
유비쿼터스 헬스케어 시스템을 위한 노드기반의 R피크 검출 알고리즘

이대석* · 황기현* · 차경환**

R-peak Detection Algorithm in Wireless Sensor Node for Ubiquitous Healthcare Application

Dae-seok Lee* · Gi-Hyun Hwang* · Kyoung-Hwan Cha**

본 논문은 2010년도 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스 지역혁신센터에서 지원받았음
2009년도 동서대학교 학술연구조성 지원과제과제의 연구결과로 수행되었음

요 약

현재 무선센서노드 기반의 헬스케어 모니터링 시스템이 활발히 연구되고 있다. 하지만 생체신호의 모니터링을 위한 전체 데이터의 전달은 무선센서네트워크 내의 데이터 트래픽과 에너지 소모가 증가하게 된다. 본 연구에서는 경량의 전처리 과정 및 알고리즘을 통해 ECG신호에서 의미있는 파라미터만을 검출하여 전송하였다. 본 연구에서는 정상적인 ECG에서 무선센서노드에서 R피크, RR간격을 검출할 수 있는 TinyOS 기반 어플리케이션을 구현하였으며 결과로 dECG, R피크, RR간격, HRV를 그래프로 확인 할 수 있었다. 따라서 본 연구를 이용하면 ECG신호 전체 데이터가 아닌 주요 정보만을 보냄으로서 에너지 소모, 데이터량을 줄일 수 있다.

ABSTRACT

The QRS complex in ECG analysis is possible to obtain much information that is helpful for diagnosing different types of cardiovascular disease. This paper presents the preprocessor method to detect R-peak, RR interval, and HRV in wireless sensor node. The derivative of the electrocardiogram is efficiency of preprocessing method for resource hungry wireless sensor node with low computation. We have implemented R-peak and RR interval detection application based on dECG for wireless sensor node. The sensor node only transfers meaning parameter of ECG. Thus, implementation of sensor node can save power, reduce traffic, and eliminate congestion in a WSN.

키워드

무선센서네트워크, 유비쿼터스 헬스케어, 생체신호 모니터링, HRV

Key word

Wireless Sensor Network, u-Healthcare, Body Signal Monitoring, HRV

* 정회원 : 동서대학교
** 정회원 : 동서대학교 (교신저자, khcha@dongseo.ac.kr)

접수일자 : 2010. 08. 09
심사완료일자 : 2010. 08. 16

I. 서 론

무선센서네트워크 기술은 헬스케어, 재난, 농장, 공공 시설물 등의 여러 분야에서 모니터링 또는 분석을 위한 목적으로 사용할 수 있다. 특히 헬스케어 분야에서 많은 연구가 진행되고 있으며 생체신의 모니터링을 위한 목적으로 주로 연구, 개발되고 있다[1]. 무선센서네트워크를 이용한 헬스케어의 연구 분야는 크게 생체신호 모니터링, 안정적인 데이터 전달 신뢰도 향상, 보안 등의 다양한 형태의 연구가 진행되고 있다[2-4].

무선센서네트워크 기술을 접목한 헬스케어 시스템에서 가장 보편적으로 사용하는 생체신호는 ECG (Electrocardiogram) 신호로서, 계측이 용이하며 보다 많은 생체정보를 가지고 있다. ECG신호는 심장을 구성하는 세포들이 시간에 따라 흥분, 회복할 때 생기는 전위 변화를 기록한 것으로 P-QRS-T 한 주기 중 보통 양방향의 가장 높은 피크를 R파에 해당하며, 이러한 R파는 매 심박동마다 반복적으로 나타난다. R파간의, 즉 심박 간격간의 변화를 심박수 변이도라 부르며, RR간격 변이율 또는 HRV(Heart Rate Variability)라 한다. 심전도 신호에서 R파는 매우 규칙적으로 발생하는 것처럼 보이지만, 실제 정량적인 수치로 간격을 분석하면 매 박동 때마다 조금씩 달라진다.

이는 교감신경과 부교감신경의 활성도를 각각 독립적으로 측정할 수 있으며, 자율신경과 관련된 다양한 질환과 증상에 폭 넓게 적용할 수 있다. ECG는 심장질환 뿐만 아니라 HRV를 통해 일상생활에서 발생하는 우울, 불안과 스트레스 후 증후군, 성격, 과민성 장 증후군과 자율신경계와의 관계에 대한 연구에 이용되고 있다.

dECG(Derivative of ECG)는 ECG신호를 미분한 것으로, dECG는 높은 주파수 대역인 QRS를 강조시키며 낮은 주파수 대역인 P와 T파를 감소시킨다. 또한 베이스라인에서 많이 벗어나지 않는 신호뿐만 아니라 동잡음 역시 감쇄시킬 수 있다.

본 연구에서는 3점에 대한 미분을 적용하였으며 식은 (1)과 같다.

$$y(n) = x(n + 1) - x(n - 1) \quad (1)$$

$y(n)$ 은 dECG 신호로서, 그림 1에서 정상적인 ECG 신호와 dECG를 보여주고 있다.

그림1은 ECG신호와 dECG신호를 비교한 그림이다. 그림 1의 (a),(b)에서의 QRS-complex를 비교하면 dECG의 경우 P파와 T파, 동잡음이 감쇄되며 (a)에서의 R파의 경우 (b)에서는 왼쪽 최고점에서 오른쪽 최저점 사이 영역의 제로점을 지나게 된다. 이를 통해 R파를 검출할 수 있는 영역이 선택된다.[5]

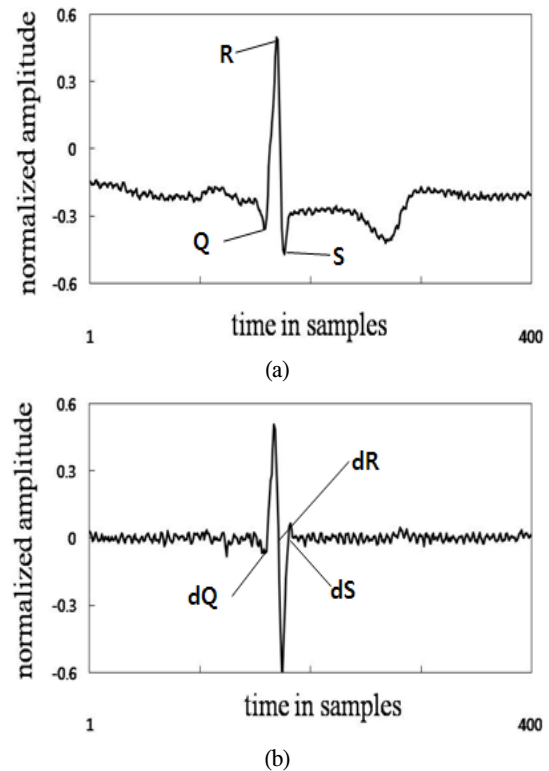


그림 1. (a) 정상 ECG, (b)dECG
Fig.1 (a) ECG of normal subject, (b)dECG

본 연구에서는 HRV 검출을 위해, 무선센서노드 기반의 dECG를 이용한 경량 전처리 과정을 구현하여 R피크 검출 알고리즘을 구현하였다. 실시간 QRS-complex를 검출하기 위해 다양한 방법들이 연구되고 있으나 이는 제한적 자원을 가지는 무선센서노드에 적용하기에는 많은 문제점을 가지고 있다. 실시간으로 QRS를 검출하는 알고리즘 중 Pan-Tompkins 알고리즘은 여타 웨이블릿, 보다 경량화 된 알고리즘이나 전처리과정에서 많은

자원을 소모한다[6]. 본 연구에서는 dECG를 이용하여 전처리과정에서 필요한 자원 소모율을 줄였으며, 또한 필요한 계산량을 줄였다. 전체과정에 소모된 무선센서 노드의 자원을 비교하며 성공적인 RR간격, dECG, HRV 그래프를 결과로 나타내었다.

II. 시스템 구성

본 연구에서는 무선센서노드에서 ECG 신호를 dECG 변환하며 dECG를 이용하여 보다 쉽게 R피크를 검출 하였고 이를 실험하기 위해 그림 2와 같이 실험을 수행 하였다. 실험에 사용된 ECG 데이터는 MIT-BIH 데이터 베이스 100 레코드를 사용하였다. 그림 2는 본 실험을 구해 구성된 시스템도이다. ECG를 생성하는 PC는 R피크와 RR간격을 검출할 수 있는 알고리즘이 구현된 무선센서노드로 데이터를 시리얼 통신을 통해 데이터를 전달한다. 수신된 ECG 데이터는 무선센서노드를 통해 dECG로 변환되며 R피크, RR간격 검출 알고리즘을 통해 검출되며 해당 데이터를 싱크노드로 전송하게 된다. 전송된 데이터는 모니터링이 PC를 통해 확인된다.

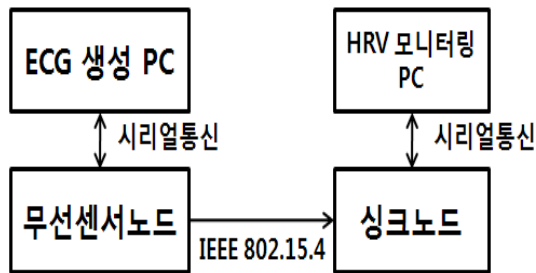


그림 2 시스템 구성도
Fig. 2 System architecture

본 연구에서 사용된 NesC 기반의 TinyOS는 무선 임베디드 센서네트워크를 위해 고안된 오퍼레이팅 시스템으로서, 무선센서네트워크에서 요구되는 제한된 메모리에 맞게 코드의 크기를 최소화 하여 구현되었으며 코드의 재사용성을 위해 컴포넌트 형태로 구현되어 있다.

그림 3은 구현된 TinyOS 어플리케이션의 구성을 보여준다. 크게 메인과 연결된 dECG 컴포넌트는 하부 컴포넌트를 제어 할 수 있도록 구성되었으며 컴퓨터에서 생성하는 ECG신호를 받는 UART 컴포넌트, 데이터 수신 및 송신, R피크, RR간격을 검출 등의 무선센서노드의 작동 유무를 확인 할수 있는 LedsC 컴포넌트, 그리고 검출된 데이터를 싱크노드로 무선전송 역할을 하는 Generic 컴포넌트로 구성된다. 마지막으로 UART 컴포넌트로 수신된 ECG를 dECG변환 및 R피크가 검출 알고리즘이 있는 DerivativeofECG 컴포넌트가 있다.

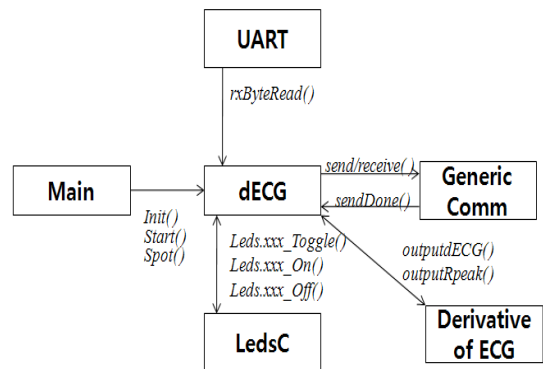


그림 3 TinyOS 어플리케이션 구성도
Fig 3. TinyOS application architecture

DerivativeofECG 컴포넌트에 구현된 함수 중 outputReak() 함수는 Rpeak를 검출하기 위해 구현된 컴포넌트이다. R피크 선출 방법은 선정된 문턱값을 dECG가 넘었을 경우, ECG신호가 저장된 버퍼의 해당 위치에서부터 최대값을 검색하게 된다. 이때 문턱값을 넘은 버퍼의 위치에서 이전의 값과 현재값을 비교 하여 큰값을 R피크 변수에 저장하며 해당 버퍼 위치값까지 저장한다. 하나의 새로운 dECG데이터 문턱값 보다 클 때, 비교하여 저장하게 된다. 무선센서노드의 자원 소모를 고려하여, ECG 데이터를 저장하는 버퍼를 최소화 하기위해 2bytes 크기를 갖는 ECG를 40개를 저장하며 다음 R피크 값을 검출이 될 때 까지 데이터의 카운트를 통해 RR간격을 검출하게 된다. 그림 4는 R피크, RR간격을 검출하는 순서도를 보여 주고 있다.

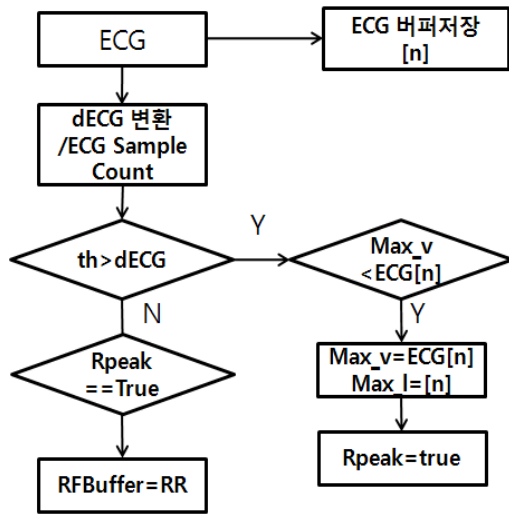


그림 4. R피크, RR간격 검출 순서도
 Fig 4. The flowchart for detection of R-peak & RR interval

III. 실험 결과

무선센서노드는 작은 용량의 메모리와 코드를 위한 저장공간을 가진 디바이스이다. 따라서 ECG신호에서 적정 파라미터를 검출하기 위해서는 효율적인 코드의 크기를 가진 알고리즘이 필요하다. 예를 들어, 일반적인 무선센서노드 타입인 Telosb인 경우 16bit, 8MHz RISC CUP를 사용하며 이는 10K RAM과 48K 프로그램 메모리, 1024K 플래쉬 메모리를 가진다[7]. 현재 일반적인 무선센서노드를 위한 OS로서, TinyOS가 가장 널리 사용되며 이는 약 4K의 운영체제를 가지고 있으며 178bytes의 코드 스케줄러를 차지하고 있다.[8] 표 1은 본 연구에서 구현된 TinyOS 어플리케이션의 자원 점유크기를 보여주고 있다.

구현된 TinyOS 어플리케이션의 전체 크기는 RAM 601bytes, ROM 12,052bytes로 컴퓨터와의 시리얼, Led, 무선 통신부를 포함하는 전체 크기이다. dECG 변환부와 R피크&RR간격 검출부는 각각 RAM 6bytes, 100bytes이며 ROM 24bytes, 106bytes로 되어 있다. 이러한 작은 용량의 크기로 인해, 향후 보안, 라우팅 등을 위한 확장성을 고려할 수 있다.

표 1. 구현 어플리케이션 자원 점유결과
 Table 1. The experimental result about resource

	RAM	ROM
전체 크기	601 bytes	12052 bytes
dECG 변환부	6bytes	24bytes
R피크 & RR간격 검출부	100bytes	106bytes

무선센서노드에서 구현된 dECG, R피크, RR간격을 확인하기 위해 모니터링 프로그램을 구현하여 그래프로 확인하였다. 그림 5는 구성하였으며 수신데이터를 그래프로 그림 5는 무선센서노드에서 전송하는 일반적인 ECG신호와 dECG신호를 보여주고 있다. (a)의 경우 MIT-BIH데이터베이스 100번 레코드의 데이터로서 P-QRS-S-T파의 신호의 특징을 명확히 확인할 수 있다. (b)는 무선센서노드에서 dECG로 변환된 그래프로 P파, S파, T파, 동잡음이 제거되고 QRS-complex 영역에 대한 부분이 강조되는 것을 확인할 수 있다. (c)는 무선센서노드에서 R피크를 검출한 값과 RR간격을 보여주고 있다. 그림 (a)와 (c)에서의 R값이 동일함을 알 수 있다. 마지막으로 (d)는 무선센서노드에서 HRV를 검출하여 데이터를 전송한 그래프이다. 무선센서노드에서 RR간격이 수신되며 (c)의 세로축의 표시 단위는 ms 기준으로 주로 0.8초에서 1.3초 내외의 RR간격의 정상적인 심박동수를 보여주고 있다.

수신된 HRV를 활용하여 1분간 평균 심박동수, 빈맥, 서맥과 같은 심장 이상 징후 등을 모니터링 할 수 있으며, 시간 영역 해석(time domain analysis), 주파수 영역 해석(frequency domain analysis), 그리고 비선형 동역학적인 해석(non-linear analysis) 방법으로 HRV를 분석할 수 있다. 따라서 무선센서네트워크에서 단순히 ECG신호만을 전송하는 것보다 데이터량과 전송회수를 줄이면서 의미 있는 정보를 보내는 방법이 더 효율적인 것을 알 수 있다.

V. 결 론

무선센서네트워크를 기반한 생체신호 모니터링 시스템은 많은 연구와 구현되고 있다. 하지만 본 연구에서는 단순히 무선센서노드를 데이터 모니터링을 위한 전달 디바이스로 사용하기 보다 비록 제한적인 자원 환경을 가진 무선센서노드에 경량의 전처리과정을 적용하여 의미 있는 생체 파라미터를 검출 하였다. 이는 단순 모니터링을 위한 데이터를 전달함으로써 발생하는 에너지 소모율, 데이터 전송횟수의 증가를 줄일 수 있다. 전처리 과정에서의 경량화로 인해, 정밀한 QRS-complex 분석을 위한 알고리즘을 추가 하여 이 가능할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2010년도 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스 지역혁신센터 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 원강호, 황태호, 김동순, 김태현, “WSN 기술동향 및 응용기술”, 한국통신학회지(정보와 통신), 제25권, 10호, pp33-41, 2008.
- [2] Hongliang Ren, Max Q.-H. Meng, Xijun Chen, Haibin Sun, Bin Fan and Yawen Chan, “System Architecture of a Body Area Network and Its Web Service Based Data Publishing”, International Workshop on Web-Based Internet Computing for Science and Engineering, pp.947-954, 2006.
- [3] Geoffrey G. Messier and Ivars G. Finvers, “Traffic Models for Medical Wireless Sensor Networks“ IEEE Trans. Communications letters , Vol. 11, No. 1, pp.13-16, 2007
- [4] John Paul Walters, Zhengqiang Liang, Weisong Shi, and vipin Chaudhary, “Wireless Sensor Network Security: A Survey“, Auerbach Publications, CRC Press, 2006.

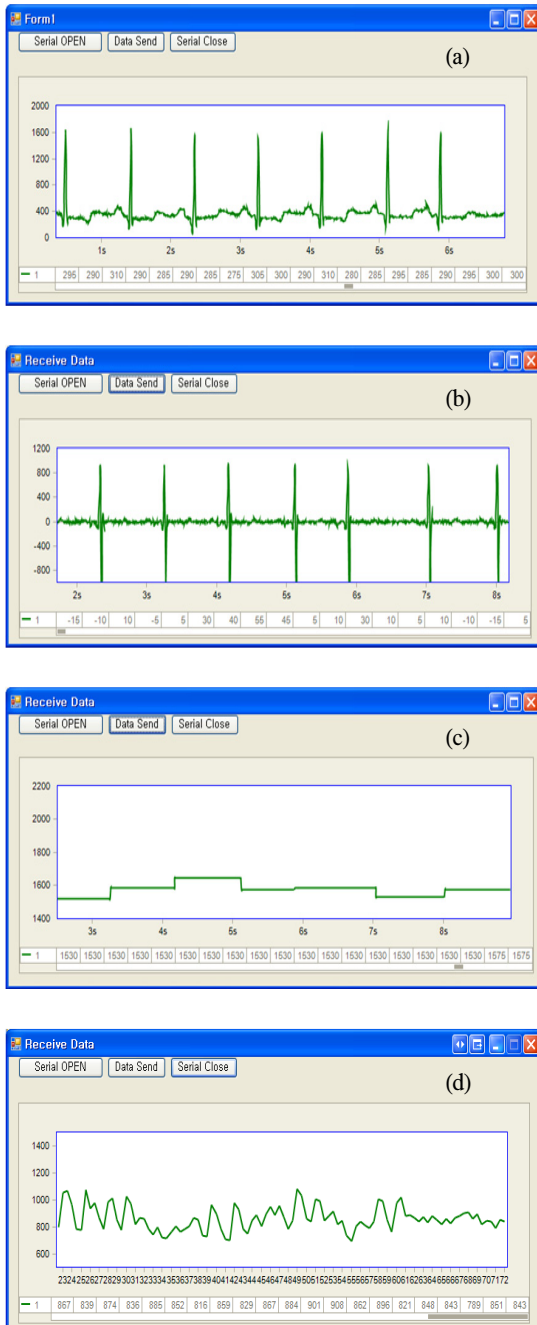


그림 5. 무선센서노드에서 수신된 데이터:
 (a) ECG, (b) dECG, (c) R피크, (d) HRV
 Fig. The dat from wireless sensor node:
 (a) ECG, (b) dECG, (c) Rpeak, (d) HRV

- [5] Chandrakar Kamath and T. V Ananthapadmanabhayyu, "Modeling QRS Complex in dECG", IEEE Ttrans. Biomedical Engineering, vol. 54, no.1, pp. 156-158, 2007.
- [6] J. Pan and W. J. Tompkins, "A real-time QRS detection algorithm", IEEE Trans. Biomed. Eng., vol. BME-32, No. 3, pp.230-236, 1985.
- [7] <http://www.xbow.com/wirelesshome.aspx>, 2006.
- [8] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. E. Culler, and K. Pister. System architecture directions for networked sensors. In Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, pp. 93 - 104, 2000.



차경환(Kyung-Hwan Cha)

1985년 부경대학교
전자통신공학과(공학사)
1990년 부경대학교
전자통신공학과(공학석사)

1996년 부경대학교 전자공학과(공학박사)
1995년~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 교수
2003년~현재 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스
RIC 센터장
※ 관심분야: 임베디드시스템, 디지털신호처리

저자소개



이대석(Dea-Seok Lee)

2006년 동서대학교
디자인&IT전문대학원
컴퓨터네트워크과
(공학석사)

2010년 동서대학교 디자인&IT전문대학원
유비쿼터스IT과(공학박사)
2008년 핀란드 오울루 대학교 교환 연구원
2009년~현재 동서대학교 유비쿼터스 어플라이언스
연구교수
※ 관심분야: 무선센서네트워크, u-Healthcare,



황기현(Gi-Hyun, Hwang)

1996년 부산대학교 전기공학과
석사 졸업
2000년 부산대학교 전기공학과
박사 졸업.

2003년 현재까지 동서대학교 컴퓨터정보공학부 교수
※ 관심분야: RFID/USN, 임베디드 시스템, 영상처리,
진화연산, 지능제어