

의료 영상 관리와 통신 시스템

문 성 기* · 안 승 옥**
(*미국 조지타운 대학병원 방사선과
부교수, **박사과정)

1. 서 론

과거 10년간 의료 영상화의 기술적인 발전은 다양한 진단 영상을 제공함으로써 방사선학 서비스의 질적인 향상을 가져왔다. 현재, 영상의 방대한 양이나 서로 다른 양상과 혹은 멀리 떨어진 장소에서 얻어진 영상은 의사들이 그것들을 적시에 취급하는데 제한을 준다. 몇년씩 보관되어져야 할 영상들이 포함된 사진의 보관 및 관리 또한 현대 방사선학 서비스의 질을 높이는데 방해가 된다. 그러나 CT, MRI, DSA등과 같은 다양한 디지털 영상화 시스템들의 출현으로 방사선과는 의료 IMACS(Image Management and Communication Systems)의 발달을 유도하는 변혁을 맞이 하였다. 이 IMACS는 PACS(Picture Archiving and Communication Syetems)로도 알려지고 있다. 의료 IMACS는 다양한 영상화 시스템을 이용하여 방사선 분야에서 얻어진 영상들과 환자의 정보들을 저장 관리하여 최대한 이용할 수 있게 설계된 디지털 저장 장치 즉 데이터베이스와 그 자료들을 접하게 하는 Workstation이 연결된 컴퓨터 망을 말한다. 이러한 IMACS의 기본적인 목적은 방대한 사진 보관소 관리의 어려움을 해결하고, 사진과 관계되는 비용을 절감하고, 원거리에 있는 방사선과 의사나 내외과 의사의 참조용으로 영상을 제공하는등 유연성 있는 영상의 제시나 처리능력을 제공하는데 있다.

방사선과에 있는 자료의 관리와 영상의 질에 대한 이 의료 IMACS의 효과는 매우 중요하게 다루어져야 할 과제이다. 새로 얻어진 영상이나 오래 전에 얻어진 영상 모두는 이 IMACS 데이터베이스에 저장되어져야 한다. 다양한 영상화 장치에 의하여 얻어진 영상들은 서로 다른 형태를 가지고 있으나, 원상태 그대로 유지되어야 한다. 예를 들면, CT나 MRI와 같은 장치에서 영상의 크기는 256×256 이나 512×512 고, 비트의 심도는 10~12bits로 그 양상에 의해 미리 결정되고, IMACS 데이터베이스내에서도 정해진대로 유지된다. 또 디지털화된 일반 X-ray필름 입력 영상에서의 영상 크기는 2048×2560 보다 크고, 비트의 심도는 12bits보다 커야 사진과 같은 영상의 질을 유지시킨다. 영상의 크기(matrix size)와 비트의 심도(Dynamic range)는 영상의 질을 결정할 뿐만 아니라, IMACS망의 성능, 저장 요건, 디스플레이 요건 등에도 영향을 준다. 그래서 영상의 질과 망의 성능에 대한 효과의 절충은 개괄적인 영상의 크기와 비트의 심도를 결정하면서 같이 고려되어져야 한다.

컴퓨터를 기본으로 한 이 의료 IMACS는 첨단 기술을 이용한 영상의 발생, 진단, 분배, 보존 기능과 의료 정보와 방사선 정보에 기인된 채래식 자료들과의 통합으로 이루어진다. 이러한 IMACS의 주요 기능은 그림 1과 같다. 본 논문에서는 의료 IMACS와 관련된 새로운 디지털 입력 장치들, 데이터베이스

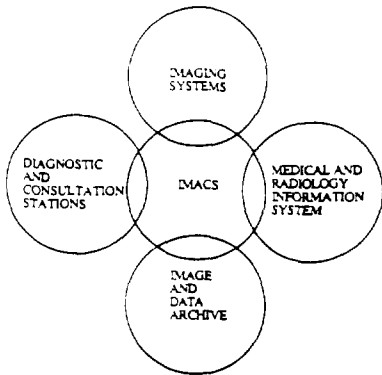


그림 1 의료 영상 관리와 통신 시스템의 구성

시스템과 저장 매체, 여러 종류의 Workstation, 통신 시스템등 기술적인 면을 많이 다루려 한다. 그리고 영상의 질과 자료의 양, 망의, 성능 분석, 영상화 시스템들과 방사선 정보 시스템과 다른 주변 기기들과의 접속에 따른 IMACS의 효과를 논하려 한다. 또한 지난 87년부터 Georgetown University Hospital(GUH)은 미국군 의무단의 6,5백만불의 지원으로 가장 광범위한 의료 IMACS설비를 AT&T사와 공동 연구하고 설치하여, IMACS의 기술적 평가를 계속하여 왔다. 이와같이 실행되어 있는 경험을 통하여, 의료 IMACS의 임상 운영 효과와 더 나아가서 새로운 효과들을 검토함으로써 앞으로 보강되어야 할 점들을 연구하려 한다.

2. IMACS의 개요

영상에 관련된 방사선과의 일은 크게 환자를 위한 방사선학적인 검사(자료 발생), 새로운 검사나 앞선 검사에 기초한 진단(판단), 내과 의사들에게 참조용으로 보고서와 진찰서의 제공(통신), 이러한 영상들과 보고서들의 관리(데이터베이스 관리)등으로 나눌 수 있다. 또한 일반적인 임상적 기능에는 완전한 방사선 서비스를 행하기 위한 연구, 교육, 경영과 같은 일들이 추가된다. 방사선과의 자료와 정보의 흐름은 매우 복잡하고 상황에 따라 다르지만, 개괄적인 흐름의 형태는 그림 2와 같다. 결국 의료 IMACS 기술의 실행은 이런 광범위한 범주에 있는 각각에 영향을 미치게 된다. 그래서 이 IMACS의 기술 개발의 효과는 의사들이 이 시스템을 어떻게

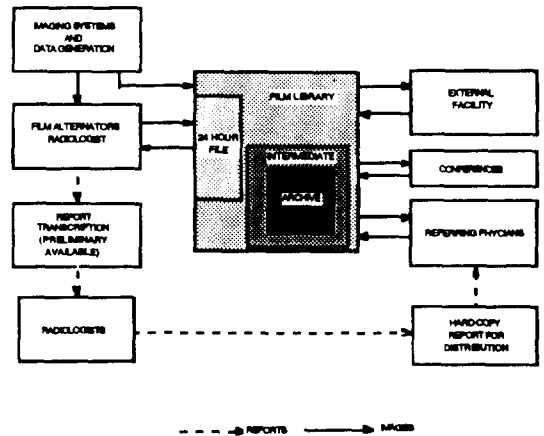


그림 2 방사선과 서비스의 정보 흐름도

잘 사용할 수 있게 하느냐와도 관계가 된다. 이 시스템은 어떤 특정 병원의 방사선과에 국한될 수도 있고, 또는 컴퓨터 망을 통해 연결된 여러 병원들, 멀리 떨어져 있는 의원들, 의사 집무실등 광범위하게 연결될 수 있다. 의료 IMACS에서는 망의 크기와 관계없이 미리 정의된 어떤 위치에서도 진단이나 진찰을 위한 영상과 환자의 정보를 검색할 수 있어야 한다.

방사선과에서 얻어지는 영상을 기록 보존하기 위한 양은 매우 크다. 예로, 1987년도 GUH의 방사선과에서는 다음과 같은 115,000 과정들이 실시되었다.

각 영상에 따라 요구되는 영상의 수와 크기는 다르지만, 간단히 한과정당 평균 10장의 영상을 얻고, 한 영상은 2048×2560×10 bits의 해상도를 갖는다고 가정하면, 전체의 자료 양은 디지털로 바꾸었을 때 5,000Gbytes이상이 된다. 그래서 IMACS에서는 이

Type	Number
Angiography	2,000
Breast Imaging	5,800
Cardiac Radiology	1,100
CT	11,000
Diagnostic	82,000
Nuclear Medicine	7,000
Ultrasound	6,000
TOTAL	114,900

와같이 방대한 양의 자료를 어떻게 저장하고 관리해야 하는가에 주목이 된다. 각 영상화 장치들은 컴퓨터 망을 통하여 데이터베이스에 연결되고, 얻어진 영상은 환자의 검사 정보등과 같이 데이터베이스에 즉각 기록된다. 이 영상과 정보는 재검이나 진찰을 위해 언제나 어느 워크스테이션에서나 볼 수 있게 된다. 2048×2560크기의 흉부사진이나 512×512크기의 CT나 MRI영상과 같이 서로 다른 형태의 영상도 진찰이나 보고서와 함께 같은 장소에서 취급될 수 있어야 한다. IMACS의 장점은 망에 있는 모든 영상의 유용성과 멀리 떨어져 있는 의사에게도 같은 환자를 동시에 보일 수 있게 하는 영상의 빠른 전달성에 있다.

IMACS에 의해 제공되는 다른 장점은 일반 방사선 영상의 후처리 기능이다. 영상의 디지털화에 의한 저장은 합당하게 조사되지 않은 영상을 후처리에 의해 보정할 수 있게 된다. 이것은 재조사해야 할 수를 줄이고 의사에게 더 좋은 진단 정보를 제공하게 한다. 또한 디지털 기록 보존이기 때문에 IMACS의 출력은 영상 분실의 감소를 기대할 수 있다. 사진 보관소와는 다르게 디지털 영상은 결코 그 기록 보관소를 떠나지 않는다. 검색 영상은 기록 보관소의 영상을 복제하게 되어 있어 영상의 분실 가능성을 한층 더 제거시킬 수 있다. CT, MRI, DSA등 다양한 영상화 기기와 RIS와 같은 다른 전산 시스템을 IMACS 망에 연결시켜 동시에 모든 서비스를 일목요연하고 자동적으로 취급할 수도 있다.

IMACS의 기술은 방사선과 의사뿐만 아니고, 내외과 의사의 참조용이나 다른 건강관리자에게도 제공될 수 있다. 방사선과 의사에게는 방사선과 정보와 환자 자료를 접근하는 데 매우 효율적이고, 조희시 보고서를 작성하는 데 효과적이고 정확한 수단이 되고, 보고서와 영상이 내외과 의사의 참조용으로 제공될 수 있는 편리한 방법이고, 환자 치료에 방사선과 진찰의 적시 개입되게 하고, 다양한 방사선 영상과 자료의 접근에 쉬운 수단이 되고, 의사의 시간 활용에 효율성을 높이고, 방사선과 서비스에서 부전공 분야와의 통신에 효율적 수단등이 된다. 내외과 의사에게는 진찰서와 필요한 영상이 적시에 가능하고, 영상, 보고서, 방사선과 의사들의 위치가 지역적으로 분산된 것을 극복하여 방사선과 진찰을 얻을 수 있다는 편리한 방법이 제공되고, 먼곳에서도 영

상을 즉시 가능하게 하는 것이다. 또한, 경영자에게는 병원의 여백, 장비, 직원의 활용에 대한 효율성이 증대되고, 의료 행위에 따른 정확한 회계와 방사선 서비스의 전체적인 비용 절감등을 제공하여 준다.

3. 시스템 구성 요소

의료 IMACS 망을 설계할 때에 영상 취득 장치, 디스플레이 장치, 기록 보존할 저장장치, 인쇄를 위한 출력 장치등이 연결될 각 점들에 대한 충분한 이해가 요구된다. 왜냐하면 망의 구조, 전송 규정, 전송 매체등을 선택할 때, 망에 연결될 점들의 수와 역할이 매우 중요하기 때문이다. 많은 새로운 장치들 또한 IMACS망을 개발하고 설치함에 있어 중요하다. 어떤 장치들은 일반 방사선 서비스에 유용성이 크지 않지만, 디지털 방사선과에 기초로한 응용에 긴요하게 쓰일 수도 있다. 이 장에서는 새로운 디지털 입력장치, 데이터베이스, Workstation, 망의 성능과 통신등 새로운 기술 범주에 속하는 부분을 다루려 한다.

3.1 새로운 디지털 입력 장치

의료 IMACS 기술의 성공은 영상의 질에 대한 임상 적합성에 좌우된다. 또한, 완벽한 이 IMACS망을 위해 연결될 모든 장치들의 디지털화가 요구된다. 현재 개발되어 광범위하게 사용되고 있는 디지털 장치에는 Computed Tomography(CT), Magnetic Resonance Imaging(MRI), Digital Subtraction Angiography(DSA), Nuclear Medicine(NM), Ultrasound(US), Computed Radiography(CR)등이 있다. 이와같은 장치들의 영상의 질은 얻어진 그대로 망에서도 유지되어야 한다. 의료 IMACS망에 적합하고 새로운 장치들에는 Fuji Computed Radiography(FCR)와 Konica Direct Digitizer(KDD)와 같은 필름을 사용하지 않고 바로 디지털화된 영상을 얻을 수 있는 디지털 방사선 기계들과, Film Digitizer 같이 이미 얻어진 필름을 디지털화하는 기계들이 있다. 이 장치들의 임상의 적합성을 위해서는 2k×2k×10bits(혹은 12bits)이상의 해상도를 가져야 한다.

FCR은 검출기로서 Laser에 의해 활성화되는 발광 화면을 사용하고, 현재 사용되고 있는 화면이나 필름 시스템보다 감도는 월등하고 동등한 영상의 질을 가진다. 면스케너 형태인 영상화 판(IP)은 X-ray정보를 잠시 동안 보존할 수 있는 광활성 발광성(PSL)을 가진 인(P)결정체로 구성되어 있다. 이 판은 Laser에 의해서 영상이 디지털화되어 저장되고, 처리되고, 디스플레이되며, 영상을 취득한 후 다음 영상을 위하여 지우고 재사용된다. X-ray검출기로서 영상화 판은 선형적이고, 광범위한 dynamic range를 가지고 적절한 해상도와 명암을 가진 영상을 만들어 낸다. 이와같이 디지털 영상을 만들어 내는 CR기기는 IMACS망에 적당하고, 화면이나 필름에 의한 영상화 방법을 현혹적으로 대체될 수 있을 것이다. KDD는 He-Ne Laser를 사용하는 CR과는 다르게 반도체 Laser에 의해 활성화될 수 있는 광활성 인(PSP)를 사용한다. KDD의 영상 잠재력은 CR보다는 짧으나 조사직후 기록될 수 있는 디지털 영상을 바로 제공해 준다는 장점이 있다. 영상의 질이 높고, 소형이고, 고감도와 높은 이용도를 가진 KDD는 필름이 필요없는 IMACS망에 적합한 장치이다.

그 외에 Film Digitizer도 IMACS망에 유용한 입력 장치들이다. 스캐너로서 Laser와 CCD가 광범위하게 사용된다. Laser Scanner는 높은 광강도에 의하여 사용되어 지고, 필름을 관통한 빛이 광집속 장치에 의해 광증폭관에 모아지는 방식이다. 어떤 시스템은 바른 응답 시간과 넓은 dynamic range를 가진 광증폭관대신 광다이오드를 사용하기도 한다. CCD Scanner는 영상을 작은 화소로 나누고, 그 화소를 관통한 빛의 밀도를 측정하는 방식이다. 영상은 나누어진 화소의 크기에 따라 많은 차이가 있다.

3.2 데이터베이스 시스템

의료 IMACS망의 중요한 부분은 데이터베이스 관

리 시스템(DMS)이다. 이 시스템은 영상과 환자 정보의 국부적 저장, 기록 보존, 검색 등을 조정한다. 효과적인 DMS는 망의 성능을 증대시키고, 망의 부하를 조절한다. 아직도 고밀도 저장 매체의 다양한 형태를 이용하여, 환자의 기록 보존과 검색의 최적 방식을 결정하기 위하여 하여야 할 일들이 남아 있다.

데이터베이스를 위하여 IMACS에 이용될 수 있는 저장 장치들의 비교가 표1에 있다. 광디스크는 각 양상에서 대량 저장 매체로서 가장 많이 사용된다. 광디스크는 MT의 29배의 저장 능력이 있고 가격은 반정도이다. WORM(Write-Once-Read-Many)방식인 광디스크의 각면은 2.62Gbytes의 정보나, 650장의 X-ray사진이나, 5200장의 CT영상을 나눌 수 있다. 그래서 2000 장의 압축되지 않은 1024×1024영상을 한장의 광디스크에 저장시킬 수 있다. 이러한 광디스크를 이용한 Jukebox가 있으며, 128장의 platter를 보유할 수 있다.

DDR(Digital Data Recorder)는 MT에 데이터를 기록하는 장치이고, DDR테이프의 용량은 106 Gbytes나 된다. 현재 DDR같은 고밀도, 고용량의 테이프 기록기는 매우 비싸다

Helical Scan(VCR형)MT기록기는 디지털 자료를 기록하기 위하여 일반 비디오 카세트를 사용하고, 용량은 테이프당 2~5Gbytes정도이다. IMACS에 연결될 수 있는 다른 장치로는 소형이고, 쉽게 운반 가능한 자료 저장 카드가 있다. 이것에는 IC카드와 광카드가 있다. Microprocessor가 내장된 IC카드는 고도의 안정성있는 정보 저장 매체이기는 하나, 현재 기술 개발이 진행되고 있고, 아직 의료 영상을 저장할 능력은 없다. 광테이프 기록기는 WORM방식이고, 개당 1000Gbytes를 저장할 수 있게 개발되었다. 테이프를 읽는 시간은 평균 28초 정도이고, 최악의 경우 60초 정도이다. 5000개의 일반 MT와 같은 양의 정보를 한개의 광테이프에 기록시킬 수

표 1 전송 매체들의 비교.

Type	Distance	Speed	Common use	Cost
Twisted Pair	large	slow	text	inexpensive
Broad Band	medium	medium	video	expensive
Fiber Optics	short	fast	image and text	very expensive
T-1 Line	med-large	medium	image and text	expensive

있다.

3.3 Workstations

영상의 질이나 표현의 효율이 Workstation에 의하여 결정되기에, 사용자의 입장에서는 영상 디스플레이 장치가 의료 IMACS의 고성 요소중 가장 중요하게 된다. 그래서 IMACS에 의한 입상의 적합성을 디스플레이 시스템의 질과 Workstation의 성능에 좌우된다. 방사선 의사들이나 사용자들의 요구를 만족시키기 위해서 고려되어야 할 주요 기술적 문제는 영상의 크기와 dynamic range, 디스플레이 속도, 화면의 실제 크기와 수, 사용의 간단성 등에 있다. Workstation에는 운영에 필요한 모든 정보가 함께 주어져야 하고, 사용자를 위하여 가능한 자동적으로 명령을 수행하여야 한다.

영상의 해상도나 명암은 CRT화면의 크기와 비트 심도에 좌우된다. 14"×17"크기의 X-ray사진을 디스플레이하기 위해서 2048×2560의 영상 크기와 12 bit심도가 요구된다. 이것은 일반 TV 화면의 16배나 많은 화소의 구성이다. 빔의 크기를 줄이고, 영상 신호 증폭기의 주파수 대역을 확대하고, 편향기의 개선이 요구되는 고 해상도에 도달하는 방법이다. 현재 1K×1K 고해상도 디스플레이 시스템이 광범위하게 사용되고 있다. 이 시스템을 이용하여 위의 영상을 디스플레이하기 위해서는 축소 확대나 좌우 이동 방식을 사용하거나, 4개의 화면을 동시에 사용한다. 디지털로 저장된 영상을 볼 수 있게 하는 이 전자 Workstation은 현재 사용중인 많은 재래식 판독대나 그 외의 것들과 대치되고 있다. Workstation의 설계에는 디스플레이할 영상의 수, 영상의 질, 디스플레이 속도, 영상 처리 능력, 영상 접근 속도, 인간 공학, RIS와의 통합 보고서 작성, 사용자 ID, 가격등이 고려되어야 할 사항들이다. Workstation에 요구되는 기능은 진단, 진찰, 조회등 사용도에 따라 매우 다르다.

Workstation의 구성에는 다화면, 고 해상도, 고속 Workstation과 한화면, 고해상도 Workstation과 저 해상도 관찰 Station등이 있다. 다화면 Workstation은 고해상도 모니터에 영상을 고속으로 보여주며, 검사의 모든 영상을 전체적으로 보여준다. 60~80장의 MRI영상을 동시에 요구하는 전 검사의

디스플레이는 높은 해상도의 영상을 디스플레이하는 것과 같이 중요하다. 고도의 영상 처리 기술도 필요하고, 보고서를 위한 문자 표시도 중요하다. 이와같은 형태의 Workstation은 초기 진단이나 보고서 작성에도 사용되나 매우 비싼 편이다. 한 화면, 고 해상도 Workstation은 재검사나 방사선 의사의 진찰이나 내외과 의사의 참조를 위하여 필요하다. 여러장의 영상을 보여주어야 하고 기본적인 영상 처리 능력도 가져야 하는 이 Workstation은 방사선과 밖에서 적은 수의 영상의 검토나 진찰 목적에 의한 고 해상도 영상을 보여주는 장소에 위치하며, 가격은 비싸다. 저렴한 Workstation은 여러 장소에 위치할 수 있어 중요하다. 즉, 병원 여러 곳, 원외 의원, 내외과 의사 집무실의 참조용, 방사성과 의사의 집중이 해당된다. 한 영상을 위한 모니터가 필요하고, 제한된 영상 처리 능력과 처리된 영상을 보여 주면 되는 이런 Workstation은 영상 점검이 필요한 곳과 큰 화면 영상이나 영상 처리 능력이 중요하지 않은 곳에 적합하다.

3.4 성능 개선

방사선 영상에 관련된 자료의 크기는 한 영상당 2048×2560(4백만 이상)화소보다 더 크고, 한 화소당 최소 10bit이상의 심도가 요구되기도 한다. 망을 통해 이런 방대한 자료를 저장, 전송하는 것은 쉽지 않다. 그래서 IMACS에서의 자료 압축(Data Compression)기술의 필요성은 명백하다. 영상의 자료를 압축하는 것은 영상의 전송률을 높여서 응답 시간을 개선하고, 국부적 저장이나 보존소의 저장 능력을 증진시킬 수 있다.

자료 압축 기술에는 가역적인 압축과 불가역적인 압축이 있다. 가역적인 압축은 압축하고 재생하는 동안 어느 화소의 정보도 잃지 않고 영상의 질이 유지된다. 이 기술에 의한 최고 압축 비율은 1:4정도이다. 불가역적인 압축은 화소의 정보가 변하게 되어 영상을 질을 저하시킨다. 이같은 질의 저하는 압축하는 동안 원래 영상의 화소 값을 변화시킬 때에 발생된다. 그러나 이 기술을 이용하면 압축 비율은 1:5, 1:20 또는 그 이상도 가능하다. 영상의 질저하는 압축하는 비율에 직접 연관되어, 압축 비율을 높이면 높일수록 질은 더욱 저하된다. 불가역적인

표 2 저장 매체들의 비교.

Media	Access time	Data density	Transfer rate	Storage life
51/4" flexible optical disk	40ms	1GB	1.5MBps	15years ⁺
12" optical tape	28	1TB	3MBps	15years ⁺
<i>Rigid Optical disk</i>				
51/4" disk	60ms	800MB	<1MBps	10-30 years
12" disk	<100ms	4-6GB	0.25MBps	10-30 years
<i>Magnetic Media</i>				
51/4" Winchester hard disk (high-end)	26ms	765MB	N/A	2-10 years
51/4" Winchester hard disk (high-end)	38ms	100MB	N/A	2-10 years

압축은 영상의 질이 임상의 적합성에 합당하게 절충되지 않은 한에는 IMACS의 운영에 오차를 발생시키게 된다.

영상의 질과 압축률의 절충은 의료의 견지에서 조심스럽게 고려되어야 한다.

자료 압축에는 Transform단계와 Coding단계가 있다. Transform단계는 원 자료를 그것과 크게 연관되지 않은 새로운 자료로 변환 시킨다. ACR-NEMA(American College of Radiology-National Electronics Manufacturers Association)에 의해 인정한 Transform에는 S-Transform, Discrete Cosine Transform, Pyramid Transform, DPCM(Differential pulse Code Modulation)등이 있다. Coding단계는 가장 적은 비트를 이용하여 많은 공통패턴을 표현할 수 있는 것같이 효과적인 표현을 창출하는 단계이다. ACR-NEMA의 표준 Coding에는 Huffman Coding, Run-Length Coding, Lempel-Ziv Coding등이 있다. Arithmetic Coding은 ACR-NEMA 표준에는 채택되지 않았으나 많이 사용되고 있다.

3.5 통신 시스템

CT, MRI, DSA등 다양한 영상화 장치들이나 RIS와 같은 다른 전산 시스템을 IMACS망에 연결시키기 위해서는 시스템간의 통신이 요구된다. 서로 다른 시스템간의 통신은 보통 일이 아니지만, 잘 정의된 자료 전달 규정과 호환성있는 하드웨어의 구성이 가능하게 한다. 통신 시스템은 망의 구조, 전달 규정, 전송 매체, 망의 성능등에 의해 정의된다. 망의

구조에는 한개의 망 제어기를 포함한 중앙 지점에 별처럼 연결된 별구조, 한개의 통신 선에 의해 모든 점들을 연결한 버스(선형분포)구조, 버스 구조의 확장인 가지구조, 각 점들이 두개의 인접 점들과 연결된 원형 구조등이 있다.

망의 구조에 따라 IMACS 설계할 때에 자료 전송 규정은 망의 모든점의 활동을 조정하기에 중요한 문제가 된다. 이 규정에 의해 각 점사이에 보내어진 정보나 정보의 해석이 필요한 수신점을 결정하고, 오류를 감지하고, 수령된 정보의 정확성을 보증한다. 그래서 망에 있는 각점들은 전달된 정보의 올바른 해석을 위하여 공통 규정을 가져야 한다. 많이 사용되는 규정에는 CSMA/CD(Carrier Sense, Multiple Access/Collision Detection)과 TP(Token Passing)이 있다. CSMA/CD를 사용하면 발송점에서 수신점과의 정보 전송을 조정한다. 전송선이 비어 있으면 발송점에서는 전문을 보내나, 그렇지 않은 경우에는 전송은 지연된다. 이 규정은 자료의 충돌 가능성을 점검해 보고, 각 발송점에서 지연 시간을 결정하고, 보내어질 전문에 순번을 정하게 된다. TP규정은 자료의 접근을 요구하는 점에서 Token 신호를 보냄으로서 시스템내에는 오직 한개의 전문만이 존재하게 된다. 그리고 한 점만이 이 Token 신호를 수신한다. 망에 접근을 요구하기 전에 모든 다른 점들은 Token 신호가 준비 상태로 될 때까지 기다려야만 한다. 어느 규정이 더 좋은가는 그 응용에 따라 좌우된다. 큰 단위의 자료로 구성된 영상을 전송하는 데는 TP 규정이 효과적이고, 반대로 한번에 적은 자료의 양을 가질 경우에는 CSMA/CD방식이

유리하다. 통신망의 중요한 요소중 하나인 적당한 전송 매체를 선택하는 것도 중요하다. 이와 같은 매체에는 Shielded Twisted Line, Broadband Coaxial Cables, High Speed Dedicated Data Lines, Fiber Optics등이 있다. 이들에 대한 선택적인 비교가 표2에 있다.

망의 구조, 전송 규정, 전송 매체등이 결정되면 망의 분석을 통하여 성능을 결정하여야 한다. 망의 성능은 망을 통하여 한점에서 다른 점으로의 자료 전달 시간과 정확성에 관련된다. 이 성능은 망의 설계, 사용되는 매체, 선택된 규정, 자료 단위의 크기, 오류 감지의 수준, 정보량등에 의하여 좌우된다. 이와같은 문제의 해결을 위해 설계된 전산 모의 실험을 이용하여 망을 세우기 전에 성능 분석이 이루어져야 한다.

4. Georgetown University Hospital에서의 IMACS실행

Georgetown University Hospital(GUH)에는 US Army의 지원을 받은 평가 과제의 일환으로 의료 IMACS가 설치되어졌다. 그 구조는 그림 3과 같다. 망은 별구조를 갖춘 AT&T사의 CommView

System을 기초로 하고, 영상 취득점, Workstation 들, 원격리 영상화 센터, Gateway, 기록 보존 장치들과 연결된 중앙의 데이터베이스 관리 시스템(DMS)등으로 구성되어 있다. 데이터베이스 관리자는 시스템내에 있는 방대한 영상 자료를 감독하기 위하여 DMS에 주재한다. 또한 망제어기도 망의 정보량을 제어하기 위하여 DMS의 일부로 포함되어져 있다.

4.1 시스템 구성

GUH에서 실행한 IMACS는 11개의 서로 다른 점들과 중앙 점의 연결로 구성되어져 있다. 망에는 2개의 영상 취득 단위(Aquisition Module:AM), 다화면 Workstation, 한화면 Workstation, 원격리 영상화 센터(Teleradiology), Gateway들이 접속되어져 있다. 각 AM은 5종류의 영상화 장치들과 연결되어 있다. 현재 GUH에서는 2대의 CT, 1대의 MRI, 4대의 초음파 장치, 2대의 Dupont Co.의 Laser Film Scanner가 연결되어 있다. 앞으로 1대의 Computed Radiography(CR)와 1대의 Konica Direct Digitizer(KDD)를 증설할 예정이다. 이 모든 영상화 장치들

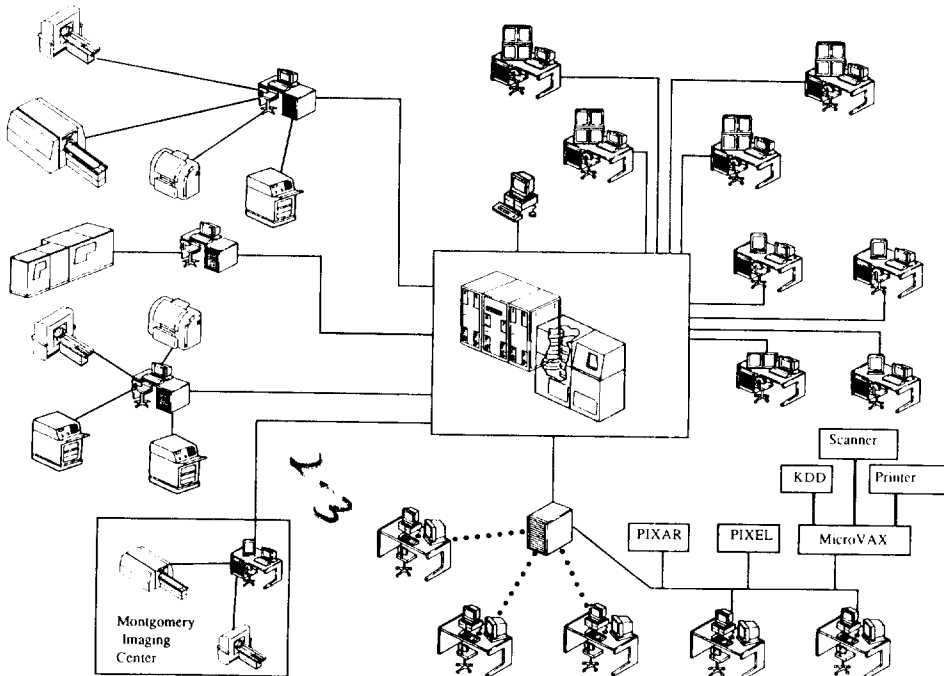


그림 3 GUH에서의 의료 IMACS실행도

이 연결되어 있는 망은 40Mbps의 전송 속도를 가진 Optical Fiber로 구성되어 있다. 원거리 영상화 센터도 한 Station으로써 영상을 얻거나 디스플레이할 수 있다. 현재 원외 환자의 방사선 서비스를 위하여 GUH에서 13마일 떨어진 곳에 이 원거리 영상화 센터가 설치되었고, 1대의 MRI와 1대의 CT가 연결되어 서비스를 실시하고 있다. 이와같이 원거리에서도 영상을 얻고, 빠른 속도로 전송이 가능한 T-1선(1.5 Mbps)을 이용하여 Gorgetown의 DMS로 보내어진다.

GUH의 IMACS망에는 3대의 4화면 Workstation, 2대의 2화면 Workstation, 3대의 한화면 Workstation, 한화면 스테이션을 기본으로 하는 몇개의 단순 PC스테이션등으로 구성되어 있다. 4화면 1024×1280고해상도 디스플레이 스테이션은 신경 방사선과와 초음파와 복부 영상을 판독하는 장소에 위치한다. 이 Workstation은 80개의 256×256영상이나 16개의 512×512영상을 동시에 보여주는 능력을 가지고 있다. 또 영상 표현능력에는 확대, 좌우 이동, 서로 다른 영상이나 window와 level이 조정된 모든 검사영상의 디스플레이등이 있다. 이와같은 진단 스테이션은 신경-CT나 MRI와 같이 많은 수의 영상을 가진 검사의 판독에 더욱 유용하다. 2화면 디스플레이 스테이션은 일반 방사선 판독실과 핵의료과에 위치한다. 이곳도 4화면 스테이션과 같은 정밀한 스테이션이고 비슷한 영상 표현 형태를 갖고, 많은 수의 영상을 포함하지 않는 검사를 판독하는 과에 위치한다. 한화면 고 해상도 Workstation은 방사선 치료실과 응급실에 위치한다. 제한된 영상의 수—4개의 512×512나 한개의 1024×1024영상—는 진단보다는 진찰에 더 큰 비중이 있는 개개의 영상이 필요한 장소에서 유용하다. 이 스테이션은 방사선과가 아닌 다른 부처에서 영상을 가능하게 하는 데 매우 효율적이다.

Gateway는 단순한 한개의 점으로서 DMS에 연결된 장치이다. 그러나 이것은 디스플레이 스테이션을 기본으로 하는 여러개의 단순 PC 스테이션과 DMS와의 연결을 가능하게 한다. 이 스테이션은 전화선을 이용하여 DMS로부터 영상을 단순/저가격으로 얻을 수 있고, 그 영상을 자체 디스크에 저장시킬 수 있다. 전송 속도는 256×256 영상을 전송하는데 2분 정도로 느리나, 보내어진 개별 영상들의 선택은

이 속도도 적합하게 여기게 된다. 또한 DMS를 통하지 않고서도 이 스테이션들 사이의 영상 전송은 가능하다. 그래서 Gateway의 최대 장점은 망의 점들이 용량의 한계에 달했을 때에도 망에 디스플레이 장치를 첨가시킬 수 있다는 점이다. 이 스테이션은 영상을 보기위한 가장 싼 방법이고, 신경 외과, 신경 방사선과 의사의 집, 영상 공학 연구실에 배치되어 있다. 이 스테이션에는 제한된 영상의 취급 능력, 확대, 이동, Window와 level의 조정, 명암조정 등이 제공되고 있다.

DUH의 IMACS망에는 저장 매체로 2Gbytes 용량을 지닌 platter가 89장 들어 있는 Jukebox가 있다. 영상 자료는 순차적으로 이 Jukebox내에 기록되어 보존된다. 또한 이 IMACS는 GUH의 RIS와 연결되어 서비스를 실시하고 있다.

4.2 연구 상황

GUH에 있는 본 연구실 4 Radiology Imaging Physics)에는 PIXAR Imaging Computer (PIC), PIXEL Imaging Processing Computer, 2대의 SUN Workstation, AT&T 3B2 Computer, Micro Vax, 다수의 AT&T의 Workstation등이 사용되고 있다. 또한 이 모든 Workstation들은 연구를 목적으로 한 영상과 보고서등의 교환을 촉진하기 위하여 Ethernet 망으로 연결되어졌다. PIC는 user interfaces의 개발과 영상의 표현 기법 설계를 위하여 주로 사용된다. CT 데이터의 3차원 영상 재구성과 MRI데이터의 분석등은 PIC를 이용한 영상표현 기법의 질을 높이는 한 예이다. PIXEL은 filtering방식이나 방사선 영상의 패턴 인식과 같은영상의 처리 도구를 개발하는데 사용된다. 자료의 압축 기법과 3차원 재구성의 분석도 PIXEL에서 이루어지고 있다. 한개의 SUN Workstation은 PIC를 단독으로 다루는데 이용되고, 다른 하나는 PIXEL의 주 컴퓨터로서와 망의 모의 실험을 위해서 사용된다. 이 모의 실험에는 AT&T Bell연구소에서 개발된 PAW(Performance Analysis Workstation)software를 이용한다. 이 소프트웨어는 망의 상태를 눈으로 직접 확인할 수 있게 하고, 망을 통한 정보의 흐름을 모의 실험하고, 망에 존재하는 개개의 점들과 전체 망의 성능에 관계되는 많은 통계적 자료의 분석을 할 수 있

는 능력이 있다.

AT&T 3B2 컴퓨터는 4화면 Workstation을 보강하기 위한 소프트웨어 개발과 모형 제작에 이용된다. 더 작은 영상으로 빠르게 보여줄 수 있는 것은 4화면 디스플레이를 보강시킨 첫번째 시험된 과제 중 하나였다. 실험실의 다른 지원인 몇개의 Konica 영상화 시스템, Konica Direct Digitizer, Laser Scanner, Laser Printer등도 시스템의 조합과 영상의 질적 향상을 위한 임상 개발에 사용되고 있다. 또한 2560×2048×12bits의 영상을 디스플레이 할 수 있는 초고해상도의 MegaScan System을 설치 운영중에 있다.

본 연구실에서는 이와같은 설비를 이용하여 새로운 영상화 시스템의 증설, 새로운 IMACS의 운영방안의 개선, 이 IMACS망의 효과가 발생하는 문제점의 분석등을 통하여 IMACS망의 효율적인 이용을 도모해 나가고 있다.

5. 임상의 적합성과 운영 효과

IMACS의 완성을 위해서는 RIS(Radiology Information System)와의 완전한 통합이 필요하다. 그래서 전산화된 RIS와 IMACS사이 상호간의 정보 교환이 중요하다. 개념적으로 IMACS는 이 RIS의 일부가 된다. RIS에는 통계 자료, 보고서, 청구서 등의 문자화된 정보를 가지고 있다. 이들 정보중 어느것은 IMACS에서 영상을 저장할 때나 Workstation에 디스플레이할 때에 필요하다. 그러나 RIS와 IMACS사이에 이와같은 정보의 분담은 보통 일이 아니다. RIS와 IMACS접속의 목적은 적시에, 효율적으로, 자동적으로 두 시스템사이의 정보 교환에 있다. 이것은 환자가 한 시스템에서만 등록을 허용하고, 다른 시스템에서는 그 정보를 접할 수 있게 한다. 그러나 현재 IMACS가 설치된 대부분의 병원들은 RIS혹은 HIS(Hospital Information System)와 IMACS에서 따로따로 환자를 입력시킨다. 이것은 자료상의 오류와 두 데이터베이스사이의 호환성을 없애는 위험성을 증가시킨다. 그러므로 두 시스템간의 접속이 없이 방사선 서비스에 대한 IMACS의 완벽한 효과를 기대할 수 없다.

ACR-NEMA의 PACS연구회에서는 두 시스템간의 정보 이동에 관한 표준 자료 전송규정을 연구하

고 있다. 이 접속의 실행에는 현존하는 RIS와 IMACS의 본질에 달려있다. 접속 개발에의 고려 사항은 일방 혹은 양방향 통신, 정보 전송을 위한 사용자의 요구 사항, 시스템간의 시간 지연등이 있다. 환자가 방사선과에 와서 RIS에 등록을 하고 영상화 영상으로 가기 전에 이 정보가 IMACS로 보내져야 한다. 각 환자를 위해 IMACS에 저장된 정보는 RIS에 기록된 정보와 항상 일치되어야 한다. 비록 서로 다른 데이터베이스가 있을지라도 한 데이터베이스의 수정이 다른 것에 분명하게 영향을 주어야 한다. 한 시스템에서만 수정을 할 수 있다면 일방 통행의 전송만으로 족하다. 양방향 통신의 연결은 좀 더 유연성이 있으나 자료 변조의 가능성이 더 높다. 이 시스템에서는 환자의 기록이 IMACS에서나 RIS에서나 수정이 가능하나, 유지하기 힘들고 분산되어 있는 데이터베이스 처리 문제들이 남아 있다.

망에서의 영상 이동 즉 통신은 사용자에게 자동적이어야 하고 명백해야 한다. 방사선과의 운영에서 영상의 이동은 대부분 예상할 수 있다. RIS에는 어떤 환자가 어떤 형태의 검사에 예약이 되어 있는지를 알고 있다. 이러한 정보가 IMACS망에 보내져서, 기록 보존에 있는 관련 영상을 필요한 Workstation에 보내고 다른 새로운 영상들과 합쳐져야 한다. 그래서 검사자가 필요 영상의 판독을 원할 때에 미리 정해진 방법으로 필요한 영상이 제시되어져야 한다. 또한 판독되어졌거나 더이상 그곳에 필요없는 영상은 Workstation에서는 지워지고 기록 보존소나 중앙 저장소에 보유시킨다. 세련된 영상의 관리망의 운영에 완전 자동화를 요구한다.

사진을 기초로한 업무에서와 같이 많은 수의 영상 처리와 디스플레이 능력이 필요하다. 현재의 Workstation에는 대부분의 처리 기능이 가능하나, 주요 문제중 하나는 디스플레이 속도이다. 시스템의 속도나 많은 영상들을 동시에 보여주는 것은 적합성을 따지는 중요한 기준이된다. 특히 CT나 MRI의 경우와 같이 많은 양의 영상을 빠르게 보여주어야 하는 곳에서는 더 중요하다. 또한 현재 판독대에서 행하여지는 것처럼 Workstation에서도 다른 영상으로 얻어진 영상들을 동시에 판독되어질 수 있게 하여야 한다. 디스플레이 속도도 매년 증가되고 가까운 장래에 매우 증진되리라 예상된다. 새로운 디스플레이 기술과 고속의 하드웨어의 조합이 속도 증가를 가능

케 할 것이다. 명암, 색, 잔상, 균일성, 선명성등의 CRT화면 특성이 조금더 연구되어야 한다.

사진 관독대와 비교하면 현재의 디스플레이는 선명하지 않은 것이 사실이다. 특히 균일성과 선명성은 영상의 질을 최적화하기 위하여 더욱 연구되어야 한다.

Workstation의 주요 결점중 하나는 효과적인 보고서 작성의 결핍에 있다. 방사선 서비스의 최종적인 것은 보고서이다. 효과적인 보고서의 능력이 없이 영상만을 가능하게 하는 것은 영상 관리의 기본 목적에 위배된다. 효과적인 보고서 작성과 보고서의 관리의 결합이 IMACS에서도 중요하다. 음성 인식 기술이 아직 보편화 되지 않고 있어 자동 보고서 작성은 힘든 편이다.

IMACS의 운영 효과가 구체적으로 나타날 수 있는 영역은 진단을 위해 사진들의 비교 검토가 많이 이루어지는 곳이다. 여러 상황에서 방사선과 의사들은 진단을 할때 미리 얻어진 영상들을 참조하게 된다. 예를 들면, 어떤 문제에 대한 이력들이 존재하는지, 치료의 효과는 어떠한지등을 참조하게 된다. 그러나 문제는 전에 얻은 영상이 어디에 있느냐 하는 것이다. IMACS에는 영상의 복제가 항상 기록 보관소에는 있다는 점이다. 예전의 검진에 대한 이러한 가능성에 기인하여 응급실에서도 방사선 진단의 진보적인 면을 바랄 수 있게 한다. 현재, 전의 영상을 찾는데 많은 시간이 걸리기 때문에 응급 상황에서는 예전의 영상 비교는 어렵다.

의사에게 다른 장소에 존재하는 영상을 동시에 볼 수 있게 하는 것은 검진과 진찰에 좋은 효과가 있다. 또한 검진에 요구되는 시간을 단축하면서 병원 밖에 있거나 먼 장소에 있는 의사들에 의해서도 진찰이 이루어질 수 있다. 현재 영상은 배달자를 통하여 다른 장소로 보내야 할 필요가 발생되고, 의사는 진찰을 위하여 영상이 있는 장소까지 가야 할 필요도 발생한다. 그러나 IMACS망을 이용하면 망으로 연결되어 있는 어느 장소에서도 영상을 취급할 수 있고, 영상이나 의사가 움직일 때 발생하는 시간 소모를 제거할 수 있다. 많은 경우 더 빨리 검진이 이루어지고, 환자에게는 신속한 치료를 받을 수 있게 한다.

IMACS의 적합성을 방사선 의사들이 지금 하고 있는 것처럼 검진을 위하여 의사들에게 어떻게 쉽고

빠르게 시스템이 허용되느냐 하는 것뿐만 아니라, 제공되는 양질의 정보에 의하여 크게 좌우된다. 현재 의사들 사이에 영상의 질에 대한 많은 이견이 존재하나 큰 문제를 야기시킬 정도는 아니다. 멀리 떨어진 장소에 있는 영상을 신속히 취급하고, 예전에 얻은 사진들을 더 쉽게 취급하고, 상호적인 영상의 질을 높이고, 여러 양상의 사진 관독이 방사선과 의사들에 의하여 요구되고 강조되는 것이 본 논문에서 논한 IMACS의 최대 장점에 속한다. 그러나 방사선 부문에서 유용한 시스템이 되기 위해서는, 기술과 의사의 욕구를 증진시키기 위해서는 꾸준한 변형과 품질 향상이 요구된다.

6. IMACS의 전망

한개의 영상화 장치가 방사선 서비스의 기본적 운영에 영향을 주지않고 관계 비용이 쉽게 계산되고 정당하기만 하면, 관례적인 방사선과 업무에 새로운 진단 영상화 시스템의 통합은 상대적으로 간단하다. 방사선 분야에서 MRI, CT등과 같은 새로운 장치들에 대한 수용도 부분적으로 가속화되고 있다. 왜냐하면 이와같은 새로운 영상들은 환자의 치료에 방사선 서비스와 전문가적인 역할을 증대해 왔기 때문이다. 그러나, 영상화 영상들과는 달리 IMACS기술의 실행은 간단하지만은 않다. 그것은 방사선과를 초월한 다른 서비스도 많이 포함하고 있고, 방사선 서비스의 실행 방법을 변화시킬 수도 있기 때문이다. 재래식 영상 매체인 사진은 거의 백년간 사용되어져 왔고, 영상의 기록과 제시에 많이 요구되는 형태이기도 하다. 많은 방사선과 의사들은 그들의 전문적 생활에서 행하였던 것처럼 계속적인 사진의 사용을 좋아한다. 또한 IMACS개념은 MRI나 CT와는 달리 "진단 의학"이라고 생각되지 않기 때문에 방사선 분야로부터의 지원 유지는 조금 어렵다. 현재 단순한 시스템의 통합은 가능하나, 기능적인 완전한 통합은 더 많은 시간이 걸릴 것이다.

앞으로 IMACS의 효과를 고려하면서 논의되어야 할 문제는 영상의 취득과 정보 관리에 대한 권한과 책임이 진단 영상의 소유권처럼 어느 곳에 주어지느냐 하는 점이다. 다시 말하면, 디지털 영상의 관리에 대한 책임이 방사선과에 있느냐 병원내의 다른 과에 있느냐 하는 것이다. 다음 문제로는 영상의

전송은 최종 사용자에게 조심스럽게 연관지어져야 한다는 것이다. 이것은 Workstation이나 사용자의 신분 증명 암호에 의해서만 영상의 취급에 제한을 두는 것이 중요한 안전상의 문제를 해결하는 방법이 된다. 다음에 주된 관심 부분은 데이터베이스내에서의 영상 관리이다. 매우 유용한 정보의 선택과 불필요한 정보의 폐기 능력도 거론되어야 한다. 영상을 얻는 시간, 환자, 어느 종류의 서비스등에 대한 기록 보존, 정돈 문제도 해결되어야 한다.

Grogetown University Hospital에서의 경험으로 완전 자동화된 방사선 서비스의 장래를 예상할 수 있는 기회를 가졌다. 아직도 방사선과내의 적절한 영상화 망을 설계하기 전에 풀어야 할 문제들이 많이 있으나, 그 목적에 근접할 수 있게 하는 기술은 매우 빨리 발전되고 있다. 현존하는 영상화 시스템의 통합과 고속 초고해상도 디스플레이 시스템, 고속 컴퓨터 망, 초고밀도 저장 매체등 새로운 디지털 장치의 출현들이 방사선과 전체를 디지털화에 근접하게 하는 중요한 단계가 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] ACR-NEMA Digital Imaging and Communications Standard 300-1985, National Electrical Manufacturers' Association, Washington, D.C., 1985.

[2] R.L.Arrenson, "Automation of the Radiology Management Functions," Radiology, vol.153, p. 65, 1984.

[3] R.L.Arenson et al., "Clinical Evaluation of a Medical Image Management System for Chest Images," Amer. J.of Roent., vol. 150, pp. 55-59, Jan. 1988.

[4] R.L.Arenson and J.W.London "Comprehensive Analysis of a Radiology Operations Management Computer System," Radiology, vol. 133, pp. 355-362, 1979.

[5] H.R.Benson et al., "Integation of Radiology Reporting System into PACS," Proc. SPIE 536, pp. 214-217, 1985.

[6] H.R.Benson et al., "Cost Amalysis of an Image and Communication System," Proc. SPIE 1093, pp. 448-457, 1989.

[7] R.E.Braudes et al., "Workstation Modeling and Development:Clinical Definition of a Picture Ar-

chiving and Communication Systems(PACS)User interface," Proc. SPIE 1093, pp. 376-386, 1989.

[8] M.O.Britt et al., "Optical Archive Organization and Strategies for the 1990s," Proc. SPIE 1093, pp. 489-506, 1989.

[9] P.C.Cho, H.K.Huang et al., "Chinical Evaluation of a Radiologic PACS for Coronary Cara Unit," Amer. J.of Roent., vol. 151, pp. 823-827, 1988.

[10] P.S.Choyke, S.K.Mun et al., "Reliability Lssues in Digital Image Archiving," Proc. SPIE 536, pp. 21-25, 1985.

[11] J.R.Cox et al., "Some Design Considerations for Picture Archiving and Communication System," IEEE, pp. 39-49, 1983.

[12] J.R.Cox, G.J.Blaine, R.L.Hill, and R.G.Jost, "Study of Distributed Picture Archiving and Communication System for Radiology," Proc. SPIE 318, 1982.

[13] W.J.Dallas et al., "A Prototype Totally Digital Radiology Department:Conception and Initiation," Proc. SPIE 767, pp. 700-707, 1987.

[14] S.J.Dwyer et al., "Cost of Managing Digital Diagnostic Images for a 614-Bed Hospital," Proc. SPIE 318, p.3, 1984.

[15] S.J.Dwyer, III et al., "Local Area Networks for Radiology," J.of Digital Imaging vol. 1, pp. 28-38, Nov.1988.

[16] M.J.Fisher, "Digital Paper Promises Cost, Storage Gains for Optical Media," Datamation, p. 32& p. 41, 1988.

[17] R.A.Fiske et al., "The Effect of a 2,048×2,048 Digital Display Format on Performance:ROC (Receiver Operating Characteristics) Comparisons of Analog, Hardcopy, and Softcopy Presentation of Radiological Images," Radiology, vol. 165, p.358, Nov.1987.

[18] J.C.Gee, L.A.DeSoto, Y.Kim et al., "User Interface Design for a Radiological Imaging Workstation," Proc. SPIE 1093, pp. 122-132, 1989.

[19] F.Coeringer, S.K.Mun, and B.D.Kerlin, "Digital Medical Imaging:Implementation Strategy for the Defense Medical Establishment," Proc. SPIE 1093, pp. 429-437, 1989.

[20] S.S.Hedge, A.O.Gale, and J.A.Giunta, "AT&T PACS Architecture," Proc. SPIE626, p. 619, 1986.

[21] B.A.Levine et al., "Integration of a Radiology

-
- Information System(RIS) with an Image Management and Communication System(IMACS) : A Comparative Analysis, "Proc. SPIE 1039, pp. 183-192, 1989.
- [22] B.A.Levine et. al., "Optimization of Picture Archiving and Communication Systems (PACS) Network Performance:Simulation and Validation," Proc. SPIE 1093, pp. 330-344, 1989.
- [23] S.B.So, B.H.Krasner, and S.K.Mun. "Impact of Random Noise on Radiological Image Compression," Proc. SPIE 1092, pp.244-250, 1989.
- [24] S.B.Lo et al., "Performance Characteristics of a Laser Scanner and Laser Printer System for Radiological Imaging," J.of Compt. Rad. vol. 10, no. 5, p.227, 1986.
- [25] S.B.Lo et al., "Imaging Quality in Film Digitization and Display:Implications for Releradiology," Proc. SPIE 1093, P P. 252-258, 1989.
- [26] N.J.Mankovich et al., "Operational Radiologic Image Archive on Digital Optical Disks," Radiology. vol. 167, pp.139-142, 1987.
- [27] D.Meyer-Ebrecht and T.Wendler. "An Architectural Route Through PACS," IEEE, pp. 19-28, 1983.
- [28] S.K.Mun et al., "Baseline Study of Radiology Service for the Purpose of PACS Evaluation," Proc. SPIE 914, pp. 978-986, 1988.
- [29] S.K.Mun et al., "Development and Technology Assessment of a ComPrehensive Image Management and Communication Network," Medical Informations, vol. 13, no.4, pp.315-322, 1988.
- [30] S.K.Mun and M.Akisada, "Japanese Move Ahead in PACS with Hospital Implementation," Diagnostic Imaging, pp. 136-149, December 1988.
- [31] E.Nishihara et al., "A High-speed Image-transfer Network for PACS." Proc. SPIE 767, pp. 688-695, 1987.
- [32] S.J.Riederer, "Digital Radiography," Crit. Rev. Biomed. Eng. vol. 12, pp.163-200, 1985.
- [33] G.W.Seeley, D.Figher et al., "Total Digital Radiology department:Spatial Resolution Requirements," Amer.J.of Roent., vol.148, pp.421-426, 1986.
- [34] M.Sonada, M.Takano, J.Miyahara, and H.Kato, "Computed Radiography Utilizing Scanning Laser Stimulated Luminescence," Radiology. vol.148, pp. 833-838, Sep.1983
- [35] H.A.Swett et al., "Optimizing Radiologic Workup: An Artificial Intelligence Approach," J.of Digital Imaging, vol. 2, pp. 15-20, Feb. 1989.
- [36] R.K.Taira et al., "Performance Evaluation of a Clinical PACS Module," Proc. SPIE 1093, pp. 406-415, 1989.
- [37] Y.Tateno, T.Inuma, and M.Takano(editors), "Computed Radiography," Springer-Verlag, Tokyo, 1987.
- [38] R.Vallee, L.Qrozco-Barbosa, and N.D.Georganas, "Modeling and Simulation of Multi-media Communication Networks," Proc. SPIE 1093, pp. 94-105, 1989.