

USN 센서노드 기술 동향

Technical Trend of USN Sensor Node

텔레매틱스, RFID/USN, GIS
융합기술 동향 특집

김지은 (J.E. Kim)	USN전송기술연구팀 연구원
김세한 (S.H. Kim)	USN전송기술연구팀 선임연구원
정운철 (W.C. Jeong)	USN전송기술연구팀 선임연구원
김내수 (N.S. Kim)	USN전송기술연구팀 팀장

목 차

-
- I. 개요
 - II. 센서노드 구성 요소
 - III. 센서노드 전송 기술
 - IV. 국내외 센서노드 기술 동향
 - V. 센서노드 기술발전 전망
 - VI. 결론

인간과 사물, 컴퓨터간의 유기적인 관계 및 통신을 위하여 유비쿼터스 센서네트워크 기술은 다양한 분야에서 응용 및 기술 개발이 이루어지고 있다. 센서노드는 유비쿼터스 센서네트워크 시스템에서 가장 기본적인 구성 요소로 핵심 요소 기술에 대한 IPR 확보 및 센서노드의 소형화, 지능화 기술 개발에 노력하고 있다. 이에 센서노드의 구성 요소와 센서노드 전송 기술에 대한 기술 동향과 현 상용화 기술과 제품에 대한 국내외 동향 및 기술 전망에 대하여 살펴보고자 한다.

I. 개요

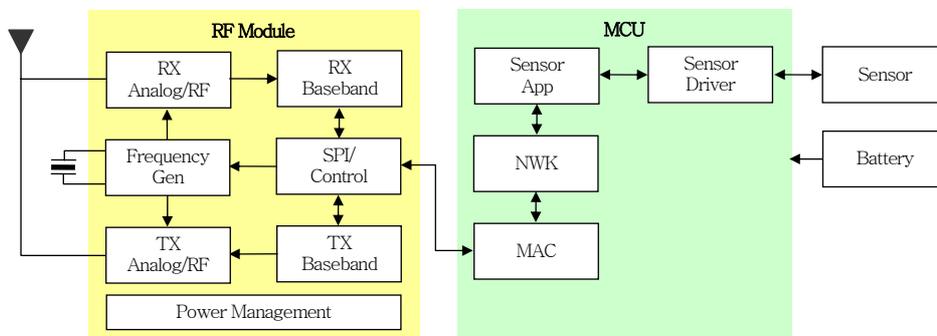
최근 IT 패러다임은 인터넷 중심에서 인간과 사물, 컴퓨터가 융합되는 기술로 급속히 전환중에 있다. 이를 위해 인간과 사물간, 사물과 사물간 네트워크화를 위해서 RFID/USN 분야가 핵심 IT 산업군으로 형성할 것으로 전망되고 있다. USN은 어느 곳이나 부착된 태그와 센서로부터 사물 및 환경 정보를 감지, 저장, 가공하여 인터넷을 통해 전달하는 기술로 거의 모든 인간 생활에 활용하는 것을 목적으로 한다. USN 서비스의 경우, 현재는 건물의 안전과 같은 공공의 목적, 적지 경찰과 같은 군용 목적, 생태계나 환경오염의 관측과 같은 과학적인 목적에 주로 응용 서비스 기술이 개발되고 있으나, 점차 막내 안전, 편리성, 나아가서는 인간의 생체에 응용될 수 있는 상황 인지의 지능형 서비스로 발전할 전망이다. 또한 농업, 광업, 어업, 상업, 건설 등 산업 전반의 생산공정에 USN을 활용함에 따라 원자재 관리, 생산 자동화 및 상품이력 관리로 생산성 및 효율성 증대에 기여하고 환경, 기상, 생태계, 재해 예측 및 방재, 시설제어, 교통정보 및 제어, 물류, 가정/사무자동화, 의료, 복지, 교육, 방범, 보안 등 광범위한 분야에 USN의 적용으로 국민의 복지 수준이 향상될 것으로 기대되고 있다. USN 산업은 2010년까지 기기분야에서 10조 7,509억 원, 서비스 분야에서 4조 7,402억 원을 유발하여 총 15조 4,912억 원의 총생산 유발 효과를 가질 전망이며, USN 산업은 2010년까지 기기분야에서 6만 3천 명, 서비스분야

에서 7만 명의 고용을 창출하여 총 13만 3천 명을 창출할 전망이다. 또한, RFID 산업은 2010년까지 2조 8,544억 원, USN 산업이 5조 9,492억 원을 창출하여 총 8조 8,036억 원의 부가가치를 유발할 것으로 전망된다. 현재 WSN이라는 이름으로도 불리는 USN은 미국 UCB, UCLA, USC, MIT, 카네기 멜론, 유럽 IST, 네덜란드 필립스, 일본 동경대 등의 주요 기관 및 학교를 중심으로 활발하게 연구되고 있으며, 특히 우리나라는 IT839 전략의 3대 인프라 중의 하나로 선정하여 다양한 기술개발을 추진하고 있다.

II. 센서노드 구성 요소

센서노드는 USN을 구성하는 가장 기본적인 요소로 기존 RFID 기술에 비하여 가장 큰 장점은 센서로부터 주위 환경을 모니터링 하면서 최적의 네트워크를 구성 및 기존의 유무선 통신 기술을 이용하여 사용자가 원하는 네트워크 구성이 가능하다는 것이다.

센서노드의 구성은 주로 제어부(MCU), 무선통신부, 센서부 및 전원부로 구성되며, 현재 선보여지고 있는 응용 서비스에서의 센서노드는 다수의 노드를 광범위한 환경에서 분산 배치하여 이용되므로 노드의 전원을 자주 교환하는 것이 어렵기에 저전력 센서노드 개발이 요구된다. 또한 응용 서비스에 따라 노드의 설치 용이성이 고려되므로 센서노드의 소형화와 경량화가 필수적이다. (그림 1)은 센서노드의 기본 구성 요소를 보인 것이다.



(그림 1) 센서노드 구성 요소

1. 제어부(MCU)

센서노드의 MCU는 노드에 부착된 센서의 데이터 처리 및 외부 인터페이스를 위한 SPI, UART, I2C 등의 주변장치, timer, power control 등으로 구성된다. 이러한 주변 인터페이스들은 MCU 부하를 최소화하도록 제공되어야 하며 대량의 데이터를 발생시키는 ADC/DAC 인터페이스 최적화를 지원해야 한다.

MCU는 센서노드에 부착된 센서의 종류 및 노드의 사용 목적에 따라 다양한 성능의 MCU를 필요로 한다. 따라서, 사용되는 MCU 구조가 호환성을 유지하면서 탄력적인 구조를 가지고 있어야 하며, 기술의 소형화, 집적화에 따라 소형 메모리가 내장된 저전력 초소형 MCU를 이용하는 기술이 발달되고 있다.

기존에 사용된 8bit MCU에서 센싱된 단순 데이터를 인식 및 감지하는 것이 아닌, 데이터 용량이 큰 영상 정보의 처리, 음성 신호 처리에 대한 분석을 가능하게 하기 위한 고성능 16~32bit의 저전력 MCU 개발이 이뤄지고 있으며, MCU와 무선통신부를 하나의 칩으로 구성하는 SoC 단일 칩 솔루션 개발로 전체 통합 칩의 크기 또한 계속 줄어들 것으로 예상된다.

2. 무선통신부(RF/Modem/MAC)

무선통신부는 송수신 형태 및 주파수, 기능에 따라 다양한 형태로 이루어지고 있으며, IEEE 802.15.4-2006 표준과 ZigBee를 기반으로 제안된 주파수 대역은 868~868.8MHz 대역의 유럽 주파수 대역과 902~928MHz 대역의 북미 주파수 대역, 그리고 ISM 밴드로서 세계 공용으로 사용 가능한 2.45GHz 대역으로 구분하고 있다. 무선통신부의 RF는 direct conversion 또는 Low-IF 구조로 송수신 방식을 제안하여 저전력을 위한 회로 설계로 시스템 구동이 이루어지며, modem에서는 BPSK, O-QPSK, ASK 등 다양한 변/복조 방식의 지원 및 동기 알고리즘을 구현하고 있다. MAC의 경우, OS 독립적인

스케줄러 관리 및 RF와 modem의 레지스터 세팅 기능을 제공한다. 현재, 무선통신부에서의 low duty cycle 적용 및 wake-up circuit 기술 등의 센서노드의 전류 소모를 감소하기 위한 저전력 기술 개발이 진행되고 있다.

3. 센서부(Sensor)

센서는 인간의 오감을 대신하여 물리계 또는 환경계의 현상을 정량적으로 측정하여 정보를 검출하는 소자 및 시스템으로서 센서노드의 중요한 구성요소이다. 센서네트워크의 다양한 응용 영역에 따라 일체식의 다양한 종류의 센서가 필요하므로 온도, 열, 습도, 가속도/지진강도, 음향, 지자기, 위치(GPS) 등과 같은 센서 중 선택적으로 센서노드에 장착할 수 있어야 하며 크기, 전력소모의 문제점과 다중 이종 센서를 집적할 수 있는 기술이 요구된다.

4. 전원부(Battery)

배터리 기술은 센서노드에 장기적으로 안정적인 전력을 공급하여 소자의 원활한 구동을 가능하게 해주는 핵심부품 기술로, 초기 배터리 기술은 폐기 가능한 1차 전지가 주로 사용되었으나, 새로운 휴대통신 단말기의 수요 증가에 따라 1차 전지뿐만 아니라 자가 충전 기능이 추가되는 형태의 태양전지나 무선 급전의 방식 등의 다양한 기술들이 소개되고 있다.

Ⅲ. 센서노드 전송 기술

센서노드를 위한 전송기술은 안테나, RF와 modem을 포함하는 물리계층 및 MAC 기술로 이루어진다. 현재 가장 널리 사용되는 규격은 IEEE 802.15.4-2003/2006이다. 본 절에서는 LR-WPAN 규격인 IEEE 802.15.4-2006의 물리계층(PHY)과 MAC 계층에 대해 살펴보고, 이외의 센서네트워크용 MAC 등에 대하여 살펴본다.

1. 물리계층(PHY) 기술

기존 무선 랜과 비교하여 WPAN이 갖는 가장 큰 특징은 배치된 후에 노드의 수명이 수 개월에서 길게는 수 년 동안 지속되어야 하기 때문에 극도로 효율적인 방법의 배터리 관리 기술이 필요하다는 점이다. 알려진 바와 같이, 송신 전력은 자유 공간에서 거리의 제곱에 비례하여 손실되므로 통신 거리의 증가에 따른 전송 에너지 소모는 지수적으로 증가한다. 이는 노드에서 사용되는 에너지 중 통신에서 소비되는 것이 지배적임을 의미한다. 전송 에너지의 효율적인 사용을 위하여 센서네트워크에서는 긴 거리의 통신을 지양하고 짧은 통신거리로 여러 번에 걸쳐 목적지에 정보가 전달되는 multi-hop 형태의 중계 네트워크를 구성하는 게 바람직하다.

또한, 전송/수신을 하지 않는 동안은 트랜시버를 비활성화시켜 전력을 아끼고, 활성화 시간 대비 비활성화 시간을 늘려 배터리로 제한된 노드 수명을 최대한 연장하기 위한 방법을 사용할 수 있다. 이러한 duty cycle을 통한 전송 에너지 효율 향상은 IEEE 802.15.4-2006과 여러 가지 MAC에서 연구되어 왔다.

무선 환경에서의 라디오 통신은 주파수 간섭에 의해 그 성능이 크게 좌우된다. 동일 네트워크에서 가용 주파수 대역을 다수의 사용자가 공유하여 사용함으로써 초래되는 사용자간 간섭신호뿐만 아니라 동일 주파수 대역에서 다른 애플리케이션 (혹은 규격) 사용자와의 공존으로 인한 간섭신호는 수신 신호의 감도 저하를 초래한다. 이러한 라디오 전파(propagation) 환경에 따른 수신신호의 품질 저하는 PHY와 MAC에서 풀어야 할 과제 중의 하나이다.

IEEE 802.15.4-2006 물리계층(PHY)은 다음과 같은 태스크를 수행한다[1].

- Active/Inactive시 무선 전송으로 인한 에너지 손실을 최소화하기 위한 트랜시버의 Activation/Inactivation
- 현재 사용하고 있는 채널의 에너지 검출
- 수신 패킷의 LQI
- CSMA-CA를 위한 CCA
- 채널 주파수 선정
- 데이터 전송 및 수신

IEEE 802.15.4-2006에서는 868/915MHz 대역과 2.45GHz 대역, 두 가지의 전송 대역을 사용하도록 정의하고 있다. 868/915MHz 대역은 BPSK 변조 혹은 O-QPSK 변조 후 DSSS 방식으로 확산하는 방식과 BPSK나 ASK 변조를 사용하는 PSSS 확산 방식을 사용한다. 2.45GHz은 O-QPSK 변조 후 DSSS 확산 방식을 사용한다. 868/915MHz 대역은 각각 유럽 및 북미에서 주로 사용하는 주파수 대역으로 2.45GHz 대역보다는 상대적으로 간섭 신호 특성이 좋다고 할 수 있다. 한편, 2.45GHz 대역은 일부 국가를 제외하고는 세계적으로 사용이 허가되고 있는 주파수 대역이다. 따라서 언급된 바와 같이 여러 애플리케이션이 밀집되어 있다는 단점을 가 지나 국가별, 지역별 주파수의 사용 제한이 상대적

〈표 1〉 IEEE 802.15.4 주파수 대역별 규격

PHY(MHz)	주파수 대역(MHz)	변조방식	Bit Rate(kb/s)	Symbol Rate(ksymbol/s)
868/915	868~868.6	BPSK	20	20
	902~928	BPSK	40	40
868/915 (Optional)	868~868.6	ASK	250	12.5
	902~928	ASK	250	50
868/915 (Optional)	868~868.6	O-QPSK	100	25
	902~928	O-QPSK	250	62.5
2450	2400~2483.5	O-QPSK	250	62.5

<자료>: IEEE 802.15.4-2006

으로 적다는 장점을 갖는다.

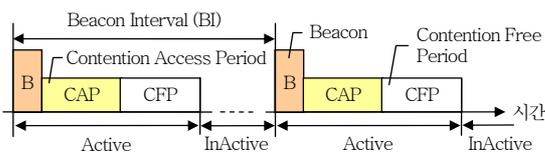
IEEE 802.15.4-2006은 송신 신호의 전력소모를 줄이기 위하여 기본적으로 스프레드 스펙트럼을 사용한다. 또한 2.45GHz 대역에서는 송신 신호 주파수 대역의 급격한 위상 변화를 줄여 저전력 성능을 향상시키기 위하여 O-QPSK를 사용한다. 이들 주파수 대역별 변조 방식, 전송률 등을 <표 1>에 정리하였다.

2. MAC 계층 기술

무선 시스템에서는 수신도 송신처럼 에너지를 소모한다. 이러한 전력소모는 배터리를 전원으로 장시간 동작해야 하는 센서망에서는 치명적이다. 무선 시스템 입장에서 에너지 소모를 야기하는 요소를 살펴보면 다음과 같다.

- 충돌(Collision): 2개 이상의 패킷이 한 채널에 동시에 전송되어 발생하여 전송 패킷에 오류가 발생하여 재전송으로 인한 쓸데없는 에너지 낭비 초래
- Overhearing: 다른 노드로 가는 패킷을 쓸데없이 수신하여 에너지 낭비 초래
- Idle Listening: 아무도 송신중이 아닌데도 쓸데없이 수신 대기하면서 에너지 낭비 초래
- Protocol Overhead: RTS/CTS/SYNC 등의 제어메시지 송수신에 의한 에너지 낭비 초래

이러한 에너지소모 요소를 고려하여 센서노드용 MAC은 자신이 송신하거나 수신할 때만 깨어나고, 나머지 시간에는 sleep하여 전원을 절약하는 기능을 기본적으로 지원한다. (그림 2)처럼 비컨 메시지를 통해 Active/InActive 구간의 길이와 CAP, CFP 등을 설정하게 된다. InActive 기간이 길고, beacon interval이 길수록 노드가 sleep하는 시간이 길어지



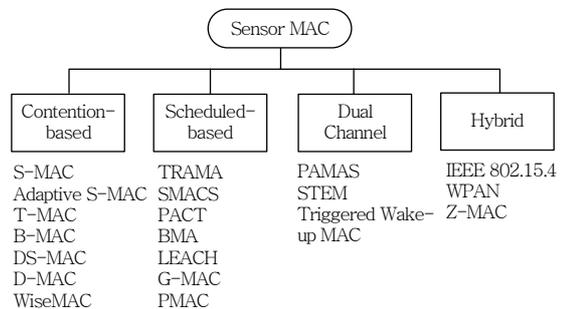
(그림 2) IEEE 802.15.4의 사이클

기 때문에 노드의 수명은 늘어난다. 하지만 패킷 전달에 필요한 시간이 늘어나고, 실시간으로 급하게 전송해야 하는 데이터의 경우 불리할 수 있다.

현재 센서네트워크를 위해 제안된 MAC은 (그림 3)에서와 같이, CSMA/CA를 활용한 경쟁기반 방식, TDMA를 활용한 스케줄 기반 방식, 여러 개의 채널을 활용하는 방식, 여러 가지 방식을 혼합해서 사용하는 하이브리드 방식 등으로 분류할 수 있다.

하지만 이렇게 다양한 MAC 기술의 공통점은 저전력을 위한 기술을 내포하고 있다는 점이다.

대부분의 경쟁기반 MAC은 전력소모를 고려하지 않은 MACA를 개량하여 idle listening이나 over-hearing을 회피하도록 한다. 이러한 방법으로는 고정 및 가변 duty cycle을 가지는 방법과, 데이터 채널과 별도의 제어채널을 사용하는 방법, 채널 감지 시간을 고려하여 긴 프리앰블을 미리 전송하는 방법 등이 사용된다. 다음은 센서네트워크에 사용되는 주요 MAC들의 특징이다.



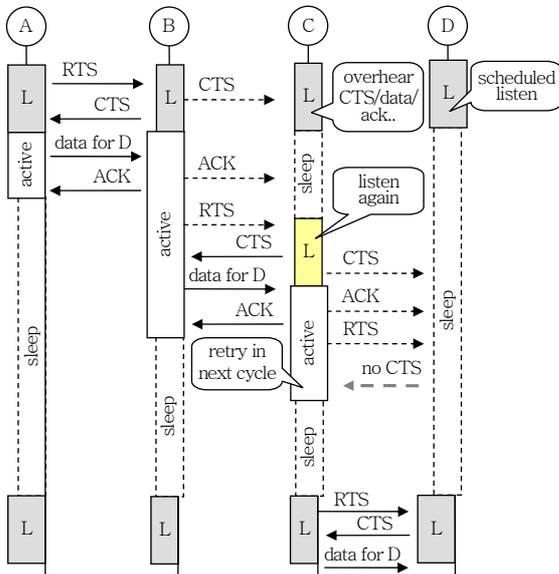
(그림 3) 센서네트워크 MAC 분류

가. S-MAC

Single channel에 사용하며, 사이클 기반(on/off 반복), on 구간에서의 RTS/CTS에 의한 경쟁기반 프레임 전송을 특징으로 하지만 휴간 지연이 단점이며, 노드간 사이클 동기 설정이 필요(virtual clustering 형성)하다.

나. S-MAC with Adaptive Listening

가변 active 구간의 길이 제공으로 휴간 지연을

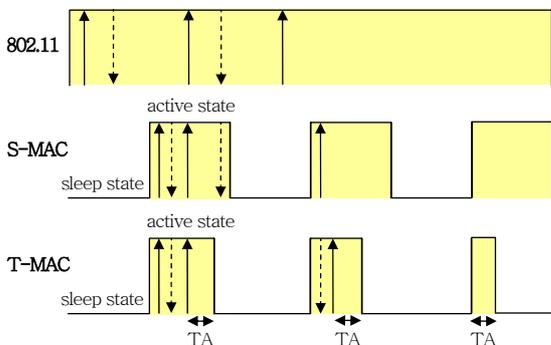


(그림 4) S-MAC with Adaptive Listening

감소시켜 기존 S-MAC의 단점을 보강하였지만 active 구간의 증가로 인해 전력 소모가 다소 증가하고, 2홉 이상에 대해서는 (그림 4)와 같이 지연이 존재한다[2].

다. T-MAC

S-MAC을 기반으로 하여 만들어진 MAC이기 때문에 S-MAC이 가지고 있는 특성을 그대로 가지고 있다. Idle listening 시간을 최소화하기 위하여 각 노드는 일정시간 TA(Timeout)동안 아무런 트래픽이 없다고 감지하면, 규정된 listen 구간의 만기 이전이라도 미리 sleep mode로 천이하는 것을 허용



(그림 5) T-MAC과 S-MAC의 Duty Cycle

함으로써 duty cycle이 트래픽 상황에 따라 적응하면서 감소될 수 있는 특징이 (그림 5)와 같이 보여지고 있다[3].

라. DSMAC

SMAC을 기반으로 하며 트래픽 부하에 따른 duty cycle doubling 기능을 제공함으로써 지연시간을 단축한다. 지연시간 및 duty cycle 정보를 수납하기 위하여 SYNC 패킷 및 데이터 패킷의 정보 영역이 증가하는 단점을 갖는다[4].

마. DMAC

SMAC에서는 다음-다음 홉으로 패킷을 중계할 때 해당 수신 노드가 overhearing 영역 밖에 있어 sleep하기 때문에 전달이 중지되는 DFI 문제, 즉 SMAC에서의 early sleeping 문제가 발생한다. 물론, 이를 개선한 adaptive S-MAC에서도 여전히 1/2 사이클 지연이 있다. T-MAC도 FRTS를 사용하여 이를 개선하지만, 겨우 추가된 1개의 홉에서만 지연을 단축시킬 뿐이다. DMAC에서는 이러한 단점을 해결하여 계속 전달되도록 하여 지연시간을 단축시킨다. 이를 위하여 멀티홉 체인 환경에서 duty cycle을 적응하도록 한다. 또한 미리 스케줄이 설정되어 있어 RTS/CTS 절차도 없다. 하지만 데이터 패킷의 신뢰성 있는 전달을 위한 ACK 프레임은 사용된다[5].

바. B-MAC

RTS/CTS, ACK 등의 제어기능은 상위계층에서 수행하도록 하여 가급적 간단하게 구현하였으며, idle listening에 의한 전력소모를 감소시키기 위하여 sleep period 보다 긴 프리앰블 구간을 샘플링하는 preamble sampling 기법을 사용하는 LPL 방법을 사용한다. 하지만, hidden terminal 문제해결이나 multi-packet 전송기능, 프레임 분할기능, 그리고 동기화 과정은 B-MAC에서 지원하지 않으므로 필요한 경우 S-MAC이나 T-MAC은 상위계층에서

수행되어야 한다. 또한, 주기적인 사이클 동기과정이 없기 때문에 listening start time이 고정되어 있지 않다. 또한, 이러한 B-MAC은 자체의 RTS/CTS 기능과 프레임 분할 기능이 없으므로 상위 S-MAC이나 T-MAC 등의 다양한 추가 MAC을 사용한다[6].

사. WiseMAC

각 노드의 idle listening에 의한 전력소모를 감소시키기 위하여 이웃노드가 송신 직전에 송신하는 프리앰블이 있는지 주기적으로 들어보는 프리앰블 샘플링 기법을 사용하는 것으로써 B-MAC에 영향을 주었다. 이 MAC을 사용하는 송신노드는 자신의 데이터 패킷을 보내기 전에 미리 긴 프리앰블을 주변 노드가 듣도록 송신함으로써 이웃 수신노드에게 패킷 전송이 임박했음을 통보한다. 이 통보는 주변의 노드들이 각자의 정해진 시간마다 깨어나 채널을 샘플링할 때 감지될 수 있도록 한다. 만약 이 프리앰블에 의해 채널이 busy하면 계속 active 상태를 유지하면서 패킷의 수신을 완료한 후 sleep 한다. 이웃 노드들이 이웃노드의 wake-up 스케줄을 알아야 하며, 여전히 hidden node 문제를 갖는다[7].

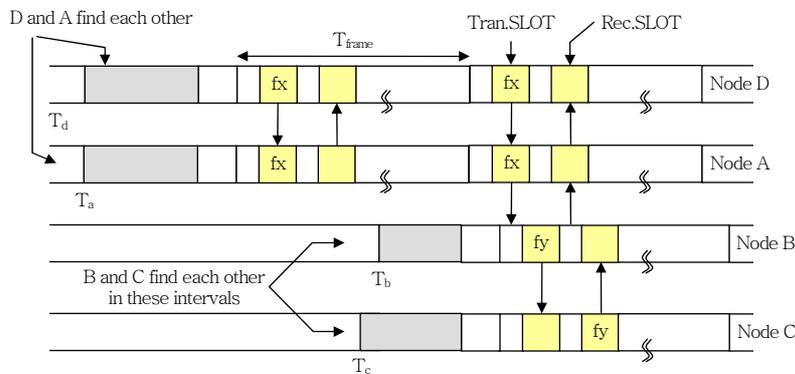
아. TRAMA

SMAC에 비하여 지연시간은 크지만, 최대 스루풋은 경쟁방식의 SMAC에 비하여 높다. 또한, SMAC

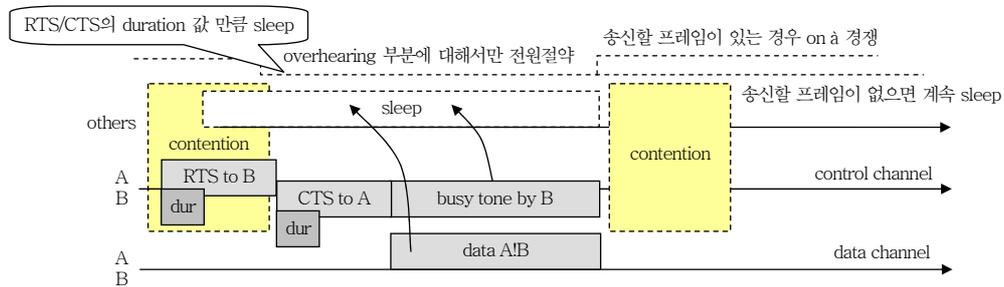
은 duty cycle에 의해 전원을 절약하지만, TRAMA는 트래픽 부하에 따라 전원절약이 결정된다. 또한, TRAMA의 장점으로는 sleep하는 시간이 길어 전력소비를 줄일 수 있고 CSMA 기반의 프로토콜 보다 충돌을 줄일 수 있다. 단점으로는 transmission slot이 random access 기간보다 7배 이상으로 설정되는데, 모든 노드들은 반드시 random access 기간에는 깨어나야 하므로 적어도 12.5% 이상의 duty cycle을 가진다고 할 수 있다. 이 비율은 높은 편이기도 하며, 게다가 한 타임슬롯에 대하여 모든 노드들이 2홉 이웃노드의 우선순위를 반복하여 계산을 하므로 파라미터들이 시간마다 변하게 되는 단점을 가지고 있다[8].

자. SMACS

주파수 분할 및 TDMA를 혼용한 MAC이다. 즉, (그림 6)에서 보이는 바와 같이, 이웃노드간에 서로를 탐색하여 특정 주파수 채널과 타임슬롯을 결정하여 서로 간의 단방향 링크를 개설하여 수신부에서의 충돌을 없앤다. 주파수 채널은 랜덤하게 선택되며 타임슬롯은 충돌이 없는 슬롯이 얻어질 때까지 탐색한다. 이후 수신부는 매 타임 프레임별로 해당 타임슬롯에서 깨어남으로써 전력소모를 줄인다. 또한 두 홉 이상의 주변 노드와 통신 충돌(contention)을 줄이기 위하여 두 노드간 통신은 임의의 주파수(random frequency)를 사용하는 주파수 분할 다중 접속(FDMA) 방식을 같이 사용한다[9].



(그림 6) SMACS 동작



(그림 7) PAMAS의 Overhearing 회피

차. PAMAS

MACA의 RTS/CTS 방식과 별도의 제어채널상에서 송신되는 busy tone 방식을 결합한 방식으로, overhearing하는 단말은 송신노드의 RTS에 수납된 duration 정보를 참조하여 그 기간 동안 sleep 상태로 천이함으로써 전력소모를 감소하는 방식이다(그림 7) 참조). RTS/CTS 및 busy tone은 제어채널로 전송되고, 데이터는 데이터채널 상에서 전송된다[10].

은 IEEE 802.15.4-2006과 ZigBee를 표준으로 사용하고 있으며, 상용 제품의 대부분은 2.45GHz 주파수를 사용하고 유럽의 경우 868/915MHz 주파수를 부분적으로 사용하고 있다.

가. MCU

센서노드에 적용되는 저전력 MCU의 경우, Atmel, ARM, Motorola, Microchip, TI 등에서 개발되고 있다. 기존 MCU 시장에서는 Microchip의 PIC 계열과 Intel의 8051 core가 많은 부분 사용되었으나, 최근에는 Atmel의 AVR ATmega 시리즈와 TI의 MSP 시리즈가 사용되고 있다. 센서노드 응용에 요구되는 고성능 MCU 성능과 복잡한 연산처리와 운영체제를 사용하기 위하여 SRAM, EEPROM, Flash Memory를 MCU에 내장하여 외부에 별도의 메모리가 필요 없도록 제품 개발이 이뤄지고 있다.

국내에서는 ETRI와 ADchips가 공동으로 USN용 고성능 32bit MCU 시제품을 개발하였으며, 이 칩은 메모리의 성능을 향상시켜 다양한 응용서비스

IV. 국내외 센서노드 기술 동향

1. 국내외 칩 기술 동향

현재 센서노드의 구성 관련 칩은 크게 MCU, RF transceiver로 나눌 수 있으며, RF transceiver의 경우 SoC와 single-chip 형태로 상용화 제품이 출시되고 있다. 현재 센서노드의 상용 제품의 다수 칩

<표 2> 상용화 MCU 비교

MCU	ETRI(32bit) TMA2560	Atmel(8bit) ATmega128	Atmel(8bit) ATmega2560	Atmel(32bit) AT91SAM7S256	MicroChips(8bit) PIC18F8722	MicroChips(16bit) dsPIC33FJ256GP710	TI(16bit) MSP430F1610	CoreRiver GC89C591A0
Max. OF	50MHz	16MHz	16MHz	55MHz	40MHz	40MHz	16MHz	40MHz
Flash	256KB	128KB	256KB	256KB	128KB	256KB	120KB	62KB
SRAM	64KB	8KB	8KB	64KB	4KB	32KB	10KB	2KB
EEPROM	4KB	4KB	4KB	No	1KB	No	No	2KB
ADC	4Ch/10bit	8Ch/10bit	8~16Ch/10bit	8Ch/10bit	16Ch/10bit	32Ch/12bit	8Ch/12bit	8Ch/10bit
DAC	1Ch/10bit	No	No	No	No	Codec	12bit	No
Comparator	1Ch	1Ch	1Ch	No	2Ch	No	1Ch	No

<자료>: ETRI, 2006.

에 적용이 가능하리라 기대된다. <표 2>는 센서노드에 사용되고 있는 MCU의 상용 제품을 비교하였다.

나. RF Transceiver

센서노드의 RF transceiver chip은 IEEE 802.15.4 표준과 ZigBee에 기반하여 SoC와 single-chip 구조에 따른 개발이 이루어지고 있다. SoC의 경우 RF, modem, MAC, MCU가 하나의 칩으로 결합된 구조로 전체적인 사이즈를 줄일 수 있으며, 인터페이스를 효율적으로 관리하기가 가능한 장점이 있으나 제작 공정 및 기간, 비용 문제의 해결이 필요하다. Single-chip의 경우 MCU를 제외한 나머지 블록을 하나의 칩으로 구현하거나 각 블록을 개별적으로 칩화하는 기술로 각 블록의 특성 시험 및 활용성이 다양하나 인터페이스 통합의 문제점이 있다.

현재, IEEE 802.15.4-2006 표준을 따르는 ISM 대역의 2.45GHz RF transceiver 개발이 주를 이루며 대표적인 업체로는 TI의 CC 시리즈와 Jennic, Freescale, Nordic, Ember, Atmel, ZMD, Ubec 등의 업체가 있다. 국내에서는 Radiopuls, Phy-

chips에서 기술 개발이 이루어지고 있다. <표 3>은 RF transceiver의 SoC 및 single-chip 기술에 따른 상용 제품을 비교한 자료이다.

2. 국내외 센서노드 기술 동향

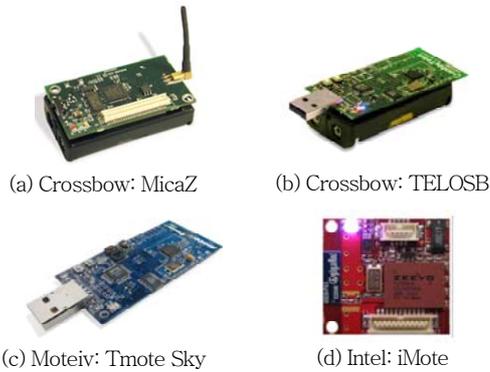
가. 해외 센서노드 기술 동향

미국 버클리 대학에서는 MEMS 기술을 기반으로 하여 저가의 극소형 지능형 디지털 스마트 센서/통신 시스템을 개발하는 smart dust 프로젝트가 진행중이며, UCLA/Rockwell Research Center가 수행한 WINS와 MIT의 uAMP 등에서 센서노드의 하드웨어 구조 및 구현 회로에 따른 전력 소모 개선방안과 소프트웨어 구조 및 power management 방식에 따른 전력 소모 개선 방법을 연구하고 있다. 카네기 멜론 대학에서는 센서노드에 초소형 스마트 안테나를 적용한 스마트 센서 DVB를 개발하였으며, 800MHz 대역의 스마트 센서 DVB는 2개의 안테나를 적용하여 SNR을 개선하였고, 신호수신시 신호의 RSSI를 측정하여 안테나를 선택하는 angle diversity 기법을 사용하였다. 주요 센서노드 개발품에는

<표 3> 상용화 RF Transceiver 기술 비교

RF Transceiver System on Chip	TI CC2420	TI CC2430	TI CC2450	Jennic JN5121	Ember EM250	Freescale MC13192	RadioPulse MG2400-F48
Microcontroller	-	8051 core	8051 core	32bit-RISC	16bit-XAP2b	-	8051 core
Program memory(KB)	-	32/64/128	8/16/32	64	128	-	64
Sleep mode(μA)	1	0.9	0.5	<1	1	1	9
Frequency(MHz)	2450	2450	2450	2450	2450	2450	2450
Data rate(kbps)	250	250	500	250	250	250	250
Sensitivity(dBm)	-94	-94	-100	-93	-97	-92	-99
Transmit power(dBm)	0	0	1	1	3	0	9
Rx current(mA)	19.7	27	22	<50	29	37	26
Tx current(mA)	17.4	25	23	<40	33	30	29
Crystal frequency(MHz)	16	32	26/48	16	24	16	16
Communication	SPI	8~14bit ADC	8~14bit ADC	12bit ADC	12bit ADC	SPI	4~10bit ADC
Structure	Single-chip	SoC	SoC	Soc	SoC	Single-chip	SoC

<자료>: ETRI, 2006.

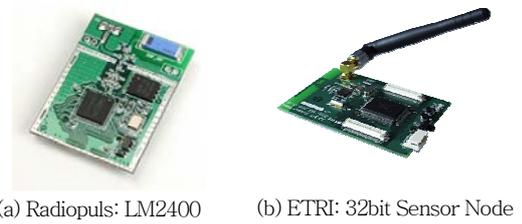


(그림 8) 국외 상용화 센서노드 개발품

(그림 8)과 같이 Crossbow사의 Mica 시리즈, Moteiv의 Tmote Sky와 Intel의 iMote 등의 제품이 상용화되어 시장에 공급되고 있다. 일본에서는 NTT에서 센서 통신 분야의 안테나 어레이 시스템을 연구하고 있으며, VHF/UHF 대역에서 안테나 크기가 소형화됨에 따라 고효율 안테나 기법을 연구하고 millimeter 대역에서는 integrated 안테나 기법을 연구중에 있다.

나. 국내 센서노드 기술 동향

국내 센서노드 기술은 ETRI를 중심으로 KETI, 삼성, Radiopuls, 태광 E&C, 옥타컴, 휴인스, Maxfo 등의 연구기관, 대기업 및 중소기업을 통해 서비스 목적에 따라 다양한 형태의 센서노드를 개발중에 있다. 국내의 경우, TI사의 CC 시리즈 및 국외 상용화 칩을 사용하여 센서노드를 구현하고 있으며, 현재



(그림 9) 국내 센서노드 개발품

(그림 9)에서 보여지는 것과 같이, Radiopuls에서 독자 개발한 2.45GHz RF transceiver의 LM 2400 제품을 선보였으며, <표 4>는 국내외 상용화 센서노드의 하드웨어 규격을 비교한 자료이다. 현재 센서노드의 저전력 연구에 대한 기술 개발과 관련 기술력 확보를 위하여 국내 연구 기관 및 관련 업체에서 적극적인 참여가 이루어지고 있다. 수신 신호에 따라 멀티 밴드를 사용하거나 또는 센서노드의 전력 소모를 줄이기 위한 저전력 방식으로 wake-up 회로 기술 등을 포함한 기술 개발이 이루어지고 있다.

ETRI는 국내 공동개발업체와 함께 센서노드의 저전력 기술 및 고성능 기술을 위하여 32bit MCU를 개발하여 이를 활용한 32bit 센서노드 시제품을 개발하였으며, 응용 서비스 기술로 (그림 10)에서 보여지는 바와 같이, 센서노드에 마이크를 부착하여 음성인식 및 분석이 가능한 귀가 안전 서비스로 위험감지 인식 센서네트워크 시스템과 열 감지 센서 및 적외선 센서를 사용하여 산업현장의 화재 및 주변 모니터링 서비스가 가능한 산업현장 감시제어 시스템 시범을 보였다.

<표 4> 상용화 센서노드 하드웨어의 주요 규격

Mote	Mica	Mica2	MicaZ	Tmote Sky	iMote	LM2400
Clock(MHz)	4	7.37	7.37	8	12	16
CPU	ATmega103L	ATmega128L	ATmega128L	MSP430F	ARM7	8051 core
Program memory(KB)	128	128	128	48	512	128
Data rate(kbps)	40	38.4	250	250	723.2	250
RF module	TR1000	CC1000	CC2420	CC2420	Zeevo TC2001	MG2400-F48
Modulation	ASK	FSK	O-QPSK	O-QPSK	GFSK	QPSK
OS	Tiny OS	Tiny OS	Tiny OS	Tiny OS	Tiny OS	Tiny OS

<자료>: ETRI, 2006.



(a) 위험감지 인식 서비스 (b) 산업현장 감시 제어
(그림 10) ETRI 센서노드 응용 서비스

V. 센서노드 기술발전 전망

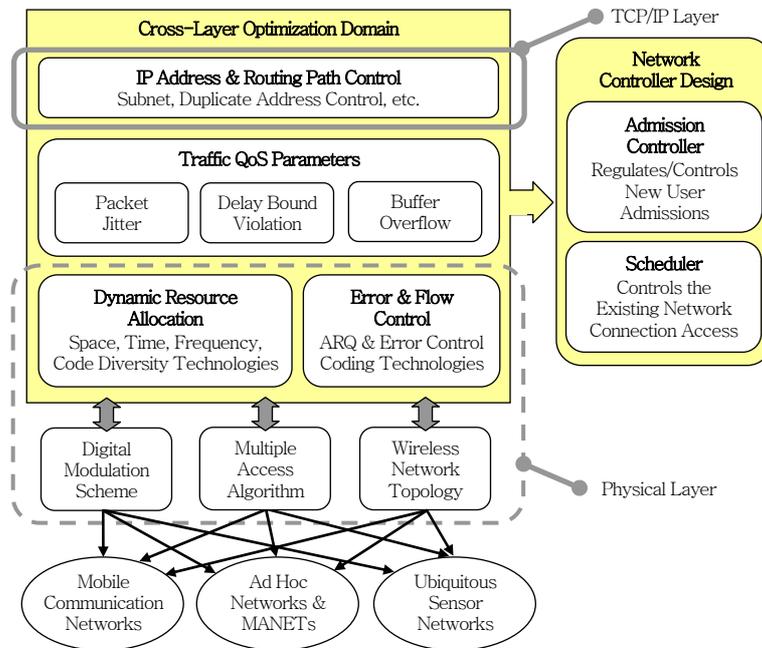
계층구조를 갖는 통신 프로토콜은 최적화된 성능을 보장하지는 않는다. 특히, 센서네트워크와 같이 에너지원, 계산 능력, 메모리 용량 등이 극히 제한된 시스템의 경우는 모듈기반의 계층구조로는 얻고자 하는 성능에 한계를 가질 수 있으며, 사용 가능한 에너지원이 극히 제한된 센서네트워크에서는 효율적인 배터리 사용이 필요하다. 이러한 제약조건을 가진 센서노드에 잘 알려진 OSI 모델의 프로토콜 계층을 그대로 사용하기는 현실적으로 불가능하다. 계산에 의한 에너지 소비보다 신호의 전송에 소요되는 에너지가 월등히 큰 센서네트워크에서는 효율적인

전송방법의 설계가 중요하다 할 수 있다.

유선 통신과 달리 무선 통신 채널은 다수의 신호 전달 경로에 의해 생기는 채널 페이딩과 이동성에 기인한 도플러 효과 등에 의해 통신용량과 비트에러가 시변적인 특징을 갖는다. 채널 코딩, 변/복조 신호처리, 에러 제어 방법 등을 통해 물리적 통신 채널의 성능을 향상시킬 수 있지만, 고정된 통신용량을 갖거나 신뢰할 수 있는 링크 연결 및 유지를 보장하기는 불가능하다. 만족할만한 네트워크 성능을 제공하기 위해 MAC, routing, transport 계층의 프로토콜은 물리계층과 상호 협조적으로 작동해야 할 필요가 있다.

센서네트워크의 ad-hoc적인 특징때문에 이동성과 링크 실패에 기인한 지속적인 네트워크 토폴로지 변화가 야기된다. 이러한 동적 네트워크 토폴로지 변화는 여러 프로토콜 계층에 영향을 미친다. 따라서 프로토콜의 효율을 높이기 위하여 cross-layer를 이용한 통신 프로토콜 설계는 불가피하다 할 수 있다. (그림 11)은 cross-layer의 개념을 나타내었다.

Cross-layer를 이용한 통신 프로토콜은 두 가지



(그림 11) Cross-layer 개념

방법으로 설계할 수 있다. 첫째는, 다른 프로토콜 계층의 변수들을 고려하여 해당 계층의 프로토콜을 설계함으로써 성능을 개선하는 방법이다. 일반적으로 하위 계층의 변수들은 상위 계층으로 건네진다. 예를 들면, MAC 계층에서의 패킷 손실률을 transport 계층에 건네서 트래픽의 정체를 패킷 손실과 구분 짓는 데 사용할 수 있다. 또 다른 예로, 물리계층은 링크 품질을 라우팅 프로토콜에 건네서 라우팅 알고리즘이 가외의 성능 척도로 이용하도록 할 수 있다. 후자의 cross-layer 설계 방법은 여러 계층의 프로토콜을 한 컴포넌트로 합치게 된다. 예를 들면, MAC과 라우팅 프로토콜간의 상호작용을 긴밀하게 고려하기 위하여 두 계층을 하나로 합칠 수 있다. 위의 예에서, 전자의 방식이 기존 프로토콜 계층 구조를 보존하여 상호 투명성을 유지하는 반면, 후자의 방식은 프로토콜 계층간의 상호작용을 긴밀하게 함으로써 보다 향상된 성능을 제공한다.

하지만, cross-layer 방식을 이용하여 프로토콜을 설계할 경우, 다음과 같은 사항에 기인한 잠재적 위험성을 고려해야 한다.

- 프로토콜 계층의 추상화
- 기존 프로토콜과의 비호환성
- 추후 네트워크 설계시 발생할 수 있는 예측하지 못한 영향
- 네트워크의 유지와 관리의 어려움

IEEE에서는 WPAN의 규격으로 전송속도와 전송 출력을 기준으로 세 가지 규격을 정의하고 있다. Bluetooth로 알려진 IEEE 802.15.1과 고속과 저속의 WPAN 규격을 정의한 IEEE 802.15.3과 IEEE 802.15.4가 있다. 이중 센서네트워크에서 MAC 계층까지의 규격을 정의한 것으로 IEEE 802.15.4가 있으며, 그간 2003년 버전에 이어 IEEE P802.15.4b에서 수정된 사항들을 수렴하여 2006년도에 최종 규격을 확정하였다. 이를 이용하여 산업체의 연합인 ZigBee™는 라우팅과 애플리케이션 프로파일 등을 정의하여 발빠르게 산업계의 응용을 유도하고 있다. 이와 함께, 센서노드의 이동성 및 이중 네트워크 간의 연동을 위하여 IETF에서는 IEEE

802.15.4 규격 위에 널리 사용되고 있는 인터넷 프로토콜(IP)을 센서네트워크에 적용하기 위해 6Lo WPAN이라는 워킹 그룹을 운영하고 있다. 물론 ZigBee™에서도 독자적으로 adaptation 계층을 두어 IP 망과의 연동을 시도하고 있다.

센서네트워크는 큰 잠재력과 다양한 응용에 적용될 수 있는 만큼 단일 규격으로 모든 응용에 적용하기는 힘들 것으로 예상된다. 하지만, 외부 네트워크와 연결되어 확장성을 갖는 센서네트워크를 운용하고자 하는 노력은 더욱 많이 투자되리라 여겨지며, 이를 위한 다른 규격과의 연동에 대한 투명한 인터페이스의 정의에 대한 노력은 더욱 박차를 가하리라 여겨진다.

VI. 결론

IEEE 802.15.4 표준과 ZigBee Alliance에 의한 센서네트워크 기술은 모든 기반 산업에서 다양한 기술 개발과 응용 서비스 도출로 각광받고 있으며, 우리나라 정부에서는 유비쿼터스 사회 건설을 위한 IT839 전략의 일환으로 RFID/USN 기술 산업을 지원하고 있다. 그러나, 국내 센서노드 기술은 국외 상용 칩에 의존하여 각 분야별 개발 업무를 진행하고 있으며, ZigBee 위주의 한정된 개발이 이루어지고 있는 상태이다. 본 고에서는 센서네트워크 국내외 기술 동향과 센서노드의 요소 기술을 알아보고, 이를 통하여 센서노드의 기술 발전 전망을 알아 보았으며, 다양한 센서네트워크 시스템에 적용하기 위해서는 저전력 센서노드 기술 개발, 유연한 센서노드의 관리 및 확장성, 센서노드의 신뢰성 확보가 필수적인 기술임을 전반적으로 살펴보았다. 향후 실내외를 망라한 다양한 USN 응용 서비스를 제공하기 위

● 용어해설 ●

USN (Ubiquitous Sensor Network): 센싱, 프로세싱, 통신의 기능을 갖춘 센서디바이스로 이루어진 분산 네트워크 시스템으로 센서 디바이스간 데이터 통신이 언제, 어디서든 가능해야 한다.

해서는 cross-layer와 같은 프로토콜의 효율 및 신뢰성을 높이기 위한 기술과 센서노드 시스템의 저전력화를 위한 기술, 그리고 scalable 및 이동성을 지원할 수 있는 기술 등을 포함한 센서노드의 주요 구성 요소 기술에 대한 IPR 확보가 향후 최적화된 USN 서비스 제공 및 센서노드 기술을 개발하는 데 유용할 것이라 본다.

약어 정리

ASK	Amplitude Shift Keying
BPSK	Binary Phase Shift Keying
CAP	Contention Access Period
CCA	Clear Channel Assessment
CFP	Contention Free Period
CSMA-CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance
CTS	Clear To Send
DFI	Data Forwarding Interruption
DMAC	Data-gathering MAC
DSMAC	Dynamic SMAC
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
EEPROM	Electrically Erasable and Programmable Read Only Memory
IP	Internet Protocol
LPL	Low Power Listening
LQI	Link Quality Indication
MCU	Micro Controller Unit
O-QPSK	Offset-Quadrature Phase Shift Keying
OSI	Open Systems Interconnection
PAMAS	Power Aware Multiaccess with Signaling
PSSS	Parallel Sequence Spread Spectrum
RF	Radio Frequency
RFID	Radio Frequency Identification
RTS	Request To Send
SMACS	Self-organizing MAC for Sensor network
SoC	System on Chip
SPI	Serial Peripheral Interface
SRAM	Static Random Access Memory
SYNC	Synchronization
T-MAC	Timeout-MAC
TRAMA	Traffic-adaptive MAC Protocol
uAMP	Ultra Power Wireless Sensor Project

UART	Universal Asynchronous Receiver Transmitter
USN	Ubiquitous Sensor Network
WINS	Wireless Integrated Network Sensor
WPAN	Wireless Personal Area Network
WSN	Wireless Sensor Network

참고 문헌

- [1] IEEE Std 802.15.4-2006, IEEE Standard for Information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local metropolitan area networks - Specific requirements, Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control With Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol.12, Issue 3, June 2004, pp.493-506.
- [3] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *The First ACM Conf. on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys 2003)*, Los Angeles CA, Nov. 2003.
- [4] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang, "Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks," *IEEE Wireless Commun. and Networking Conf.*, Vol.3, 21-25 Mar. 2004, pp.1534-1539.
- [5] G. Lu, B. Krishnamachari, and C.S. Raghavendra, "An Adaptive Energy Efficient and Low-latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks," *Proc. of 18th Int'l Parallel and Distributed Proc. Symp.*, 26-30 Apr. 2004, p.224.
- [6] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks," in *Proc. of ACM SenSys*, Baltimore, MD, USA, Nov. 2004.
- [7] C.C. Enz, A. El-Hoiydi, J-D. Decotignie, and V. Peiris, "WiseNET: An Ultralow-Power Wireless Sensor Network Solution," *IEEE Computer*, Vol.37, Issue 8, Aug. 2004.

- [8] V. Rajendran, K. Obraczka, and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks," *Proc. ACM SenSys 03*, Los Angeles, California, 5-7 Nov. 2003, pp.181-192.
- [9] K. Sohrabi, J. Gao, Ailawadhi, and G.J. Pottie, "Protocols for Self-organization of a Wireless Sensor Network," *IEEE Personal Communications*, Vol.7, Oct. 2000, pp.16-27.
- [10] S. Singh and C.S. Raghavendra, "PAMAS-Power Aware Multi-Access Protocol with Signaling for Ad Hoc Networks," *Computer Communications Review*, Vol.28, No.3, July 1998.