

소형 경량의 특성을 만족하는 ZigBee MAC 프로토콜 개발

한창만, 최정훈
한국산업기술대학교 전자공학과
e-mail:hanmail74@empal.com

Development of small-sized light weight ZigBee MAC Protocol

Chang-Man Han, Jeong-Hun Choi
Dept of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University

요 약

지금까지 무선 통신 기술은 높은 데이터 처리량을 가진 통신에 대하여 집중 개발되었으나, 낮은 처리량과 적은 비용, 낮은 전력소모의 요구사항을 가진 소형 경량의 무선 통신 분야의 기술개발은 활발하지 못했다. 현존하는 무선 통신 기술들을 낮은 처리율과 낮은 가격, 낮은 전력소모의 요구사항에 적용하기에는 필요이상의 성능과 비용이 들어가며, 특히 많은 전력을 소모하는 문제점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 소형 경량의 무선 통신 기술인 ZigBee가 생겨나게 되었다. 본 논문에서는 현존하는 무선 통신 기술과 ZigBee 기술을 비교분석하여 ZigBee 기술의 필요성과 장단점을 제시하고, ZigBee의 핵심 기술 중 하나인 IEEE 802.15.4 MAC(Medium Access Control) 프로토콜 개발결과를 기술한다.

1. 서론

지금까지 무선 통신망은 수 Mbps에서 수십 Mbps의 데이터 전송속도의 고속화에 중점을 두고 발전해왔다[1]. 그러나 낮은 전송속도, 낮은 비용, 낮은 전력 소모가 요구되는 무선 통신 응용분야에 대한 연구 개발은 활발하지 못했다. 최근에 이러한 요구사항을 만족하는 ZigBee 기술이 등장하게 되었다.

현존하는 무선 통신 기술로는 SWAP(Shared Wireless Access Protocol) 기술, Bluetooth, Wi-Fi(Wireless Fidelity) 기술 등이 있다. 하지만 이러한 무선 통신 기술들은 낮은 전송속도, 낮은 비용, 낮은 전력소모가 요구되는 무선 통신 응용에 적용하기에는 필요이상의 성능과 많은 비용이 들어간다. 또한 전력소모가 많아 낮은 전력 소모가 중요 필수 요구사항인 무선 센서네트워크 및 제어 응용분야 등에 적용하지 못하는 문제점이 있다.

본 논문에서는 낮은 데이터 처리율, 낮은 가격, 낮

은 전력소모 요구사항에 적용 가능한 소형 경량의 ZigBee MAC 프로토콜을 개발결과를 기술하였다. 2장에서는 기존의 무선 통신 기술과의 비교분석을 통하여 ZigBee의 필요성에 대하여 설명하고, 3장에서는 ZigBee MAC 프로토콜의 특징에 대하여 설명하였다. 4장에서는 ZigBee MAC 프로토콜의 개발 과정과 현실상황과 유사한 센서기반 시험환경에 대하여 기술한다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 언급한다.

2. ZigBee와 기존 무선 통신망 비교

표 1은 현재 사용하고 있는 무선 기술인 Bluetooth와 Wi-Fi를 ZigBee 기술과 비교한 것이다[2,3]. 표 1에서 비교한 것과 같이 ZigBee는 다른 무선 통신 기술보다 데이터 전송 속도가 느리며, 좁은 영역에서 동작한다. 하지만 ZigBee는 낮은 데이터 처리율과 짧은 전송거리로 인하여 송신전력이 낮은 특성

때문에 저전력 구현이 가능하다. 또한 네트워크 안에서 하나의 디바이스를 코디네이터로 명하여 송/수신의 기능이 필요한 경우에만 노드를 활동 상태로 변경하는 방식을 채택함으로써 전력 소모를 극소화하였다[5].

ZigBee 프로토콜 스택의 크기는 다른 무선 통신 기술보다 소형 경량이다. 프로토콜 스택이 소형 경량이기 때문에 소프트웨어를 구현하기 쉬우며, 시스템을 구성하는데 낮은 가격으로 구현이 가능하다. 이외에도 기존의 무선 통신기술은 고속의 데이터 전송에 대한 장점은 있지만 네트워크 내에서 노드수의 제한이 있다. ZigBee는 네트워크 내에서 기본으로 254개의 노드가 존재할 수 있으며, 확장시 최대 65534개 까지 노드가 추가될 수 있다.

표 1 ZigBee와 무선 통신 비교

구분	ZigBee	Bluetooth	Wi-Fi
주파수 대역	868MHz 915MHz 2.4GHz	2.4GHz	2.4GHz
데이터 속도	20Kbps 40Kbps 250Kbps	1Mbps	11Mbps
전송거리	10m~75m	10m~100m	60m~90m
노드수	254 확장시 65534	8	256
Power	송신시 30mA 대기시 3uA	송신시 40mA 대기시 0.2mA	송신시 <400mA 대기시 20mA
프로토콜 스택	최소 4K 최대 32K	~>100K	>100K
응용분야	원격지 컨트롤 센서 네트워크	무선 USB 헤드셋	인터넷 브라우저 PC 네트워크

ZigBee와 현재 사용되어지고 있는 무선 통신 기술인 Bluetooth와 Wi-Fi를 비교한 결과 ZigBee는 낮은 데이터 처리율과 좁은 영역에서 동작되는 단점이 있으나, 이러한 단점보다는 낮은 전력소모와 낮은 비용으로 구현될 수 있다는 점에서 기존 무선 통신 기술과의 차별성을 가지며, 장점으로 부각되고 있다. 또한 기존 무선 통신 기술보다 네트워크 내에서 많은 노드수를 가지는 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 기존의 무선 통신 기술로는 응용하기 어려운 낮은 데이터 처리율, 낮은 가격, 낮

은 전력소모, 소형 경량이 요구되는 무선 센서 네트워크 및 제어 응용분야 등에 적용하기에 적합한 기술이다.

3. ZigBee MAC 프로토콜의 특징

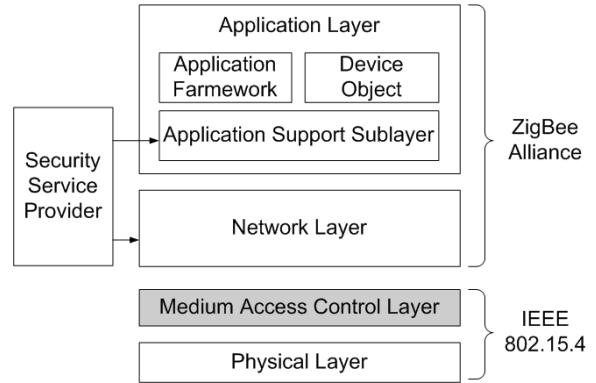


그림 1 ZigBee 프로토콜 스택

그림 1은 ZigBee 프로토콜 스택을 간략하게 표현한 것이다. ZigBee는 IEEE 802.15.4 표준에서 PHY (Physical Layer)와 MAC 계층을 정의하고 있으며, 상위계층인 네트워크 계층과 응용계층에 대한 프레임워크에 대한 정의는 ZigBee Alliance에서 하고 있다. ZigBee MAC 프로토콜의 기능은 연결, 분리, acknowledged 전달, 프레임 유효성 보장, 채널 접근 관리, 보장된 시간 슬롯 관리, 비컨 관리이다[4].

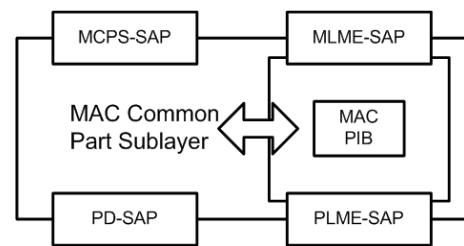


그림 2 MAC 부층 참조 모델

그림 2는 ZigBee MAC 프로토콜의 참조 모델이다 [4]. ZigBee MAC 프로토콜은 하위 계층 데이터 서비스를 위한 PD-SAP(PHY Data - Service Access Point)와 PHY 관리를 위한 PLME-SAP(PHY Management Entity - Service Access Point)을 가지며, 상위 계층과의 데이터 서비스를 위한 MCPS-SAP(MAC Common Part Sublayer - Service Access Point)와 MAC 관리를 위한 MLME-SAP(MAC Sublayer Management Entity - Service Access Point)를 가진다. ZigBee는 MAC 관리를 위

해 총 30개의 명령을 가지고 있으며, 최소한의 리소스만으로 동작되는 RFD(Reduced - Function Device)일 경우 21개의 명령이 사용된다.

이는 명령 131개의 명령과 32개의 이벤트가 있는 Bluetooth와 비교해 보면, ZigBee MAC는 매우 낮은 복잡도로 구성되어 있다[6].

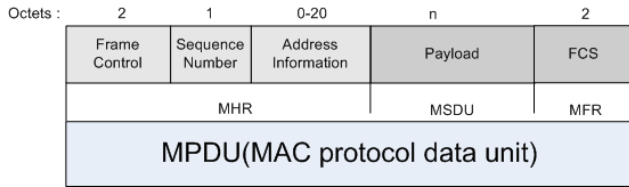


그림 3 일반적인 프레임 MAC 포맷

ZigBee MAC 프로토콜에서 사용되는 프레임은 비컨, 데이터, MAC 명령, 확인 프레임 4가지이며, 그림 3은 일반적인 프레임의 구조를 나타낸다.

ZigBee MAC 프로토콜의 프레임 구조는 간단한 프로토콜을 유지하면서도 상이한 애플리케이션과 네트워크 형태에 대한 필요를 수용할 수 있는 매우 융통성 있는 구조를 유지한다[6].

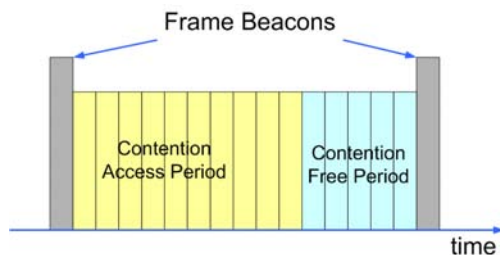


그림 4 슈퍼 프레임 구조

ZigBee MAC 프로토콜은 네트워크 내에서 비컨을 사용하면 CSMA-CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)방식이 사용되며, 비컨이 사용되지 않으면, 언 슬롯 CSMA-CA방식을 사용한다.

ZigBee에서는 슈퍼 프레임 구조를 옵션으로 사용할 수 있다. 그림 4는 슈퍼 프레임 구조를 나타낸다. 슈퍼 프레임의 사용은 Coordinator에 의해서 정해지며, 지연 시간이 적은 응용 혹은 특정 데이터 대역을 요구하는 응용들을 위해 PAN(Personal Area Network) Coordinator는 활동적인 슈퍼 프레임의 부분을 할당한다. 이 부분을 GTSs(Guaranteed time slots)라고 하며, CFP(Contention Free Period)로 구성된다. 슈퍼 프레임의 주기는 16이며, 처음 프레

임은 비컨 신호를 송신한다. 이 간격은 15ms~245sec이며, 이 간격 안에 데이터 송수신을 완료해야 한다. 슈퍼 프레임은 활동과 비활동 부분을 가지고 있으며, 비 활동 부분에 있는 동안 Coordinator는 네트워크내의 디바이스와 통신하지 않으며, 저전력 모드로 동작된다.

ZigBee MAC는 상위 계층에 의해 요청되었을 때 지정된 송/수신 프레임에 보안 서비스를 제공한다. 제공되는 보안 서비스는 Access control, Data encryption, Frame integrity, Sequential freshness의 4가지이며, 보안 서비스는 Unsecured 모드, ACL(Access Control List) 모드, secured 모드중 하나로 동작된다.

4. MAC 프로토콜 개발 결과 및 시험환경

ZigBee MAC 프로토콜을 개발하기 위해서 첫 번째로 ZigBee MAC 프로토콜의 표준인 IEEE 802.15.4를 분석하였으며, 분석된 결과를 가지고 통신 시스템을 명세 하는 정형화된 언어인 SDL(Specification and Description Language)을 이용하여 상세 설계를 하였다. 작성된 설계서를 가지고 자동화 도구를 이용하여 모의수행을 실시하였으며, 모의수행을 통하여 검증은 실시하였다. 검증결과 표준안에 명세 되어 있는 SDL 설계서에서 다수의 오류를 발견할 수 있었다. 발견된 오류를 수정한 후, 자동화 도구를 이용하여 소스코드를 자동생성 후 최적화 작업을 진행하였다. 마지막으로 개발된 MAC 프로토콜의 동작 및 유용성 검증을 위하여, 실제 생활환경에서 사용되는 센서 기반 네트워크 시험 환경을 구축하여 오류 없이 정상적으로 동작되는 것을 확인할 수 있었다.

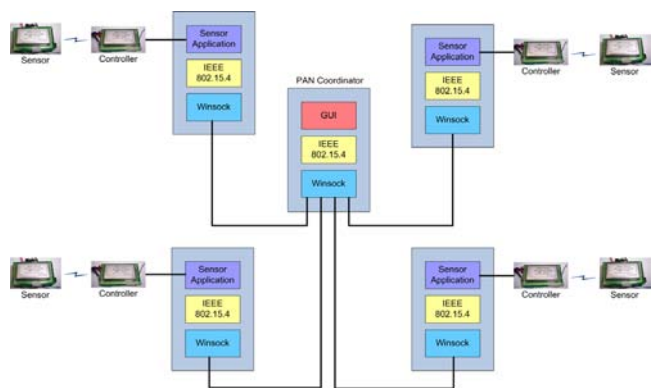


그림 5 ZigBee MAC 시험 환경

그림 5는 Star 토폴로지를 사용한 센서기반 Zig-Bee MAC 시험 환경을 나타낸 그림이다. 중앙에 PAN을 제어하는 PAN Coordinator가 있으며, RFD (Reduced Function device)로는 온도, 습도, 진동 및 기울기 센서들로 구성하였다.

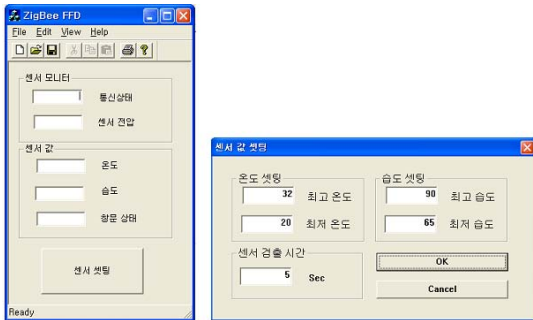


그림 6 PAN Coordinator GUI 실행 화면

그림 6은 ZigBee PAN Coordinator의 GUI(Graphical User Interface) 실행 화면이다. PAN Coordinator는 센서의 통신 상태와 전압상태를 확인하는 센서 모니터 부분과 센서들로부터 수신된 센싱 값을 모니터링 하는 부분으로 이루어진다. 또한 센서 값을 셋팅하여 각각의 범위에 따라 메시지를 화면으로 보여주는 기능을 한다.



그림 7 RFD GUI 실행 화면

그림 7은 RFD의 GUI 실행 화면으로 센싱된 값을 PAN 코디네이터로 전달하는 기능을 한다. RFD GUI는 센서를 동작시키며, PAN Coordinator가 데이터를 요구하면, 센싱된 데이터를 송신하는 기능과 센서 전원이 2.7V이하로 떨어질 경우에 PAN Coordinator로 통보하는 기능을 한다.

본 환경은 실험실 규모의 시험 환경으로 4개의 수동 노드와 1개의 Coordinator 노드로 구성된 성형 토폴로지를 가진 소규모 센서네트워크이지만 구축비용 등의 여건이 허락하면 확장된 환경에서도 동작

가능할 것으로 예상된다.

5. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 기존의 무선 통신 기술과 ZigBee 기술을 비교 분석한 결과를 제시하고, ZigBee를 구현하기 위한 중요 기술 중 하나인 ZigBee MAC 프로토콜의 개발결과를 기술하였다.

ZigBee 기술과 기존 무선 통신 기술의 비교분석 결과 낮은 데이터 처리율, 낮은 가격, 낮은 전력소모가 요구되는 무선 통신 분야에 사용하기 적합한 기술임을 확인할 수 있었으며, 개발된 ZigBee MAC 프로토콜을 현실상황과 유사한 센서기반 시험환경을 구축하여 시연해 본 결과 오류 없이 동작되는 것을 확인하였다.

향후 개발된 ZigBee MAC 프로토콜 소프트웨어를 최적화시켜 상용화된 ZigBee 모듈에 탑재하여 홈네트워크용 애플리케이션을 구현할 계획이다.

참고문헌

- [1] 한창만, 최정훈, “SDL를 이용한 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 분석 및 검증,” 한국정보과학회, 추계 학술발표논문집, 제 11권, 제2호, pp.1405-1408, November. 2004.
- [2] 김진태, 이훈, 황대환, 김봉태, “저속, 저가, 저전력 무선 PAN 표준 개발 동향,” 전자통신연구원, 전자통신동향분석, 18권, 2호, pp.37-44, 2003.
- [3] ZigBee Web site : <http://www.zigbee.com>
- [4] IEEE Standard : “Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs),” October. 2003.
- [5] 정성훈, 전호인, “IEEE 802.15.4 and ZigBee Protocol : 유비쿼터스 센서 네트워킹을 위한 Active RFID 기술,” 한국통신학회, 한국통신학회지(정보통신), 제21권, 6호, pp.67-88, 2004.
- [6] Ed Callaway, Paul Gorday, Lance Hester, Jose A. Gutierrez, Marco Naeve, Bob Heile, Venkat Bahl, “Home Networking with IEEE 802.15.4: A Developing Standard for Low-Rate Wireless Personal Area Networks,” IEEE Communications Magazine, vol. 40, pp.70-77, Aug. 2002.