

# 웹기반 저전력 USN 시스템 아키텍처

강정훈, 이민구, 임호정, 윤명현, 유준재, 고원식, 엄홍식, 허병희, 고정권  
전자부품연구원 유비쿼터스연구센터

## Web based Low-power USN system architecture

Jeonghoon Kang, Mingoo Lee, Hojung Lim, Myunghyun Yoon, Junejae Yoo,  
Wonsik Ko, Heungsik Eom, Byunghoi Hoi, Joengkwon Ko  
Ubiquitous Technology Research Center, Korea Electronics Technology Institute  
budge@keti.re.kr

### 요 약

USN 기술은 다양한 산업 영역에 사용될 수 있는 저전력, 저가의 무선 네트워크 기술이다. 다양한 산업에 적용되기 위해서는 효율적인 구조와 적응적인 이식성을 제공해야 한다. 웹 2.0 환경에서 제안하는 네트워크 서비스 시스템은 웹 서비스 인터페이스를 통해 분산된 네트워크 상황에서의 데이터 통합과 서비스를 지원하고 있다. 본 논문에서는 저전력 USN의 인터넷 서비스 연동을 위한 시스템 구조를 분석하고, 새로운 네트워크 레벨인 USN에 대한 운영 관리 방법을 제안한다. USN 과 인터넷은 게이트웨이, 라우터 등을 이용하여 네트워크 적응 해석 레이어를 통해 통합 될 것이고, 서버와 USN은 인터넷 프로토콜을 기반으로 연동되어 데이터 전송과 USN 관리가 제공된다. 기존 인터넷과 USN의 통합 시스템 제안을 통해, 다양한 기존 산업분야와 USN 통합에 적합한 시스템 구현 방안을 제공한다.

### 1. 서론

센서 네트워크(sensor network)는 물리공간의 상태인 빛, 소리, 온도, 움직임 같은 물리적 데이터를 센서 노드에서 감지하고 측정하여 중앙의 기본 노드(base-station or sink)로 전달하는 센서 노드들로 구성되는 네트워크이다. 센서 네트워크는 일반적으로 멀티-홉(multi-hop) 무선 네트워크 형태의 다수의 분산 센서 노드들로 구성된다. 센서 노드들은 하나이상의 센서(온도, 소리, 빛, 가속도, 위치, 자기장 등), 액추에이터(actuator), 마이크로 컨트롤러, 수 십 KB 크기의 EEPROM, 수 KB의 SRAM, 수백 KB 크기의 플래시 메모리, 근거리 무선 통신 모듈로 구성된다. 센서 네트워크 기술은 센서와 무선 네트워크 기능을 이용하여 물리공간에서 측정한 아날로그 데이터를 디지털 신호로 변환하고, 인터넷 같은 전자공간에 연결된 루트(root) 노드로 전달하는 입력시스템의 역할을 한다. 물리적 세계와 사이버 세계를 연결할 수 있는 특징 때문에, 센서 네트워크의 개념은 새롭게 대두되고 있는 지능형 서비스들의 지능형 환경 모니터링, 위치인지 서비스, 지능형 의료시스템, 지능형 로봇 시스템 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 센서 네트워크의 장점은 낮은 사양의 하드웨어를 이용하여 무선 애드-홉(ad-hoc) 네트워크를 구성할 수 있는 점

이다. 예를 들어, 지금까지 개발된 블루투스(bluetooth), 무선랜(wireless LAN)등의 무선 네트워크 기술들은 반드시 컴퓨터, PDA 같은 고급 컴퓨팅 장치를 필요로 하는데, 센서 네트워크 노드는 독자적으로 네트워크를 구성한다. 이런 네트워크 구성의 용이성 때문에 유비쿼터스(ubiquitous) 컴퓨팅 환경의 기반기술로 사용될 수 있을 것이다. 인텔도 기술 로드맵 중에 센서 네트워크를 기반 기술로 예측하고 있다[1].

### 2. 저전력 미디어 액세스 컨트롤

MAC은 유무선 네트워크 전반에 걸쳐 다양한 기법들이 제안되고 있다. 무선 센서 네트워크에 적용 가능한 MAC 프로토콜로는 TDMA와 IEEE 802.11 방식을 들 수 있는데, IEEE 802.11은 무선 네트워크에서 발생할 수 있는 hidden terminal 문제를 해결한 기술로 무선 애드-홉(ad-hoc) 네트워크에 사용되기 위해 제안되었다. 이 기법은 센서 노드의 가장 큰 요소인 에너지 소모 절약에는 적절하지 않은 프로토콜이다. TDMA(Time Division Multiple Access)기법은 IEEE 802.11 기법과 비교하여 에너지 절약에는 강점을 가졌으나, 통신 클러스터(cluster)를 형성하기가 어렵다. 그리고 클러스터 간 통신과 간섭을 관리하기에는 많은 처리 동작이 필요하기 때문

에 센서 네트워크에 사용되기는 어렵다. 현재 상용화되어 있는 센서 네트워크 소프트웨어들은 대부분 CSMA(Carrier Sense Medium Access)를 이용하여 시스템 오버헤드가 적은 MAC기술을 사용하고 있다 [2][3].

센서 네트워크는 기존의 IP 네트워크나 애드혹 네트워크와는 차이가 존재한다. 센서 네트워크는 애드혹 형태이며 다수의 센서 노드들로 구성된다. 에너지 절약을 위해서 각 노드들은 짧은 거리 무선 통신 인터페이스를 가지고 있으며, 대부분 통신이 노드 간에 직접 통신하는 형태로 일어나게 된다. 또한 센서 네트워크는 특정 응용 서비스를 목적으로 구성되며, 시스템 응용 서비스 자체의 성능을 높이는 것에 목적을 두도록 설계한다. 센서 네트워크에서 센서 노드 간 통신에서 데이터는 송신, 저장, 전달의 순서로 전송되며, 이에 따라 전체적인 전송 시간의 지연을 발생시킬 수 있다. 결국 최종응용 서비스에서는 데이터가 수신되기 까지 장시간의 idle 시간을 가지게 되며, 전송 중 발생하는 지연시간은 허용하도록 설계된다. 센서 네트워크의 환경감지, 모니터링 응용에서의 이벤트는 긴 시간을 주기로 발생하기 때문에 전송 중에 발생하는 약간의 지연시간 보다는 응용 서비스를 오랫동안 지속시킬 수 있는 센서 노드의 수명 자체가 더 중요한 요소이다[4].

### 3. 캐리어 센싱 미디어 스케줄링

#### 3.1 IEEE 802.15.4 기반 저전력 프로토콜

IEEE 802.15.4 규격을 지원하는 하드웨어는 사용이 편리하도록 다양한 기능을 지원하여, 사용자가 전송할 데이터를 입력하면 헤더 생성이 자동으로 수행되어, 패킷이 전송된다. 이런 경우의 장점은 패킷을 전송하기 위한 제어 로직이 감소되어 통신 프로토콜 하부에서 소프트웨어 구현이 간단해진다. 단점으로는 세부적인 하드웨어 제어가 어렵기 때문에, 저전력 구현에 있어 제한을 갖게 된다. IEEE 802.15.4 기반의 저전력 프로토콜을 개발하기 위해서는 세부적인 프리앰블 제어를 사용하는 것은 불가능하다. 한 단계 높은 레이어에서 패킷 전송에 따라 하드웨어를 제어하는 것이 효율적이다.

제안하는 스케줄링 기법은 CSMA MAC 프로토콜에서 하드웨어 제어에 대한 판단을 결정하게 되며, 이 방법은 IEEE 802.15.4 하드웨어에서 효율적으로 사용될 수 있다.

#### 3.2 스케줄링 알고리즘

수신하는 모듈들은 임의의 모듈이 전송하는 데이터를 수신하기 위해 주기적으로 Listen을 하고 있어야 한다. 주요 문제는 송신과 수신 동기화를 맞추어서 송신기가 송신할 때, 수신기가 제대로 수신이 가능하도록 타이밍을 맞추어야 한다. IEEE 802.15.4는 40바이트 정도의 패킷을 1초에 600개 전송할 수 있기 때문에, 임의의 송신기가 자신의 전송 상태를 상대 수신기에 알려주기 위해 패킷을 전송하는 방법을 사용할 수 있다.

제안하는 스케줄링 알고리즘은 수신기들은 짧은 시간동안

안 주기적으로 Listen을 실행하며, 송신기는 해당 Listen 주기보다 긴 시간동안 Wake-up 패킷을 전송하여, 수신기들이 Listen 하여, 실제 데이터 전송이 완료될 때 까지 Sleep 하지 않고 수신을 기다리는 방법을 사용한다. 이 방법을 이용하면 물리 계층에서 세부적인 제어 없이, 저전력 프로토콜을 구현할 수 있다.

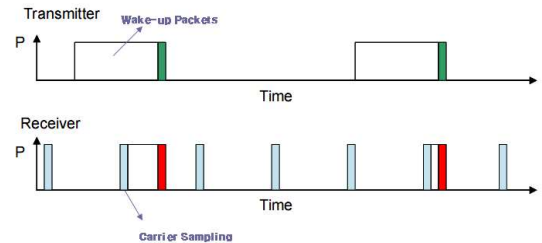


그림 1. IEEE 802.15.4 통신 스케줄링

### 4. 웹기반 USN 서비스 시스템

웹기반 USN 서비스 시스템은 인터넷 비즈니스의 연동 측면에서 중요한 역할을 한다. 물리 정보를 사람이 직접 입력해 주는 시스템에서 사물이 상태 정보를 인터넷을 통해 자동으로 입력하여, 풍부한 물리정보를 취득할 수 있으며 지능 서비스 시스템을 구성하는 주요 요소로 제공된다.

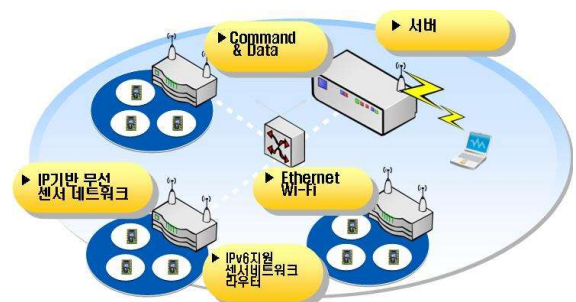


그림 2. 웹기반 USN 서비스 시스템

물리 정보를 자동으로 제공하는 USN 모듈은 인터넷 라우터를 통하여 클러스터를 구성하며, 클러스터는 인터넷을 통하여 서버로 데이터를 제공한다. 클러스터를 구성하는 라우터는 물리 데이터의 서비스 제공과 서버로부터 USN 모듈까지의 새로운 소프트웨어 업데이트, 컨트롤 명령을 처리하여, 양방향 데이터 전송을 지원한다. 인터넷과 USN 모듈의 통합은 인터넷 서비스에 새로운 가능성을 제공한다는 점에서 새로운 사업기회를 제공할 수 있는 핵심 기술로 사용될 수 있다. 다양한 물리정보가 인터넷 서비스와 통합되어, 언제 어디서나 접근 가능한 지능적 서비스 구현에 적용될 것으로 기대된다.

### 5. 실험 결과

소모 측정 방법은 전원 공급기로 3V의 전압과 1.5의 전류를 공급하고, 소모 전류를 측정하였다. 사용된 전류 측

정기는 Agilent 34411A 모델이다.

테스트 결과로 3msec 와 1msec 단위의 전류를 측정하였으며, 싱글홉 / 멀티홉의 경우에 대해 전송이 빈번한 경우와 아닌 경우에 대해 측정을 하였다.

싱글-홉 네트워크 프로토콜 테스트는 전류 샘플링 주기는 300 msec, 3000회 실시하여, 평균 소모 전류는 184 uA 였다, 일반 배터리 용량을 2,800 mAh 기준으로 하면 예상수명은 600일 정도로 예측할 수 있다.

멀티-홉 네트워크 프로토콜 규격 테스트는 전류 샘플링 주기를 300 msec으로 하고, 3000회 동안의 평균 소모 전류가 459 uA이며, 2,800 mAh 기준으로 했을 경우, 255 일 정도 지속될 것으로 측정되었다.

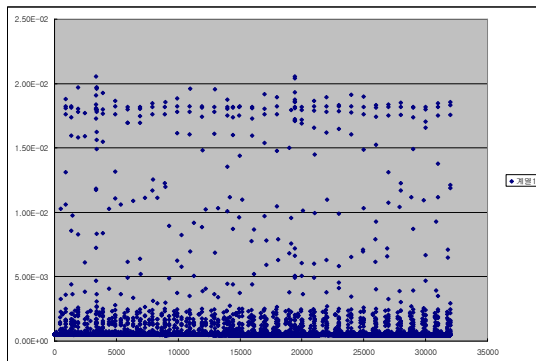


그림 5. 싱글-홉 네트워크

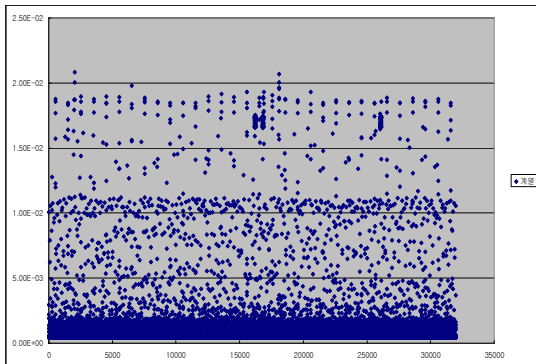


그림 6. 멀티-홉 네트워크

## 6. 결론

논문에서는 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 물리 공간의 이벤트를 입력받는 센서 노드들의 소모 전력을 최소화하기 위한 통신 스케줄링을 제공하는 정책을 제안하고, 에너지 소모를 측정하기 위해 멀티-홉 환경에서 실험을 하였다. 그리고 인터넷과 연동될 수 있는 시스템 구조를 제안하였으며, 이를 이용하여 무선 센서 노드의 에너지 소비를 측정하였으며, 저전력 기법이 사용되지 않은 방법은 25mA 정도의 전류가 평균적으로 소모되는데, 조건에 따라 100uA~400uA 정도로 소모량이 작아짐을 확인했다.

웹기반 저전력 USN 서비스 시스템은 다양한 인터넷 사업 모델과 연동될 수 있으며, 이는 기존 인터넷 사업들과 새롭게 대두되고 있는 신규 저전력 무선 센서 네트워크 사업 모델과 통합되어, 지능 서비스 시스템 기반의 서비

스 모델 사업화에 적용될 것으로 기대된다.

## 7. 참고 문헌

- [1] <http://www.intel.com/research/exploratory>
- [2] Nelson Lee, Philip Levis, Jason Hill. "Mica High Speed Radio Stack.", TinyOS tutorial.
- [3] Alec Woo, David Culler. "A Transmission Control Scheme for Media Access in Sensor Networks." Mobicom 2001, 221-235
- [4] Wei Ye, John Heidemann, Deborah Estrin. "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks." In Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002), New York, NY, USA, June, 2002