

## PACS를 위한 고속 CODEC의 하드웨어 구현

유선국\* · 박성욱\*\* · 김선호\*\*\* · 김남현\*\*\*\* · 윤대희\*\*

=Abstract=

### Hardware Implementation of High Speed CODEC for PACS

Sun Kook Yoo\*, Sung Wook Park\*\*, Sun Ho Kim\*\*\*, Nam Hyun Kim\*\*\*\*, Dae Hee Youn\*\*

For the effective management of medical images, it becomes popular to use computing machines in medical practice, namely PACS. However, the amount of image data is so large that there is a lack of storage space. We usually use data compression techniques to save storage, but the process speed of machines is not fast enough to meet surgical requirement. So a special hardware system processing medical images faster is more important than ever.

To meet the demand for high speed image processing, especially image compression and decompression, we designed and implemented the medical image CODEC (COder/DECOder) based on MISD (Multiple Instruction Single Data stream) architecture to adopt parallelism in it. Considering not being a standard scheme of medical image compression/decompression, the CODEC is designed programmable and general. In this paper, we use JPEG (Joint Photographic Experts Group) algorithm to process images and evaluate the CODEC.

**Key words :** CODEC, MISD architecture, Parallelism

### 서론

디지털 신호처리 기술과 컴퓨터 및 주변기기 기술이 급격히 발달함에 따라, 기존의 음성 및 데이터 통신 서비스와 함께 정지 영상과 동영상에 이용한 영상 정보 서비스가 가능한 종합적인 정보 통신망 (ISDN: Integrated Service Digital Network)이 구축되고 있으며, 이런 다양한 서비스가 개인용 컴퓨터 하나에 통합되어 가는 추세이다. 이러한

멀티미디어 환경이 점차로 보편화되어감에 따라 의료분야에서도 의료 영상을 컴퓨터로 처리하여 정보를 최대한으로 추출하고, 응급 상황에 network 및 data base 등의 서비스를 통하여 신속히 정보를 호출하여 열람하고 교환함으로써 의료진단 및 치료 활동의 효율을 극대화하고자 노력하고 있다.

한정된 공간, 시간, 의료자원 특히 의료 영상을 효율적으로 이용하기 위한 PACS (Picture Archiving and Com-

\* 순천향대학교 공과대학 전기공학과

\* Dept. of Electrical Eng., Soonchunhyang Univ.

\*\* 연세대학교 공과대학 전자공학과

\*\* Dept. of Electronic Eng., Yonsei Univ.

\*\*\* 연세대학교 의과대학 신경외과

\*\*\* Dept. of Neurosurgery, Yonsei Univ.

\*\*\*\* 연세대학교 의과대학 의용공학과

\*\*\*\* Dept. of Medical Eng., Yonsei Univ.

† 이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

통신저자: 유선국, (337-880) 충남 아산군 신창면 읍내리 순천향 대학교 전기공학과, Tel. (0418) 549-1336, Fax. (0418) 549-1494

munication System)와 tele-radiology 시스템은 고속 데이터 전송, 다량의 데이터 저장, 자동화된 정보의 검색, 시스템 사용의 편리성 및 임상에서의 실용성이 필수적으로 요구된다. 이러한 시스템을 구현하기 위해서는 image display, image processing, data communication, networking, data base, information management, user interface 그리고, data archiving/storage 등의 기술이 종합적으로 복합되어야 한다.

본 연구에서는 병원에서 발생하는 의료영상의 효율적인 관리와 운용을 위한 영상처리를 수행하는데 필수적인 의료영상정보처리 하드웨어 시스템을 구현하였다. 구현된 시스템은 영상처리의 효율을 높이기 위하여 task pipelining의 MISD(Multiple Instruction Single Data stream) 시스템의 개념을 도입하여 확장과 변경이 용이하도록 구현하였다.

## 시스템의 구성과 제작

### 1. 시스템의 구성

환자를 진료하기 위하여 검사 결과를 열람하거나 환자의 과거 검사결과와 관련 영상 정보를 조회할 수 있는 기능을 제공하는 consultation 시스템을 구축함에 있어 데이터는 scanner를 통하여 입력된 디지털 영상이 압축되어진 형태이다. 이러한 데이터의 효과적인 복원을 위한 고속 하드웨어 시스템 구현하기 위해서는 다음과 같은 조건을 고려하여야 한다. 첫째, 의료 영상의 저장을 위하여 현재 사용하고 있는 압축 알고리즘 대신에 의료 영상 압축 및 복원을 위한 표준안이 재정의되거나 혹은 보다 효율적인 알고리즘이 발표된 경우, 시스템은 이러한 다른 알고리즘의 변화에 (Vector quantization, Subband coding, Combined Transform Coding, 2D linear predictive coding, hierarchical interpolation, transform coding,.....) 신속히 대응할 수 있어야 한다. 즉, 다양하게 응용될 수 있는 범용적인 시스템이 되기 위해서는, 구현된 하드웨어에 프로그램만을 변화시킴으로써 다양한 기능을 수행할 수 있도록 하여야 함으로, 범용의 DSP (Digital Signal Processor)를 이용하여 프로세싱 유닛을 구현한다. 둘째, 저가격으로 시스템을 구현하기 위하여 범용의 컴퓨터인 IBM-PC compatible과의 인터페이스를 통하여 구현된 하드웨어를 제어할 수 있으며 데이터 교환이 가능한 시스템이 되어야 한다. 셋째, 다양한 전공분야별 응용, ISDN 및 기타 고속, 공중 통신망과의 접속, 기존의 응용 프로그램과의 접속을 용이하도록 구성한다.

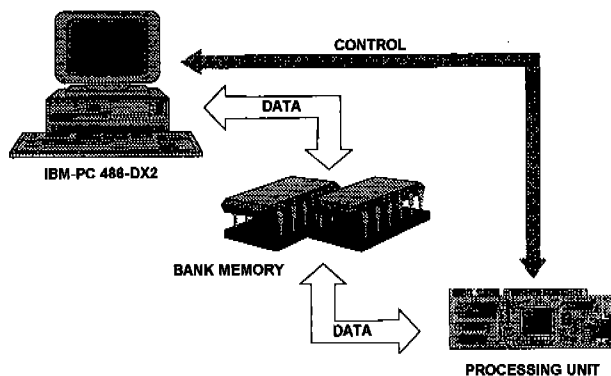


그림 1. 시스템의 구성도  
Fig. 1. The system configuration

본 연구에서는 범용의 DSP로는 아날로그 디바이스사의 ADSP-2111<sup>1)</sup>을 호스트로는 IBM-PC (486 DX-66)를 선택하였다. 그리고, 복원된 영상자료를 출력하는 데는 NEC 21인치 컬러모니터를 사용하였다. <그림 1>은 이러한 조건을 고려하여 완성된 시스템의 구성도이다.

### 2. 프로세싱 유닛의 설계

의료 영상 정보 처리 시스템은 의사들의 진료활동을 돕기 위하여 다양한 영상 처리 기법의 수용이 요구되는데 특히 막대한 양의 정보량을 가지는 영상의 신속하고 효율적인 압축, 복원을 수행할 수 있는 기술이 요구된다<sup>2, 3, 4)</sup>. 하지만, 영상 정보를 효율적으로 다룰 수 있는 압축 기법들을 실제로 사용하는 시스템들은 많지 않다. 압축을 행하는 과정에서 발생하는 엄청난 계산량을 신속히 처리하기 위해서는 특별한 용도의 하드웨어가 필요하기 때문이다. 본 연구에서는 시스템이 영상 압축과 복원을 고속으로 수행하기 위한 프로세싱 유닛을 구현하였다.

구현된 하드웨어에는 한정된 메모리 공간을 갖는 DSP와 데이터 교환에 의한 I/O bound 문제를 해결하기 위하여 메모리 뱅크 구조를 이용함으로써 데이터 교환의 효율을 높였다. 또한 호스트 인터페이스 포트를 이용하여 모든 제어 신호가 교환되며, 호스트가 프로그램 다운 로딩을 함으로써 시스템이 부팅된다.

#### 2-1. DSP (Digital Signal Processor) 사양

ADSP-2111은 호스트 인터페이스 포트를 따로 가지고 있다. 또한 16bits의 고정 소수점 연산을 수행하는 자기 독립적인 ALU, Multiplier/Accumulator, Barrel Shifter를 가지고 있으며, 데이터 메모리 버스와 프로그램 메모리 버스를 따로 가지고 있어서 내부 연산에서 concurrency가 높다<sup>1)</sup>.

2-2. 프로세싱 유닛 시동

프로세싱 유닛이 동작하기 위하여 먼저 DSP의 부팅 (booting)과정이 필요하다. ADSP-2111은 프로그램 되어 있는 롬(ROM)으로 부팅의 부팅과 호스트로 부팅의 다운로드를 통한 부팅 모드가 있다. 본 시스템은 다양한 알고리즘을 수행할 수 있도록 하기 위하여 호스트로 부터 프로그램을 다운로드하도록 구성하였다.

프로세싱 유닛의 기본적인 동작은 다음과 같다. 전체 알고리즘의 수행을 시작하기 전에 먼저 호스트로 부터 동작할 기능(function)을 수행할 수 있는 프로그램을 호스트 인터페이스 포트를 통해서 다운로드 받는다. 프로그램을 다운 받은 DSP는 초기 작업을 마친 후, 호스트와의 통신을 시작한다. 이 통신은 polling scheme을 가지고 진행되는데 호스트 인터페이스 포트를 이용한다. 호스트 레지스터를 메일 박스(mail box)로 이용하여 미리 정해진 값을 교환함으로써 호스트와 DSP의 작업 진행 상황을 상호 교환한다.

3. 영상 압축 알고리즘의 선택

의료 영상의 표준형식으로는 서로 다른 디지털 의료 영상 장비들 간에 영상 및 관련 정보들을 상호교환할 수 있는 인터페이스를 정립하기 위해 1983년 발족된 미국의 ACR-NEMA Digital Imaging and Communication Standards Committee에서 제안한 ACR/NEMA와 1984년 일본의 JIRA (Japan Industries association for Radiation Apparatus)에서 MIPS (Medical Image Processing System)라는 의료영상 전송 표준안을 내놓았다. ACR/NEMA와 MIPS 모두 서로 다른 의료 영상 장치들간의 정보 전달을 용이하게 하기위한 즉, 인터페이스를 위한 정보의 표준형식이다. 이는 디지털 의료 영상의 획득을 위해 꼭 필요한 사항이지만, 엄청난 정보량을 가지는 영상의 저장, 보관 및 전송하는 데 필요한 표준 형식을 규정하지는 않는다<sup>4,5)</sup>

최근의 연구결과에 의하면 가슴 X-rays와 같은 영상의 경우 영상 전체에 대해 DCT(Discrete Cosine Transform)를 취했을 경우 10:1에서 20:1의 비율로 손실있는 영상 압축을 행했을 때, diagnose에 큰 영향을 주지 않는다고 한다<sup>6)</sup>. 본 연구에서는 이 영상정보의 정보량을 줄이는 압축 방식으로 영상정보 압축에 우수한 성능을 보이는 JPEG 표준안<sup>7)</sup>을 이용하였다. <그림 2>은 JPEG에서 제안한 손실 있는 영상 정보 압축 방법이다. JPEG 표준안은 Discrete Cosine Transform(DCT)을 기반으로 하여 영상을 처리한 후, entropy coding을 함으로써 최종 bit-stream을 생성도록 권고하고 있으며 이 방법으로 10:1 이상을 압축률을 얻을 수 있다. 이렇게 압축된 영상의 화질은 방사선과 전문

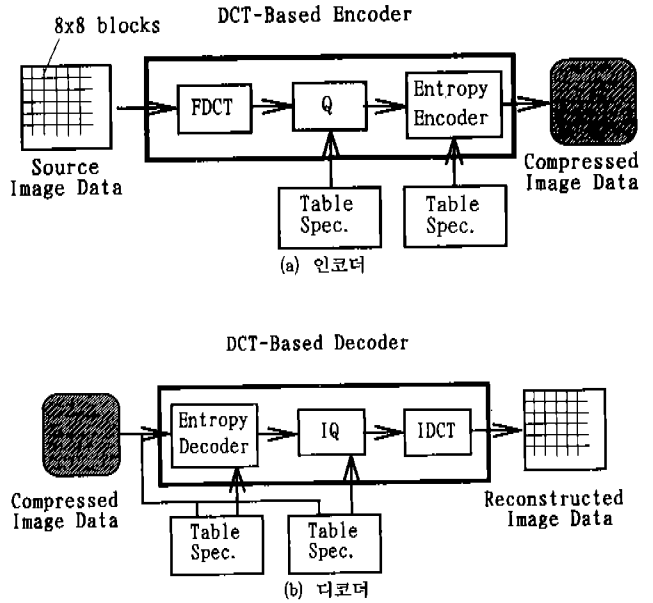


그림 2. JPEG 알고리즘의 전체 흐름도  
Fig. 2. The block diagram of the JPEG algorithm

의들이 보았을 때, decision making에 전혀 불편함이 없고 diagnose도 가능한 정도였다.

4. MISD 시스템의 구현

Michael Flynn은 다양한 컴퓨터 구조를 명령어 흐름(instruction stream)과 데이터 흐름(data stream)을 기준으로 SISD(Single Instruction Single Data stream), MISD(Multiple Instruction Single Data stream), SIMD(Single Instruction Multiple Data stream), MIMD(Multiple Instruction Multiple Data stream)의 네가지 모델로 분류하였다<sup>9)</sup>.

SISD 시스템에 해당하는 호스트가 영상의 압축과 복원을 위해 JPEG 표준안을 단독으로 수행하는 경우 엄청난 계산량으로 시스템의 동작 속도가 저하된다.

이와 같은 SISD 시스템의 동작 속도를 향상시키기 위해서는 어떠한 형태의 concurrency가 반드시 도입되어야 한다. 여기에 SISD 시스템인 프로세싱 유닛을 호스트에 인터페이스 시킴으로써 데이터 흐름의 pipeline 구조를 갖는 MISD 시스템 구조를 갖도록 영상 처리 시스템의 구조를 변경한다.

4-1. task의 분할

영상 처리 시스템이 가장 이상적인 속도를 내도록 하기 위해서는 MISD 시스템의 각 프로세서에 가장 잘 부합되는 task들이 할당 되어야한다.

<표 1>의 소요시간을 측정하기 위하여 VLD는 spec.에

표 1. JPEG 표준안의 각 task별 계산시간 소요량

Table 1. The computation time of the JPEG for each task

TASK	시간(초)	할당될 활성 모듈
Variable Length Decoding	1	호스트
Dequantization	0.5	DSP
DC term 복원	0.05	DSP
Inverse DCT	2.5	DSP
Data clipping for display	0.05	DSP
Display	1	호스트

테스트 영상: 1024 × 768, 8bit resolution, Gray level Image

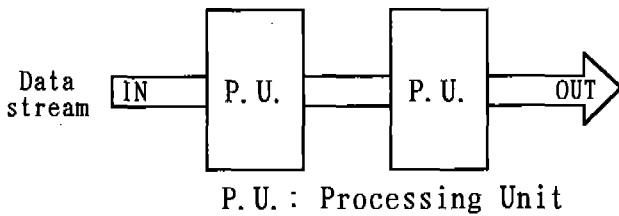


그림 3. 구현된 MISD 시스템 개략도

Fig. 3. The simplified diagram of the realized MISD system

서 제시한 허프만 디코딩 방법<sup>7)</sup>을, IDCT를 행하기 위해서는 fast 알고리즘<sup>8)</sup>을 변형하여 이용하였다. 각각의 task를 살펴보면, 알고리즘은 크게 VLD, IDCT, Display로 나눌 수 있으며 그 중 IDCT가 가장 부담이 크다는 것을 알 수 있다.

이렇게 분할된 task를 각 프로세서(486-DX2, ADSP-2111)에 할당함에 있어, 먼저 각 task가 요구하는 처리 방법과 각 프로세서의 기능을 고려할 필요가 있다. VLD과 정은 bit 단위로 비교 처리를 하기 때문에 다중 처리를 함에 있어 데이터 스트림을 분할하기가 까다롭다. 그리고 지그재그 스캐닝 순서와 라스터(raster) 스캐닝 순서와의 상호 변환과 영상을 보여 주는 display를 적절히 제어하는 것은 고속의 계산 기능 위주로 설계되어 있는 ADSP-2111를 사용하는 것보다 범용의 프로세서로 설계되어 있는 486-DX2가 처리하는 것이 보다 효율적이다. 그리고 계산량이 많은 DC difference 항의 연산과 IDCT, 데이터 clipping 및 formatting은 ADSP-2111이 처리하도록 하는 것이 보다 효율적이다.

결국, 분할된 일들 중에서 VLD, 스캐닝 순서 변환, display는 호스트에, dequantization, DC term 복원, IDCT,

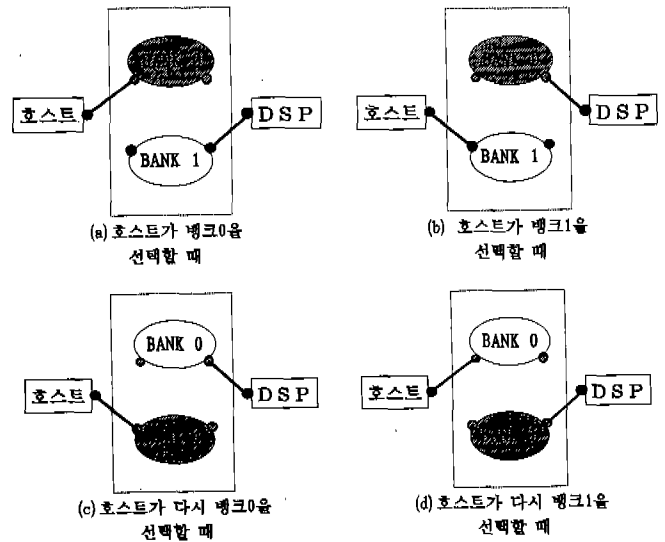


그림 4. 뱅크스위칭 진행도

Fig. 4. The flowdiagram of the bank switch

clipping은 프로세싱 유닛에 할당되었고 각 프로세서들은 할당된 일(task)들을 수행할 수 있는 기능(function)을 갖도록 프로그램 되었다.

#### 4-2. MISD 시스템의 동작

각 프로세서에 할당될 일과, 수행되어질 기능들이 목적에 맞게 나누어지고 할당되었지만 전체 알고리즘의 효율의 증대를 위해서는 concurrency를 최대한으로 증대시키는 것이 필요하다. 본 연구에서는 원활한 데이터의 흐름을 보장하여 concurrency를 증대하기 위해서 뱅크 스위칭을 이용한 MISD 구조를 이용하였다.

전체적으로 볼 때, 영상을 압축하거나 복원함에 있어 처리될 데이터는 하나의 흐름으로서 특정한 기능을 하는 일련의 프로세서들을 지나가면서 처리되어 원하는 결과에 이르게 된다. 이 과정은 <그림 3>로 나타낼 수 있다.

입력된 데이터는 먼저 호스트와 DSP가 공유하고 있는 메모리에 들어온다. 이 때, 정확하게 말하자면 두개의 뱅크 중 하나인 BANK 0에 들어간다(그림 4(a)). BANK 0에 입력된 데이터를 갖게 된 호스트는 앞서 말한 호스트의 분담된 역할에 의하여 데이터를 처리한다. 그리고, 뱅크 스위칭을 통하여 DSP에 처리된 데이터를 넘긴다. 그리고 호스트는 BANK 1에 입력된 다른 데이터 스트림(data stream)을 처리하기 시작한다. 이와 동시에 DSP는 호스트로부터 넘겨 받은 일차 처리된 데이터를 처리한다(그림 4(b)). 호스트와 DSP간의 상호 통신으로, polling, 서로의

표 2. 디코딩 알고리즘의 task별 소요시간 비교

Table 2. The comparison of the computation time per each task of the decoding algorithm

시간: 초

TASK	다중 프로세서 사용 시 할당된 활성 모듈	단일 프로세서	다중 프로세서
Variable Length Decoding	호스트	1	1
Dequantization	DSP	0.5	1.87 (0.77)
DC term 복원	DSP	0.05	
Inverse DCT	DSP	2.5	
Data clipping for display	DSP	0.05	
Display	호스트 (display controller)	1	0.4
전체 숨모 시간		5.1	2.17

다중 프로세서에서 괄호안의 숫자는 concurrency에 의해 절감된 실제 동작에 필요한 시간

처리 과정이 완료되었음을 인지한 후 다시 뱅크 스위칭이 발생하여(그림 4(d))의 상태가 된다. 이와 같은 방법으로 모든 입력된 데이터 스트림에 대하여 자기 다른 기능을 수행하는 두 개의 프로세서가 하나의 job을 병렬적으로 수행한다. 그리고 이 과정에서 필요한 모든 컨트롤은 IBM-PC가 담당한다.

### 실험 및 결과 고찰

제작된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 다음의 과정을 수행하였다.

1. 스캐너를 통하여 CT, MRI 영상을 1024 × 768 화소의 크기에 8bit의 분해능을 갖도록 입력한다.
2. 입력된 영상을 JPEG 표준안을 이용하여 10:1 압축하여 디스크에 저장한다.
3. JPEG 표준안을 이용하여 압축된 영상을 복원하는데 필요한 ADSP-2111용 코드를 호스트 인터페이스 포트를 통하여 ADSP-2111의 프로그램 메모리에 다운 로딩한다.
4. 영상의 복원을 실행한다.
5. 3.과 4.의 과정을 앞서 나눈 각각의 task별로 수행하여 소요 시간을 측정함으로써 하드웨어의 성능을 평가한다.

실험 결과는 <표 2>과 같다. 여기서 display에 필요한 시간이 단일 프로세서를 사용했을 때보다 줄어든 것은 프로세싱 유닛에서 처리한 결과 값을 일괄적으로 출력함으로써

처리 시간이 절감되기 때문이다. 전체 소모 시간은 표에서와 같이 2.17초로 단일 프로세서를 이용한 경우보다 2배 이상 빠른 결과를 보였다.

### 결 론

본 연구에서는 의료 영상의 효율적인 처리를 위하여 필수적인 하드웨어 시스템을 알고리즘 수행에 concurrency가 높은 다중 병렬 처리 시스템으로 MISD 구조의 개념에 근거하여 설계하고 제작하였다.

제작된 시스템을 이용하여 실험을 한 결과 전체 영상 복원 시간이 약 2.17초의 빠른 속도를 보였고, 대상 영상의 크기를 256 × 256으로 하였을 경우 초당 여섯에서 일곱장의 영상을 복원할 수 있어 동 영상의 실시간 복원에도 사용할 수 있다. 또한 설계된 프로세싱 유닛은 프로그램 다운 로딩으로 다른 기능을 수행할 수 있는 범용 시스템으로 다양한 신호 처리 분야에 응용하여 사용할 수 있다.

### 참 고 문 헌

1. ADSP-2111 Family user's manual, Prentice Hall, 1993
2. Osmann Ratib, "From multimodality digital imaging to Multimedia patient record". Com. Med. Imaging Graphics, Vol. 18, No. 2, pp. 59-65, 1994
3. Duchene, J. F. Lerallut, N. Gong, R. Kauz, "Micro PACS: a PC-based small PACS implementation", Med. & Biol. Eng. & Comput., May, 1993
4. Osmann Tatib, Yves Ligier, Jean Raoul Scherrer, "Digital Image Management and Communication In Medicine", Com. Med. Imaging Graphics, Vol. 18, No. 2, pp. 73-84, 1994
5. Kevin M. McNeill, Masakazu Osada, "Evaluation of ACR-NEMA Standard for communications in digital Radiology", IEEE trans. Med. Imaging, Vol. 9, No. 3, Sept., 1990
6. Chan K. K., Lou S. L, Huang H. K., "Radiological image compression using full-frame jcosine transform with adaptive bit-allocation", Com. Med. Imaging Graphics, pp. 153-159, 1989
7. "Digital compression and coding of continuous tone still images, part 1, requirements and guidelines", ISO/IEC JTC1 Draft International Standard 10918-1, Nov. 1991
8. Christoph Loeffler, Adriaan Ligtenberg, and George S. Moschytz, "Practical fast 1-D DCT algorithms with 11 multiplications", ICASSP '89, 1989, pp. 988-991
9. A. John Anderson, Multiple processing, Prentice-Hall, 1989
10. Srinath V. Ramaswamy and Gerald D. Miller, "Multiprocessor DSP architectures that implement the FCT based JPEG still picture compression algorithm with arithmetic coding", IEEE trans. consumer electronics, vol. 39, no. 1, Feb. 1993, pp. 1-5