라, 항상 사용자에게 표시될 출력 영상의 크기에 비례함을 의미하기 때문이다.

웨이블릿 압축의 또 다른 중요한 특징은 다해상도 압축 기술이다. 이것은 Medieye 시스템에서 배율에 따라, 변화하는 해상도의 연속적인 영상으로 저장됨을 의미한다.

그러므로 본 논문에서 사용하려는 알고리즘은 8-tap Daubechies 필터를 이용하여 웨이블릿을 수행한 후, 각 부 밴드별로 스칼라 양자화기와 가변 블록을 이용한 벡터 양자화기를 이용하여 손실 압축을 수행한 후 엔트로피를 이용하는 무손실 압축을 적용한다. 그리고 이 때, 분해된 영상을 합성한 영상과 원래 영상과의 차영상을 무손실 압축하여 영상을 복원할 때 데이터

가 손실되지 않도록 한다. [5]

데이터를 압축하는 방식은 우선 웨이블릿 계수를 양자화를 통한 손실 압축을 수행한 후, 이 양자화 계수들과 지도 데이터 정보를 엔트로피를 이용한 무손실 압축을 수행하는데, 엔트로피 부호화 기법은 Arithmetic 부호화 기법 [6]을 이용한다.

즉, 웨이블릿 변환을 3 단계로 수행하여 그 중 방향성이 잘 나타나는 부밴드들은 가변 블록을 이용하여 벡터 양자화기를 이용하고, 나머지 부밴드는 스칼라 양자화기를 이용한다. 또한 웨이블릿 계수들이 같은 통계적 특성과 에너지 집중 특성을 이용하여 임계값 이하의 값을 갖는 계수들은 0 으로 보내어 이 위치 정보를 2 진 지도 데이터로 보내고 0 이 아닌 계수들의 값만 양자화기를 통과시켜 부호화의 효율성을 증가시킨다. 가변 블록은 웨이블릿의 특성 중의 하나인 방향성을 고려하여 설정하고 영상의 특성에 따라 그 크기를 변화시킨다. [7]

그림 1 은 데이터 압축 방식을 대략적으로 나타내고 있다.

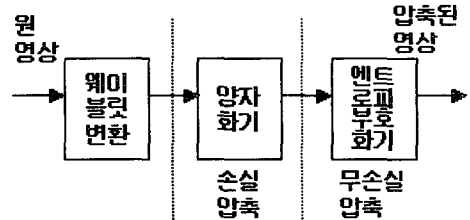


그림 1. 데이터 압축 방식

## 3. 시스템 설계

Medieye 시스템은 3 부분으로 구성되는 분산 시스템이다. 즉, 사용자가 네트워크를 통해 슬라이드를 볼 수 있게 하는 클라이언트/사용자 인터페이스, 슬라이드 영상 데이터를 검색하는 병렬 데이터 서버, 서로 다른 두 부분이 통신할 수 있게 하는 네트워크 서버로 이루어진다. 이러한 시스템의 모듈성은 각각의 부분이 독립적으로 최적화하고 개발할 수 있게 한다. 그래서, 클라이언트 인터페이스는 사용자-친화적, 웹-친화적, 이식하기 쉽게 설계될 수 있으며, 병렬 데이터 서버는 서버 컴퓨터의 성능에 따라 정교하게 조정될 수 있다.

그림 2 는 시스템 구조도를 나타내고 있다.

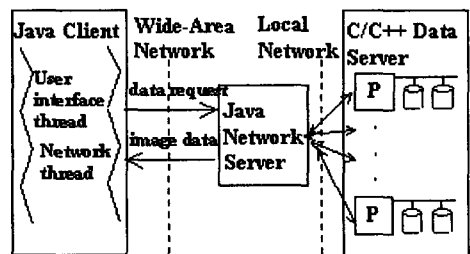


그림 2. 클라이언트/서버 구조

### 3.1 클라이언트/사용자 인터페이스

인터넷에서 다운로드가 가능한 Java 클라이언트 프로그램(client program)은 사용자들이 선택된 슬라이드 중에서 관심 영역을 마우스로 이동하거나 버튼을 눌러 관찰할 수 있도록 그래픽 사용자 인터페이스(graphical user interface)를 제공한다. 그림 3은 클라이언트 프로그램에서 그래픽 사용자 인터페이스를 개략적으로 나타내고 있다.



그림 3. 클라이언트 프로그램에서 그래픽 사용자 인터페이스

클라이언트 프로세스에 대한 디스플레이(표시) 창은 다음 3 가지 요소를 포함한다.

첫째, 디렉터리 판은 사용자에게 데이터 서버가 가지고 있는 조직 슬라이드의 목록을 보여주고 선택할 수 있게 한다.

둘째, 디스플레이(표시) 판은 선택된 배율에서 슬라이드의 선택된 부분을 보여준다.

셋째, 제어판은 Medicye 시스템에 지원되는 표준 동작을 제공하는데, 3 가지 부-요소를 가진다. 즉, 배율(magnification) 선택 버튼, 선택된 슬라이드에 대해 여러 가지 초면(focal planes) 목록, 4 방향(상하좌우) 버튼을 가진 전체 축소 영상(thumbnail image) 창으로 이루어져 있다. 이것은 전체 슬라이드에 대해 축소된 것으로서 영상 안에 위치한 박스(box)를 마우스로 이동시켜 가면서 관심 영역의 이미지를 찾아볼 수 있고, 또한 축소 영상 창 옆에 붙어있는 4 방향의 버튼들을 눌러 현재 보여지는 영역과 인접한 부분으로 미세한 이동을 시킬 수 있어 정밀한 관찰을 수행할 수 있다. 조그마한 영상 내의 박스는 슬라이드 상에 현 영상의 위치를 보여준다. 사용자들에 의한 브라우징 선택에 따라 질의들이 사용자에게 의해 발생되면, 이들이 서버로 보내진다. 다만 방향 버튼들이 눌러진 경우에는 현재 보여지고 있지 않은 이미지 부분만을 요청하여 서버로부터 전송될 영상 양을 줄인다.

다른 하나의 창은 데이터 서버로부터 도착한 영상 조각(image chunk)들을 조합해서 사용자가 요구한 슬

라이드 상의 관심 영역에 해당하는 영상을 보여 주는 관찰 창이다. 물론 이 창의 크기는 사용자가 원하는 대로 조절이 가능하다. 또한 축소 영상 위에서 다른 부분으로 빠르게 이동할 때에는 축소 영상을 이용해서 슬라이드 상의 대략적인 영상을 미리 보여주기 위해 관찰 창은 축소 영상을 확대하여 보여 준다. 사용자가 마우스 끌기를 그치고 마우스 버튼을 놓게 되면 해당 부분을 검색하기 위한 질의가 생성되고 네트워크 서버로 보내지며, 데이터 서버에 의해 검색된 영상이 사용자에게 전송된다. [8]

### 3.2 네트워크 서버

네트워크 서버의 주요 책임은, PC 또는 워크스테이션 상에서 실행하고 있는 클라이언트를, 병렬 기계 상에서 실행하고 있는 병렬 데이터 서버와 연결하는 것이다. 네트워크 서버는 노드 또는 병렬 기계의 전처리 상에서 실행하고 병렬 데이터 서버와 직접 통신할 수 있다. 클라이언트는 표준 네트워크 프로토콜을 통하여 네트워크 서버와 통신해야만 한다. 일반적으로, 네트워크 서버는 또한 클라이언트에게 반환되는 단일 합성 영상을 조합하는 책임이 있다.

그림 4는 클라이언트 프로세스가 네트워크 서버를 통해 데이터 서버에게 슬라이드 상의 영상을 요구하는 과정을 보여준다. 여기서, CQ(Client Query)는 클라이언트 질의, CQA(Client Query Acknowledgement)는 클라이언트 질의 응답, FQ(Frontend Query)는 전처리 질의이고, R(Reply)은 응답을 나타낸다.

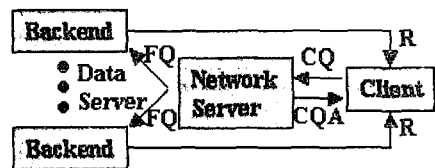


그림 4. 클라이언트 질의 통신 프로토콜

클라이언트 프로세스는 클라이언트 질의(CQ) 메시지를 네트워크 서버에게 보내면, 네트워크 서버는 클라이언트 질의에 대해 응답할 데이터 서버 프로세스들의 수를 나타내는 클라이언트 질의 응답(CQA) 메시지를 클라이언트 프로세스에게 보내는 동시에, 데이터 서버에게는 전처리 질의(FQ) 메시지를 보낸다. 데이터 서버 프로세스들은 전처리 질의의 메시지들을 네트워크 서버로부터 받은 후, 디스크에 저장된 영상 데이터를 검색하여 응답(R) 메시지를 직접 클라이언트 프로세스에게 보낸다. 클라이언트는 데이터 서버들로부터 모든 영상 조각들을 받은 후 이들을 조합하여 완전한 영상을 관찰 창에 최종적으로 보여 준다. 이러한 통신 규약들에 대한 명세는 시스템 구성 요소들의 독립적인 개발을 가능하게 하므로, 이러한 통신 규약에 의거하여 새로운 사용자 인터페이스의 구현을 가능하게 한다.

### 3.3 병렬 데이터 서버

병렬 데이터 서버는 영상 데이터를 효과적으로 서비스할 책임이 있는 프로그램이다. 사용자에게 영상을 제공하기 위하여, 데이터는 디스크로부터 읽혀져 온 후, 해당 배율에 따라 재구성되어야 한다. 이 영상 데이터를 효과적으로 서비스하기 위하여 서버는 또한 캐싱(caching), 사전 인출(prefetching), 압축 기술뿐만 아니라 병렬 디스크 액세스(parallel disk access)를 활용할 필요가 있다.

좋은 성능을 얻기 위하여, 데이터는 병렬인 여러 디스크로부터 읽혀져야만 한다. 서버 자체는 각각의 노드가 몇 개의 디스크를 가지고 있는 병렬 서버의 각 노드 상에서 실행되고 있는 분산 프로그램이다. 서버에 저장된 영상은 블록(block)들로 나누어지고, 각각의 노드는 전체 슬라이드 영상을 구성하는 여러 개의 장방향 영상 조각들을 분할하여 저장하고 있다. 사용자 요구를 처리함에 있어 각각의 노드는 자신이 보관하고 있는 영상 조각들을 찾아 해당하는 영상 조각들을 사용자에게 전송한다.

대규모로 슬라이드들을 저장하기 위해서는 대용량의 데이터를 처리하는 것이 요구된다. 슬라이드의 디지털 영상은 기본적으로 다수의 초면으로 구성되어 있기 때문에 3 차원 데이터 집합이다. 다시 말하면, 각 디지털 슬라이드들은 여러 개의 2 차원 영상들로 구성되며 이들 2 차원 영상들은 서로 서로가 차곡차곡 쌓여 있는 형태이다. 그런데, 관심 영역, 배율, 초면 등으로 이루어진 검색 요구에 대해 제공되는 영상은 2 차원적이다. 그러므로, 디스크 병렬성을 최대화하기 위해서는 각 2 차원 영상이 분산될 수 있도록 독립적인 단위가 되어야 하는 반면에, 데이터 지역성을 향상시키기 위해서는 각 디스크상에서 3 차원 영상 전체가 군집 알고리즘에 의해 고려되어야 한다.

데이터 서버에게 사용자들이 원하는 영상 영역에 대한 질의가 보내지면 서버는 이에 대응하는 영상을 검색하여 사용자에게 보내 준다. 이러한 질의들은 다수 사용자로부터 발생되므로 질의간(interquery) 또는 질의내 병렬성(intraquery parallelism)이 지원되어야 한다. 질의내 병렬성은 데이터 서버의 각 프로세서에서 디스크 접근, CPU 계산, 프로세서간 통신 시간의 중첩을 통해 단일 질의에 대한 응답 시간의 최소화를 추구한다. 질의간 병렬성은 전체 자원 활용률을 최적화하기 위해 사용자들의 질의를 스케줄링함으로써 데이터 서버의 처리량을 최대화한다.

### 4. 결론과 향후 과제

본 논문은 현실 세계의 광학 현미경과 같은 기능을 하면서, 실제로 광학 현미경이 할 수 없는 기능들이 가능한 가상 현미경 시스템인 Medieye 시스템에 큰 문제가 된 대용량의 슬라이드 데이터의 압축 기술과 Medieye 시스템에 대하여 기술하였다. 가변 블록 기반의 웨이블릿 변환 영상 압축 기법과 분해된 영상을 합성한 영상과 원래 영상과의 차영상을 무손실 압축,

보존하여 영상을 복원할 때 데이터가 손실되지 않도록 하는 방법을 제안하였다. 그리고 클라이언트 서버 구조 기반의 소프트웨어 시스템인 Medieye 시스템의 세 구성 요소인 클라이언트 프로그램, 네트워크 서버, 데이터 서버에 대하여 기술했다.

향후 과제는 가상 현미경이 좀 더 물리적인 현미경과 가깝게 작동하게 만들어졌을 때, 더 좋은 효과를 낼 수 있는 웨이블릿을 이용한 영상 압축 방법을 연구하여야 한다. 그래서 가상 현미경의 성능 평가의 두 측정 방법이라고 할 수 있는 클라이언트 응답 시간과 서버 이용도를 사용하여 새로운 영상 압축 방법을 이용했을 때의 서버 성능 향상을 실험해 봐야 한다.

또, 인터넷이나 근거리 통신망에서의 전송 시간으로 인한 영상 검색 시간을 줄이기 위해 웨이블릿 영상 압축 관점에서의 연구가 필요하다. 그리고, 사용자 관점에서는 영상 분석 기능, 통계 처리 기능, 의견 추가 기능 등이 Medieye 시스템에 추가되었을 경우 영상 부분에 대한 연구가 진행되어야 한다.

### 참고문헌

- [1] 조승호, "현미경적 분석을 지원하는 이미지 저장/검색 시스템", 한국정보처리학회 추계 학술발표논문집, 제 6 권 제 2 호, pp. 38-45, 1999.
- [2] Ken Arnold and James Gosling. "The Java Programming Language.", The Java Series. Addison-Wesley, 1996.
- [3] William B. Pennebaker and Joan L. Mitchell. "JPEG Still Data Compression Standard.", Van Nostrand Reinhold, 1993.
- [4] John J. Benedetto and Michael W. Frazier. "Wavelets : Mathematics and Applications.", Studies in Advanced Mathematics, CRC Pres, 1994.
- [5] 김광민, "다해상도 웨이블릿 변환을 이용한 PC 기반의 CR-PACS 설계", pp. 33-38, 연세대학교 석사 학위 논문, 1998.
- [6] Ian H. Witten, Radford M. Neal, and John G. Cleary, "Arithmetic coding for data compression", *Comm. ACM*, vol. 30, pp. 520-540, June 1987.
- [7] 권세안, "가변 블록 기반 웨이블릿 변환 영상 압축 기법에 관한 연구", pp. 47-53, 연세대학교 석사 학위 논문, 1999.
- [8] Renato Ferreira, Bongki Moon, Jim Humphries, Alan Sussman, Joel Saltz, Robert Miller, Angelo Demarzo, "The Virtual Microscope", 1997.