

# 센서 네트워크 에너지절감을 위한 온디맨드 패러다임

김영만\*, 한왕원  
\*국민대학교 컴퓨터학부  
e-mail : ymkim@kookmin.ac.kr

## On Demand Paradigm for the Energy Reduction of Sensor Network

Young-Man Kim\*, Wang-Won Han\*  
\*Dept. of Computer Science, Kookmin University

### 요 약

최근에 정부는 IT839 전략을 발표하여 IT 산업의 새로운 서비스 도입과 신규 수요 창출에 역량을 집중하고 있으며, 신규 서비스로서 RFID/USN 도입을 강력히 추진하고 있다. 또한 민간분야에서도 유비쿼터스 환경에서 센서 네트워크를 이용한 여러 가지 연구가 활발히 진행되고 있는데, 이러한 센서 네트워크가 경제적으로 성공하기 위해서는 유지보수 비용절감이 필수적이다. 본 논문에서는 센서 네트워크의 유지보수 비용을 최소화하기 위한 방법으로 온디맨드 패러다임에 의한 에너지 절감 방안을 제시한다. 구체적으로 센서 네트워크의 각 구성요소에 온디맨드 패러다임을 어떻게 적용하여 에너지 절감의 최적화를 이룰수 있는지와 센서 네트워크와 상위 정보네트워크간의 관계를 설명한다.

### 1. 서론

RFID(Radio Frequency Identification)란 일정주파수 대역을 이용해 원거리에서 무선으로 단말기와 사물간 각종 데이터를 주고 받을 수 있도록하는 초소형 태그로서 초소형 반도체 칩으로 구현되며, 제품과 관련한 생산자, 생산일시, 가격 등 각종정보를 저장해 이정보를 판독기를 제공한다.

RFID의 활용분야는 물류, 유통 관리, 보안, 출입통제, 인물, 동물 추적, 요금징수, 위조지폐 방지, 홈네트워크, 텔레메틱스, 환자관리등으로 매우 다양한 분야에 걸쳐 있다. 이중에서 무엇보다 RFID 기술의 파급효과가 클것으로 기대되고있는 분야는 유통이다. RFID가 부착된 물건을 쇼핑 카트에 담아 계산대를 통과하면, 리더기가 제품의 가격을 자동으로 계산한다. 따라서 제품값의 계산에 따르는 착오를 줄이는 동시에 계산과 결제에 소요되는 시간이 줄어들어 손님들이 계산대 앞에 길게 줄을 서지 않아도 되며, 재고처리와 관련한 노동비용을 절감할 수 있다. 또한 유통업계의 골칫거리인 줌도둑도 막을 수 있다.

하지만 다른 기능의 추가 없이 읽기만 가능한 RFID의 응용분야는 제한적일 수 밖에 없다. 따라서 RFID가 좀 더 폭 넓게 사용되어지기 위해서 사물의 이력정보를 관리하기 위한 기록 및 참조기능 그리고 자신뿐만이 아니라 온도, 습도, 압력등 주변의 정보까지 감지하는 센싱기능, 이들간에 안전하고 신뢰성이 큰 통신망을 구성하도록 하는 통신기술, 궁극적으로는 전자태그 간에 상태를 감지하여 바로 적합한 처리가 가능하도록 하는 제어기능이 부가되어야만 할 것이다. 이와 같이 RFID에 센싱과 네트워크 기능을 추가하여 사물정보 및 환경정보를 감지하고, 감지된 정보를 네트워크에 연결하여 실시간으로 관리할 수 있도록 서비스를 제공하는 망을 USN(Ubiquitous Sensor Network)이라고 한다.

국내에서는 공공 부문을 중심으로 정부 차원에서 RFID/USN 시스템 도입이 적극적으로 추진되고 있으며, 민간에서도 도입 의지가 나타나고 있다[1][2]. 정부는 IT839 전략을 발표하여 IT 산업의 새로운 서비스 도입과 신규 수요 창출에 역량을 집중하고 있으며, 신

규 서비스로서 RFID/USN 도입을 강력하게 추진하고 있다. 이를 위해, 최근 정보통신부는 RFID 용 주파수 대역을 908.5~914MHZ(5.5MHz)로 확장하였으며, 차량 TPMS 및 자동차문 제어용으로 아마추어 무선국으로 사용하고 있는 433.92MHz 대역을 분배하기로 결정하면서 RFID/USN 도입의 기반을 구축하였다.

USN 에서 사용되어지는 각 구성요소의 배터리는 초소형 배터리나 필름에 입혀진 화학물질로 구현되어 지기 때문에 배터리의 에너지량은 극히 제한적이다. 따라서 USN 의 성공적인 실용화를 위해서는 에너지 절감문제를 반드시 해결해야만 한다. 이러한 에너지 절감문제를 해결하기 위한 방법으로 본 논문에서는 온디맨드 패러다임을 제안한다.

[표 1-1]에서 보는 바와 같이 대표적인 네가지 센서 네트워크 노드에서 사용되는 CPU 와 RF 송수신칩의 에너지 소비량에 대한 분석에 의하면, 센서노드가 활성화 되었을때의 소비에너지는 비활성화 되었을때의 소비에너지의 200 배 정도이다[3][4][5][6]. 따라서 센서 노드가 임의의 작업을 수행하고 있지 않을때는 비활성화되고 새로운 작업이 생성된 순간에만 활성화 되어진다면 에너지를 최대한으로 절감 할 수 있다. 온디맨드 패러다임은 이와 같이 필요한 순간에만 활성화 되어서 정보의 수집 및 교환작업을 하고, 나머지 시간에는 비활성화되어서 에너지를 절감하여 센서노드의 활동수명을 최대화하는 방식을 일컫는다. 온디맨드 패러다임이 타 분야에 적용된 대표적인 예로는 무선 Ad Hoc 네트워크에서 라우팅 정보 수집시 필요한 순간에 한하여 라우팅 정보를 교환하는 라우팅 프로토콜을 들 수 있다. 이러한 온디맨드 패러다임을 USN 내의 모든 구성요소에 적용한다면 에너지 절감의 최적화를 이룰 수 있을 것이다. 다시말하면 USN 을 구성하는 모든 기기내의 세부디바이스(RF 유닛, 프로세서, 센서 유닛등)이 온디맨드 패러다임에 따라서 동작하도록 하여 관심 이벤트가 존재하지 않으면 비활성 상태로 돌아가 소비에너지를 최소화하며, 이벤트가 발생하는 순간 해당 이벤트를 감지한 디바이스가 깨어나 데이터 전달 경로상의 다음 디바이스로 전달한 후 다시 비활성 상태로 돌아감으로서 에너지 절감을 최적으로 구현하게 된다.

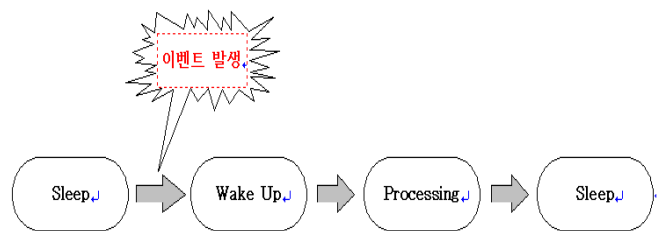
| 운영체제<br>(센서노드)       | Processing Unit |                       | RF Unit |                |
|----------------------|-----------------|-----------------------|---------|----------------|
|                      | CPU             | 소비에너지<br>(활성상태/비활성상태) | 디바이스    | 소비에너지<br>(송신시) |
| TinyOS<br>(Mica2)    | ATMEGA 128      | 15mW/0.075mW          | CC1000  | 76.2mW         |
| MOS<br>(Nymph)       | ATMEGA 128      | 15mW/0.075mW          | CC1000  | 76.2mW         |
| PeerOS<br>(EYES)     | MSP430X         | 5.04mW/0.047mW        | TR1001  | 11.4mW         |
| TRON<br>(pT-machine) | H8/38086<br>SLP | 9.0mW/0.006mW         | CC1000  | 76.2mW         |

[표 1-1] 대표적인 센서노드들에서 사용되는 유닛의 소비에너지 비교

## 2. USN 서비스 분석

USN 의 서비스는 이벤트가 주기적으로 발생하는 서비스와 비주기적으로 발생하는 서비스로 나누어 질 수 있다. 예를 들어 환경관리 분야에서는 주기적으로 온도, 습도등을 측정하고, 측정된 데이터의 분석을 통해서 우리에게 유용한 정보를 제공해 줄 수 있을 것이다. 이러한 주기적인 이벤트는 센서노드내의 타이머에 의해서 발생되어지는데, 이벤트가 발생되어져서 처리하는 기간을 제외한 나머지 기간에는 타이머에 의해 사용되어지는 에너지만으로 충분하다. 그러므로 이벤트가 처리되지 않는 동안에는 타이머를 제외한 센서노드의 나머지 구성요소를 비활성화 시켜 에너지를 절약해야만 할 것이다. 다음으로 비주기적으로 이벤트가 발생하는 서비스의 예로는 화재발생 이벤트, 물체 이동 이벤트, 노드간의 비주기적인 메시지 전송등이 있을 수 있는데, 이러한 비주기적인 이벤트를 처리하는 센서노드들은 이벤트가 발생되지 않는 동안에는 에너지를 전혀 사용하지 않다가 이벤트 발생시에 가급적이면 이벤트에 의해서 생겨난 에너지를 사용하여 비활성화 모드에서 활성화 모드로 전환한다. 예를 들어 송신측 노드가 비주기적으로 메시지를 전송한다면, 아무런 이벤트도 발생되지 않은 상태의 수신측 노드는 비활성화 모드로 에너지 사용을 최소화한 상태에서 존재하고 있을 것이다. 이때 송신측 노드에서 초음파를 사용하여 수신측 노드를 깨우기 시작하면, 수신측 노드는 압전소자를 사용하여 초음파 진동에너지를 전기에너지로 전환하게 되고, 이렇게 전환되어진 전기 에너지를 사용하여 수신측 노드를 비활성화 모드에서 활성화 모드로 전환시키면, 활성화된 수신측 노드는 송신측 노드로부터 전송되는 메시지를 수신할 수 있게된다. 메시지 전체를 수신한 이후에 수신측 노드는 다시 비활성화 모드로 전환되어 송신측 노드의 다음 메시지를 기다린다.

온디맨드 패러다임에서의 각 유닛의 주기적 이벤트 서비스와 비주기적 이벤트 서비스의 실행 사이클은 [그림 2-1]과 같다.



[그림 2-1] 온디맨드 패러다임의 실행사이클

## 3. 온디맨드 패러다임에 의한 에너지 절감형 센서네트워크 구조 설계

### 3.1. 구체적인 예

수동형 RFID 는 리더기로부터의 비콘 · 폴링신호 수

신시 그 신호에너지를 이용하여 ID 정보를 발신하므로 자체 배터리없이 동작한다. 이와 같은 원리는 센서 네트워크에 적용되어 질 수 있다. 센서네트워크의 노드는 평상시에는 에너지를 절약하기 위해서 비활성화 상태로 대기하다가 외부에서 wake-up 신호가 도착하면 신호에 담긴 에너지를 사용하여 노드의 상태를 비활성화 상태에서 활성화 상태로 전환한다. 활성화 되어진 센서 네트워크의 노드는 wake-up 신호와 관련된 원인 이벤트에 따라서 적당한 처리를 수행할 것이다. 예를 들어 센서네트워크 노드가 설치되어진 장소에서 화재가 발생하면, 센서노드 주변에서 열이 발생되어질 것이다. 센서노드는 이러한 기준온도 이상으로 상승하는 열에너지를 이용하여 초소형 바이메탈과 같은 디바이스를 사용하여 비활성화 모드에서 활성화 모드로 전환하게 되고, 활성화 되어진 센서 네트워크의 노드는 카메라로 주변상황을 촬영하여 관리자에게 통보하고 소방서에 화재발생을 알리게 된다.

이때 센서네트워크 노드에서 사용되어지는 에너지를 최소화하는 것이 노드 동작수명을 대폭 늘리며 유지보수 비용을 크게 줄여 줄 수 있는 방법이 된다. 또한 wake-up 에 필요한 에너지를 외부로부터 조달하는 방법을 확대하여 센서네트워크가 동작하는데 필요한 에너지까지 외부로부터 조달하는 방법이 있다. 예를 들어 환경운동가가 멸종위기의 동물의 생태를 확인하고 싶어 한다고 하자. 환경운동가는 동물의 상태를 확인하기 위해서 24 시간 같이 지낼 수는 없으므로, 동물의 신체에 센서네트워크 노드를 부착한다. 이렇게 부착되어진 노드는 동물의 위치, 건강상태등을 측정하여 환경운동가에게 유용한 정보를 제공하게 될 것이다. 하지만 센서네트워크 노드는 주기적으로 에너지를 사용하게 되므로, 에너지의 사용을 최소화하는데 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서는 센서네트워크 노드에 자가발전기능을 추가해야만 한다. 이 예에서 동물이 이동하면 이동시 발생되어지는 운동에너지를 전기에너지로 전환하여 배터리를 충전하는 자가발전 디바이스를 추가함으로써, 센서네트워크 노드는 반영구적으로 사용이 가능할 것이다.

3.2. RFID 기반 차세대 USN 노드

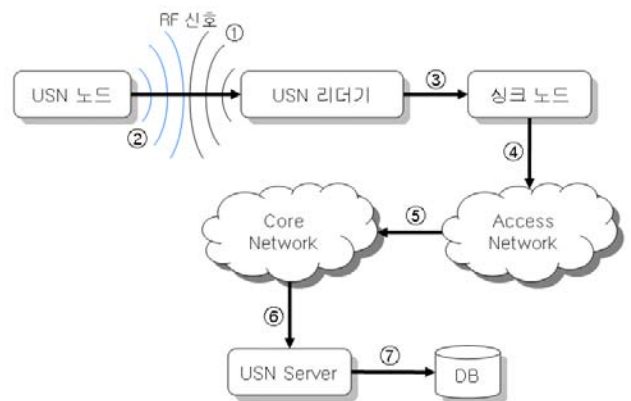
RFID 기반 차세대 USN 노드는 다른 USN 노드나 싱크노드 혹은 리더기에 식별 및 센싱정보를 송수신하는 역할을 담당하는 RF 유닛, 센서측정정보를 처리하고 메시지를 생성하는 프로세싱 유닛, USN 노드에서 사용되는 에너지를 관리하는 배터리 유닛 그리고 USN 노드의 위치정보 및 기타 물리정보를 수집하는 센서 유닛으로 구성되어 진다.

USN 네트워크를 구성하는 모든 노드는 초기화후에 비활성 모드로 돌아가서 소비에너지를 최소화한다. 각 네트워크는 해당 응용분야에 따라서 고유의 관심이벤트 집합을 가지고 있는데, 예를들면, 노드위치 변경이벤트는 위치과약시스템에서 관심을 받는 이벤트이며, 화재 발생이벤트는 화재감지시스템에서 다루는 주 이벤트가 된다.

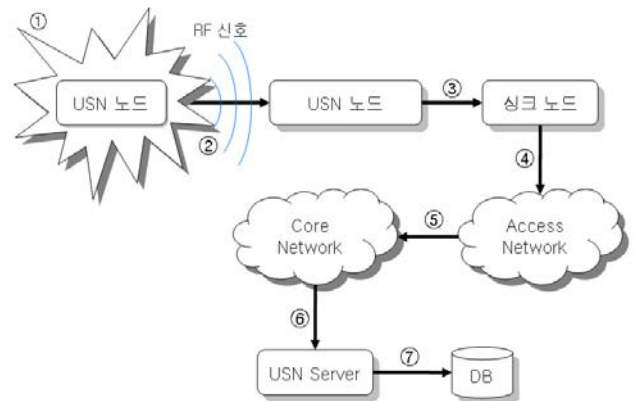
이러한 온디맨드 이벤트를 감지한 USN 노드는 비

활성상태에서 깨어나 해당 온디맨드 이벤트를 싱크노드까지 송신·전달한다. [그림 3-1]은 이러한 USN 에서의 위치정보나 관심이벤트 데이터의 흐름에 대해 USN 리더기 중심의 운영시나리오를 설명하고 있다.

USN 리더기는 주변 USN 노드들에게서 센싱정보를 수집하기 위해서 전파를 발신한다(①번). USN 리더기가 발신한 전파를 수신한 USN 노드들은 수신한 전파에 담긴 에너지를 이용해서 비활성 모드에서 활성화 모드로 깨어난다. 활성화 되어진 USN 노드는 자신이 가지고 있던 정보들을 USN 리더기로 송신한다(②번). 원하는 정보들을 USN 노드로부터 전달받은 USN 리더기는 데이터를 싱크노드로 전달하며, 싱크노드는 Access Network 와 Core Network 를 거쳐 USN 서버에 정보들을 전송하고(④,⑤,⑥번), USN 서버는 수신한 정보들을 DB 에 저장한다(⑦번). [그림 3-2]는 위와 달리 수평관계의 USN 노드들로 구성된 센서 네트워크상의 운영 시나리오를 설명하고 있다. USN 노드는 자신의 위치가 변경되는 순간 발생된 진동에너지에 의해 깨어나(①번) 위의 ②-⑦작업을 수행한다. 이때 이벤트 원천노드는 감지된 이벤트를 싱크노드까지 전달하기 위하여 센서 네트워크의 라우팅 서비스 기능을 이용한다.



[그림 3-1] USN 의 데이터흐름



[그림 3-2] USN 의 데이터흐름

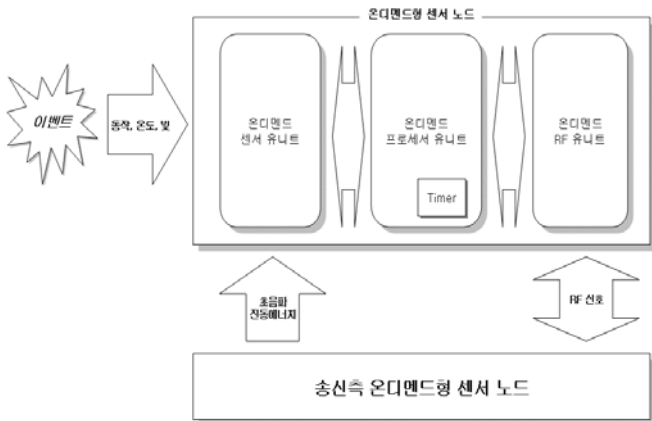
3.3. 온디맨드 패러다임의 기본원리

위의 USN 노드에 적용한 온디맨드 패러다임을 일

반화한 기본원리는 다음과 같다. 임의의 노드 혹은 유닛은 전달하고자 하는 정보 혹은 이벤트가 존재할 때에 한하여 활성 모드에 머물면서 최종 싱크 노드에 이르는 경로상의 다음 유닛만을 깨워서 정보를 전달 한 후에 다시 비활성 모드로 복귀함으로써 소비에너지 최소화를 도모한다. 온디맨드 패러다임을 적용한 센서 네트워크는 에너지를 절약하여 센서 네트워크의 유지보수비용의 최소화에 많은 기여를 할 것이다.

3.4. 온디맨드 센서노드 구조

앞에서 설명한 USN 노드를 일반화한 온디맨드 센서노드는 온디맨드 센서유닛, 온디맨드 프로세서 유닛 그리고 온디맨드 RF 유닛으로 이루어 진다. 온디맨드 센서유닛은 온디맨드 이벤트 감지에 필요한 최소한의 하드웨어만을 제외한 나머지 부위들은 비활성 모드에 있으면서 해당 이벤트 발생이 의심되는 순간 나머지 부분이 깨어나 이벤트 확인 및 온디맨드 프로세서 유닛을 깨우고, 해당 이벤트를 온디맨드 프로세서 유닛에 전달한다. 온디맨드 프로세서 유닛은 온디맨드 센서 유닛이나 온디맨드 RF 유닛으로부터 이벤트가 도착하면 비활성 모드에서 깨어나



[그림 3-3] 온디맨드 센서노드의 구조

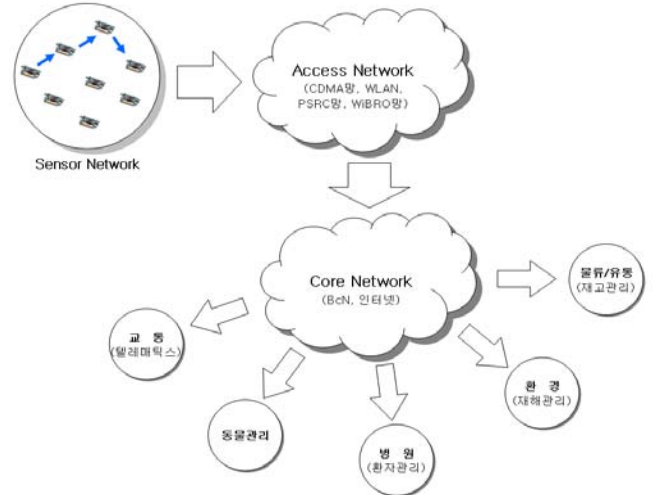
데이터를 처리하여 이벤트를 확인하고 온디맨드 RF 유닛에게 다음 노드로 메시지 전송을 지시하고 다시 비활성 모드로 돌아간다. 마지막으로 온디맨드 RF 유닛은 온디맨드 프로세서 유닛이나 이웃 노드의 온디맨드 RF 유닛으로부터 Wake-Up 신호가 오면 비활성 모드에서 깨어나 메시지를 프로세서 유닛으로 전달한 후 다시 비활성 모드로 돌아간다. [그림 3-3]은 이러한 온디맨드 센서노드의 구조를 보여준다.

3.5. USN 과 상위 정보네트워크간의 관계

[그림 3-4]는 USN 과 상위 정보네트워크 사이의 관계를 나타낸다. 새로운 이벤트 발생을 감지한 센서 노드는 여러 센서노드들을 거쳐 최종 싱크 노드까지 정보를 전달한다. 최종 싱크 노드는 Access Network (CDMA 망, WLAN, PSRC 망, WiBro 망)과 Core Network (BcN, 인터넷)를 거쳐 센서 노드에 의해서 생성되어진 정보들을 여러 응용시스템들에 전달한다.

4. 결 론

정부는 최근 RFID 를 기반으로 한 정보화를 USN (Ubiquitous-Sensor Network)라는 개념으로 정립[1][2]하였으며, 기술개발 및 시범사업 등을 통하여 이를 확산시키기 위한 기본계획을 발표하였다. 그러나 RFID 를



[그림 3-4] 온디맨드 센서네트워크와 상위 네트워크 간의 관계

일부 제한적인 용도로부터 모든 사물에 확대 적용시키고 기존의 단순한 인식기능뿐만 아니라 센싱 및 네트워크 기능등도 갖추어 유비쿼터스(Ubiquitous)를 현실적으로 구현할 수 있는 핵심적인 기반으로 발전시킬 구체적인 계획이 현재 결핍되어있어 이 문제를 해결하기 위하여 각 분야의 전문가들을 모아서 새로운 이정표를 설계하는 작업을 추진하는 과정중에 있다.

USN 은 인터넷이라는 기본바탕에 우리 생활의 모든 분야 즉, 식료품으로부터 축산물 관리, 폐기물관리, 환경관리, 물류, 유통, 보안 등의 영역까지 정보화를 침투 확산시켜 비즈니스에 대변혁을 가져오고, 삶의 질을 획기적으로 개선시킬 것으로 기대되는데, 본 논문에서는 RFID 기반의 USN 이 풀어야 할 몇가지 문제들 중에 에너지 절감문제의 대안이 되는 온디맨드 패러다임을 제시하였다. USN 의 각 구성요소에 온디맨드 패러다임을 적용하는 것은 USN 의 유지보수 비용을 최소화하고, 유비쿼터스 환경의 현실적인 구현에 큰 역할을 담당할 것이다.

참고문헌

[1] 정보통신부 전파방송관리국, “정통부, 사물까지 인터넷으로 연결되는 신정보화시대 선도”, 2004.2.17  
 [2] 정보통신부, 한국전산원, 한국 USN 센터, “u-센서 네트워크(USN) 구축 기본계획”, 2004. 2  
 [3] Crossbow Texhnlology Inc., <http://www.xvow.com>  
 [4] Texas Instruments Inc., <http://www.ti.com>  
 [5] RF Monolithics. Inc., <http://www.rfm.com>  
 [6] Chipcon Inc., <http://www.chipcon.com>