

DICOM 툴킷 소프트웨어 구현에 관한 연구

김동선 · 신동규 · 김동윤

연세대학교 의공학과

(2003년 9월 13일 접수, 2003년 12월 23일 채택)

A Study for the Implementation of the DICOM Toolkit Software

Dong Sun Kim, Dong Kyu Shin, Dong Youn Kim

Dept. of Biomedical Engineering, Yonsei Univ.

(Received September 13, 2003. Accepted December 23, 2003)

요약: 본 논문에서는 의료 영상 분야의 국제 표준인 DICOM을 툴킷 형태로 구현한 소프트웨어에 대하여 기술한다. 기존의 툴킷들은 영상 관련 기능들을 별도로 구현해야 하거나 유닉스 운영체제를 기반으로 개발된 후에 윈도우즈 운영체제로 이식되거나 속도나 메모리 관리 측면이 배제되었거나 DICOM의 방대함에 기인하여 매우 복잡한 구조로 되어있는 단점을 가지고 있다. 제안된 툴킷은 기존 툴킷들의 단점을 보완하고 DICOM이 주로 사용되는 병원의 환경에 적합하도록 설계하였다. 즉, 윈도우 운영체제를 사용하는 일반 PC에서 대용량의 영상을 조회할 수 있도록 하였으며 다중 작업을 지원하여 작업 처리 속도 및 편리성을 증가시켰고 임상에서 필요한 대부분의 기능을 제공하며 객체 지향적 구조로 설계되어 사용자가 짧은 기간 내에 개발할 수 있도록 하였다. 실험 결과 제안된 툴킷을 이용하여 일반 PC 환경에서 CT 50장, MR 50장, CR 10장, DX 10장의 DICOM 영상을 12초 이내에 출력하며 소량의 물리적 메모리만을 소모하는 성능을 보였다.

Abstract: This paper describes the implementation of the toolkit software for the DICOM, the international standards of medical imaging. Well known toolkits do not have the functions related to imaging or ported to Windows OS after developed at UNIX OS or do not have mechanism for the speed and memory management or have complicated structure comes from DICOM complexity. The toolkit introduced in this paper was designed for the hospital environments. It handles mass images at Windows based PC system, supports multi-threading to enhance the efficiency, supports every functions in Object Oriented Programming style needed at clinical application which makes the rapid development of the DICOM related applications. The results says that the toolkit can display 50 CT, 50 MR, 10 CR and 10 DX images in 12 seconds and occupy small quantity of physical memory at usual PC system.

Key words: DICOM, toolkit, PACS

서 론

1992년 북미 방사선 학회(RSNA : the radiological society of north America)에서 디지털 의료 영상 표준인 DICOM (digital imaging and communications in medicine)이 최초로 발표된 이후 ACR NEMA(the America college of radiology-the national electrical manufacturers association) 작업 그룹(WG : work group)의 노력과 관련 업체들의 협조, 그리고 사용자들의 인식이 높아지며 표준으로서 발전을 거듭하여 최근에는 2003년 판이 발표되기에 이르렀다.[1] DICOM은

이제 의료 영상 장비의 표준으로 확고한 자리를 잡아가고 있으며 의료 분야의 새로운 표준의 준비단계인 IHE(integrating the healthcare enterprise)에서 선도적인 역할을 하며 의료정보시스템과의 통합을 꾀하고 있다.[2]

DICOM 표준의 2003년 판은 기본 16권, 추가 82권, 수정본 약 377권으로 매우 방대한 문서로 되어 있으며 매년 새로운 문서가 추가되고 있다.[3] 업계에서는 이렇게 빠르게 발전하는 표준에 적시에 따를 수가 없으며 상호 협의 하에 점차적으로 장비에서 준수하는 표준의 범위를 넓혀가고 있다. 의료 영상 장비 또는 컴퓨터상에서 작동되는 소프트웨어가 DICOM 표준을 따르기 위해서는 DICOM 표준에 있는 사항 중에 필요한 부분들을 각 업체마다 구현해야 한다. 90년대 초반에는 GE, PHILIPS, SIEMENS 등과 같은 대기업에서 각각 DICOM을 구현하였다. 그러나 표준을 준수하는 업체가 증가하며 모든 업

통신저자 : 김동선, (220-710) 강원도 원주시 흥업면 매곡리 234
연세대학교 의공학과 백운관 217호

Tel. 033)763-1641, Fax. 033)763-1640

E mail. codegear@coreware.co.kr

체가 DICOM 표준을 구현해야 하는 문제가 대두되었다. 이러한 환경에서 발전된 소프트웨어가 DICOM 툴킷(toolkit)이다. 1993년 RSNA의 주도로 최초의 공개 툴킷이 발표된 이후에 수많은 상용 및 공개 툴킷이 발표되었다. 현재 사용되고 있는 대표적인 툴킷들을 살펴보면 다음과 같다.

MIR CTN(Mallinckrodt institute of radiology central test node)은 DICOM 표준을 구현한 최초의 툴킷이다.[4] RSNA의 기금으로 개발되어 1992년 RSNA에서 시연되었으며 90년대 말까지 매년 새 판을 발표하였다. 별도의 사용료가 없으므로 많은 분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나 사용하기가 까다롭고 유닉스(UNIX) 운영체제 환경에서 개발되어 윈도우(Windows) 운영체제 환경에서는 기능의 한계가 있으며 DICOM 표준만을 구현하여 영상 출력 및 처리 부분은 별도로 구현해야 한다.

OFFIS CTN(Oldenburger Forschungs und Entwicklungsinstitut für informatic werkzeuge und systeme central test node)은 MIR CTN의 발표와 비슷한 시기인 1993년 최초로 발표되었다.[5] 유럽의 표준 기관이 사업을 추진하였으며 European CTN으로 잘 알려져 있다. 1996년 DCMTK(DICOM toolkit)라는 이름으로 다시 발표되었고 1999년에는 IHE 테스트용 소프트웨어로 잘 알려진 DICOMScope를 발표하였다. 유닉스와 윈도우 환경에서 사용할 수 있도록 오픈 소스 형태로 개발되었다. 매년마다 새로운 버전을 발표하며 꾸준히 발전하고 있다. 그러나 일부 기능은 유닉스 버전에만 존재하며 영상 관련 기능들은 별도로 구현해야 한다.

Merge사의 DICOM 소프트웨어는 상용 소프트웨어들 중에 가장 널리 알려져 있으며 많은 의료 영상 업체들에서 선호한다.[6] 상용 소프트웨어답게 사용하기가 쉽고 안정성이 우수하다. CTN과 마찬가지로 DICOM 표준만 구현할 뿐 영상과 관련된 부분은 별도로 구현해야 한다.

Lead Technologies사의 LeadTools는 영상 라이브러리로 유명한 제품이다.[7] 이 제품에 DICOM 관련 기능을 추가한 "Medical Suite" 라는 제품을 90년대 말 발표하였다. 툴킷에서 DICOM 표준과 함께 영상 처리 기능을 제공한 최초의 제품이었다. 영상 출력 속도가 느리고 메모리 소모가 많아 병원 환경에 부적합한 것이 단점이다.

기존 툴킷들의 단점들을 정리하면 다음과 같다. 첫 번째, DICOM 관련 기능만을 제공하므로 영상 출력 및 처리와 관련된 부분은 별도로 구현해야 한다. 영상 부분 까지 통합된 툴킷도 있지만 의료 영상과 관련된 기능은 제공하지 않는다. 두 번째, 유닉스를 주 기반으로 개발된 후에 윈도우용으로 이식된다. 이는 윈도우를 주로 하는 병원 환경에서 최상의 성능을 발휘할 수 없다. 세 번째, 속도가 느리거나 메모리 소모가 심하다. 이것은 대량의 영상을 처리해야 하는 병원 환경에 적합하지 않다. 네 번째, 툴킷의 구조가 매우 복잡하다. 이것은 DICOM의 방대함에 기인하며 효율적인 구조가 필요하다.

본 논문에서는 상기한 기존 툴킷의 단점을 보완한 다음과 같은 특징을 갖는 DICOM 툴킷을 구현하였다. 첫 번째,

DICOM 관련 기능과 영상 관련 기능을 모두 구현하였으며 추가로 의료 영상 관련 기능들을 구현하였다. 두 번째, PC를 주로 사용하는 병원 환경에 적합하도록 윈도우 운영체제를 기반으로 하였다. 세 번째, 빠른 영상 출력 속도를 보장하며 물리적 메모리를 거의 사용하지 않도록 설계하였다. 네 번째, 의료 영상 보관 및 전송 시스템(PACS : Picture Archiving and Communication System) 등의 환경에서 필요한 대부분의 의료 영상 관련 기능이 포함되어 있으며 복잡성을 줄이기 위해 객체 지향적인 구조로 설계하였다.

본 론

1. DICOM 툴킷 설계시 고려사항

DICOM 관련 기능들은 병원이라는 특수한 환경에서 사용되며 이러한 환경에서 올바르게 동작하기 위해서는 아래의 조건들이 만족되도록 설계되어야 한다. 첫 번째, 윈도우 운영체제에 최적화되어야 한다. 판독실을 포함한 대부분의 영상 조희용 컴퓨터는 윈도우를 사용하는 업무용 컴퓨터이다. 또한 영상 발생 장치들도 전통적으로 유닉스를 사용하였으나 최근 윈도우로 점차 대체되고 있다[8]. 두 번째 메모리를 최소로 사용해야 한다. CT(computed tomography) 및 MR(magnetic resonance) 영상은 한번의 검사에서 수백장의 영상이 발생한다. 또한 Digital X-Ray 및 Digital Mammography 등의 장치에서 발생하는 영상은 그 용량이 수십 Mbyte에 이른다.[9] 임상 의는 한 환자에 대한 여러 장비의 영상을 동시에 조희하며 이를 처리하기 위해서는 효율적인 메모리 관리가 필수적이다. 세 번째, 다중 스레드(multi thread)를 지원해야 한다. 영상 또는 데이터베이스 서버나 모달리티(modality)의 경우 동시에 여러 가지 작업을 할 수 있어야 한다. 서버의 경우 여러 노드에서 들어오는 요청을 다중 작업으로 처리할 수 있어야 한다. 모달리티의 경우 영상을 전송하며 워크 리스트를 조희할 수 있어야 하며 동시에 DICOM 프린트 등의 작업도 가능하여야 한다. 이러한 기능들을 지원하기 위하여 툴킷은 반드시 다중 스레드로 설계되어야 한다.

2. 툴킷의 내부 구조

제안된 툴킷은 마이크로소프트 윈도우 환경에서 동작하는 어플리케이션을 개발할 때 사용하도록 설계되었다. 마이크로소프트 비주얼 C++ 6.0에서 개발되었으며 C와 C++ 언어를 혼합하여 사용하였고 MFC(Microsoft foundation class) 확장 DLL(dynamic link library) 형태로 제공된다. 툴킷은 객체 지향적인 구조를 가지며 네트워크 전송을 위하여 다중 스레드를 사용한다. 툴킷은 DICOM 표준 중에서 병원에서 요구되는 부분들을 구현하였다. 라이브러리 각 모듈들의 구성은 다음과 같다.

- 데이터 모듈

DICOM 데이터 셋을 처리하는 모듈들을 그림 1과 같이 세 개의 모듈로 설계하였다. Data Element Module은 DICOM

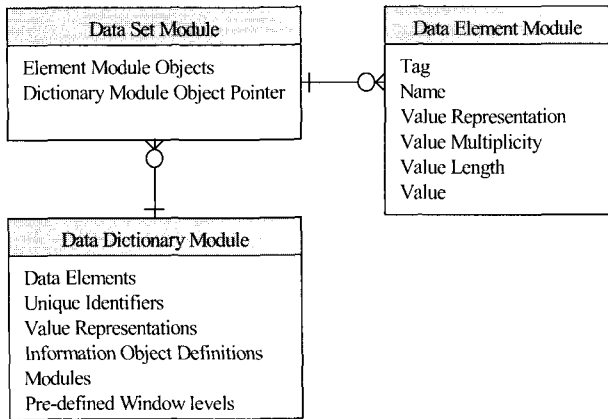


그림 1. 데이터 모듈의 관계도
Fig. 1. ERD(Entity relationship diagram) of the data modules

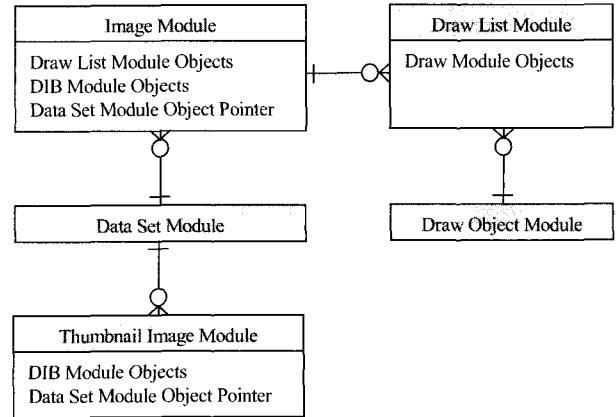


그림 2. 영상 모듈의 관계도
Fig. 2. ERD of the image modules

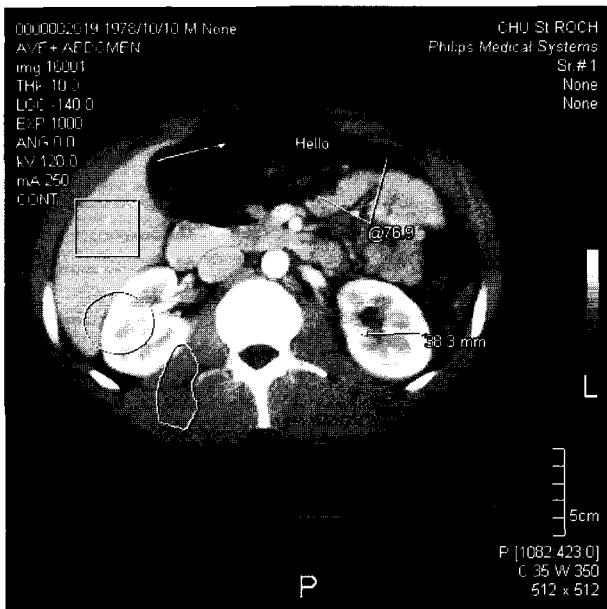


그림 3. 출력된 영상 및 오버레이
Fig. 3. Displayed image and overlay

3.6에 명시된 Data Element의 속성들을 저장할 수 있는 정보 객체이다. Data set Module은 Data Element Module을 관리하는 모듈로서 Data Element Module의 생성, 삭제, 변경을 담당하고 DICOM 3.5에 명시된 대로 데이터 셋을 파일로 인코딩 하거나 파일을 데이터 셋으로 디코딩 할 수 있다. Data Dictionary Module은 DICOM 3.6에 열거된 자료를 데이터베이스화하여 보관하고 있으며 검색 기능을 제공한다. Data Dictionary Module은 다중의 Data set Module에서 참조할 수 있다. DICOM 데이터 셋 파일을 디코딩 할 때에는 물리적 메모리로 직접 로드하거나 파일 매핑(file mapping) 방법을 사용할 수 있다. 파일 매핑 방법을 사용할 경우 물리적 메모리 거의 사용하지 않으므로 임상에서 대용량의 영상을 동시에 검

사할 때 매우 유용하다.

- 영상 모듈

Image Module은 Data set Module의 자료를 토대로 최적 영상을 생성하여 화면에 출력하며 그림 2와 같이 네 개의 모듈로 설계하였다.[10-12] Image Module은 주석의 입출력을 위하여 Draw List Module들을 가진다. Draw List Module은 주석 객체인 Draw Object Module들의 생성, 삭제, 변경을 관리한다. Thumbnail Image Module은 Image Module에서 파생된 모듈로서 Image Module에 비하여 출력 속도가 빠르므로 미리 보기, 실시간 영상 처리 등에 사용한다. Image Module에서는 현재 화면에 보이는 영상을 그대로 Windows Bitmap, JPEG Baseline 형태로 저장할 수 있으며 또한 윈도우의 클립 보드로 복사가 가능하다. 화면 Overlay 요소에는 그림 3과 같이 영상의 정보를 출력하는 텍스트, 영상의 실제 크기를 보여주는 Ruler, 사용자가 추가할 수 있는 주석, 모니터를 조정하는데 참조할 수 있는 그레이스케일, 영상의 위치를 알려 주는 영상 위치, 심전도 등을 보여주는 파형 등이 있다. Image Module에서는 윈도우 프린터에 출력할 수 있는 기능을 제공한다. 데이터 셋이 동영상일 경우에는 Play, Stop 등과 같은 다양한 동영상 모드를 제공하며 시간 간격을 조정할 수 있으며 심전도와 같은 1차원 신호도 같이 출력한다. 영상 조작 기능으로 Zooming, Panning, Histogram Window, Magnify, Inverse를 제공하며 영상 처리 기능으로 Blur, Sharpen, Emboss, Edge Detect, Rotate, Flip 등을 제공한다. 영상이 확대 되었을 경우 보간 모드와 일반 모드를 선택할 수 있다. 주석 객체에는 선, 네모, 원, 텍스트, 자유 그리기, 거리, 각도를 제공한다. 네모, 원, 자유 그리기 객체에서는 ROI 기능을 통하여 넓이, 높이, 면적, 기술 통계량을 구할 수 있다. 추가된 주석은 별도의 파일로 저장할 수도 있고 영상에 추가할 수도 있다. 윈도우를 조절하기 위해서는 마우스 오른쪽 버튼을 사용하며 히스토그램을 보며 윈도우를 조절할 수 있는 기능도 제공한다. Image Module은 Data set Module과 마찬가지로 메모리 사

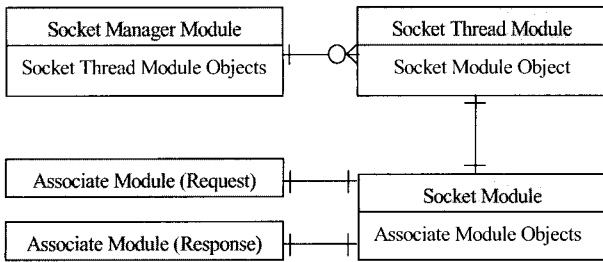


그림 4. 네트워크 모듈의 관계도
Fig. 4. ERD of the network modules

표 2. 테스트 영상 셋
Table 2. Test image set

No.	Md.	Man.	#	Matrix	Size
1	MR	SIEMENS	50	256×256	134kB
2	CT	GE	50	512×512	513kB
3	CR	FUJI	10	2140×1760	7.2MB
4	DX	LISTEM	10	3000×2472	14.1MB

(Md.: modality, Man: manufacturer, #: number of image, Size: file size)

용을 극소화시키기 위하여 DIB(device independent bitmap) 및 영상 처리 비퍼에 필요한 메모리를 할당할 때 임시 파일을 매핑하여 사용할 수 있다.

- 네트워크 모듈

TCP/IP 기반의 윈도우 소켓을 사용하며 그림 4와 같이 설계하였다. DICOM 어플리케이션과의 Association이 성공한 후 Release 될 때까지의 작업을 하나의 쓰레드로 처리한다. 쓰레드 기반으로 DIMSE(DICOM message service element)를 처리하기 때문에 영상을 다중으로 전송할 수 있고 영상을 전송하며 다른 작업을 수행할 수도 있는 등 멀티 쓰레드 작업이 가능하다. Socket Manager Module은 상기한 쓰레드의 생성 및 파괴를 관리하는 모듈이다. Socket Thread Module는 하나의 Socket Module을 가지며 Socket Module은 두개의 Associate Module을 갖는다. 하나의 Socket Module에는 다수의 DIMSE Service가 실행된다. 툴킷에서 지원하는 DIMSE Service는 표 1과 같다. 또한 Basic Grayscale Print Management Meta Service Object Pair Class를 별도의 모듈로 지원함으로써 DICOM 프린트를 구현하기 위하여 복잡한 메시지 교환 과정을 별도로 구현해야 하는 불편함을 없앴다.

결 과

테스트 시스템은 Pentium 4 2.0GHz, 512MByte RAM PC에 Windows XP Professional을 사용하였다. 툴킷의 성능을 평가하기 위하여 표 2와 같이 테스트 영상 셋을 구성하였다.

표 1. 지원되는 DIMSE 서비스
Table 1. Supported DIMSE Services

DIMSE	Role
C-STORE	SCU/SCP
C-MOVE	SCU/SCP
C-FIND	SCU/SCP
C-ECHO	SCU/SCP
N-GET	SCU
N-SET	SCU
N-ACTION	SCU
N-CREATE	SCU
N-DELETE	SCU

표 3. 데이터셋 디코딩 시간 (단위: ms/data set)

Data set Decoding	file map	physical memory
MR	11.6±0.2	14.7±0.1
CT	14.9±0.1	28.1±0.6
CR	18.2±1.3	267.4±12
DX	22.6±3.3	570.9±24.4

Table 3. Data set decoding time (unit: ms/data set)

DICOM 표준을 올바르게 준수하는지의 여부를 평가하기 위하여 다양한 평가 도구를 사용하였다.

1. 데이터 모듈

Data set의 올바른 인코딩 및 디코딩 여부를 검사하기 위하여 DVT(DICOM validation tool)을 사용하였다.[13] 테스트 셋을 제안된 툴킷으로 디코딩하고 그 결과를 DVT로 디코딩한 것과 비교하여 동일함을 검증하였다. 디코딩 시간은 파일맵을 이용하였을 경우 Data Element의 수에 비례하였으며 물리적 메모리를 이용하였을 경우 영상의 크기에 비례하였다. 테스트 셋들을 파일맵 및 물리적 메모리를 이용하여 디코딩하였을 경우 소요된 시간은 표3과 같다. 또한 인코더의 정확성을 평가하기 위하여 임의의 그레이스케일 영상 및 컬러 영상을 각각 Computed Tomography Image Storage와 Secondary Capture Image Storage 형태로 인코딩하고 이를 파일로 저장한 후에 DVT를 사용하여 인코딩 문법이 정확함을 검증하였다.

2. 영상 모듈

영상의 올바른 출력 여부를 평가하기 위하여 DICOMScope와 3개 이상의 상용 뷰어를 사용하였다. 즉 영상을 제안된 툴킷과 뷰어들을 사용하여 동일한 모니터에 출력하여 동일함을 정성적으로 검증하였다. 이 과정에서는 테스트 셋 뿐만 아니라 국내 병원들에서 사용되고 있는 대부분의 영상들을 사용하였다. 영상 로드 시간은 영상의 크기에 비례하였다. 테스트 셋들을 파일맵 및 물리적 메모리를 이용하여 출력까지 소요된 시간은 표 4와 같다.

표 4. 영상 출력 시간 (단위 : ms/image)

Table 4. Image displaying time (unit: ms/image)

Data set	filemap		physical memory	
Decoding	filemap	physical memory	filemap	physical memory
Image Loading				
MR	16.7±0.3	13.0±0.5	3.6±0.1	2.1±0.2
CT	32.5±0.5	28.3±0.3	7.5±0.2	5.5±0.1
CR	266.6±2	252.4±1.3	56±1.9	43.1±1.8
DX	490.8±27.1	456.2±3.3	64.5±0.6	52.5±1.3

3. 네트워크 모듈

제안된 툴킷이 네트워크 상에서 원격 DICOM Entity와 DICOM 메시지를 올바르게 주고받는지의 여부를 검증하기 위하여 DCMTK 및 2개 이상의 상용 PACS 서버를 사용하였다. DCMTK는 일반 PC를 사용하였으며 상용 PACS 서버는 대학 병원급에 설치된 PACS를 사용하였다. DCMTK를 원격 DICOM Entity로 설정하여 표 1에 나열된 모든 DIMSE에 대하여 검증하였으며 영상 전송, 영상 조회, 워크리스트(worklist) 전송 등 병원에서 주로 사용하는 작업들은 상용 PACS 서버들을 이용하여 검증하였다. 메시지 송수신 시간은 네트워크 속도에 대한 의존도가 높아 툴킷의 작업 시간은 무시할만 하였다.

DICOM 프린트 과정을 올바르게 수행하는지의 여부를 검사하기 위하여 DVT와 DCMTK를 사용하였다. DVT를 원격 DICOM Entity로 설정하여 프린트 과정을 검증하였다. 또한 프린터로 전송된 영상과 오버레이가 올바르게 출력되었는지의 여부를 살펴보기 위하여 DCMTK를 사용하였다.

고 찰

임상의는 올바른 진단을 위하여 가능한 모든 방사선 촬영을 지시하고 그 결과 영상을 상호 비교하여 진단에 참조한다. 제안된 툴킷은 환자 1명에 대하여 CT, MR, CR, DX 촬영을 실시하여 네트워크를 통하여 모두 전송받은 상태라고 가정할 때에 임상에서 사용되는 일반 사무용 PC를 사용하여 MR 영상 50장, CT 영상 50장, CR 영상 10장, DX 영상 10장을 출력하는데 각각 5.8초, 7.4초, 1.8초, 2.2초가 소요되어 모든 작업이 12초 이내 가능하였으며 PC의 물리적 메모리도 거의 소비하지 않았다. 또한 진단에 필요한 대부분의 영상처리를 지원하며 영상의 송수신 및 프린트까지도 가능하였다.

그러나 제안된 툴킷은 아래의 한계점을 보였다. 첫 번째 DICOM의 일부만을 구현하였다. DICOM은 현재로도 매우 방대하며 매년 새 문서와 수정본이 발표되고 있다. 이 모든 것을 구현하는 것은 많은 시간과 인력을 요구한다. 그러므로 임상에서 주로 쓰이는 기능만을 위주로 구현하였다. 두 번째 충분히 단순화 시키지 못하였다. 기존 툴킷의 단점인 복잡성을 줄이기 위하여 객체 지향적인 구조를 가지고 대부분의 기능을 모듈화

시켰으나 DICOM의 방대함과 네트워크를 사용해야 하는 문제에 기인하여 여전히 복잡함을 보이고 있다. 새로운 방법에 의한 단순화가 요구된다. 세 번째, 영상 처리 능력이 떨어진다. 제안된 툴킷에 사용된 영상 처리는 일반적인 수준으로서 CT, MR, CR 등의 영상에는 무리 없이 사용할 수 있다. 그러나 최근 증가하고 있는 Digital X-Ray 등의 영상을 적절한 속도로 처리하기에는 부리가 있다. 이 문제를 해결하기 위해서는 별도의 전문 영상 툴킷을 사용해야 할 것으로 사료된다.

결 론

병원 환경은 처방 전달 시스템 등의 다양한 정보 체계가 존재하며 또한 수많은 의료 장비가 존재한다. 최근까지 의료 장비에서 발생하는 정보들을 통합하려는 많은 표준들이 개발되었으며 그 중 가장 널리 사용되는 것이 DICOM이다. DICOM은 그 이름이 뜻하는 대로 디지털 영상 장비간의 통신이라는 원래 목표를 초과 달성하여 현재에는 일반 장비까지 그 영역을 확대하고 있다.

DICOM 표준을 준수하기 위해서는 DICOM 표준을 구현해야 하며 이를 위하여 DICOM 툴킷이 반드시 필요하다. 현재 사용되는 툴킷은 DICOM 표준의 구현에 그 중심을 두고 있어 영상 어플리케이션 개발에 별도의 시간과 노력을 투자해야 하는 부담이 있다. 그러므로 본 논문에서는 DICOM 표준 관련 기능과 영상 관련 기능을 동시에 구현한 의료 영상에 특화된 툴킷을 병원 환경에 적합하도록 설계하였다. 구현된 툴킷은 연구 목적에 제한하여 통신 저자의 전자 메일을 통하여 획득할 수 있다.

DICOM 표준은 새로운 장비나 기술이 출현할 때 마다 계속 확장되고 있으며 이를 따르는 업체 및 장비도 계속 증가하고 있다. 그러므로 DICOM에 대한 지속적인 연구와 효율적인 툴킷의 개발이 매우 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. NEMA Standard Publication PS 3.1 14, Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), National Electrical Manufacturers Association, 2101 L Street, N.W., Washington, D.C. 20037, 1992 2001
2. <http://www.rsna.org/IHE>, December 1, 2003
3. http://www.dclunie.com/dicom_status/status.html, December 1, 2003
4. <http://wuerlim.wustl.edu/DICOM>, December 1, 2003
5. <http://dicom.offis.de>, December 1, 2003
6. <http://www.merge.com>, December 1, 2003
7. <http://www.leadtools.com>, December 1, 2003
8. Adrian Moise, M. Stella Atkins, "New Trends in Radiology Workstation Design", SPIE Conference on PACS and Integrated Medical Information Systems,

- pp. 174-181, San Diego, 2002
9. H.K. Huang, D.Sc. PACS, Basic Principles and Applications, A John Wiley & Sons, 1999
 10. Jorg Riesmeier, Marco Eichelberg, Peter Jensch, "An Approach to DICOM image display handling the full flexibility of the standard's specification", SPIE Conference on Image Display, pp. 363-369, San Diego, 1999
 11. K. Kirk Shung, Michael B. Smith, Benjamin M.W. Tsui. Principles of Medical Imaging, Academic Press, pp. 51-54, 1992
 12. Randy Crane, Simplified Approach to Image Processing, A Prentice Hall, 1997
 13. M.M. Sung, H.J. Kim, "A Study of DICOM Validation in YUMC Mini PACS", Journal of Korean Society of PACS, Vol. 6, No. 2, pp. 67-70, 2000