

Zigbee USN 기반의 무선 ECG 측정 시스템

장 윤 석[†] · 김 보 연^{††}

요 약

본 연구에서는 ECG 신호를 측정하는 시스템에서 센서들과 기기 사이의 연결을 Zigbee 네트워크를 사용하여 무선화하고, 이를 통하여 이동성과 편리성을 제공하면서도, 병원용 ECG 기기에 준하는 데이터 정밀도를 가지는 U-healthcare용 ECG 시스템을 설계, 구현하였다. 대부분의 의료용 기기에서 이동성에 가장 문제가 되는 것은 센서와 기기를 연결하는 케이블로, 본 연구에서는 이를 줄이거나 없애는 방법으로 Zigbee를 기반으로 데이터를 송수신하는 센서 모듈과 컬렉터 모듈을 설계, 구현하여 근거리에서 동작하는 무선 네트워크를 구성하고, 이를 통하여 각 송신 모듈로부터 전송되는 데이터들을 수신하는 Zigbee-SD 전송 시스템을 설계, 구현하였다. 또한 ECG 신호의 분석과 처리에 스마트폰을 사용하여 데이터 분석과 심박수 표시를 수행하는 앱 응용 프로그램으로 구현함으로써 유비쿼터스 환경에서 이동성과 편리성을 최대한으로 제공할 수 있는 효과적인 U-healthcare 시스템을 구현하였다.

키워드 : Zigbee Network, Collector, USN, ECG, U-healthcare

A Wireless ECG Measurement System based on the Zigbee USN

Chang, Yun Seok[†] · Kim, Bo Yeon^{††}

ABSTRACT

Recent expansion of the ubiquitous environment and improvement of the USN give lots of U-healthcare systems. In this paper, we design and implement a wireless ECG measurement system that can send ECG signals among the sensors and collector. It can also give almost the same precision as a hospital ECG system with mobility. The most important fact of the mobile ECG system is the signal data connectivity among the sensors and device such as signal cables or wires. we can eliminate the signal cable through the Zigbee sender and collector via implementing Zigbee-SD communication system that can receive the ECG signal data. We also implement ECG app software on the smart phone that can analyze and show the data results directly. It can give lots of mobility and usability under ubiquitous environment and would be a very efficient wireless ECG system for U-healthcare service.

Keywords : Zigbee Network, Collector, USN, ECG, U-healthcare

1. 서 론

최근의 유비쿼터스 환경의 확대와 USN 기술의 발달에 힘입어, 무선 네트워크를 기반으로 하는 많은 유비쿼터스 기술들이 개발되고, 실생활에 유용한 기기들로 구현되어 활용되고 있다. 특히 의료 기기 및 의료 정보 서비스 분야에서는 U-healthcare 시스템과 서비스들에 대한 많은 연구 개발들이 이루어지고 있으며 이를 통하여 이동성과 활용성을 크게 높여 효과적인 의료 서비스를 제공하는 데에 많은 도움이 되고 있다[1]. 현재 대부분의 U-healthcare 시스템들은 의료 기기와 서버 시스템간의 연결에만 무선 네트워크를 활

용하고 있다. 생체 신호를 측정 기기의 경우, 생체 신호를 추출하는 센서와, 센서로부터 신호를 받아서 처리하는 기기 장치 사이에는 대개 많은 수의 케이블을 사용한다. 케이블은 센서와 기기 간에 안정된 신호를 전달할 수 있다는 장점이 있으나, 설치 및 유지 관리가 어렵고, 주변 잡음이나 신호 간섭이 발생할 수 있으며, 무엇보다도 측정하는 대상자의 이동성이나 편리성이 떨어진다는 문제점을 가지고 있다.

신체 주변에 근거리 네트워크를 구성하고, 생체 신호를 측정하는 센서와 기기간의 연결을 무선화하면 케이블에 의한 여러 문제들을 해결할 수 있으므로 유비쿼터스 환경에서 효과적으로 사용할 수 있는 U-healthcare 장치를 구현할 수 있다[2]. 의료기기에서는 무선 네트워크를 기반으로 하는 USN을 구성하는 데에 근거리에서 소량의 데이터를 망, 또는 메시 형태로 전송하는 통신 수단인 Zigbee를 많이 사용한다[3, 4, 5].

* 이 논문은 2011학년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의한 것임.

† 종신회원: 대전대학교 컴퓨터공학과 교수

†† 정회원: 한양대학교 정보시스템학과 겸임교수

논문접수: 2011년 3월 3일

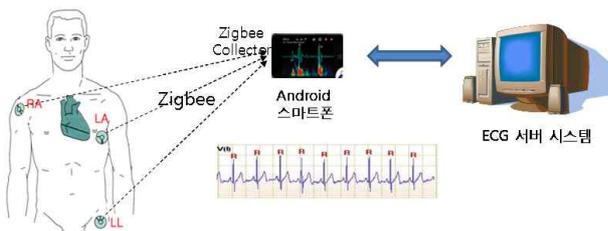
수정일: 1차 2011년 3월 23일

심사완료: 2011년 3월 25일

본 연구에서는 주요 생체 신호 중의 하나인 ECG (Electro Cardiogram)을 측정하는 데에 필요한 센서(ECG Lead)들과 기기 사이의 연결 방법으로 케이블 대신에 Zigbee 통신 기반의 USN을 구성하고, ECG 데이터 전송에 적합한 Zigbee 전송 시스템을 설계, 구현함과 동시에 전문적인 병원용 ECG 시스템 대신에 개인이 개별적으로 소지하고 있는 스마트폰과 같은 모바일 스마트 기기를 사용하여 간편하게 ECG 데이터를 분석, 표시할 수 있는 앱 소프트웨어를 개발함으로써 유비쿼터스 환경에서 효과적으로 활용할 수 있는 U-healthcare 시스템을 설계, 구현하였다.

2. Zigbee 기반의 ECG 시스템

기존의 병원용 ECG 측정 시스템들에서는 측정용 센서 lead들을 3개에서 24개까지 사용하고 있으며 이들 센서 lead들은 유선의 신호 전송 케이블들을 사용하여 ECG 측정기와 연결된다. Zigbee 기반의 ECG 측정 시스템은 ECG lead와 ECG 측정기 사이에 연결되는 신호 전송용 케이블들을 Zigbee 통신 기술을 사용하여 근거리 무선 네트워크를 구성함으로써 무선화 시키고, 고가의 ECG 측정기 대신에 스마트폰과 같은 이동성과 편리성이 뛰어나면서도 Zigbee를 용이하게 연결할 수 있는, 안드로이드 기반의 스마트폰과 같은 모바일 스마트 기기를 사용한 U-healthcare용 ECG 측정 시스템이다. 또한 필요한 경우, 내부 메모리에 측정, 저장된 ECG 데이터들을 서버로 전송하여 저장하였다가 필요할 때에 다시 불러올 수 있는 서버 시스템을 연결할 수도 있다. (그림 1)은 이와 같은 개념의 ECG 시스템을 나타내고 있다.



(그림 1) Zigbee USN 기반의 ECG 시스템

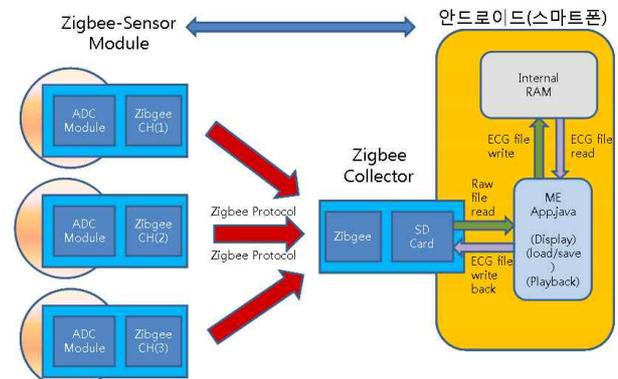
ECG 측정 기기에서, ECG 신호를 추출하는 lead의 위치와 개수는 측정 방법에 따라서 여러 가지가 사용되는데, 보통은 표준 12 유도법이 많이 사용된다. 표준 12 유도법은 lead의 부착 위치에 따라서 사지유도와 흉부유도로 나누어지고, 이는 다시 한 점에서의 전위 변화를 기록하는 단극유도와 두 점간의 전위차를 기록하는 쌍극유도로 분류될 수 있다[6, 7]. 본 논문에서는 사지유도 방법 중 3개의 측정점(RA, LA, LL 지점)으로부터 유도 신호를 포착, 측정하는 쌍극유도 방법을 사용한다.

쌍극유도 방법에서 유도가 일어나는 각 lead는 ECG 패드(Pad)와 아날로그-디지털 변환 장치(ADC), 프로세서, 그리

고 Zigbee가 포함된 하나의 ECG 송신 모듈로 구성되며, 이를 센서 모듈이라고 한다. 사지유도의 경우 RA, LA, LL에 해당하는 위치에 이 센서 모듈들이 각각 부착되는데 각 센서 모듈과 컬렉터 사이의 연결을 채널이라고 한다. 센서 모듈에서 측정되어 전송되는 디지털화된 ECG 데이터들은 Zigbee 컬렉터(Zigbee Collector)라고 하는 수신 모듈을 통하여 수집되고, 이를 스마트폰의 앱 프로그램으로 전송하여 스마트폰의 내부 메모리에 데이터를 저장하고, 필요한 분석을 수행한 다음 스마트폰의 화면에 결과를 보여주게 된다. Zigbee 컬렉터 모듈은 센서 모듈에서 사용된 것과 동일한 프로세서와 Zigbee 칩을 사용한다. 또한 센서 모듈과 컬렉터 모듈은 모두 프로세서 내부 메모리에 임베디드 프로그램이 내장되어 있다. 임베디드 프로그램은 각 모듈의 기본적인 동작과 기능을 제어하는 프로그램으로, 송신 모듈의 경우에는 ADC 기능 제어와 Zigbee 송신 기능이, 컬렉터 모듈의 경우에는 송신 모듈들과의 다채널 통신 기능, 스마트폰 메모리간 인터페이스 기능이 포함된다.

3. 시스템 구현

Zigbee USN 기반의 ECG 측정 시스템은 크게 센서 모듈, 컬렉터 모듈, 그리고 안드로이드용 앱 프로그램의 3가지로 구현되었다. 센서 모듈은 24bit ADC를 내장하고 있는 ADuC824 프로세서 코어와 Zigbee 통신 칩을 하나의 PCB에 단일 모듈로 구현하였으며, ICE(In-Circuit Emulator)에 의하여 임베디드 프로그램이 내장되고 배터리에 의하여 구동된다. 컬렉터는 센서 모듈에서 사용된 것과 동일한 Zigbee 통신 칩과 microSD 카드 어댑터 모듈이 하나로 구현되었으며 이 microSD 카드 어댑터 모듈의 인터페이스를 통하여 모듈의 내부 메모리에 내장된 임베디드 프로그램이 ME(Mobile Equipment), 즉 안드로이드 스마트폰의 앱과 연동된다. 안드로이드 앱은 컬렉터 모듈의 microSD 카드 인터페이스를 통하여 전송되는 데이터를 안드로이드 내부 메모리에 저장함과 동시에 이 실시간 데이터를 사용하여 신호 처리를 수행한 후에 ECG 신호와 신호 정보들을 생성하여 화면에 표시하여 준다. 또한 앱에서 생성된 ECG 데이터를



(그림 2) Zigbee 송신 모듈, 컬렉터 모듈 및 스마트폰 앱 구조

무선 네트워크를 통하여 지정된 ECG 서버로 전송하거나 필요한 ECG 신호 데이터를 서버로부터 전송받을 수도 있도록 구현되어 있다. 구현에 사용된 ME는 가장 최근에 제공되는 안드로이드 2.2를 지원하도록 되어 있으므로 앱도 안드로이드 2.2를 기반으로 구현되어 있다. (그림 2)는 이와 같은 ECG 시스템의 전체 구조를 나타내고 있다.

4. 구현 결과

(그림 3)은 3개의 송신 모듈을 통하여 컬렉터 모듈로 전송된 ECG 데이터들을 안드로이드 기반의 스마트폰에 구현된 앱에서 실시간으로 처리된 정보인 ECG 파형과 심박수(HR : Hreart Rate)를 보이고 있다. ECG 파형은 전송된 데이터값들로부터 3점 측정을 수행하는 계산식에 의하여 도출된 값들로 구성되어 안드로이드 SurfaceView 상의 onDraw()로 화면상에 표시된다[7]. 심박수의 측정은 신호처리에서 비선형 특성을 가지는 신호값들로부터 주기와 특정 점들을 추출하는 알고리즘을 사용한다. 이는 초기 2초간의 데이터를 근거로 하여 다음과 같은 심박수 계산 알고리즘에 의하여 계산된다.[8, 9, 10, 11] 먼저 (식 1)과 같은 Fractal dimension method를 사용하여 초기 신호의 self-similarity 정도인 D값을 구한 다음, 이를 사용하여 (식 2)와 같이 신호 변화에 대한 집중도를 구하는 Central tendency(CT)를 계산한다[12, 13].

$$D = \lim_{\epsilon \rightarrow 0} \frac{\ln M(\epsilon)}{\ln(1/\epsilon)} \quad (식 1)$$

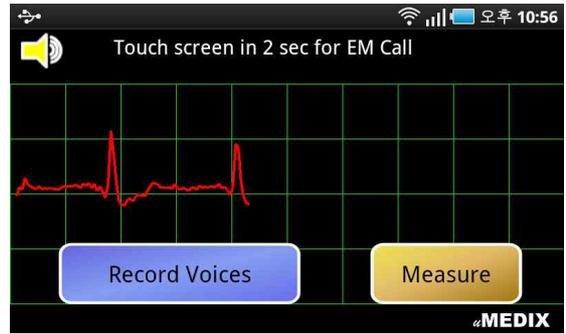
$$CT = \left[\sum_{n=1}^{t=2} \delta(d_n) \right] / (t-2)$$

$$\delta(d_i) = \begin{cases} 1 : \text{if} [(X_{n+2} - X_{n+1})^2 + (X_{n+1} - X_n)^2]^{1/5} \leq R \\ 0 : \text{otherwise} \end{cases} \quad (식 2)$$

(식 2)의 Central tendency에 의하여 구해진 선형 특성값은 return map을 사용하여 그 중심점과 각 특성값들 사이의 거리를 구하고, 각 거리들 사이의 peak section을 구함으로써 심박수를 구할 수 있게 된다. (그림 (3a)는 동작 후 초기 2초간의 ECG 데이터를 보이고 있으며 (그림 (3b))는 전송된 ECG 데이터의 연속적인 파형을 표시하고 있으며 이와 동시에 오른쪽 위편에 ECG 데이터로부터 계산된 심박수 HR을 보이고 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 ECG 신호 측정을 위한 생체 신호 계측 시스템에서 센서와 기기 사이에 연결 케이블 대신에 Zigbee 기반의 USN을 구성하여 데이터 통신을 무선화한



(a) 초기 2초간 데이터 표시



(b) ECG 파형과 심박수 HR
(그림 3) 스마트폰에서 ECG 데이터의 처리

U-healthcare 시스템을 개발하였다. 이를 위하여 센서 모듈과 기기 사이의 연결을 Zigbee 송신 모듈들과 Zigbee 컬렉터 모듈 사이의 통신으로 구현하고 스마트폰을 사용하여 ECG 데이터를 저장하고 처리, 표시하는 무선 ECG 측정 시스템을 설계 구현하였다. 이는 단순히 기기와 서버 시스템 사이를 무선 네트워크로 구성하는 개념을 넘어서, 기기 자체를 구성하는 모듈들 사이의 연결을 근거리 무선 네트워크화하고 스마트폰을 활용한 본격적인 USN 기반의 ECG 시스템을 개발함으로써, 낮은 비용으로 효과적인 이동성과 편리성을 제공하는 U-healthcare 서비스에 효과적으로 활용할 수 있다. 그러나 Zigbee USN을 기반으로 하는 ECG 시스템에서 실시간 데이터 전송을 수행할 경우, 송신 모듈과 컬렉터 사이에 정확한 송수신 버퍼링이 지원되지 않으면 통신 중에 데이터 손실과 재전송이 발생할 수 있으며, 실험 결과 통신 중 손실로 인한 데이터 재전송률이 약 1.3%에 달한다는 문제점을 가지고 있는데, 이는 병원용 ECG 측정 시스템이 제공하는 정밀도를 지원하는 데에 매우 큰 취약점이 될 수 있다. 따라서 이후의 연구에서는 송신 모듈과 컬렉터 사이에 통신 손실을 최소화할 수 있는 방법을 연구할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] 유비쿼터스 컴퓨팅 핸드북, 이근호, 이기혁, 한호현, 진한M&B, 2003.

- [2] Adnan Saeed, MiadFaezipour, Mehrdad Nourani, Subhash Banerjee, Gil Lee, Gopal Gupta and Laksman Tamil, "A Scalable Wireless Body Area Network for Bio Telemetry", Journal of Information Processing Systems, Vol.5, No.2, 2009.
- [3] 유비쿼터스 센서 네트워크 기술, 박승창, 진한M&B, 2005.
- [4] Zigbee Wireless Network and Tranceiver, Farahani Shanin, Butterworth-Heinemann, 2008.
- [5] Zigbee Wireless Sensor and Control Network, Ata Elahi, Adam Gschwender, Prentice-Hall, 2010.
- [6] ECG, 은영근, 의학서원, 2008
- [7] The ECG in Practice, John R. Hampton, Curchill Livingston/Elsevier, 2008
- [8] Steven H. strogatz, "Nonlenar Dynamics and Chaos with application to Physics, Biology, Chemistry and Engineering," Addison Weseley.
- [9] J. Hillborn, "Chaos and Nonlinear Dynamics", Oxford University Press, Inc, 1994.
- [10] J. Gleik, "Chaos", Viking Penguin Inc., 1987.
- [11] L. S. Liebovitch, and T. Toth, "A fast algorithm to determine fractal dimensions by box counting", Phys. Lett. A 141, 1989, pp.386-390.
- [12] B. Y. Kim, Y. S. Chang and K. S. Park, "Nonlinear Model for ECG R-R Interval Variation using Genetic Programming Approach", Future Generation Computer Systems, Vol.21 No.7, pp.1117-1123, 2005.
- [13] B. Y. Kim and Y. S. Chang, "Nonlinear Analysis on 3-Channel Arterial Pulse for Fast Heart Algorithm", WSEAS Transactions on System, Vol.5 No.8, pp.1889-1894, 2006.



장 윤 석

e-mail : cosmos@daejin.ac.kr

1988년 서울대학교 물리학과(이학사)

1990년 서울대학교 전자계산기공학과
(공학석사)

1998년 서울대학교 컴퓨터공학과
(공학박사)

1994년~현 재 대진대학교 컴퓨터공학과 교수

2000년~2001년 University of Southern California, Dept. of
EE-Systems, Visiting Scholar

관심분야: 컴퓨터 시스템 설계, 마이크로 임베디드 시스템,
RFID, 스마트 모바일 시스템 등



김 보 연

e-mail : bykim@hanyang.ac.kr

1989년 이화여자대학교 전자계산학과
(이학사)

1991년 서울대학교 전자계산기공학과
(공학석사)

1998년 서울대학교 협동과정 의용생체
공학전공(공학박사)

2000년~2006년 강원대학교 전기전자정보통신공학부 조교수

2006년~현 재 한양대학교 정보시스템학과 겸임교수

관심분야: 인공지능, 의사 결정 시스템, 의료정보, 생체 신호 계측
및 분석 등