

가변 기준값을 이용한 심박동 검출 기법에 관한 연구

김세진* · 정도운**

*동서대학교 디자인 & IT 전문대학원, **동서대학교 컴퓨터정보공학부

A Study of the Heart Rate Detection Using Variable Threshold Method

Se-Jin Kim* · 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

본 논문에서는 장시간 심전도를 측정하더라도 착용의 불편함을 최소화하기 위해 가슴에 착용 가능한 벨트형 심전도 전극을 제작하였다. 그리고 심전도 신호의 검출을 위하여 초저전력 계측시스템을 구현하였으며, Zigbee호환의 무선노드를 이용하여 계측된 심전도 신호를 PC측으로 무선 전송하는 시스템을 구현하였다. 또한 착용을 통해 장시간 심전도 측정이 가능하도록 움직임에 따른 동잡음을 제거하고자 하였으며, 이를 위해 적응 신호처리기법을 사용하였다. 그리고 가변 기준값을 이용하여 보다 정확한 심전도 R피크를 검출하고자 하였다. 구현된 적응신호처리와 R피크검출의 성능을 평가하기 위하여 MIT-BIH 데이터를 이용한 잡음제거성능 및 피크검출 실험을 수행하였으며, 실제 피검자를 대상으로 활동 중 심전도 계측 실험을 통해 구현된 시스템의 성능평가를 수행하였다.

키워드

Keyword : Adaptive Filter, ECG, Zigbee, MIT-BIH.

1. 서 론

경제성장과 더불어 삶의 질이 향상됨에 따라 건강에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 인구의 고령화에 따라 만성질환자의 수가 증가하고 이에 따른 의료수요가 급격히 증가하고 있다. 하지만 의료수요에 비해 의료서비스를 위한 인프라가 부족한 실정이며, 이러한 문제점을 극복하기 위한 하나의 대응방안으로서 유비쿼터스 헬스케어 기술이 부각되고 있다.

유비쿼터스 헬스케어란 일상생활 중 시간과 장소에 구애받지 않고 자신의 건강상태를 지속적으로 모니터링 하여 항상 건강한 상태를 유지하도록 지원하는 기술을 의미한다. 유비쿼터스 헬스케어를 통해 일상생활 중 계측된 건강정보를 의료기관이나, 전문센터로 전송함으로써 지속적인 건강상태의 모니터링 및 이상 징후의 조기 발견을 통한 조기치료가 가능하다. 유비쿼터스 헬스케어 를 위해서는 건강정보를 항상 모니터링 하고 관리할 수 있는 생체신호계측이 필수적으로 수반되어야 하며, 생체신호 계측 시 불편함을 최소화 하기위한 많은 연구들이 수행되고 있다 [1]-[5].

다양한 생체신호 중 건강모니터링을 위해 가

장 기본적으로 활용하며, 가장 많은 건강정보를 포함하고 있는 심전도는 여러 가지 요인으로 인해 발생하는 많은 잡음신호를 포함하고 있다. 특히 일상생활 중 심전도를 측정하면 움직임에 따른 심전도 전극과 피부사이의 임피던스 변화가 유발되어 동잡음이 발생하게 된다. 이러한 동잡음은 시간에 따라 가변적으로 잡음성분이 변하기 때문에 일반적으로 사용하는 필터링 기법만으로는 제거하기 힘들다.

본 연구에서는 일상생활 중 장시간 심전도를 측정하기위해 벨트형 심전도 전극 및 계측시스템을 구현하였다. 그리고 심전도 신호의 무선전송을 위해 Zigbee호환의 센서노드를 이용하여 무선데이터 전송시스템 및 모니터링 프로그램을 구현하였다. 계측된 심전도로부터 불규칙하게 발생하는 동잡음신호를 보다 효율적으로 제거함으로써 심전도 신호의 왜곡을 최소화하기 위해 적응필터를 구현하였다. 그리고 동잡음이 제거된 신호로부터 심전도의 R피크를 검출하기 위해 주파 잡음에 의한 기전선의 변화가 발생하더라도 피크 검출이 가능한 가변 기준값을 이용한 문턱치 설정기법을 구현하였다. 가변적으로 적용하여 보다 정확하게 심박동을 검출하고자 하였다.

II. 시스템 구현 및 신호처리

1. 심전도 측정시스템의 구현

일반적으로 심전도 신호를 측정하기 위하여 일회용 Ag/AgCl전극을 많이 사용하고 있다. 하지만 일회용 전극의 경우 장시간 부착 시 전극의 접착성분에 의한 피부 자극이 발생할 수 있고 땀에 의한 접착력 약화에 따른 피부와 전극 사이 임피던스 변화가 발생할 수 있다. 따라서 일상생활 중 지속적인 심전도 계측을 수행하기 위해서는 재사용이 가능하고, 장시간 측정하더라도 피부자극을 최소화하는 전극의 개발이 필요하다. 본 연구팀의 기 수행연구에서는 일상생활 중 심전도 모니터링 시 발생할 수 있는 일회용 전극의 문제점을 개선하기 위해 가슴 벨트형 심전도 전극시스템을 구현하였으며[6], 본 연구에서는 기 연구에 의해 구현된 전극 시스템을 사용하였다.

전극으로부터 유도된 심전도신호의 검출을 위하여 1차 저역통과필터와 계측용 증폭기(INA118, BBco., USA)로 구성된 전치증폭부를 구성하였다. 그리고 차단주파수가 0.05Hz인 고역통과필터를 설계하여 심전도 신호에 포함된 기저선 및 저주파성분의 잡음을 제거하였다. 상용 전원예 의한 60Hz전원잡음의 제거를 위하여 구조가 간단하지만 Q값의 조정이 가능하고 저지대역 제거성능이 우수한 트윈티노치필터(Twin-T notch filter)를 설계하였으며, 신호증폭회로와 35Hz의 차단주파수를 갖는 2차 버터워즈 저역통과필터를 설계하여 최종 아날로그 심전도 신호를 검출 하였다.

장시간 건강모니터링에서 중요한 과제중 하나는 시스템의 소비전력이다. 본 연구에서는 계측된 심전도 신호를 무선으로 전송하기 위하여 2.4GHz Zigbee호환의 TIP710CM (Maxfor Co. Ltd., Korea)무선노드를 사용 하였다. 무선노드에서는 심전도 신호를 초당 100회 샘플링을 수행 하였으며, 무선 전송 시 잦은 송수신기 사용에 따른 소비전력을 최소화하기 위해 샘플링된 데이터를 패킷으로 재구성 하여 최소의 소비전력으로 무선전송이 가능하도록 무선노드를 프로그래밍 하였다.

2. 심전도 신호처리기법 구현

본 연구에서는 심전도 신호에 포함된 동잡음의 제거를 위하여 Wiener 필터이론의 LMS(least mean square) 알고리즘을 이용하여 적응필터를 구현하였다. LMS적응필터는 주어진 필터계수에 기반 하여 최소평균자승 알고리즘으로 필터 계수를 반복적으로 조정하여 잡음 제거 또는 원하는 신호의 특성을 추정하는 기법이며, 시스템의 출력은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$E(n) = S(n) + N(n) - eN(n) \quad (1)$$

여기서 $S(n)$ 는 원신호이고 $N(n)$ 은 잡음성분신호, $eN(n)$ 은 적응필터의 결과를 나타낸다. 만약 잡음성분신호 $N(n)$ 과 적응신호의 결과가 같다면 최적의 결과인 $S(n)$ 성분만이 출력될 것이다. 필터계수 h_k 는 아래의 식으로 계산 할 수 있다.

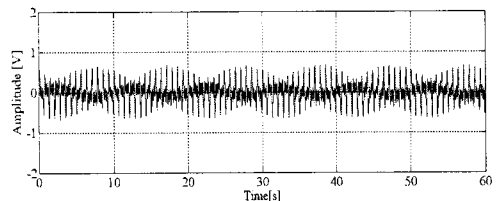
$$h_k(n+1) = h_k(n) + 2\mu E(n)N_R(n-k) \quad (2)$$

여기서 $N_R(n)$ 은 참조잡음신호, $eN(n)$ 은 추정된 잡음신호이다. 그리고 $h_k(n)$ 는 필터계수, μ 는 수렴상수이다.

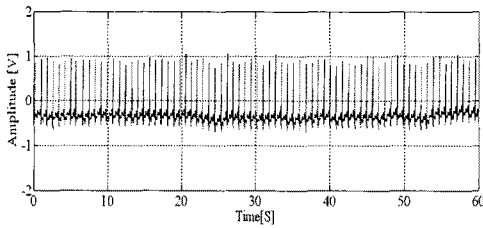
III. 실험 및 결과

1. MIT-BIH 데이터를 이용한 필터 성능평가

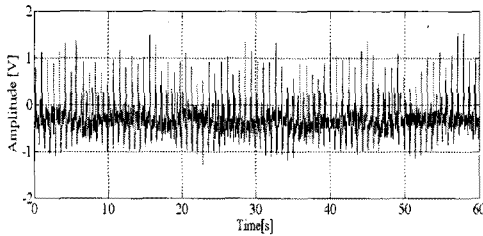
구현된 적응필터의 성능을 평가하기 위하여 MIT-BIH 데이터를 이용하여 인위적인 잡음신호 및 동잡음 신호를 추가하고 본 연구에서 제안한 적응필터를 이용하여 제거함으로써 그 성능평가를 수행하고자 하였다. 먼저 활동상태에서 나타나는 동잡음 성분의 특징을 평가하기 위해 앞서 측정된 심전도 데이터와 걸기, 뛰기에서 측정된 심전도 데이터의 주파수분석을 실시하였으며, 걸기와 뛰기 같은 활동상태의 주파수 성분에서 남아 있을 때와 같은 정적인 상태에서 나타나지 않은 특정한 주파수 성분을 확인할 수 있었다. 그 결과 1.3Hz, 2.7Hz, 4.1Hz의 특정주파수 성분이 활동 시에 나타나는 특정 주파수로 판단하였으며, 이 주파수 대역의 잡음신호와 화이트 노이즈를 섞은 인위적인 동잡음 신호를 생성하여 그 결과를 그림 1의 (a)에 나타내었다. 그리고 MIT-BIH Arrhythmia Database 100번 심전도 신호의 일부구간을 그림 1의 (b)에 나타내었으며, 심전도 데이터에 인위적인 동잡음을 첨가한 신호를 그림 1의 (c)에 나타내었다. 그리고 그림 1의 (c) 신호에 본 연구에서 제안한 적응신호처리 기법을 이용하여 잡음을 제거한 결과를 그림 1의 (d)에 나타내었다. 그 결과 원심전도와 유사한 신호로 복원 가능함을 확인할 수 있으며, 본 연구에서 제안한 적응필터의 유용성을 확인할 수 있다.



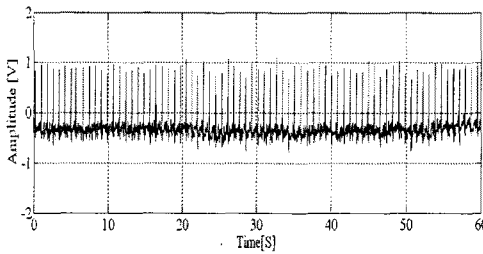
(a) 동잡음신호



(b) 심전도 신호



(c) 심전도 + 동잡음 신호



(d) 적용신호처리 결과

그림 1. 적응필터 성능평가 결과.

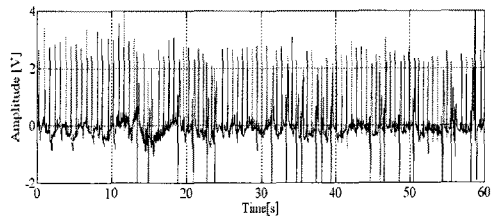
2. 가변 기준값을 이용한 피크검출 성능평가

심전도의 R피크 검출에 있어 일반적으로 사용하는 고정된 기준값을 사용하여 피크검출을 수행할 경우 기저선 변화 또는 신호 크기의 변화에 따른 피크검출의 오류가 발생할 수 있다.

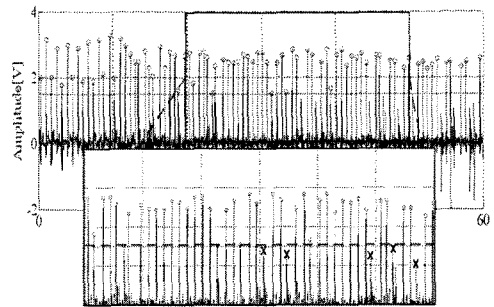
본 연구에서는 가변적인 기준값을 사용하여 보다 정확한 R피크를 검출하고자 하였다. 먼저 심전도로부터 검출된 5개의 R피크 치에서 최고값을 제외한 4개의 데이터 평균의 60%에 해당하는 기준값을 가변적으로 적용하여 피크치를 검출하도록 하였다. 이러한 가변 기준값을 이용한 R피크 검출의 성능평가를 위하여 MIT-BIH Long Term ECG Database 14184 데이터를 이용, 장시간 활동 중에 계측된 데이터, 즉 동잡음이 포함된 데이터에서 적응필터와 R피크검출의 성능을 평가하고자 하였다. MIT-BIH Long Term ECG Database 14184 데이터를 그림 2의 (a)에 나타내었으며, 이 신호에 본 연구에서 구현한 적응필터를 이용하여 동잡음 성분을 제거 후 고정된 기준값을 적용하여 R피크를 검출한 결과를 그림 2의 (b)에 나타내었다. 실험결과 고정된 기준값

을 적용한 경우 기준값 아래에 발생한 R피크는 검출하지 못함을 확인할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 본 연구에서 제안한 가변 기준값을 이용하여 R피크검출 한 결과를 그림 2의 (c)에 나타내었으며, 고정된 기준값에서 검출하지 못한 R피크를 정확하게 검출 할 수 있음을 보여 준다.

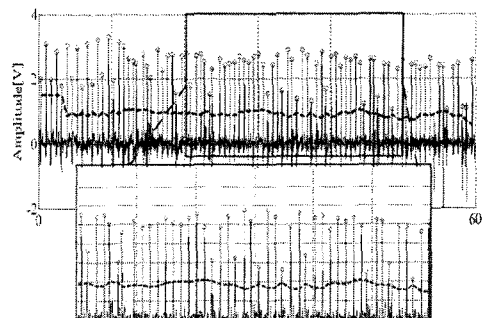
본 연구에서 제안한 가변 기준값을 이용한 R 피크 검출 성능의 보다 객관적인 평가를 위하여 MIT-BIH Database 14046, 14149, 14157, 14184번 데이터를 이용하여 가변 기준값을 적용한 R피크 검출 실험을 수행하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 표 1에서 Negative 에러는 R피크가 기준값보다 작아 검출이 불가능한 경우이며, Positive 에러는 R피크가 아니지만 기준값보다 큰 값이 검출되어 발생한 에러를 의미한다.



(a) MIT-BIH 심전도



(b) 고정 기준값을 적용한 피크검출



(c) 가변 기준값 적용한 피크검출
그림 2. 피크검출 성능평가.

표 1. MIT-BIH 데이터를 이용한 피크검출 성능평가 결과

MIT-BIH DB Number	Number of Peak	Fixed Th.				Variable Th.			
		Detection of Peak	Error		Accuracy [%]	Detection of Peak	Error		Accuracy [%]
			Negative	Positive			Negative	Positive	
14046	77	69	8	0	89	77	0	0	100
14149	99	91	8	0	91	99	0	0	100
14157	67	60	7	0	89	67	0	0	100
14184	90	80	10	0	88	90	0	0	100
Average					89.25				100

표 2. 활동상태에 따른 피크검출결과

	Number of Peak	Fixed Th.				Variable Th.			
		Detection of Peak	Error		Accuracy [%]	Detection of Peak	Error		Accuracy [%]
			Negative	Positive			Negative	Positive	
Slow Walking	963	953	10	0	98.9	960	3	0	99.6
Walking	1050	1023	13	4	97.4	1033	17	0	98.3
Running	1410	1240	37	207	87.9	1290	120	0	91.4
Average					94.73				96.43

3. 활동상태 심전도 계측 평가

본 연구에서 구현한 적응신호처리 기법과 가변 기준값을 이용한 R피크검출 방법의 실제 일상생활 중 심전도 모니터링에 적용 가능함을 확인하기 위하여 다음과 같은 실험을 수행하였다.

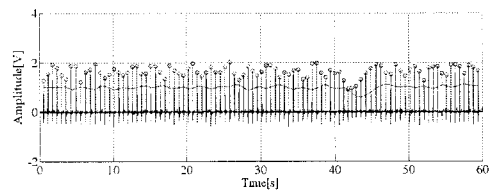
활동에 따른 심전도를 계측하기 위하여 본 연구를 통해 구현된 심전도 전극을 가슴에 부착하고, 계측시스템을 허리에 부착한 상태에서 러닝머신을 이용하여 2km/h의 천천히 걷기(Slow Walking), 4km/h의 보통속도로 걷기(Normal Walking), 6km/h의 속도로 뛰는 상황(Running)에서 각각 10분간 심전도신호를 계측하였으며, 실제 데이터 계측 모습을 그림 3에 나타내었다.



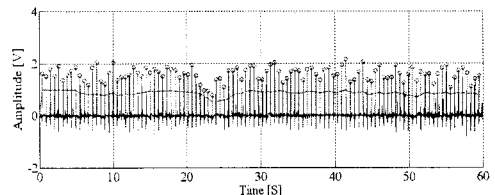
그림 3. 활동 중 심전도 계측 장면.

그리고 각각의 활동에 따라 계측한 심전도 신호에 본 연구에서 제안한 적응필터 및 가변 기준값을 적용하여 R피크를 검출한 결과의 일례를 그림 4에 나타내었다. 그리고 각각의 활동에 따

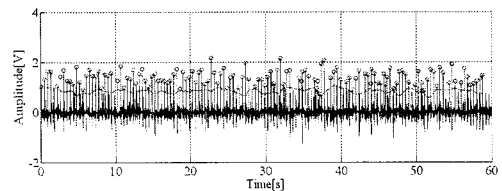
른 R피크 검출결과를 육안검사에 의한 피크검출 결과와 비교하여 표 2에 나타내었다.



(a) 2 km 천천히 걷기의 심전도



(b) 4km 보통 속도 걷기의 심전도



(b) 6kmn 뛰기의 심전도

그림 4. R피크검출 결과.

IV. 결 론

본 연구에서는 일상생활 중 장시간 심전도를 측정하기 위해 벨트형 심전도 계측시스템을 구현하였다. 그리고 심전도 신호의 무선전송 시스템 및 모니터링 프로그램을 구현하였다. 일상생활 중 심전도 계측 시 발생할 수 있는 동잡음의 제거를 위하여 적응신호처리 기법을 제안하였고, 가변 기준값을 이용하여 심전도의 R피크검출 성능을 향상시키고자 하였다.

동잡음 제거를 위한 적응신호처리 기법의 성능평가를 위해 MIT-BIH데이터에 임의의 동잡음 신호를 첨가하여 적응신호처리 알고리즘의 성능평가실험을 수행하였으며, 가변 기준값을 이용한 R피크 검출의 성능평가를 위해 4종류의 MIT-BIH 심전도 데이터베이스를 이용하여 성능평가를 수행한 결과 평균 100%의 정확도를 보였다. 그리고 구현된 시스템 및 신호처리방법이 실제 일상생활 중 심전도 모니터링에 적용 가능함을 확인하기 위한 실제 피검자를 대상으로 한 심전도 모니터링 실험을 수행하였으며, 실험결과 96.43%의 정확도를 보였다.

향후 연구에서는 일상생활 중 활동상태에 따른 가속도 신호를 동시 계측하여 보다 객관화된 건강지표를 추출하고자 하며, 일상생활 중 건강 모니터링을 위한 생체신호의 동잡음 제거에 관한 연구를 지속적으로 수행하고자 한다.

감사의글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

참고문헌

- [1] J. Ottenbacher, L. Jatoba, U. Großmann, W. Stork, K. Müller-Glaser "ECG Electrodes for a Context-aware Cardiac Permanent Monitoring System", *IFMBE Proceeding* Vol. 14/2.
- [2] Klaus-Peter Hoffman, Raman Ruff, "Flexible dry surface-electrodes for ECG long-term monitoring", *Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE EMBS*, Cité Internationale, Lyon, France, pp. 23-26, 2007.
- [3] P. Bifulco, G. Gargiulo, M. Romano, A. Fratini and M. Cesarelli, "Bluetooth Portable Device for Continuous ECG and Patient Motion Monitoring During Daily Life" *Medicon 2007, IFMBE Proceedings 16*, pp. 369-372, 2007.
- [4] Dong Jun, Xu Miao, Zhu Hong-hai, Lu Wei-feng, "Wearable ECG Recognition and Monitor", *Proceedings of the 18th IEEE Symposium on Computer-Based Medical Systems*, pp. 413 - 418, 2005.
- [5] 박혜준, 홍경희, 김승환, 신승철, "ECG 생체신호 측정을 위한 실용적 U-헬스케어 의복 개발", *Journal of the Korea Society of Clothing and Textiles*, Vol. 31, No. 2,
- [6] 김세진, 정도은, "이동평균필터와 적응신호처리를 이용한 휴대형 ECG 시스템 구현", *해양정보통신학회, 춘계종합학술대회*, Vol. 12, No. 1, pp. 989-993, 2008.