

무구속 건강모니터링을 위한 의자형 BCG 측정 시스템 구현

노운홍*, 정도운**

*동서대학교 디자인 & IT 전문대학원, **동서대학교 컴퓨터정보공학부

Development of the Chair-type BCG Monitoring System for Non-restrained Health Monitoring

Yun-hong Noh*, Do-Un Jeong**

*Graduate School of Design & IT, Dongseo University

**Division of Computer & Information Engineering, Dongseo University

E-mail : noh108@nate.com, dujeong@dongseo.ac.kr

요 약

본 연구에서는 가정 또는 사무실에서 무구속(non-restrained)적인 방법으로 심장의 활동상태를 모니터링하기 위하여 심탄도(ballistocardiogram, BCG)를 계측하고자 하였다. 심탄도는 심전도의 측정과는 다르게 신체에 전극을 부착할 필요가 없고, 무구속 상태에서 신호계측이 가능하므로 장시간 동안 심장상태의 모니터링에 유용하게 활용할 수 있는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 무구속 심탄도 계측을 위하여 의자형 심탄도 측정시스템을 구현하였다. 먼저 로드셀을 의자의 상판과 하판 사이에 설치하여 피검자의 체중을 측정할 수 있는 센서부를 구성하였으며, 센서로부터 출력되는 신호를 증폭 및 필터링하기 위한 계측부를 구현하였다. 구현된 심탄도 계측시스템의 성능평가를 위하여 피검자 10명을 대상으로 심탄도 계측평가를 수행하였으며, 이때 심전도 신호와 동시계측을 수행하였다. 평가결과 본 연구에 의해 구현된 심탄도 계측시스템의 우수한 계측성능을 확인할 수 있었다.

키워드

BCG(ballistocardiogram), ECG, non-restrained, Ubiquitous Healthcare

1. 서 론

인간의 사망원인 중 수위를 차지하고 있는 심장관련 질환은 현대사회에서 업무 과중과 스트레스에 의해 그 발병가능성이 높아지고 있다. 최근 유비쿼터스 헬스케어기술의 부각에 따라 일상생활 중 지속적인 심전도 모니터링을 통해 심장관련 질환을 예측하고 응급상황을 조기에 발견하기 위한 연구들이 수행되고 있다[1],[2]. 하지만 심전도신호를 모니터링하기 위해서는 필수적으로 전극을 신체에 부착하는 과정을 거쳐야 하며, 전극과 계측시스템의 연결을 위해 리드선을 사용함으로써 인해 활동의 불편함을 유발한다.

본 연구에서는 가정 또는 사무실에서 무구속(non-restrained)적인 방법으로 심장의 활동상태를 모니터링하기 위하여 심탄도(ballistocardiogram, BCG)를 계측하고자 하였다. 심탄도는 심장의 수축과 이완에 따라 심장과 혈관에서의 혈류변화에 따른 탄도를 계측한 신호를 의미하며, 상 신호의 측정범위는 0 ~ 7mg, 주파수 범위는 0 ~ 40Hz의 신호로 이루어진다. 심탄도는 심전도와 유사하게 심장의 활동 상태를 나타내는 지

표이지만, 심전도의 측정과는 다르게 신체에 전극을 부착할 필요가 없으며, 무구속 무자각 상태에서 신호계측이 가능하므로 장시간 동안 심장상태의 모니터링에 유용하게 활용할 수 있는 장점이 있다. 또한 심탄도 신호는 심장에서의 심근 기능 손상에 따른 역류 및 이상혈류현상에 대한 정보를 포함하며, 심근이상의 관리, 모니터링, 진단 등에 활용 가능하다. 실제 임상에서는 심근장애와 회복 정도의 관찰, 심장기능에 대한 평가와 치료효과를 확인, 여러 가지 심장병을 진단하고 감별하는 보조적인 수단으로서 주로 활용되고 있다[3],[4]. 이와 같은 심탄도를 측정하기 위해 Akhbardeh[3] 등은 의자에 설치하는 방식형 심탄도 측정시스템에 관한 연구를 수행하였으며, EMFi(electromechanical film)센서를 방식에 내장시켜 힘의 변화에 따른 센서의 두께변화 시 발생하는 전기적인 전하 변화를 전하 증폭기(Charge Amplifier)를 사용하여 신호를 획득 및 처리하는 방식을 제안하였다. 하지만 이러한 방식은 대상자가 방식에 앉는 자세에 따라 힘 또는 중량이 분산되는 현상이 발생하여 측정의 정확성이 떨어지는 문제점이 있다.

본 연구에서 가정이나 사무실과 같은 장소에서 피검자가 일상생활을 하는 중 무구속 무자각 상태에서 신호계측을 효과적으로 수행할 수 있도록 하는 새로운 형태의 의자형 무구속 심탄도 측정시스템을 구현하고자 하였다. 이를 위하여 로드셀을 의자의 상판과 하판 사이에 설치하여 피검자의 체중을 측정할 수 있는 센서부를 구성하였으며, 센서로부터 출력되는 미세신호를 증폭하기 위하여 전치 증폭부를 구성하였다. 또한 측정된 신호로부터 체중 정보를 추출하여 피검자의 체중 모니터링이 가능하도록 하였으며, 다른 한편으로는 심박동에 따른 미세한 힘의 변화를 검출하기 위해 고역통과필터를 구성하고 체중에 의한 오프셋신호를 제거하여 심탄도신호를 검출하였다. 또한 심탄도 신호에 포함된 잡음의 제거와 미소한 신호의 증폭을 위하여 필터회로와 다단 증폭회로를 구성하였다. 검출된 체중신호와 심탄도신호의 처리 및 데이터 무선전송을 위하여 초저전력 마이크로프로세서에 의해 구동되는 무선센서노드를 이용하였다. 그리고 계측시스템의 평가를 위하여 심전도신호와 동시계측을 통한 비교평가를 수행하였다.

II. 시스템의 구현

1. 심탄도의 개요

심탄도는 심전도와 유사하게 심장의 활동상태를 나타내지만, 심전도 측정과는 다르게 전극을 불필요로 하며 무구속 무자각 상태에서 지속적인 심장의 건강상태 모니터링이 가능하다. 그리고 실제 임상에서는 심근장애와 회복 정도의 관찰, 심장기능에 대한 평가와 치료효과를 확인, 여러 가지 심장병을 진단하고 감별하는 보조적인 수단으로서 주로 활용되고 있다.

심탄도는 심장의 수축과 이완에 따른 심장과 혈관에서의 혈류변화에 따른 탄도를 계측한 신호를 의미한다. 일반적으로 심탄도에서는 F, G, H, I, J, K, L, M, N의 순서로 9개파로 구성되어지며, 이 가운데서 F, H, J, L, N파는 양성파이고 G, I, K, M파는 음성파이다. 실제 심탄도의 구성을 그림 1에 나타내었다.

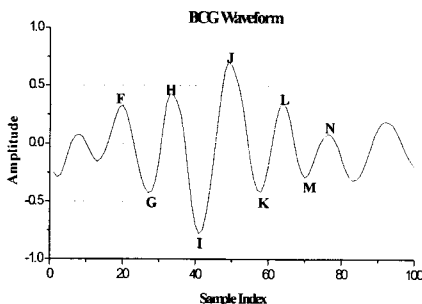


그림 1. 심탄도의 구성

심탄도에서 FGH는 심장에서 혈액의 방출전 단계이고 IJK는 혈액의 방출기, LMN는 심장확장기에 해당한다. 또한 H파는 심장에서 혈액을 급속하게 방출할 때 동시에 일어나며, 아래쪽을 향하고 있는 I파는 상행대동맥을 따라 흐르는 혈액의 가속도와 폐동맥 주위의 대동맥궁과 경동맥 내부를 나타내고 J 파는 하강하고 있는 혈액의 가속도와 복부 대동맥과 상행대동맥에 흐르는 혈액의 감속도를 말한다. IJ 크기는 좌심실의 수축의 힘을 반영하고 IJ의 속도는 신축성을 반영한다.

2. 심탄도 계측부 및 신호처리회로의 구현

본 연구에서는 무구속 상태에서 지속적인 심장의 활동상태를 모니터링 하기 위하여 의자형 심탄도 측정 시스템을 구현하였다. 이를 위하여 의자의 상판과 하판에 로드셀(BC single point load cell, 30kgf - 150kgf, Cas)을 부착하여 피검자의 무게변화를 계측할 수 있도록 하였다. 또한 이때 로드셀을 통해 피검자의 체중뿐만 아니라 심장의 이완과 수축에 따른 미세한 무게변화의 검출이 가능하다. 본 연구에서 구현한 로드셀을 이용한 의자형 심탄도 계측부의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

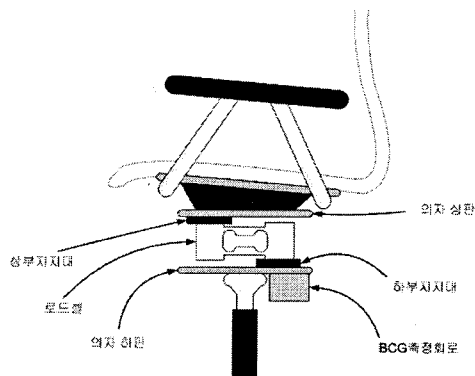


그림 2. 의자형 심탄도 계측부의 구성도.

로드셀로부터 출력되는 무게변화신호로부터 체중과 심탄도 신호를 추출하기 위한 신호처리회로를 구현하였다. 먼저 로드셀로부터 출력되는 미세신호를 증폭하기 위하여 계측용 증폭기(INA118, BB Co., USA)를 이용한 전치증폭회로를 구성하였으며, 신호에 포함된 60Hz 방사잡음의 제거를 위하여 구조가 간단하지만 특정대역 제거성능이 우수하고 Q값의 가변적인 조정이 가능한 2차 트윈티 노치필터를 구성하였다. 미세한 신호의 증폭을 위하여 연산증폭기를 이용한 신호증폭회로를 구성하였으며, 신호에 포함된 고주파 잡음의 제거를 위하여 2차의 버터워즈 저역통과필터를 구성하였다. 저역통과필터를 통과한 신호는 2점 교정방식을 적용하여 피검자의 체중

신호를 모니터링하여 건강모니터링을 위한 참고 자료로 활용 및 피검자 인지를 위한 보조자료로 사용할 수 있도록 하였다. 또한 의자에 착석유무를 판단하여 계측시스템의 대기 또는 동작 상태를 결정함으로써 시스템의 소비전력 감소가 가능하다.

로드셀로부터 검출된 신호로부터 체중에 의한 오프셋을 제거하여 미세하게 변화하는 심탄도성분의 검출이 가능하도록 고역통과필터를 구성하였다. 일반적으로 오프셋 신호를 제거하기 위해서는 연산증폭기를 이용한 가산기 회로 등을 많이 이용하지만 체중에 의한 오프셋 신호와 심탄도의 대역은 명확하게 구분되므로 보다 구성이 간편하고 별도의 미세 오프셋 조정이 필요 없는 고역통과필터를 이용하여 체중에 의한 오프셋 신호를 제거하고 미세하게 변화하는 교류성분의 심탄도 신호를 검출하였다. 오프셋이 제거된 심탄도 신호는 그 크기가 미소하므로 증폭기를 구성하여 신호를 증폭하고 저역통과필터를 이용하여 심탄도신호에 포함된 잡음을 제거하여 최종 심탄도 신호를 검출하였다. 본 연구에 의해 구현된 심탄도 검출회로의 구성도를 그림 3에 나타내었다.

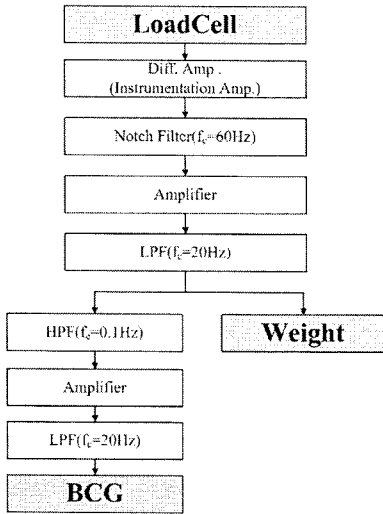


그림 3. 심탄도 측정회로의 구성.

3. 시스템 제어부 구현

신호처리회로에 의해 검출된 체중 신호 및 심탄도 신호의 디지털 변환 및 무선 전송을 위하여 IEEE 802.15.4 센서네트워크기술에 기반한 Zigbee 호환 무선 센서노드(TIP710CM, Maxfor Co., Korea)를 이용하였다. 이 센서노드는 저전력 마이크로프로세서인 MSP430F1611으로 제어되며, 내부에 내장된 12-bit 분해능의 ADC를 이용하여 체중신호는 1 sample/sec의 속도로 샘플링 하고 심탄도 신호는 50 sample/sec 속도로

채널별 가변 샘플링을 수행하고 샘플링된 데이터의 효율적 무선전송을 위하여 전송데이터 패킷을 구성하며, 패킷의 길이를 가변적으로 조정 가능하도록 구성하여 무선송수신기의 잦은 사용을 지양함으로써 보다 저전력 무선통신이 가능하도록 설계하였다. 또한 무선센서노드에서는 체중신호를 검출하여 보정기법을 적용함으로써 보다 정확한 체중의 모니터링이 가능하도록 하였다. 그리고 체중변화의 검출을 통해 의자에 착석유무를 판별하여 시스템 전원을 관리함으로써 저전력 동작이 가능하도록 설계하였으며, 구현된 시스템 제어부의 구성도를 그림 4에 나타내었다.

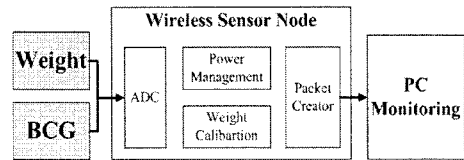


그림 4. 시스템 제어부의 구성도.

시스템 제어부에 의해 PC로 전송된 심탄도 및 체중 데이터를 PC상에서 모니터링하기 위하여 VisualStudio2005를 이용하여 모니터링 프로그램을 구현하였다. 이 모니터링 프로그램은 무선센서노드로부터 전송되는 데이터를 실시간으로 디스플레이 가능하며, 데이터 저장, Review, 그래프의 확대 및 축소가 가능하도록 구현하였다.

III. 실험 및 결과

1. 심탄도 시스템 구현결과

본 연구에서는 무구속 상태에서 지속적인 심장의 활동상태를 모니터링 하기 위하여 의자형 심탄도 측정 시스템을 구현하였다. 실제 구현된 의자형 심탄도 측정시스템에서 심탄도를 모니터링하는 실험셋을 그림 5에 나타내었으며, 실제 모니터링되고 있는 심탄도 신호의 일례를 그림 6에 나타내었다. 실험결과에서 확인 할 수 있듯이 무구속 무자각 상태에서 심장의 활동에 따른 심탄도의 계측이 가능함을 확인할 수 있다.

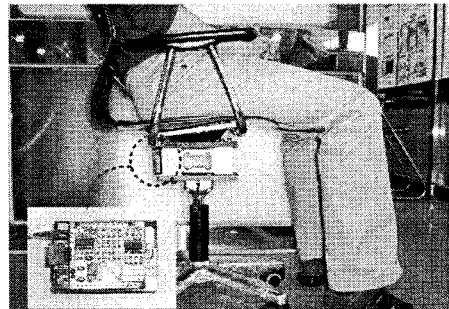


그림 5. 구현된 심탄도 계측 실험셋.

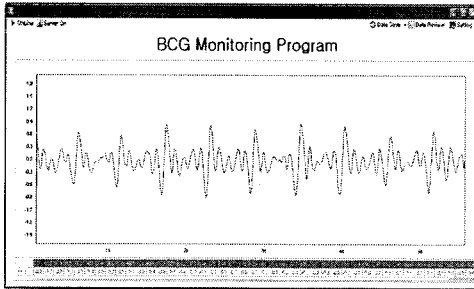
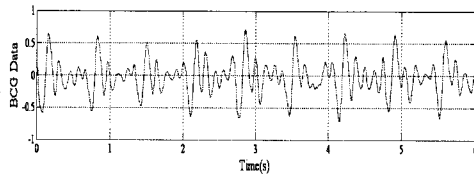


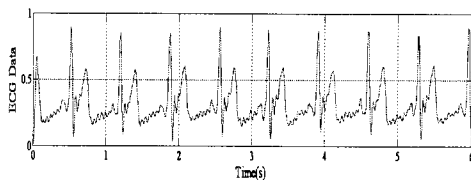
그림 6. 구현된 실시간 모니터링프로그램.

2. 시스템의 유용성 평가

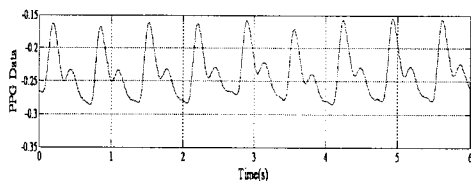
본 연구에 의해 구현된 심탄도 계측시스템의 유용성평가를 위하여 심탄도 측정과 동시에 심전도와 광전용적맥파를 계측하여 분석하고자 하였다. 심탄도 계측을 위하여 본 연구에서 구현한 시스템을 사용하여 p400생체신호계측기(PhysioLab Co., Korea)를 사용하여 계측하였다. 실제 심탄도, 심전도, 광전용적맥파를 동시에 계측한 일례를 그림 7에 나타내었다. 계측된 심탄도 신호를 살펴보면 심전도 신호와 동기되어 나타남을 확인할 수 있으며, 특징점 검출에 의해 심전도 신호와 동일하게 심박동수 등의 검출이 가능하여 무구속 무자각 건강모니터링을 위한 생체신호로 활용 가능성을 확인 할 수 있다.



(a) 계측된 심탄도 신호



(b) 계측된 심전도 신호



(c) 계측된 광전용적맥파 신호

그림 7. 심탄도 계측의 유용성 평가 결과

IV. 결론

본 연구에서 가정이나 사무실과 같은 장소에서 피검자가 일상생활을 하는 중 무구속 무자각 상태에서 신호계측을 효과적으로 수행할 수 있도록 하는 의자형 무구속 심탄도 측정시스템을 구현하였다. 의자의 상판과 하판사이에 로드셀을 설치하여 피검자의 체중을 측정할 수 있는 센서부를 구성하였으며, 센서로부터 출력되는 미세신호로부터 체중과 심탄도신호를 검출하기위한 전자회로를 구성하였다. 또한 무선데이터전송을 위하여 무선센서노드를 이용한 데이터제어부를 구현하였다. 구현된 시스템의 유용성평가를 위해 심전도 및 광전용적맥파신호와 동시계측 실험을 수행한 결과 심탄도신호로부터 무구속 무자각에 의한 심박동수 검출이 가능함을 확인하였다. 또한 필터셋의 조정에 따른 기저선 분석을 통한 호흡수 등의 건강정보 추출이 가능할 것으로 생각된다. 심탄도신호와 맥파의 동시계측 및 분석에서는 실제 심탄도신호의 J파가 광전용적맥파의 침투치와 일치하는 양상을 보이는데 향후 연구에서는 심전도와 광전용적맥파, 심탄도 간의 시간지연관계를 다양한 자세 및 실험군에 대해 계측 및 분석하여 건강모니터링을 위한 새로운 파라미터를 개발하고자 한다.

감사의글

본 연구는 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

- [1] u-헬스케어 보안 이슈 및 기술 동향, ETRI 한국전자통신연구원, 2007. 2.
- [2] Lorincz, K et al, "Sensor Networks for Emergency Response: Challenges and Opportunities", *IEEE Pervasive Computing, Special Issue on Pervasive Computing for First Response*, Vol. 3, No 4, October 2004.
- [2] Alireza. Akhbardeh et al, "An intelligent ballistocardiographic chair using a novel SF-ART neural network and biorhogonal wavelets, *J. Med. Ssyst.*, Vol. 31, pp. 69-77.
- [3] M. Koivuluoma, J. Alametsä, and A. Värri, "EMFI as Physiological Signal Sensor, First Result in ProHeMon Project" *Proceedings of URSI XXVI convention on Radio Science and Second Finnish Wireless Communication Workshop*, Tampere, Finland, 2004.
- [4] X. Yu, D. J. Gong, C. Osborn, and D. Dent, "A Wavelet Multiresolution and Neural Network System for BCG signal Analysis", *IEEE TECON-Digital signal processing Applications.*, pp. 491-495, 1996.