

유비쿼터스 센서 네트워킹 기술

이재용 | 연세대학교

유비쿼터스 환경을 완성하기 위한 RFID/USN은 전파식별(RFID) 칩의 저가화와 소형화, 지능화 추세에 따라 조달, 국방, 우편, 교육, 문화, 엔터테인먼트, 교통 및 환경 등의 다양한 분야에 적용되고 결국 지능형 유비쿼터스 센서 네트워크(USN)로 진화될 것이다. 이에 유비쿼터스 강국으로 도약하기 위해 지금까지 이룩한 IT 강국으로의 노후를 접목하고 우리의 핵심 역량을 집중시킬 수 있도록 하고, RFID/USN 기술 및 시장동향을 살펴봄으로써 세계시장 개척을 위한 초석이 되고자 한다(편집자주).

1. 서문

‘Internet of Things’로 이야기 되는 유비쿼터스 네트워킹은 사물(Things)의 네트워크를 통해 통신하며 지능화, 자율화 되어 생산, 유통, 물류 등의 경제 활동 서비스, 의료, 요양 등의 복지 서비스 그리고 환경 서비스 등 새로운 유비쿼터스 서비스를 창출하게 되고 이로 인해 인류의 삶을 더욱 윤택하게 해주는 기술로 각광받고 있다.

한편, 우리 나라는 최근 몇 년간 IT 산업이 눈부시게 발전하여 국가를 이끌어가는 중추 산업으로 자리 잡아, 세계 최고 수준의 네트워크 인프라를 갖추고 많은 연구 인력을 배출하고 있다. 정부는 계속된 발전과 세계 시장을 선도하기 위해 지능화된 네트워크를 구상하고, 그 기반 기술로 차세대 네트워크인 유비쿼터스 센서 네트워크를 IPv6와 광대역통합망(BcN)과 함께 IT 8-3-9의 3대 인프라 기술 중 하나로 선정하였다.

USN(Ubiquitous Sensor Network)는 RFID/

RFID/USN 특집 순서 ●●●●

- RFID 기술 및 표준화 동향
- RFID 산업동향 및 전망
- RFID 시범사업 현황 및 추진방향
- 멀티코드 지원 객체 검색 시스템
- RFID/USN 정보보호 기술
- 유비쿼터스 센서 네트워킹 기술

Sensor field와 IPv6기반의 BcN(Broadband Convergence Network)의 결합으로 이루어지는 네트워크이다. 본 고에서는 먼저 USN을 가능하게 하는 세 가지 인프라가 연동되는 구조를 살펴보고, 이에 관련된 국내외 표준화 동향 그리고 USN을 구성하는 Sensor Network, Middleware, OS의 최근 기술 발전 동향 등을 살펴보려 한다.

2. USN 구조

USN은 여러 개의 센서 네트워크 field가 gateway를 통해 외부 네트워크에 연결되는 구조를 갖는다. 센서 노드들은 가까운 Sink 노드로 데이터를 전송하고 센서 노드로 집적된 데이터는 gateway로 전송된다. gateway에서 관리자에게 전달되는 데이터는 위성통신, 유무선 인터넷 등을 통해 전송될 수 있으며, 이런 Access Network는 기존의 인프라를 이용한다.



전체적인 USN의 아키텍처는 그림 1과 같다. Access Network는 IPv6 기반의 BCN으로 인터넷 통합망을 가정하며 이는 곧 모든 센서 노드에 IPv6가 적용될 것을 뜻한다. 또한 센서 네트워크의 애플리케이션을 위해 미들웨어로서 서비스 플랫폼이 제공되어 사용자는 이를 통해 차세대 네트워크인 지능형 센서 네트워크를 자유롭게 이용하게 된다.

USN이 완성되기 위해 우선 주목해야 하는 부분은 센서 네트워크 field 부분이다. Sink 노드에서 gateway를 거쳐 Access Network 이상의 분야는 USN의 통합적인 발전을 위한 기술로써 정책적으로 발전되며, 센서 네트워크 field 분야는 연구진의 기술 개발로 발전된다.

센서 네트워크는 네트워크를 구성하는 일정 지역에 크기가 1mm³ 정도의 작은 노드들이 수 백 개에서 수 천 개까지 설치하여 통신하는 구조를 갖는다. 또한 노드들이 주고받는 데이터는 그 크기도 작고 데이터의 발생 빈도 또한 매우 낮아 통신하는 양은 많지 않을 것으로 가정한다.

센서 노드의 크기가 작은 만큼 그에 따른 제약 조건

이 존재한다. 가장 큰 문제는 배터리의 크기이다. 현재 기술력으로 센서 노드에 적용할 수 있는 크기의 배터리는 가용 에너지가 너무 적다. 따라서 센서 네트워크의 연구는 일차적으로 에너지 효율성을 고려해서 진행되고 있다. 네트워크 분야에서는 두 노드간의 통신이 가장 많은 에너지를 소모한다고 판단하여 가능하면 적은 양의 데이터와 시그널을 주고 받는 것이 중요한 이슈가 되고 있다.

노드의 크기가 작은 것은 메모리의 크기에도 한계를 가져온다. 메모리 기술은 상당히 발전하였지만 기본적으로 크기가 너무 작기 때문에 많은 데이터를 저장하고 있을 수 없다. 따라서 네트워크나 라우팅 정보들을 필수적인 것들만 저장하여 이용하도록 간단한 프로토콜이 요구된다.

또 다른 문제로 통신 거리와 방법에 한계가 있다. 센서 노드들은 서로 가까이 존재하여 통신 할 수 있다고 가정하더라도, 원격지에 있는 사용자와 관리자는 센서 노드가 직접 통신할 수 없는 거리에 존재하게 된다. 센서 네트워크는 항상 네트워크 field 안에 다른 네트워크와 통신할 수 있는 다른 형태의 노드가 필요하다. 이

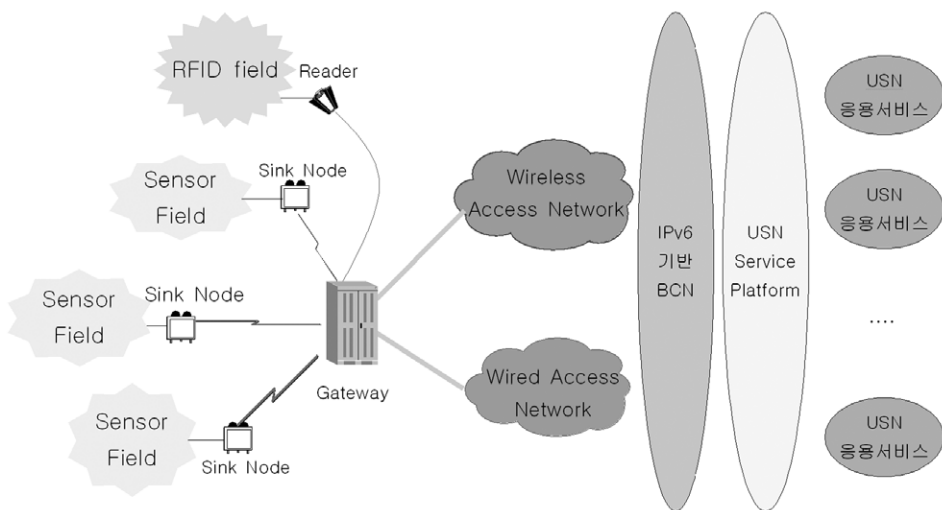


그림 1. USN 구조



런 노드를 Sink라고 부르며, Sink 노드는 크기가 크고 배터리의 한계를 가정하지 않는다. 센서 네트워크 내에서 발생된 데이터는 모두 Sink 노드로 집적되어 센서 네트워크와 다른 방식으로 외부 네트워크에 연결된다. 이 방식은 Sink 노드의 특성에 따라 위성 통신, 무선랜(Wireless Local Area Network), 블루투스(Bluetooth), 유선 인터넷 등의 방식을 가질 수 있다.

3. 표준화동향

국내에 센서 네트워크의 표준은 아직 발표되지 않았으며, 관련이 깊은 블루투스(Bluetooth)나 무선 랜등의 표준은 존재한다.

TTA에서 RFID/USN의 표준화를 진행하기 위해 2004년 초 USN 표준화 포럼을 설치하고 기술분과, 응용분과, 네트워크 분과, 응용 분과의 네가지 분과로 나누어 표준화를 시작하였다. 각 분과는 ETRI, NCA, KRNIC, KISA가 주도하며 정부 출연 자금으로 연구되고 있다. 각 분과에서 정의하고 있는 기술 별로 표준화 시기가 다르지만 대체적으로 2004년 말에 표준화를 목표로 하고 있으며, 현재는 용어 정리가 되어가고 있는 상태이다.

USN 표준화 포럼의 기술분과는 시스템 기술, 미들웨어, 시험인증, USN 미래기술의 4개의 WG로 구성된다. RFID 시스템 표준 개발 WG는 900MHz 수동형 리더/태그 표준 기술 개발, 433MHz 능동형 리더/태그 표준 기술 개발을 추진하고, 미들웨어 표준 개발 WG는 능동형 비즈니스 프로세스 자동화 표준 기술 개발과 전자태그 객체 정보 표현 언어 표준화 기술 개발을 한다. 시험 인증 표준 개발 WG에서는 900MHz 수동형/433MHz 능동형 RFID 시스템 시험 기술 개발을 하며, 미래기술 표준화 WG는 센서인터페이스 표준 기

술의 표준화를 추진하고 있다.

IEEE 802.15.4 LR-WPAN은 PHY과 MAC 부분을 표준화하는 초안이 발표되었고 현재 계속 업데이트되고 있다. 센서 네트워크를 위한 표준은 아니지만 발표된 표준화 분야 중에 가장 근접한 기술로 상용화 직전에 있고, 초기 센서 네트워크는 IEEE 802.15.4를 도입하는 사례도 발견될 전망이다.

해외에서는 이미 센서 네트워크의 표준화 그룹이 존재한다. 1993년 National Institute of Standards and Technology(NIST)와 IEEE가 공동으로 시작하여 발표된 IEEE 1451은 센서 네트워크를 위한 새로운 표준화 그룹으로 첫 번째 표준은 1997년 IEEE 1451.2로 발표되었다. IEEE 1451.2에는 하드웨어적인 데이터 시트와 여기에 액세스 하기위한 디지털 인터페이스, 센서의 동작 등을 표준화하였다.

ISO/IEC에서 JTC1/SC31의 AIDC(Automatic Identification and Data Capture) 표준화 조직 내에 WG4(Work-Group)이 구성되어 RFID/USN과 관련된 내용으로 표준화 작업이 진행 중이다. WG4는 4개의 SG(Sub-Group)으로 구성되어 있고, 각 SG가 하는 역할은 Data Semantic, Tag Identification, Air Interface, Application의 4개 분야로 분류되어, 각 분야의 필수 기술들을 표준화하고 있다.

4. 네트워크 기술동향

에너지 소모를 줄이기 위한 방법으로 데이터 링크 계층에서는 충돌을 줄이는 것이 기본이다. 전송된 패킷이 오염되었을 때 그 패킷은 버려지므로, 재전송에 의한 에너지 소모 및 전송 시간 또한 증가된다. 두 번째 에너지 소비의 근원은 다른 노드 목적으로 전송하는 패킷을 중간에서 엿듣는(Overhearing) 것이다. 세



번째 에너지 소비의 근원은 제어 신호 오버헤드이다. 송,수신되는 제어신호는 에너지 소비가 크다. 마지막으로 비효율적인 원인은 idle listening이다. 전송되지 않는 데이터를 수신하기 위해 듣는 것으로 많은 시간 동안 일어난다. 최근 센서 네트워킹을 위한 네트워크 프로토콜로 발표되고 있는 논문들은 위와 같은 에너지 소모 원인을 피하기 위해 노력하고 있다.

IETF를 중심으로 Ad-Hoc 네트워킹을 위한 라우팅 프로토콜의 표준화는 상당한 수준으로 발전되었다. 기본적인 성능은 기본이고 이동성 관리와 QoS지원 방안까지 연구되고 있다. 하지만 센서 네트워크의 특징인 에너지 관리와 셀 수 없이 많은 노드 수에 대한 특별한 대책이 없어 전혀 다른 방식의 접근을 시도하는 기법이 발표되고 있다. IEEE 802.15.4와 함께 연구되고 있는 ZigBee Alliance의 라우팅 기법은 기존 라우팅 방식을 뒤엎는 전혀 새로운 기법으로, 많은 수의 노드에 주소를 미리 할당하지 않고 네트워크 구성에 따라 적절히 변화시켜 라우팅을 실시하는 알고리즘을 적용한다.

또 다른 접근으로 차세대 인터넷 기술인 액티브 네트워크(Active Network)를 적용시키는 방안도 제안되고 있다. 액티브 네트워크는 노드간에 주고받는 패킷에 실행이 가능한 코드를 포함시켜 특별한 용도의 기능을 수행하도록 하는 기술이다. 센서 네트워크에 적용하기에 오버헤드가 큰 단점이 있지만 사용자의 요구에 능동적으로 대응하여 새로운 서비스를 제공할 수 있는 기술로, 네트워크 구성이 쉽게 바뀌는 센서 네트워크의 특성에 적절하게 적용할 경우 엄청난 시너지 효과를 볼 수 있다.

데이터 링크 계층의 프로토콜에 적용될 것으로 인정받는 SMAC의 주기적인 동작(Periodic Listen/Sleep)은 센서 노드의 에너지 소모를 줄이는 매우 좋

은 방식이다. 센서 노드 각각은 전송할 데이터의 양이 매우 적으므로 노드의 transceiver¹⁾를 계속 켜두고 사용하는 것은 많은 낭비를 가져온다. 특히 데이터의 송수신을 하지 않는 동안 다른 노드간의 통신을 계속 듣고 있는 것은 transceiver를 꺼두는 것에 비해 1000배 정도의 에너지를 더 사용하는 것으로 밝혀져 송수신이 필요 없는 시간동안에는 Transceiver를 꺼두는 방식이 큰 효과를 보인다.

라우팅 기법은 센서 네트워크 field의 전체적인 에너지 소모량을 감소시키거나 균등한 에너지 소비를 유도해야 한다. 특히 Sink 노드에 가까운 센서 노드들은 전송할 데이터의 양이 많아 에너지 소모가 심해지는데 이를 막기 위해 노드의 송신 에너지를 더 소모해서 더 먼 거리로 전송하는 방식으로 에너지 소모량을 균등하게 하는 방식도 제안되고 있다. 먼 거리로 전송할 경우 그만큼 적은 수의 노드가 통신하게 되므로 전체적인 에너지 소모량을 균등하게 조절할 수 있다.

또한 센서 네트워크의 특성상 인터넷에 비해 간단한 프로토콜을 요구하고 Sink 노드가 반드시 존재하는 점을 이용하여 네트워크 프로토콜 구조를 바꾸는 방식도 발표되고 있다. 인터넷의 5계층, 7계층 구조와 달리 특정 계층을 제거하거나 2, 3계층을 통합하여 하나의 프로토콜로 센서 네트워크에 필요한 만큼의 네트워크 기능을 제공하는 방식이다. 이렇게 함으로써 일부 기능에 제한을 받더라도 기존 방식의 한계를 벗어난 에너지 효율성을 보이기도 한다.

5. Middleware 기술동향

USN은 RFID태그와 리더가 진화하면서 주변 환경을 감지하는 센서 기능이 추가되고, 인식정보를 제공

1) 센서 노드의 하드웨어의 일부부분으로 데이터의 송수신을 담당한다. MAC 계층의 요구에 따라 전원의 on/off가 가능하다.



하는 소형 네트워크 노드라 할 수 있으며, 현재 예상으로는 약 2006년에서 2010년 경에 객체간 통신이 가능한 지능형 USN이 보급될 것으로 전망하고 있다. RFID에서는 EPC정보를 응용에서 활용하기 위해서 데이터베이스, ONS등과 같은 타 시스템 연동이 필요한데, 이러한 기능들은 미들웨어 인터페이스에서 지원하고 있다. RFID의 미들웨어 기술은 상용화 단계로 접어드는 반면, 센서 네트워크를 위한 미들웨어 기술은 아직 초기단계에 머물러 있다고 할 수 있다. RFID 미들웨어 기술을 기반으로 하여 향후 센서 네트워크에서 필요한 기능들이 연구되고 있으며, 현재 대표적인 RFID 미들웨어로는 EPC 계열의 Savi, Sun과 MS미들웨어 진영이 활동하고 있고 국내에서는 ETRI에서 자동식별 미들웨어를 개발하고 있으며 이들은 해운, 항공, 의료, 물류, 유통, 조달 등에 적용되고 있다.

센서 네트워크를 위한 미들웨어는 센서 노드 하드웨어와 응용 소프트웨어 사이에서 동작하는 중간계 소프트웨어로서, 그 특성상 개방형 표준 인터페이스가 매우 중요하므로 선도적 기술 표준화를 요하는 분야라 할 수 있다. USN에서의 미들웨어는 사용자의 환경을 감지하고, 상황을 인식할 수 있는 상황인식(Context-Awareness) 기술이 RFID 미들웨어와 차별화 되는 주요 기능이라 할 수 있다. 상황인식기술은 센서 노드의 주변 환경 정보를 객체로 표현하여 위치, 움직임은 물론 수행중인 작업이나 현재 상태정보를 다른 센서노드, 응용계층, 센서 하드웨어가 활용할 수 있는 형태로 전달하는 기능을 담당할 예정이다. 상황 인식 기술이 개발된 이후에는 자율적으로 사물제어가 가능한 에이전트 기술 기반의 미들웨어가 필요할 것으로 예측되고 있다. 정보통신부의 u-센서 네트워크 구축 기본계획에 따르면 2005년 까지는 EPC를 처리하는 정보관리 기술이 미들웨어의 주요 기능이지만, 2006년부터는 「상황정보데이터 마이닝 기술」과 「자율형 사물제어

Agent 기술」이 중요한 연구개발 로드맵으로 계획되어 있다

6. OS 동향

USN환경에서 센서 노드는 센싱, 프로세싱, 무선통신 기능을 갖추어야 하므로 센서 OS는 이러한 기능을 충분히 지원하면서 소형화 되어야 한다. 센서 노드를 위한 OS는 크기가 작아야 하며, 자원을 효율적으로 관리할 수 있어야 하고, 저전력소모, 안정적 운영, 네트워크 접속기능, 분산처리, 개발자 및 이용자를 위한 편리한 인터페이스를 제공하여야 한다.

센서 노드를 위한 OS로서 TinyOS, xTron, 임베디드OS 계열 등이 논의 될 수 있는데, TinyOS와 같은 극소형 OS는 센서 노드에 적합한 특성들을 갖추고 있는 반면 아직 연구개발 단계이고, 임베디드 OS의 경우 소형 센서 노드들에 적용하기에는 무겁기 때문에, PDA 정도 크기의 센서 노드에서 적용이 가능하나 미래의 소형 센서 노드용 OS로는 적합하지 못하다. 임베디드 OS는 점차로 표준형 임베디드 OS에서 마이크로 임베디드, 나노 임베디드 OS로 진화하여, USN에서 활용 가능한 OS로 발전해 나갈 것으로 예측되고 있다.

임베디드OS로는 임베디드 리눅스, WindowsCE, PalmOS, TRON 등이 있으며 국내에서는 ETRI에서 개발한 QPlus가 있다. 특히 일본의 사카무라 켄 교수는 전세계 450개 회원사들이 참여한 T엔진 포럼을 설립하여 운영하고 있으며, 본 포럼을 통하여 TRON을 향후 유비쿼터스 시대의 표준 OS로 발전시켜 나가려 하고 있다.

센서 노드를 위한 극소형 OS로서는 U.C.Berkeley 중심의 NEST(Network Embedded Software Technology) 프로젝트에서 개발하고 있는 TinyOS가



좋은 사례가 될 수 있는데, TinyOS는 4KB 미만의 실행 이미지를 갖추고 있고, 하드웨어 지원은 컴포넌트 형태로 추상화 하여 하드웨어 플랫폼이 변경되더라도 관련 컴포넌트만 교체함으로써 변경된 하드웨어를 쉽게 지원할 수 있는 특성을 갖추고 있으며 센서 노드를 위한 통신 기능 및 제어 기능 등을 갖추고 있다.

7. 결론

USN의 궁극적인 목표는 IPv6를 기반으로 하는 BcN과 연동되어 모든 사물이 기능적으로 네트워킹을 구성하여 통신하는 것이다. 이를 위해 USN의 전체적인 구조와 함께 기술적으로 우선 개발되어야 할 네트워크 프로토콜, Middle ware, OS에 대해 표준화 동향과 기술 동향에 대해 살펴보았다.

USN은 아직 세계적으로 공인받는 표준화된 기술이 없고 기술 자체에 대한 시장도 형성되어 있지 않으나, 향후 센서 네트워크의 응용 분야가 군사, 물류, 유통, 의료, 학술 등 무한하므로 기술 발전과 생산력에 따라 시장 규모도 천문학적으로 증가될 것으로 예상된다. 따라서 국제 표준화 그룹인 IEEE, ISO/IEC, 국내의 TTA 등 중요한 표준화 그룹이 표준화를 위해 노력하

고 있다. 우리나라에서도 USN의 발전 가능성과 시장성을 높이 평가하여 IT 8-3-9, u-Korea 등의 정부 주도의 거대 프로젝트로 USN의 발전을 도모하고 있다. 세계가 주목하는 USN에 대해 국내 기술과 표준안이 세계 시장에 우뚝 서기를 바란다.

참고문헌

- [1] 정보통신부, <http://www.mic.go.kr>
- [2] ISO/IEC JTC1/SC31, <http://usnet03.uc-council.org/sc31>
- [3] Ian F.Akyildiz, Weilian Su, Yogesh Sankarasubramaniam, "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, August 2002
- [4] W. Ye, H Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", In 21st conference of the IEEE computer and Communications Societies(INFOCOM), volume 3, pages 1657-1576, June 2002

