

에너지 효율 증대를 위한 바이오 센서 개발에 관한 연구

한승훈*

*KT 미래기술연구소(hshoon@kt.com)

A Study on Development of Ubiquitous Bio-Sensors for Increasing Energy Efficiency

Han, Seung-Hoon*

*KT Future Technology Laboratory(hshoon@kt.com)

Abstract

It is essential to investigate the structure and the main characteristic of Home USN (Ubiquitous Sensor Network) technologies in built ubiquitous environment while designing bio-sensors. For this study, Thermistor elements and Thermopile black body have been selected to implement ubiquitous technologies for bio-sensors and wireless network such as WiBro has been used to transfer sensing data to the BSN (Bio-Sensor Network) gateway. It is certain that efficiency of ubiquitous space design is improved if main components of each specific sensor network are analyzed precisely in digital way and corresponding communication modules are prepared accordingly. Ubiquitous technology, in conclusion, has to be applied not only with systematical mechanism or electronic setting but in human-centered atmosphere as well, keeping with deep consideration for bio-housing service factors in eco-friendly surrounding.

Keywords : 유비쿼터스(Ubiquitous), U-IT(Ubiquitous Information Technology), 지능형홈(Smart Home), 바이오 하우스(Bio-Housing), 바이오 센서 네트워크(Bio-Sensor Network), 에너지절감(Energy-Saving)

기 호 설 명

LCC : Life-Cycle Cost
USN : Ubiquitous Sensor Network
WiBro : Wireless Broadband
RF : Radio Frequency
MCU : Micro Controller Unit
ADC : Analog-Digital Converter
BSN : Bio-Sensor Network

1. 서 론

최근 에너지 절감이 건축물의 계획 및 설계에 있어 중요한 요소로 인식되면서 그린빌딩이나 친환경건축, 지속가능한 건축물 등의 용어가 빈번하게 사용되고 있다. 건물내 환경부하를 줄이기 위해 실내외 환경에 미치는 영향 요소들을 고려해 건축 계획 단계에서부

투고일자 : 2008년 11월 18일, 심사일자 : 2008년 11월 22일, 게재확정일자 : 2008년 12월 12일
교신저자 : 한승훈(hshoon@kt.com)

터 에너지 절감 공법을 반영하고 있으며, 자연 에너지를 이용하거나 친환경적인 식재 및 포장, 자연 생태계 유지 기술 및 건축물 생애주기비용(LCC) 분석 등을 이용한 적극적인 에너지 절감형 건축설계가 이루어지고 있다.

이미 다양한 건축물 에너지 운용 기술에 대해 연구가 수행되어 왔으며, 특히 에너지 독립적이며 지속가능한 주거 건축물에 대한 의미 있는 연구결과들이 생산되고 있는 상황이나, 다만 대다수의 연구들이 건축물 자체를 대상으로 한 계획, 설계 및 시공의 관점에서 수행되고 있으며, 건축 공간을 실제로 이용하는 거주자의 특성까지 고려하는 단계에는 이르지 못하고 있는 것이 사실이다.

이에 본 논문에서는, 효율적인 에너지 운용을 위해 건축 환경을 감시하고 건축 설비를 제어하는 종전의 관점에서 나아가 첨단 U-IT 기술을 접목하여 거주자의 신체적 특성을 측정하고 그 변화를 모니터링하여 거주자 특성에 부합하는 맞춤형 에너지 설비를 지향하는 유비쿼터스 바이오 센서 개발에 목적이 있다.

에너지 절감형 유비쿼터스 주거 공간을 구축하기 위한 기반 인프라 기술로서 Home USN을 적용하였으며, 거주자 신체 특성을 감지하는 바이오센서는 Home USN과 유기적으로 연동하여 거주자 생체 정보 중심의 건축 환경 상황인지를 통해 주거 에너지를 효율적으로 사용케 함으로써 보다 지속 가능하며 환경 친화적인 바이오하우징¹⁾ 서비스 구현의 가이드라인을 제시하고자 한다.

1) “친환경적” 또는 “생태적(바이오)”이라는 개념은 주거 공간을 유기체로 파악하여 자연과 인간이 공존할 수 있는 환경을 의미한다. 환경과 화합하는 바이오 주거 공간은 자연계의 수용능력 범위 안에서 인간 활동의 양식을 규정지음으로써 인간을 둘러싼 생태계의 균형을 유지하며, 모든 개발행위와 경제활동에서 환경에 미치는 악영향을 최소화시키는 미래지향적인 개념의 공간이다. (한승훈, 오세규, 주거 공간의 유비쿼터스 기술 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2007.12.)

2. 생체 대응형 Home USN 구성

Home USN은 삶의 기본 요소인 주거 공간의 요소요소에 전자 태그를 부착하고, 이를 통해 사물의 인식정보를 기본으로 공간의 환경정보, 즉 온도, 습도, 압력, 공기질과 오염도, 에너지 사용 현황, 건물 균열 등을 각종 센서를 통해 실시간 수집하여 관리, 통제할 수 있도록 구성된 네트워크로, 궁극적으로 모든 사물에 컴퓨팅 및 커뮤니케이션 기능을 부여하여 Anytime, Anywhere, Anything 통신이 가능한 지능형 주거 환경을 구현하기 위한 것이다.

Home USN의 요소 기술로는 크게 주거내 거주자와 주거 환경 인지에 사용되는 센서 관련 기술과 정보 전달을 위한 네트워크 기술, 전달된 정보를 서비스하기 위한 응용 기술로 구분할 수 있으며, Home USN의 핵심 장치인 Gateway를 통해 정보 조회는 물론 무선 센서로 연결되어있는 각종 시스템으로부터 원격으로 데이터를 얻고 제어할 수 있게 한다.

이와 같이 거주자 생체 특성에 반응하는 에너지 절감을 지원하는 Home USN 구성을 위해서는 필수적으로 생체 신호 추출을 위한 소형 센서 노드와 이동형 Gateway, 모니터링 시스템의 개발이 필요하다. 최근에는 소형화 및 경량화를 통해 ZigBee²⁾ 등 무선 프로토콜을 이용하여 생체 신호 센서 정보를 사용자가 원하는 곳에서 전송 가능한 서비스 구축이 가능해지고 있으며, 더 나아가 영상을 포함한 다양한 USN 데이터를 동시에 전송하기 위해 보다 넓은 대역폭을 가지는 WiBro 무선 통신망을 이용하는 추세이다.

2) ZigBee는 모듈의 소형화, 저전력 소모, 낮은 전파간섭률, 중계 노드 설치 용이, 높은 상호운용 가능성 등 많은 이점으로 인해 현재 USN 표준으로 가장 각광받고 있으며, 저용량의 데이터로 네트워크 상의 기기를 통합·제어하는 용도에 적합하므로 향후 다양한 산업 분야에 적용될 것으로 예측된다.

2.1 Bio-SensorPlatform

기존 USN 데이터의 신뢰성은 일반 네트워크 보다도 낮은 수준이어서 환경 모니터링 위주의 응용이 대부분이나, 인체의 생체 신호 감지를 통한 에너지 절감 서비스 구현을 위해서는 보다 정확한 양질의 데이터를 요구하므로 정교한 센서 Calibration과 안정적인 네트워크, 그리고 높은 데이터 신뢰도가 요구된다.

2.2 PortableGateway

거주자가 공간적으로 구속을 받지 않고 자유롭게 이동하면서 Home USN에 기반한 생체 신호 측정 및 요구 에너지량의 자동 계산을 구현하기 위해서는 센서망과 네트워크의 통신을 담당하는 이동형 Gateway 개발이 필수적이다.

2.3 MonitoringSystem

센서 네트워크 및 센서 노드를 모니터링하여 Graph, Chart, Excel 등 Home USN 유지관리를 위한 다양한 형식의 통계 자료를 제공함으로써 생체 신호 분석 결과에 대응하는 주거 에너지 상황인식을 위한 기본 시스템 역할을 수행한다.

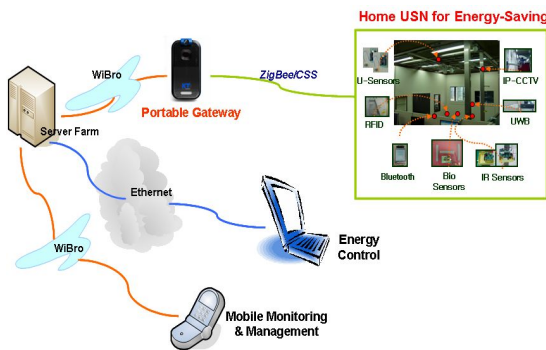


그림 1. 생체 대응형 에너지 절감 Home USN 개략도

본 연구에서는 Home USN과 연동하여 인체로부터 측정 가능한 생체 신호 중 주거 냉난방 에너지 사용과 비교적 밀접한 연관 관

계에 있는 체온 센서 노드의 설계와 개발에 대해 우선적으로 제시하고자 하며, 산소포화도 등 기타 바이오 센서의 개발에 대해서는 향후 후속 연구를 통해 진행하고자 한다.

3. 바이오 센서 상세설계

3.1 설계 요구사항

바이오 센서 노드의 설계에 있어 일반적인 점검사항과 운영체제 구축시 요구사항, 전원 운영과 관련된 요구사항에 대해 살펴보고자 한다.

(1) 센서 노드 요구사항

- 가. 센서 노드의 네트워크 범위는 10m 이상 지원한다.
- 나. Calibration을 통해 신뢰도 높은 측정값을 제공해야 한다.
- 다. 센서 네트워크 암호화를 지원한다.
- 라. 주기적으로 측정값을 Gateway에 전달한다.
- 마. 측정값에 따라 이벤트를 발생한다.
- 바. 측정된 센서 데이터를 무선 통신모듈을 이용해 바이오 센서 Gateway에 전송한다.
- 사. 센서 단말과 Gateway와의 통신은 무선으로 하며 ZigBee(IEEE 802.15.4)를 사용하도록 하여 센서 단말기의 이동 및 설치를 자유롭게 한다.
- 아. 외부장치와 연동을 위한 인터페이스 RS232를 지원하며 WiBro 모듈이 연동되어야 한다.
- 자. 외부 Interface를 위한 USB (Universal Serial Bus) 2.0 Host를 지원 하여야 한다.
- 차. Gateway에 접속하여 센서 네트워크를 관리할 수 있어야 한다.
- 카. Client는 모니터링하고자 하는 센서 노드를 선택할 수 있다.
- 타. 모니터링된 값은 다양한 방식 (숫자, Graph, Chart 등)을 통해 가시화된다.

- (2) 운영체제 요구사항
 - 가. 24시간 무결점으로 운영할 수 있어야 한다.
 - 나. 저전력 및 임베디드 (Embedded) 시스템에 적합하여야 한다.
 - 다. 안정성이 높아야 한다.

- (3) 전원 요구사항
 - 가. 저전력 기반으로 배터리로 작동가능하여야 한다.
 - 나. 전원 인가가 필요한 바이오 센서 Gateway는 별도 전원을 공급한다.

3.2 센서 모듈 상세설계

Home USN 무선 네트워크 환경과 연동하기 위하여 Thermopile (비접촉식) 체온 측정 방식으로 센서 모듈을 설계하였다. 비접촉식 체온 센서는 아래 그림 2와 같이 Thermistor 소자³⁾와 Thermopile (열전기) 흑체로 구성되어 있다.

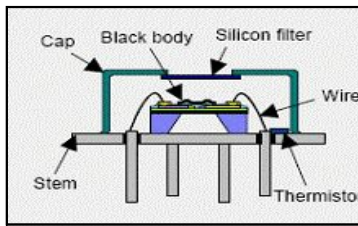


그림 2. 비 접촉식 체온 측정 센서

측정하고자 하는 대상 인체와 센서의 온도 차이를 이용하므로 주변 온도가 변화할 때마다 출력이 다르게 나온다. 즉, 센서 내의 Thermistor를 이용하여 주변온도를 측정 후 Thermopile로 측정하고자 하는 물체에 대한 온도로 보상하는 원리이다. 기타 여러 가지 영향을 미치는 부분과 온도 보상에 대한 요소는 아래와 같이 정리될 수 있다.

- 가. 센서 자체의 주변온도
- 나. 센서 필터의 FOV (Field-Of-View),

- 즉 센서의 시야
- 다. 대상 물체와 센서와의 거리
- 라. 대상 물체의 넓이 및 Thermopile Element의 넓이

비접촉식 체온 센서의 기본원리는 Stefan-Boltzmann의 법칙으로 해석될 수 있다. 모든 물체에서는 에너지를 방출하는데 단위 면적당 방출하는 에너지의 양은 표면 절대온도의 네제곱에 비례한다는 법칙이다. 다음 식(1)에서 σ 는 Stefan-Boltzmann 상수이며 ϵ 은 물체의 방사율을 말한다. 이상적 흑체는 $\epsilon=1$ 인 경우이며 보통은 0.85~0.95 범위의 수치를 나타낸다. 사람 피부의 경우 36.7-37.2°C에서 0.985 정도이다.

$$P_{obj} = \sigma * \epsilon T_{obj}^4 \quad (1)$$

위에서 언급한 보상 요소를 상수 K로 간주하고 센서 내부에 있는 Thermistor의 주변 온도 보상에 대한 요소를 T_a 라고 할 때 최종적인 출력은 식(2)와 같다.

$$P_{rad} = K * (\epsilon_{obj} T_{obj}^4 - \epsilon_{sens} T_a^4) \quad (2)$$

즉, 센서의 출력 전압은 Thermopile의 특성상 대상 물체 온도의 네제곱과 주변 온도의 네제곱의 차이만큼 발생한다. 여기서 필요한 정보는 Thermopile의 신호, 입력 바이어스 신호, Thermistor의 신호, 전원 신호이며, 이를 조합하여 주변온도에 대한 보상과 배터리 어플리케이션에 따른 전원 출력 보상을 얻을 수 있다.

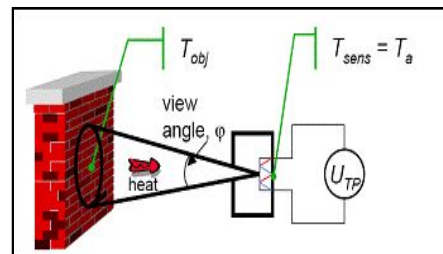


그림 3. 비 접촉식 체온 측정 원리

3) 온도가 오르면 저항값이 감소하는 반도체 소자

3.3 RF 통신 모듈 설계

측정된 체온 데이터를 Home USN에 전달하기 위한 무선 통신 모듈(MTM-BC1000)로서 일반적인 무선 센서 네트워크에 사용되는 운영체제인 TinyOS를 탑재하여 적용하였다.

사용 주파수 대역은 2.4~2.4835 GHz이며, 평균 250 Kbps의 통신 속도를 지원하도록 설계되어 있다. 장착되어 있는 Chip 안테나는 실내에서 약 10m를 도달하여 Home USN 구동에 있어 기본 요건을 충족하며, 실외에서 적용할 때는 약 80m까지 도달한다.

또한, 12bit 해상도의 ADC를 가지고 있어 정교한 측정값을 취득할 수 있으며, 3개의 채널을 보유하고 있다. 소비전력이 매우 작아 휴면 모드에서 활성 모드로의 변환 시간이 매우 빠른 장점을 가지고 있다.

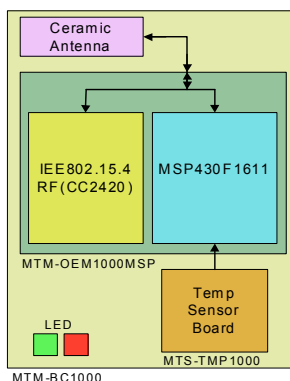


그림 4. RF 통신모듈 개략도

3.4 바이오 센서 모듈

상기 비접촉식 체온 센서 모듈과 RF 통신 모듈은 현재 사용자의 귀에 착용하는 통합 단말의 형태로 개발되어 시험 중이며, 개발된 센서 모듈의 주요 기능은 다음과 같다.

- 가. 실시간 체온 측정 및 전송
- 나. 정밀 측정 온도 범위 (29~42 °C)
- 다. 측정 대기시간 3~4초
- 라. 체온측정 정확도 ± 0.2°C
- 마. 최소 전류소모량 20mA 내외 (완전 충전시 25시간 연속동작 - 1초에 1회 데이터 전송)

이터 전송)

- 바. DC 어댑터의 직접적인 연결로 충전 및 전원 기능
- 사. 양쪽 귀에 장착 가능한 편리한 귀걸이형
- 아. 동작 상태를 2 가지 LED로 표시
- 자. 즉시 측정 모드와 모니터링 모드 지원
- 차. 측정된 데이터를 무선으로 전송



그림 5. 바이오 센서 모듈

3.5 센서 데이터 운용

바이오 센서 모듈에서 측정된 센서 데이터가 Gateway로 전송되어 운용되어지기까지의 절차는 다음과 같다.

- 가. 귀에 바이오 센서 단말을 장착하면 인체의 체온 신호가 센서를 통하여 센서 보드에 입력된다.
- 나. 센서보드에 입력된 신호는 증폭기를 거쳐 MCU로 넘어간다.
- 다. MCU로 들어온 신호는 ADC와 계산을 통하여 디지털 체온신호로 바뀐다.
- 라. 디지털로 바뀐 체온신호는 RF Chip을 통하여 Gateway로 무선 전송된다.
- 마. Gateway에 수집된 체온 정보에 의해 거주자 맞춤형 적정 실내 온도와 에너지 요구량을 결정한다.

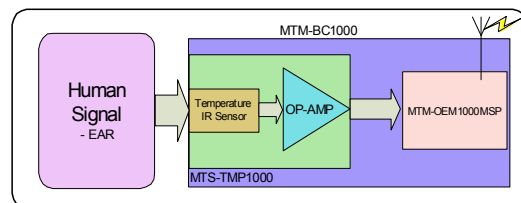


그림 6. 센서 데이터의 운용 절차

3.6 BSN Gateway 설계

(1) 설계 요구사항

가. Main Processor의 선정은 기능 구현을 위한 장치와의 모든 인터페이스를 가능하게 하여야 하며, 소량화 및 경량화를 고려하여야 한다.

나. 센서 Gateway는 ZigBee 기술을 이용하여 소비 전력을 최소화함으로써 전원 수명의 극대화를 꾀한다.

다. 현장 원격 운용 관리를 위해 WiBro를 지원한다.

(2) BSN Gateway 구성

BSN Gateway는 현재 거주자의 체온 등 생체 신호를 수집하고 모니터링하여 거주자 상황인식 결과 및 요구 냉난방 에너지 분석 자료를 건물 관리자 및 HVAC 설비 시스템으로 전송하며, 필요에 따라 원격 관리를 제어할 지원하는 차원에서 WiBro 무선망을 이용하여 전송하게 된다.

4. 결 론

본 연구는 에너지 절감형 유비쿼터스 주거 공간을 구축하기 위한 인프라 기술로서 Home USN을 적용하였으며, 바이오 센서를 이용한 거주자 생체 정보 기반의 건축 환경 상황인지를 통해 주거 냉난방 에너지를 수요자 중심으로 사용 가능케 하는 단서를 제시하였는데 의의가 있다.

본 연구에서 적용한 무선 센서 네트워크 기술은 기존 유선의 비용을 대폭 절감할 수 있을 뿐만 아니라 유선에 비해 더욱 다양한 분야에서 활용될 수 있을 것으로 예상된다. 특히, 저전력 무선 센서 네트워크 기반 바이오 센서 모듈 개발로 건축 에너지 분야 뿐만 아니라 다양한 건축 산업용 장비, 기기 및 서비스 솔루션 기술 개발에 응용 가능한 차세대 산업 기반 기술을 확보하는 효과가 기대되며, 향후 사이버

아파트, 자동화 사무실, 자동차, 병원, 백화점, 공항 등에서 유비쿼터스 네트워크로 구현될 스마트 공간 (Smart Space) 개념을 현실화하는 요소 기술로 발전 가능하리라 사료된다.

도래하는 컴퓨팅 환경에서 사용자는 지극히 개인화된 서비스를 요구할 것이다. 개인 휴대 단말장치가 소형화, 대중화 되는 추세이며, 다수의 컴퓨팅 디바이스로 구성되는 지능형 공간 컴퓨팅 개념이 현실화 될 것으로 전망된다. 이러한 관점에서 향후 지능형 공간 컴퓨팅 기술을 보다 실무적으로 전개하고 이를 기반으로 핵심적 요소 기술 개발을 확대시켜 나가야 할 것이다.

후 기

이 논문은 2008년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단).

참 고 문 헌

1. 중앙대 친환경건축연구센터, KT 미래기술연구소 학술용역 보고서, 미래형하우징에 관한 소비자 성향 분석 및 구성요소 설계, 2006.10.
2. 김문석, 유비쿼터스 공간의 디자인 패러다임 변화에 관한 연구, 한양대학교 박사학위논문, 2003.
3. 김성진, 유비쿼터스 주택의 정보 모델에 관한 연구, 연세대학교 석사학위 논문, 2003.
4. 박수빈, 지능형 주거 디자인을 위한 거주자 주요구에 관한 연구, 대한건축학회논문집(계획계), 22권 2호, 2006.2.
5. 조택연, 박희령, 유비쿼터스 환경의 하이퍼메스로서 공간, 대한건축학회논문집(계획계), 23권 4호, 2007.4.
6. 한승훈, 오세규, 주거 공간의 유비쿼터스 기술 적용에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 2007.12.