
고신뢰도 기능성 무선센서노드를 이용한 Ad-hoc기반의 ECG 모니터링

이대석* · 도경훈** · 이훈재**

ECG Monitoring using High-Reliability Functional Wireless Sensor Node based on Ad-hoc network

Dae-Seok Lee*, Kyeong-Hoon Do**, Hoon-Jae Lee**

요 약

본 연구에서는 무선 센서네트워크 환경에서 요구하는 데이터 전달의 신뢰성 향상을 위해 기능성 노드를 제안한다. 생체신호 모니터링을 위해 기존의 지속적인 생체신호 전송시 발생하는 데이터 손실을 줄이기 위해 비정상적인 QRS-complex 검출이 가능한 센서노드를 이용하고, Ad-hoc 네트워크 환경에서 비정상적인 QRS-complex 발생시에만 데이터를 전송함으로써 무선 센서네트워크 내에 발생하는 데이터량을 줄일 수 있었다. 본 연구에서 Ad-hoc 환경에서의 기능성 노드를 사용함으로써 그 결과 의료 목적을 위한 무선 센서네트워크에서 전체 패킷발생을 줄여 센서노드의 전력소모를 크게 줄이고 시스템의 신뢰도를 크게 높이는 것으로 확인되었다.

ABSTRACT

A novel approach for electrocardiogram (ECG) analysis within a functional sensor node has been developed and evaluated. The main aim is to reduce data collision, traffic overload and power consumption in healthcare applications of wireless sensor networks (WSN). The sensor node attached on the patient's bodysurface around the heart can perform ECG analysis based on a QRS detection algorithm to detect abnormal condition of the patient. Data transfer is activated only after detected abnormality in the ECG. This system can reduce packet loss during transmission by reducing traffic overload. In addition, it saves power supply energy leading to more reliable, cheap and user-friendly operation in the WSN for ubiquitous health monitoring.

키워드

Wireless Sensor Network, Ad-hoc, ECG, Home Healthcare Monitoring System

* 동서대학교 디자인&IT전문대학원 유비쿼터스IT학과
** 동서대학교 컴퓨터정보공학부

I. 서 론

무선 센서 네트워크에서 사용되는 무선 센서노드는 저비용, 저전력 및 소형화를 위해 제한적인 메모리 용량과 적은 데이터를 처리할 수 있는 마이크로컨트롤러를 사용하며 무선 센서노드를 이용한 센서 네트워크 구축을 위해서는 센서노드의 소비 에너지 효율성, 유지 및 보수 등의 어려움 등이 고려되어야 한다. UbiMon[1], CodeBlue[2]와 같은 프로젝트는 무선 센서노드를 이용하여 생체신호를 계속하고 이를 기초 의료 정보로 활용하고 있다.

현재 작은 크기의 착용 가능한 센서가 연구, 개발되고 있으며 이는 기존의 의료 계측분야에서 적용되어 환자 중심의 의료 서비스로 발전시킬 수 있는 계기가 되었다. 무선 센서네트워크를 이용한 의료 서비스는 가정, 병원에서 환자의 생체신호를 지속적으로 측정이 가능하게 되며 특히 실내에서 활동이 많은 독거노인, 만성질환자들을 위한 건강관리가 가능하게 되었다. 실내에 거주하는 고령자 또는 만성질환자로부터 계속된 생체신호는 실내에 설치되어 있는 노드를 통해 전달되어 PC와 연결된 베이스스테이션으로 전송된다. 그림 1은 무선 센서네트워크를 이용한 실내 거주자를 위한 생체신호 계측 시스템을 보여 준다.

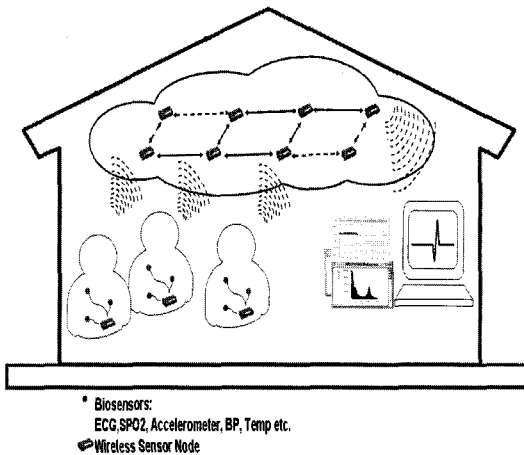


그림 1. 무선센서네트워크를 활용한 실내 건강관리 모니터링 시스템 개념도
 Fig. 1 Healthcare monitoring system architecture using wireless sensor network

하지만 의료 목적의 무선센서네트워크 환경은 일적이 무선 센서네트워크 환경과는 많은 차이를 보이고 있다. 무선 센서네트워크의 응용분야에서는 일반적으로 센서가 고정되어 있으며 광역적인 지역에 센서노드를 설치하게 되고 적은양의 센싱데이터를 전송하는 중점을 두지만 의료부분에서 모니터링의 경우 높은 이터 전송률과 신뢰성 있는 통신이 필요하다. 하지만 무선 센서네트워크는 무선채널의 특징에 의하여 데이터 전송반경이 제한되어 있으며, 낮은 대역폭과 높은 애플, 배터리의 한계 등에 제약사항을 가지고 있다.[3] 포은 일반적인 무선 센서네트워크 환경(General Wireless Sensor Network)의 건강관리를 위한 무선 센서네트워크 환경(Medical Wireless Sensor Network)을 비교 설명하고 있다.[4]

표 1. GWSN과 MWSN환경 특징
 Table. 1 Feature of GWSN and MWSN

WSN	GWSN	MWSN
설치 환경	야외 또는 광역 지역	건물, 또는 실내 (단위: 10m 이내)
노드 수	환경 계측 범위에 따름(최소 50개 이상)	계측자의 거주 지역으 따름(20개 이내)
데이터 계측 빈도수	비선형적인 형태의 데이터, 짧은 시간대의 데이터	선형적인 형태 데이터 지속적인 모니터링 요구
데이터 중요성	일반적 환경데이터 (낮은 레벨)	생명과 연관되어진 데이터 (높은 레벨)
전원 소모량 및 유지 보수	전력소모량이 적으며 유지, 보수의 어려움	전력 소모량이 많으며 유지, 보수 가능

본 연구에서는 건강관리를 위한 무선센서네트워크에서 환경에서 고려되어야 하는 신뢰성 있는 데이터를 위해 QRS-complex를 검출할 기능성 노드를 이 Ad-hoc 환경에서의 제안된 기능성 노드의 성능을 평가하였고 기능성 무선센서노드를 이용한 시나리오에 ECG 데이터 전송 성공률이 99%로 다른 시나리오에 보다 우수하게 전송되었다.

II. 본 론

기존의 연구에서 무선센서노드는 환자의 몸에 부착되어 ECG, 체온, SpO2 등의 생체신호 데이터를 무선센서네트워크를 통해 gateway로 연속적으로 전달하는 것이지만 본 연구에서는 환자의 몸에 부착된 센서노드에서 비정상적인 상황을 인지한 이후에만 전달 노드로 데이터를 전송하게 된다. 계속된 비정상적인 데이터만을 송수신함으로써, 데이터 처리량 또는 센서네트워크 상의 데이터 오버플로, 무선 센서노드의 전력소모 증가 등을 줄일 수 있다. 그림 2와 같이 Ad-hoc 환경에서의 의료 목적 무선 센서네트워크 환경을 구성하고 기능성노드를 이용하여 무선 센서네트워크 내에서 발생하는 데이터량을 줄임으로써 네트워크의 전송 신뢰도를 증가시키고자 하였다.

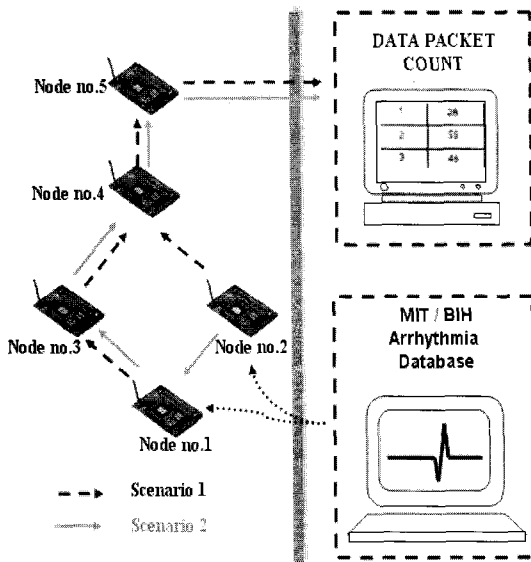


그림 2. 시뮬레이션을 위한 시스템 구성도
Fig. 2 System architecture for simulation

기능성 센서노드는 ECG발생기 역할을 하는 PC와 시리얼로 연결되어 ECG 신호를 전달 받아 비정상적인 QRS가 검출 시 데이터를 전한다.

표 2는 본 실험에서 적용한 시나리오 환경을 보여주고 있다. 시나리오 2에서 한 개의 생체계측노드와 전달노드를 동일한 기능으로 설정한다. 이는 기능성 센서노

드의 생체 데이터의 전송과 데이터 전달 처리 능력을 동시에 보기 위함이다. 우선 시나리오 1,2에서 계측노드는 기존의 의료목적 센서네트워크와 같이 지속적인 데이터 전송을 하도록 하였으며 시나리오 3에서는 비정상적인 QRS-complex검출 기능이 있는 기능성 노드를 이용하여 비정상적인 QRS-complex 검출 시에만 데이터를 전달 하도록 하였다.

본 연구에서 사용된 생체신호는 MIT/BIH Database의 리코더 넘버 100, 119번을 사용하였다[5]. 100번 리코더는 정상적인 ECG 신호를 가지고 있으며 119번은 심실조기 수축이 나타난 비정상적인 QRS-complex를 포함하고 있다. 리코더에 기록된 ECG는 360Hz의 샘플률을 가지고 있으며 30분 동안 기록되어 있다.

표 2. 멀티 홉 기반의 의료 목적 무선센서네트워크 시나리오

Table. 2 Scenario of MWSN on multi-hop

	시나리오1	시나리오2	시나리오 3
생체계측 노드	2	2	2
전달 노드	2	3	2
계측/전달 노드	0	1	0
생체신호 레코더 No.	MIT/BIH 100, 119 record		
노드간 거리	50cm		
라우팅	고정형(static)		

본 연구에서는 무선센서노드에서 QRS를 검출하기 위해 ECGfilterM라는 컴포넌트를 만들었다. ECGfilterM 컴포넌트에는 실시간 QRS를 검출하기 위한 필터링과 함수, 그리고 정상적인 QRS를 검출하기 위한 함수들이 NesC로 구현되어 있다. 그림 3은 본 연구에서 제시하는 TinyOS의 응용 컴포넌트를 보여주고 있다.

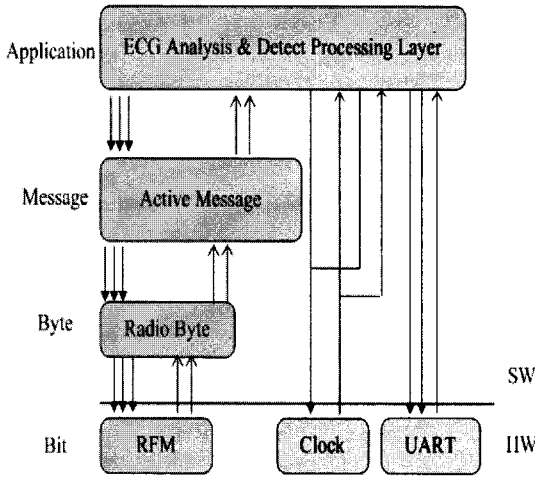


그림 3. QRS 검출을 위한 TinyOS 기반 응용 컴포넌트.

Fig. 3 Application component based on TinyOS for QRS detection.

하위 컴포넌트가 제공하는 서비스를 이용하기 위해 상위 컴포넌트는 자신의 출력 커맨드를 통해서 해당 함수를 호출하면, 하위 컴포넌트는 자신의 입력 커맨드를 통해 호출된 함수의 기능을 수행한다. 하위 컴포넌트는 자신의 출력 이벤트를 통해 신호를 전달하면, 상위 컴포넌트는 자신의 입력 이벤트를 통해 신호를 전달받는다. 또는 입력 이벤트를 통해서 특정 이벤트의 발생이 알려지면 해당 컴포넌트의 이벤트 핸들러에 의해 처리된다. 이러한 컴포넌트들의 인터페이스를 연결함으로써 하나의 응용 프로그램을 구현할 수 있다. 이때, 이미 구현된 컴포넌트는 재사용 가능하며 기존에 없는 새로운 컴포넌트들만 구현하게 되는데, 경우에 따라서는 기존의 컴포넌트들만을 사용해서 손쉽게 새로운 응용 프로그램을 구현할 수 있다.[6]

그림 4는 TinyOS 기반의 어플리케이션의 소스트리로서 QRS를 검출하기 위한 전처리 과정 및 이상징후 ECG를 검출하기 위한 일련을 과정을 센서노드에 구현하였다. 최상위 컴포넌트인 ECGfilterM은 실시간 QRS를 검출하기 위한 전처리과정과 정상적인 QRS를 검출하기 위한 함수들이 NesC로 구현되어 있다. UART 컴포넌트는 실험을 위한 ECG 데이터를 컴퓨터로부터 전송 받고 Generic Comm 컴포넌트는 ECGFilterM에서 분류되어진 이상 징후의 ECG 데이터를 RF로 전송하는 역할을 한다.

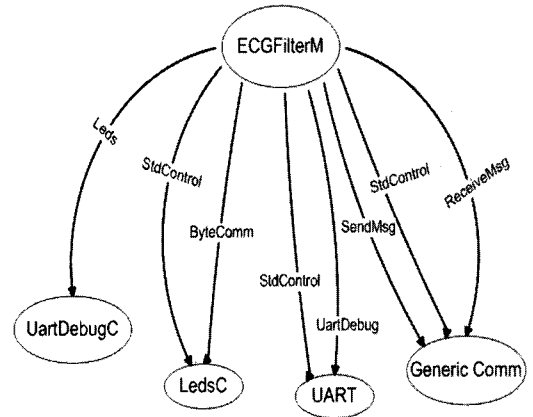


그림 4. 기능성 센서노드의 소스트리
Fig 4. Source tree of TinyOS application node.

센서노드간의 무선 송·수신 패킷은 기본적인 TinyOS 메시지인 TOS 메시지, 데이터 디스플레이를 위한 Oscope 메시지와 멀티 홉 라우팅에서 사용되는 Multihop 메시지로 구성이 되고, 정의된 패킷 이외에도 TinyOS의 응용 프로그램에 따라 사용자가 원하는 패킷 구조로 조정하여 구성할 수 있다. 기본적인 TOS 메시지의 Payload 데이터는 포트 아이디, 데이터 카운트, 채널 번호를 저장하는 6바이트의 헤더 데이터와 2바이트 크기의 E데이터를 10개 저장하도록 하여 26바이트를 사용하였으나 본 연구에서는 데이터 전송의 효율성을 위해 2바이트 크기의 데이터를 20개를 저장 후 전송하도록 하였다. 그림 5는 본 연구에서 사용된 패킷 구조도를 보여주고 있다.

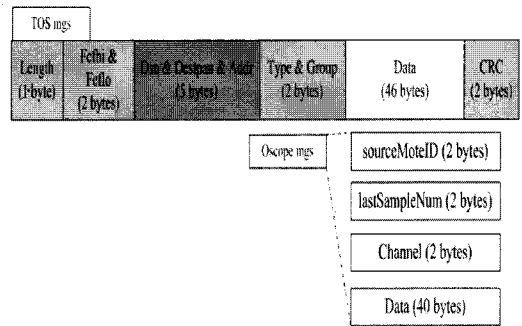


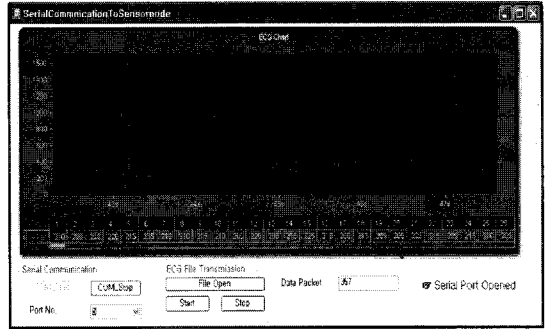
그림 5. 기능성 센서노드 패킷 구조도
Fig. 5 Packet structure for wireless sensor nodes.

III. 실험 결과

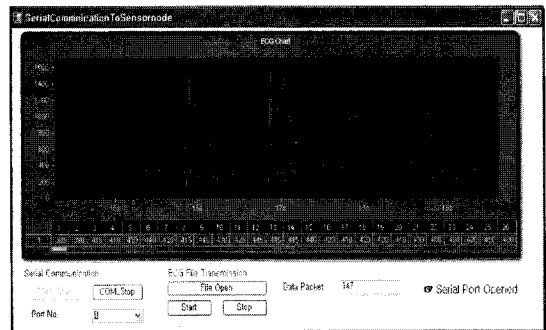
MIT/HIB 데이터에서 리코더 100번 파일과 119번 파일을 이용하여 실험 하였으며 ECG 생성기 역할을 하는 PC와 연결된 무선센서노드에 데이터를 전달하기 위해 GUI(Graphic User Interface)를 제작하였다. MIT/BIH Database에서 ECG를 검출과 같이 1초마다 360개의 데이터를 전송하게 하였으며 그래프로 나타내게 하였다. 그림 6에서 (1)과 (2)는 ECG발생기 역할을 하는 PC에 구현된 GUI이며 그림 6의 (3)은 전달 노드로부터 데이터를 전달 받는 싱크노드와 연결된 PC의 GUI이다. 그림 6의 (3)에서 보이는 것과 같이 시나리오 1,2를 적용하였을 경우 전달과정에서 데이터 손실이 발생하는 것을 보여 주고 있다.

이는 비록 IEEE 802.14.5 통신 표준에서 250kbps의 전송속도를 보장한다고 하나 최적의 단일 peer to peer 통신일 경우이며 실제 환경에서는 이를 보장하지 못하고 있다. 또한 빈번한 데이터 발생은 무선센서네트워크 상에서 Hidden terminals와 Exposed terminals의 문제점으로 인해 데이터 전송 지연 또는 손실이 발생하게 된다.[7] 하지만 기능성 센서노드를 사용한 경우 비정상적인 ECG 신호의 징후로 판단하지 않으면 데이터를 전송하지 않고 판단 이후에도 짧은 시간만을 전송하기에 네트워크 내에서의 데이터 발생량, 전송량이 현저히 줄어들게 된다.

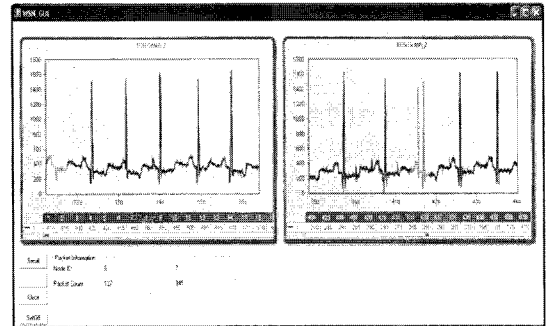
Ad-hoc 환경에서의 생체신호 전송확인 결과, 시나리오 1에서 센서노드 1번, 2번에서 전송한 생체신호 데이터를 싱크노드에서 각각 77.87%, 81.86%의 수신 성공률을 보였으며 시나리오 2에서는 78.62%, 83.52%의 수신 성공률을 나타냈다. 시나리오 1에서 1번 무선센서노드의 데이터 전달 성공률이 떨어지는 이유는 2번 노드보다 많은 노드를 거쳤으며 시나리오 2에서는 생체신호 계측과 중간노드로서의 데이터 전달 역할을 하는 중계노드 임으로 많은 데이터 손실률을 보였다. 하지만 기능성 노드를 이용한 경우, 데이터 전달 성공률이 99.99%를 보였으며 이는 비정상적인 데이터만을 보냄으로써 네트워크 내의 데이터양을 줄이고 네트워크 내의 전송 신뢰도를 증가시키는 요인이 되었다.



(1)



(2)



(3)

그림 6. 시나리오별 데이터 전송 결과: (1),(2) 전송 이전 ECG 그래프, (3) 전송 후 ECG 그래프
Fig. 6 The result of transmitted data on each scenario: (1),(2) Before transmitted ECG graph, (3) after transmitted ECG graph

표 3. 멀티 홉 기반의 의료 목적 무선센서네트워크 시나리오 결과

Table. 3 Result of wireless Sensor Network scenario based on multi-hop for the purpose of medical care

노드 번호	시나리오 1 패킷 수신율	시나리오 2 패킷 수신율	시나리오 3 패킷 수신율
노드번호 1	77.87%	78.62%	99.99%
노드번호 2	81.86%	83.52%	99.99%

V. 결 론

본 연구에서는 의료 목적의 센서네트워크 환경에서 QRS-complex를 검출할 수 있는 기능성 노드를 구현, 실험하였다. 결과에서 보듯이 기능성 노드를 사용하지 않은 Ac-hoc 무선 센서네트워크 환경에서는 많은 데이터 손실이 발생하였으며 이러한 문제점들을 본 연구에서 제안하는 기능성 센서노드를 이용하여 해결 할 수 있었다. 그 결과 기능성 센서노드를 사용한 네트워크에서는 99%의 데이터 전송 성공률을 보여 고신뢰의 네트워크를 형성 할 수 있었다.

하지만 보다 발전적인 기능성 센서노드를 개발하기 위해서는 ECG에서 단순 QRS-complex를 이용하여 생체 신호의 정상 유무를 판단하기에는 부족하다. 따라서 기능성 무선센서노드에서 추가적인 여러 ECG 파라미터를 검출 할 수 있는 알고리즘이 개발 되어야 하며 이는 기능성 무선 센서노드에서 보다 정밀한 판별을 가능하게 할 것이다. 또한 일반적인 센서네트워크 환경과 의료 목적의 센서네트워크 환경의 차이점을 고려한 MAC, 라우팅 알고리즘이 필요하다.

참고문헌

[1] UbiMon website, <http://www.ubimon.org/>
 [2] David Malan, Thaddeus Fulford-jones, Matt Welsh, Steve Moulton, "CodeBlue: An ad hoc sensor network infrastructure for emergency medical care", In

International Workshop on Wearable and Implantable Body Sensor Networks, Apr, 2004

[3] I.F. Akyildiz et al., "Wireless sensor networks: a survey", Computer Networks, Vol. 38, pp.393-422, March 2002.
 [4] Geoffrey G. Messier and Ivars G. Finvers, "Traffic Models for Medical Wireless Sensor Networks", IEEE Communications Letters, Vol. 11, pp.13-15, January 2007.
 [5] George B. Moody and Roger G. Mark, "The impact of the MIT-BIH arrhythmia database", Engineering in Medicine and Biology Magazine, IEEE, page45-50 May/June 2001
 [6] J. Hill, R. Szweczyk, A. Woo, S. Hollar, D. E. Culler, and K. S. J. Pister. System Architecture Directions for Networked Sensors. In Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems, pages 93 - 104, 2000.
 [7] IEEE Standards 802.15.4, "Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY)", Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network(LR-WPANs), October 2003.

저자소개

이대석(Dae-Seok Lee)



2004년 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
 2006년 동서대학교 소프트웨어전문 대학원 컴퓨터네트워크학과 졸업(석사)

2006년~현재 동서대학교 디자인 & IT 전문대학원
 유비쿼터스 IT학과 박사과정

※주관심분야: 유비쿼터스 헬스케어, WSN



도 경 훈(KyeongHoon Do)

1990년 2월 : 경북대학교 전자공학과
졸업(공학사)

1992년 2월 : 경북대학교 전자공학과
졸업(공학석사)

1995년 8월 : 경북대학교 전자공학과 졸업(공학박사)

1996년 3월 ~ 현재 : 동서대학교 컴퓨터정보공학부
부교수

※관심분야: 영상처리, 인공지능, 모바일컴퓨팅



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, WSN/네트워크보안, 부채널공격