

SDL를 이용한 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 분석 및 검증

한창만⁰ 최정훈

한국산업기술대학교 전자공학과

{hanmail74⁰ jhchoi}@kpu.ac.kr

Analysis and Validation of IEEE 802.15.4 MAC Protocol using SDL

ChangMan Han⁰ JeongHun Choi

Department of Electronic Engineering, Korea Polytechnic University

요 약

일반적인 무선 통신망은 데이터 전송 고속화에 중점을 두고 발전해 왔으나, 최근 무선 센서 네트워크와 같은 응용 분야에서 소량의 데이터와 낮은 처리 속도를 지원하면서 저비용, 경량, 저전력을 요구하는 무선 통신 기술이 필요하게 됨에 따라 IEEE에서 LR-WPAN(Low Rate-Wireless Personal Area Network)을 위한 새로운 IEEE 802.15.4 표준이 제시되었다. 현재 무선 센서 네트워크에 관한 연구는 소형 경량의 MAC(Medium Access Control) 프로토콜 개발이 핵심 기술로 인식되면서, 저전력 소모를 위한 라우팅 기법, MAC 프로토콜의 패킷처리 기술 등이 우선적으로 진행 중이다. 그러나 무선 센서 네트워크와 같은 응용 분야에 사용 가능한 표준인 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 실질적인 상용화를 위해서는 표준안 분석 및 검증 과정이 기본적으로 선행되어야 한다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준안의 핵심인 MAC 프로토콜을 정형화된 명세 언어인 SDL(Specification and Description Language)를 이용하여 상세 설계 및 분석 후, 자동화 도구를 이용한 모의수행을 통하여 검증하였으며, 표준안과의 비교 및 오류 수정을 거친 연구결과를 기술한다.

1. 서 론

지금까지 무선 통신망은 수 Mbps에서 수십 Mbps의 데이터 전송 속도의 고속화에 중점을 두고 발전해 왔다. 그러나 최근 무선 센서 네트워크와 같은 새로운 응용 분야의 중요성이 부각되면서, 소량의 데이터와 낮은 전송 속도를 지원하면서 저비용, 경량, 저전력을 요구하는 새로운 무선 통신 기술이 필요하게 되었다.

현재 무선 통신망에서 사용하고 있는 Wi-Fi(IEEE 802.11x), HomeRF, Bluetooth, UWB(Ultra Wide Band)등의 기술들은 필요 이상의 성능과 자원을 요구하므로 무선 센서 네트워크와 같은 응용분야에는 적합하지 못한 기술로 판단되고 있다[1][2]. 따라서 IEEE에서 2003년 5월에 무선 센서 네트워크와 같은 응용 분야에 사용할 수 있는 LR-WPAN을 위한 새로운 IEEE 802.15.4 표준을 제시하면서 본격적인 연구개발이 시작되었다.

무선 센서 네트워크에 관한 연구는 소형 경량의 MAC 프로토콜 개발이 핵심기술로 인식되면서, 저전력 소모를 위한 라우팅 기법, MAC 프로토콜의 패킷처리 기술 등이 우선적으로 진행 중이다[4,5,6]. 그러나 무선 센서 네트워크와 같은 응용 분야에 사용되는 핵심 기술인 소형 경량 MAC 프로토콜에 대한 국제 표준인 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 실질적인 상용화를 위해서는 프로토콜의 개발 및 시험 단계, 또는 그 이상의 단계에서 오류를 찾아내기 위한 표준안의 분석 및 검증과정이 기본적으로 선행되어야 한다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준안의 핵심인 MAC 프로토콜을 SDL을 이용한 정형화된 언어로 상세 설계 및 분석 후, 자동화 도구를 이용한 모의수행을 통한 검증, 표준안과의 비교 및 오류 수정을 거친 연구결과를 기술하였다. 제 2장에서 IEEE 802.15.4 표준에 대한 개요를 설명한 후, 제 3장에서 SDL을 이용한 MAC 프로토콜 설계 및 모의수행 환경과 검증과정에 대해 기술한다. 마지막으로 제 4장에서는 결론과 향후 연구 방향에 대하여 언급한다.

2. IEEE 802.15.4 표준안의 개요

2.1 일반적인 특징

LR-WPAN을 위한 규격인 IEEE 802.15.4는 낮은 복잡도를 가지며, 저가격, 저전력 소모, 소량의 데이터와 낮은 전송 속도를 가지는 무선 통신망이다[3]. 그림 1에서와 같이 IEEE 802.15.4는 물리 계층에서부터 데이터 링크 계층까지의 정의가 2003년 5월에 완료된 상태이며 데이터 링크 계층 상위 계층부터 응용 계층까지는 ZigBee 연맹에서 연구 개발 중이다[7].

IEEE 802.15.4는 FFD(Full Function Device)와 RFD(Reduced Function Device)의 2가지 장치 타입이 있다. FFD는 전체 기능을 가진 디바이스로 PAN(Personal Area Network) Coordinator, Coordinator, 디바이스로 동작되며, RFD는 최소한의 기능을 가지는 디바이스로 동기 끝에 연결되는 노드이다. 사용되는 토폴로지는 Star형과 Peer-to-Peer형이 사용되며, 두 가지 방식을 혼합하여 사용할 수 있다.

Upper Layer		Application
		Presentation
		Session
		Transport
		Network
IEEE 802.2 LLC	Other LLC	DATA Link
SSCS		
MAC		PHY
868/915MHz PHY	2.4GHz PHY	

(a) IEEE 802.15.4 스택 구조

(b) ISO-OSI 스택 구조

그림 1 IEEE 802.15.4 스택 구조와 ISO-OSI 스택 구조 비교

2.2 데이터 링크 계층

데이터 링크 계층은 이웃하는 노드간의 데이터 전송, 접근 제어, 흐름제어, 오류제어, 동기화를 담당하며, MAC, SSCS(Service Specific Convergence Sublayer), IEEE 802.2 LLC(Logical Link Control)로 구성되어 있다.

MAC 계층의 기능은 연결(Association), 분리(Disassociation), 프레임 유효성, 보장된 타임 슬롯(Guaranteed time slot) 관리, 비콘(Beacon) 관리이다. MAC 계층에서는 MCPS-SAP(MAC Common Part Sublayer - Service Access Point)와 MLME-SAP(MAC subLayer Management Entity - Service Access Point)의 2가지 서비스를 제공한다. 프레임의 종류는 비콘(Beacon), 데이터, MAC 명령, 승인 프레임 4가지이며, 최소한의 복잡도를 가진다. MAC 계층에서는 자료 전송의 신뢰성을 보장하기 위해 CS-MA-CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance), 프레임 승인(Acknowledgment), 데이터 검증(Verification)을 사용한다.

SSCS 계층은 다른 LLC들과의 호환성에 관한 기능을 가지고 있다. SSCS 계층을 사용함으로써 IEEE 802.2에서 제공되지 않는 복잡한 토폴로지를 사용할 수 있다. 또한, MAC 계층과의 단일 접속점을 통하여 서비스 접근을 한다.

LLC 계층은 IEEE 802.2에서 표준화가 이루어져 있으며, IEEE 802.3, IEEE 802.11, IEEE 802.15.1에 공통으로 사용된다. IEEE 802.2 LLC 계층은 SSCS 계층을 통해서만 IEEE 802.15.4 MAC 계층에 접근 가능하다.

2.3 물리 계층

물리 계층은 무선 송수신기의 활성화 및 비활성화, 에너지 및 채널 감축, 수신된 패킷의 품질 표시, CSMA-CA 채널평가, 채널 주파수 선택, 데이터 전송과 수신을 담당한다. 2개의 물리 계층이 지원되며, 두 물리 계층의 차이점은 사용 주파수대에 따른 변조 방식이다. 표 1은 주파수에 따른 주요 파라미터를 정리한 것이다[3]. IEEE 802.15.4에서 지원되는 채널의 수는 총 27채널이며, 868MHz대역에서 1채널을 사용하며, 915MHz대역에서 10개 채널을 사용한다. 마지막으로 2.4GHz대역에서 16개의 채널이 사용된다.

표 1. 주파수에 따른 주요 파라미터

PHY (MHz)	Frequency band(MHz)	Spreading parameters		Data parameters		
		Chip rate	Modulation	Bit rate (kb/s)	Symbol rate (ksymbols/s)	Symbols
868/915	868-868.6 902-928	300 600	BPSK	20	20	Binary
2450	2400-2483.5	2000	O-QPSK	250	62.5	16-ary Orthogonal

3. MAC 프로토콜 설계 및 검증

3.1 자동화 도구를 이용한 상세 설계

그림 2는 IEEE 802.15.4 표준을 정형화된 명세 언어인 SDL로 상세 설계한 것이다. SDL은 전기 통신 시스템의 명백한 명세와 기술을 위한 형식언어로서 쉽게 배울 수 있으며, 해석하기 쉬운 언어이다. SDL은 시스템과 그 환경과의 상호 동작을 표현하는데 유용하며, 개괄적이고 총괄적으로 시스템을 나타낼 수 있고, 세부적으로 자세히 설계할 수 있다. 또한, 확장성, 분석력, 구조화 및 재사용성이 우수한 형식 언어이다[8,9].

그림 3은 SDL로 상세 설계된 것을 모의수행을 위해 재구성한 것이다. 그림 3과 같이 구성하여 모의수행을 실행하면 실제 통신에서와 동일한 환경으로 동작할 수 있게 되어 검증과 에러

수정에 용이하다.

3.2 검증 환경 및 절차

검증 환경은 Window XP상에서 실시간 소프트웨어 개발 도구인 Telelogic사의 SDT(SDL Design Tool)를 사용하였다. SDT는 SDL Editor, Analyzer, Simulator, Validator등의 도구들이 제공된다.

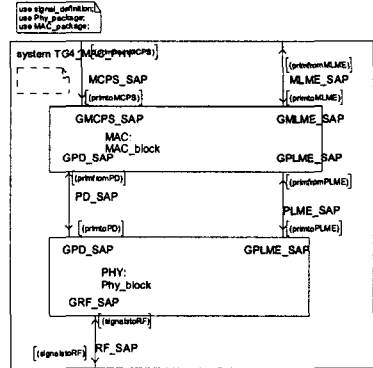


그림 2 표준안에 따른 SDL을 이용한 상세설계

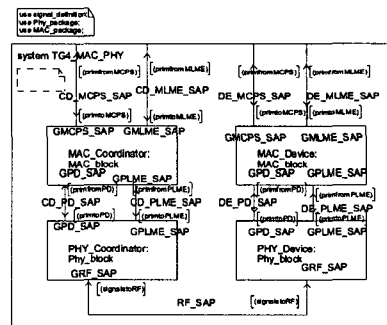


그림 3 모의수행을 위한 SDL 명세

IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 검증 절차는 첫 번째로 텍스트로 작성된 표준안을 분석한 후 그림 2와 같이 SDL 명세로 설계하였다. 두 번째로 SDT에서 제공하는 문서 검증도구인 Analyzer로 구문적/의미적 오류를 검사함으로써 SDL로 명세된 IEEE 802.15.4의 시스템, 블록, 프로세스에 구문 및 의미에 대한 오류를 정확히 검사하였다. 마지막으로 구문적/의미적 오류검사를 마친 후 그림 3과 같이 재구성하여 동적 분석 기법인 모의수행과 SDL 시스템의 행동을 표현하는 MSC를 통하여 검증과 오류를 수정하였다.

3.3 검증 결과

IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜 SDL 명세는 1개의 블록 하부에 1개의 프로세스가 명세 되어 있으며, 프로세스 하부에는 21개의 상태들과 64개의 프로시저로 구성되어 있다.

설계된 SDL을 SDT에서 제공되는 Analyzer로 구문적/의미론적 오류검사를 한 결과 SDL 명세에서 사용되지 않는 retrieve_pending 프로시저와 같은 오류를 확인할 수 있었다.

구문적/의미론적 오류검사를 마친 후 그림 3과 같이 재구성하여 모의수행을 하였다. 그림 4는 모의수행을 위한 간략화 시킨 PAN 시작 시나리오이다. 그림 5,6은 PAN을 시작하기 위한 일부 본문으로 그림 4에서 빗금 친 부분에 해당하는 부분이다. 그림 5

는 오류를 수정하기 전에 MSC와 SDL 명세로 에너지 검출을 마치는 부분으로 물리 계층으로부터 성공 신호가 수신되지 않은 상태에서 MAC 상위 계층으로 성공되었다는 신호를 송신하는 오류가 발생하는 상황을 보여주고 있다. 그림 6은 오류를 수정하기 위해 ED_HAN과 ED_END 상태를 추가한 후 모의수행을 실행한 MSC의 일부분이다.

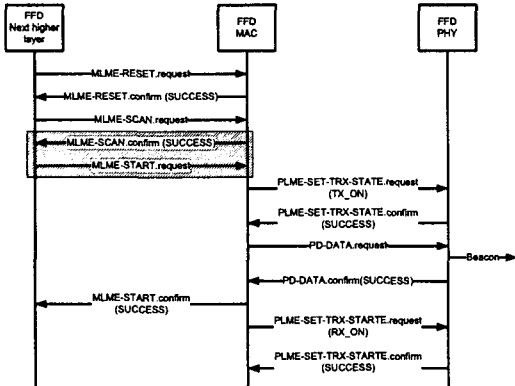


그림 4 간략화 한 PAN 시작 MSC

을 수 있었다.

향후 연구 방향은 표준 TTCN(Tree and Tabular Combined Notation)을 사용하여 적합성 시험과 IEEE 802.15.4 MAC에서 필요한 부분을 수정하고, 자동 생성된 코드의 최적화를 통하여 보다 실용적인 MAC 프로토콜을 얻기 위한 경량화 연구를 추진할 예정이다.

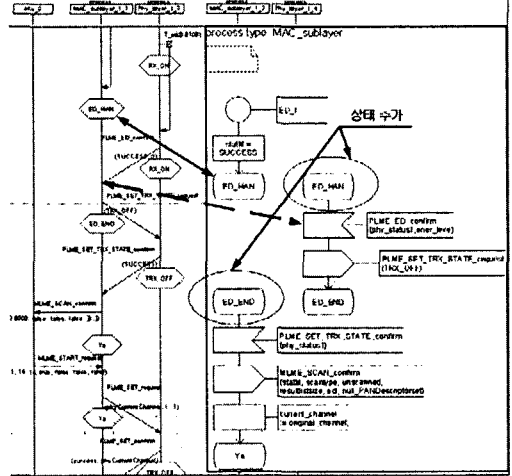


그림 6 오류수정후 모의수행 결과

모의수행을 실행한 결과 전체 정의된 프로세스 다이어그램에서 52개의 오류가 발견되었다. 프로시저는 1개가 사용되지 않고 있었으며, 3개의 프로시저에서 5개의 오류가 발견되었다. 표준안과 비교하여 오류 수정 후 다시 모의수행 결과 오류 없이 통신 흐름이 이루어지는 것을 확인할 수 있었다.

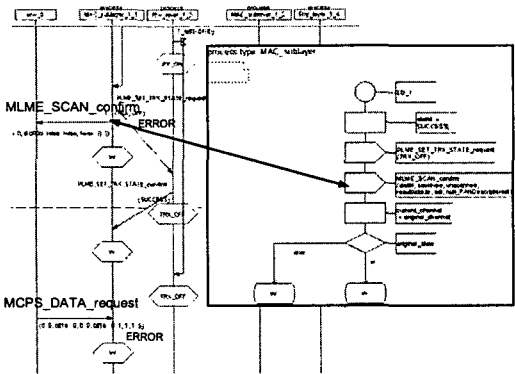


그림 5 오류수정전 모의수행 결과

4. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 무선 센서 네트워크와 같은 응용 분야의 핵심 기술인 소형 경량 MAC 프로토콜의 국제 표준으로 제시된 IEEE 802.15.4의 MAC 프로토콜의 분석 및 검증에 관한 연구를 수행하였다. 표준안에 따른 MAC 프로토콜 개발시의 오류를 최소화하기 위하여, SDL에 기반을 둔 자동화 도구인 SDT를 이용하여 실제 사용 환경과 같이 구성하여 모의수행을 통하여 다양한 시나리오로 MSC를 통하여 검증은 하였다. 그 결과 IEEE 802.15.4 텍스트로 기술된 표준과 SDL로 명세된 표준이 서로 일치하지 않는 부분과 통신상 메시지 흐름의 오류들을 찾을 수 있었다. 발견된 오류의 수정 후 다양한 시나리오에 따른 모의수행을 통하여 보다 향상된 정형화된 상세 설계 규격과 프로그램 코드를

5. 참고문헌

- [1] Gutierrez J.A., Naeve M., Callaway E., Bourgeois M., Mitter V., Heile B., "IEEE 802.15.4: a developing standard for low-power low-cost wireless personal area networks," IEEE Network, vol. 15, no. 5 pp. 12-19, 2001.
- [2] Callaway E., Gorday P., Hester L., Gutierrez J.A., Naeve M., Heile B., Bahl V., "Home networking with IEEE 802.15.4: a developing standard for low-rate wireless personal area networks," Communications Magazine, IEEE, vol. 40, no. 8, pp. 70-77, Aug. 2002.
- [3] IEEE 802.15.4, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," 2003.
- [4] Kemal Akkaya, Mohamed Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks," ELSEVIER, Ad Hoc Networks, 2003.
- [5] Wei Ye, John Heidemann, Devorah Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for wireless Sensor networks," USC/ISI Technical Report ISI-TR-567, January. 2003.
- [6] Tijs van Dam, Koen Langendoen, "An adaptive Energy-Efficient MAC protocol for wireless Sensor Networks," Sensys'03, November. 2003.
- [7] 원광호, 김재호, 유준재, "지그비(ZigBee)," TTA 저널, 제 94호, pp. 112-121, July. 2004.
- [8] ITU-T Recommendation Z.100: Specification & Description Language.
- [9] 정호원, 오연주, 최윤석, 임경식, "SDT를 이용한 무선 트랜잭션 프로토콜의 프로토타입 구현," 정보과학회논문지, 2000 권, 95호, pp. 349-351, 2000.