

템플릿 매칭을 이용한 심탄도 신호처리 기법 구현

노윤홍*, 정도운**

*동서대학교 디자인 & IT 전문대학원, **동서대학교 컴퓨터정보공학부

Implementation of the BCG Signal Processing Method Using Template Matching

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

*Graduate School of Design & IT, Dongseo University

**Division of Computer & Information Engineering, Dongseo University

E-mail : dujeong@dongseo.ac.kr

요 약

일상생활 중 지속적인 심장의 활동상태 모니터링을 통해 건강관리 및 응급상황에 대처하기위한 많은 관련 연구들이 수행되고 있다. 심전도신호를 모니터링하기 위해서는 필수적으로 전극을 신체에 부착해야만 하며 피검자로 하여금 불편함을 초래한다. 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, 심탄도를 계측하기 위하여 로드셀을 이용한 의자형 무구속 심탄도 측정시스템을 구현하였다. 그리고 심탄도 신호로부터 건강정보의 추출을 위해 웨이브렛 변환과 템플릿 매칭(template matching)기법을 이용한 신호처리기법을 제안하였다. 구현된 시스템 및 신호처리기법의 타당성을 검토하기위해 심전도와 동시에 심탄도를 측정하였으며, 상호 비교를 통해 심탄도 계측시스템의 유용성을 평가하였다.

키워드

Keyword : BCG(ballistocardiogram), Wavelet, Template Matching, ECG

1. 서 론

심장관련 질환은 현대사회에서 업무 과중과 스트레스에 의해 발병 가능성이 높아지고 있으며, 일상생활 중 건강상태를 지속적으로 모니터링하여 심장질환 관련 응급상황에 대처하기위한 많은 연구들이 수행되고 있다[1]. 일상생활 중 심전도신호의 모니터링을 위해 벨트형 및 의복형 전극을 이용하여 피검자로 하여금 최소구속적인 방법으로 심전도신호를 계측하는 방법들이 소개되고 있다[2],[3]. 하지만 심전도신호를 모니터링하기 위해서는 필수적으로 전극을 신체에 부착하는 과정을 거쳐야 하며, 전극과 계측시스템의 연결을 위해 리드선을 사용함으로써 인해 피검자로 하여금 활동의 불편함을 유발한다.

본 연구에서는 가정 또는 사무실에서 무구속(non-restrained)적인 방법으로 심장의 활동상태를 모니터링 하기 위하여 심탄도(ballistocardiogram, BCG)를 계측하고자 하였다.

심탄도는 심장의 수축과 이완에 따라 심장과 혈관에서의 혈류변화에 따른 탄도를 계측한 신호를 의미하며, 심전도와 유사하게 심장의 활동 상태를 나타내는 지표이지만, 심전도의 측정과는 다르게 신체에 전극을 부착할 필요가 없기 때문에 무구속 무자각 상태에서 신호계측이 가능하므로 장시간 동안 심장상태의 모니터링에 유용하게 활용할 수 있는 장점이 있다[4],[5]. 하지만 심탄도 측정은 시각적으로 분석하기 어렵고, 일반적으로 임상에서 사용되지 않는 신호이기 때문에 관심을 받지 못하였으나, 최근 컴퓨터 처리 능력과 신호처리 알고리즘의 발달로 심탄도에 새로운 관심이 급증하였다[5].

이와 같은 심탄도를 측정하기위해 기존연구에서는 EMFi(electromechanical film)센서를 이용하여 센서의 두께변화시 발생하는 신호를 검출하는 방식형 또는 압력센서를 이용한 매트리스형의 심탄도 계측 시스템에 관한 연구를 수행하였

다[6],[7]. 하지만 이러한 방식은 대상자가 앉는 자세나 누워있는 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 구현하였다. 로드셀을 의자의 상판과 하판 사이에 설치하여 단일 지점에서 앉는 자세나 위치에 상관없이 피검자의 체중을 측정할 수 있는 센서부를 구성하였으며, 센서로부터 출력되는 신호를 증폭 및 필터링하여 심박동에 따른 미세한 힘의 변화를 검출하기 위한 계측부를 구현하였다. 검출된 심탄도 신호의 처리 및 데이터 무선전송을 위해 초저전력 마이크로프로세서에 의해 구동되는 무선센서노드를 사용하였다.

구현된 시스템에서 계측된 심탄도 신호로부터 건강모니터링을 위한 특징성분을 검출하기 위해 웨이브렛 변환과 템플릿 매칭(Template Matching)을 혼합한 신호처리방법을 제안하였으며, 제안한 알고리즘을 이용하여 심탄도 신호로부터 심박동을 검출하였다.

II. 심탄도 측정 시스템의 구현

1. 심탄도의 개요

심탄도 신호는 심장의 수축과 이완에 따라 심장과 혈관에서의 혈류변화에 따른 탄도를 계측한 신호를 의미하며, 상 신호의 측정범위는 0 ~ 7mg, 주파수 범위는 0 ~ 40Hz의 신호로 이루어진다. 또한 심전도 측정과는 다르게 전극을 붙일 필요 없이 무구속 무자각 상태에서 지속적인 심장의 건강상태 모니터링이 가능하다. 심탄도 신호의 일례를 그림 1에 나타내었다.

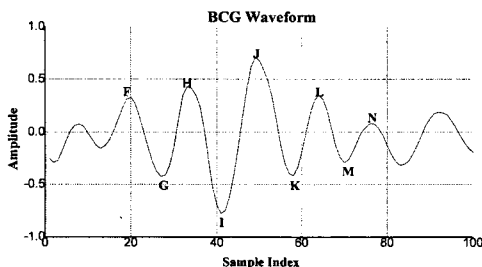


그림 1. 심탄도의 구성.

일반적으로 심탄도에서는 F, G, H, I, J, K, L, M, N의 순서로 9개 파형으로 구성되며, 심탄도에서 FGH는 심장에서 혈액의 방출 전 단계이고 IJK는 혈액의 방출기, LMN는 심장확장기에 해당한다. 또한 H파는 심장에서 혈액을 급속하게 방출할 때 동시에 발생하며, 아래쪽을 향하고 있는 I파는 상행대동맥을 따라 흐르는 혈액의 가속

도와 폐동맥 주위의 대동맥궁과 경동맥 내부 변화를 반영하고, J 파는 하강하고 있는 혈액의 가속도와 복부 대동맥과 상행대동맥에 흐르는 혈액의 감속도를 말한다. IJ 크기는 좌심실의 수축의 힘을 반영하고 IJ의 속도는 신축성을 반영한다. 심탄도에서 J파형은 심전도 신호에서 R파형과 대응하여 나타난다. 하지만 심전도에서 R파형이 크게 나타남으로써 피크치 검출에 용이한 반면에 심탄도에서 J파는 주위 파형과 주파수 대역 및 신호의 크기가 유사하기 때문에 시간적으로 분석하기 어렵고 피크치 검출에도 어려움이 따른다.

2. 심탄도 측정 시스템

본 연구에서는 무구속 상태에서 지속적인 심장의 활동상태를 모니터링 하기 위하여 기 수행 연구에 의해 구현된 의자형 심탄도 측정 시스템을 이용하였다[8]. 심탄도의 측정을 위하여 의자의 상판과 하판에 로드셀을 부착하여 앉는 자세나 위치에 상관없이 단일지점에서 피검자의 무게변화를 계측할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 또한 로드셀로부터 출력되는 신호로부터 체중과 심탄도 신호를 추출하기 위해 신호처리회로를 구현하였다.

신호처리회로에 의해 검출된 체중 신호 및 심탄도 신호의 디지털 변환 및 무선 전송을 위하여 무선센서노드(TIP710CM, Maxfor Co., Korea)를 이용하였다. 무선센서노드를 통해 12-bit 분해능으로 체중신호는 1 sample/sec, 심탄도 신호는 100 sample/sec 속도로 채널별 가변 샘플링 하였으며, 샘플링된 데이터의 효율적 무선전송을 위하여 패킷의 길이를 가변적으로 조정 가능하도록 구성하였다. 구현된 심탄도 측정시스템의 구성도를 그림 2에 나타내었다.

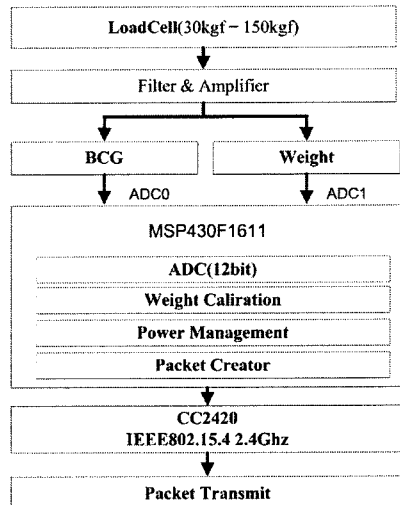


그림 2. 심탄도 측정시스템의 구성도.

III. 심탄도 신호처리

1. 웨이브렛을 이용한 심탄도 신호의 전처리

심탄도 신호에서 심박동수를 검출하기 위해서는 심전도 신호의 R파에 해당하는 심탄도신호의 J파를 검출해야만 한다. 하지만 심탄도의 J파는 주위 파형과 주파수 대역 및 신호의 크기가 유사하기 때문에 일반적인 신호처리방법으로는 피크검출이 불가능하다.

본 연구에서는 심탄도 신호로부터 기저선변화의 제거 및 잡음성분의 제거를 통한 심박동수의 검출을 위하여 웨이브렛을 이용한 전처리과정을 수행하였다. 웨이브렛 변환은 푸리에 변환과 같이 기저함수(basis functions)들의 집합으로 신호를 분해하여 표현하는 방법으로 고주파 대역에서는 폭이 좁은 윈도우를 사용하고, 대역에서는 폭이 넓은 윈도우를 사용한다. 따라서 시간-주파수 영역에서 비정상적인 신호의 분석에 유리한 특성을 가진다. 웨이브렛을 이용한 다해상도 분석에서는 웨이브렛 함수 및 스케일 함수를 시변 입력신호와 곱하여 주파수 영역에서 고주파(= $h(k)$)와 저주파(= $g(k)$)로 주파수 성분을 분해할 수 있으며, 이를 통해 60Hz전력선 잡음, 기저선 변동 및 근잡음 등과 같은 다양한 종류의 잡음제거가 가능할 뿐만 아니라 피크 검출을 위한 특정성분의 재구성이 가능하다[9].

본 연구에서는 DB4(Daubiech4) 웨이브렛을 이용하여 심탄도 신호를 총 6단계로 분해하였으며, cD3, cD4, cD5의 재조합을 통해 잡음영역을 제거하고 피크검출에 용이한 신호로 심탄도 신호를 재구성 하였다. 본 연구에서 적용한 웨이브렛 심탄도 분해 및 재구성 과정을 그림 3에 나타내었다.

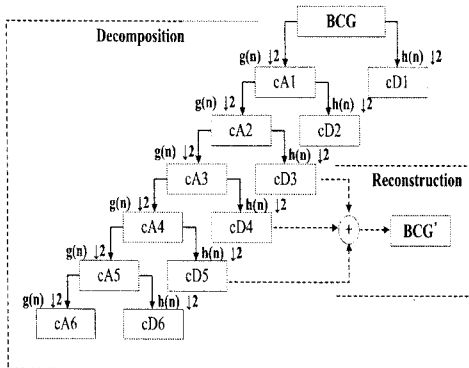


그림 3. 웨이브렛 분해 및 재구성.

2. 템플릿 매칭(Template Matching)기법

템플릿 매칭은 일반적으로 물체 위치 추적에 많이 사용되며, 추적하고자 하는 물체의 형태에 해당하는 고정 템플릿을 영상의 각 부분과 비교하여 유사도가 높은 지점을 물체의 위치로 판정

하는 방법이다[10].

본 연구에서는 그림 4와 같이 심탄도 신호에서 이상적인 템플릿을 추출하고 템플릿과 입력 신호간의 상관계수를 계산하였다. 이때 상관계수를 구하기 위한 수식은 다음과 같다.

$$r_{xy} = \frac{\sum_{n=1}^N \{x(n) - \bar{x}\} \{y(n) - \bar{y}\}}{\sqrt{\sum_{n=1}^N \{x(n) - \bar{x}\}^2 \sum_{n=1}^N \{y(n) - \bar{y}\}^2}} \quad (1)$$

여기서 x 는 입력신호, y 는 템플릿 신호, \bar{x} 와 \bar{y} 는 각각 x 와 y 의 평균값이다. 상관계수는 1에 가까울수록 템플릿과 유사한 신호로 판단되며, 템플릿 매칭을 통해 신호의 크기를 정규화할 수 있다.

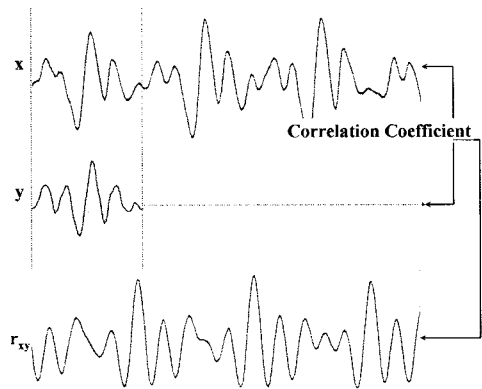


그림 4. 템플릿 매칭.

3. 적응 문턱치를 이용한 심탄도 피크검출

웨이브렛 및 템플릿 매칭 기법을 통해 전처리된 심탄도 신호로부터 피크치를 검출하기 위하여 신호에 따라 문턱치 값을 가변하는 적응 문턱치 설정 기법을 구현하였다. 본 연구에서 적용한 적응 문턱치 기법은 전처리된 심탄도 신호에 5초 간격의 윈도우를 적용하여 윈도우 내에서 가장 큰 심탄도 피크의 80% 문턱치 TH_a1으로 설정하고, 최대치의 40% 문턱치를 TH_a2로 설정한다. TH_a1과 TH_a2 각각의 문턱치를 이용하여 윈도우 내에서 피크검출을 수행하고 동일한 피크 개수가 될 때 까지 TH_a1은 문턱치 값을 감소시키고, TH_a2의 문턱치 값을 증가시키는 과정을 반복 수행한다. TH_a1과 TH_a2에 의한 피크검출의 개수가 같아지면 이때의 TH_a1에 의해 검출된 피크를 최종 피크로 결정한다. 상기에 기술한 적응피크검출기법을 그림 5에 도시하였다.

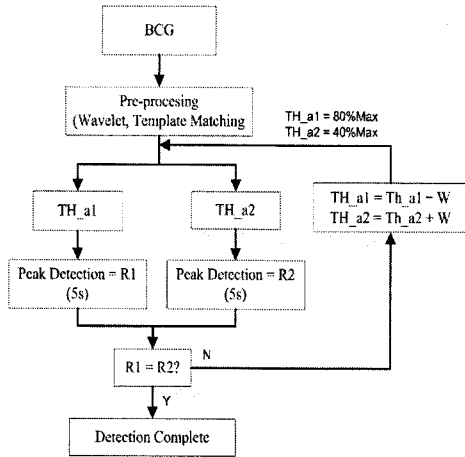
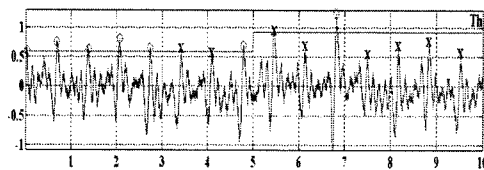


그림 5. 피크 검출 알고리즘.

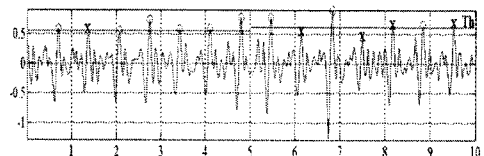
III. 실험 및 결과

1. 전처리기법 성능평가

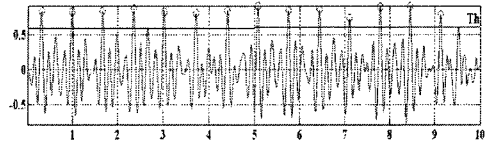
본 연구에서 적용한 웨이블릿 및 템플릿 매칭 전처리기법의 성능평가를 위한 실험을 수행하였다. 먼저 심탄도 계측시스템으로부터 측정된 10초동안의 심탄도 신호에 적응 문턱치를 이용한 피크검출 결과를 그림 6의 (a)에 나타내었다. 그리고 심탄도 신호에 웨이블릿 전처리과정을 통해 피크검출을 수행한 결과를 그림 6의 (b)에 나타내었으며, 웨이블릿 전처리 후 템플릿 매칭을 적용한 신호로부터 피크검출을 수행한 결과를 그림 6의 (c)에 나타내었다. 그리고 심탄도 신호의 피크검출 성능을 평가하기 위하여 심탄도 신호와 동시에 계측한 심전도 신호로부터 피크검출을 수행한 결과를 그림 6의 (c)에 나타내었다. 실험결과를 살펴보면 웨이블릿 및 템플릿 매칭을 적용함에 따라 피크검출 성능이 높아짐을 확인할 수 있다.



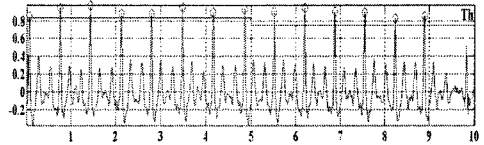
(a) 심탄도 원신호로부터 심박동 검출



(b) 웨이블릿 변환 후 심박동 검출



(c) 웨이블릿-템플릿 매칭 후 심박동 검출



(d) 심전도 신호로부터 심박동 검출

그림 6. 전처리기법의 성능평가 결과.

2. 심탄도 계측의 유용성 평가

본 연구에 의해 구현된 심탄도 계측시스템의 유용성평가를 위하여 심탄도 측정과 동시에 심전도를 계측하여 분석하고자 하였다. 심탄도 계측을 위하여 본 연구에서 구현한 시스템을 사용하였으며, 심전도 계측을 위하여 p400생체신호계측기(PhysioLab Co., Korea)를 사용하여 100Hz의 샘플링 주파수로 계측하였다. 실험대상은 건강한 대학생 4명을 대상으로 30분간 심전도와 심탄도를 동시에 계측하는 실험을 수행하였다. 이때 피검자는 의자에 편안하게 앉아 독서를 하는 상태에서 심탄도 신호를 계측하였으며, 심전도는 사지유도법 중 리드 I 방법을 사용하여 계측하였다. 피검자 4명을 대상으로 심전도신호로부터 검출한 피크수와 심탄도 신호로부터 검출한 피크수를 비교하여 그 결과를 표 1에 나타내었다. 실험 결과를 살펴보면 심탄도를 이용한 피크검출 성공률이 평균 98.91%를 보이고 있으며, 이를 통해 심탄도를 이용한 무구속 건강모니터링의 가능성을 확인할 수 있다.

표 1. 심탄도 신호로부터 피크검출 결과

	Peak (ECG)	Peak (BCG)	Error			Accuracy [%]
			P.F.	N.F.	Total Error	
Object 1	2094	2084	3	7	10	99.52%
Object 2	2175	2152	10	13	23	98.94%
Object 3	2134	2119	6	9	15	99.29%
Object 4	2308	2260	9	39	48	97.92%
Average			7	17	24	98.91%

IV. 결론

본 연구에서 가정이나 사무실에서 피검자가 일상생활을 하는 중 무구속, 무자각 상태에서 신호계를 계측하여 건강상태를 모니터링 할 수 있는 심탄도 측정시스템을 구현하고자 하였다. 이

를 위하여 의자형 무선 심탄도 계측시스템을 구현하였으며, 심탄도에 포함된 기저선 변화 및 잡음성분의 제거, 신호의 크기를 정규화하기 위해 웨이브렛 및 템플릿 매칭 기법을 적용하였고 적응 문턱치 기법을 이용하여 피크검출을 수행하였다.

구현된 시스템의 성능 및 유용성 평가를 위해 건강한 대학생 4명을 대상으로 심전도와 심탄도를 동시에 계측하여 각각의 신호로부터 피크검출을 수행한 결과 심탄도로부터 피크검출 성공률이 평균 98.91%로 나타났으며, 심탄도를 이용한 무구속, 무자각 건강모니터링의 가능성 및 구현된 시스템의 유용성을 확인 할 수 있다.

향후 연구에서는 측정의 신뢰성 향상을 위하여 신호처리 알고리즘 및 시스템 평가방법을 보완하고자하며, 다양한 실험군을 대상으로 심탄도 신호 계측을 통해 심장질환의 자동 판별에 관한 연구를 지속적으로 수행하고자 한다.

감사의글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

- [1] u-헬스케어 기술 및 표준화 동향, 한국정보통신기술협회 TTA, 2007.07.
- [2] J. Mühlsteff, O. Such, R. Schmidt, M. Perkuhn, H. Reiter, J. Lauter, J. Thijs, G. Müsch, M. Harris "Wearable approach for continuous ECG and Activity Patient-Monitoring" Proceedings of the 26th Annual International Conference of the IEEE EMBS San Francisco, CA, USA • September 1-5, 2004.
- [3] Jorg Ottenbacher, Stephan Romer, Christophe Kunze, Ulrich Großmann, Wilhelm Stork "Integration of a Bluetooth Based ECG System into Clothing" Eighth IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'04) pp. 186-187.
- [4] J. Alihanka, K. Vaahtoranta, I. Saarikivi, "A new method for long-term monitoring of the ballistocardiogram, heart rate, and respiration" Am J Physiol, vol. 240(9), pp. 289-297, 1993.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] Yongjoon Chee, Jooman Han, Jaewoong Youn and Kwangsuk Park "Air mattress sensor system with balancing tube for unconstrained measurement of respiration and heart beat movements" Physiol. Meas. 26 No 4 (August 2005) 413-422.
- [8] 노윤홍, 정도운, "무구속 건강모니터링을 위한 의자형 BCG 측정 시스템 구현" 2008 한국해양정보통신학회 춘계학술대회논문집, 12권, 1호, pp. 603-606, 2008.
- [9] Metin Akay, "Wavelet in Biomedical engineering," Anals of Biomedical Engineering, Vol.23, pp.531-542,1995.
- [10] S. E. Dobbs, N. M. Schmitt, and H. S. Ozemek, ""QRS detection by template matching using real-time correlation on a microcomputer,"" J. Clinic. Eng., vol 9, pp.197-212, 1984.