

응급 원격의료 시스템을 위한 헬스케어 기술

유선국 (연세대학교 의과대학 의학공학교실)

1. 서론

의학의 궁극적인 목적은 더 많은 생명을 구하는 동시에 진료의 질을 높여 환자가 양질의 삶을 살아가도록 하는 것이라고 할 수 있다. 응급 상황에서 이 목적에 맞게 환자의 생명을 구하고 심각한 손상을 예방하려면 신속하고 정확한 전문 진료가 행해져야 할 것이다. 최근에는 특히 초고속 데이터 전송기술 및 인터넷 기술의 발달로 비디오, 오디오 및 생체신호를 포함한 다양한 데이터를 지원할 수 있는 멀티미디어 시스템의 구현이 가능해짐에 따라 환자의 상태나 요구에 맞추어 효과적인 진료 및 질병 예방을 가능할 수 있게 되었다. 응급용 멀티미디어 원격 의료 시스템이란 유, 무선 인터넷과 단말기를 생체계측기와 융합시켜 시간적, 공간적인, 계측장치 제약 없이 환자의 질병관리가 가능한 시스템을 말한다. 즉 원격의료 시스템을 사용하여 응급 상황에서 전문 의료인에 의해 적절한 진료를 하거나, 적절한 진료가 가능한 전문 의료 기관으로의 전원을 결정하기 위한 방법을 제공하는 시스템으로 응급진료

의 지역적, 시간적 한계를 극복하는데 도움을 줄 수 있다.^[1]

원격진료시스템의 동작 조건은 멀리 떨어져 있는 환자가 환자가 전문의의 진찰을 옆에서 받는 것처럼 해주는 시스템이 가장 이상적인 원격진료 시스템이다. 이러한 사실감 있는 환자정보를 응급상황에 제공하기 위해서는 환자에 대한 고화질의 동영상, 심전도와 같이 생명과 직결된 환자의 상태에 대한 바이탈 사인 (vital sign)은 반드시 연결되어야 하며, 부가적으로 환자의 방사선 영상, 의무기록 및 의사간의 대화를 위한 영상회의 시스템의 연결을 요구하고 있다.^[2] 이러한 멀티미디어 응급의료 시스템의 동작은 대역폭이 비교적 넓은 유선 시스템과 대역폭이 비교적 적은 무선 시스템으로 구분하여 생각할 수 있다.^{[2][4]} 유선망 시스템이란 보전소와 같이 지정된 장소에서 사용하는 시스템이다. 멀티미디어 응급 원격진료 시스템을 운용하기 위해서는 데이터의 전송속도를 보장할 수 있는 전용선에서부터 ADSL, VDSL, 케이블망과 같이 데이터 전송속도가 가변되는 일반 유선망을 사용할 수 있다. 무선망 시스템이

란 이동중인 응급환자에 대한 원격진료를 감행하기 위해서는 무선으로 환자와 연결할 수 있는 장치가 필요하다. 이를 위해서는 인공 위성, CDMA와 같은 이동통신망 및 휴대인터넷 망을 활용하여 보낼 수 있다.

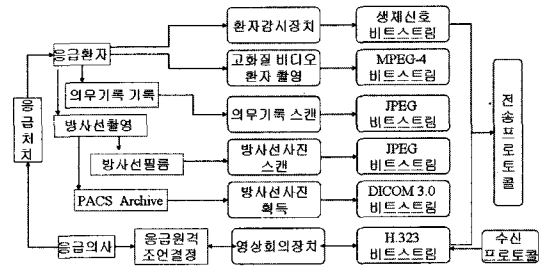
본 고에서는 외부 전송망이 유선망이며 보건소와 같은 고정된 장소에서 사용할 수 있는 유선망 시스템과 외부전송망이 무선망인 이동형 시스템의 설계 및 운영에 대하여 고찰하고, 기술적으로는 응급환자를 무선망에서 전송할 경우에 생명과 직결된 심전도 신호의 압축 하기 위한 데이터 압축 기술에 대하여 살펴보고, 잡음이 많은 무선망에서의 환자 영상 전송시에 에러에 대한 영상 보정 기술을 다루어 보고자 한다.

II. 응급원격의료 시스템

1. 멀티미디어 원격 응급의료 시스템

응급환자의 전송 여부를 빠르게 결정할 수 있고, 전문의가 원격지의 응급환자의 상태를 정확히 파악하여 적절한 처치를 지도하거나 환자의 전송을 결정 할 수 있도록 그림 1과 같이 멀티미디어 응급의료 전송 시스템을 설계하였다.¹⁾ 전송하기 위한 데이터로는 환자의 상태를 파악하기 위하여 심전도, 산소포화도, 호흡, 맥박수, 혈압등의 생체신호 데이터, 고해상도의 실시간 동영상 데이터, 의사간의 진료의견을 교환할 수 있는 영상회의, 방사선 영상 및 의무기록등의 멀티미디어 데이터를 전송 하도록 하였다. 수신부에서는 전문의가 전송받은 데이터를 통해 응급환자의 상태를 확인하고 적절한 진단 및 처치를

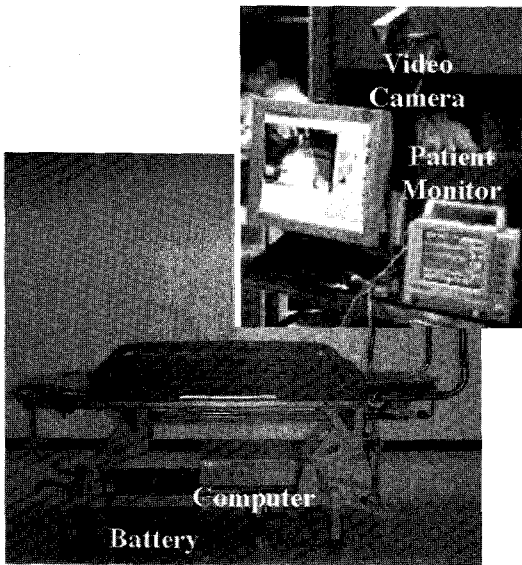
지시하게 된다. 빠른 환자의 진단을 위한 실시간 전송을 위해 각각의 데이터 압축 표준 안에서 제시하는 방식에 맞추어 데이터의 압축 전송 및 복원을 제공하였다.



〈그림 1〉 멀티미디어 응급의료 전송 시스템 구조

2. 응급실 원격 응급의료 시스템

응급실용 원격의료 시스템은 이동성을 최대한 보장해 주기 위해 이동 가능한 침대 형태로 그림 2와 같이 설계하였다. 환자 한사람이 누울 시 있는 병원용 침대에 데이터 획득에 필요한 모든 장치를 설치하고, 데이터 획득 및 전송을 담당하는 컴퓨터를 함께 설치하였다. 모니터와 생체 신호 측정을 위한 환자 감시 장치는 사용하기 편하고 쉽게 볼 수 있도록 침대 윗부분에 받침대를 만들고 그 위에 설치하였고, 컴퓨터 및 배터리는 침대 밑에 설치하였다. 또한 환자의 걸 모습을 관찰하기 위해 대를 세우고 그 위에 고화질 카메라를 설치하여 카메라의 움직임에 따라 누워있는 환자의 가슴 윗부분을 볼 수 있도록 설계하였다. 또한 무선 영상 전송 장치를 함께 두어 대에 고정된 카메라가 아닌 이동용 카메라를 이용하여 의사가 원하는 부분을 고화질 영상으로 획득할 수 있도록 하였다. 이동 침대에 설치된 컴퓨터를 비롯한 각종 장



〈그림 2〉 응급실용 응급의료 시스템

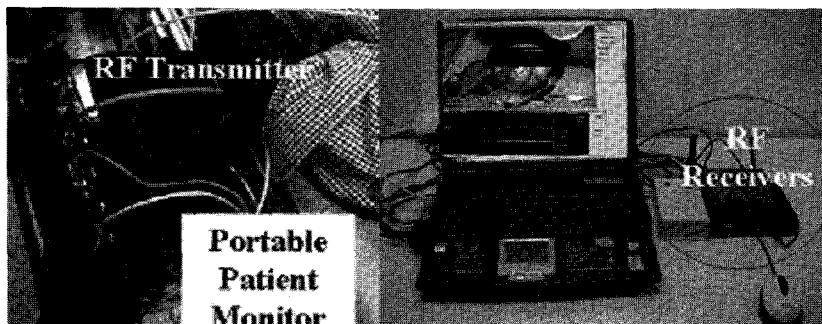
치의 전원공급은 배터리를 이용하였다.^[46]

컴퓨터로 획득한 데이터의 전송은 무선랜을 이용하여 외부 유선 인터넷 망과 접속하였다. 현재 일반적인 무선랜은 11/54 Mbps 전송속도를 제공하고 있으며, 사부실 환경에서 80 m 정도의 전송이 가능하다. 응급실 위주로 이동침대를 사용할 경우, 전송 가능 범위내에서 동작하게 된다. 유선랜의 연결부분에 AP(Access Point)를 설치하고, 컴퓨터에 무선랜을 장착하여 실내에서 자유롭게 이동하며 환자를 진료할 수 있도록 하였다.

3. 이동형 원격 응급의료 시스템

이동형 원격 응급 의료 시스템은 최근에 발전되고 있는 CDMA 이동통신망을 이용하여 비교적 높은 전송속도를 갖는 망을 이용하여 의료 서비스를 제공하는 것이다. 우리나라에서는 2.5세대 이동통신 서비스인 CDMA2000 1X-EVDO (Evolution-Data Only)가 운용되고 있다. 이것은 최대 전송속도가 전방향의 경우 2.4576Mbps까지 가능하고 역방향에서 153.6Kbps까지 가능한 비대칭 구조를 갖는다. 이동형 원격 응급의료 시스템에서는 이러한 1X EV-DO의 역방향 채널의 특성을 최대한 활용하여 이동 중에 멀티미디어 전송이 가능한 의료 시스템을 설계하는 것이다. 구급차에서 응급실로 전송하는 정보는 그림 4.과 같이 환자의 중요한 바이탈 신호인 심전도(ECG: Electrocardiogram), 산소포화도(SpO₂), 혈압(NIBP: Non Invasive Blood Pressure), 호흡 등과 외상형 환자의 진단에 유용한 실시간 동영상이다.^{[2],[3],[9]}

이동형 응급 의료 시스템은 구급차 (전송단)에서 이송되는 응급 환자의 생체 신호와 비디오 정보를 실시간으로 1X EV-DO 망을 통해 응급센터로 전송하는 부분과 전송된 데



〈그림 3〉 이동형 원격 응급의료 시스템

이터를 응급센터에서 수신하여 디스플레이 하는 부분으로 구성된다(그림 3.). 송신 시스템은 데이터의 입력 부와 전송 제어부, UDP(User Datagram Protocol) 전송 부로 구분된다. 생체신호는 환자 감시 장치에 의해 측정되어 RS-232C 인터페이스를 통해 노트북에 입력된다. 아날로그 비디오 신호는 비디오 카메라를 통해 입력되어 MPEG4 포맷(해상도 640x480)으로 압축된다.



〈그림 4〉 이동중인 구급차와 응급센터간의 데이터 전송

III. 응급원격의료 기술

1. 심전도 압축 기법

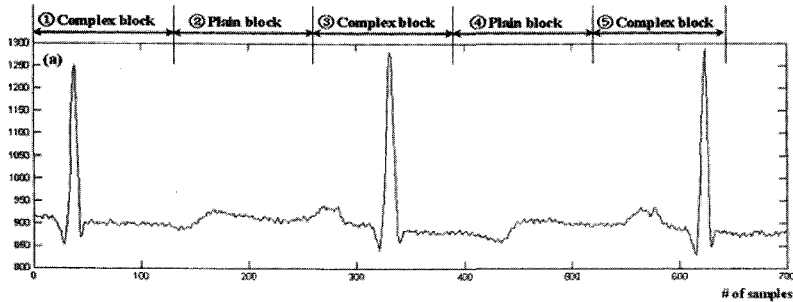
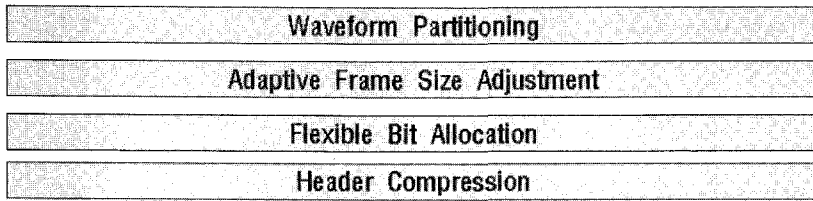
생체 신호 데이터를 무선망을 통해 전송하기 위해서는 제한된 대역폭에서 진단에 필요한 정보를 최대한 유지하는 범위 내에서 전송되는 디지털 데이터의 양을 적절히 압축하는 것이 요구된다. 지난 수십 년간 다양한 생체신호 압축에 대한 방법이 제시 되었으며 이것은 크게 시간 영역 방법과 변환된 영역 방법으로 분류할 수 있다.

시간 영역 방법은 시간영역에서 직접 압축하는 방식으로 Turning Point(TP), Amplitude Zone Time Epoch Coding (AZTEC),

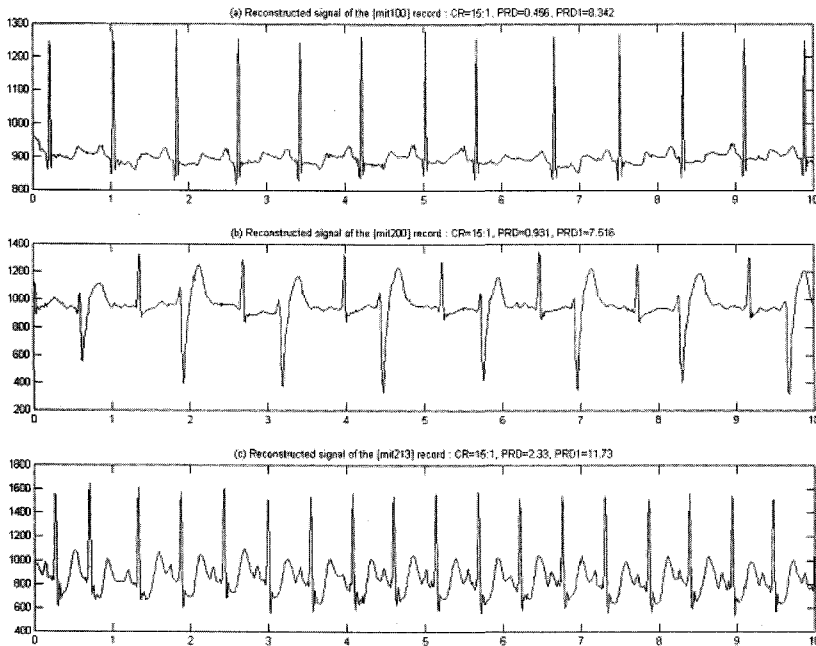
Coordinate Reduction Time Encoding System(CORTES), FAN, Difference Pulse Code Modulation (DPCM)등의 방법이 있다. 이것은 원 신호를 직접 다루기 때문에 빠른 신호 처리가 가능하지만 3:1이상의 압축이 어렵다.

반면 각종 변환을 이용하여 처리하는 방법으로는 Fourier Transform, DCT (Discrete Cosine Transform), 웨이블릿(Wavelet) 등이 있다. 신호를 특정한 영역으로 변환할 경우 생체신호가 저주파 영역에 집중되는 특성을 이용하여 여러 주파수 대역에 서로 다른 양자화를 적용하여 높은 압축율을 획득 할 수 있다. 특히 시간과 주파수 성분이 혼합되어 있고 다중분해능의 특성을 가진 웨이블릿 변환이 가장 효과적인 압축을 수행할 수 있다. 웨이블릿 변환은 저주파 대역으로부터 고주파 대역까지 계층적으로 분할하게 되며, 분할된 가장 저주파 대역에 대부분의 에너지가 집중되어 있어 압축율을 높일 수 있다. 또한 계층적으로 분할된 웨이블릿 변환 트리의 자기 상관성을 이용하여 상위계층으로부터 하위계층으로 반복적으로 문턱치를 적용하여 압축할 수 있다.⁸⁾

특히 응급환자의 심전도 신호를 무선망에서 전송할 경우에 압축 및 복원에 따른 지연 시간의 최소화는 촌음을 다투는 응급환자에 있어서는 매우 중요하다. 그림 5.은 웨이블릿 변환을 이용하여 심전도 신호를 보낼때 블록 프로세싱에 따른 지연 시간을 최소화 하기 위하여 제안된 지연 시간 최소화 심전도 압축 알고리즘 (MBFWC: Minimum Block-based Flexible Wavelet Compression) 이다. 이것은 정산 심전도 신호는 R-R 구간에서에서 QRS가 포함된 부분과 QRS를 제외한 휴지



〈그림 5〉 무선망 전송을 위한 지연시간 최소화 심전도 압축 알고리즘



〈그림 6〉 지연시간 최소화 심전도 압축 알고리즘에 의해 복원된 심전도 신호

기로 구분된다는 관찰에서 출발한다. 지연 영역을 반 주기까지 줄이고 QRS가 있으면 복원된 심전도 질을 유지하기 위해 저압축률 압축을 수행하고, 없으면 고압축률 압축을

수행하여 전체 압축비를 유지한다. 또한 각 블록의 압축비는 블록간 표준편차에 따라 유동적으로 조절하여 모든 심전도 패턴에 대해 복원된 심전도의 질이 감소하지 않게 한다. [1]

2. 에러 강인한 환자 영상 압축 전송

저대역폭의 부선망을 통하여 환자의 영상 정보의 양을 줄이기 위해 사용하는 필수적인 접근은 불필요한 정보와 중복되는 정보를 줄이는 것이다. 대부분의 압축된 영상은 이러한 정보들을 줄이기 위한 예측 압축 기법의 적용에 따른 데이터는 시 공간적으로 강하게 관련되어 있게 된다. 따라서, 압축된 영상 비트스트림에 에러가 발생할 경우 그것의 영향은 이웃하는 프레임과 블록으로 전파되기 쉽다. MPEG-4는 에러 강인성 도구들을 제공하여 에러의 전파를 보다 작은 범위로 제한한다. 다음은 MPEG-4에서 제공하는 4가지 에러 강인성 도구들이다.^[5]

• 재동기 마커(Resynchronization Marker: RM)

MPEG-4는 영상 비트스트림 내에 일정 주기로 재동기 마커를 삽입하여 영상 패킷(video packet)이라 불리는 단위로 영상 비트스트림을 분할한다. 각각의 영상 패킷은 서로 관련성이 전혀 없어 만약 영상 복호기가 영상 비트스트림의 에러를 감지하면 복호를 중단하고 다음 재동기 마커를 찾아서 다시 복호를 수행하므로 에러의 전파를 막을 수 있다.

• 데이터 분리(Data Partitioning: DP)

데이터 분리는 영상 데이터의 motion정보와 texture정보를 분리하여 texture정보에만 에러가 유입됐을 때 motion정보로 영상의 macroblock을 복호하는 기술이다. texture정보는 motion정보를 사용하여 암호화되므로

motion정보에 에러가 유입된다면 복호기는 그 영상 패킷 전부를 버리게 된다.

• 가역 가변장 부호화(Reversible

Variable-Length Coding: RVLC)

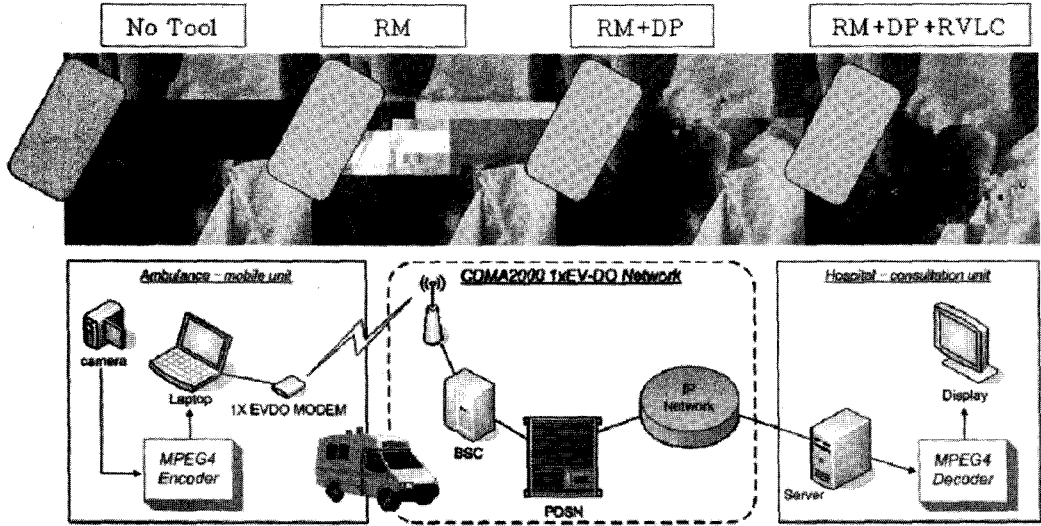
가역 가변장 부호(Reversible Variable-Length Code)는 순방향과 역방향에서 모두 복호할 수 있는 접두사(prefix)의 특성을 갖고 있는 특수한 가변장 부호이다. 따라서 가역 가변장 부호를 데이터 분리와 함께 사용하면 texture정보에만 에러가 유입됐을 때 더욱 많은 texture정보를 복구할 수 있다.

• 헤더 확장 코드(Header Extension Code: HEC)

헤더 확장 코드는 헤더 내의 1bit HEC가 1로 설정되면 중요 헤더 정보가 영상 패킷 내에 반복되어 헤더의 손실의 가능성을 줄였다.

그림 7.에서와 같이 구급차에서 CDMA2000 1xEV-DO 역방향 링크를 통해 MPEG-4로 압축되어 전송된 환자의 영상은 기지국(BSC)에서 패킷 데이터망(PDSN)과 IP 네트워크를 통해 병원의 전문의에게 전송된다. CDMA2000 1xEV-DO의 역방향 링크는 1xEV-DO모형을 노트북에 연결하여 HDR(High Data Rate)서비스를 요청함으로써 사용할 수 있다. 또한, IP 네트워크로 압축된 영상을 전송하기 위해 UDP/IP 프로토콜을 사용하였다.

그림 7.에서와 같이 선택된 에러 강인성 도구의 수가 많을수록 프레임의 화질이 좋아짐을 보여주는 스냅 사진이다. 특히, RM과 DP를 함께 사용할 경우 움직임 보상(motion compensation)에 의해 이전 프레임이 복사



〈그림 7〉 무선망을 통한 에러레 강인한 환자 영상 압축 전송

되어 경계를 제외한 부분은 깨끗한 화질을 보였다. 하지만 RVLC까지 함께 사용할 경우 (RM+DP+RVLC) 에러가 섞인 영상 정보를 복원하여 현재 프레임의 상태를 최대한 반영했지만 에러의 영향으로 잡음이 섞여 있어 상대적으로 깨끗하지 않게 보였다.

IV. 결론 및 향후방향

오늘날 원거리 통신(telecommunication) 기술의 발전에 따라 병원으로 이송중인 응급 환자에 대한 전문의의 응급 원격 진료 (Emergency Telemedicine)가 가능하게 되었다. 전문의가 효과적인 진단을 하기 위해서는 심전도, 산소포화도와 같은 생체 신호, 환자의 영상, 환자 정보등이 필요하다. 최근 셀룰러 망과 같은 무선망의 발달로 이동중인 차량에서 이러한 정보들을 전문의에게 보다 효과적으로 전달할 수 있게 되었다.¹⁷⁾

그러나 무선망의 제한된 대역폭과 다중 경

로 페이딩이나 핸드오프에 의한 높은 에러율로 인하여 환자 영상 전송에 장애가 있기 때문에 이러한 장애를 극복하기 위한 영상 압축 방식으로 MPEG-4가 효과적이다. MPEG-4는 MPEG에 의해 개발된 ISO표준으로서 멀티미디어 환경에서 영상의 효율적인 저장, 전송, 수정을 위한 도구와 알고리즘을 제공한다. 또한 MPEG-4는 에러에 강한 영상 전송을 위해 에러 강인성 도구들을 지원하여 무선망에서의 에러를 효과적으로 보상한다.

특히 초고속망 가입자가 1000만명이 돌파하고 유비쿼터스 컴퓨팅이 크게 대두되고 있는 IT 환경에서 건강 관리에 대한 욕구 증대와 고령화 사회의 진입으로 의료 서비스에 대해서도 원격의료 서비스가 제안되고 있다. 기술의 직적화는 각종 휴대 장치의 개발과 전송 대역폭의 확장, 이동성의 증가로 인해 사용자가 계속 장치를 휴대하고 다니면서 시공간의 제약 없이 자신의 원하는 의료 서비

스를 받고 응급 상황시 신속한 조치를 받을 수 있게 될 것이다. 향후 앞 절에서 언급했던 멀티미디어 응급 원격의료, 응급실용 응급의료, 이동형 응급 원격의료 장치 및 심전도의 고속 압축 전송 및 환자 영상의 고속 고화질 전송이 모두 이루어지고 휴대용 인터넷과 IPv6같은 네트워크의 급속한 발전이 동반된다면 2~3년내에 고품질의 서비스를 원하는 현대인들에게 양질의 차세대 의료 서비스인, 유비쿼터스 응급의료 원격진료 시스템이 궁극적으로 실현될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 보건복지부지정 특성센터연구지원 연구개발 사업 지원과제 '이동형 응급의료 정보시스템 개발센터'의 지원에 의해 수행한 내용의 일부입니다. (과제번호: 02-PJ3-PG6-EV08-0001)

참고 문헌

1. Byung S. Kim, Sun K. Yoo, Moon H. Lee, "Wavelet-based low-delay ECG compression algorithm for continuous ECG transmission," IEEE Tran. on Information Technology in Biomedicine, Vol. 9, No.4, pp., 2005.
2. Sun K. Yoo, SM Jung, BS Kim, HY Yun, SR Kim, DK Kim, Prototype design of mobile emergency telemedicine system, LNCS 3481, pp1028-1034, 2005
3. Sun K. Yoo, Kwang-min Kim, Seok-myung Jung, Nam-hyun Kim, Sun-ho Kim, Jin bae Park, In-cheol Park, Jin ho Oh, Seung-ho Kim, "Real-time emergency telemedicine system: Prototype design and functional evaluation, Yonsei Medical J, 45, 3, pp.501-509, 2004
4. Sun K Yoo, In-Cheol Park, Seung-Ho Kim, Jin-Ho Jo, Hye Jung Chun, Suck-Myung Jung and Dong-Keun Kim "Evaluation of two mobile telemedicine systems in the emergency room" Journal of Telemedicine and Telecare , 9(S2), S2:82-84, 2003
5. 이동현, 유선국, "CDMA2000 1xEV-DO 망에서 UDP를 사용한 MPEG-4 환자 영상의 에러에 강인한 전송, 대한전기학회지, 54D, No.8, pp.510-516, 2005
6. 김광민, 유선국, 병원간 응급진료를 위한 멀티미디어 원격진료 시스템의 설계, 대한의료정보학회지, 8(4), pp.1-9,2002
7. 김병수, 유선국, "이동형 Healthcare 시스템 구성을 위한 요소기술," 전기의 세계(The Proceedings of KIEE), 53,9, pp.30-35, 2004

8. 김병수, 유선국, “CDMA 네트워크에서의 ECG 압축 알고리즘의 성능 평가”, “전기학회 논문지”, 53D, 9, pp.663-669, 2004
9. 박정훈, 박진배, 윤태성, 유선국, “고급 멀티미디어 근간의 무선 원격응급진료시스템”, ICASE magazine, vol.9, no6, 2003

저자소개



유선국

1990년 3월 - 1995년 2월 순천향대학교 전기공학과
조교수
1998년 7월 - 2000년 2월 The University of
Iowa 방문교수
1995년 3월 - 현재 연세대학교 의대 의학공학교실
조교수, 부교수
주관심 분야 원격의료, 다차원 의료영상처리