

유비쿼터스 센서 네트워크 (Ubiquitous Sensor Networks)

글 : 공정욱 | 초고속연구개발실 선임연구원 | kju@kisti.re.kr

1. 서론

21세기는 많은 사람들이 예상하기로 유비쿼터스 컴퓨팅의 시대라고 한다. 유비쿼터스는 '도처에 널리 있다', '언제 어디서나 있다'라는 라틴어에서 유래한 말이다. 유비쿼터스 컴퓨팅은 인간이 지능화된 공간(Smart space)에서 자신의 주위를 둘러싼 사물과 환경의 상호 작용을 통하여, 시간과 공간의 제약을 받지 않는 인간 중심의 컴퓨팅 세상을 구현하는 비전을 가지고 있다.

이러한 유비쿼터스 컴퓨팅을 구현하기 위해서는 네트워크 인프라가 매우 중요한다. 이것을 유비쿼터스 네트워크라 한다. 본고에서는 유비쿼터스 네트워크의 핵심 기술을 중에서 유비쿼터스 센서 네트워크에 대해서 알아보도록 한다.

유비쿼터스 센서 네트워크 기술은 금세기의 핵심 기술이 될 것이라고 전망되어지고 있다. Business Week는 1999년 9월에 이미 그러한 전망 기사를 실었으며¹⁾, 2003년 9월에 "The Quest for the Next Big Thing"이라는 기사를 통해 중요성을 재차 강조한 바 있다.

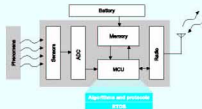
또한 MIT Enterprise Technology Review는 2003년 2월호에서 "10 Emerging Technologies That Will Change The World" 기사를 통해 센서 네트워크 기술을 가장 중요한 미래 기술로 언급하고 있다²⁾.

이러한 센서 네트워크 기술은 재난 방지, 보안시스템, 환경 감시, 교통, 지능화된 공간의 구현, 농산물의 제재, 공산품의 제조 및 재고 관리, 미시적 일기 예측, 건강 관리 등 다양한 응용 분야를 가질 것으로 예상된다.

본 고에서는 센서 네트워크에 대한 소개, 국내외 연구 동향, 센서 네트워크가 해결해야할 기술의 과제 등에 대해서 알아보고 결론을 맺고자 한다.

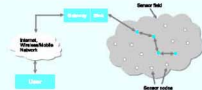
2. 센서 네트워크의 개요

최근의 급속한 반도체 기술, 통신 기술 등의 발전으로 인하여 프로세싱 능력과 무선 통신 기능을 탑재한, 작고 저렴하며, 저전력을 소모하는 센서 노드의 개발이 가능해졌다. 이러한 센서 노드는 각종 현상의 감시 또는 측정 기능, 수집된 데이터의 제한된 처리 기능, 데이터의 전송을 위한 통신 기능 등을 수행한다. (그림 1) 참고



(그림 1) 센서 노드의 구성

센서 네트워크는 이용자의 관심 대상이 되는 각종 현상 속이나 그 현상에 근접하여 현명하게 분산 설치한 많은 수의 센서 노드들로 구성된다. 각 센서 노드에서 측정하고 프로세싱한 데이터는 라우팅 프로토콜을 통하여 설정된 경로 상의 여러 센서 노드들을 거쳐 센싱 데이터를 수집하는 센서 노드(Sink)에 집결되며, 인터넷이나 무선이동 통신망을 이용하여 사용자에게 전달된다. (그림 2)는 이러한 센서 네트워크의 대략적인 구조를 보여준다²⁴⁾.



(그림 2) 센서 네트워크의 구조

센서 네트워크는 기존의 이동통신 네트워크나 ad hoc 네트워크와 여러 면에서 차이가 있다. 기존 네트워크에서는 라우팅, 이동성 관리 등이 QoS와 대역폭의 효율적 사용 등에 초점이 맞추어져 있으며 전력 소모의 효율성은 부차적인 문제였다. 그러나 센서 네트워크는 네트워크의 수명을 길게 하는 것이 중요하고 센서 노드들이 제한된 전력을 가지므로, 전력 소모의 효율성은 매우 중요한 문제이다. 또한 센서 네트워크는 수백, 수천 많게는 수만 개의 노드가 이용자의 개입없이 자율적으로 운용되어야 하며, 이동성이 떨어진다. 센서 네트워크에서는 트래픽의 특성이 정적이며, 데이터 전송률이 1~100kpbs 정도로 매우 낮다. 데이터의 흐름 측면에서 기존 네트워크가 양방향, 단대단(point to point) 특성을 가진다면 센서 네트워크는 주로 단방향, 브로드캐스트 특성을 가진다.

3 국내외 연구 동향

센서 네트워크에 대한 본격적인 연구는 1980년 경부터 미국의 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)의 DSN(Distributed Sensor Network) 프로그램부터 시작되었다고 할 수 있으며, 현재 세계 각국의 유명 대학과 연구소 등에서 활발한 연구 활동을 하고 있다. 미국은 DARPA, NSF 등의 지원을 받아 UC Berkeley, MIT, UCLA 등 대학과 Intel, Motorola 등 산업계 등에서 폭넓은 연구개발을 진행하고 있다. 국내에서는 한국전자부품연구원에서 과학기술부의 지원을 받아 21C 프론티어 사업의 일환으로 연구개발을 추진하고 있으며, 한국전신원에서는 정보통신부의 센서 네트워크 구축 계획에 따라 DSN센터를 설립하여 필요한 연구개발 및 사업 지원을 수행할 계획이다.

본 장에서는 국내외의 대표적인 연구 사례 및 가치를 살펴보고자 한다. <표 1>은 대표적인 연구 프로젝트를 보여준다²⁵⁾.

(표 1) 대표적인 연구 프로젝트

Project name	Research area	HTTP location
Sensonet	Transport, network, data link, and physical layers. Power control, mobility, and task management planes.	http://www.eece.gatech.edu/research/labs/bwn/
WINS	Distributed network and internet access to sensors, controls, and processors.	http://www.jnetucla.edu/WINS/
SPINS	Data dissemination protocols.	http://nms.ks.mil.edu/projects/leech
SPINS	Security protocol.	http://peris.cs.berkeley.edu/~perigg/projects.html
SNA	Information networking architecture.	http://www.eecis.udel.edu/~cshen/
mAMPS	Framework for implementing adaptive energy-aware distributed microsensors.	http://www-mi.uit.edu/research/lcsystems/uamps/
LEACH	Cluster formation protocol.	http://nms.ks.mil.edu/projects/leech
Smart Dust	Laser communication from a cubic millimeter. Mole delivery. Submicrowatt electronics. Power sources. Macro Motes (COTS Dust).	http://robotics.eecs.berkeley.edu/~pister/SmartDust/
SCADS	Scalable coordination architectures for deeply distributed and dynamic systems.	http://www.isi.edu/scads/
PicoRadio	Develop a "system-on-chip" implementation of a PicoNode.	http://bwic.eecs.berkeley.edu/Research/PicoRadio/PicoNode.htm
PACMAN	Mathematical framework that incorporates key features of computing nodes and networking elements.	http://pacman.usc.edu
Dynamic Sensor Network	Routing and power aware sensor management. Network services API.	http://www.eest.isi.edu/DVIG/dsn/
Aware Home	Requisite technologies to create a home environment that can both perceive and assist its occupants.	http://www.cc.gatech.edu/ce/ah/
COUGAR Device Database Project	Distributed query processing.	http://www.cs.cornell.edu/database/cougar/index.htm
DataSpace	Distributed query processing.	http://www.cs.rutgers.edu/datanet/

1) 국외 동향

가, UC Berkeley의 WEBS(Wireless Embedded Systems)

센서 네트워크에 대한 대표적인 프로젝트로서, DARPA의 지원을 받아 2005년까지 수행할 예정이며 NEST, Smart Dust 등을 포함하고 있다⁴⁾. NEST 프로젝트의 목적은 임베디드 시스템을 위한 극소형 프로세서에 적용, 대규모 네트워크 구성, 저전력 동작, 모듈성, 안정적 시범 플랫폼 제작 등이다. 이 프로젝트에서는 개방형 센서 보드인 Mote 시리즈와 극소형 OS인 TinyOS를 개발하여 널리 보급하고 있다.

현재 널리 사용되고 있는 Mote는 MICA, MICA2, MICA2DOT 등이며 MICA2의 사양은 (표 2)와 같다⁵⁾.

TinyOS는 저전력의 무선 통신 장치인 센서 노드의 프로세싱 능력, 메모리 등의 물리적 한계를 극복하도록 설계되었으며 다음과 같은 특징을 지닌다.

- Event driven OS
- 높은 수준의 concurrency 지원
- C와 어셈블리 언어로 개발
- 소스 코드 크기: 500KByte
- 모듈화
- 멀티 프로그램 미지원
- Thin threads 지원

(표 2) MICA의 기본 사양

구분	사양
프로세서 보드	- ATME1 ATmega128L, 128KB flash, 4K EEPROM - 868/916MHz Radio(MSK 사용) - 데이터율: 38.4 Kbps - 전송 범위: 500ft - 2XAA size batteries
센서 보드	- weather station: 온도, 빛, 습도, 압력 - vibration: 2d acc, 온도, 빛 - accelerometer - magnetometer

나. UCLA의 CENS(Center for Embedded Networked Sensing)

CENS¹⁶⁾는 NSF로부터 2,300만 달러의 지원을 받아 2002년부터 2007년까지 5년동안 수행하는 프로젝트로써, 임베디드 네트워크 센싱 기술을 선도하고 교육함으로써 국가적인 과학적 이슈를 도출하는 것이 목적이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 CENS는 임베디드 분산 센서 시스템의 구조와 방법론을 개발하고 제시하고, 이 시스템을 사회적, 환경적 관심사의 과학 연구를 지원하도록 전파하여 scalable, robust, 및 작은 센서 네트워크를 만들어 내는데 필요한 연구를 추구한다. CENS의 연구 과제는 다음과 같다.

● 기술 측면

Adaptive Self Configuring Wireless Systems
Co-ordinated Actuation
Collaborative Signal Processing
Micro/Nano Sensor Technology
ELSI (Ethical, Legal & Social Implications)
Networked Infomechanical Systems (NIMS)

● 응용 측면

Contaminant Transport Monitoring
Marine Microorganisms
Habitat Sensing Array
Seismic Monitoring
Science Education

CENS에는 대학 및 기업에서도 많이 참여하고 있으며 대표적인 기관들로는 Sun, Xerox, Cisco, Crossbow, WindRiver, ST Microelectronics, TRW, UCLA, USC, UCR, JPL, CSU, Caltech 등이 있다.

2) 국내 동향

가. 한국전자부품연구원(KETI)

과학기술부가 주관하는 21C 프런티어 사업의 하나로서, KETI에서 수행하고 있는 '유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기술개발사업'은 유비쿼터스 컴퓨팅 세계 기술 선도, 유비쿼터스 컴퓨팅 세계 시장 점유, 휴먼 디지털 라이프 신시장 창출 및 유비쿼터스 기술 인력 고도화, 인간/환경 친화적 그린 휴먼 소사이어티

실현 등을 통하여, '그런 후엔 소사이더티의 초일류 유비쿼터스 기술 강국 건설'이라는 비전을 갖고 추진 중에 있다.

'유비쿼터스 컴퓨팅 및 네트워크 원천기반기술 개발사업'은 인간/환경친화적인 고도기능의 전자사회 구현을 위한 유비쿼터스 컴퓨팅/통신 연진 및 고도 기능 시스템 솔루션 원천기반 기술개발을 목적으로 10년 동안 총 3단계에 걸쳐 1,700억원 이상을 투자할 예정이다.

이 사업에서 센서 네트워크와 관련되는 연구개발 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 초저전력 실시간 시스템 소프트웨어 기술
- 초저전력 초소형 저능형 모바일 컴퓨팅/통신 프로세서 기술
- 초소형 스마트 센싱 엔진 기술
- 신뢰성있는 유비쿼터스 네트워크 기술
- 초저전력/초고속 무선 전송 및 액세스 기술개발
- Scale free 지향 복합 네트워크 합성 기술 개발

나. 한국전선원(INCA)

정보통신부의 USN(Uniquitous Sensor Network) 구축 계획에 따르면, USN의 개념을 모든 사물에 전자 태그를 부착하여 사물 정보 및 환경 정보를 감지하여 네트워크에 연결하여 실시간으로 관리하는 것으로 설정하여, 먼저 인식정보를 제공하는 전자 태그를 중심으로 발전하고 이에 센싱 기능이 추가되고 이들 간의 네트워크가 구축되는 형태로 발전할 것으로 예상하고 있다. 그리고 USN의 응용으로는 물류/유통, 교통, 환경 감시, 재난 방지, 홈 네트워크 등과 연계할 것으로 예상하고 있다. 이러한 정보통신부의 구축 계획에 따라 USN추진 위원회(위원장 : 정보통신부 장관) 산하에 한국USN센터를 INCA에 설치하였다.

INCA의 한국USN센터는 USN 구축 방향을 제시하고 요소기술의 발굴 및 연구개발 지원, ISO 국제 표준화 대책, 국내 표준 제인, USN 산업기반 조성, 시범서비스 발굴 지원, 국내외 산·학·연 연구 개발 협력 지원 등을 추진할 예정이며, 단계별 연구 개발 계획은 <표 3>과 같다.

<표 3> USN 단계별 개발 계획 연구개발 분야

연구개발분야	1단계(2004~2005)	2단계(2006~2007)	3단계(2008~2010)
태그/리더 분야	- Flip chip형 CMOS Tag용 칩 개발 - 프린팅 안테나 기술 개발 - 활성형 리더 안테나 기술 개발 - 단일대역 RF/전송 기술 - Multi Tag 인식 기술 개발	- MEMS 적용 센서 융합 CMOS 칩 개발 - 고성능 On-Chip형 안테나 개발 - Multi band 안테나/RF/전송 기술 - 초저전력 임플렉스 변조기술 개발	- Polymer Chip 태그 개발 - 초광대역 RF/전송 기술 - 자율동선 센서 네트워크 기술
미들웨어 분야	- EPC 기반 정착정보처리 미들웨어 개발 - IPv6 연계 코드 관리 기술 개발 - 프라이버시 보호 기술 개발	- 상황 정보 데이터 마이닝 기술 개발 - 상황 인식 미들웨어 개발 - 실시간 업무처리 자동화 시스템 개발	- 사물 제어 에이전트 기술 개발 - 자율형 상황인식 미들웨어 개발

4. 기술적 과제(Technical challenges) ...

센서 네트워크는 다양한 응용에도 불구하고 몇 가지의 공통적인 특징을 추출할 수 있으며 그 특징이다 해결해야 할 기술적 과제들이 존재한다. 따라서 이 장에서는 센서 네트워크가 직면하게 될 기술적 과제들을 살펴보고자 한다.

센서 노드는 대체로 랜덤하게 분산되어 설치된다. 따라서 센서 노드의 분포에 따라 센서 노드 사이의 연결을 유지할 수 있어야만 하여 주위 환경의 변화에 따라 연결이 단절되거나 노드가 고장난 경우 센서 네트워크는 재빨리 새로운 상황에 적응해야 한다.

센서 노드가 센서 필드에 설치될 때 한번에 수천에서 수만 개의 설치되면, 센싱 데이터의 수집 및 처리 알고리즘과 같이 센서 노드의 소프트웨어를 변경하고자 하는 경우 센서 노드 하나 하나를 변경하기 곤란하므로 원격으로 변경이 가능하여야 한다.

센서 노드 사이의 통신과 데이터 수집을 위해서는 전력의 소모가 지속적으로 일어난다. 그러나 수천 개나 되는 센서 노드의 배터리를 일일이 바꾸어 주기 곤란하므로 전력의 효율적 사용이 중요하다.

위와 같은 문제들을 해결하기 위해서 여러 가지 trade off가 필요하다. 센서의 크기는 작아야 공간의 재약을 덜 벌는데 작은 크기는 적절한 동작을 효율적으로 수행하는데 필요한 배터리의 용량의 제한을 가져온다. 배터리의 용량 제한은 전파의 송신 거리 재약을 초래하므로 센서의 배치를 더 인접하게 하여야 하는 문제가 발생한다. 이때 인접한 센서의 레이더는 상관관계가 증가하므로 필요없는 데이터의 전송이 증가한다. 이런 방식으로 센서 네트워크에서 여러 가지 기술적 문제들이 복합적으로 얽히기 때문에 적절한 해결책을 찾는 것은 쉽지 않아 보인다.

이러한 문제들을 해결하기 위해서는 센서 노드 사이의 협력적인 신호 처리가 필요하여 어떻게 함으로써 전력의 효율성을 증가시킬 수 있다. 센서 노드를 중복하여 설치함으로써 정상적으로 작동하지 않는 노드의 교체 비용을 절감할 수도 있고 서비스 범위를 넓히는 데도 효율적이다. 전력, 결리의 정확도와 신속성 사이의 균형을 유지하기 위해서는 적응형 신호 처리가 필요하다. scalability, 수명, 효율성 등을 고려하여 센서 노드들을 클러스터로 묶고 그 중에서 클러스터 헤드를 두는 계층적 구조도 효율적이다.

이상과 같이 여러 가지 기술적인 과제들을 나열하였는데 센서 네트워크에 대한 각 레이어 별로 충분한 고찰과 trade off를 고려하여 센서 네트워크의 통신 구조를 설계하는 것이 필요하다.

5 결론

본 고에서는 21세기의 컴퓨팅 및 네트워킹 분야의 최대 화두가 되고 있는 유비쿼터스 센서 네트워크에 대한 소개, 국내·외 연구 동향, 기술적 과제 등에 대하여 개략적으로 살펴보았다. 센서 네트워크는 다양한 분야에서 널리 활용되리라 예상되며 조만간 우리 생활의 일부로 스며들 것이다. 그러나 4장에서 살펴본 바와 같이 해결해야 할 기술적 과제들이 산적하다. 이러한 기술적 과제들이 세계적으로 많은 연구자들을 이 분야로 뛰어들게 한다. 많은 연구자들이 개발하고 있는 기술들에 대한 심층 연구는 <표 1>을 참고하기 바란다.

참고 문헌 및 사이트

- [1] "21 Ideas for the 21st century," Business Week, pp. 78, 157, Aug. 30, 1999.
- [2] "10 emerging technologies that will change the world," Technol. Rev., vol. 106, no. 1, pp. 33-45, Feb. 2003.
- [3] Ian F. Akyildiz, Weiran Su, Yogesh Sankarasubramanian, and Erdal Cayiroglu, "A Survey on Sensor Networks," IEEE Communications Magazine, Aug. 2002, pp. 102-114.
- [4] <http://webs.cs.berkeley.edu/~nest/index.html>
- [5] 이상학, 조위덕, 송영철, 강정훈, 김대훈, "IEEE 802.15.4: Sensor Network 기술" 정보과학회지, 2003년 8월, 제 21권 제 8호, pp.99-101.
- [6] <http://www.cens.ucla.edu>
- [7] <http://www.ustrain.net>
- [8] <http://www.sca.or.kr>