

PC (Personal Computer)를 이용한 Emergency Teleradiology (Medical Image Transmission) System의 개발과 응용

연세대학교 의과대학 신경외과,* 순천향대학교 공과대학 전기공학과,**
연세대학교 공과대학 전자공학과,*** 연세대학교 의과대학 의용공학과****
김선호* · 유선국** · 박성욱*** · 김원기****

= Abstract =

The Development and Application of Emergency Teleradiology (Medical Image Transmission) System with Personal Computer

Sun Ho Kim, M.D.,* Sun Kook Yoo, Ph.D.,**
Sung Wook Park, M.S.,*** Won Ki Kim, Ph.D.****

Department of Neurosurgery, Department of Medical Engineering,*****

Yonsei University College of Medicine, Seoul, Korea

*Department of Electrical Engineering,** Soonchunhyang University College of Engineering, Chungnam*

*Department of Electronic Engineering,*** Yonsei University College of Engineering, Seoul, Korea*

In the clinical practice of neurosurgery, there are frequent needs which require urgent communication between housestaff and attending physician due to the emergency situation. But, the traditional methods such as telephone communication were not sufficient and sometimes, result in misjudgment of patient's status. So, our research team develop the computer software which can be used for emergency surgical and medical decision making. This software can transmitted the high quality images of CT, MRI and other X-ray with the conventional telephone line and personal computer system.

KEY WORDS : Teleradiology · Data compression · PACS.

서 론

최근 수년 동안 눈부시게 발전하는 computer technology의 힘입어 의학분야에서도 medical image를 computerize하는 노력들이 시도되고 있다. 그 중 대표적인 예가 filmless hospital을 저항하는 PACS

논문접수일 : 1994년 5월 23일

심사통과일 : 1994년 6월 17일

(Picture Archiving and Communication System)¹⁾³⁾⁴⁾

로 대형 computer system을 medical imaging system (CT, MRI, plain X-ray등)과 연결시켜 궁극적으로 현재의 대단위 종합 병원들이 안고 있는 film의 보관, 검색에 따르는 문제점을 해결하려는 방법이다. 이 PACS는 현재 전세계적으로 10개 미만의 병원에서 시험적으로 가동되고 있으나 아직은 엄청난 천문학적 비용이 필요하고, 앞으로 computer

system의 급속한 발전과 가격과 하락을 예상할 때 현시점에서 PACS를 설치하는데는 많은 문제점을 내포하고 있다.

그러나 PACS의 한 분야를 독립적으로 운용하는 teleradiology는 medical image를 디지털 신호처리(digital signal processing)하여 정보통신망을 이용하여 원거리로 보내는 방법으로 전반적인 PACS보다 현실적으로 임상적인 의의를 더 가지고 있다. 실제로 이 system의 개발에 선두적인 역할을 하고 있는 미국방성의 MDIS(Medical Diagnostic Imaging Support) project의 경우를 보면, 천재지변(Hurricane Hugo)이나 전쟁(Granada 침공, Operation Desert Storm)시 인공위성을 통한 teleradiology system을 운용하므로써 많은 인명을 구제하는데 효용성을 발휘하였다²⁾.

현재 국내에서는 높은 교통사고 발생율과 환자들이 대단위 종합 병원으로 편중되는 경향으로 인하여 응급 수술을 요하는 수많은 환자들이 응급실을 통해 내원하게 되며 병실에 입원 중 상태가 악화되어 응급 조치를 요하는 환자들이 발생하고 있다. 그러나 이런 환자에 대한 surgical, medical decision making이 필요할 때 담당 주치의가 병원에 없거나 전공의들 만으로는 치료방침의 결정이 어려운 경우가 종종 발생한다. 이러한 경우 지금까지의 통상적인 방법으로 전화를 통하여 담당주치의와 상의하여 환자의 치료를 결정하거나 주치의가

병원에 나와 판단하게 되므로써 전화만으로는 정확한 상황의 전달이 어렵거나 경우에 따라서는 틀린 결정을 내리게 될 가능성은 항상 존재하며, 시간적으로도 환자가 입는 손실이 클 수 밖에 없다.

본 연구팀에서는 여기에 초점을 맞추어 1) 진단이 가능할 정도의 가능한 한 최고의 화질의 의료영상을 2) 가장 빠른 방법으로 3) 적은 투자비용으로 보낼 수 있는 4) computer의 전문가가 아니더라도 손쉽게 사용할 수 있는 기본적인 teleradiology system을 개발하고자 시도하였고 이를 시험운용한 결과 긍정적인 결과를 보았기에 문헌고찰과 함께 보고하고자 한다.

연구재료 및 방법

1. 시스템의 구성

이 teleradiology system을 개발하는데 앞서 서론에서 기술한 바와 같은 조건을 만족시키기 위하여 시스템의 사양을 다음과 같이 결정하였다. 송신부의 system 구성은 graphic accelerator를 갖춘 IBM PC compatible(486 DX급, 16MB memory) computer를 기본으로하여 9,600bps(bit per second) 전화 modem, 21" non-interaced 1,024×768 monitor, X-ray scanner로 구성하였고, 수신부는 IBM PC compatible(486 DX급, 4MB memory) computer, 9,600bps 전화 modem, 14" non-interaced 1,024×768 moni-

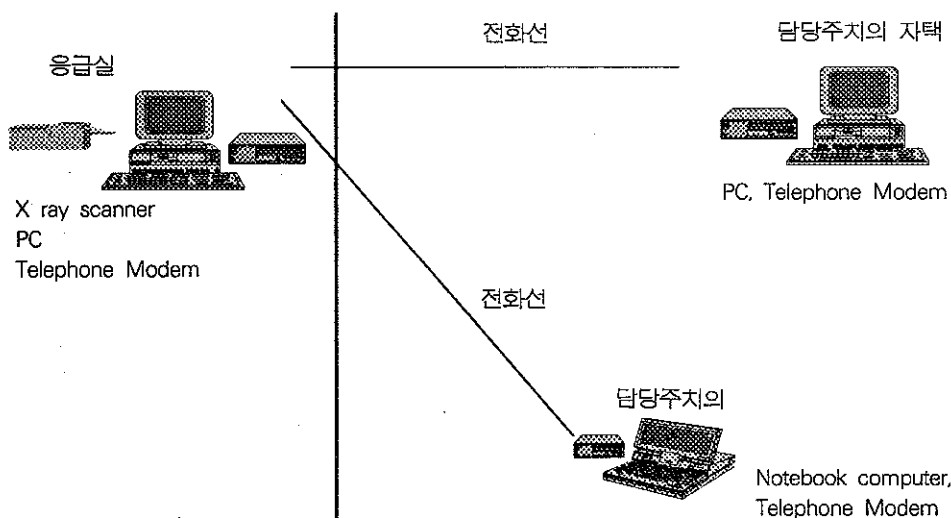


그림 1. Hardware의 구성.

tor로 구성하였다. 시스템의 구성 및 배치는 그림 1과 같다.

2. Software의 개발

전체의 software는 scanner를 이용하여 MRI, CT, plain X-ray 등의 영상정보를 입력하는 영상입력부, 입력된 영상을 효율적으로 관리하기 위한 영상처리부(display, image compression...), 그리고 정보를 외부로 전송하고 수신할 수 있게 해주는 통신부로 구성되어 있다.

1) 영상정보 입력부

본 연구의 초기 단계에서는 A4 size transparency scanner를 사용하였으나 14"×17" 크기의 plain x-ray를 scan하는데 문제가 있고, 부분만을 scan하기 위한 조작을 하는 시간을 절약하기 위하여 나중에는 A3 size의 scanner를 사용하여 14"×17" film 전체를 scan 하였다. Scanner control은 시장에서 구입할 수 있는 commercial한 software(Micrographix Picture Publisher 4.0, Aldus Photostyler 2.0)를 사용하여 다.

영상 입력은 150dpi(dot per inch)로 하였으며, 영상정보의 표준화를 위해서 1,024×768 화소(pixel)로 영상의 크기를 조정하였다. 입력된 영상 자료는 압축과 전송 및 다른 응용프로그램과의 호환성 유지를 위하여 표준형태로 저장할 필요가 있으므로 graphic image의 기본인 TIFF(Tagged Image File Format)로 hard disk에 수록하였다.

2) 영상 처리부

영상정보 입력부에서 입력한 영상정보를 디지털화하여 computer screen에 표시하기 위하여는 256 gray level을 사용하였으며, 이는 1,024×768×8 (bits)=6,291,456(bits)로 많은 정보량을 생산하게 된다. 이러한 영상정보는 14"×17" film을 1장 scan하여 TIFF file로 저장한다면 약 4.1 Megabyte의 기억용량을 필요로 한다.

또한 현재 국내 전화선으로 안정되게 보낼 수 있는 최대 통신 속도인 9,600 bps로 모뎀을 이용하여 이 영상 자료를 담당 주치의의 자택이나 외 병원에 전송함에 있어서 약 10.9분의 시간이 소요되므로 응급상황에 실제로 사용하기전에 무리가 따른다. 따라서 본 연구에서는 이 영상정보의 정

보량을 줄이는 압축방식으로 영상정보압축(image data compression)에 우수한 성능을 갖고 있는 JPEG (Joint Photographic Experts Group)에서 제안한 영상압축표준안에 의거하여 영상 압축 프로그램을 개발하였다. 따라서 scanner를 통해서 얻어진 영상은 TIFF나 JPEG format로 hard disk에 저장할 수 있으나, 이 software에서는 scan 후 영상을 압축하는데 소요되는 시간과 과정을 줄이기 위하여 TIFF file로 얻어진 영상을 송신과정에서 back ground로 JPEG compression하여 곧바로 송신하도록 설계하였다.

3) 통신부

(1) 송신부

원래의 영상정보를 JPEG표준안을 따라 10 : 1로 압축하여도 약 $6,291,456/10=629,145$ (bits)가 된다. 이양은 9,600 bps를 사용하여 영상을 전송한다 하여도 1분이상의 시간이 소요되는 분량이다. 그래서 보다 짧은 시간 안에 영상을 받아 보기 위하여, 이와 같은 높은 비율로 압축되어 있는 오류없는(lossless compression) 영상을 전송할 때 쓰는 interpolative coding technique을 사용하였다⁶⁾⁷⁾⁸⁾. 이는 수신하는 쪽에서 첫번째 수신영상이 원래 영상 그자체가 아니라 근사화되어 있는 영상이라도 상관없이 없고, 시간 경과에 따라 빠르게 개선되어 적정한 시간 안에 원 영상을 보아도 좋을 때 유용한 방식이다. 이 방식은 특히 채널 용량이 비교적 적은 전화선을 전송 선로로 이용하는 경우에는 더욱 필요하다.

본 연구에서는 상기한 코딩 테크닉으로 JPEG hierarchical mode를 이용하여 점진적으로 계속하여 영상을 전송하였다. 자세한 방식은 그림 2와 같다. 쉽게 말해서 입력된 영상을 약 200 : 1로 압축하여 이를 첫 영상으로 송신하고, 수신자가 이 영상을 받아 보면서 전체 윤곽을 파악하는 동안 원래 영상으로 부터 초기 영상을 뺀 차이를 다시 압축하여 송신하는 과정을 2번 반복한 후, 최후로 남은 차이값을 송신하여 2, 3, 4차 영상이 순차적으로 첫 번째 영상 위에 덧붙이리게 하는 방식이다.

(2) 수신부

수신부는 영상을 받아 보게 되는, computer에 전문지식이 없는 일반적인 의사를 대상으로 설계하였다. 따라서 필요조건으로는 병원에서 걸려온

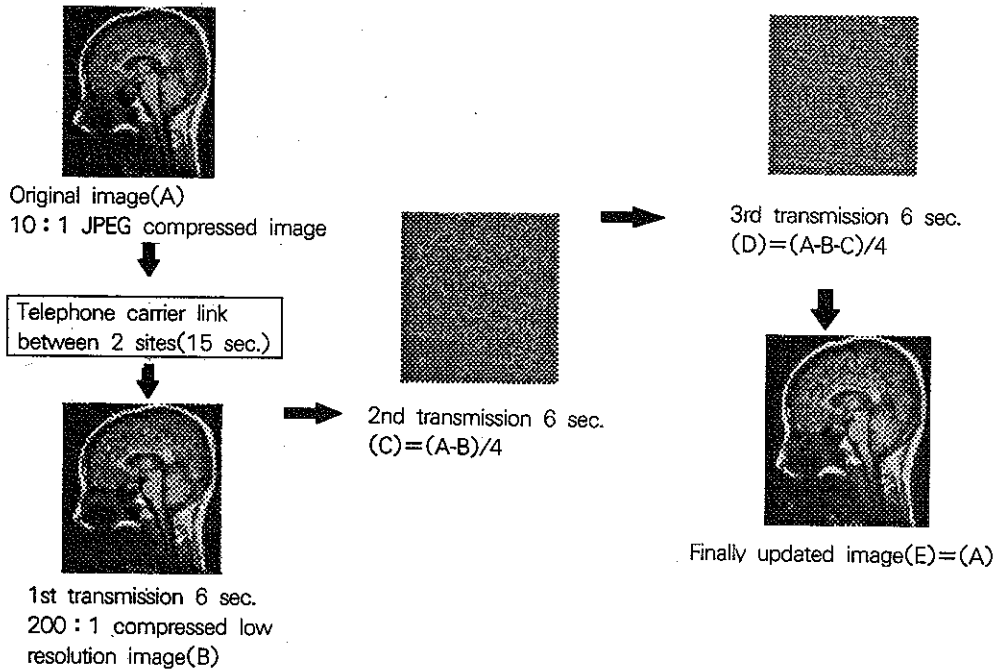


그림 2. Diagram of data transmission.

전화에 의해 응급환자가 있다는 것을 알고 30초~1분 내에 computer를 수신 상태로 조작할 수 있어야 하므로, computer를 가동시키고 2~3개의 key를 조작하여 곧바로 수신 대기 상태로 들어갈 수 있도록 하기 위하여 DOS(Microsoft Disk Operating System) base로 software를 설계하였다.

결 과

개발된 시스템의 시험 운용 과정에서의 영상정보의 입력은 Windows(Microsoft Windows 3.1) 환경하에서 시중에서 구입할 수 있는 3종의 transparency scanner(Sharp JP610, Hewlett Packard Scanjet Hcx, AVR 8,000)에서 만족할 만한 영상을 얻을 수 있었으며, 여러 방사선과 전문의들로 부터 decision making 뿐 아니라 진단을 내리기에도 충분할 만한 quality의 영상이라는 평가를 받았다. 이 영상 정보는 scanning software에 의해 곧바로 TIFF file로 저장되며 Windows 환경하에서 곧바로 송신 대기 상태로 전환이 가능하였다. 정보의 송신 속도는 서울 지역을 대상으로 실험한 결과에 의하면 약 300회의 9,600bps의 모드로 송수신 실험에서 1~2

회의 접속 중단이 초래되었을 뿐 특별한 문제점은 발생되지 않았다.

송신자 측에서 영상의 scanning 시작에서 부터 송신 시작까지 약 3분의 시간이 소요되었으며 이 조작은 이 project에 참여한 바가 없는 일반적인 의사에게 2~3회의 조작 교육을 거쳐 아무런 문제점 없이 수행할 수 있었다.

수신자측에서는 병원으로부터 연락을 받은 후 수신 대기 상태까지 computer를 조작하는데 약 1분이 소요되었으며, 수신 시작 시점에서 첫 영상이 화면에 도달할 때까지 약 21초가 소요되었다. 이 21초 중 전반의 약 15초는 양측 모뎀이 연결된 후 선로 상태를 확인하는 carrier link control에 사용되는 시간으로, 이를 없앨 수는 있으나 carrier link control을 없앨 경우 error correction에 문제가 생길 소지가 있어 이 부분에 대한 시간 단축은 시행하지 않았다. 실제로 14"×17"의 MRI, CT film 한 장을 수신할 때 carrier link control이 끝난 후 부터 초기 화면이 display되기까지 걸리는 시간은 약 6초 정도였으며 2번째 영상이 약 6초, 3번째 영상이 약 6초 소요되었고 final detailed image가 약 1분 가량 소요되었다. 그러나 4번에 걸린 영상 전송 중

2번째 영상이 수신되면 대부분의 경우 decision making이 가능 하였다.

따라서 전체적인 시간으로 따져 볼 때 송신 준비에서 수신 완료까지 걸리는 시간은 약 7~8분이 소요됨을 확인할 수 있었다.

고 찰

지금까지 외국에서 개발되어 사용되고 있는 tele-radiology system의 대부분은 full PACS의 일부분으로 사용되거나, 원거리에 떨어져 있는 방사선과 전문의에게 영상의 판독을 의뢰할 목적으로 개발된 시스템들이 주종을 이루고 있다¹⁾²⁾³⁾⁴⁾. 따라서 대부분 lossless compression(3:1 이내의 compression algorithm을 사용함)을 원칙으로 하며 수신자측의 장비들은 2K monitor(2,048×2,048 pixel)와 이를 운용할 수 있는 computer system으로 구성되어 있고 통신 선로 역시 일반적인 전화선을 이용하는 것이 아니고 인공위성 또는 광케이블(fiber optic cable)을 이용하는 시스템으로 고가의 장비들을 필요로 하고 있으며 대부분이 CT, MRI 장비와 직접적으로 연결되어 사용되고 있다.

그러나 이 연구의 주된 목적은 진단이 목적이 아니라 decision making이며, 신경외과 분야에서 decision making에 가장 결정적인 역할을 하는 영상 정보가 high resolution을 요구하는 analog image(plain X-ray)가 아닌 digital image(CT, MRI)이기 때문에 일부 데이터의 손실을 감수하더라도 빠른 시간내에 데이터를 전송하게 하여 전체적인 decision making에 주안점을 두고 개발하였다.

이 software의 계획 단계에서 어떠한 방법으로 영상정보를 입력할 것인지에 대한 논란이 있었다. 가장 좋은 방법은 CT 또는 MRI 장비로부터 직접 영상정보를 computer가 받고 하는 것이나 이 방법은 다음의 몇가지 문제점에서 제외되었다. 첫째, CT, MRI 장비를 직접 computer와 interface 시키기 위해서는 각 CT, MRI 장비의 data format에 맞추어 image의 format를 맞추어야 하나, 장비회사들은 이를 위한 data conversion protocol을 수반 불이상 요구하고 있고, 둘째, 실제로 응급환자의 경우 외부 병원의 film을 가져오거나 한 병원에서도 여러가지 다른회사의 장비로 검사를 수행하는 경

우가 많아 보편적인 방법을 택하기 위하여 scanner를 통한 input을 이용하기로 하였다. Scanner의 결정과 scanner를 control하는 software를 직접 제작할 것인지에 대해서도 많은 토론을 거쳐야 했는데, 그 이유는 scanner를 control하는 software를 직접 개발할 경우, scanner의 조작에서 부터 영상 정보의 관리, 송수신 까지의 전 과정을 좀 더 효율적으로 관리할 수는 있으나, 반면 국내에서 구입 가능한 모든 scanner에 맞는 software를 개발한다는 것은 불가능하며, 앞으로 더 성능 좋은 scanner가 생산되더라도 그 scanner에 맞는 scanner control software를 개발하지 못하면 이를 사용할 수가 없어, Windows 환경하에서 사용할 수 있는 scanner를 사용자가 선택하는 것을 전제로 하여 commercial scanning software를 사용하도록 하였다. Computer에서 영상 데이터를 저장하는 데는 여러가지 방법이 있으나 가장 보편적으로 데이터의 호환성을 보장하는 방법이 uncompressed TIFF로 대부분의 graphic software에서 호환이 가능하므로 영상정보를 저장할 때 표준화된 uncompressed TIFF file로 데이터를 보관할 수 있는 scanner와 control software를 사용하도록 하였다.

의료 영상을 scanner를 통하여 디지털 데이터화 하는데 있어서 가장 중요한 점은 어떻게 해서든지 원래의 영상이 가지고 있는 quality를 가급적 손실 없이 얻을 수 있는가 하는 점이다. 따라서 그 동안의 많은 실험을 거치는 동안 CT, MRI의 영상정보는 본래의 영상이 256×256 또는 512×512 matrix로 구성되기 있기 때문에 150 dpi로 scanning할 경우 데이터의 양을 최소화하면서 거의 완벽한 영상을 얻을 수 있다는 것을 확인할 수 있었다.

현재까지의 데이터의 손실 없이 가능한 영상압축기술(lossless compression)은 3:1 압축이 최대인 것으로 알려져 있으며⁵⁾⁶⁾, 계산상으로 보아 10:1 압축에서는 약 5%의 데이터 손실을 감안하여야 한다. 실험해 본 결과에 따르면, CT, MRI데이터는 10:1까지 압축하였을 때 영상을 약 8배까지 확대하여야만 원래의 TIFF file 영상과의 차이를 구분할 수 있었으므로 이를 영상압축의 한계로 정하고 software를 설계하였다.

이 software의 개발 과정에서 영상의 크기 및 밀도를 1,024×768 matrix로 정한 것은 몇가지 이유가

있다. 대부분 수신자가 14"~17" monitor를 사용하게 된다고 가정할 때 대부분 이들 monitor에서 최대한으로 사용할 수 있는 resolution이 1024×768이며 이 모드가 14"×17"의 영상을 보낼 가장 원래의 film을 보는 것과 흡사하게 볼 수 있고 그 이하의 resolution(640×480, 800×600)에서는 film의 일부만 표시되고 영상 자체의 질이 많이 떨어지게 되기 때문이다.

현재 국내의 전화선 상태를 보면, 전자식 교환기와 기계식 교환기가 혼용되고 있으며 서울 시내 각 지역을 대상으로 시험하여 본 결과 안정성 있게 최대한으로 보낼 수 있는 데이터 송신 속도는 9,600 bps인 것으로 생각되며 지방과의 연결 시에는 선로 상태에 따라 송수신 속도의 변화가 있을 것으로 사료된다. 앞으로 정부에서 추진하고 있는 ISDN 통신망의 구축이 완료되면 64,000bps의 속도로 데이터를 전송할 수 있어 송수신에 걸리는 시간을 크게 단축할 수 있을 것으로 사료되나, 현상태로서는 실제 사용할 수가 없다.

수신용 software의 설계에 가장 중점을 둔 것은 수신자가 computer에 익숙치 않은 일반의사이기 때문에 여러가지 조작을 걸치게 되면 조작 중 오류가 발생할 소지가 많아 이를 최소화하는데 중점을 두어 DOS 상에서 5개이내의 key stroke로 전 software의 조작이 가능하도록 하였으며, 일단 수신이 시작된 후 빈 화면을 쳐다보고 있는 시간을 단축하기 위해 interpolated coding technique를 사용하였으며, 또 환자에 따라 여러 장의 영상을 송신하거나 송수신 중간에 양측간의 음성 신호 전달이 가능하게 하기 위해 영상 신호 송수신을 임의로 차단함과 동시에 음성 모드로 전환할 수 있도록 하였고 이 방법은 실제로 사용하여 본 결과 완벽한 영상을 한꺼번에 보내는 것 보다 훨씬 유용한 것이 증명되었다.

결 론

본 연구에서 개발된 Emergency Teleradiology Sys-

tem은 신경외과 뿐 아니라 다른 의료 영역에서도 응급 상황 시에 decision making에 도움이 될 것으로 사료되며 기존의 전화선을 이용하는 통신 수단 보다 빠른 전용 정보 통신망을 사용하게 되면 원격진단 장비로서의 활용 가능성도 충분히 있는 것으로 사료된다. 이 Emergency Teleradiology System은 6 월경부터 연세대학교 의과대학 부속 신촌세브란스 병원 응급실에 설치될 예정이며 이는 신경외과, 일반외과의 응급환자 진료에 우선적으로 사용될 예정이다.

References

- 1) Bakker AR : HIS, RIS, and PACS. *Comput Medical Imag & Graphics* 15(3) : 157-160, 1991
- 2) Carey LS : Teleradiology : Part of a comprehensive telehealth system. *Radiol Clin North Am* 23(2) : 357-362, 1985
- 3) Chan KK and Taira PK : System integration for PACS. *Comput Medical Imag & Graphics* 15 : 177-181, 1991
- 4) Duchene J, Lerallut JF, Gong N and Danz R : Micro PACS : a PC-based small PACS implementation. *Medical & Biological Engineering & Computing* 31 : 268-276, 1993
- 5) Kuduvalli GR and Rangayyan RM : Performance analysis of reversible image compression techniques for high-resolution digital teleradiology. *IEEE Medical imag* 11 : 430-445, 1992
- 6) Lo SC and Huang HK : Radiological image compression : Full-frame bit allocation technique. *Radiology* 155 : 811-817, 1985
- 7) Wang L and Goldberg M : Progressive image transmission by transform coefficient residual error quantization. *IEEE Communication* 36 : 75-87, 1988
- 8) Zhang YQ, Pickholtz RL and Loew MH : A combined transform coding for image data compression. *IEEE Consumer Elect* 37 : 45-50, 1991