

논문 2008-45CI-4-8

센서 네트워크와 그리드 네트워크와의 연동을 위한 u-Healthcare 센서그리드 게이트웨이 설계 및 구현

(Design and Implementation of u-Healthcare SensorGrid Gateway for
connecting Sensor Network and Grid Network)

오 세 진*, 이 채 우**

(Se-Jin Oh and Chae-Woo Lee)

요 약

현재 많은 연구자들이 저비용, 저 전력을 필요로 하는 센서 네트워크를 활용하여 사람의 건강 상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 u-Healthcare(ubiquitous Healthcare) 시스템을 구축하는데 심혈을 기울이고 있다. u-Healthcare 시스템은 센서 네트워크로부터 수집된 대량의 생체신호를 신속히 처리·분석하여 의료진에게 전달함으로써 시간과 장소에 관계없이 환자에게 적절한 의료 서비스를 제공할 수 있다. 기존의 u-Healthcare 시스템을 통해 환자의 건강상태 모니터링이 가능하지만 수집된 생체 신호를 신속히 분석하여 의학적으로 의미 있는 결과를 도출하는 것은 아직 어려운 상황이다. 본 논문에서는 대량의 생체 신호를 고속으로 연산할 수 있는 그리드 컴퓨팅 기술을 센서 네트워크와 결합하여 환자의 생체신호를 측정하여 의학적으로 의미 있는 결과를 도출하고자 한다. 서로 다른 프로토콜을 사용하는 두 네트워크의 연동을 위해 게이트웨이가 필요하며, 게이트웨이에는 효과적인 u-Healthcare 서비스 제공을 위해 센서 네트워크의 효율적 관리 및 제어, 생체신호 실시간 모니터링, 그리드 네트워크와 연계된 통신 서비스 등의 기능이 포함되어야 한다. 본 논문에서는 진보된 u-Healthcare 시스템을 구축하기 위하여 센서 네트워크와 그리드 네트워크를 유연하게 연동할 수 있는 센서그리드 게이트웨이를 설계하고 구현된 결과를 제시한다.

Abstract

Researchers nowadays are trying to implement u-Healthcare (ubiquitous Healthcare) systems for real-time monitoring and analysis of patients' status through a low-cost and low-power wireless sensor network. u-Healthcare system has an aim to provide reliable and fast medical services for patients regardless of time and space by transmitting to doctors a large quantity of vital signs collected from sensor networks. Existing u-Healthcare systems can merely monitor patients' health status. However, it is not easy to derive physiologically meaningful results by analyzing rapidly vital signs through the existing u-Healthcare systems. We introduce a Grid computing technology for deriving the results by analyzing rapidly the vital signs collected from the sensor network. Since both sensor network and Grid computing use different protocols, a gateway is needed. In addition, we also need to construct a gateway which includes the functions such as an efficient management and control of the sensor network, real-time monitoring of the vital signs and communication services related to the Grid network for providing u-Healthcare services effectively. In this paper, to build an advanced u-Healthcare system by using these two technologies most efficiently, we design and present the results to implement a SensorGrid gateway which connects transparently the sensor network and the grid network.

Keywords : Wireless sensor network, Grid computing, SensorGrid gateway, vital signs, u-Healthcare

* 학생회원, ** 정회원, 아주대학교 전자공학과
(School of Electrical and Computer Engineering,
Ajou University)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(IITA-2008-C1090-0801-0014).

접수일자: 2008년4월16일, 수정완료일: 2008년7월11일

I. 서 론

무선 센서 네트워크는 소형 장치 안에 마이크로프로세서, 센서, 액추에이터, 유·무선 통신 장치를 내장하는 초소형 센서들로 구성된 적응형 네트워크이다. 이는

생태 환경 모니터링, 군사 지역 감시, 재고 조사, 인체 상태 관련 정보 수집 및 분석^[1-2] 등과 같은 전문적이고 다양한 분야뿐만 아니라 미래의 유비쿼터스 컴퓨팅, 차세대 이동통신, 지능형 교통 시스템 및 홈 네트워크 등의 구축에 필수적인 기반 기술이다.

특히 개개인의 건강에 대한 관심이 증대되고 있는 현대사회에서 의료시설에 방문하지 않고도 센서 네트워크를 이용하여 가정에서 직접 건강을 관리할 수 있는 기술이 다양하게 연구되고 있다. 이에 관련하여 의료 분야에서는 센서 네트워크 기술을 활용하여 휴대용 건강 모니터링 시스템에 관한 연구가 활발하다. 동시에 인체의 내부 및 외부에 장착되는 다수의 소형 생체 신호 측정 센서들이 개발되고 있다^[3]. 따라서 현재 개발되고 있는 초소형 센서들과 초고속 통신망 그리고 고성능 무선 통신 기기의 연동은 언제 어디서든 환자의 건강상태 모니터링을 가능케 할 것이고, IT-BT 관련 융합산업 및 미래사회의 인간생활 전반에 막대한 영향을 끼칠 것으로 전망된다.^[4] 이를 실현하기 위하여 각 연구단체들은 개인화된 건강관리 서비스를 체계적으로 받을 수 있는 u-Healthcare (ubiquitous Healthcare) 시스템 환경을 구축하는데 심혈을 기울이고 있다.

u-Healthcare 시스템 환경을 구축하기 위해서는 센서 네트워크로부터 수집된 방대한 양의 생체신호를 실시간으로 신속히 처리하여 의료진 혹은 환자 스스로의 건강 상태를 모니터링하는 것이 가능해야 한다. 그리고 이러한 모니터링 정보의 관리를 통해 질환의 발병 예방 및 회복 상태 등의 예후를 제공하여 최적의 건강상태를 유지할 수 있는 환경을 갖추어야 한다. 여러 종류의 센서로부터 수집된 막대한 양의 모니터링 정보를 이용하여 환자의 예후를 관리하기 위해서는 복잡한 계산과 정교한 알고리즘이 필요하다. 하나의 시스템에서 이 모든 기능을 갖추기는 현실적으로 어렵다. 이를 위해 본 논문에서는 그리드 컴퓨팅 기술^[5]과의 협업을 통해 센서 네트워크로부터 수집된 대용량의 생체신호를 초고속 네트워크 기반의 거대 컴퓨팅 인프라를 통하여 분석하여 의학적으로 의미 있는 결과를 신속히 도출할 수 있도록 한다.

본 논문에서는 u-Healthcare 서비스를 편리하고 신속하게 환자들에게 제공하기 위하여 센서 네트워크와 그리드 네트워크를 유연하게 연결할 수 있는 u-Healthcare 센서그리드 게이트웨이를 설계하고 구현된 결과를 제시한다. 구현된 시스템은 센서 네트워크, 센서그리드 게이트웨이 상의 미들웨어와 자체 모니터링

시스템, 그리고 휴대용 모바일 디바이스(Mobile Device)를 활용한 모니터링 시스템을 포함한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에 센서 네트워크와 u-Healthcare 시스템의 관계 그리고 그리드 컴퓨팅과 관련한 연구를 분석하고, III장에 센서 네트워크와 그리드 컴퓨팅 기술을 이용하여 실제 필드에서 발생할 수 있는 u-Healthcare 서비스 시나리오를 제시한다. IV장에서는 구현된 센서그리드 게이트웨이와 그에 따른 u-Healthcare 시스템 구성요소들을 설명하고, 마지막 V장에서는 결론 및 향후 연구로 마무리한다.

II. 관련 연구

1. 센서 네트워크와 u-Healthcare 시스템

현재 의료시스템은 이미 건강 상태가 악화된 환자들이 직접 의료시설에 방문하여 의료진들에게 진료 받는 형태가 주를 이루고 있다. 하지만, 향후에는 무선에 기반을 둔 u-Healthcare 시스템을 통해 시간과 공간에 구애받지 않고 원격진료 서비스를 제공받을 수 있을 수 있는 환경이 형성될 것이다. 이러한 u-Healthcare 시스템은 지속적인 건강상태 모니터링 기능을 통해 질병의 예후 관찰 및 발병의 조기 진단이 가능하며, 응급상황 발생 시 즉각적인 의료서비스를 받을 수 있는 장점을 가지고 있다. 그림 1에 센서 네트워크를 이용한 일반적인 u-Healthcare 시스템의 구성도를 나타내었다.

센서 네트워크를 기반으로 u-Healthcare 시스템을 구축한 대표적인 예로 하버드대학의 CodeBlue^[6]를 들 수 있다. CodeBlue는 환자들의 건강 상태를 모니터링하고, 수집된 건강 상태 정보를 사용자에게 보고할 수 있도록 센서 노드와 모바일 디바이스 상에 애드 혹 라우

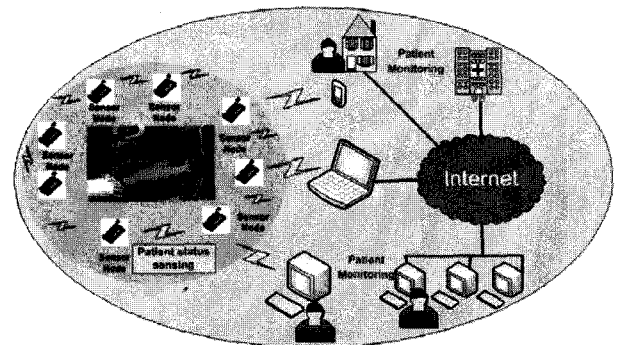


그림 1. 센서 네트워크를 이용한 일반적인 u-Healthcare 시스템 구성도
Fig 1. The architecture of general u-Healthcare system using sensor networks.

팅, 센서 노드 탐색 그리고 보안 등의 기술을 탑재한 시스템으로 소규모의 진료소부터 대규모 종합 병원에 이르는 장소로 다양한 곳에 사용될 수 있다. 버지니아 대학의 in-Home monitoring^[7] 시스템은 GPS가 탑재된 웨어러블 (wearable) 센서를 이용하여 가정 내의 환자 위치를 파악하고 동시에 생체신호(심장박동, 산소포화도, 혈압 등)를 수집함으로써 환자의 건강상태를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 시스템이다.

센서 네트워크를 이용한 u-Healthcare 시스템 구축을 위해서는 다음과 같은 요소를 고려해야 한다. 첫째 생체신호는 사람의 생명과 직접 연관된 정보이기 때문에 센서 네트워크로부터 생체신호 전달시 오류가 없어야 한다. 이를 위해 생체신호 측정 센서의 정확도 향상, 신뢰성 있는 데이터 전송 프로토콜 및 오류 수정 알고리즘이 필요하다. 두 번째로, 배터리를 사용하는 센서 노드는 대량의 생체신호를 수집하고 가공하여 사용자에게 전송해야 하기 때문에 에너지 소모가 크다^[8]. 따라서 u-Healthcare 시스템의 수명 향상을 위한 효율적인 에너지 관리 정책이 필요하다. 세 번째로, 센서 네트워크로부터 수집된 대량의 생체신호를 휴대폰, PDA 등과 같이 제한된 프로세싱 능력을 가진 휴대용 단말기에서의 분석은 불가능에 가깝다. 따라서 생체신호의 분석 능력을 가진 타 네트워크와의 연동이 필수적이다. 마지막으로 u-Healthcare 시스템은 몸에 장착 가능한 소형 센서를 이용하여 사람의 일상생활에 지장 없도록 편리하게 제작되어야 하며, 실시간 생체신호 수집이 가능하도록 센서들이 효과적으로 네트워크를 구성하여야 한다.

2. 그리드 컴퓨팅

센서 네트워크를 통하여 수집된 대량의 생체신호는 휴대용 단말기를 사용하여 쉽게 모니터링 될 수 있다. 하지만 제한된 프로세싱 능력을 지닌 휴대용 단말기를 이용하여 빠른 시간 내에 생체신호를 분석하여 환자의 질병 유무를 판단하는 것은 아직 넘어야 할 난관이 많다. 제한된 프로세싱 자원의 대안으로 그리드 컴퓨팅^[9~10] 기술이 각광받고 있다. 그리드 컴퓨팅은 분산 병렬 컴퓨팅 기술 분야의 한 기술로서 고가의 슈퍼컴퓨터를 설치하지 않고도 인터넷과 같은 대규모 네트워크에 분산되어 있는 각종 자원(CPU, 메모리)을 조합하여 적은 비용으로 복잡한 연산 작업을 수행하는데 사용된다. 현재 그리드 컴퓨팅은 웹과 연동되어 인터넷상의 모든 자원들을 서로 연결하고 대용량 데이터베이스의 접근을 가능하게 하여 새로운 웹 서비스를 창출하는데 사용되

고 있다. 그리드 컴퓨팅은 사회, 과학, 의료 등 여러 분야에 광범위하게 적용될 수 있으며, 실제로 사람의 생체 정보 분석^[11], 심장 모델링^[12], 원격 탐사 기술을 이용하여 얻은 고해상도 이미지 처리^[13] 등이 응용되고 있다.

3. 센서그리드 컴퓨팅

센서 네트워크와 그리드 컴퓨팅 기술이 결합된 센서그리드 컴퓨팅에서 센서 네트워크는 일반적으로 눈과 귀의 역할, 그리드 컴퓨팅 기술은 두뇌의 역할을 맡고 있다. 즉, 물리적인 현상을 실시간으로 처리, 모델링, 상황 판단 및 행동 등의 실행을 위해 환경 정보 수집을 담당하는 센서와 대량의 데이터를 분석하는 그리드 컴퓨팅의 효과적인 연동이 전체적인 시스템의 성능을 좌우한다. 이러한 센서 그리드 컴퓨팅은 자연재해의 조기 경보를 위한 환경 정보 모니터링, 비즈니스 프로세스 최적화, 국방(미사일 감지 및 추적) 등에 응용되고 있다.

센서그리드 컴퓨팅은 센서 네트워크와 그리드 컴퓨팅의 연결 구조에 따라 중앙 집중형 센서 그리드 컴퓨팅(Centralized SensorGrid computing)과 분산형 그리드 컴퓨팅(Distributed SensorGrid computing)으로 나누어진다. 그리드 네트워크에 각종 센서 네트워크가 연결되어 모든 계산(Computation)이 그리드 네트워크에서 이루어지는 형태를 중앙 집중형 센서 그리드 컴퓨팅이라 한다. 이러한 중앙 집중형 센서 그리드 컴퓨팅에서는 센서 노드와 그리드 네트워크 간에 고속의 통신 링크가 필수적이다. 중앙 집중형 센서 그리드 컴퓨팅은 다양하고 정밀한 센싱 정보를 획득할 수 있는 장점을 지니고 있지만 센서 노드의 과도한 배터리 소모, 중복 또는 유사한 정보의 수집으로 인한 프로세싱 오버헤드, 과도한 트래픽 유발에 의한 전체 시스템 성능 저하 등의 단점을 지닌다. 이에 반해 개별의 센서 네트워크 내에서 자체적으로 수집된 정보를 처리하고 필요에 따라 그리드 네트워크와 연동하는 분산형 그리드 컴퓨팅의 경우는 중앙 집중형 그리드 컴퓨팅의 단점을 경감할 수 있다. 하지만 분산 센서망의 구조와 운용이 복잡한 단점을 가지고 있다.

분산형 센서그리드 컴퓨팅에 속하는 SensorGrid^[20]의 경우 센서 네트워크를 계층적으로 구성하여 데이터 수집, 이벤트의 감지와 분류, 자율적 의사 결정 기능을 각 센서 네트워크에서 분산적으로 수행함으로써 프로세싱 오버헤드를 줄였다. Grid-M^[21]은 센서 네트워크와 그리드 컴퓨팅을 연동할 수 있는 미들웨어로써 경량화되어 모바일 디바이스에 탑재될 수 있는 장점을 가지고 있다.

III. 센서 네트워크와 그리드 컴퓨팅 기술을 이용한 u-Healthcare 서비스

그림 2는 센서 네트워크와 그리드 컴퓨팅 기술이 혼합된 u-Healthcare 시스템 구성도를 나타낸다. 그림 2에서 센서 네트워크를 구성하고 있는 센서 노드들은 주변 곳곳에 흩어져 있는 환자들로부터 대량의 생체신호를 수집한다. 이 때 각 센서 노드들은 지그비(ZigBee)^[14]와 같은 저속통신 프로토콜을 이용하여 통신하며 별도의 조작 없이, 노드 간 협업을 통해 네트워크를 형성한다. 여기서 말하는 지그비란 IEEE 802.15.4^[15]의 PHY/MAC 계층을 기반으로 저비용, 초저전력을 목표로 하는 근거리 저속 무선통신의 표준이다. 지그비의 응용으로는 가정과 공장의 자동화시스템을 위한 원격관리 및 제어 그리고 원격 모니터링 등이 있다.

센서 노드의 자율적인 네트워크 형성을 통해 여러 환자로부터 수집된 대량의 생체 신호는 신속히 분석된 후 접근이 용이하고 대규모 네트워크를 형성하고 있는 인터넷을 통하여 의료기관 및 보호자에게 신속히 전달되어야 한다. 앞에서 언급한 대량 생체신호의 신속한 분석을 위하여 본 논문에서는 고속 연산 작업이 가능한 그리드 네트워크를 도입하여 이 문제를 해결하고자 한다. 하지만 수집된 생체신호는 지그비 프로토콜로 전송되기 때문에 TCP/IP 프로토콜을 사용하는 그리드 네트워크로의 전송을 위하여 별도의 프로토콜 변환이 필요하다. 본 논문에서는 센서 네트워크와 그리드 컴퓨팅의 연동을 담당하는 장치를 센서그리드 게이트웨이

(SensorGrid Gateway)라고 명명하였다.

센서그리드 게이트웨이를 통해 센서 네트워크로부터 수집된 생체신호는 미리 정해진 규약에 따라 그리드 네트워크로 전송되어 분석될 뿐만 아니라 생체신호의 수집 시간 정보와 함께 센서그리드 게이트웨이에 연결되어 있는 데이터베이스에 저장된다. 그리드 네트워크에서 분석된 결과는 데이터베이스에 저장되어 있는 정상적인 생체신호 데이터와 비교되어 의료진들에게 전달된다. 의료진들은 환자의 현재 증상과 데이터베이스에 저장된 과거의 병력을 바탕으로 진단하여 모바일 디바이스를 통해 환자 및 환자의 보호자에게 통보함으로써 질병의 발생이나 악화를 사전에 방지할 수 있다.

IV. 센서그리드 게이트웨이를 이용한 u-Healthcare 시스템

센서그리드 게이트웨이는 센서 네트워크와 그리드 네트워크를 유연하게 연결함으로써 의료진 및 보호자에게 환자의 건강상태를 신속하고 정확하게 알릴 수 있는 u-Healthcare 시스템 장치이다. 본 장에서는 센서그리드 게이트웨이를 이용한 u-Healthcare 시스템의 각 구성요소를 분석할 것이다.

1. 센서 노드 (Sensor node)

센서 네트워크를 구성하는 센서 노드는 한정된 에너지 자원, 제한된 연산 처리능력, 소용량의 메모리 등 최소 사양의 하드웨어 사양을 가지고 있다. 이러한 센서 노드의 제한된 자원을 효율적으로 사용하고 관리하기

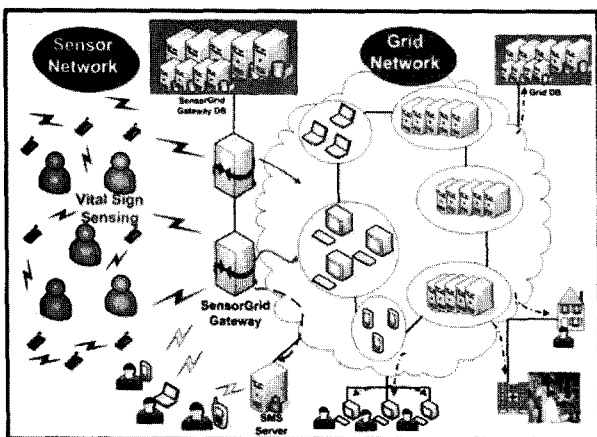


그림 2. 센서 네트워크와 그리드 네트워크가 혼합된 u-Healthcare 시스템 구성도

Fig. 2. The architecture of an u-Healthcare system combined with a sensor network and a Grid network.

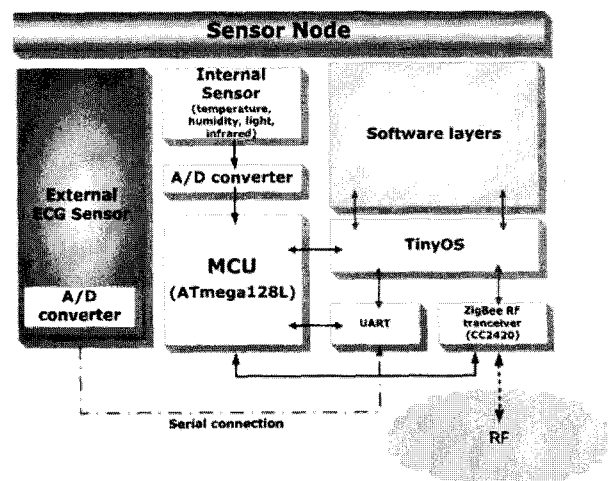


그림 3. ECG 측정을 위한 센서 노드 블록 다이어그램
Fig. 3. The Sensor node Block Diagram to measure ECG Signals.

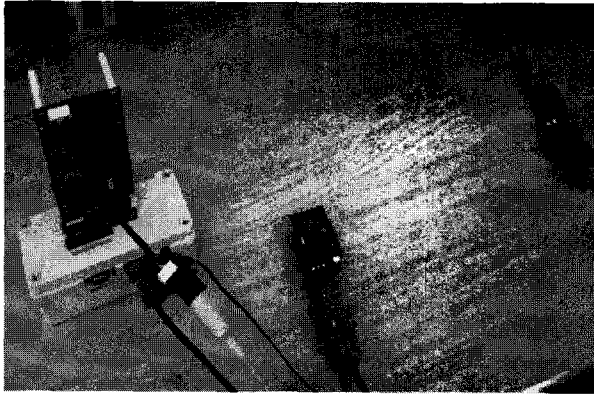


그림 4. 센서 모트와 결합된 ECG 센서
Fig. 4. A sensor mote coupled with an ECG sensor.

위하여 있는 TinyOS^[16]와 같은 초경량 운영체제가 사용된다. 전 세계에서 가장 널리 사용되는 USN 운영체제 플랫폼인 TinyOS는 미국 버클리 대학에서 개발되었으며 초소형, 저전력, 컴포넌트 기반의 구조라는 특성을 가지고 있다.

그림 3에 본 논문에서 구현된 ECG 측정을 위한 센서 노드의 블록 다이어그램을 나타내었다. 센서 노드는 ATmega128L, 4개의 내부 센서(온도, 습도, 조도, 적외선), A/D 컨버터, 시리얼 인터페이스 UART, ZigBee RF 트랜시버 CC2420, 외부 ECG 센서로 구성되며, 운영체제는 TinyOS를 사용하였다.

센서 노드가 센서그리드 게이트웨이로 ECG 신호를 전송하는 절차는 다음과 같다. 먼저 환자로부터 측정된 아날로그 ECG 신호는 ECG 센서와 결합되어 있는 A/D 컨버터에 의하여 디지털 신호로 변환된다. 변환된 ECG 신호는 19.2Kbps의 통신 속도로 시리얼 케이블 (RS 232c)을 통하여 지그비 모트(mote)의 UART 인터페이스로 전송된다. 지그비 모트에 도착한 ECG 신호는 소프트웨어 계층에서 TinyOS 형식에 따라 일정한 크기의 패킷으로 생성된다. 생성된 패킷은 최종 지그비 RF 트랜시버로 이동하여 센서그리드 게이트웨이로 전송된다. 그림 4는 심장 전기도를 측정하는 실제 ECG 센서와 결합된 센서 모트 (mote)의 모습을 보여준다.

2. 센서그리드 게이트웨이 (SensorGrid Gateway) 가. 센서그리드 게이트웨이 구조

그림 5는 u-Healthcare 서비스를 위한 센서그리드 게이트웨이 구조를 나타낸다. 센서그리드 게이트웨이를 구성하는 각 모듈별 기능은 다음과 같다. 센서 네트워크로부터 수집된 생체신호 및 각종 환경변수 데이터는 Sensing Data Aggregation 모듈을 통과한다. 그 후

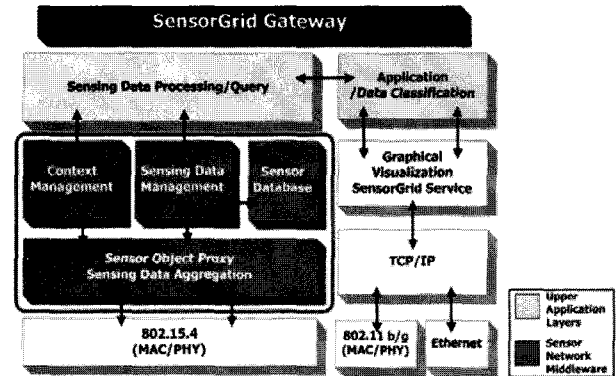


그림 5. 센서그리드 게이트웨이 구조
Fig. 5. The structure of the SensorGrid gateway.

Sensor Object Proxy 모듈은 수집된 데이터의 종류에 따라 context 정보 혹은 순수한 생체신호로 분류한다. 여기서 context 정보는 사용자가 미리 정해놓은 특정 이벤트와 같은 주변 상황인지 정보이다. 이렇게 분류된 데이터들은 미리 정해놓은 데이터 관리 정책에 따라 처리된 시간과 함께 센서 데이터베이스에 저장된다. 그림 5에 있는 Context management, Sensing data management, sensor database는 본 논문에서 구현된 센서 네트워크의 효율적 관리 및 제어를 위한 미들웨어의 구성 모듈로서 이와 관련된 내용은 다음 절에서 다루겠다.

응용 계층에서는 수집된 생체신호의 적절한 프로세싱이 진행된다. 응용 계층의 Query 모듈은 센서 노드 제어 메시지를 미들웨어로 전달하여 센서 네트워크를 제어하고 관리할 수 있는 기능을 포함한다. 센서 네트워크로부터 수집된 생체신호를 그리드 네트워크로 전송하기 위해 응용 계층에서는 그리드 네트워크와 미리 약속된 통신 프로토콜에 따라 메시지를 생성한다. 생성된 메시지는 TCP/IP 프로토콜을 사용하는 이더넷(Ethernet) 혹은 WLAN을 통하여 그리드 네트워크로 전송된다. 동시에 Graphical Visualization 모듈은 그리드 네트워크로 전송되고 있는 생체신호를 실시간 그래프 혹은 수치로 나타내어 환자의 건강상태 변화를 나타내준다. 그리드 네트워크로 전달된 생체신호는 신속한 분석 및 처리가 수행되어 데이터베이스에 저장된 질병과 대조하여 비교된 최종 결과가 센서그리드 게이트웨이로 통보된다. 센서그리드 게이트웨이에서는 웹, 모바일 디바이스 등을 이용하여 u-Healthcare 서비스를 제공한다.

나. 센서네트워크 제어 및 관리 미들웨어
미들웨어란 응용 계층에서 수행하는 많은 역할들을

분담하여 응용 계층의 데이터 처리 부하를 경감시킬 수 있는 일종의 소프트웨어이다^[17]. 본 논문에서 구현된 미들웨어는 센서그리드 게이트웨이의 상위 응용 계층과 하위 계층 사이에 존재하며 두 계층을 중재하는 역할과 응용계층의 요구사항을 받아들여 센서 네트워크로부터 생체신호를 수집하고, 주변 상황에 따라 센서 노드를 제어하고 관리하는 기능을 담당한다.

본 미들웨어의 기능은 크게 센서 노드 고유정보 수집, 센서 노드 제어, 센싱된 데이터 수집, 이벤트 기반 동작 보고, 피어 투 피어 통신으로 나뉜다. 첫째, 센서 노드 고유정보 수집은 센서 노드 ID, 센서 노드의 상황 정보 등을 수집하는 기능이다. 둘째, 센서 노드 제어는 수집된 센싱 정보를 가지고 사용자가 원하는 동작명령을 내려 센서 노드를 제어하는 기능이다. 셋째, 센싱된 데이터 수집은 센서 노드가 주기적으로 센싱하여 얻는 각종 환경 변수 데이터(온도, 습도 등)를 수집하는 기능이다. 넷째, 이벤트 기반 동작 보고는 사용자가 특정 조건과 함께 미리 정해놓은 이벤트를 센서 노드에게 전송하여 조건 만족 시 센서 노드에서 해당 이벤트가 발생하는 기능이다. 예를 들어, “주위 온도가 사용자에게 의해 설정된 특정 온도 이상이 되면 보고하라”인 경우를 이벤트로 설정한다. 이 때 본 미들웨어는 해당 이벤트가 발생하면 보고하도록 센서 노드에게 Query 메시지를 보낸다. 센서 노드가 주기적으로 주위 온도를 센싱하는 동안 센싱된 값이 이벤트에 명시되어 있는 온도와 일치하게 되면 센서 노드는 이벤트가 발생된 것을 센서그리드 게이트웨이로 통보하여 사용자로 하여금 이벤트 발생 유무를 파악하게 한다. 마지막으로 피어 투 피어 통신 기능이다. 이벤트 기반 동작 보고 기능이 사용자와 센서 노드간의 통신이라면, 피어 투 피어는 센서 노드간의 통신으로 애드 혹 네트워킹을 가능케 한다. 사용자가 정해놓은 이벤트를 센서 노드에게 전송하여 조건 만족 시 센서 노드간의 통신이 이루어진다.

다. 실시간 모니터링 시스템

센서 네트워크로부터 수집된 대량의 생체신호를 심전도, 심장박동, 산소포화도와 같은 세부적인 정보로 분류하여 실시간으로 모니터링 함으로써 환자의 건강상태를 파악할 수 있다. 그림 6은 센서그리드 게이트웨이 상의 심전도 측정 실시간 모니터링 시스템 화면을 나타낸다. 센서그리드 게이트웨이 상에 존재하는 실시간 모니터링 시스템의 주요 기능은 다음과 같다.

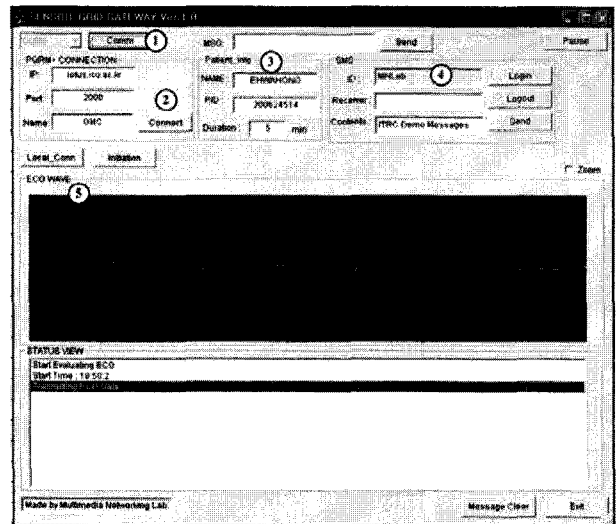


그림 6. 심전도 실시간 모니터링 시스템 화면
Fig. 6. The screen of the real-time monitoring system for evaluating ECG.

- ① 센서 노드와의 연결을 위한 시리얼 통신포트 설정
- ② 그리드 네트워크의 특정 서버와 연결 설정
- ③ 심전도 측정을 위한 환자의 명세 및 측정시간 입력
- ④ 그리드 네트워크로부터의 결과를 휴대폰 문자 메시지를 사용하여 통보
- ⑤ 심전도 신호를 그래프로 나타내는 모니터링 박스

u-Healthcare 시스템에서 환자의 상태를 나타내는 생체신호는 매우 중요하다. 따라서 첫 번째로 무선과 유선 환경에서 수집된 심전도 신호의 상태를 측정하였다. 심전도 신호 상태를 평가하기 위하여 두 센서 노드간의 패킷 전달율(packet delivery ratio)을 산출하였다. 평가를 위한 실험 환경은 다음과 같다. 실험시간은 매 실험마다 5, 10, 15, 20, 25, 30분으로 설정하였고, 두 센서 노드간의 거리는 약 7미터, 각 센서 노드의 송신 파워는 최대레벨, 두 센서 노드간의 어떠한 장애물도 존재하지 않도록 설정하였다. 실험을 통하여 유선 환경에서는 패킷 전달율 100%, 무선 환경에서는 평균적으로 패킷 전달율 98.9%를 얻었다. 표 1은 센서 노드에 의해

표 1. 센서 노드에 의해 수집된 애플리케이션에 따른 QoS 요구사항

Table 1. QoS requirement for applications by sensor nodes.

| Sensed Applications | QoS Requirement |
|---------------------|-----------------------|
| | Packet delivery ratio |
| ECG | 95% |
| SpO2 | 90% |
| Temperature | 90% |

표 2. 생체신호 전달 요구사항

Table 2. Delivery requirements of vital signs.

| Application | Target data rate | Latency | BER |
|------------------------|--|----------|--------------------|
| Drug Delivery | < 16 Kbps | < 250 ms | <10 ⁻¹⁰ |
| Deep Brain Stimulation | <320 Kbps | < 250 ms | <10 ⁻¹⁰ |
| Capsule Endoscope | 1 Mbps | - | <10 ⁻¹⁰ |
| ECG | 192 Kbps (6 Kbps, 32channels) | < 250 ms | <10 ⁻¹⁰ |
| EEG | 86.4 Kbps | < 250 ms | <10 ⁻¹⁰ |
| EMG | 1.536 Kbps (8kHz sample, 16bit ADC, 12channels) | < 250 ms | <10 ⁻¹⁰ |
| Glucose level monitor | < 1 Kbps | < 250 ms | <10 ⁻¹⁰ |

수집된 애플리케이션에 따른 QoS 요구사항을 나타낸다^[18]. 본 논문에서 측정된 패킷 전달율 98.9%는 표 1에서 나타난 QoS 요구사항인 패킷 전달율 95%를 만족한다. 따라서 센서그리드 게이트웨이에서 모니터링 되는 심전도 신호는 매우 안정적이라고 할 수 있다.

두 번째로 ECG 센서로부터 얻은 데이터가 싱크노드로 수집되는데 걸리는 지연시간을 측정하였다. ECG 센서는 심전도 신호뿐만 아니라 심장박동, SpO₂과 같은 다른 생체신호를 측정한다. 따라서 송신 측 센서 노드는 심전도 신호를 포함한 총 80 bytes 크기의 데이터를 패킷으로 생성하여 센서그리드 게이트웨이로 전송한다. 1초 동안 ECG 센서노드로부터 센서그리드 게이트웨이에 도착하는 패킷의 양은 약 1560 bytes로 이것을 바탕으로 1 패킷이 도달하는 시간을 계산하면 약 51.28 ms의 결과를 얻을 수 있다. 이렇게 측정된 결과의 신뢰성을 판단하기 위하여 표 2에 생체신호의 종류, 전송률, 지연시간, 에러율 관점에서 고려한 기술적 요구 사항들을 나타내었다^[19]. 표 2에 명시된 ECG 신호의 지연시간과 측정된 결과를 비교했을 때, 측정 결과는 명시된 조건에 충분히 만족됨을 알 수 있다. 앞의 결과들을 보았을 때 센서그리드 게이트웨이에 의하여 전달되는 생체신호는 무선 단말기를 통한 모니터링 및 데이터 전달 관점에서 보았을 때 신뢰성이 높은 것으로 판단할 수 있다.

라. 그리드 네트워크와 통신을 위한 메시지 구조 및 통신 프로토콜

그리드 네트워크와의 연동을 위한 메시지는 XML 형식의 구조를 가지고 있어서 그리드 네트워크로 전송 후

별도의 메시지 구조 변환 없이 웹으로 전달 될 수 있다. 그리드 네트워크와의 통신 메시지는 현재 측정 시간과 함께 시작을 알리는 메시지, 생체신호 메시지, 끝을 알리는 메시지 순으로 전송된다.

3. 모바일 디바이스 실시간 모니터링 시스템

환자로부터 근거리 혹은 원거리에 위치해 있는 보호자는 모바일 디바이스 모니터링 시스템을 이용하여 실시간으로 환자의 건강상태를 확인할 수 있다. 모바일 디바이스 실시간 모니터링 시스템은 센서그리드 게이트웨이의 모니터링 시스템과 유사하게 센서그리드 게이트웨이로부터 수신된 생체신호를 실시간 그래프로 표현하여 이동 중인 보호자에게 환자의 건강상태 변화를 표현한다. 모바일 디바이스 모니터링 시스템을 사용하는 보호자는 센서그리드 게이트웨이 상의 서버에 접속하여 타 지역에 있는 의료진에게 메시지를 송신함으로써 환자의 건강상태를 알릴 수 있다. 모바일 디바이스 모니터링 시스템의 추가적인 기능으로 과거의 수신된 생체신호를 보관하기 위한 그래프 캡처(capture) 기능이 있다. 캡처된 그래프는 이미지 파일형태로 수신된 시간과 함께 모바일 디바이스에 장착되어 있는 메모리에 저장된다. 그림 7은 본 논문에서 구현된 PDA상의 모니터링 시스템 화면을 보여준다.

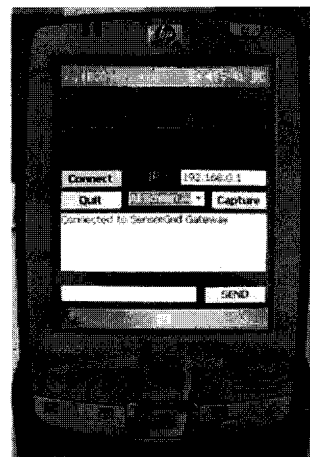


그림 7. PDA상의 실시간 모니터링 시스템 화면

Fig. 7. The screen of mobile monitoring system on a PDA.

V. 결론 및 향후 계획

본 논문에서는 센서 네트워크와 그리드 네트워크를 연동할 수 있는 센서그리드 게이트웨이를 설계하고 구

현된 결과를 제시하였다. 구현된 결과물로 환자의 ECG 신호를 실시간으로 측정할 수 있는 ECG 측정 센서 노드를 개발하였다. 또한 센서그리드 게이트웨이 상에 ECG 측정 센서 노드로부터 수집된 신호를 실시간으로 모니터링 할 수 있는 모니터링 시스템을 개발하였다. 개발된 실시간 모니터링 시스템의 신뢰성 및 안정성을 판단하기 위하여 ECG 신호의 패킷 전달율과 지연시간을 각각 측정하여 시스템의 특성을 검증하였다. 마지막으로 본 논문에서 구현된 모바일 모니터링 시스템을 통하여 의료진 및 환자로 하여금 이동 중에도 환자의 건강상태를 원거리에서 모니터링 할 수 있게 되었다.

향후 본 연구에서 개선되어야 할 사항은 센서그리드 게이트웨이의 모니터링 시스템 및 미들웨어의 기능 고도화 작업이다. 센서그리드 게이트웨이의 기능 고도화를 통하여 센서 네트워크를 적응적으로 관리·제어해야 한다. 추가적으로 센서그리드 게이트웨이의 무선 인터페이스 확장이 요구된다. 현재 무선 인터페이스 중의 하나인 블루투스(Bluetooth)는 센서 네트워크와 함께 u-Healthcare 시스템과 접목되어야 할 기술 중의 하나로 유망하다. 더불어 현재 생산되는 많은 종류의 바이오센서는 블루투스 통신을 지원한다. 바이오센서뿐만 아니라 우리가 가지고 다니는 휴대용 컴퓨터, 휴대폰 등의 모바일 기기들은 대부분 블루투스 통신을 지원하고 있다. 이와 같은 블루투스는 지그비보다 전송 속도 면에서 뛰어 남으로 지그비와 더불어 센서 네트워크에 적용될 때 효과적으로 u-healthcare 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

센서 네트워크를 구성하고 있는 각 센서 노드는 배터리와 같은 한정된 에너지를 가지고 통신 및 프로세싱 작업을 수행하므로 센서 노드의 수명을 최대화하기 위한 연구가 필요할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] I. Akyildiz, W Su, Y Sankarasubramaniam, E Cayirci, "A survey on Sensor networks," *Comm. Mag. IEEE*, August 2002.
- [2] H. Karl, A. Willig, "A short survey of wireless sensor networks," *TKN Technical Report TCK-03-018*, October 2003.
- [3] 한동수, "U-Healthcare 국내외 연구 동향 및 서비스 플랫폼", *ITFIND 주간기술동향*, 1246호, 2006년 5월
- [4] 윤양문, "IEEE 802.15 SG-BAN 표준화 이슈 및 동향", *OSIA Standards & Technology Review*, 3호, 9권 pp.13-16, 2007년 9월
- [5] 김석진, 조홍근, 윤명현, "그리드 컴퓨팅 기술개요 및 최신 국내외 기술동향", *KISTI 기술정보분석 보고서*, 28면, 2004년 12월
- [6] D. Malan, T. Fulford-Jones, M. Welsh, and S. Moulton, "CodeBlue: An ad hoc sensor network infrastructure for emergency medical care," In *Proc. of MobiSys*, June 2004.
- [7] G. Virone, A. Wood, L. Selavo, Q. Cao, L. Fang, T. Doan, Z. He, and J. Stankovic, "An advanced wireless sensor network for health monitoring," In *Proc. of D2H2*, April 2006.
- [8] J. A. Stankovic, et al, "Wireless Sensor Networks for In-Home Healthcare: Potential and Challenges," in *Proc. of HCMDSS*, June 2005.
- [9] B. Fran, F. Geoffrey, J.G. Anthony, "Grid Computing: Making The Global Infrastructure a Reality", Wiley, April 2003.
- [10] I. Foster, C. Kesselma, "The Grid 2: Blueprint for a New Computing Infrastructure", Morgan Kaufmann, Nov. 2003.
- [11] N. Jacq, C. Blanchet, C. Combet, E. Cornillot, L. Duret, K. Kurata, H. Nakamura, T. Silvestre, "Grid as a bioinformatic tool", *Parallel Computing*, Elsevier, July 2004.
- [12] J. Pitt-Francis, A. Garmy, D. Gavaghan, "Enabling computer models of the heart for high-performance computers and the grid", *Philosophical transactions*, April 2006.
- [13] Z Shen, J Luo, G Huang, D Ming, W Ma, H Sheng, "Distributed computing model for processing remotely sensed images based on grid computing", *Information Sciences*, vol.177, pp.504-518, 2007.
- [14] ZigBee Specification, ZigBee Alliance Std., 2005. [Online]. Available: <http://www.zigbee.org>
- [15] Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE Std. 802.15.4, 2003.
- [16] <http://www.tinyos.net>
- [17] W. B. Heinzelman, A. L. Murphy, H. S. Carvalho, and M. A. Perillo, "Middleware to Support Sensor Network Applications", *IEEE Network*, Vol.18, No.1, pp.6-14, Jan. 2004.
- [18] L. Xuedong, I. Balasingham, "A QoS-aware Routing Service Framework for Biomedical Sensor Networks," *ISWCS 2007 4th International Symposium*, pp.342-345, Oct. 2007.
- [19] 이성협 외 2명, IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내외 표준화 동향, 한국통신학회, 한국통신학회지,

제 25권, 제 2호, pp.11-17, 2008년 2월.

- [20] C. K. Tham, "Sensor-Grid Computing and SensorGrid for Event Detection, Classification and Detection-Making," ed. NP Mahalik Springer-Verlag, Germany, July 2006.
- [21] H.A., Franke, F.L. Koch, C.O. Rolim, C.B. Westphall, D.O. Balen, "Grid-M: Middleware to Integrate Mobile Devices, Sensors and Grid Computing," In Proc. of IEEE ICWMC, pp. 19-19, March 2007.

저 자 소 개



오 세 진(학생회원)
2006년 아주대학교 전자공학과
학사 졸업.
2006년 9월~현재 아주대학교
전자공학과 석사과정
<주관심분야 : 무선 센서네트워
크, Ad-hoc network, WLAN>



이 채 우(정회원)
1985년 서울대학교 제어계측
학사 졸업.
1988년 한국과학기술원
전자공학과 석사 졸업.
1995년 University of Iowa 박사
졸업.
1985년 1월~1985년 12월 (주)금성통신 연구원.
1988년 9월~1999년 3월 한국통신 선임연구원.
1999년 3월~2001년 9월 Lucent Technologies
Korea 이사.
2001년 9월~2002년 2월 한양대학교 겸임교수
2002년 3월~현재 아주대학교 전자공학과
부교수.
<주관심분야 : 광대역 통신망, Ubiquitous
networking, Traffic Engineering>