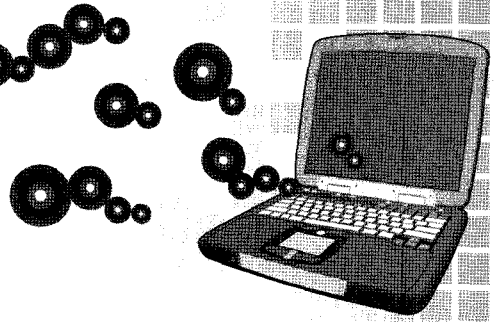


무선센서네트워크 MAC 표준기술 동향

정운철 | ETRI RFID/USN 연구부 USN 기반기술연구팀 선임연구원
신창섭 | ETRI RFID/USN 연구부 USN 기반기술연구팀 선임연구원



1. 머리말

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

현재 무선센서네트워크 관련 표준기술은 무선 근거리 개인 통신망(WPAN) 전송 규격을 위한 IEEE802.15 표준 규격과 이를 기반으로 상위 계층 규격을 정하여 관련 산업에 적용하려는 ZigBee 규격이 있으며, IP기술을 센서네트워크에 접목하기 위해 IETF의 6LoWPAN WG, ROLL WG, CORE BoF 등에서 표준화가 진행 중이다. 또한 HART와 ISA는 WirelessHART와 ISA-100.11a 등의 표준 작업을 마치고 공정 모니터링 및 산업 자동화에 적용을 위한 노력을 기울이고 있다. ISO와 IEC도 IEC62591과 ISO/IEC18000-7 등 무선센서네트워크 관련 표준규격을 승인하거나 현재 표준화가 진행 중이다. 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 발 빠르게 표준 작업을 진행해 나가고 있다.

이들 표준기술 중 전송기술 측면에서 주목할 규격은 IEEE802.15.4[1]이다. 이는 Zigbee, IETF 6LoWPAN, ISA-100.11a 등이 IEEE802.15.4 규격에 기반을 두거나 일부를 준용하여 상위 계층에 대한 규격을 구체화했기에 그 파급 효과가 가장 크다. IEEE802.15.4는 작은 패킷 사이즈를 갖는 온/습도, 미터링 데이터를 수집하기 위한 저전력의 단순 모니터링 서비스를 염두해 두어 표준화가 진행되었으며, ZigBee에서는 이러한 용도의 응용에 부합하는 네트워크 계층 규격과 여러 애플리케이션 프로파일을 정의하여 시장에 관련 제품 등을 선보이기도 했다. 하지만 IEEE802.15.4 MAC 기술은 네트워크 트래픽의 증가에 따라 발생하는 빈번한 재전송에 의한 심각한 성능 저하와 시의성(時直性, timeliness)을 갖는 센싱 정보 전달의 요구 품질을 만족할 수 없다는 제약 사항을 갖는다. 또한 동종 혹은 이종의 무선 간섭에 의한 수신 신호 품질 저하는 무선 근거리 개인 통신망으로서의 제 기능을 발휘할 수 없다는 문제점을 가져 관련 시장의 활성화에 한계를 보이고 있다.

최근 들어 공장 자동화와 같이 취약한 무선 환경을

갖는 현장에 생산 품질 관리를 위한 유선 모니터링 장비를 저가의 무선 기반 네트워크로 대체하고자 하는 움직임이 산업계에서 활발히 일고 있다. 이에 현장 전기 설비 통신 규격을 담당하는 HART는 유선 설비 간의 네트워크를 무선으로 대체하고자 2007년 WirelessHART 표준 규격을 제정하였고, 현재 이 규격을 따르는 센서 노드 디바이스가 출시되어 HART 회원을 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 IEEE802.15에서도 기존 IEEE802.15.4-2006 MAC 규격의 기능을 보완하여 무선 환경에 대한 신뢰성과 센싱 정보 전달의 시의성을 확보하고자 하는 표준화 작업을 TG4e에서 진행 중이다.

본 고에서는 최근 들어 센서네트워크 기술을 시의성과 높은 수준의 무선링크 신뢰성을 필요로 하는 응용 서비스에 접목하고자 하는 시장의 요구가 커짐에 따라 이를 반영하여 표준화가 진행되고 있는 IEEE802.15의 TG4e의 MAC 기술을 중심으로, 무선 센서네트워크 MAC 관련 표준기술에 대한 동향을 소개하고자 한다.

2. 저전력 고신뢰 무선센서네트워크 MAC 기술 표준화 동향

2.1 국제 표준화 동향

2.1.1 IEEE802.15 TG4e

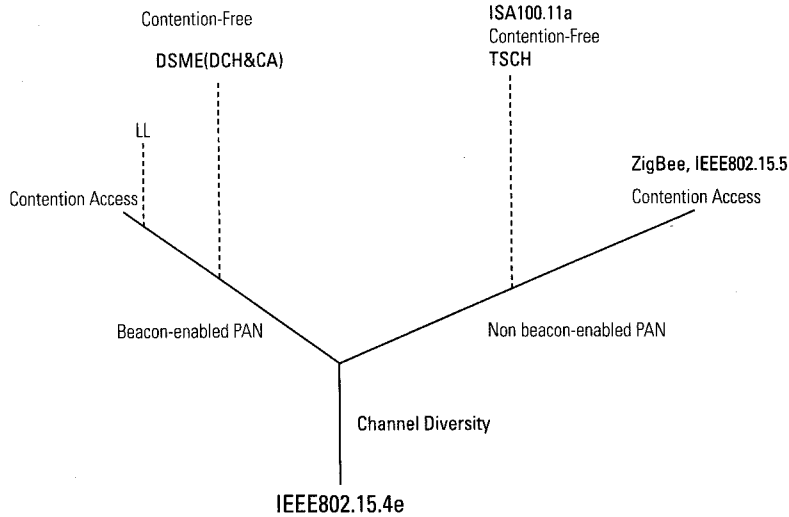
IEEE802.15 TG4e(이하 15.4e)는 전술한 바와 같이 IEEE802.15.4-2006(이하 15.4) MAC 표준기술과의 호환성을 유지하는 한편 기능상의 한계를 극복하고 산업계의 기술적 요구사항과 보다 넓은 서비스 영역을 확보하여 WPAN 시장의 활성화에 기여하고자 개정 작업을 진행 중이다. 이러한 개선된 MAC 기능은 IEC 62591, ISA100.11a, WIA-PA(Wireless network for Industrial

Automation-Process Automation) 등에 기술된 산업 응용 서비스들에 센서네트워크기술을 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(Distributed Synchronous Multi-channel Extension) 모드, TSCH(Time Slotted Channel Hopping) 모드, LL(Low Latency) 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 지연시간의 최소화를 목적으로 하는 LL모드는 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 비컨모드(beacon enabled PAN mode)와 통신 프레임의 교환을 위해 비 주기적으로 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]는 이를 도식화한 것이다.

15.4e의 가장 큰 특징은 시분할 기반 채널 다이버시티 기술의 채택에 있다고 하겠다. 시분할 기반의 채널 접근 방식은 CSMA와 같은 임의 채널 접근 방식의 특성에서 기인하는 패킷 충돌에 의한 재전송을 줄여 유효



[그림 1] IEEE802.15.4e MAC 동작 모드 개념도

통신 전력을 최소화하는 한편, 시의성이 요구되는 경보 및 모니터링 정보 전달을 위해 확정적 지연 시간을 보장함으로써 전송 정보의 품질을 향상시킬 수 있는 MAC 기술이다. 또한 산업 현장과 같이 동종 혹은 이종의 RF 기기가 혼재하여 무선 간섭이 심한 환경과 무선 채널에서 기인되는 채널 페이딩에 의한 수신 신호 감도 저하를 극복하기 위한 채널 다이버시티 기술은 RF 링크의 신뢰성을 극대화할 수 있다. 시분할 기반 채널 다이버시티 기술은 통신을 위한 예약 주파수 채널 시퀀스를 이용해 송신 노드와 수신 노드가 채널을 옮겨 다니며 프레임을 주고받는 채널 호핑 방식과, 채널 상태가 정해진 수신 조건보다 열악해질 때 새로운 채널로 변경하여 프레임을 주고받는 채널 적응 방식으로 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 MAC 기능 방식 중에서 선택하여 네트워크를 운용할 수 있다. DSME는 기존 15.4의 비컨 모드에서 사용되는 슈퍼 프레임 구조를 유지하고 있

지만 inactive 구간이 생략된 여러 슈퍼 프레임을 묶어 멀티 슈퍼 프레임이라는 구조를 갖는다. 멀티 슈퍼 프레임은 노드 간 peer-to-peer 통신을 가능하게 하여 종전의 15.4 슈퍼 프레임 구조에서 발생하는 토폴로지 제한 및 종단 간 데이터 전송경로의 중복 및 신뢰성 문제를 해결했다. 노드 디바이스들의 시각동기는 비컨에 포함된 시간정보를 이용해 보정하도록 되어 있다. 무선 링크의 형성은 히든 노드 문제를 해결하기 위해 3웨이 핸드 셰이킹을 통해 이루어지며, 채널 적응 방식과 채널 호핑 방식 모두 DSME-GTS handshake 제어 프레임을 사용하여 각 채널 다이버시티 방식에 따라 채널 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 바탕으로 Join 프레임을 공용 타임슬롯(shared timeslot)을 통해 요청한다. 네트워크 참여를 요청 받은 노드는 Activate 프레임을 통해 새로운 노드에게 자원을 할당한다. TSCH는 시

각동기를 위하여 DSME에서와 같이 비컨 프레임을 사용하지 않는다. 대신 두 노드 간 데이터 프레임을 교환할 때 수신 노드로부터 수신한 ack 프레임의 시각 정보를 통해 노드 간 동기 정보를 갱신하도록 하고 있다. 이러한 시각 동기 방식은 비컨 프레임과 같은 범용 프레임을 사용하지 않기에 모든 노드가 시각 동기를 위해 깨어야 하는(wake-up) 전력소모를 줄일 수 있는 장점을 갖지만 트래픽이 간헐적이거나 긴 인터벌을 갖는 비주기적인 경우 노드 간 시각 동기를 맞추기 어렵다는 단점도 갖는다. TSCH는 ISA100.11a의 데이터 링크 계층(DLL)의 규격을 기반으로 하고 있어 두 표준기술 간 많은 공통점을 내포하고 있다.

LL는 지연 시간 최소를 목적으로 하는 공장 자동화 서비스에 특화된 모드로 다른 동작 모드와 비교해 구체화된 요구 사항을 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 해야 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 한정되는 단점을 가질 수밖에 없다.

2.1.2 그 외 무선센서네트워크 MAC관련 표준기술

WirelessHART과 ISA100.11a는 산업 자동화(industrial automation)에 관련된 표준기술로서, WirelessHART는 HART7 규격의 일부로 2007년 7월에 HART Communication Foundation에서 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 기기 간 높은 무선 구간 신뢰성을 지원하기 위한 프로토콜, 시스템 관리, 게이트웨이, 보안 규격 등을 정의하고 있다. 두 표준 기술에서의 DLL 프로토콜은 Dust Network社의 TSMP(Time Synchronized Mesh Protocol)라 불리는 시각동기 기반의 채널 호핑 기술을 기반으로 하며, WLAN이나 휴대전화 또는 IEEE802.15x, IEEE802.16x 무선 기기 등이 혼재하는 열악한 산업 현장의 무선 환경에서 링크계층의 안정적인 동작을 제공할 수 있는 뛰어난 간섭 제어 기술을 제공한다. ISA100.11a는 QoS지원을 위해 DLL 계층과 네트워크 계층의 자원 관리를 NME(Network Management Entity)에 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 편중되어 파생될 수 있는 중앙 집중형 시스템의 한계도 동시에 포함할 수 있다.

이외 MAC 계층에 대한 표준기술을 연구하지는 않지만 WSN 기술과 관련하여 널리 알려진 표준기술로는 IETF의 6LoWPAN, RoLL과 ZigBee 등이 있다. IETF는 IEEE802.15.4-2003규격을 기반으로 한 WSN에 IPv6를 적용하기 위한 표준화 작업을 6LoWPAN과 RoLL WG에서 진행 중이다. ZigBee는 IEEE802.15.4-2003 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 리모콘과 같은 가전기기, 홈 오토메이션 서비스 제품을 선보이고 있다.

2.2 국내 표준화 동향

무선센서네트워크 MAC 기술 관련 국내 표준으로

는 WiBeem(Wireless Beacon-enabled Energy Efficient Mesh network)과 ETRI의 동기형 채널 다이버시티 MAC 기술이 있다.

WiBeem은 U-City 포럼 단체 주도로 표준화가 진행된 무선 근거리 개인 통신망용 국내 표준 규격으로 U-City의 주요 요구사항인 저전력, 확장성, 이동성 등을 만족하기 위한 기술이다. 기존 기술인 블루투스나 IEEE802.15.4 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 적합지 않다. WiBeem 기술은 이러한 문제점을 해결하기 위하여 전체 메시 네트워크가 비컨 정보로 동기화되어 안정적으로 절전형 메시 네트워크 기술을 구현하였다. MAC 계층의 슈퍼 프레임의 구조는 다수의 비컨을 수용하기 위한 BOP(Beacon Only Period) 구간, QoS 전송을 위한 PQP(Parameterized QoS Period) 구간, 경쟁 기반 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. 네트워크 계층의 LAA>Last Address Assigned) 기반 주소 할당기법을 통하여 주소 고갈 문제 해결과 네트워크 이동성 기능을 지원한다.

WiBeem 기술은 U-City포럼에서 표준화가 진행되어 2006년 CD가 승인되었으나 포럼 표준으로는 완료되지 못했다. 현재 WiBeem은 ISO/IEC JTC1/SC25에서 프로젝트 29145로 표준화가 진행되고 있으며, MAC 기술에 관련하여 ISO/IEC 29145-2가 working draft로 진행 중이다.

ETRI의 동기형 채널 다이버시티 MAC 기술은 무선 링크의 신뢰성과 센싱정보의 시의성을 보장하기 위한 MAC 기술로 비컨의 시각 정보를 통한 시각 동기를 제공하며, 채널 호핑 기술과 채널 적응형 접근 기술을 신

축적으로 운용할 수 있도록 하고 있다. 현재 해당 MAC 기술은 IEEE802.15.4e의 DSME MAC 기술의 주요 기술로 채택되어 표준화가 막바지에 이르고 있고, RFID/USN 포럼과 TTA를 통해 국내 표준기술로 표준화 활동을 준비 중이다.

3. 맺음말

WSN MAC 관련 표준기술은 초기의 저전력을 강조하는 망 구성에서 무선 구간의 신뢰성과 정보의 시의성을 보장하기 위한 방향으로 그 기술적 속성을 확장하고 있다. 이는 최근 산업 자동화 서비스에 대한 가시적인 무선센서네트워크 시장 활성화에 따른 요구사항이 반영된 결과로 보인다.

이미 표준화를 마친 WirelessHART와 ISA100.11a는 ISO와 IEC의 표준화 작업을 통해 산업 자동화 시장에서 우위를 차지하고자 노력하고 있다. 한편, IEEE802 WG15는 WPAN 전송 표준기술로 가장 널리 자리 잡은 IEEE802.15.4-2006 MAC을 개선한 IEEE802.15.4e에 대한 표준 규격 작업 진행하고 있으며, 이를 기반으로 한 ZigBee 및 IETF 단체의 후속 표준 규격 개선 활동이 예상된다. IEEE802.15.4가 기존 무선센서네트워크 관련 시장에서 가장 널리 쓰이고 있는 전송 규격이라는 점에서 이와 호환성을 갖는 IEEE802.15.4e의 파급효과는 상당하리라 예상된다. 또한, IEEE802.15.4e 규격은 기존의 IEEE802.15.4-2006 PHY 규격뿐만 아니라 현재 동 WG에서 표준 작업이 진행 중인 SUN-PHY(TG4g)와 능동형 RFID PHY(TG4f) 규격과의 인터페이스를 제공하고 있다는 점도 표준 기술로서의 영향력이 상당히 클 것으로 예상된다.

사용자의 입장에서 시의성을 지원하는 이러한 표준기술의 다변화는 서비스에 따른 기술적 요구사항을 만족하는 규격을 선택할 수 있다는 장점을 갖게 될 것이나,

망 관리자의 입장에서는 이러한 표준기술의 상호 운용성을 고려해야 한다는 점에서 불편함을 감수해야 할 것이다. 하지만, 산업자동화 애플리케이션과 같이 최근 활성화되고 있는 시장을 중심으로 서비스 요구사항을 반영하는 표준 기술의 등장은 무선센서네트워크 시장의 활성화에 긍정적 요소로 작용할 것으로 판단된다.

[참고문헌]

[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] ISA-100.11a-2009, Wireless systems for industrial automation: Process control and related applications, ISA, 2009.

[3] http://hartcommorg/hcf/news/pr2010/WirelessHART_approved_by_IEC.html.

*본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술 개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [10035380, 초절전 센서 네트워크 핵심기술개발] **TTA**

정보통신용어해설

단일 접속료

單一接續料 [관리비용]

통신업체간 정산하는 접속료가 동일한 요금 정산 방식.

초기에는 후발사업자들이 선발사업자와 경쟁할 수 있도록 하는 상호 접속료 제도를 운영해 왔으나 네트워크가 빠르게 진화하고 유무선이 융합하는 환경의 도래로 단일 접속료 적용이 일반화 되고 있다.