

이동형 Healthcare 시스템 구성을 위한 요소기술

• 김병수, 유선국 / 연세대학교 의과대학 의학공학교실,
이동형 응급의료 정보 시스템 개발센터

서 론

초고속 인터넷 기술과 무선 통신망의 발달로 다양한 데이터(video, audio 및 biological data)들을 지원할 수 있는 멀티미디어 시스템의 구현이 가능해짐에 따라 환자의 상태나 요구에 맞추어 효과적인 진료 및 질병 예방을 가능할 수 있게 되었다. U-healthcare 시스템이란 무선 인터넷과 단말기를 생체 계측기와 융합시켜 시간적, 공간적인, 계측장치 제약 없이 환자의 질병관리가 가능한 시스템을 말한다. 기존의 생체 계측기를 소형, 부착형, 저전력, 무선, 디지털화 함으로써 사용자가 항상 휴대하여 언제 어디서나 질병 및 건강을 모니터링하고 위험상황을 미리 예측하고 통지함으로써 이동 중에 양질의 의료 서비스를 제공 받을 수 있다. 현재 전 세계적으로 U-healthcare 시스템의 개발은 통신망의 발달, 컴퓨터 기술의 발달에 따라 유기적으로 연구, 발전되어 왔다. 미국의 경우 로체스터 대학의 미래 건강 센터(Center for Future Health)가 연구 중인 스마트 의료 홈 프로젝트는 혈압센서가 포함된 직물로 스마트 양말을 만들어 혈압을 체크하고 상황에 따라 해당 의료 시스템에 전송되어 처방전을 회신 받거나 가정방문을 요청할 수 있게 한다. 일본의 마쓰시타 전기의 건강 화장실 서비스는 변기에 앉을 때마다 체중, 체지방, 당도등을 자동으로 측정하여 매일의 건강상태를 확인하고 네트워크를 경유하여 병원과 연결되어 어드바이스나 조치를 받을 수 있다. 또한 유럽에서는 모바일 제

작 회사인 Ericsson, Nokia, Sony 등에서 공동으로 모바일 정보 서비스를 제공하여 심장 질환과 당뇨에 대한 홈 헬스케어를 지원한다. 국내에서는 세계 최고의 통신 인프라를 바탕으로 재택 건강관리 시스템, 이동형 응급의료 정보 시스템 등이 개발되고 있다.

본 기고에서는 효과적인 U-healthcare 시스템을 구축하기 위해 단계별 서비스 프로세스에서 연구되고 있는 핵심 기술 및 고려사항을 기술하고자 한다.

U-healthcare를 위한 고려사항

U-healthcare 시스템에 대한 서비스 프로세스는 그림 1과 같이 생체신호 측정 / 신호의 분석 및 디스플레이 / 데이터의 전송 및 저장 / 전송된 데이터의 진단과 조치로 구분된다. 각 프로세스의 세부 과정 및 특징을 살펴보면 측정 과정은 기능 복합화, 네트워크화, 저렴, 경량화를 요구하고 무구속, 지속적으로 측정하여 다양한 건강 지표를 획득해야 한다. 모니터링은 PDA, 노트북, 핸드폰 등 여러 디바이스로 모듈화 하여 측정된 데이터를 분석하여 해당 의료기관에 전송한다. 무선망을 통해 전송된 데이터는 병원, 의료원등과 연계되어 분석 신뢰성을 확보하고 데이터가 저장되는 센터는 보안성과 프라이버시, 백업, 복구성이 요구된다.

이러한 시스템을 구현하기 위해서는 다음의 4가지 중요 요소를 고려해야 한다.

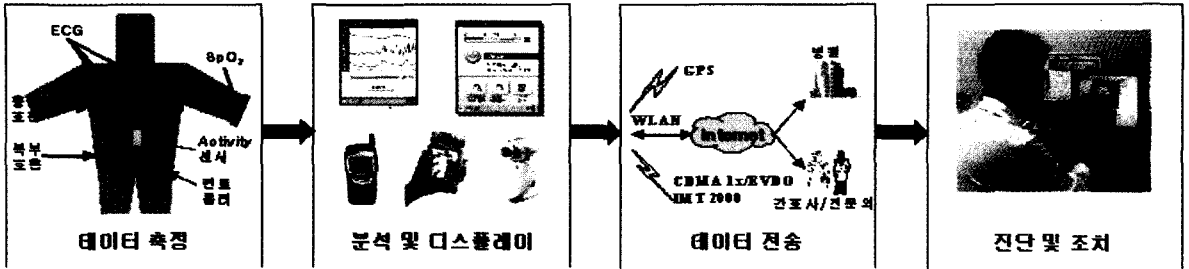


그림 1 U-healthcare의 단계별 프로세스

- 휴대를 위한 소형, 저전력 회로 구현
- 정보 무결성을 위한 획득된 신호의 동잡음 제거
- 고정된 대역폭에 맞춘 데이터 압축
- 무선 환경에서의 데이터 전송 방식

소형, 저전력 회로 구현

소형, 저전력 시스템으로 설계하여 이동, 운동중 사용하기 위해서는 아날로그 회로 부분을 최소화 하여 디지털 처리 하여야 한다. 아날로그 회로는 신호의 획득부와 주변광에 의해 발생하는 60Hz 잡음(ambient signal)을 제거하는 부분만으로 구성한다. 주변광 잡음을 제거하는 방법은 심전도 신호(ECG)는 대역 제거 필터(band rejection filter)를 주로 사용하고 산소포화도(SpO2)는 다파장 신호에 대하여 회로 상에서 demultiplexing 기술을 이용하여 주변광신호(ambient signal)를 독립적으로 획득한 후 원신호로부터 분리시키는 방법을 사용한다. 이외에 회로의 나머지 파트인 아날로그 증폭부와 신호 조정부는 최소화 하고 이에 대한 보상은 디지털 변환 신호의 비트 분해능을 높여 디지털 필터링 처리를 한다. 따라서 아날로그 회로의 최소화는 소형 측정장치의 구현이 가능할 뿐만 아니라 아날로그 회로에서의 진분, 위상의 비선형 특성에 의한 왜곡을 최소화 할 수 있다. 또한 디지털 신호 처리에 의한 생체 신호의 측정시 비트 분해능을 높이는 것은 신호의 dynamic range를 높이며, 이것은 특정 상황에서 급격히 높거나 낮아지는 신호에 의한 saturation을 방지한다.

신호의 동잡음 제거

생체 측정기의 실제적인 정확성과 일반적인 적응성을 제한하는 기본요소는 동잡음이다. 동잡음은 광학 프로브 커플링, 환자의 생리기능, 위치 변화에 따른 조직의 광학성질 등에 의해 발생하며 측정된 신호의 큰 변형을 야기한다. 일상생활에서 이동중인 사용자로부터 지속적인 생체 신호는 항상 동적으로 움직이는 상태에서의 측정을 요구하기 때문에 사용자의 움직임에 따른 동잡음 제거가 필수적이다. 하지만 동잡음 신호와 원 신호의 주파수 영역에서 스펙트럼이 중첩되어 나타나기 때문에 일반적인 필터링 기술로는 제거가 불가능하다.

그러므로 동잡음 제거 기술은 다음과 같은 세 가지 측면에서 접근되고 있다.

첫 번째는 정지된 환자로부터 참조 신호를 획득하고 움직일 때 신호의 갑작스런 변형이 이루어지는 부분과 비교한 후 적응 필터를 사용하여 해당 주파수 대역만 제거하거나 참조신호로 대체한다. 이것은 참조 신호의 정확한 획득과 신호의 변형이 신체의 이상에 의한 것인지 사용자에게 움직임에 의한 잡음인지 구분하는 추가적인 알고리즘을 필요로 한다.

두 번째는 산소포화도의 경우 측정 장치를 반지형으로 만들어 센서와 피부 사이의 완벽한 매칭을 통해 공기가 들어갈 수 있는 공간을 최소화 하고 외부 압력에 대한 영향력을 감소시킴으로써 동잡음 제거와 휴대용 측정기의 두 부분을 모두 만족하고 있다. 그림 2는 미국 MIT에서 제안된 반지형 산소 포화도 측정 장치의 프로토타입을 보인다.

세 번째는 독립신호 분석(Independent Component Analysis)을 사용한 방법이다. 이것은 심전도나 산소포화도는 심장박동에 기인한 신호이고 동잡음은 물리적인 움직임에 의한 것으로 상호 독립적이라는 가정에서 출발한다. 그림 3와 같이 서로 다른 리드(심전도) 또는 파장(산소포화도)을 사용하여 측정된 신호 벡터 X 는 오리지널 신호와 동잡음 신호가 믹싱 매트릭스 A 로 결합된 선형 혼합으로 모델링 할 수 있다. 따라서 독립신호 분석에 의한 동잡음 분리 문제는 측정된 신호 X 로부터 미지의 S 를 추정하는 과정으로 정형화 될 수 있으며, S 와 대응되어 추정된 U 는 오리지널 생체 신호와 동잡음 신호에 대응한다. ICA 알고리즘은 비가우시안을 최대화 하기 위해 비선형 함수를 지속적으로 통과하는 고정점 알고리즘을 사용한다.

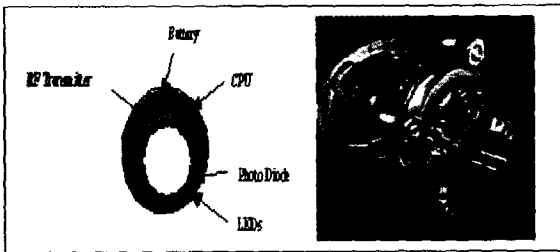


그림 2 반지형 산소포화도 측정기

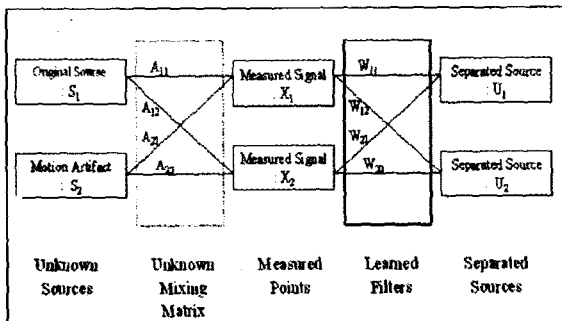


그림 3 동잡음 제거를 위한 독립 신호 분석 모델

데이터 압축

사용자의 생체 신호 데이터를 무선 인터넷이나 휴대폰을 통해 전송하기 위해서는 제한된 대역폭에서 진단

에 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 원신호를 직접 다루기 때문에 빠른 신호 처리가 가능하지만 3:1이상의 압축이 어렵다.

반면 각종 변환을 이용하여 처리하는 방법으로는 Fourier Transform, Karhunen-Loeve Transform(KLT), DCT, 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 multi-resolution의 특성을 가진 wavelet 변환이 가장 효과적인 압축을 수행할 수 있다.

그림 4는 6개의 계층으로 분할된 wavelet 변환 과정을 보인다. wavelet 변환 후 데이터는 가장 저주파 대역의 정보를 가진 A_5 부터 $W_5 \sim W_1$ 으로 배열되는데 A_5 에 대부분의 에너지가 집중되어 있어 많은 문턱치 기술과 결합하여 압축율을 높일 수 있다. 또한 계층적으로 분할된 wavelet 변환 트리의 자기 상관성을 이용하여 상위계층으로부터 하위계층으로 반복적으로 문턱치를 적용하여 압축할 수 있다. 이것이 wavelet 변환

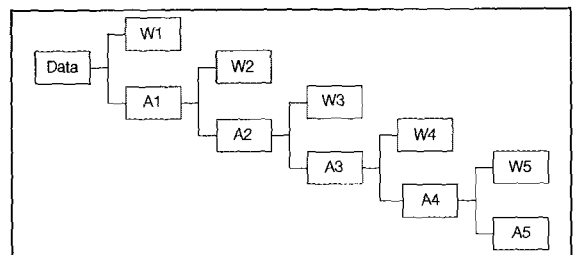


그림 4 Wavelet 변환 과정



을 이용한 압축 방법중 가장 일반적인 EZW(Embedded Zerotree Wavelet)이다. wavelet 변환은 낮은 대역폭에서 좋은 성능을 보이고 scalability를 부여하여 점진적인 전송을 가능하게 한다.

그림 5는 wavelet 변환에 의해 각 압축비 별로 압축된 ECG 신호이다. MIT-BIH arrhythmia 데이터베이스의 mit100 신호에 대해서 4:1, 10:1, 20:1로 압축했을 경우 10:1까지는 ECG 신호의 판독에 전혀 문제 되지 않을 만큼 복원이 이루어지고 20:1로 압축했을 때부터 조급씩 신호의 왜곡이 발생한다.

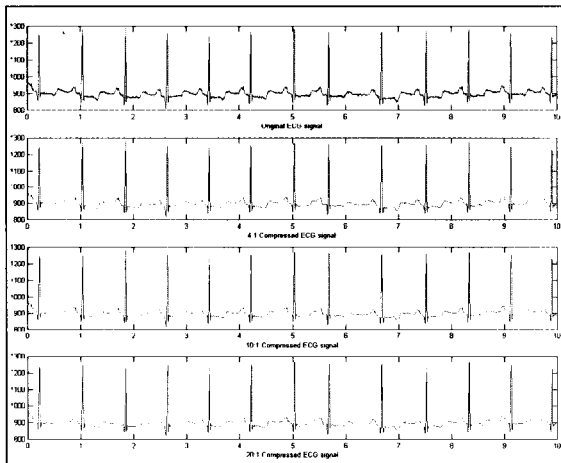


그림 5 wavelet 변환에 의해 압축된 ECG 신호

무선 환경 전송

획득된 데이터를 무선 환경에서 의료 기관으로 전송할 때 통신 채널에서 랜덤 에러 및 연접 오류가 발생하기 쉬우며, 이 오류들은 수신된 데이터를 복원하는데 있어서 심각한 영향을 끼친다. 이러한 채널 오류로부터 데이터를 보호하기 위해 많이 사용되는 방법으로는 오류 정정 코드를 포함하여 전송하는 FEC 방법과 수신측의 재전송 요청에 따라 데이터를 재전송하는 ARQ 방법 등이 있다. FEC는 재전송이 필요 없으므로 전송 지연이 적지만 연접 오류 극복에 한계가 있기 때문에 응용을 요하는 상황에서 주로 사용되고 ARQ는 연접 오류를 복구하는데 이점이 있지만 전송 지연이 발생하

기 때문에 해당 의료 기관에 시간의 제약 없이 확실한 데이터를 보내고자 할 때 사용된다. 이것은 전송 프로토콜과도 연계되어 트랜스포트 계층에서 TCP를 사용할 것인가 UDP를 사용할 것인가도 관련이 있다. TCP는 안정적인 전송을 보장하지만 무선 환경에서 오류가 지속적으로 발생할 경우 심각한 전송 지연을 야기할 수 있기 때문에 많은 무선 통신에서 UDP를 사용한다. 그리고 전송에 대한 신뢰성과 QoS를 보장하기 위해 실시간 전송에서는 UDP 계층 위에 RTP(Real Time Protocol)와 RTCP(Real Time Control Protocol)를 추가적으로 사용한다.

U-healthcare 서비스 구현

U-healthcare는 유비쿼터스 컴퓨팅과 연결되어 어떤 매체를 사용하여 서비스를 제공할 것인가가 중요한 이슈가 된다. 현재에는 주로 핸드폰을 이용하여 병원 정보 제공, 진료 예약 및 수납, 진료 정보 공유 등을 서비스 하고 있다. 핸드폰과 의료 측정 장비를 결합하여 환자 상태를 항상 모니터링 하기 위해서는 유비쿼터스 환경과 통신 사업자 간의 연계가 필요할 뿐만 아니라 핸드폰과 측정 장비의 통신 문제, 전력 보급 등의 문제를 해결해야 한다. 그래서 최근에 가장 각광 받고 있는 것은 IEEE 802.16에서 표준화가 계속 진행중인 2.3GHz 휴대 인터넷을 사용하는 방법이다.

표 1에서 보이는 것과 같이 무선 LAN은 11Mbps 이상의 전송 속도를 보장하고 데스크탑 형태이기 때문에 측정장치와의 블루투스 통신이 가능하다. 하지만 이동성에서 큰 제약이 따른다. 그리고 CDMA 1X EC-DO는 고속이동이 가능하지만 낮은 전송 속도와 고가의 서비스 요금 등의 단점을 보인다. 반면 휴대 인터넷은 60km/h까지의 이동성을 제공하면서 고속의 데이터 전송이 가능하고 WLAN과 같은 형태로 휴대 장치와의 통신 문제와 전력 문제를 모두 해결할 수 있다. 향후 IPv6가 상용화될 경우 모든 측정 장치에도 IP를 할당하여 개별적인 원격 제어와 식별이 용이해 질 것이며 멀티캐스트가 지원되기 때문에 위급한 상황에서 즉각적으로 관련된 의료기관 및 응급 센터와의 연계가 가능

표 1 무선 서비스 비교

구분	무선 LAN	1x EV-DO IMT2000	2.3GHz 휴대인터넷
커버리지	육내 / Hot spot	전국 망	육외, 공공장소
전송속도	~11 or 54Mbps	업로드 153.6kbps 다운로드 ~2.4Mbps	~3Mbps
요금	저가	고가	중저가
이동성	5km/h 이하	100km/h 이상	~60km/h
단말형태	데스크탑, 노트북	휴대폰, PDA	노트북, PDA
가지국당 가입수	수십명	수백명	수백명
서비스 유형	초고속 인터넷	이동통신	초고속 인터넷

해진다.

최종적인 U-healthcare 서비스는 그림 6과 같다. 신체에 부착된 생체 신호 측정장치를 이동중 계속 모니터링하다가 정기적인 시간 혹은 특정 이상이 발생하였을 때 PDA나 휴대폰, 노트북 등을 통해 신호가 전송되고 이것은 무선 환경하에서 인터넷이나 위성을 통해 의료 서비스 센터로 전송된다. 이곳에서는 고객 데이터베이스를 이용하여 사용자의 정보를 지속적으로 관리하고 전문 의료 기관의 의사와 연결되어 진단 및 처방을 제공한다. 환자의 상태가 위급한 경우 119 방재센터와 응

급의료 센터에 요청하여 신속한 1차 응급 처리가 가능토록 한다. 그러므로 U-healthcare 환경에서 사용자는 시간과 공간의 제약 없이 자신의 건강 정보를 체크할 수 있고 적절한 의료 서비스를 제공 받을 수 있으며 의료기관 측면에서는 환자의 상태를 항상 모니터링하여 최적의 의료 조치를 즉시 취하는 능동적 의료 서비스를 통해 효율적인 의료 환경을 구축할 수 있다.

결론 및 향후 전망

초고속망 가입자가 1000만명이 돌파하고 유비쿼터스 컴퓨팅이 크게 대두되고 있는 IT 환경에서 건강 관리에 대한 욕구 증대와 고령화 사회의 진입으로 의료 서비스에 대해서도 U-healthcare 서비스가 제안되고 있다. 현재는 U-healthcare의 도입기로서 휴대폰을 이용한 모바일 의료 진료 서비스에 그치고 있지만 각종 휴대 장치의 개발과 전송 대역폭의 확장, 이동성의 증가로 인해 사용자가 계속 장치를 휴대하고 다니면서 시공간의 제약 없이 자신의 원하는 의료 서비스를 받고 응급 상황시 신속한 조치를 받을 수 있게 될 것이다. 향후 앞 절에서 언급했던 휴대용 측정 장치의 소형, 경량화 / 이동중의 동잡음 제거 / 효과적인 압축 방

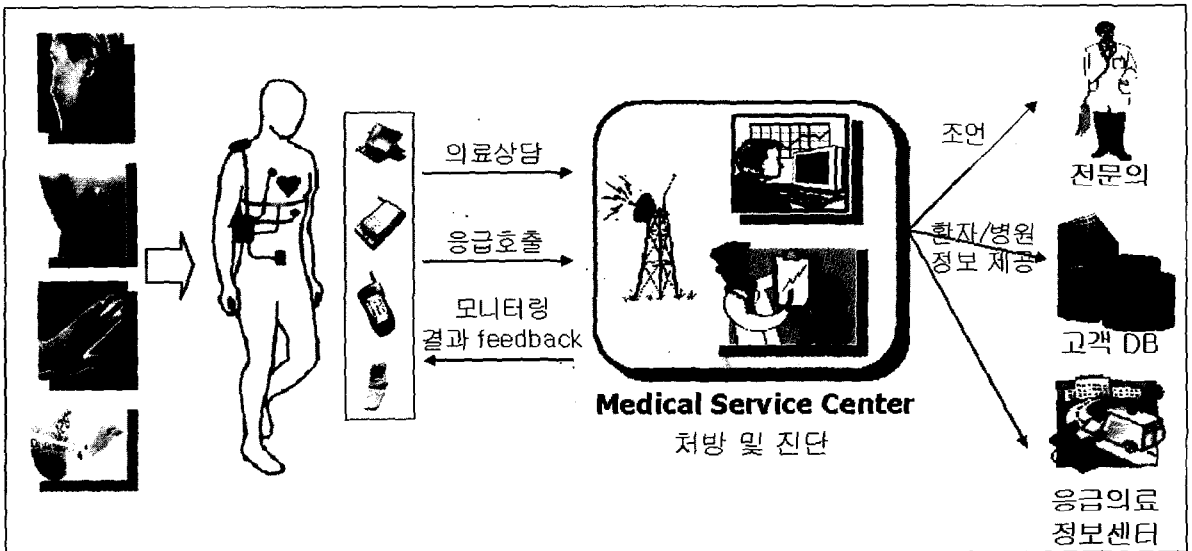


그림 6 U-healthcare 서비스 Overview

법 도입 / 무선 환경에서의 안정적인 전송이 모두 이루어지고 휴대용 인터넷과 IPv6같은 네트워크의 급속한 발전이 동반된다면 2~3년내에 고품질의 서비스를 원하는 현대인들에게 양질의 차세대 의료 서비스인, U-healthcare system이 궁극적으로 실현될 것이다.

감사의 글

본 연구는 2003년도 보건복지부지정 특정센터연구지원 연구개발 사업 지원과제 '이동형 응급의료 정보시스템 개발센터'의 지원에 의해 수행한 내용의 일부입니다.
(과제번호: 02-PJ3-PG6-EV08-0001)

[참고문헌]

- [1] http://www.vivometrics.com/site/system_howitworks.html
- [2] S. Rhee, B. H. Yang and H. H. Asada, "Artifact-Resistant, Power-Efficient Design of Finger-Ring Plethysmographic Sensors Part I: Design and Analysis," In Proc. of the 22rd Annual EMBS international conference, July 23-28, Chicago, 2000
- [3] A. Hyvriinen, "Fast and Robust Fixed-Point Algorithms for Independent Component Analysis", IEEE. Trans. Neural Networks, vol 10, No.3, 1999
- [4] B. woodward, R. S. H. Istepanian, and C. I. Richards, "Design of a Telemedicine System Using a Mobile Telephone," IEEE Trans. Inform. Technol. Biomed, vol. 5, No. 1, pp. 13-15, March 2001
- [5] W. J. Hwang, C. F. Chine, and K. J. Li, "Scalable Medical Data Compression and Transmission Using Wavelet Transform for Telemedical Applications," IEEE Trans. Inform. Technol. Biomed., vol. 7, no. 1, pp. 54-63, March 2003