

IEEE 802.15.4의 Superframe Order에 따른 성능 영향 분석

전요섭, 하재열, 이종욱, 권옥현
서울대학교 공과대학 전기컴퓨터공학부

Impact analysis of superframe order on the performance of IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA

Joseph Jeon, Jae-Yeol Ha, Jong-Wook Lee, Wook-Hyun Kwon
School of Electrical Engineering and Computer Science
Seoul National University
E-mail : joseph@cisl.snu.ac.kr

Abstract

In this paper, we analyze the impact of superframe order on the performance of the IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA. A new analytic model to evaluate the saturation throughput is proposed. The new model describes slot time behaviors of the IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA. The proposed model is validated via the comparison with ns-2 simulation results.

I. 서론

IEEE 802.15.4는 low-data-rate의 WPANs에 사용되기 위하여 만들어진 MAC/PHY 표준이다[1]. IEEE 802.15.4의 MAC 접속 방식 중 beacon-enabled mode는 주기적인 sleep을 통하여 에너지 소모를 줄인다. 이때 각 노드는 CAP 구간에서 패킷 전송을 시도하게 되는데, MAC은 CAP 구간의 후반에서 남은 구간과 각 노드가 전송하려는 패킷의 성공 전송 시간을 고려하여 다음 superframe으로 전송을 지연시킬 것인지 결정하게 된다. 따라서 네트워크에 있는 여러 노드가 전송할 패킷이 많을 경우 이러한 전송 지연 구간과 다음 superframe에서의 집중된 전송으로 말미암아 channel throughput이 줄어들게 된다.

기존의 IEEE 802.15.4 throughput에 대한 분석[2]은 beacon interval이 매우 큰 상황을 가정하였다. 그

러나 실제 상황에서 사용될 것으로 보이는 작은 beacon interval 상황에서의 분석이 필요하다. Misic[3]의 논문에서 CAP 후반에서의 성능 제약이 고려되었으나 모델에서 제안된 delay 상태에 매번 backoff가 끝날 때마다 확률적으로 들어갈 수 있으므로 제대로 동작을 반영하지 못한 잘못된 모델이다.

본 논문에서는 CAP 구간에서의 time slot 별로 동작을 분석하여 Cyclo-static Markov Chain 모델을 제안한다. 이를 바탕으로 beacon order (BO) 변화에 따른 superframe duration 변화가 IEEE 802.15.4 MAC 성능에 미치는 영향을 분석하고 ns-2 시뮬레이션과 비교하여 결과를 검증한다.

II. 본론

제안된 Cyclo-static Markov Chain 모델은 다음 그림 1,2와 같다. 각각의 End device에 대하여 $b(i,m,t)$ 와 $ts(i,t)$ 를 정의하는데 각각 i 번째 time slot에서의 backoff counter와 transmission counter를 나타낸다. m 은 backoff stage를 나타낸다. 또한 첫 번째 CCA에서의 busy 확률과 두 번째 CCA에서의 busy 확률을 각각 α 와 β 라고 가정한다.

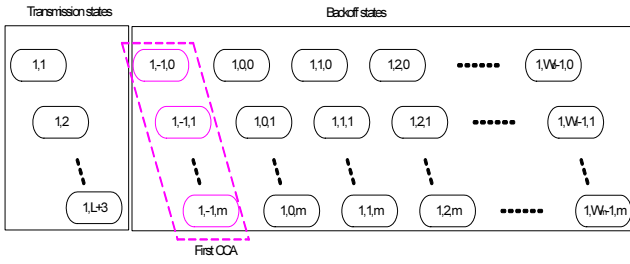


그림 1 Markov chain model of IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA at a time slot

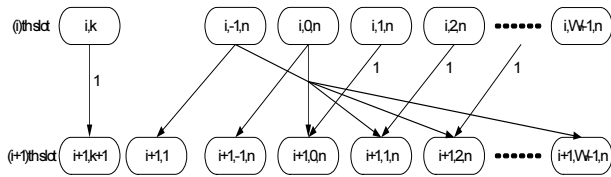


그림 2 State transition timing diagram

패킷을 전송하기 위하여 한 노드가 CCA 를 수행할 때 다른 모든 노드들은 backoff 상태에 있어야 한다. 두 번의 CCA 동안 채널이 idle 하면 그 다음 전송 state 로 넘어간다. 각 노드는 time slot 이 증가함에 따라 이전 time slot 에서의 state 에 따라 다음 state 가 결정된다. backoff state 와 transmission state 에서는 backoff counter, transmission counter 를 각각 하나씩 감소시키고 첫 번째 CCA 에서는 해당 time slot 에서의 채널 busy 확률에 따라 backoff stage 를 증가시키거나 다음 CCA 상태로 넘어간다. 두 번째 CCA 에서는 이전 채널 상태가 idle 이고 해당 time slot 에서 busy 인 확률에 따라 전송 state 나 backoff stage 를 증가시킨다. 각 time slot 에서의 α 와 β 는 다음과 같이 구해진다.

$$\alpha = 1 - idle \quad (1)$$

$$idle = \sum_{k=2}^n C_k p_{ts} p_{ack}^k \cdot p_{bo}^{n-k} \quad (2)$$

$$\beta = \sum_{k=1}^n C_k p_{ts} p_{ack}^k \cdot p_{bo}^{n-k} + C_1 p_{ts} p_{ack} \cdot p_{bo}^{n-1} \quad (3)$$

III. Simulation and Evaluation

그림 3 은 ns-2 simulation 결과와 본 논문에서 제

시한 모델의 throughput 성능을 비교한 결과이다. BO 가 10 일 때를 기준으로 하여 상대적인 throughput 성능을 나타내었다. BO 가 증가함에 따라 superframe duration 이 2 배씩 증가하므로 BO 가 10 일 때 대략 infinite 한 CAP 를 가정할 수 있다. 본 simulation 에서는 inactive 구간을 배제하였으며 BO 가 0~4 일 경우 throughput 이 매우 감소하는 것을 알 수 있다.

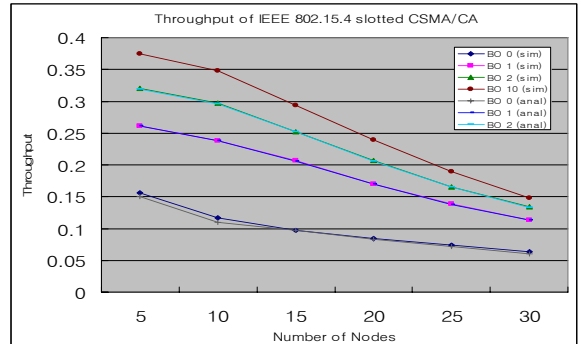


그림 3 Throughput of IEEE 802.15.4

비교 결과를 통하여 제안된 모델이 IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA 가 BO 의 변화에 의해 받는 영향을 잘 나타냄을 알 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA 가 BO 의 변화에 따라 받는 영향을 분석하였다. 이는 정확한 첫 BO 에 따른 throughput 성능 분석이며 이를 통하여 saturation 상황이나 BO 가 작은 상황에서의 성능 향상을 연구하는데 도움이 될 수 있다.

참고문헌

- [1] IEEE 802.15.4 *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, 2003
- [2] T.R. Park, et al., "Throughput and energy consumption analysis of IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA", *Electronics Letters*, vol 41, no 18, 2005
- [3] J. Mistic, et al., "Access delay for nodes with finite buffers in IEEE 802.15.4 beacon enabled PAN with uplink transmissions", *Elsevier Computer Communications*, vol. 28, no. 10, 2005