

IEEE 802.15.4 무선 PAN의 Slotted CSMA/CA MAC 시뮬레이션

이해림, 정민영, 이태진
성균관대학교 정보통신공학부

Simulation of Slotted CSMA/CA MAC in IEEE 802.15.4 WPAN

Hae Rim Lee, Min Young Chung, Tae-Jin Lee

School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

E-mail : {hrlee,mychung,tjlee}@ece.skku.ac.kr

Abstract

IEEE 802.15.4 low-rate Wireless Personal Area Networks(WPAN) are expected to provide ubiquitous networking between small personal/home devices and sensors with low power consumption and low cost features. The technology employs special CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) to save power consumption for small or portable WPAN-enabled devices. In this paper, we simulation the slotted CSMA/CA of IEEE 802.15.4 MAC and evaluate its performance limit in order to grasp the characteristics of Medium Access Control (MAC) of IEEE 802.15.4 WPAN.

Key Words: IEEE 802.15.4, WPAN, CSMA/CA, MAC, throughput, performance evaluation

1. 서론

초기 무선 PAN기술인 블루투스는 유선 대체 목적에 기초하여 발전했으나, 복잡성으로 인한 초기 목표 가격의 상회와 저 전력 소모 응용의 부적합성, 그리고 배터리의 수명의 한계가 드러남에 따라 최근 IEEE 802.15.4라는 새로운 표준이 등장하였고, 이 기술의 목표는 저 전력, 저 비용을 목적으로 낮은 전송율의 값싼 장치 사이의 무선 접속성을 위해 MAC계층과 PHY계층에서 표준을 제공하고 있다. IEEE 802.15.4 MAC은 비 동기 경쟁기반의 접근뿐만 아니라 경쟁 기반의 접근과 비경쟁기반의 접근이 둘 다 가능한 비콘 동기화된 슈퍼프레임 구조로 정의된다. 한 슈퍼프레임 간격은 CAP (Contention Access Period)와 CFP (Contention Free Period)로 나누어지며, CFP안의 스테이션 들은 시간지연에 민감한 데이터 스트림을 교환하고, CAP안에서는 비 동기 데이터의 전송을 위해 서로 경쟁 한다[3]. IEEE 802.15.4는 특히 배터리 공급이 적거나 휴대용 무선 PAN 장치들을 위해 필수적인 요건인 파워 절약을 위해 슈퍼프레임 구조안의 CAP동안 slotted CSMA/CA에 기반을 두고 디자인되었다. 최근 여러 가지 어플리케이션 시나리오들과 beacon-enabled MAC의 수행에 초점을 둔 시물레이션 기반의 연구들이 있었다 [2][4]. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 MAC의 slotted CSMA/CA를 위한 성능 평가를 시물레이션으로 수행하고 이를 바탕으로 성능 한계를 연구한다[2]. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IEEE 802.15.4 MAC 의 기능들을 설명한다. 3장에서는 시물레이션 및 성능분석에 대해 언급하고, 4장에서 결론을 맺는다.

2. IEEE802.15.4의 MAC 기능

2.1 superframe 구조

응용 분야에 따라 IEEE 802.15.4 저속 무선 PAN은 저 전력 소모를 위해 선택적으로 슈퍼프레임 구조를 사용할 수 있도록 하고 있다. 슈퍼프레임에서 PAN 코디네이터로 불리는 지정된 코디네이터가 사전에 미리 정해진 간격으

로 비콘을 송신한다. 또한 두 비콘 사이의 간격은 슈퍼프레임의 주기와 무관하게 16개의 동일한 타임 슬롯으로 나누어지며 비콘, CAP와 CFP의 세 부분으로 구성된다. CAP는 비콘의 전송과 함께 시작하고, CAP가 끝나기 전에 한 IFS (Interframe spacing)기간에 전송을 완성하며, CAP안에서의 채널의 접근은 slotted CSMA/CA 메커니즘을 사용한다. CFP는 GTS(Guaranteed Time Slots)의 사용을 통해 PAN 코디네이터에 의해 조절되며 GTS들의 전체 길이에 따라 CFP 기간이 결정된다. 또한 슈퍼프레임은 활성과 비활성 부분으로 나눌 수 있으며 비활성 부분에서는 저 전력 모드에 들어간다. 슈퍼프레임 구조는

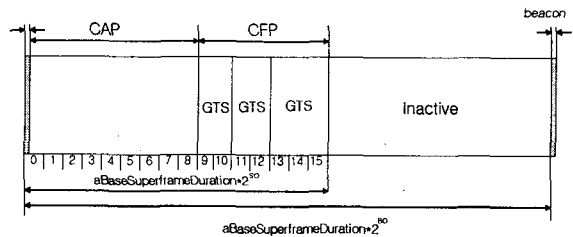


그림 1. IEEE802.15.4의 슈퍼프레임 구조

그림 1의 BO(macBeaconOrder)와 SO(mac SuperframeOrder)의 값에 의해 결정되는데, BO는 비콘 간격의 길이($2^{BO} * aBaseSuperFrameDuration$)를 결정해주고, SO는 슈퍼프레임 활성 부분($2^{SO} * aBaseSuperFrameDuration$)의 길이를 결정한다. 여기서 aBaseSuperFrameDuration은 SO가 0 일 때 한 슈퍼프레임을 형성하는 심볼 수를 나타낸다[1].

2.2 CSMA/CA 알고리즘

비콘을 사용하는 슈퍼프레임 구조의 CAP안에서 모든 프레임들은 slotted CSMA/CA를 사용하며, 비콘을 사용하지 않는 경우는 unslotted CSMA/CA 알고리즘을 사용하여 전송을 수행한다. 두 경우 모두 백오프 기간이라 불리는 시간 단위를 사용하여 알고리즘을 수행하며, 채널 접근 제어를 위해 각 스테이션 안

에 3가지 카운터를 유지한다. NB는 한 프레임 전송동안 백오프 시도의 횟수, BE는 전송 시도 전에 랜덤 백오프 기간을 생성하기 위한 백오프 지수를 나타 내며 CW는 랜덤 백오프 기간 후 CCA(Clear Channel Assessment)를 위한 슬롯이다. 그림 2는 IEEE 802.15.4의 CSMA/CA 알고리즘을 단계적으로 보여주며 slotted CSMA/CA를 사용할 경우 MAC 부 계층은 NB, CW, BE값을 초기화 시키고 battery life extension의 사용 여부 결정 후 백오프를 시작하지만, unslotted의 경우는 NB, BE만 초기화한다(step1). 그후 $0 \sim 2^{BE}-1$ 의 범위 사이에서 백오프 기간이 결정되고(step2), 물리계층에 CCA를 요청한다(step3). 만약 채널이 busy하다면(step4), CW의 값을 2로 리셋 시키고 NB, BE값을 1씩 증가 시킨 후 NB의 값이 macMax CSMABackoffs보다 작거나 같다면(step2)로 되돌아가게 되고, 그렇지 않으면 채널 접근 실패 상태로 종결된다. 만약 채널이 idle하다면(step5), slotted로 작동하는 경우는 프레임 전송 전에 두 번의 CW 슬롯을 통해 CCA를 수행하고 프레임 전송을 시작하고, unslotted의 경우는 CCA 수행 후 곧 바로 프레임 전송을 시작한다. battery life extension의 사용은 백오프 지연을 줄이는 방법으로 백오프 지연은 0과 최대 백오프 값 사이의 임의의 값으로 결정되므로 최대 백오프 값이 적을 수록 평균 백오프 지연은 적어지고 그만큼 MAC의 처리 시간이 줄어 들기 때문에 파워 소모를 줄일 수 있다[1]. 그림 3은 위에서 설명한 slotted CSMA/CA MAC 행동의 한 예로 한 코디네이터와 2개의 스테이션 사이의 동작 과정을 보여준다. 만일 두 개의 스테이션이 동일 시간에 CW 슬롯에서 채널 감지 CCA를 수행하고 있을 경우 두 스테이션의 채널상태가 idle하면 CW 슬롯이 2에서 0이 되어 동시에 프레임 전송을 하게 되고 스테이션 간에 충돌이 일어나게 된다[1][5].

3. 시뮬레이션 및 성능 분석

n개의 스테이션은 경쟁중이고, 포화조건 즉

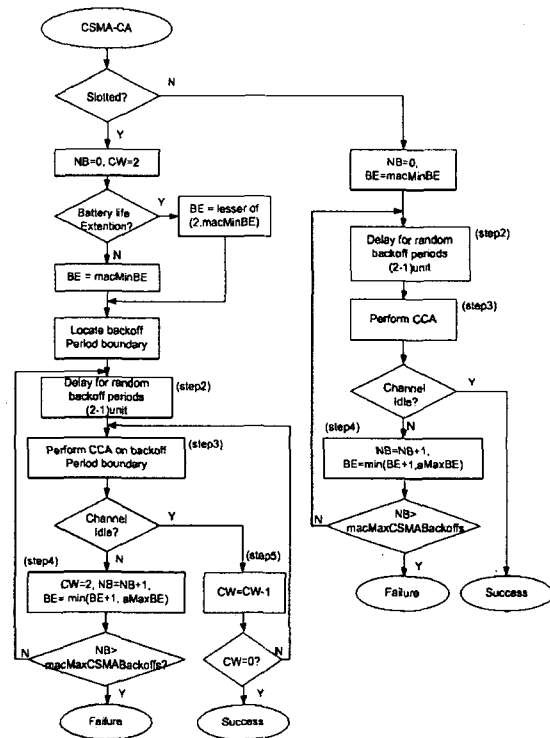


그림 2. IEEE 802.15.4 MAC의 CSMA-CA 알고리즘[1]

프레임 전송 후 바로 전송에 이용할 수 있는 프레임이 있다고 가정하였으며, 전송 경계는 비콘 없이 동기화 되고 슈퍼프레임구간 전체를 오직 CAP를 사용한다는 가정 하에 그림 2의 slotted로 작동하는 경우에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 표 1은 분석에 사용된 파라미터 값을 나타내며 MAC 페이로드의 크기는 throughput을 최대로 하기 위해 최대 크기인 118byte로 설정하였다. 그림 4와 5는 slotted CSMA/CA를 사용하는 일반적인 경우와 battery life extension을 적용하는 경우의 throughput을 나타낸 그래프로 그림 4의 결과는 MAC페이로드 크기가 50byte이며 데이터 전송율이 250Kbps인 1개 노드 상황의 본 논문의 시뮬레이션 결과 값과 [2]의 시뮬레이션 결과 값이 일치(38kbps)함을 확인 할 수 있다. 이를 근거로 페이로드 크기를 최대로 한 경우의 결과로서 노드 수가 1인 상황에서 20, 40, 250Kbps에 대해 각각 14.19, 28.38, 125.53Kbps

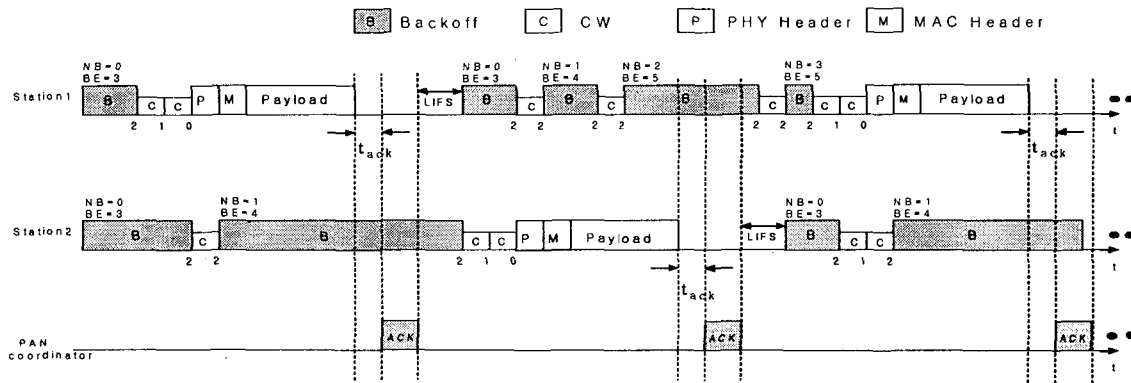


그림 3. Slotted CSMA/CA에서 MAC행동의 예

표1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터

파라미터	값
T_{slot}	basic time period (20 symbol * r)/R [sec]
T_H	MAC header+PHY header 전송기간 (15 * 8)/R [sec]
T_p	MAC payload 전송기간 (118 * 8)/R [sec]
T_{prop}	propagation delay 1 [μsec]
$t_{ack\ time\ out}$	ack time out (12 symbol * r)/R [sec]
T_{ACK}	ack 전송기간 (11 * 8)/R [sec]
T_{LIFS}	long IFS duration (40 symbol * r)/R [sec]
R	사용대역에 따른 전송속도 20, 40, 250 [Kbps]
r	1,1,4 for R = 20, 40, 250Kbps

의 성능 한계 값을 얻을 수 있었다. 그림 5에서 battery life extension의 적용은 초기 최대 백오프 값을 줄이는 것으로 초기 노드의 성능한계는 그림 4의 결과 값 보다 높지만 오히려 노드 수가 증가함에 따라 최대 백오프 값을 줄임으로 인해 충돌 확률의 증가로 더 낮은 throughput을 얻을 수 있다. 즉 노드 수가 많은 환경에서 이 모드의 적용은 battery life extension 효과를 얻지 못할 수도 있다. 그림 6은 데이터 전송에 실패 할 경우

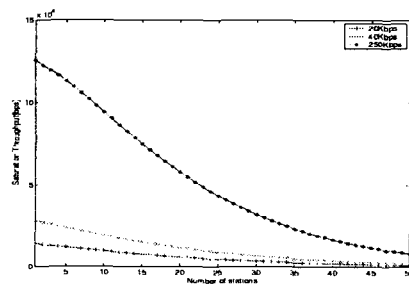


그림 4. Saturation throughput of slotted CSMA/CA in IEEE 802.15.4

주어지는 3번의 재 전송 기회 안에 전송에 성공하지 못한 경우를 제외한 데이터 전송의 평균 delay를 나타내며, 20, 40Kbps에서는 스테이션 20개 이전에 포화상태를 보이나 250Kbps에서는 계속해서 delay가 증가되는 모습을 볼 수 있다. 또한 delay가 20, 40Kbps에서 300msec와 150msec 이하로 유지됨을 확인할 수 있다.

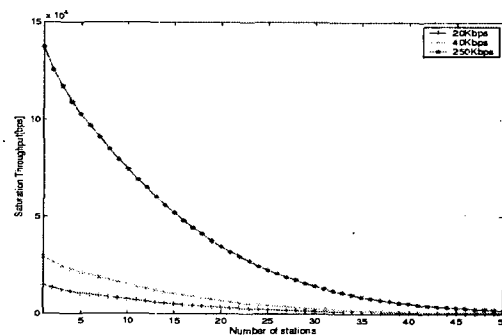


그림 5. Battery life extension을 설정한 경우의 Saturation throughput

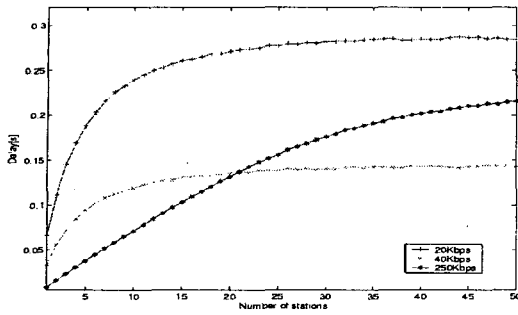


그림 6. Saturation delay of slotted CSMA/CA

4. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.15 표준 중 저속의 저 전력 사용에 적합한 기술인 IEEE 802.15.4 MAC의 CSMA/CA 메커니즘을 기술하였고, 이 메커니즘을 바탕으로 전 구간을 CAP로 사용하며 slotted CSMA/CA로 작동하는 경우에 대한 시뮬레이션을 통해 IEEE 802.15.4 MAC의 성능평가를 수행하였다. 그 결과 노드 수가 적은 환경에서는 어느 정도 throughput을 보장 받을 수 있었지만 노드 수가 증가함에 따라 급격하게 throughput이 급감함을 볼 수 있었다. battery life extension 모드로 동작 시켰을 경우는 네트워크 환경내의 충돌의 급속한 증가로 인해 battery life extension 효과를 얻지 못함을 확인하였다. 따라서 향후 노드 수가 많은 네트워크 환경 하의 power saving을 위해서는 이 모드를 개선할 수 있는 연구가 수행 되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] IEEE 802.15.4, Part 15.4 : Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks, Oct. 2003.
- [2] G. Lu, B. Krishnamachari, and C. S. Raghavendra, "Performance Evaluation of the IEEE 802.15.4 MAC for Low-rate Low-power Wireless Networks," in Proc. of IEEE International Conference on Performance, Computing, and Communications, pp. 701 - 706, 2004.
- [3] J. Zheng and M. J. Lee, "Will IEEE 802.15.4 Make Ubiquitous Networking a Reality?" IEEE Communication Magazine, vol. 42, no. 6, pp. 140 - 146, Jun. 2004.
- [4] B. Bougard and F. Catthoor, "Energy Efficiency of the IEEE 802.15.4 Standard in Dense Wireless Microsensor Networks : Modeling and Improvement Perspectives," in Proc. of Design, Automation and Test in Europe, pp. 196 - 201, Mar. 2005.
- [5] IEEE 802.11, Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Aug. 1999.