

특집
08

난환경에서의 무선 센서 네트워크를 위한 자기장 통신 기술

목 차

1. 서 론
2. 자기장 통신의 특징
3. 자기장 통신 표준 및 연구 동향
4. 자기장 통신 기반 센서 네트워크의 응용 분야
5. 결 론

김선희 · 원윤재 · 임승욱
(전자부품연구원)

1. 서 론

다양한 센서와 무선 통신이 결합된 무선 센서 네트워크(WSN: Wireless Sensor Network) 기반의 통신은 유비쿼터스 사회 실현을 위한 기반 기술로 자리매김 하고 있다[1]. 이미 세계적으로 물류, 의료, 환경, 에너지를 비롯한 다양한 응용에 무선 센서 네트워크가 시범적으로 적용되고 있으며, 이와 같이 폭넓은 응용 서비스의 요구로 기존의 다양한 무선 통신 표준들이 무선 센서 네트워크에서 사용되고 있다. 그 중에서도, 무선 센서 네트워크는 네트워크의 자율성 및 구성의 용이성, 저전력, 저비용 등이 중요하기 때문에 무선 개인 영역 네트워크(WPAN: Wireless Personal Area Network) 표준인 Bluetooth, UWB, ZigBee 및 RFID 등이 무선 센서 네트워크 기술로 사용되고 있다[2].

ZigBee Alliance는 2007년 4월까지 214개 이상의 멤버를 확보하고 있는 가운데 ZigBee 1.0, ZigBee-2006에 이어 ZigBee-Pro 버전을 공식적으로 발표하였다. TI, Freescale, Ember, OKI 그리고 Microchip 등 IC 업체들이 ZigBee 솔루션

을 출시하면서 ZigBee 기반의 다양한 응용 서비스가 무선 센서 네트워크 분야를 주도하고 있다. 동시에 Z-Ware Alliance는 현재 70개 이상의 멤버들로 구성되어 무선 센서 네트워크 및 무선 자동 컨트롤 분야 응용을 타겟으로 Z-Ware Protocol을 정의하고 있다. 노키아는 2006년 10월 Broadcom, CSR, Epson, Nordic 등의 회사와 그룹을 형성하여 Wibree 프로토콜을 발표하였다. 이 기술은 기존의 Bluetooth RF 및 주요 모듈을 채용할 수 있도록 하여 Wibree Stand-alone Chip과 Bluetooth-Wibree Dual-Mode Chip 두 가지 형태로 솔루션이 개발되고 있다. IEEE 1451 작업 그룹은 WiFi, Bluetooth, ZigBee 통신을 물리계층으로 하는 스마트 센서 네트워크용 무선 통신 표준을 정의하는 중이다. ISA SP100 위원회는 두 개의 새로운 작업 그룹 - SP100.11과 SP100.14-을 형성하여 새로운 무선 센서 네트워크 표준을 구성하고 있다. IEEE 802.15.4a에서는 2007년 3월에 Chirp Spread Spectrum(CSS) 기술을 바탕으로 한 멀티미디어 무선 센서 네트워크 표준을 발표하였다[3]. 아이템 관리 RFID ISO/IEC 18000 시리즈 중에 2.45GHz와 433MHz 대역의 능동형

RFID가 있으며, 최근 UHF 대역을 포함하여 능동형 RFID 표준에 대한 확장 및 센서 태그, RFID 네트워크에 대한 표준화가 추진되고 있다. 게다가 IEEE1451.5 작업 그룹에서는 다양한 무선 센서 네트워크 및 시스템 간에 상호 동작을 위하여 무선 스마트 센서 표준을 위한 스펙을 개발하고 있다[3].

<표 1>에 무선 센서 네트워크에 사용되는 주요 무선 통신 프로토콜들의 동작 주파수 대역, 통신 거리, 데이터 속도 및 배터리 수명을 비교해 놓았다[3]. <표 1>에서 보는 바와 같이 주로 무선 센서 네트워크를 위하여 사용되는 통신은 수백 MHz ~ 수GHz 대역의 전자기파를 이용하고 있다. 그런데 이러한 전자기파 통신은 금속이나 물이 있는 환경에서 통신 성능이 급격히 낮아지며 사용 주파수 대역이 높아서 파워 소모가 크다는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위하여 저주파 대역 자기장을 이용한 통신 기술이 연구되고 있다.

<표 12> 무선 센서 네트워크에 사용되는 주요 무선 통신 프로토콜

	동작 주파수 대역 (Hz)	통신 거리 (m)	데이터 속도 (kb/s)	배터리 수명 (일)
ZigBee	2.4G/ 915M / 868M	75	20 ~ 250	1,000
Z-Wave	908M / 860M	100	9.6	3,650
Wireless	2.4G	10	1,000	70
UWB	3.1 G ~ 10.6G	10	100,000	100
Bluetooth	2.4 G	10	720	7
RFID	900M 대역, 433M, 2.4G	5	200	-
802.15.4a	2.4G	900	2,000	1,825

본 논문에서는 금속이나 물이 있는 난환경에서의 무선 센서 네트워크 통신 방법으로 자기장 통신을 제안한다. 이를 위하여 2장에서는 자기장 통신의 특징을 살펴보고, 3장에서는 현재 자기장 통신의 표준 및 개발 동향을 알아보겠다. 4장에서 자기장 통신 기반 센서 네트워크 응용 분야를 살펴본 뒤, 마지막으로 5장에서 결론을 맺겠다.

2. 자기장 통신의 특징

근거리장(near field) 영역은 전자기장 발생원(안테나)로부터 거리가 가까워서, 전자기장 강도가 거리에 근사적으로 반비례하지 못하는 영역을 말한다[4]. 일반적으로 반경이 신호 파장의 $1/(2\pi)$ 배 되는 영역($R_{near_fld}=\lambda/(2\pi)$) 까지를 근거리장 영역이라고 한다. 안테나에 흐르는 전류에 의하여 형성된 교류 자기장은 근거리장 영역에 이르면 안테나로부터 분리되어 전자기파의 형태로 공간에 퍼지기 시작하며, 분리된 전자기파는 더 이상 안테나에 의하여 영향을 받지 않는다[5].

자기장 통신은 원통 코일 또는 도체 루프를 안테나로 하여 발생된 교류 자기장(magnetic alternating field)를 이용하여 근거리장 영역 내에서 통신하는 방식이다. 근거리장 영역은 반경이 신호 파장의 약 1/6에 해당하는 영역으로 한정되므로 자기장을 이용한 통신은 주로 수 KHz ~ 수십 MHz 대역의 신호를 사용한다.

자기장을 이용한 통신의 가장 큰 장점은 매질에 의한 영향이 적다는 것이다. 전기장은 매질의 유전율(permittivity)에 반응하여 매질에 따라 신호의 감쇄율이 달라지는데, 공기의 유전율을 1이라고 하였을 때 증류수는 80, 바닷물은 72 정도로 액체를 비롯한 대부분 물질의 유전율이 공기보다 높다. 즉 전기장은 물을 비롯한 액체 및 기타 물질에서 감쇄가 크며 감쇄율도 매질에 따라 차이가 크다. 반면 자기장은 매질의 투자율(permeability)에 반응하는데, 니켈, 코발트 등 몇몇 물질을 제외하고는 일상에서 사용되는 대부분 물질의 투자율이 공기와 거의 비슷하다. 따라서 자기장은 물 등의 액체 및 기타 혼합 매질에서도 공기 중과 비슷한 통신 성능을 보인다.

게다가 진행하던 전자파 신호가 금속 물질을 만나면 일부는 반사하고 일부는 금속 물질에 들어가는데, 금속 물질에 들어간 전자파 신호는

skin depth 현상에 의하여 신호의 감쇄가 이루어진다. 이 때 skin depth는 신호의 주파수에 반비례하므로 전자파 신호의 주파수가 높을수록 신호는 빨리 감쇄된다. 반면 자기장은 금속 물질을 만나도 반사되거나 흡수되지 않는다.

근거리장 영역 내에서 자기장은 전자기파처럼 propagation 되지 않는다. 이는 근거리장 내에서 자기장 통신을 이용할 때, 기존 전자기파를 사용하는 통신과 달리 multi-path fading을 고려하지 않아도 된다는 장점이 있다.

또한 자기장 통신은 전자기파 통신에 비하여 낮은 주파수를 사용하기 때문에 칩의 파워 소모가 작으며, 가격이 저렴하다. 하지만 이렇게 낮은 주파수 대역을 사용하기 때문에 자기장 통신의 데이터 전송 속도는 낮다.

뿐만 아니라 원거리장 영역에서 전자기파 신호는 진행 거리(d)에 반비례하여 신호 크기가 감쇄하지만, 근거리장 영역에서 자기장은 $1/(d^3)$ 으로 급격히 감쇄한다. 따라서 자기장 통신이 상대적으로 전자기파 통신보다 전송 거리에 제약이 따른다. 하지만 이러한 빠른 감쇄 특징은 여러 개의 통신 모듈이 가까이 있을 경우 서로 간섭을 일으킬 가능성을 낮춘다는 긍정적인 효과도 있다.

자기장 통신 안테나 코일에 의하여 발생하는 자기장의 세기는 코일을 감은 횟수, 코일의 단면적 그리고 코일을 감은 코어 물질의 magnetic permeability에 비례한다. 따라서 자기장 통신 신호의 세기를 높이기 위해서는 안테나의 크기 및 무게, 가격이 높아지는 것을 감수해야 한다.

3. 자기장 통신의 연구 동향

3.1 RFID

근거리장에서 자기장 통신을 하는 대표적인 통신 시스템은 135KHz 이하 대역 및 13.56MHz 대역의 ISO 18000 시리즈(아이템 관리를 위한

RFID)와 13.56MHz 대역의 비접촉식 카드 ISO 14443 및 ISO 15693 등이 있다. 이들은 거의 대부분 수동형 태그와 리더로 구성된다. 이것은 태그의 동작을 위하여 필요한 모든 에너지를 리더가 제공한다는 것을 의미한다. 따라서 통신 거리는 수 cm에서 1m 이내로 한정되며, 센서를 부착한 센서 네트워크 노드로 사용될 수 없다.

3.2 RuBee [6]

미국의 Visible Assets, Inc.의 RuBee는 자기장을 이용한 능동형 무선 자산 관리 기술이다. 피어-투-피어(peer-to-peer) 패킷 기반 프로토콜을 이용하며, 131KHz 저주파 에서 99.999% 자기 에너지를 이용하여 동작한다.

RuBee 태그는 안테나 및 태그 설계에 따라 수십 cm 에서부터 약 1.5m까지 통신이 가능하며, 자기장을 이용하기 때문에 물이나 금속 등이 있는 환경에서도 통신이 원활하다. 실제로 RuBee는 물 아래에서 24시간 동안 지속적으로 통신을 수행하는 테스트를 통과하였다.

RuBee 태그는 응용 목적에 따라 Dumb RuBee 태그와 Smart RuBee 태그로 구분된다. Dumb RuBee 태그는 고유한 ID만을 포함하고 있는 반면, Smart RuBee 태그는 마이크로 프로세서, 크리스탈 클럭, 배터리 그리고 선택적으로 센서 및 SRAM을 포함한다.

RuBee는 2006년 6월에 IEEE P1902.1 프로젝트 표준(IEEE Standard for Long Wavelength Wireless Network Protocol)으로 승인되어 2009년 3월 IEEE에 제정되었다. IPv4 어드레스를 사용하여 실시간 태그 추적 프로토콜을 제공하기 때문에, 각각의 RuBee 태그는 단독으로 사용될 수 있을 뿐만 아니라 일반적인 서치 엔진을 사용하여 World Wide Web 상에서 모니터링 될 수도 있다. RuBee 태그는 비교적 데이터 전송 속도가 낮으면서 저비용, 저전력이 중요한 응용 분야, 특히 물이나 금속 등이 주위에 있어 전자파

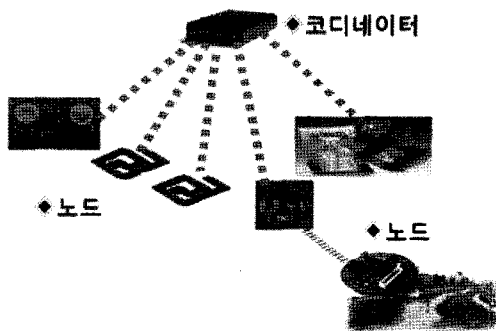


(그림 1) 난환경에서 RuBee 태그 적용의 예[6]

로는 통신이 어려운 상황에 맞닿은 응용 분야에서 이용될 것으로 기대되고 있다.

3.3 기타

KETI는 2008년 11월 자기장 통신 포럼을 구성하고 포럼 내에서 자기장 통신 네트워크 물리규격(MFN PHY)과 자기장 통신 네트워크 매체접속 (MFN MAC) 규격을 완성하였다. 현재 KS 표준을 진행 중이며 2009년 6월에 ISO/IEC JTC1 SC6에 NP를 제출할 예정이다. MFN은 능동형 자기장 통신 방식으로, 저주파 대역(30KHz ~ 300KHz)를 이용하여 수 Kbps 무선 네트워크를 구성한다. MFN에 참여한 기기들은 자기장 통신 코디네이터와 자기장 통신 노드로 나뉘며, 네트워크 확장을 위한 릴레이 통신이나 피투피(peer to peer) 통신을 위해 노드간 통신도 가능하다. 이는 무선 센서 네트워크를 비롯하여 홈 네트워크 및 건설, 농업, 교통 등 응용 서비스 분야에 적용될 수 있다.



(그림 2) KETI의 자기장 통신 네트워크 MFN 개념도

Georgia Institute of Technology에서는 무선 지중 센서 네트워크(Wireless Underground Sensor Networks: WUSN)에 관한 연구를 진행 중이다. 5계층의 WUSN 프로토콜 스택을 제안하고 있으며, 그 중 물리 계층에서는 2.4GHz 대역 전자파 통신을 기본으로 지중 무선 통신 채널의 특징 분석 및 실험을 진행하였다. 그런데 이러한 높은 주파수의 전자파 신호는 토양 물질 및 물에 의한 감쇄 때문에 통신 거리 확보가 이루어지지 않으므로 지중 환경에서 적합하지 않다는 결론을 내렸다. 그리고 대안으로 지진파와 자기장 유도 방식을 제안하였다[7].

4. 자기장 통신 기반 센서 네트워크의 응용 분야

4.1 지반 및 지중 감시

2009년 4월 2일, 일본 홋카이도의 한 골프장에서 골프장 바닥이 빠지면서 생긴 구멍에 사람이 빠져 숨지는 사고가 발생하였다. 땅 위에서 보기에는 문제가 없어 보였으나 잔디 밑의 흙이 지하수에 침식 당해 공동이 생겼을 것으로 추정되고 있다[8]. 이와 같은 지반 침하는 골프장 및 각종 운동 경기장 뿐만 아니라 연약 지반, 특히 바닷가 등을 메워 공항을 비롯한 신도시를 건설한 곳에서 문제시 되고 있다.

그런데, 지반 및 지중은 토양 구성 물질이 다양할 뿐 아니라 물, 식물 등 변화 요인들이 일정하지 않기 때문에 높은 주파수의 전자파를 이용한 무선 통신으로는 통신이 거의 이루어지지 않고 있는 상황이다. 따라서 매질 영향을 거의 받지 않으며 통신 채널이 단순한 자기장 통신 기반의 센서 네트워크가 지반 및 지중 감시에 적합하다. 더 나아가 농업 등과 같이 토양의 특성에 영향을 받는 분야에서 자기장 통신 센서 네트워크를 이용하여 토양을 관리하는데 이용할 수 있다.

4.2 시설물 및 사물 관리

인텔은 자신들의 반도체 제조 라인에 진동 감지 센서 네트워크를 시범적으로 설치 운영하고 있다. 반도체 장비의 진동을 막기 위하여 사용되는 베어링들의 상태를 모니터링 하여, 반도체 공정의 효율을 높이기 위함이다[9]. UC Berkeley는 금문교 모니터링을 위한 센서 보드를 제작하여 다리 곳곳에 설치, 다리의 상태를 무선 네트워크를 통하여 모니터링 하였다[9]. 건축물 및 시설, 사물의 모니터링을 통하여 마모, 변형 등으로 인한 상태 변화를 파악함으로써 유지 비용을 줄이고 붕괴 등으로 인한 대형 사고를 예방하는 것이다.

시설물 및 사물 자체의 물질, 그리고 시설물 및 사물이 설치/보관되어 있는 장소의 각종 금속 물질 및 수분은 전자파를 이용한 통신에 많은 영향을 끼치게 된다. 따라서 수분을 비롯하여 물질의 종류 및 구성 변화에 영향이 적은 자기장 통신 기반 센서 네트워크가 안정적으로 시설물 및 사물 관리를 가능하게 할 것이다.

4.3 지하 매설물 관리

환경부의 ‘2006년 상수도 생산원가 및 누수율’ 자료에 따르면 우리나라 연간 상수도 누수율이 약 14.3%로 연간 5,800억원 가량 비용이 낭비되고 있다. 가스관 파손에 의한 대구 지하철 가스 폭발 사고는 사망 101명, 부상 202명, 재산 피해 2500억의 피해를 가져왔으며, 온산항 부두 지하 매설 송유관 파열 사고는 온산항 앞바다의 오염을 가져오기도 했다. 이와 같은 지하 매설물의 부식 및 파손에 의한 사고는 단순히 매설물 내 자원 손실에 그치는 것이 아니라 대형 사고를 일으킬 수 있다.

전자유도, 음파, 영구 자석, 전자기 코일 방식 등을 이용하여 매설물의 위치를 파악하는데 이용하고 있으나 이들 대부분은 데이터 통신 능력이 거의 없으며, 매설물의 종류 및 모양, 매설 깊이 및 주변 환경 등 다양한 변수에 의하여 제

약을 받고 있다. 따라서 금속, 물 주변 등에서도 통신 성능이 우수한 자기장 통신을 기반으로 센서 네트워크를 적용하여 지하 매설물 관리에 사용하면, 사전 감시에 의한 대형 사고 및 환경 오염 예방, 국가 예산 낭비 방지 효과가 발생할 것이다.

5. 결론

무선 센서 네트워크를 위하여 무선 개인 영역 네트워크 표준인 ZigBee, Bluetooth, UWB, 및 RFID 등이 이용되고 있다. 그런데 이러한 통신 기술들의 대부분은 높은 주파수의 전자파 통신이기 때문에 금속 및 물 등이 있는 난환경에서 통신 성능이 낮아지는 문제점이 있다. 이를 극복하기 위한 기술로 근거리장 영역에서의 저주파 자기장 통신 기술을 제안하였다.

저주파 자기장은 금속이나 물 등의 영향을 거의 받지 않기 때문에 난환경에서도 통신이 가능할 뿐만 아니라 주파수가 낮기 때문에 저전력, 저비용 구현이 가능하다. 현재 RuBee 및 MFN 등 자기장 통신 기술에 대한 표준 작업 및 연구가 진행되고 있다. 자기장 통신 기반 센서 네트워크 기술은 기존의 유무선 센서 네트워크 응용 분야 뿐만 아니라, 열악한 통신 환경으로 인하여 통신 기술이 적용되지 못하였던 분야까지 수용함으로써, 센서 네트워크 및 관련 산업을 확장시킬 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] ISO/IEC JTC 1 SGSN 센서네트워크 국제 표준화 워크숍, April 2009.
- [2] 김선희, 원윤재, 임승욱, “저주파 대역을 이용한 센서 노드의 물리 계층 연구”, 대한전자공학회 하계종합학술대회 제31권 제1호, pp167~168, 2008.

- [3] Ahongmin Pei, Zhidong Deng,Bo Yang, Xiaoliang Cheng, "Application-Oriented Wireless Sensor Network Communication Protocols and Hardward Platforms: a Survey", Industrial Technology 2008. ICIT 2008. IEEE International Conference, pp 1~6, April 2008.
- [4] 전자과강도측정기준 정보통신부고시 제 2000-92호 전파법 제47조의2제1항의 규정
- [5] Finkenzeller,RFID Handbook, pp112~113, Wiley, 2003.
- [6] <http://www.RuBee.com>
- [7] Ian F. Akyildiz, Erich P. Stuntebeck, "Wireless underground sensor networks: Research challenges", Ad hoc Networks (Elsevier), in press, June 2006.
- [8]<http://www.segye.com/Articles/NEWS/INTERNATIONAL/Article.asp?aid=20090403000832&subctg1=&subctg2=>, 세계일보 2009.04.03
- [9] 강정훈, 유준재, 윤명현, 이민구, "센서 네트워크 및 애플리케이션 기술 동향", 전자공학회지 제32권 제7호, pp786~799, 2005.

저자약력



김 선 익

2000년 이화여자대학교 전자공학과(학사)
 2002년 이화여자대학교 정보통신학과(석사)
 2002년~2005년 ETRI / 연구원
 2005년~현재 KETI / 선임 연구원
 관심분야 : 무선센서네트워크, 무선통신, 자기장통신
 이 메 일 : elecsunny@keti.re.kr



원 윤 재

2000년 고려대학교 산업공학과(학사)
 2002년 고려대학교 산업시스템공학과(석사)
 2002년~현재 KETI / 선임 연구원
 관심분야 : 센서네트워크, 자기장 통신, 센서IT융합 시스템
 이 메 일 : yjwon@keti.re.kr



임 승 옥

1997년 건국대학교 전자공학과(학사)
 1999년 건국대학교 전자공학과(석사)
 2005년 건국대학교 전자정보통신공학과(박사)
 1999년~2000년 성미전자 / 연구원
 2001년~현재 KETI / 책임 연구원
 관심분야 : 무선 센서 네트워크, 무선 통신, 자기장 통신
 이 메 일 : solim@keti.re.kr