

무선 센서네트워크 전송기술 표준화 동향

Standardization Activities on Wireless Sensor Network Transmission Technologies

IT 융합 기술의 미래 전망 특집

정운철 (W.C. Jeong)	USN기반기술연구팀 선임연구원
박태준 (T.J. Park)	USN기반기술연구팀 책임연구원
신창섭 (C.S. Shin)	USN기반기술연구팀 선임연구원

목 차



- I. 머리말
- II. WSN MAC 기술 표준 동향
- III. WSN PHY 기술 표준 동향
- IV. 맺음말

* 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천 기술개발 사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10035380, 초절전 센서네트워크 핵심기술개발]

최근 들어 무선 센서네트워크는 온/습도 관리와 같은 단순한 기능의 저전력 모니터링 서비스에서 시의성과 무선 전송의 신뢰성을 요구하는 산업 자동화 서비스 및 스마트 그리드와 같이 통신 거리를 확장한 옥외 서비스를 위한 기술로 서비스 영역을 넓혀가고 있다. 무선 센서네트워크 기술은 자원의 제약에 기인한 고유의 특성을 갖는다. 특히 전송 계층 기술은 이러한 제약 사항을 고려하여 설계되어야 하며, 상위 계층 기술의 성능은 전송기술에 대한 성능적 의존성을 가질 수 밖에 없다. 본 고에서는 최근 무선센서네트워크 서비스 확대를 위한 시장의 요구사항을 반영하여 표준화가 진행되고 있는 시의성/신뢰성 향상을 위한 IEEE 802 WG15의 TG4e MAC 기술과 스마트 유틸리티 네트워크를 위한 TG4g SUN PHY 기술에 대한 표준화 활동을 중심으로 표준 기술 동향을 소개하고 이에 대한 표준 전략을 분석한다.

I. 머리말

센서 장치들을 무선으로 연결하여 네트워크를 형성하는 무선 센서네트워크(WSN) 기술은 사람을 중심으로 하던 정보 운용 형태를 확장하여 사람과 사물뿐만 아니라 사물간의 정보 공유를 언제 어디서든 가능하게 하는 유비쿼터스 환경으로의 패러다임 구현에 초석을 마련해 나가고 있다.

현재 WSN 관련 표준기술은 무선 근거리 개인 통신망(WPAN) 전송 규격을 위한 IEEE 802.15 표준 규격과 이를 기반으로 상위 계층 규격을 정하여 관련 산업에 적용하려는 ZigBee 규격이 있으며, IP 기술을 센서네트워크에 접목하기 위해 IETF의 6LoWPAN, RoLL, CoRE WG 등에서 표준화가 진행중이다. 또한, HART와 ISA는 WirelessHART와 ISA-100.11a 등의 표준 작업을 마치고 공정 모니터링 및 산업 자동화에 적용을 위한 노력을 기울이고 있다. ISO와 IEC도 IEC 62591과 ISO/IEC 18000-7 등 WSN 관련 표준규격을 승인하거나 현재 표준화가 진행중이다. 이러한 표준 기술은 대상이 되는 통신계층 혹은 서비스 목적에 따라 표준 규격 작업이 진행되고 있으며, 각 단체가 목적으로 하는 서비스영역을 기반으로 시장에서의 기술 선점을 위해 발빠르게 표준 작업을 진행해 나가고 있다.

이들 표준 기술 중 전송기술 측면에서 주목할 만한 규격은 IEEE 802.15.4[1]이다. 그 이유는 ZigBee, IETF 6LoWPAN, ISA-100.11a 등 현재 가장 널리 사용되는 표준 기술 대부분이 IEEE 802.15.4 규격을 기반을 두었기 때문에 그 파급 효과가 가장 크기 때문이다. 또한, 이들 표준 기술은 IEEE 802.15.4 2.4GHz ISM 대역 PHY 규격을 채택하기 때문에 별도의 주파수 사용허가를 필요로 하지 않는다는 장점을 가지고 있다. IEEE 802.15.4는 작은 패킷 사이즈를 갖는 온/습도, 검침 데이터를 수집하기 위한 단순 모니터링 서비스와 같이 저속의 저전력 WPAN 구성을 위한 표준 전송 규격이며, ZigBee에서는 이러한 용도의 응용에 부합하는 네트워크 계층 규격과 여러 애플리케이션 프로파일을 정의하여 시장에 관련

제품 등을 선보이기도 했다. 하지만, IEEE 802.15.4 MAC 기술은 네트워크 트래픽의 증가에 따라 발생하는 빈번한 패킷 재전송에 의한 심각한 성능 저하와 시의성(時直性, timeliness)을 갖는 센싱 정보 전달의 요구 품질을 만족하기 힘들다는 제약 사항을 갖는다. 또한, 동종 혹은 이종의 무선 간섭에 의한 수신 신호 품질 저하는 WPAN으로서의 제 기능을 발휘할 수 없다는 문제점을 가져 관련 시장의 활성화에 한계를 보이고 있다. 특히, 최근 들어 Wi-Fi를 이용하는 스마트폰 시장이 활성화 됨에 따라 이를 지원하는 WAP 또한 증가할 것으로 기대된다. 이는 앞서 기술한 2.4GHz ISM 대역의 장점인 비허가 주파수 대역이라는 점이 되려 이를 이용하려는 무선 기기들의 증가에 따라 더욱 열악한 무선 간섭 환경을 낳게 되어, 주로 동 ISM 대역의 PHY를 많이 사용하고 있는 WSN에서도 무선 간섭 문제가 가장 큰 걸림돌이 될 수 있음을 의미한다.

최근 들어, 공장 자동화와 같이 취약한 무선 환경을 갖는 현장에 생산 품질 관리를 위한 유선 모니터링 장비를 저가의 무선 기반 네트워크로 대체하고자 하는 움직임이 산업계를 중심으로 활발히 일고 있다. 이에 현장 전기 설비 통신 규격을 담당하는 HART는 유선 설비간의 네트워킹을 무선으로 대체하고자 2007년 WirelessHART 표준 규격을 제정하였고, 현재 이 규격을 따르는 센서노드가 출시되어 HART 회원사를 중심으로 현장에 적용되고 있다. 또한, 공장자동화 표준 단체인 ISA는 2009년 9월 산업 자동화를 위한 무선 시스템 표준인 ISA-100.11a 규격 작업을 완료하였다[2]. 이에 2007년 IEEE 802.15에서도 기존의 IEEE 802.15.4-2006 MAC 규격의 기능을 보완하여 무선 환경에 대한 신뢰성과 센싱 정보 전달의 시의성을 확보하고자 하는 표준화 작업을 TG4e에서 진행중이다.

한편, 에너지 소비 증가에 따른 에너지 확보 위기와 지구 온난화와 같은 중대한 문제를 해결할 수 있는 기술로 에너지 절약형 전력망인 스마트 그리드가 주목 받고 있다. 이에 센서네트워크 기술을 접목하고자 하는 노력이 이루어지고 있으며, IEEE 802.15

의 TG4g에서는 스마트 그리드를 위한 스마트 유틸리티 네트워크(SUN)를 정의하고 무선 센서 기기가 이를 지원하기 위한 PHY 규격 표준화 작업을 진행 중이다.

미국의 경우, 에너지 절약형 전력망에 대한 관심의 확산에 힘입어 NIST PAP2에서 대부분의 관련 규격이 완성 단계에 있으나, 최종 미터링 단말기에 대한 무선 통신 규격은 아직 미미한 수준이다. IEEE 802 WG15에서는 최종 미터링 단말 기기를 위한 무선 통신기술로 WPAN 기술을 적용하기 위해 IEEE 802.15.4 PHY 규격을 고려하였으나 주로 옥내 근거리용 통신에 국한되어 신뢰성 있는 옥외 중거리 통신이 필요한 스마트 그리드용 단말의 통신 기술로는 적합하지 않다는 문제점이 대두되었다. 이에 따라, IEEE 802.15 TG4g는 스마트 미터링 서비스로 주목 받기 시작한 Silver Spring Networks사 등을 중심으로 SUN을 위한 PHY 규격에 대한 표준 작업에 노력을 기울이고 있다.

본 고에서는 최근 들어 센서네트워크 기술을 시의성과 열악한 무선 환경에서 높은 수준의 무선링크 신뢰성을 필요로 하는 응용 서비스에 접목하고자 하는 시장의 요구가 커짐에 따라 이를 반영하여 전송 계층 기술 표준화가 진행되고 있는 IEEE 802 WG15의 TG4e의 MAC 기술과 TG4g의 SUN PHY 기술을 중심으로, 무선 센서네트워크 관련 표준화 동향을 소개하고자 한다.

II. WSN MAC 기술 표준 동향

1. 국제 표준 동향

가. IEEE 802.15 TG4e MAC

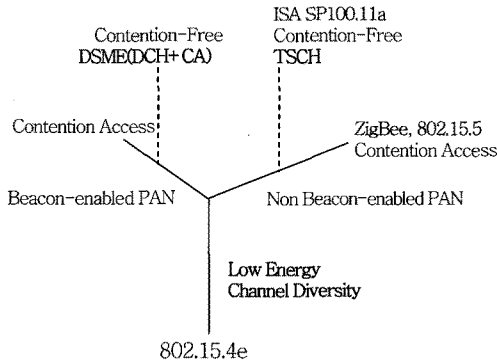
IEEE 802.15 TG4e(이하 15.4e)은 전술한 바와 같이 IEEE 802.15.4-2006(이하 15.4) MAC 표준 기술과의 호환성을 유지하는 한편 기능과 성능의 한계를 극복하고 산업계의 기술적 요구사항과 보다 넓은 서비스 영역을 확보하여 WPAN 시장의 활성화

에 기여하고자 15.4의 MAC 계층에 대한 기술 규격을 개정하는 작업을 진행 중이다. 15.4e의 개선된 MAC 기능은 IEC 62591, ISA100.11a, WIA-PA 등에 기술된 산업 응용 서비스들에 센서네트워크 기술을 적용하는 데 있어 기폭제 역할을 할 것으로 기대된다.

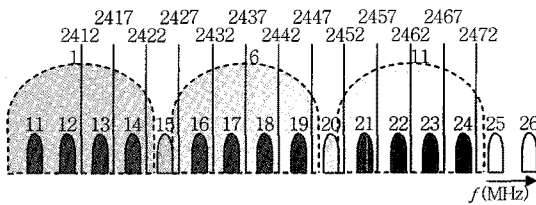
15.4e는 기존 15.4에서와 같이 하나의 MAC 기술 규격에 의해 PAN을 구성하기 보다는 서비스 영역에 따라 복수의 동작 모드를 두어 사용자가 목적에 따라 MAC 모드를 선택해 네트워크를 운용할 수 있도록 하고 있다. 구체적으로 DSME 모드, TSCH 모드, LL 모드, RFID BLINK 프레임 지원 모드 등이 있다. DSME 모드는 산업 자동화와 스마트 미터링과 같은 산업 애플리케이션, 홈 오토메이션, 스마트 빌딩, 엔터테인먼트 등을 중심으로 하는 상업 애플리케이션, 원격의료, 환자 모니터링과 같은 헬스케어 응용 서비스를 지원한다. TSCH 모드는 공정 모니터링/자동화, 석유 & 가스 산업, 환경 모니터링 서비스를 지원한다. 산업자동화 중 지연 시간의 최소화를 목적으로 하는 LL 모드는 무인로봇, 이동형 장비 제어, 공항 물류 서비스 등을 지원하고, RFID BLINK 프레임(RFID) 지원 모드는 개체 및 사람의 식별, 위치 추적 등을 주요 대상 서비스로 한다.

15.4e 기반 PAN의 동작은 주기적으로 방송되는 비컨을 기반으로 PAN이 운용되는 비컨 모드(beacon enabled PAN mode)와 통신 프레임의 교환을 위하여 비주기적으로 비컨을 요청하여 PAN을 운용하는 비-비컨 모드(non beacon enabled PAN mode)로 나뉜다. 이는 15.4와의 호환성을 유지하기 위해 동일한 PAN 동작 모드를 갖는다. 15.4e의 MAC 기능 동작 모드는 이 두 PAN 동작에서 운용되며, (그림 1)은 이를 도식화한 것이다.

15.4e의 가장 큰 특징은 시분할 기반 채널 다이버시티 기술 채택에 있다고 하겠다. 시분할 기반의 채널 접근 방식은 CSMA와 같은 임의 채널 접근 방식의 특성에 기인하는 패킷 충돌에 의한 재전송 횟수를 줄여 유효 통신 전력을 최소화하는 한편, 시의성이 요구되는 정보 및 주기적 모니터링 정보 전달



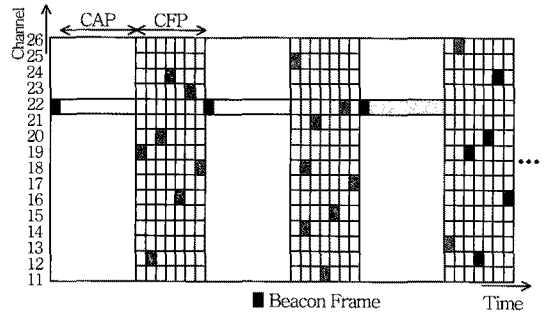
(그림 1) IEEE 802.15.4e MAC 동작 모드 개념도



(그림 2) IEEE 802.15.4 2.4GHz ISM 대역 채널과 Wi-Fi 채널의 중첩 예

을 위해 확정적 지연 시간을 보장함으로써 전송 정보의 품질을 향상시킬 수 있는 MAC 기술이다. 또한, 채널 다이버시티 기술은 산업 현장과 같이 여러 RF 기기가 혼재하여 무선 간섭이 심한 환경과 채널 페이딩에 의한 수신 신호 감도의 저하를 초래하는 통신 환경에서 무선 구간의 신뢰성을 극대화 할 수 있는 채널 간섭 회피 기법이다. (그림 2)는 15.4 2.4GHz ISM 대역에서 Wi-Fi 기기와의 주파수 혼잡 상황을 보여준 예이다. 블루투스과 같은 동대역의 RF 서비스 수요가 꾸준히 증가하고 특히, 스마트폰 및 Wi-Fi를 이용한 무선 서비스의 수요가 폭발적으로 증가하고 있는 요즘, 2.4GHz ISM 대역에서의 무선 신호 혼잡은 WPAN 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 될 것으로 예상된다.

시분할 기반 채널 다이버시티 기술은 통신을 위해 송신 노드와 수신 노드간에 미리 예약된 주파수 채널 시퀀스를 이용해 프레임단위로 채널을 도약해 가며 통신을 하는 채널 호핑 방식과, 수신 채널 품질이 정해진 임계값보다 저하될 때, 새로운 채널로 변경하여 데이터 프레임을 주고받는 채널 적응 방식으



(그림 3) 채널 호핑 모드를 사용하는 DSME 멀티슈퍼 프레임

로 나뉜다.

DSME는 PAN 동작 모드 중 비컨 모드에서 운용되며 채널 다이버시티를 위해 채널 호핑 방식과 채널 적응 방식 모두를 지원한다. 네트워크 관리자는 최초 네트워크가 운용될 때 두 가지 채널 다이버시티 방식 중에서 하나를 선택하여 네트워크를 운용할 수 있다. DSME는 기존 15.4의 비컨 모드에서 사용되는 슈퍼 프레임 구조를 유지하고 있지만 비활성 (inactive) 구간이 생략된 형태의 복수 개의 슈퍼 프레임을 묶어 하나의 멀티 슈퍼 프레임이라는 구조를 형성한다. (그림 3)은 DSME의 채널 다이버시티 방식 중 채널 호핑 방식을 사용하는 멀티슈퍼프레임을 도식한 것이다. 흰 바탕의 격자들로 표시된 영역은 CFP 구간의 GTS 슬롯을 나타내며, 검은 격자로 표시된 영역은 비컨 프레임을 나타낸다. 제어 프레임의 교환이 이루어지는 CAP 구간에서 노드들은 일정 시간 동안 채널을 청취해야 하는데, 잦은 CAP 구간의 반복은 노드 기기의 전력 소모를 가중시킬 수 있다. DSME 모드에서는 CAP 구간의 반복을 줄이기 위해 CAP reduction 필드를 두어 멀티슈퍼프레임 내의 복수 개의 CAP 구간 중 첫번째 CAP 구간만을 활성화하는 옵션도 제공하고 있다.

멀티 슈퍼 프레임 구조는 노드간 peer-to-peer 통신을 가능하게 하여 종전의 15.4 슈퍼 프레임 구조에서 발생하는 토폴로지 제한 및 중단간 데이터 전송경로의 우회 그리고 신뢰성 문제를 해결하였다. 노드 기기들간의 시각동기는 비컨 프레임에 포함된 시각정보를 이용해 상대 시각 보정을 하도록 되어

있다. 무선 링크의 형성은 히든 노드 문제를 해결하기 위해 3자 핸드셰이킹을 통해 이루어지며, 채널 적응 방식과 채널 호핑 방식 모두 DSME-GTS 핸드셰이크 제어 프레임 사용하여 각 채널 다이버시티 방식에 따라 채널 자원 정보 테이블을 교환하여 통신 스케줄을 정한다.

TSCH는 비-비컨 모드에서 운용되며, 시분할 기반 채널 호핑 방식만을 사용한다. TSCH 모드에서는 주기적인 advertisement 프레임을 통해 가용 자원을 방송하고 네트워크에 참여를 원하는 노드는 이를 청취하여 join 프레임을 공용 타임슬롯을 통해 PAN 가입을 요청한다. 네트워크 가입 요청을 받은 노드는 activate 프레임을 통해 새로운 노드에게 자원을 할당한다. TSCH는 시각동기를 위하여 DSME에서와 같이 비컨 프레임을 사용하지 않는다. 대신 두 노드간 데이터 프레임을 교환할 때 데이터 프레임을 수신한 노드는 ack 프레임에 시각 정보를 포함하도록 하여 두 노드간 시각 동기 정보를 보정하도록 하고 있다. 이러한 시각 동기 방식은 비컨 프레임과 같은 범용 제어 프레임을 사용하는 동기 시스템에서 모든 노드가 이를 청취하기 위해 깨어야 하는 전력소모 문제를 줄일 수 있는 장점을 갖지만 트래픽이 간헐적이거나 긴 인터벌을 갖는 비주기적인 응용 서비스의 경우 노드간 시각 동기를 맞추기 어렵다는 단점도 갖는다. TSCH는 ISA100.11a의 데이터 링크 계층(DLL)의 규격을 기반으로 하고 있어 두 표준 기술간 많은 공통점을 내포하고 있다.

LL는 링크간 패킷 전달 지연 시간 최소를 목적으로 하는 공장 자동화 서비스에 특화된 모드로 다른 동작 모드와 비교해 구체화된 요구사항을 갖는다. 우선, 10m 내에 20개의 센서들로부터 센싱 정보를 획득해야 하며, 동일 RF 주파수를 공유하는 무선 기기에 의한 무선 간섭의 영향을 최소화하기 위한 주파수 플래닝과 네트워크 관리 비용을 최소화 하여야 한다. 또한 한 개의 LL_NW PAN 코디네이터에 100개 이상의 센서 노드들이 접속할 수 있어야 한다. 이러한 구체적인 LL 모드의 요구사항은 MAC 성능 목표치에 부합하는 규격을 제공할 수 있으나,

적용되는 응용 애플리케이션이 매우 제한적이라는 단점을 갖는다. 또한, 스타 네트워크 토폴로지만을 지원하기 때문에 네트워크 확장에 제약을 받는다.

TG 4e는 현재 comment resolution을 진행 중이다. 이후, 두 번의 추가 WG letter ballot을 마친 후 2010년 말까지 sponsor letter ballot을 진행할 계획이며, 2011년 3월 RevCom의 최종 승인을 목표로 하고 있다.

나. 그 외 WSN MAC 관련 표준 기술

WirelessHART과 ISA100.11a는 산업 자동화에 관련된 표준기술로서, WirelessHART는 HART7 규격의 일부로 2007년 7월에 HCF에서 승인되었고 이후 IEC에서 2010년 4월에 IEC 62591Ed. 1.10로 승인되었다[3]. 국제 자동화 학회 및 표준단체인 ISA는 2009년 9월에 ISA100 규격의 일부로 ISA100.11a를 승인하여 현재 ANSI와 IEC에서 표준화가 진행 중이다.

두 표준 규격은 저전력 기능을 지원하는 고정형/이동형 저속 무선 기기간 높은 무선 구간 신뢰성을 지원하기 위한 프로토콜, 시스템 관리, 게이트웨이, 보안 규격 등을 정의하고 있다. 두 표준 기술에서의 DLL 프로토콜은 Dust Network사의 TSMP라 불리는 시각동기 기반의 채널 호핑 기술을 기반으로 하며, WLAN이나 휴대전화 또는 IEEE 802.15x, IEEE 802.16x 무선 기기 등이 혼재하는 열악한 산업 현장의 무선 환경에서 링크계층의 안정적인 동작을 제공할 수 있는 뛰어난 간섭 제어 기술을 제공한다. ISA100.11a는 QoS 지원을 위해 DLL 계층과 네트워크 계층의 자원 관리를 NME에 의해 제어하도록 할 수 있다. 이는 공장 자동화와 같이 센싱 정보를 전달함에 있어 높은 수준의 신뢰성이 보장되어야 하는 특수한 목적의 서비스에서는 중요한 역할을 할 수 있다. 하지만, 적용 서비스의 범위가 한정되고 네트워크 관리가 편중됨에 따라 파생될 수 있는 중앙 집중형 시스템의 한계도 동시에 포함할 수 있다.

이외 MAC 계층에 대한 표준 기술을 연구하지는

않지만 WSN 기술과 관련하여 널리 알려진 표준 기술로는 IETF의 6LoWPAN, RoLL과 ZigBee 등이 있다. IETF는 IEEE 802.15.4-2003 규격을 기반으로 한 WSN에 IPv6를 적용하기 위한 표준화 작업을 6LoWPAN과 RoLL WG에서 진행중이다. ZigBee는 IEEE 802.15.4-2003 표준 규격을 기반으로 소형의 저전력 WPAN 구성을 위한 상위 통신 프로토콜 규격으로 네트워크와 응용 서비스 표준으로 ZigBee-2007을 제정하여 임베디드 센싱, 의료 데이터 수집, TV 리모컨과 같은 가전기기, 홈 오토메이션 서비스 제품을 선보이고 있다.

2. 국내 표준 동향

WSN MAC 기술 관련 국내표준으로는 WiBeem과 ETRI의 동기형 채널 다이버시티 MAC 기술이 있다.

WiBeem은 u-City 포럼 단체 주도로 표준화가 진행된 WPAN용 국내 표준 규격으로 u-City의 주요 요구사항인 저전력, 확장성, 이동성 등을 만족하기 위한 기술이다. 기존 기술인 블루투스나 15.4 MAC 규격은 WPAN 내에서의 제한된 기기 접속 수에 따른 확장성 문제나 네트워크 토폴로지 제한에 따른 망 안정성, 특정 PAN 동작 모드에서 전력 소비 문제 등으로 요구사항이 적합하지 않다. WiBeem 기술은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전체 메시 네트워크가 비컨 정보로 동기화되어 안정적인 절전형 메시 네트워크 기술을 구현하였다. MAC 계층의 슈퍼프레임 구조는 다수의 비컨을 수용하기 위한 BOP 구간, QoS 전송을 위한 PQP 구간, 경쟁기반 전송을 위한 CAP 구간, 예약기반의 비경쟁 데이터 전송을 위한 CFP 구간으로 구성되어 있으며, 노드 간의 비컨 스케줄링 기능을 통한 저전력 및 신뢰성 있는 데이터 전송이 가능하다. 또한 네트워크 계층의 LAA 기반 주소 할당기법을 통하여 주소 고갈 문제 해결과 네트워크 이동성 기능을 지원한다.

WiBeem 기술은 u-City 포럼에서 표준화가 진행되어 2006년 CD가 승인되었으나 포럼 표준으로는 완료

되지 못했다. 현재 WiBeem은 ISO/IEC JTC1/SC25에서 프로젝트 29145로 표준화가 진행되고 있으며, MAC 기술에 관련하여 ISO/IEC 29145-2가 진행중이다.

ETRI의 동기형 채널 다이버시티 MAC 기술은 무선 링크의 신뢰성과 센싱 정보의 시의성을 보장하기 위한 MAC 기술로 비컨의 시각 정보를 통한 시각 동기를 제공하며, 채널 호핑 기술과 채널 적응형 접근 기술을 신축적으로 운용할 수 있도록 하고 있다. 채널 호핑 방식은 가용 채널 자원이 풍부한 2.4GHz ISM 대역에 적합한 기술로 채널 도약을 통한 다중화 이득을 얻을 수 있다. 채널 적응 방식은 가용 채널의 수는 적지만 상대적으로 무선 신호 혼잡도가 덜한 900MHz 대역에 적용하여 무선 구간의 신뢰성을 향상시킬 수 있다.

현재 해당 MAC 기술은 IEEE 802.15 TG4e에서 DSME MAC 기술의 주요 기술로 채택되어 표준화가 막바지에 이르고 있고, RFID/USN 포럼과 TTA를 통해 국내 표준 기술로 표준화 활동을 준비중이다.

III. WSN PHY 기술 표준 동향

1. 국제 표준 동향

가. IEEE 802.15 TG4g-SUN PHY

기존의 15.4 PHY는 저전력의 실내 근거리 통신에 적합한 기술로서, 스마트 미터링 유틸리티 네트워크와 같이 지리적으로 원거리에 분산된 단말들을 이용한 대규모 공정관리 응용에는 적합하지 않다. IEEE 802 WG15는 유틸리티 업계의 이러한 PHY 요구사항을 수용하여 15.4의 PHY 규격을 개선하기 위한 작업을 IEEE 802.15 TG4g-SUN(이하 15.4g)을 통해 2008년 12월 PAR 승인과 함께 시작하였다.

TG4g에서는 2010년 3월 회의에서 첫 draft 초안을 작성하였으나, 5월 회의에서 진행된 WG letter ballot이 부결되어 2010년 9월 회의에서 letter ballot을 다시 시작하는 것을 목표로 comment re-

solution이 진행중이다. 첫 letter ballot이 근소한 차이로 부결되었으나, 다시 시도할 letter ballot은 무난히 성공할 것으로 예상된다.

15.4g를 적용하여 SUN을 구성하는 응용 서비스의 경우, 노드의 공간적 분포 측면에서 볼 때, 단위 면적 당 높은 밀집도를 갖는 도심 지역과 상대적으로 원거리에 분산되어 낮은 밀집도를 갖는 교외 지역의 서비스 요구사항을 모두 수용해야 한다. 따라서 15.4g는 극단적으로 서로 다른 특성의 네트워크 구조에서도 효과적으로 SUN이 운용될 수 있도록 15.4 PHY 보다 증대된 전송거리와 다양한 전송률 그리고 옥외 무선환경을 고려한 다경로 페이딩과 무선 간섭에 강건한 신뢰성을 제공해야 한다는 강화된 요구사항을 만족해야 한다. 현재 이러한 요구사항을 만족하기 위해, 15.4g는 FSK, OFDM 그리고 DSSS 기반의 변조 기술로 구성된 제안 기술이 채택되어 표준화가 진행중이다. 복수의 변조 방식을 갖는 PHY 규격은 서로 다른 변조 방식을 택한 기기들로 구성된 SUN에서 상호운용성 문제가 있을 수 있지만, 사용자의 입장에서 볼 때 서비스 특성과 적용 환경에 따라 변조 방식을 선택할 수 있다는 장점을 갖기도 한다. 서로 다른 변조 방식간의 상호운용성에 대한 부분은 현재 TG 내에서 논의가 진행중이다.

15.4g의 세 가지 PHY 제안 기술간의 공통적인 특성은 실외 통신 환경을 포함하고, 비인가 주파수를 사용하며, 기존의 127바이트 최대 패킷 길이와 달리, 인터넷 프로토콜의 사용을 고려하여 최소 1500 바이트 크기의 패킷 길이를 지원한다는 점이다. 따라서 패킷의 길이를 나타내는 서브필드를 포함하는 PHY 헤더의 길이도 기존의 1바이트뿐만 아니라 2 바이트 또는 5바이트를 선택적으로 사용할 수 있도록 하고 있다. 최대 패킷 길이가 증가함에 따라 FCS의 길이도 기존의 2바이트와 함께 선택적으로 4바이트도 사용할 수 있다. 데이터 전송 속도 측면에서는, IEEE 802.11 등 다른 표준 기술이 지원하는 서비스 영역을 명확히 구분하기 위해 전송률을 1Mbps가 초과되지 않도록 제한하였다. 15.4 PHY가 전력 소모에 민감했던 반면 15.4g는 전력소모에 관해서

는 뚜렷한 제한을 두지 않았다. 이에 대한 가장 큰 이유는 TG4g가 고려하고 있는 응용 서비스가 15.4에 비해 전력 소모에 대한 요구사항이 관대하고 저 전력 보다는 성능과 안정성 등을 우선시 하고 있기 때문이다. 소모 전력에 대한 15.4g의 이와 같은 특징은 나중에 설명할 LECIM의 시작 배경이 되기도 하였다.

15.4g의 세 가지 PHY 제안 기술 중, FSK을 기반으로 한 제안 기술은 Silver Spring Networks, Itron, Elster 등이 주도하고 있는 PHY 기술로서, 제안 PHY 기술 중에서 가장 많은 지지자들을 확보하고 있다. 변조기법은 FSK와 GFSK 중 선택할 수 있으며, 선택사항으로 구속장(constraint length) 4의 FEC 기술과 주파수 호핑 기법을 채택하고 있다. 제안된 주파수 호핑 기법은 아직까지 15.4e에서 제공하는 채널 호핑 기법에 크게 의존하고 있으며, PHY 계층에서 다중화 이득을 얻기 위한 주파수 호핑 기법에 대한 세부 규격은 아직 기술을 제안한 기관들간 합의를 끌어내고 있지 못하고 있다. <표 1>은 900MHz 대역과 2.4GHz 대역의 FSK 변조에 대한 채널 파라미터를 나타낸다.

<표 1> FSK 변조 채널 파라미터

Frequency band (MHz)	Parameter	Mandatory data rate	Optional data rate #1	Optional data rate #2
902~928 (ISM) 2400~2483.5 (World-wide)	Data rate (kb/s)	50	150	200
	Modulation	FSK/ GFSK	FSK/ GFSK	FSK/ GFSK
	Modulation index	1.0	0.5	0.5
	Channel spacing (kHz)	200	400	400

OFDM 기반 PHY 기술은 ETRI, Landis+ Gyr, TI 등에서 제안한 기술로서, 향후 다양한 응용에 대비한 차세대 전송방식의 하나로 고려되는 기술이다. OFDM 기반 기술은 <표 2>와 같이 각 나라별 주파수 규정에 맞게 사용이 가능하도록 FFT 크기를 8 point부터 128 point까지 변화하는 구조의 5가지 옵션을 제공한다. 또한 모든 옵션에 대한 공통사항

〈표 2〉 OFDM 변조 채널 파라미터

OFDM Option	# 1	# 2	# 3	# 4	# 5	Unit
FFT size	128	64	32	16	8	
Active tones	108	52	26	14	6	
# Pilots tones	8	4	4	2	2	
# Data tones	100	48	22	12	4	
Approximate Signal BW	1064.45	517.58	263.67	146.48	68.36	kHz
BPSK 1/2 rate, 4x rep.	97.66	46.88	21.48	11.72	3.91	kbps
BPSK 1/2 rate, 2x rep.	195.31	93.75	42.97	23.44	7.81	kbps
BPSK 1/2 rate coded	390.63	187.50	85.94	46.88	15.63	kbps
BPSK 3/4 rate coded	585.94	281.25	128.91	70.31	23.44	kbps
QPSK 1/2 rate coded	781.25	375.00	171.88	93.75	31.25	kbps
QPSK 3/4 rate coded	1171.88	562.50	257.81	140.63	46.88	kbps
16-QAM 1/2 rate coded	1562.50	750.00	343.75	187.50	62.50	kbps
16-QAM 3/4 rate coded	2343.75	1125.00	515.63	281.25	93.75	kbps

〈표 3〉 DSSS 확산 모드의 PSDU 파라미터

Frequency band(MHz)	Chip rate (kchip/s)	Spreading	FEC+ inter-leaving	Data rate (kbps)
902~928	1000	(16,1)	yes	31.25
		(16,4)	yes	125
		(8,4)	yes	250
		none	yes	500
2400~2483.5	2000	(32,1)	yes	31.25
		(32,4)	yes	125
		(16,4)	yes	250
		(8,4)	yes	500

〈표 4〉 MDSSS 확산 모드의 PSDU 파라미터

Frequency band(MHz)	Chip rate (kchip/s)	Spreading	FEC+ inter-leaving	Data rate (kbps)
902~928	1000	(64,8)	yes	62.5
		(32,8)	yes	125
		(32,8)	no	250
		(16,8)	no	500
2400~2483.5	2000	(128,8)	yes	62.5
		(64,8)	yes	125
		(64,8)	no	250
		(32,8)	no	500

으로 심볼 타임을 128 μ s, cyclic prefix를 25.6 μ s, 톤 간격을 9.7kHz로 하며, 다경로 허용 오차(multi-path tolerance)를 모든 전송률에 대해 25 μ s 보다 크게 하도록 제안하고 있다. 그리고 협대역 모드 등 필요에 따라 패킷 단위의 호핑 방법도 사용할 수 있도록 하고 있다.

DSSS 기반 PHY 기술은 ETRI, Atmel, Elster, OnRamp 등이 제안한 기술로서, 제안된 15.4g 기술 세 가지 중 15.4의 DSSS 호환 모드 구현이 가장 용이한 구조이다. 이러한 구조는 호환모드 사용시 이미 설치된 기존 WPAN과 쉽게 공존할 수 있는 장점이 있다. 또한 동일한 칩 속도(chip rate)로 다양한 확산율과 전송률간 변화가 가능하여 SUN이 운용되는 상황에 따라 능동적인 대처가 가능하다는 장점이

있다. 이 기술은 확산모드에 따라, 기존의 15.4와 유사한 확산기법의 DSSS와 2차원 곱 부호(product code)의 장점을 활용한 MDSSS로 구분된다. <표 3>과 <표 4>는 DSSS 및 MDSSS 모드의 900MHz 대역과 2.4GHz 대역의 PSDU 파라미터이다.

MDSSS 확산 모드의 주요 특징은 2차원 곱 부호, 즉 TPC와 정진폭 다중화 기법을 사용하여 열악한 전파환경에서도 우수한 특성을 나타내는 것이다. 적용된 TPC는 터보 코드의 장점인 성능과 단점인 복잡도를 15.4g에 맞게 조절한 기술로서, 가로방향은 [4,3] 우수(even) 패리티 체크 코드를 사용하며, 세로방향으로는 [4,3] 기수(odd) 패리티 체크 코드를 사용하였다. 이때 가로방향 코드로 사용한 우수 패리티 체크 코드의 두번째와 세번째 비트의 순서를

맞바꾸면 일반적으로 널리 사용되는(4×4)의 Hadamard 코드가 된다. 2차원 곱 부호와 Hadamard 코드의 간단하고 효율적인 복호 방법은 이미 널리 알려져 있다. 또한 Hadamard 확산을 이용한 정진폭 다중화 기법은 확산이득의 증대와 저가의 저전력 RF 모듈의 적용이 가능한 장점이 있다.

특히, MDSSS 기술은 옥외 무선 환경에서 저전력 통신을 고려하여 설계된 PHY 기술로서 무선 구간간의 신뢰성 향상 및 전송거리 확장 그리고 다양한 전송률을 제공할 수 있다는 점에서 기존의 15.4 기반 WPAN으로 구현하는 데 어려움이 있었던 여러 응용 서비스의 활성화에 기여할 것으로 판단된다.

나. IEEE 802.15 LECIM

LECIM은 옥외 시설물, 환경, 자산 등의 감시와 같이 저전력 운용이 가능한 옥외 중거리 통신기술의 표준화를 목적으로 하는 SG이다. 2010년 3월 회의에서 IG로 승인되었으며, 5월 회의에서 응용 관점에서 요구사항 및 서비스 영역에 대하여 논의를 거쳐, 7월 회의에서 tutorial 세션 발표와 함께 SG 승인이 되었다.

현재 15.4g가 표방하는 서비스 영역과의 중복성 때문에 차별성에 대한 일부 논란이 있기는 하지만, LECIM은 15.4g에 비해 저전력 기능에 좀더 까다로운 요구사항을 수용하는 모니터링 서비스, 예를 들어, 컨테이너 관리, 스마트 수도/가스 검침, 토양 수분 모니터링 서비스를 위한 기술 규격에 중점을 둔다. 현재 표준화가 초기 단계이며 예상 응용 서비스에 대한 시장의 관심도 높다는 점에서 현 단계에 표준화 참여를 통한 기술 반영이 적절할 것으로 예상된다.

2. 국내 표준 동향

WSN PHY 계층에 대한 국내 표준규격은 대부분 IEEE 802.15.4를 준용하고 있다. 구체적으로, IEEE 802.15.4-2003은 TTA 규격 TTAE.IE-802.15.4로 등록되어 있고, IEEE 802.15.4-2006은 TTA에

서 논의가 완료되지 못하여 USN-Forum 규격으로 진행중이다. 15.4g의 표준이 완료되면 MDSSS를 포함하여 ETRI가 제안한 기술을 중심으로 국내 표준을 위한 별도의 절차가 시작될 예정이며, 15.4g 표준과 별도로 MDSSS 기술을 활용한 저전력 WSN 규격을 국내 표준으로 진행할 것을 검토하고 있다.

IV. 맺음말

WSN 전송기술은 초기의 저전력 망 구성을 확보하기 위한 연구에서 무선 구간간의 신뢰성 확보와 정보의 시의성을 보장하기 위한 방향으로 그 기술적 속성을 확장하고 있다. 이는 최근 산업 자동화 서비스 및 스마트 그리드에 대한 WSN 기술 적용이 가시화 됨에 따라 관련 시장 활성화가 예상되고 있으며, 국제 표준 기구에서는 표준기술의 선점을 위해 새로 규격을 제정하거나 기존의 규격을 개정하여 발빠르게 대응하고 있다.

산업자동화 관련 표준기구인 ISA와 HART는 이미 WirelessHART와 ISA100.11a-2009 등의 표준 규격을 마치고 ISO와 IEC의 표준화 작업을 통해 산업 자동화 시장에서 우위를 차지하고자 노력하고 있다. 한편, IEEE 802 WG15는 WPAN 전송 표준 기술로 가장 널리 자리잡은 15.4 MAC을 개선한 15.4e에 대한 표준 규격 작업을 진행하고 있으며, 이를 기반으로 한 ZigBee 및 IETF 단체의 후속 표준 규격 개선 활동이 예상된다. 기존 15.4 표준 기술이 현재 WSN 관련 시장에서 가장 널리 쓰이고 있는 전송 규격이라는 점에서 이와 호환성을 갖는 15.4e의 파급효과는 상당하리라 예상된다. 또한, 15.4e 규격은 기존의 15.4 PHY 규격뿐만 아니라 현재 동 WG에서 표준 작업이 진행중인 SUN-PHY(TG4g)와 능동형 RFID PHY(TG4f) 규격과의 인터페이스를 제공하고 있다는 점도 표준 기술로서의 영향력이 상당히 클 것으로 예상된다.

최근 관심이 고조되고 있는 스마트 그리드에 WSN 기술을 접목하고자 하는 IEEE 802.15 TG4g의 SUN

PHY 표준 기술은 스마트 그리드 관련 WSN 전송 표준 기술이라는 점에서 큰 의의를 갖는다. 기술적으로도 SUN PHY 규격은 주로 실내 서비스에 국한된 15.4 PHY 기술에 비해 옥외 통신 환경으로 영역을 확장했다는 장점 이외에 RF 링크에 대한 신뢰성을 높였다는 장점을 갖는다. 다만, 저전력 기능 개선에 다소 소홀한 부분이 아쉬운 점이다.

시의성과 RF 신뢰성을 지원하는 이러한 표준기술의 다변화는 서비스에 따른 기술적 요구사항을 만족하는 규격을 선택할 수 있다는 장점을 갖게 될 것이다. 망 관리자의 입장에서는 이러한 표준기술의 상호운용성을 고려해야 한다는 점에서 불편함을 감수해야 할 것이다. 하지만, 산업자동화 애플리케이션과 같이 최근 활성화되고 있는 시장을 중심으로 서비스 요구 사항을 반영하는 표준 기술의 등장으로 WSN 시장의 활성화에 긍정적 요소로 작용할 것으로 판단된다.

● 용어해설 ●

WPAN: 무선 근거리 개인 통신을 뜻하며, 통신 거리 측면에서 무선 LAN 보다 작은 통신 반경(0~50m)을 갖는 무선 ad-hoc 데이터 통신 시스템을 일컫는 말이다. IEEE 802 WG15에서는 전송속도에 따라 고속 WPAN(HR-WPAN)과 저속 WPAN(LR-WPAN)으로 나누어 표준화 작업을 진행하고 있다. 본 고에서는 HR-WPAN 전송 기술에 국한하여 사용하며, 무선 센서네트워크(WSN)의 전송계층 기술과 같은 의미로 사용한다.

약어 정리

BOP	Beacon Only Period
CAP	Contention Access Period
CFP	Contention Free Period
CoRE	Constrained Restful Environments
DSME	Distributed Synchronous Multi-channel Extension
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum
FCS	Frame Check Sequence
FEC	Forward Error Correction
FSK	Frequency Shift Keying

GTS	Guaranteed Time Slot
HART	Highway Addressable Remote Transducer protocol
HCF	HART Communication Foundation
IG	Interest Group
ISA	International Society of Automation
ISM	Industrial, Scientific, and Medical
LAA	Last Address Assigned
LECIM	Low Energy Critical Infrastructure Monitoring
LL	Low Latency
MDSSS	Multi-rate Direct Sequence Spread Spectrum
NME	Network Management Entity
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAR	Project Authorization Request
PQP	Parameterized QoS Period
PSDU	PHY Service Data Unit
RoLL	Routing over Low power and Lossy networks
6LoWPAN	IPv6 over low power WPAN
SUN	Smart Utility Network
TPC	Turbo Product Code
TSCH	Time Slotted Channel Hopping
TSMP	Time Synchronized Mesh Protocol
WAP	Wireless Access Point
WG	Working Group
WIA-PA	Wireless network for Industrial Automation-Process Automation
WiBeem	Wireless Beacon-enabled energy efficient mesh network
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 Wire-

- less Personal Area Networks(WPANs), 2006.
- [2] ISA-100.11a-2009, Wireless systems for industrial automation: Process control and related applications, ISA, 2009.
- [3] http://hartcommorg/hcf/news/pr2010/Wireless-HART_approved_by_IEC.html