

# 센서 네트워크의 개요 및 기술동향

고려대학교 채동현 · 한규호 · 임경수 · 안순신\*

## 1. 서론

무어의 법칙에 힘입어, 우리는 엄청난 양의 컴퓨터에 둘러싸여 있다. 여기에 최근 정보통신 기술의 비약적인 발전은 기존의 계산기로서의 컴퓨터가 아닌 정보단말로의 컴퓨터로 발전하여 더욱더 우리의 생활에 밀접한 영향을 주고 있다. 이런 기술의 진보는 유비쿼터스 컴퓨팅이라는 새로운 정보통신 혁명을 야기하게 되었고, 이런 사회 발전의 흐름과 끊임없이 환경을 인간 친화적으로 바꾸고 싶어 하는 인간의 욕구와 맞물려 무선 센서 네트워크 (WSN: Wireless Sensor Network)의 필요성이 제기되고 있다.

무선 센서 네트워크란 센서가 달려 있어 센싱이 가능하고 센싱된 정보를 가공할 수 있는 프로세서가 달려 있으며 이를 전송할 수 있는 무선 송수신기를 갖춘 소형 장치, 즉, 센서 노드로 구성된 네트워크를 의미하며, 기존의 네트워크와 다르게 의사소통의 수단이 아니라 환경에 대한 정보를 수집하는 것을 그 목적으로 한다.

이런 무선 센서 네트워크는 저가의 초소형, 저전력 장치들의 개발 기술과 더불어 무선통신 기술의 발달에 의해서 실현 가능하게 되었고, 여러 사회적 요구에 의해서 무선 센서 네트워크의 개발 및 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 무선 센서 네트워크는 자동화된 원격 정보 수집을 기본 목적으로 하며 과학적, 의학적, 군사적, 상업적 용도 등 다양한 응용 개발에 폭넓게 활용될 수 있다.

사람의 몸에 센서를 부착하여 심장 박동수, 혈압, 혈당치, 체내 유해산소 비율 등 다양한 건강지수를 수집하여 의사에게 전송하는데 사용될 수도 있고 차량에 센서를 부착하여 시내 교통량 측정, 택시 등 특정 용도의 차량 위치 추적 등이 가능하다.

과학적으로는 동·식물의 생태정보 관리, 화산, 심해, 우주 등 사람이 직접 측정하기 힘든 곳의 과학적 수치들

의 원격 수집이 가능하며 군사적으로는 적 침입 감지, 적 차량의 현재 위치 추적 등으로 활용 될 수 있다.

따라서 무선 센서 네트워크는 유비쿼스 컴퓨팅 시대를 맞이하여 자동으로 다양한 환경 정보를 수집하고 수집된 정보를 기반으로 액츄에이터 (actuator)를 통하여 인간에게 보다 편리한 서비스를 제공해주는 과정에 있어서 핵심적인 역할을 수행할 것으로 기대된다.

본 고에서는 이러한 무선 센서 네트워크의 기본 개념을 설명하고 세계 각국에서 진행되고 있는 프로젝트 개발 동향을 통해 무선 센서 네트워크의 현재와 그 응용에 대하여 고찰하고, 상용화와 실제 개발을 위한 플랫폼으로써 센서 노드의 개발 상황, 그리고 관련 무선통신의 표준화 동향을 소개한다.

## 2. 센서 네트워크 개요

### 2.1 센서 네트워크 구성요소

무선 센서 네트워크는 기본적으로 센서 노드(Sensor Node)와 싱크 노드 (Sink Node)로 구성된다. 그림 1은 이런 센서 네트워크의 기본적인 구성을 보여주고 있다.

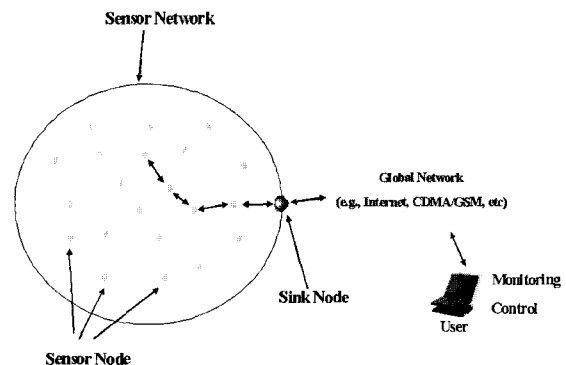


그림 1 센서 네트워크 기본 구성도

센서 네트워크 내의 각각의 센서 노드에서 센싱된 데이터는 싱크 노드에 의하여 수집되어 인터넷 등의 외부 네트워크를 통하여 사용자에게 제공된다.

센서 노드는 저가의 초소형 저전력 (일반적으로 배터

\* 종신회원

리를 이용) 장치로 센싱을 위한 센서, 센싱 정보를 디지털 신호로 변환하기 위한 ADC (Analog to Digital Converter), 데이터 가공 처리를 위한 프로세서와 메모리, 전원 공급을 위한 배터리, 그리고 데이터 송수신을 위한 무선 트랜시버 (transceiver) 등으로 구성된다.

센서 노드는 정해진 위치에 설치될 수도 있고 자동차 비행기 등을 통해 무작위로 뿌려질 수도 있다. 기본적으로 특정 위치에 고정되어 있으나 자동차나 PDA, 노트북 컴퓨터, 사람 등에 설치되어 이동하는 상태로 동작할 수도 있다.

싱크 노드는 센서 네트워크 내의 센서 노드들을 관리하고 제어하며 센서 노드들이 센싱한 데이터를 수집하고 외부 네트워크로의 게이트웨이 역할을 수행한다.

## 2.2 센서 네트워크 프로토콜 스택

그림 2는 센서 네트워크의 프로토콜 스택 (protocol stack)을 보여주고 있다. 일반적으로 물리 계층 (physical layer), 데이터 링크 계층 (data link layer), 네트워크 계층 (network layer), 그리고 응용 계층 (application layer)의 4 계층을 기본으로 하지만, 신뢰성 있는 전송을 위해 전송 계층 (transport layer)을 추가하기도 한다. 본 고에서는 그림 2를 바탕으로 설명을 하도록 한다.

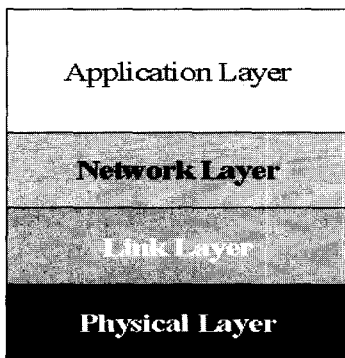


그림 2 센서 네트워크 프로토콜 스택

### 2.2.1 물리 계층

신호 감지, 변복조, 데이터 암호화, 반송파 생성 등 실제 물리적인 신호 전송을 담당하는 계층이다. 센서 네트워크에서는 전력 소모를 최소화 시킨 무선 트랜시버, 센싱 모듈, 프로세싱 유닛의 설계가 중요시 되며, 센서 노드의 소형 안테나, 짧은 전송 범위 및 저전력 소모를 감안한 변복조 방식과 신호 전파 효과에 따른 영향을 줄이기 위한 방안 등을 중심으로 연구되고 있다. 사용하는 주파수 대역으로는 915 MHz 및 2.4 GHz ISM (Industrial, Scientific and Medical) 대역이 유력시 되고 있다.

### 2.2.2 데이터 링크 계층

데이터 링크 계층은 Medium Access Control (MAC) 및 Logical Link Control (LLC)로 구성되며 MAC은 매체 접근 및 에러 제어를 담당하는 계층으로 데이터 전송을 위한 통신 링크의 구성과 한정된 자원의 효율적인 공유를 목적으로 하며, LLC는 상위 계층 (네트워크 계층)에게 여러 다른 종류의 매체 접근 방식들에 대한 일관된 인터페이스를 제공하기 위해서 사용된다.

센서 네트워크에서의 MAC 계층의 경우는 전력 소모가 적어야 한다는 점과 기지국이나 액세스 포인트 (access point) 등의 인프라가 없는 환경에서 스스로 망을 구축하기 위한 자율적 망 구성 (self-organization) 기능이 필요하다는 점이 강조가 된다.

MAC에 관한 연구로는 기존 CSMA (Carrier Sense Multiple Access) 기반의 MAC 및 TDMA (Time Division Multiple Access) / FDMA (Frequency Division Multiple Access) MAC을 개량하여 에너지 효율, 자율적 망 구성, 노드의 이동, 링크 고장 등에 의한 잦은 토폴로지 변경을 효율적으로 처리하기 위한 연구가 진행 중이다.

### 2.2.3 네트워크 계층

라우팅을 통해 점대점 (end-to-end) 데이터 전송을 지원하는 계층이다. 센서 네트워크에서의 라우팅은 크게 두 가지 제약을 받게 된다. 첫째로 센서 노드가 저전력 장치이므로 에너지 제약을 받게 되며, 둘째로 센서 노드의 수 및 데이터 처리 능력을 감안 할 때 기존의 IP 주소 등에서 사용하는 글로벌 주소체계를 사용하기가 어렵다.

첫 번째 제약 요소를 해결하기 위해 에너지 소모를 줄이는 것에 초점을 맞춘 라우팅 기법이 연구되고 있고, 두 번째 제약 사항을 해결하기 위해서는 망 전체로의 브로드캐스팅 (broadcasting)을 기반으로 하는 라우팅에 있어서의 효율성을 추구하는 연구에 초점이 맞추어져 진행되어 왔다. 한편 IP 등의 주소체계를 대체하기 위한 ID 할당 및 관리 메커니즘, 이웃하는 노드의 ID 리스트만으로 라우팅이 가능하게 하는 hop-by-hop 라우팅 등이 제안되기도 했다.

기존의 주소 중심적인 (address-centric) 라우팅과는 다른 패러다임으로 주소가 아닌 데이터를 전송의 종단으로 인식하기 위한 데이터 중심적인 (data-centric) 라우팅을 수행하기 위한 attribute-based naming 기법의 사용이 고려되기도 한다. attribute-based naming이란 해당 주소를 가진 노드에게 데이터를 요구하는 기존의 주소 중심적인 어드레싱과는 달리 해당 데이터를 가진 노드들에게 데이터를 요구하는 방식을 말한다. 예를 들면 "40°C 이상 되는 온도를 센싱한 노드는 데이터를 보내라" 라는 식이다.

표 1 대표적인 센서 네트워크 연구 프로젝트

연구 프로젝트 명	수행 기관	비고
WEBS	UC berkeley, <a href="http://webs.cs.berkeley.edu">http://webs.cs.berkeley.edu</a>	NEST이외 종료
WiseNET	Swiss Center for Electronics and Microtechnology <a href="http://www.csem.ch/homepage/">http://www.csem.ch/homepage/</a>	
WINS	UCLA, <a href="http://www.janet.ucla.edu/WINS/">http://www.janet.ucla.edu/WINS/</a>	종료
DSN	USC, <a href="http://dsn.east.isi.edu">http://dsn.east.isi.edu</a>	종료
AMPS-II	MIT, <a href="http://www-mtl.mit.edu/research/icsystems/uamps/">http://www-mtl.mit.edu/research/icsystems/uamps/</a>	
Great Duck Island	UC berkeley, <a href="http://www.greatduckisland.net/">http://www.greatduckisland.net/</a>	
The Most Sensed Campus	CMU, <a href="http://www.ices.cmu.edu/sensornets">http://www.ices.cmu.edu/sensornets</a>	
GlacesWeb	Envisense, <a href="http://envisense.org/glacesweb.htm">http://envisense.org/glacesweb.htm</a>	
Flock of Birds	UW, <a href="http://lazowska.cs.washington.edu/r8hemi.lo3.pdf">http://lazowska.cs.washington.edu/r8hemi.lo3.pdf</a>	센서 네트워크를 이용한 수업과정

attribute-based naming과 더불어 데이터 전송에 따른 전력소모를 줄이기 위해 두 개 이상의 센서 노드의 데이터를 취합하여 한번만 보내거나 중복 데이터를 삭제하여 보내는 등의 데이터 통합 (data aggregation) 기법이 연구되고 있다. 그림 3은 데이터 통합의 기본 개요를 설명하고 있다.

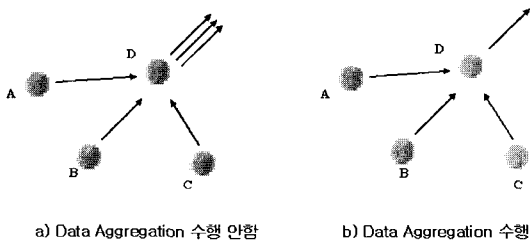


그림 3 데이터 통합의 개념도

그림 3-a는 데이터 통합을 수행하지 않는 경우를 보여 주고 있다. 센서 노드 A, B, C에서 전송된 데이터를 센서 노드 D가 목적지를 향해 세 번 전송하게 된다. 반면에 그림 3-b의 경우는 노드 A, B, C의 전송 데이터를 센서 노드 D가 취합, 또는 중복 데이터를 삭제하여 한번만 전송함으로써 전송에 사용되는 에너지를 절약하게 된다.

### 2.2.4 응용 계층

응용 계층에서는 사용자를 위한 서비스를 제공하기 위한 응용 및 센서 네트워크의 효율적인 운영을 위한 관리를 담당한다. 센서 네트워크의 응용으로는 다음과 같은 분야들이 거론되고 있다.

- 군 관련 응용 분야
- 환경 관련 응용 분야
- 건강/보건 관련 응용 분야
- 주택/빌딩 관련 응용 분야
- 기타 상업적 응용 분야

센서 네트워크를 위해 다음과 같은 기능들이 필요하다.

- 데이터 통합을 위한 규칙의 관리
- 클러스터 (cluster)의 관리
- 센서 노드의 위치를 찾기 위한 알고리즘에 관련한 데이터의 교환
- 센서 노드간의 시간 동기 기능
- 센서 노드의 상태 및 네트워크 구성에 대한 조회 및 센서 네트워크의 재구성 기능
- 센서 네트워크의 보안 관련 기능

센서 네트워크의 각 계층별 기능 자체는 기존 무선 네트워크와 큰 차이를 보이지 않는다. 하지만 무선 센서 네트워크는 기존의 이동 통신망이나 애드혹 (ad hoc) 기반의 무선 네트워크와는 다른 특징을 갖고 있다. 우선 센서 네트워크의 특징상 오랜 기간 (수개월 혹은 수년 이상) 동안 배터리 교환 없이 동작해야 하기 때문에 에너지 효율이 무엇보다도 우선적으로 고려되어야 한다. 또한, 무선 센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크와 달리 의사소통을 목적으로 하는 통신이 아니라 환경에 관한 정보를 한 곳으로 모으는 것을 목적으로 한다. 이런 극명한 차이는 무선 센서 네트워크만을 위한 새로운 통신 프로토콜과 하드웨어에 대한 연구를 촉진시키고 있다.

다음 장에서는 세계적으로 진행되고 있는 무선 센서 네트워크 연구개발 동향을 살펴보고자 한다.

## 3. 센서 네트워크의 연구개발 동향

현재 세계의 각 대학과 연구소들을 중심으로 여러 기업들과 연계하여 유비쿼터스 환경을 지원하기 위한 목적으로 센서 네트워크와 관련된 많은 연구개발이 활발하게 진행 중에 있다. 센서 네트워크와 관련된 연구로는 UC 버클리의 WEBS, UCLA의 WINS, MIT의 AMPS-II 등 많은 연구가 진행이 되었거나 현재 진행 중에 있다.

이번 장에서는 센서 네트워크의 기반 기술에 관련한

연구 분야와 센서 네트워크를 이용한 응용 분야에 관련된 프로젝트 및 연구 개발의 대표적 사례를 살펴보고자 한다. 지면을 통해 기술한 것 이외에도 많은 연구 프로젝트들이 진행 중이지만 각 분야별로 종료된 프로젝트는 제외하고 현재 활발하게 진행 중인 대표적인 프로젝트들을 대상으로 살펴보고자 한다[1,2,3].

### 3.1 WEBS

UC 버클리 대학에서 진행되는 프로젝트로 하드웨어 및 운영체제에서 응용에 이르기까지 센서 네트워크의 전반적인 분야를 다루고 있다.

WEBS는 크게 네트워크 임베디드 시스템을 지원하기 위한 소프트웨어/하드웨어 플랫폼을 개발하는 NEST(네트워크 분산 시스템 기술)와 분산 센서 네트워크를 위한 플랫폼에 관한 SensorWebs, 지능적인 마이크로 모트의 개발을 중심으로 한 Smart Dust, 그리고 마지막으로 저전력 소비 시스템에 관련된 Pico Radio의 4개의 파트로 분류되어 진행되어 왔고, 현재는 NEST를 제외한 나머지들은 종료된 상태이다.

NEST는 센서 네트워크를 위한 운영체제 (TinyOS), 시뮬레이터 (TOSSIM), 가상머신 (Mate), 컴파일러 (NesC), 쿼리 프로세싱 시스템(TinyDB), 인프라스트럭처 (ivy), 시큐어리티 (TinySEC) 등을 비롯하여 센서 네트워크 응용까지 광범위한 분야에 걸쳐 연구를 진행하고 있다.

### 3.2 WiseNET

스위스 전자마이크로기술센터에서 진행되는 프로젝트로서 저전력 동작을 요구하는 무선 센서 네트워크를 위한 플랫폼의 개발을 목표로 진행되고 있다.

WiseNET은 크게 에너지 효율을 위하여 낮은 동작 듀티 사이클 (duty cycle)을 갖도록 설계된 MAC 계층 프로토콜인 WiseMAC과 이를 지원하기 위한 무선 송수신기를 포함하는 SOC (System On Chip) 형태의 센서 노드로 구성되어 있으며, 센서 네트워크의 프로토콜 스택 중에서 특히 MAC 계층에 초점을 맞추어 연구를 진행하고 있다.

WiseNET 플랫폼은 통신을 위한 매체 접근 성능과 무선 트랜시버 특성 간의 관계를 이용하여 에너지 효율을 향상시킬 수 있도록 설계되었다. 하드웨어와 소프트웨어 뿐만 아니라 네트워크 구조까지 전반적으로 자체적으로 제작하는 형태로 진행되고 있다.

### 3.3 Great Duck Island

2002년 봄부터 버클리 대학의 Intel Research Laboratory에서 조류 생태학자들과 공동으로, 조류 생태

연구를 위한 무선 센서 네트워크 구축을 목적으로 시작한 프로젝트로 무선 센서 네트워크의 성공적인 응용 사례로 꼽힌다. 야생의 자연에서 동작할 수 있는 다양한 센서를 가진 센서 노드(Mote)를 새 둥지 및 서식지 주변에 설치하여 관측된 데이터를 실시간으로 데이터베이스에 저장하면 인터넷을 통해 그 정보를 실시간으로 분석할 수 있는 도구를 제공한다[4]. 이 프로젝트의 의미는 센서 노드의 실제 환경에서의 적용, 환경에 적합한 망 구성, 응용에 최적화된 데이터베이스 구축, 최종 목적을 위한 정보 추출에 이르기까지 모든 과정에 대한 솔루션을 구축한 것에 있다고 할 수 있다.

### 3.4 The Most Sensed Campus

CMU (Carnegie Mellon University)에서는 Pervasive Infrastructure 센서 네트워크라는 프로젝트를 진행하고 있다. 이것은 "most sensed"라는 목표 아래 대학 캠퍼스 내에 수천 개의 센서 노드를 설치하고 이를 기존에 존재하던 컴퓨터 인프라 네트워크와 연계하는 방향으로 진행되고 있다. CMU에서 개발한 Critter라는 센서 네트워크 장치를 기존에 존재하는 데스크탑 컴퓨터에 부착하는 형태로 이루어졌으며, 데스크탑 컴퓨터의 자원 (프로세싱 파워, 디스크, 네트워크 자원)을 사용한다. 이를 통하여 빌딩의 관리 및 에너지 모니터링과 같은 일들을 수행하고 있다. 현재는 기존의 네트워크 자원을 이용한 유선의 형태지만 앞으로는 무선 센서 네트워크를 적용하여 무선 형태로 발전시킬 예정이다. 웹을 통하여 과거의 데이터 값뿐만 아니라 실시간으로 현재 온도 센서 데이터 값을 볼 수 있다.

### 3.5 GlacesWeb

2003년부터 지구 온난화에 대한 연구를 위하여 빙하의 변화를 관찰함에 있어서, 센서 네트워크를 이용하여 빙하의 녹는 정도를 관찰하는 Southampton 대학에서 진행되고 있는 프로젝트이다. GlacesWeb에서 사용되는 센서 노드는 probe라 불리는 것으로 온도, 경사, 압력 센서가 부착되어 있으며 플라스틱 캡슐로 감싸진 형태이며, 빙하에 구멍을 뚫어서 센서 노드를 빙하 표면에서 약 60 m 떨어진 위치에 설치를 한다. 센서 노드의 통신 범위가 짧기 때문에 센서 네트워크를 위한 기지국 (싱크 노드에 해당)까지는 애드혹 라우팅 프로토콜을 이용하여 멀티홉을 경유하여 데이터를 전송하게 된다. 이렇게 수집된 데이터는 원거리에 있는 서버에 전송되고 수집된 데이터를 분석하여 수면의 높이 변화, 평균 온도의 변화, 소금의 양의 변화를 측정하여 빙하의 변화를 관찰하게 된다. 이 프로젝트에서는 비단 빙하의 관찰에서만 끝나는 것이 아니라 좀 더 범용적인 센서 네트워크의 적용을 고려하

는 방향으로 진행 중에 있다.

종합해 보면, 현재 진행되고 있는 프로젝트들은 대부분 단순한 요소 기술 개발 단계를 넘어, 실제 응용을 위한 완벽한 솔루션 제공을 목표로 진행 중에 있다. 또 주목할 점은 거의 모든 프로젝트들에서 매우 유사한 구조의 센서 노드들을 사용하고 있지만, 응용과 이에 따른 망 구성에 의하여 센서 노드에게 요구되는 성능은 매우 다양한 형태로 변화한다는 것이다.

## 4. 센서 노드 하드웨어 개발동향

### 4.1 센서 노드의 일반적인 구조

무선 센서 네트워크를 구성하는 요소 중 가장 기본이 되는 것은 센서 노드다. 센서 노드는 물리적인 현상을 관측하고자 하는 환경에 뿌려지는 통신 기능과 센싱 기능을 가지고 있는 일종의 작은 컴퓨터를 의미한다. 혹자는 이런 센서 노드를 Smart Dust 프로젝트 [4]의 영향으로 Mote라고도 부른다. 본장에서는 센서 노드에 대한 요구 사항과 일반적인 하드웨어 구조 그리고 센서 노드의 발전 방향에 대하여 언급하고자 한다.

#### 4.1.1 센서 노드에 대한 요구사항

##### 가. 초소형

센서 노드는 주변의 장소나 사물에 손쉽게 설치될 수 있어야 한다. 따라서 센서 노드의 소형과 경량화는 무선 센서 네트워크를 구성하기 위한 가장 기본적인 요구조건이다. 현재 가장 많이 사용되고 있는 Crossbow 사의 Mote [5]처럼 작게는 500원 짜리 동전만한 크기의 제품도 나와 있다.

##### 나. 저가격

센서 네트워크는 매우 많은 수의 센서 노드로 구성된다 (수백에서 수천 개 이상). 또한 물리적인 현상을 관측하고자 하는 환경에 센서 노드를 뿌리는 형태로 센서 네트워크를 구성할 경우 정상적으로 동작하기 힘든 상황에 처하는 센서 노드들, 즉 사용할 수 없는 센서 노드들이 다수 발생할 수 있다. 따라서 센서 노드의 가격은 매우 중요한 요구사항이라고 할 수 있다.

##### 다. 저전력

앞서 언급한 것처럼 센서 네트워크는 수많은 센서 노드들로 구성이 되며, 사람의 접근이 용이하지 않은 환경에서 동작할 수 있다. 이는 핸드폰, PDA, 노트북 컴퓨터 등과는 달리, 센서 노드의 경우 배터리의 교환이나 재충전이 어렵다는 것을 의미한다. 따라서 일단 센서 노드가 설치가 되면 매우 긴 시간 동안 배터리 전원에만 의존하여 동작할 수 있도록 하는 저전력 설계가 매우 중요하다.

한편, 센서 노드의 수명을 연장시키기 위한 목적으로

태양열 전지나 풍력발전 등을 이용하여 센서 노드가 자체적으로 전력을 확보하도록 하는 연구들도 진행되고 있다.

#### 4.1.2 센서 노드의 기본적인 기능 블록

##### 가. 마이크로프로세서

저가의 저전력 프로세서가 필요하다. 특히 저전력 동작을 위하여 마이크로프로세서는 전력관리 (power management) 기능을 지원할 수 있어야 한다. 센서 네트워크 응용들의 대부분은 큰 연산능력을 요구하지 않기 때문에, 비용 절감 측면에서 센서 노드들은 대부분 8비트 마이크로프로세서를 사용하고 있다. 마이크로프로세서에서 사용하는 메모리의 크기는 응용에 따라 달라질 수 있다. 최근에는 마이크로프로세서에 내장된 메모리의 크기가 128 Kbyte 이상으로 대폭 확장된 제품들도 등장하고 있다. 한편, Intel에서는 고성능 ARM core를 이용한 imote [6]를 선보이기도 했다.

##### 나. RF 트랜시버

대부분 915 MHz 혹은 2.4 GHz ISM 대역을 사용한다. 유럽의 경우 433 MHz ISM 대역을 사용하기도 한다. 통신거리는 10m 정도이나, 응용에 따라서는 전력 증폭기 (power amplifier)를 사용하여 통신거리를 늘리기도 한다. 많은 양의 데이터 전송을 필요로 하지 않는 센서 네트워크의 특성상 수집에서 수백 kbps 정도의 전송속도를 지원하는 RF 트랜시버들이 많지만 최근에는 1 Mbps정도의 전송속도를 지원하는 RF 트랜시버들이 점차 증가하는 추세이다.

##### 다. 센서, ADC

시중에는 다양한 종류의 아날로그 센서들이 시판되고 있다. 센서가 센싱한 값을 디지털화하여 마이크로프로세서에 전달하기 위하여는 ADC (Analog to Digital Converter)가 필요하며, ADC는 마이크로프로세서에 내장되어 있는 경우가 많다. 최근의 경향은 마이크로프로세서, ADC, RF 트랜시버 등이 하나의 칩으로 직접화되어 구현되고 있는 추세이다.

### 4.2 센서 노드의 분류

무선 센서 네트워크는 매우 응용에 종속적인 망이다. 따라서 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드도 응용에 따라 각기 다른 성능을 가질 수 있다. 센서 노드를 사용 목적에 따라 다음과 같이 크게 3 가지로 분류했다.

#### 가. 일반적인 센서 노드

가장 일반적인 개념의 센서 노드로 보통 2, 3개의 간단한 아날로그 센서가 장착되어 있으며, 100 kbps 정도의 대역폭과 10 mips 정도의 연산 기능이 요구되는

센서 노드이다[4].

나. 저성능의 센서 노드

이주 간단한 센서를 장착하거나 태그(tag)의 목적으로 사용될 센서 노드로 일반적인 센서 노드보다 경량, 소형화가 필요하며, 50 kbps 정도의 대역폭과 5 mips 정도의 연산능력이 요구된다[7].

다. 고성능의 센서 노드

영상이나 오디오 신호 등을 센싱하거나 복잡한 데이터 통합을 수행할 수 있는 센서 노드이다. 500 kbps 정도의 대역폭과 50 mips 정도의 연산능력이 요구된다[7].

4.3 테크놀로지 로드맵

기술은 계속 발전하고 사용자의 요구는 보다 다양해지는 상황에서 센서 노드는 다음과 같이 발전하리라 본다.

가. 마이크로프로세서 / RF 모듈 / ADC

앞서 언급했듯이, 센서 노드를 구성하는 상기 세 가지 구성요소를 하나의 칩으로 집적화하여 센서 노드의 크기, 전력소모, 가격 등을 줄이는 방향으로 연구개발이 진행될 것이다. 이 경우 전력소모를 줄이기 위하여 연산과 통신 그리고 센싱을 담당하는 부분들이 상호 독립적으로도 전력 절감 모드 (sleep mode)로 들어 갈 수 있도록 하는 전력관리 기법이 필요할 것이다. RF 트랜시버의 경우 전력소모가 연산이나 센싱에 소요되는 전력소모에 비해 상대적으로 훨씬 크기 때문에 RF 트랜시버의 전력소모를 줄이기 위한 연구는 매우 중요하다고 할 수 있다.

나. 센서

이미 시장에는 다양한 종류의 센서가 많이 존재한다. 하지만 이런 센서들이 모두 센서 노드의 저전력 요구사항을 만족하는 것은 아니다. 또한 센서 노드의 구동 전압이 보통 3.3V임에 비하여 대부분의 센서들이 5V 이상의 구동 전압을 요구하기 때문에, 이에 대한 개선이 필요하다. 또한 사용자가 별도의 조정을 하지 않아도 되는 저가의 디지털 센서에 대한 표준화도 필요하다.

다. 안테나

무선 센서 네트워크를 실제로 운용함에 있어서 안테나는 패키지와 더불어 중요한 역할을 한다. 즉 센서 노드가 존재하게 되는 주변 환경과 센서 노드를 감쌀 패키지의 재질을 고려한 안테나의 개발이 요구된다.

라. 패키지

상용화에 가장 민감한 부분일 수도 있는 것이 패키지다. 센서 노드의 위치와 센서 노드에 설치된 센서에 따라 다양한 크기, 모양, 재질을 갖는 패키지에 대한 연구가 필요하다. 특히 건설이나 토목 혹은 방법에 적용되는 무선 센서 네트워크의 경우 패키지는 센서 노드의 오동작

및 안전에 큰 영향을 미치므로 앞으로 꾸준히 연구되어야 할 부분이다.

센서 노드의 개발에 있어서 가장 중요한 것은 저전력에 대한 요구사항을 만족시키는 것이라고 할 수 있다. 또한, 센서 노드의 오동작을 막기 위한 패키지 기술 역시 무선 센서 네트워크의 실용화 측면에서 매우 중요하다고 할 수 있다. 센서 노드의 기본적인 구조는 변함이 없지만, 센서 노드에 요구되는 성능은 응용에 따라 다양하게 변할 수 있기 때문에, 센서 노드의 개발은 서비스와 응용 프로그램, 운영체제의 개발과 병행하여 진행되는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

5. 표준화 동향

WPAN (Wireless Personal Area Network)을 구축하기 위하여 결성된 IEEE 802.15 Working Group [10]은 블루투스 (Bluetooth)를 기반으로 한 IEEE 802.15.1 이나 디지털 카메라나 캠코더 등의 휴대용 멀티미디어 장치를 무선으로 연결하기 위한 IEEE 802.15.3 [8]에 비해 상대적으로 성능은 떨어지거나 저가이며 저전력 장치들 간에 WPAN을 구성할 수 있도록 하는 IEEE 802.15.4 (LR-WPAN) [9,10]의 표준화를 수행하고 있다.

IEEE 802.15.4는 기존 무선 기술들이 높은 성능과 향상된 QoS (Quality of Service) 지원에 초점을 맞추고 있는 것과는 달리 낮은 전력소모, 적은 구축비용, 낮은 복잡도를 지향하는 저속의 WPAN (LR-WPAN)의 구축을 위한 MAC 및 물리 계층의 프로토콜을 표준화하고 있다.

표 2 LR-WPAN과 여타 무선 기술과의 비교

	802.11b WLAN	Bluetooth™ WPAN	Low Rate WPAN
통신거리	~100m	10~100m	10m
전송속도	2~11Mb/s	1Mb/s	~0.25Mbps
전력소모	Medium	Low	Ultra Low
크기	Larger	Smaller	Smallest
가격/복잡도	Higher	Medium	Very Low

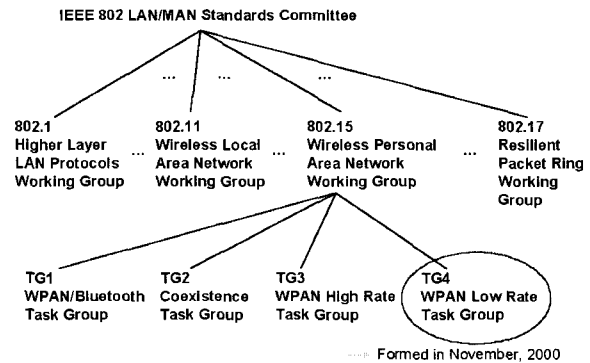


그림 4 IEEE 802.15.4 Task Group

표 2는 LR-WPAN과 다른 무선 기술인 WLAN 및 블루투스를 비교한 것이며 그림 4는 IEEE 802 LAN/MAN 표준화 위원회에서 802.15 및 802.15.4 표준화 그룹간의 관계를 보여주고 있다.

그림 5는 IEEE 802.15.4의 주파수 대역, 채널 할당 및 전송속도를 보여주고 있다.

BAND	COVERAGE	DATA RATE	# OF CHANNEL(S)
2.4 GHz			
868 MHz			
915 MHz	ISM Americas	40 kbps	10

그림 5 IEEE 802.15.4의 주파수 대역 및 전송속도

그림 5에서 알 수 있듯이 IEEE 802.15.4는 2.4 GHz 및 915 MHz ISM 대역을 사용하며 250 kbps 이하의 낮은 데이터 전송률을 가지고 있다.

전력 소모를 줄이기 위하여 평균 1 퍼센트의 낮은 동작 듀티 사이클을 가지도록 설계되어 있으며 MAC 프로토콜은 CSMA/CA (Collision Avoidance)를 기반으로 하며, 비컨 (beacon)을 사용하는 slotted CSMA/CA와 사용하지 않는 unslotted CSMA/CA의 두 가지 모드로 동작할 수 있다. 또한, 스타 (star), 클러스터 트리 (cluster tree) 혹은 peer-to-peer 네트워크 토폴로지를 구성할 수 있고, GTS (Guaranteed Time Slots)를 지원한다.

낮은 전력소모, 저가의 구축비용, 낮은 데이터 전송률 그리고 ISM 대역을 사용한다는 면에서 IEEE 802.15.4는 센서 네트워크의 MAC 및 물리 계층 프로토콜로서 적합하며, 이에 관한 표준화 작업을 하고 있는 단체가 ZigBee Alliance[11]이다.

ZigBee Alliance는 Motorola, ATMEL, 필립스, 삼성 전자 등으로 구성되어 있으며, IEEE 802.15.4의 물리 계층 및 MAC을 기반으로 하는 무선 센서 네트워크, 대내 및 빌딩에서의 자동화, PC와 주변기기 간의 통신, 의료용의 모니터링 등에 관한 산업 표준화를 진행하고 있다. 그림 6은 ZigBee Alliance가 목표로 하고 있는 응용 분야들을 보여주고 있다.

그림 7에서 알 수 있듯이 물리 계층 및 MAC 계층을 위해서는 IEEE 802.15.4를 사용하며 라우팅 프로토콜, 토폴로지 관리 등을 위한 네트워크 계층, 보안 프로토콜, 프로파일 (profile)을 기반으로 하는 어플리케이션 프레임워크 등의 표준화를 진행하고 있다.

한편 IEEE 802.15.4와는 다른 관점에서, 센서 또는 액추에이터를 위한 스마트 트랜듀서 (transducer) 인터페이스에 관한 표준화가 IEEE P1451[13]을 통해서 진행되고 있다. 센서 또는 액추에이터 등의 트랜듀서와 네트워

크 또는 기타 장치 간의 인터페이스를 표준화함으로써 트랜듀서 개발 업체들의 개발 효율을 높이는 것이 IEEE P1451의 주된 목적이다.

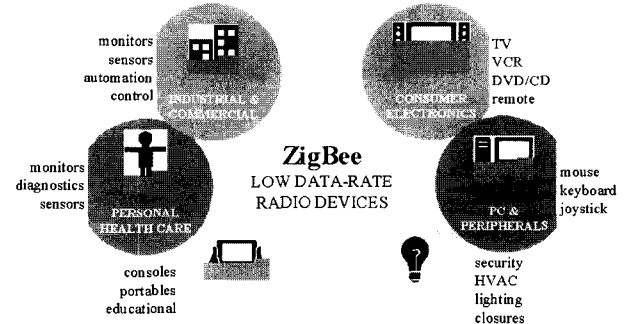


그림 6 ZigBee Alliance가 고려하는 응용 분야

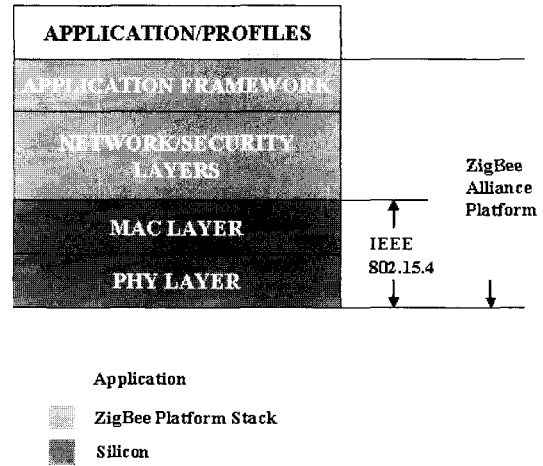


그림 7 ZigBee의 프로토콜 스택

## 6. 결 론

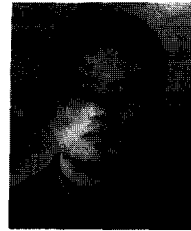
이산 센서 네트워크의 기본 개요 및 학계의 프로젝트, 하드웨어 제작 동향, 표준화 동향을 살펴보았다. 무선 센서 네트워크는 기술적 지원과 사회적인 요구에 힘입어 활발하게 연구가 진행되고 있다. 특히 무선 센서 네트워크는 기존의 의사전달을 위한 통신망이 아니라 유비쿼터스 컴퓨팅 시대의 초석이 되는 환경 정보의 수집을 목적으로 한다는 점에서 기존의 이동 통신망이나 애드혹 네트워크와는 분명하게 구별된다.

앞으로의 무선 센서 네트워크는 점차 응용에 최적화된 망에서 범용의 망으로, 또한 센싱의 경우 좁은 대역폭을 요구하는 환경에서 점차 광 대역폭을 요구하는 환경까지 지원할 수 있는 방향으로 확대될 것으로 예상된다. 또한, 무선 센서 네트워크를 실제 환경에 폭넓게 적용하기 위해서는 보안기술과 망 관리 기술 등에 관한 연구가 보다 활발하게 진행되어야 한다고 사료된다.

## 참고문헌

- [1] 이재현, 충남대학교, USN 기술 동향, 2004
- [2] David Culler, Overview of Sensor Network, IEEE 2004, UC Berkeley
- [3] 이상학, 시스템연구본부 유비쿼터스 컴퓨팅 연수 센터, Wireless Sensor Network 기술 동향 및 시장 동향, 2004
- [4] <http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/UCB>, Smart Dust Project
- [5] <http://www.xbow.com>, CrossBow Technology Inc
- [6] <http://www.intel.com/research/exploratory/smartnetworks.htm>, Intel iMote
- [7] Powering Sensor Networks, Mike Horton, John Suh, IEEE POTENTIALS AGUST/SEPTEMBER 2004
- [8] IEEE Computer Society, MAC and PHY Specifications for High-Rate Wireless Personal Area Network (HR-WPANs), 802.15.3TM-2003
- [9] IEEE Computer Society, MAC and PHY Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPANs), IEEE 802.15.4 TM-2003
- [10] <http://www.ieee802.org/15/>, IEEE 802.15 Working Group for WPAN
- [11] <http://www.zigbee.org/>, ZigBee™ Alliance
- [12] P. Kinney, ZigBee Technology: Wireless Control that Simply Works, October 2003
- [13] <http://ieee1451.nist.gov/>, NIST IEEE-P1451 Draft Standard Home Page

## 채 동 현



1998 고려대학교 전자공학과(학사)  
2001 고려대학교 전자공학과(석사)  
2001. 3~현재 고려대학교 전자공학과 박사과정  
관심분야: 센서 네트워크, RFID, 이동망, IPv6  
E-mail: [hsunhwa@dsys.korea.ac.kr](mailto:hsunhwa@dsys.korea.ac.kr)

## 한 규 호



2000 고려대학교 전자공학과(학사)  
2002 고려대학교 전자공학과(석사)  
2002. 3~현재 고려대학교 전자공학과 박사과정  
관심분야: 센서 네트워크, 유비쿼터스 미들웨어, 임베디드 시스템  
E-mail: [garget@dsys.korea.ac.kr](mailto:garget@dsys.korea.ac.kr)

## 임 경 수



2001 순천향대학교 컴퓨터학부(학사)  
2003 고려대학교 전자공학과(석사)  
2003. 3~현재 고려대학교 전자공학과 박사과정  
관심분야: 센서 네트워크, 유비쿼터스 미들웨어, 자바  
E-mail: [angus@dsys.korea.ac.kr](mailto:angus@dsys.korea.ac.kr)

## 안 순 신



1982. 1~현재 고려대학교 전자컴퓨터공학과 교수  
1991. 1~1992. 1 미국 NIST 연구원  
1993. 1~1995. 1 정보통신부 자문위원  
1994. 1~1996. 1 한국 전자통신 연구소 자문위원  
1996. 1~1997. 1 개방형 통신연구회(OSIA) 회장  
1997. 2~현재 개방형 통신연구회 자문위원  
1998. 1~2002. 2 전자통신연구원 자문위원  
1998. 2~2000. 1 한국 정보과학회 부회장  
1999. 1~2002. 1 정보통신부 자문위원  
2002. 2~2003. 12 TTA 자문위원  
2002. 3~2002. 8 UBC방문교수  
2003. 2~2004 IEEE Seoul Section 부회장  
2004~현재 IEEE Seoul Section 회장  
관심분야: 유비쿼터스 컴퓨팅, RFID, 차세대 라우터, 센서 네트워크  
E-mail: [sunshin@dsys.korea.ac.kr](mailto:sunshin@dsys.korea.ac.kr)