
무선센서네트워크 기반의 가속도 맥파를 이용한 유비쿼터스 헬스케어 모니터링 시스템

정상중* · 이훈재** · 정완영***

Ubiquitous Healthcare Monitoring System using APG Signals based on Wireless Sensor Network

Sang-Joong Jung* · Hoon-Jae Lee** · Wan-Young Chung***

요 약

본 논문에서는 웨어러블 펄스 옥시미터를 이용하여 IEEE 802.15.4 기반의 무선센서네트워크 환경에서 측정에 대한 외부의 자각 없이 자유스러운 생활 속에서 측정 가능한 유비쿼터스 헬스케어 시스템을 구현하고자 하였다. 환자로부터 산소포화도 데이터를 측정하기 위해 반사형 프로브, 산소포화도 모듈, 그리고 무선센서노드로 구성된 저전력 웨어러블 펄스 옥시미터를 구현하였다. TinyOS 어플리케이션 기반의 무선센서노드는 제작된 프로브로부터 측정된 데이터를 수집하여 무선통신을 위한 패킷을 구성하며, 무선센서네트워크를 통해 베이스스테이션으로 전송된 데이터는 서버 PC에서의 모니터링과 데이터 처리 및 저장이 가능하게 하였다. 서버 PC에서는 LabVIEW 소프트웨어 프로그램을 통해 전송된 산소포화도 데이터가 실시간 모니터링 되며, PPG 파형의 2차 미분처리를 통해 동맥혈의 상태를 추정할 수 있는 가속도 맥파(APG)를 검출하도록 하였다. 또한 실제 연령대별 실험을 통해 가속도 맥파에 의한 혈관 탄성도의 수치를 비교분석 하였다.

ABSTRACT

This paper describes the realization of ubiquitous healthcare monitoring system using wearable pulse oximeter based on a wireless sensor network. In order to obtain information of oxygen saturation from a patient, a small size and low power consumption wearable pulse oximeter was designed. Information of oxygen saturation collected by wireless sensor node was transmitted wirelessly to a base-station for storage and display purposes via wireless sensor network. Wireless sensor nodes were programmed by TinyOS application to perform data acquisition and transmission. LabVIEW server program was designed to monitor information of oxygen saturation and process the measured PPG (Photo plethysmogram) signals to APG(Accelerated plethysmogram) signals by applying second order derivatives. PPG signals are simple and cost effective technique to measure blood volume change.

키워드

웨어러블 펄스 옥시미터, 가속도 맥파, 유비쿼터스 헬스케어 모니터링 시스템, 혈관 탄성도

* 부경대학교 일반대학원 전자공학과
** 동서대학교 컴퓨터정보공학부
*** 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부

I. 서 론

최근 고령화와 건강에 대한 관심의 증대, 웰빙 라이프를 추구하면서 건강한 육체와 건전한 정신을 강조하는 웨어러블 제품들이 요구되고 있다. 또한 이러한 변화와 함께 무선 및 프로세서 기술의 발달로 작고 저전력의 무선센서노드들로 구성된 센서네트워크를 구성하여 상황에 따른 데이터를 수집하고 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 기술을 토대로 유비쿼터스 기술 향상, 주거환경 개선, 고령화 시대 등 사회 전반적인 변화에 대응해서 최근 삶의 질 향상, 질병 예방, 건강 증진 등의 관심이 고조되면서 유비쿼터스 헬스케어에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 유비쿼터스 헬스케어는 “인체의 건강관련 정보를 시간과 공간의 제약 없이 수집, 처리, 전달, 관리할 수 있게 해줌으로서 제공되는 원격의료 서비스”라고 한다. 즉 언제 어디서나 우리의 건강과 관련된 첨단 의료 서비스를 제공받을 수 있는 미래형 복지 시스템이다[1][2][3].

따라서 본 논문에서는 이러한 사회적, 세계적 흐름에 따라 초소형, 저전력, 저비용의 특징을 갖는 무선센서노드를 이용한 무선센서네트워크 기반의 환경에서 웨어러블 센서를 사용하여 환자의 건강상태를 지속적으로 모니터링하기 위한 헬스케어 시스템을 구현하고자 하였으며, 인체에서 측정 가능한 생체 신호 중 산소포화도(SpO2) 채택하여 측정, 전송, 모니터링, 신호처리를 가능하게 하는 시스템을 구현하고자 하였다. 또한, 무선센서네트워크에 적합하게 설계된 TinyOS의 어플리케이션을 이용하여 산소포화도 정보를 원격지인 베이스스테이션(Base-station)으로 전송하며, 전송된 산소포화도 데이터는 서버 PC에서 실시간 모니터링이 가능한 산소포화도 측정 시스템에 대하여 연구하였으며, 가속도 맥파의 분석을 통한 연령대별 혈관 탄성도를 비교해 보았다. 이는 현재 진행되고 있는 헬스케어 서비스에 있어 큰 도움이 될 것이라 사료된다.

II. 산소포화도 측정 원리

혈중 산소포화도는 혈관 속에 흐르는 총 헤모글로빈의 농도에 대해 산소를 포함하고 있는 헤모글로빈(HbO₂) 농도의 비율로서 정의되어지는데, 기본적으로

Lambert-Beer 법칙을 바탕으로 한 빛을 이용한 방식이다. 그림 1과 같이 심장이 박동할 때 빛의 파장에 따른 산소 헤모글로빈과 헤모글로빈의 흡수계수에 차이의 비를 이용한다.

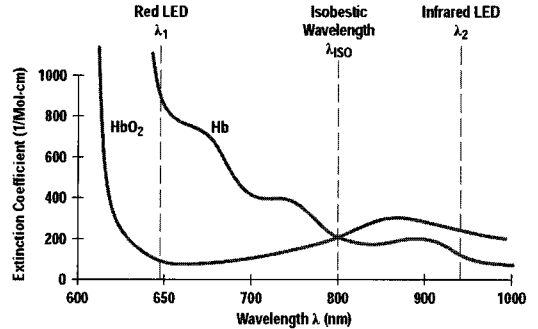


그림 1. 헤모글로빈의 파장별 흡수 스펙트럼
Fig. 1 Hemoglobin Absorption Spectrum

혈액 속의 산소포화도 측정은 두 개의 서로 다른 파장, 즉 적색광(Red: 660nm)과 근적외선(Near Infrared: 940nm) 영역에서의 빛을 조직에 투과하여 서로 다른 흡수 특성을 통해 검출된다[4]. 이러한 산소포화도는 식 (1)과 같이 혈액 속의 헤모글로빈과 산소 헤모글로빈의 합에 대한 산소 헤모글로빈의 퍼센트 비율로써 나타내면 건강한 사람에 대한 이상적인 산소포화도의 값은 100(%)이 된다.

$$Saturation (\%) = \frac{HbO_2}{HbO_2 + Hb} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$

이때 R은 식 (3)과 같이 적색광과 근적외선을 투과한 빛의 양을 표준화한 비율이다.

$$R = \frac{AC_R / DC_R}{AC_{IR} / DC_{IR}} \quad \text{식 (3)}$$

인체에 조사된 빛의 흡수는 피부표면에서의 반사나 산란효과, 뼈, 생체 조직 등의 직류(DC) 성분에 의해 대부분이 이루어지고 이 성분의 약 1-2% 정도의 양이 동맥혈의 맥동(AC) 성분에 의해 흡수된다. 투과광의 세기는 각 파장별 맥동 성분과 직류 성분으로 구별되는데, 적색광 및 근적외선의 두 파장에서 직류 성분에 대한 맥동성

분의 비(Ratio)는 동맥혈 속에 존재하는 헤모글로빈에 대한 빛의 흡수를 나타낸다. 각 파장에서의 직류 성분은 맥동신호 진폭에 대한 정규화로 이용된다. 두 파장에서의 이들 맥동신호 진폭의 비율은 동맥의 산소포화도에 대한 함수로 나타나게 된다.

III. 헬스케어 모니터링 시스템

본 연구에서 제안하는 헬스케어 모니터링 시스템은 새로운 패러다임의 첫 단계로서 무선센서네트워크 환경에서 무자각, 무구속을 바탕으로 이루어지며, 세부적으로는 산소포화도의 측정, 데이터의 무선전송, 서버 모니터링 프로그램으로 크게 3가지로 구성되며, 그림 2는 헬스케어 모니터링 시스템에 대한 전체 구성도를 보여준다.

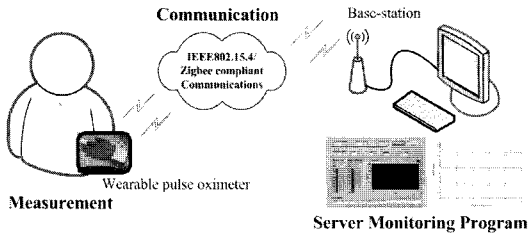


그림 2. 헬스케어 모니터링 시스템의 전체 구성도
Fig. 2 Healthcare Monitoring System Architecture

제안된 시스템은 지속적인 산소포화도의 측정을 위하여 웨어러블 펄스 옥시미터, IEEE 802.15.4 표준 통신을 따르는 무선통신, 그리고 베이스스테이션 및 디스플레이를 위한 서버 모니터링 프로그램으로 구성하였으며, 가정, 사무실이나 병원에서 독거노인이나 만성질환을 겪고 있는 환자에게 PC나 계측기를 연결할 필요 없이 자신들의 몸에 제안된 웨어러블 센서를 부착하고 서버 컴퓨터에 베이스스테이션을 설치함으로써, 환자의 몸에서 측정된 산소포화도 데이터(산소포화도 값, 심장박동수, PPG 파형)가 자율적인 움직임 속에서 무선센서네트워크가 구성된 환경을 통해 안정적으로 원격지인 서버 PC로 전달될 수 있도록 하였다. 또한 서버 PC에서는 LabVIEW 소프트웨어 프로그램을 사용하여 여러 가지 시나리오로부터 측정된 데이터의 실시간 모니터링과 PPG 파형의 2차 미분을 이용한 가속도 맥파의 처리, 그

리고 가속도 맥파에 의한 혈관 탄성도에 대한 분석을 담당하도록 하였다.

3.1. 웨어러블 펄스 옥시미터

그림 3에서는 산소포화도 모듈의 블록도를 보여주고 있으며, 측정된 데이터의 전송을 위해 무선 센서 노드의 블록도를 바탕으로 하여 서로 연결된 모습을 보여주고 있다.

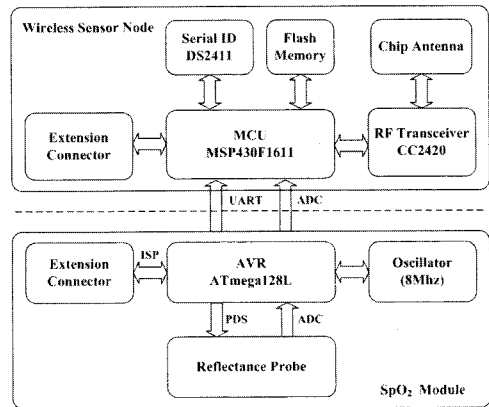


그림 3. 산소포화도 모듈과 무선센서노드의 블록도
Fig. 3 Block Diagram of SpO₂ Module and Wireless Sensor node

산소포화도 모듈의 하드웨어 구성은 두 개의 서로 다른 빛을 사용하는 프로브 부분, 포토다이오드에서 수신된 신호의 처리를 위한 필터 회로, 신호의 증폭을 위한 증폭 회로 등의 아날로그 신호처리를 위한 회로 부분과 계측 모듈에서의 모든 아날로그 처리가 진행된 후 데이터 수집과 계산 업무를 담당하는 마이크로 컨트롤러 부분으로 구성된다. 모듈에 사용되는 마이크로 컨트롤러는 Atmel사의 ATmega128L을 사용하였고 ADC 변환, 산소포화도 값 계산, PPG 파형 검출을 위한 프로그램을 구현하였다. 특히 저전력 기능의 ATmega128L은 최대 8 MHz의 동작이 가능하며, 내부 FLASH 메모리는 외부 확장 커넥터와 연결이 용이한 ISP 포트를 통해 프로그램이 가능하다. 산소포화도 모듈에서 측정된 데이터는 RS-232 시리얼 통신을 사용하여 무선센서노드의 마이크로 컨트롤러의 UART 포트로 1초에 5바이트씩 75번의 데이터가 수집된다.

웨어러블 펄스 옥시미터는 측정하고자 하는 산소포화도 데이터의 무선전송을 위해서 무선통신을 처리할

수 있는 장치의 사용이 불가피하며, 본 논문에서 사용되는 센서노드는 IEEE 802.15.4 표준 프로토콜과 연동이 가능하며 TelosB 계열 무선센서노드의 효율적 기능을 포함할 수 있도록 동서대학교 USN 연구실에서 자체 구현한 무선센서노드를 사용하였다[5]. 제안된 무선센서노드는 무선센서네트워크 환경에서 중요하게 생각되는 저전력의 프로세서 MSP430F1611 마이크로 컨트롤러(TI, USA), 2.4 GHz의 주파수 대역을 사용하는 RF트랜시버(CC2420, TI, USA), 외부 플래시 메모리(M25P80, ST Microelectronics, USA), 사이즈의 최소화(40mm 지름의 원형), 긴 수명, 멀티홉 라우팅 등을 고려하여 제작되었다. MSP430F1611은 16Bit RISC로 내부에 48KB의 프로그램 메모리와 10KB의 램을 가지고 있으며, 8개의 12Bit ADC 채널을 가지고 있다. RF트랜시버 모듈로 사용된 CC2420은 IEEE 802.15.4/ZigBee를 지원하는 RF 칩으로 2400 - 2483.5MHz 대역을 지원하며, 직접시퀀스 대역확산(DSSS) 방식으로 동작하며, O-QPSK 변조 방식과 250Kbps 전송률의 지원이 가능하다.

3.2. 무선센서노드의 어플리케이션

무선센서네트워크를 형성하는 무선센서노드는 인체에서 측정된 생체데이터를 수집한 후 무선 전송을 위한 패킷을 구성하여 서버 PC로 전송하게 된다. 이를 위해 그림 4와 같이 TinyOS 기반의 헬스케어 어플리케이션을 바탕으로 측정 데이터의 수집, 샘플링, 무선통신 등을 위한 일련의 과정을 무선센서노드에 구현하였다.

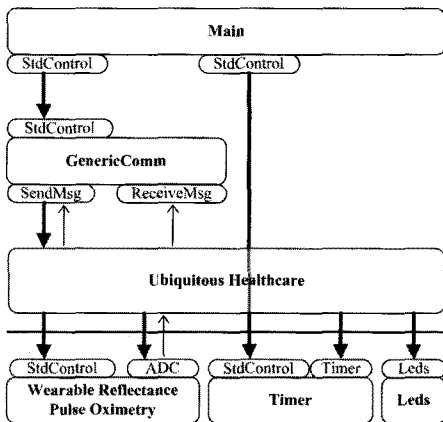


그림 4. TinyOS 기반의 헬스케어 어플리케이션 응용
Fig. 4 Healthcare Application based on TinyOS

서버 PC와 연결된 베이스스테이션은 센서들로부터 전송된 데이터를 정확하고 안전하게 수신 받아 UART 포트를 통해 데이터의 전송이 이루어지도록 하였다.

IV. 실험 및 결과

웨어러블 헬스케어 시스템의 구현을 위해 산소포화도 데이터를 측정할 수 있는 저전력, 초소형의 산소포화도 모듈을 설계하였으며, 그림 5는 웨어러블 펄스 옥시미터에 구성될 산소포화도 모듈과 반사형 프로브를 보여주고 있다.

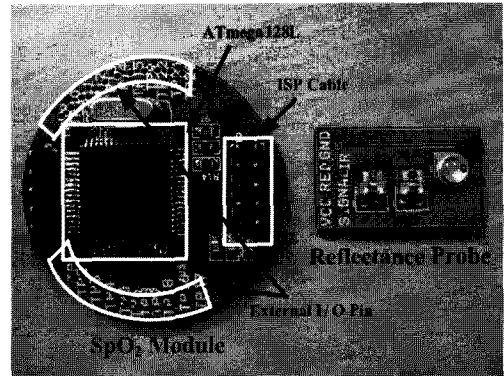


그림 5. 제작된 산소포화도 모듈과 반사형 프로브
Fig. 5 SpO₂ Module and Reflectance Probe

웨어러블 펄스 옥시미터는 그림 5와 같이 윗부분에 위치한 산소포화도 측정을 위한 산소포화도 모듈과 아랫부분에 위치한 측정된 데이터의 수집 및 무선통신을 담당하는 무선센서노드로 이루어진다. 산소포화도 모듈은 탈부착이 가능한 모듈형의 장점을 이용하여 헬스케어 분야에서 소형화된 센서의 기능을 최대한 살리기 위해 필요한 모든 신호처리를 위해 산소포화도 모듈에 아날로그 회로를 구현하여 무선센서노드와 같은 크기인 지름이 약 40mm인 원형타입 모듈형으로 제작하였으며, 확장 커넥터의 사용으로 저전력의 전원(3.3 V)으로 동작하는 무선센서노드와 함께 센서네트워크 환경에서의 사용이 가능하도록 하였다. 웨어러블 펄스 옥시미터에 사용되는 배터리는 리튬폴리머 충전 배터리를 사용하였으며, 가로, 세로, 높이가 32mm × 48mm × 3mm의 사이즈의 배터리의 활용으로 웨어러블 센서에 있어 사이

즈의 제한점을 극복하고자 하였다. 그림 6은 제작한 펄스 옥시미터를 실제 착용한 모습을 보여주고 있으며, 케이스에 On/Off 스위치를 위치시켜 사용자가 측정을 필요로 할 때에만 사용 가능하도록 하였다. 이로 인해 실제 실험을 통한 산소포화도 측정과 데이터의 분석을 가능하게 하였다.

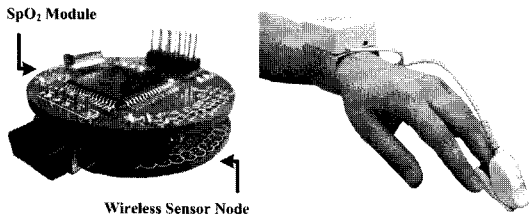


그림 6. 제작된 펄스 옥시미터와 착용 모습
Fig. 6 Pulse Oximeter and Practical Wearing

그림 7은 헬스케어 시스템을 위해 무선센서노드에 구현된 TinyOS 기반의 어플리케이션 소스트리로서, 산소포화도 데이터를 수집하여 전송하기 위한 일련을 과정을 무선센서노드에 프로그램 하였다. 최상위 컴포넌트인 HealthcareM 컴포넌트는 산소포화도 데이터를 수집, 샘플링, 전송하기 위한 함수들로 구현하였으며, 임의의 SPO2 컴포넌트를 생성하여 산소포화도 모듈로부터 측정된 데이터를 수집하는 역할을 담당하도록 하였다.

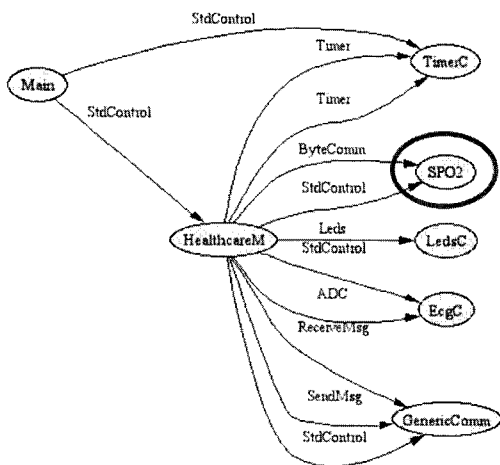


그림 7. TinyOS 기반의 헬스케어 어플리케이션 소스트리
Fig. 7 Source Tree of Healthcare Application based TinyOS

무선센서노드에 구현된 헬스케어 어플리케이션을 통해 수집된 산소포화도 데이터는 무선통신을 위한 메시지 구조로 형성된다. 그림 8은 산소포화도 데이터의 패킷 구성도를 보여주고 있으며, TOS 메시지 패킷은 SourceMoteID, LastSample Number, Channel의 정보를 저장하는 6바이트의 헤더 패킷과 산소포화도의 데이터로 구성된 5바이트 크기의 패킷으로 구성되어 총 11의 메시지 패킷으로 이루어진다. 5의 산소포화도 패킷에는 측정으로부터 얻어진 산소포화도 값, 심장 박동수, PPG 파형에 대한 데이터가 포함되어 있다.

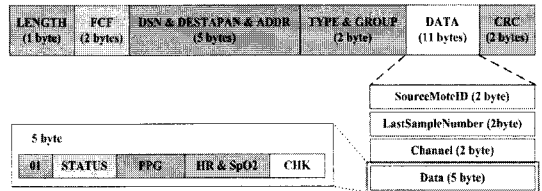


그림 8. 산소포화도 데이터 패킷 구성도
Fig. 8 Packet Formation of Oxygen Saturation

실험에 의해 측정된 산소포화도 값, 심장 박동수, 그리고 PPG 파형은 그림 9의 (a)와 같이 서버 PC에 구현된 LabVIEW 소프트웨어 프로그램을 통해 실시간 모니터링이 가능하도록 하였으며 생체 정보의 관리를 위해 자동적으로 저장되도록 하였다. 측정된 PPG 파형을 미분 기능 함수를 사용하여 2차 미분을 처리하였고, 미분 처리할 때 프로그램에 의해서 발생하는 잡음을 제거하기 위해 평활화 필터 기능 함수를 사용하여 신뢰성 있는 가속도 맥파 파형의 검출이 가능하였다. 그림 9의 (b)는 PPG 파형에서 가속도 맥파 파형이 검출되는 모습을 보여주고 있다.

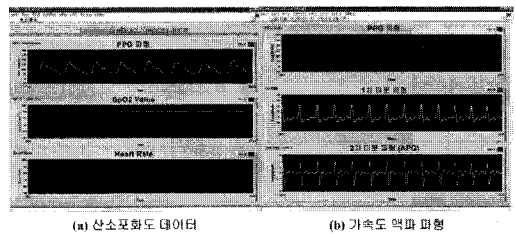


그림 9. 산소포화도 데이터(a)와 가속도 맥파 파형(b) 모니터링 화면
Fig. 9 Monitoring Screen of Oxygen Saturation and APG Signals

LabVIEW 소프트웨어 프로그램은 서버에 연결된 베이스스테이션으로 전송되는 데이터를 수신할 수 있도록 57600의 baud rate, 8 data bit, no parity, 1 stop bit, no flow control을 설정하여 실시간 모니터링을 가능하게 하였다. 손가락에서의 측정된 PPG 파형은 비교적 크기가 크고, 심장과 가깝기 때문에 심박출에서 말초혈관까지의 체순환에 있어서 비교적 적은 영향을 받으므로 가속도 맥파 파형을 검출하는데 용이하다. 안정된 상태에서 측정된 PPG 파형으로부터 얻은 가속도 맥파 파형의 각 변곡점들은 PPG 파형에서는 확인할 수 없는 혈관의 노화나 탄성도를 분석할 수 있는 중요한 지표가 된다. PPG 파형의 2차 미분을 통해 얻어진 가속도 맥파 파형은 정상 수치를 지닌 성인남녀 8명의 측정을 통해 계산된 결과 파형이며, 가속도 맥파 분석에 의한 연령대별 혈관 탄성도 비교를 위해 20대 남녀 2명, 30대 남녀 2명, 40대 남녀 2명, 50대 남녀 2명으로 네 부류의 모집단을 형성하여 측정하였다. 웨어러블 펄스 옥시미터를 통해 측정된 심장 박동수는 PPG 파형의 피크 값을 통해 검출되고 1분에 약 65 - 85 회 정도의 범위 내의 정상수치를 기록하였으며, 산소포화도 값은 프로브에서 얻은 각각의 빛의 흡수도에 대한 비를 이용하여 안정된 상태에서 97% 이상의 수치를 기록하여 피검자 8명 모두 정상수치의 결과를 보였다. 그림 10은 측정을 통해 획득한 PPG 파형의 2차 미분을 처리한 8명의 가속도 맥파 중 연령대별로 가장 특성 있는 파형을 비교하고 있다. 이러한 실험을 통해 가속도 맥파는 파형의 변곡점이 매우 강조되기 때문에 가속도 맥파의 분석으로 인한 연령대에 따른 혈관 탄성도를 유추할 수 있으며, 파형의 분석 및 해석에 있어 큰 영향력을 끼친다.

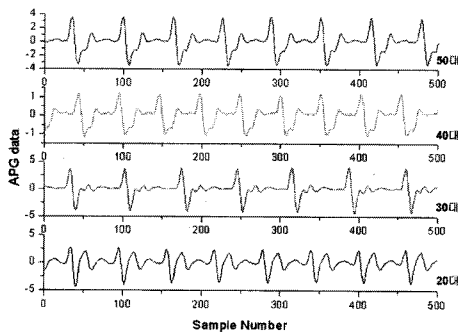


그림 10. 연령대별 가속도 맥파 파형 비교
Fig. 10 Comparison of APG Signals for ages

그림 11과 같이 가속도 맥파에서는 4개의 변곡점을 발견할 수 있으며, 각각의 변곡점은 혈관 벽의 탄성 변화에 대한 정보를 포함하고 있다. a, b 변곡점은 좌심실의 심박출에 의해 나타나는 PPG 파형의 첫 번째 맥동성분 즉, PPG 파형에서 첫째 변곡점까지 급격히 올라가는 초기 수축기를 나타내며, c, d 변곡점은 초기 수축기 이후의 가속도 성분을 나타낸다. a 변곡점에서 측정되는 최대값은 양(+)의 값을 가지며, b 변곡점에서 측정되는 최소값은 음(-)의 값을 가진다. 이에 따라 b/a 값을 구할 수 있는데 계산된 이 값은 혈관 벽의 탄성도를 나타내는 지표가 된다[6][7].

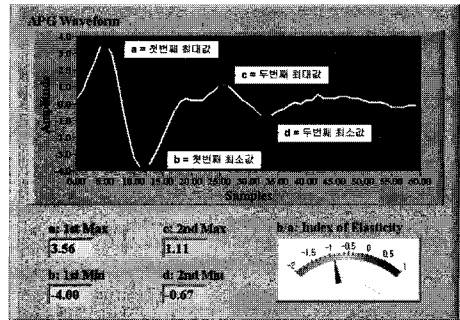


그림 11. 가속도 맥파의 변곡점 분석 화면
Fig. 11 Screen Capture of APG Signals Analysis

표 1은 가속도 맥파의 초기 수축기의 변곡점 분석에 따라 8명의 측정자의 a 변곡점(최대값)의 값들과 b 변곡점(최소값)의 값들을 나타내고 있으며, 동시에 a, b 변곡점의 값으로부터 계산된 b/a 값은 말초혈관의 탄성도 지수를 나타내고 있다. 그림 12는 표 1을 바탕으로 하여 혈관 탄성도를 비교하였다.

표 1. 가속도 맥파 파형의 분석 결과
Table. 1 Analysis Results of APG Signals

	a	b	b/a
20대 여	2.40	-2.96	-1.23
20대 남	2.64	-4.32	-1.64
30대 여	3.56	-4.00	-1.12
30대 남	3.56	-3.92	-1.10
40대 여	3.20	-3.00	-0.94
40대 남	1.12	-1.04	-0.93
50대 여	2.00	-1.73	-0.87
50대 남	3.07	-2.80	-0.91

연령대별 평균을 분석하면 20대에서는 -1.44로 가장 낮았으며 30대에서는 -1.11, 40대에서는 -0.94, 50대에서는 -0.89로 연령대가 높아질수록 높은 탄성도를 보였다.

위의 결과에서처럼 일반적인 PPG 파형의 초기 수축기에서는 혈관 벽의 탄력변화가 가장 크게 나타나게 되므로 가속도 맥파를 통해 나타나는 b/a 값은 손가락 말초 혈관의 탄성도 변화를 반영하게 되며, b/a 값은 나이가 많아지거나 혈관의 탄성도가 떨어질수록 그 값이 상대적으로 증가하게 되므로 손가락에서의 혈관 탄성도가 감소하는 것을 알 수 있었다.

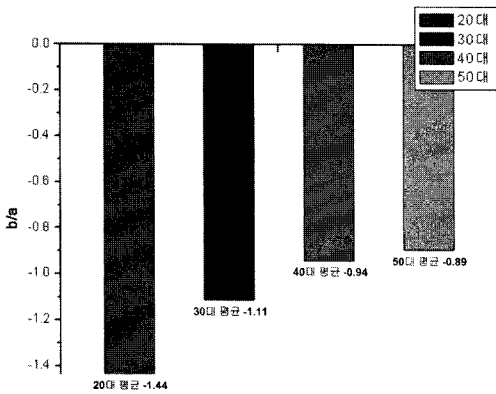


그림 12. 연령대별 혈관 탄성도 비교

Fig. 12 Comparison of Vascular Elasticity for ages

V. 결 론

본 논문에서는 유비쿼터스 헬스케어 분야에서 많은 관심을 불러일으키고 있는 헬스케어 서비스의 제안을 위해 저전력, 초소형의 웨어러블 펄스 옥시미터를 제작하여 산소포화도 값, 심장 박동수, 그리고 PPG 파형의 측정을 가능하게 하였다. 저전력을 고려하여 제작된 무선 센서노드의 활용으로 자유스러운 움직임 속에서 측정된 산소포화도 데이터가 무선센서네트워크를 통해 서버 PC로 안전하게 전송되며, 실시간 모니터링 프로그램으로 환자의 건강 상태를 확인할 수 있는 유비쿼터스 헬스케어 모니터링 시스템을 구현하였다.

또한, 구현된 모니터링 프로그램은 PPG 파형을 2차 미분 처리한 가속도 맥파 파형을 검출하여 환자의 혈관 탄성도에 대한 객관적인 분석을 통해 연령대별 혈관 탄

성도를 비교하였다. 이는 단순히 생체신호의 측정 및 모니터링에 그쳤던 기존의 헬스케어 서비스에 비해 무선 센서네트워크를 통한 이동성 및 가속도 맥파 분석으로 좀 더 개선된 서비스를 제공해 줄 수 있을 것이라 사료되며, 본 연구 결과를 기반으로 하여 통합형 생체신호 측정 시스템을 위한 연구가 필요하다고 판단된다.

참고문헌

- [1] 정병주, “유비쿼터스사회연구시리즈 제17호 - 유비쿼터스 사회의 의료, 보건 비즈니스 트렌드,” 2006.
- [2] 전황수, “ETRI 정책지원자료 - 국내외 u-Health 서비스 시장 및 산업전망,” 2006.
- [3] MindBranch Asia Pacific Co. Ltd, “u-health 시장현황 및 전망,” 2005.
- [4] Siegfried Kastle, Friedemann Noller, Siegfried Falk, Anton Bukta, Eberhard Mayer, and Dietmar Miller, “A New Family of Sensors for Pulse Oximetry”, February 1997 Hewlett-Packard Journal.
- [5] Young-Dong Lee, Esko Alassarela, and Wan-Young Chung, “A Wireless Health Monitoring System in Multi-hop Body Sensor Networks”, Proceeding of ISMICT’07, 2007.
- [6] J. Hashimoto, D. Watabe, A. Kimura, H. Takahashi, T. Ohkubo, K. Totsune, Y. Imai, “Determinants of the Second Derivative of the Finger Photoplethysmogram and Brachial - Ankle Pulse-Wave Velocity: The Ohasama Study”, Am J Hypertension, Vol. 18, pp. 477-485, 2005.
- [7] J. Simek, D. Wichterle, V. Melenovsk, J. Malik, S. Svacina, J. Widimsk, “Second Derivative of the Finger Arterial Pressure Waveform: An Insight into Dynamics of the Peripheral Arterial Pressure Pulse”. Physiological Research, Vol. 54, pp. 505-513, 2005.

저자소개



정상중(Sang-Joong Jung)

2007년 동서대학교 전자공학과
(공학사)

2009년 동서대학교 디자인&IT전문
대학원 유비쿼터스 IT학과
(공학석사)

2009년~현재 부경대학교 일반대학원 전자공학과 박사
과정

※관심분야: 유비쿼터스 헬스케어, 무선센서네트워크,
반도체 설계, IP-USN



이 훈 재(HoonJae Lee)

1985년 2월 : 경북대학교 전자공학과
졸업(학사)

1987년 2월 : 경북대학교 전자공학과
졸업(석사)

1998년 2월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(박사)

1987년2월~1998년1월 : 국방과학연구소 선임연구원

1998년3월~2002년2월 : 경운대학교 조교수

2002년3월~현재 : 동서대학교 컴퓨터정보공학부
부교수

※관심분야: 암호이론, 네트워크보안, 부채널공격



정완영(Wan-Young Chung)

1987년 경북대학교 전자공학과
(공학사)

1989년 동 대학원 전자공학과
(공학석사)

1992년 동 대학원 전자공학과(공학박사)

1998년 일본 규슈대학 총합이공학연구과(공학박사)

1999년~2008년 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수

2008년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
부교수

※관심분야: 유비쿼터스 센서네트워크, 마이크로센서,
유비쿼터스 헬스케어