

# 단일 홉 무선 센서 네트워크에서 S-MAC 프로토콜의 패킷 지연 및 에너지 소비

성석진, 우석, 김청산, 김기선  
광주과학기술원 정보통신공학과 센서통신연구실

## Packet Delay and Energy Consumption of S-MAC Protocol in Single-Hop Wireless Sensor Network

Seokjin Sung, Seok Woo, Chungsan Kim, and Kiseon Kim  
Department of Information and Communications, GIST  
E-mail : ssj75@gist.ac.kr

**Abstract** - In this paper, we analytically evaluate packet delay and energy consumption of S-MAC protocol with a modified Markov chain model. Although some models, based on IEEE 802.11 MAC protocol, to analyze the S-MAC protocol in wireless sensor network (WSN) have been proposed, they fail to consider the differences in architecture between the S-MAC and the 802.11 MAC. Therefore, by reflecting the significant features in the S-MAC function, we model the operation of S-MAC protocol, and derive its packet delay and energy consumption in single-hop WSN. Numerical results show the delay and the dissipated energy at various duty cycle values according to offered load, where a practical mote is used.

### I. 서론

최근, 무선 센서 네트워크(WSN)에 대한 관심이 증가하면서 여러 가지 매체 접근 제어(MAC) 기술들이 제안되고 있는데, 그 중에서 Ye[1]에 의해 제안된 S-MAC 프로토콜은 WSN에서의 에너지 소비를 줄이기 위한 대표적인 기술중의 하나이다. 이 S-MAC 프로토콜을 수치적으로 해석하기 위한 모델들이 제안되었지만[2], 그러한 모델들은 포화 조건(각 센서가 항상 전송할 패킷을 가지고 있다)에서 이루어진 IEEE 802.11 MAC 프로토콜의 해석 모델을 가져와 적용하였다. 그러나, S-MAC 프로토콜과 IEEE 802.11 MAC 프로토콜 사이에 큰 차이점들이 있다는 것은 주목할 만한 사항일 뿐 아니라, 불포화 조건이 빈번한 WSN의 특성까지 고려하여 S-MAC 프로토콜에 대한 해석을 새롭게 하는 것은 대단히 가치 있는 일이다. 따라서 이 논문에서는 다중 홉으로 확장하기 이전의 단계로, 단일 홉에서의 S-MAC 프로토콜에 대한 마르코프 체인 모델을 사용하여 여러 개의 센서 모트들이 배치되었을 때의 단일 홉 패킷 지연과 에너지 소비를 수치적으로 해석한다. 결과 그림들은 실제 센서 모트가 적용되었을 때, 발생된 트래픽 부하에 따라 두 값들이 어떻게 변화하는지를 보여준다.

### II. 본문

우리는 송신기로서의  $M$  개의 센서들과 수신기로서의 하나의 싱크(Sink) 또는 클러스터 헤드를 고려한 단일 홉 WSN을 고려한다. 모든 설치된 센서들은 초기 동기화 이후 동일한 듣기/수면 스케줄을 따른다. S-MAC 프로토콜은 802.11 MAC의 DCF(Distributed Coordination Function)의 접근 기법을 기반으로 하지만, 그 사이에는 두 가지의 구분되는 차이점이 있다: 주기적 수면 모

드와 고정 사이클. 특별히, 두 번째 차이점은 사이클 기반의 해석이 S-MAC 프로토콜에 적합함을 보여준다. 위의 특징을 바탕으로 우리는 S-MAC 프로토콜을 사용하는 하나의 센서에 대한 마르코프 체인을 [3]에서의 모델을 개조함으로써 표현할 수 있고, 그 모델로부터 안정 상태에서의 패킷 충돌 확률  $p_c$ 와 아이들 상태확률  $P\{I\}$ , 그리고 BO(back-off) 과정이 진행되었을 때 하나의 슬롯에 하나의 패킷이 전송될 조건확률  $\tau$ 의 관계를 구할 수 있다. 이로부터 우리는 [4]의 802.11 MAC에 대한 포화 조건에서의 패킷 지연에 대한 식을 개조하여, S-MAC에 대한 불포화 상태에서의 단일 홉 지연 및 그 때의 에너지 소비량을 구할 수 있다.

그림 1은 S-MAC 공유 채널에서 하나의 패킷 전송이 성공적으로 이루어지기까지의 한 예를 보여준다. 수직적 유도 과정을 거쳐서 마지막으로 다음의 패킷 지연,  $E[D]$ 과 에너지 소비량,  $EC$ 을 표현하는 두 가지 수식을 얻을 수 있다:

$$E[D] = (P\{I\})^{M-1} \left( \sigma \frac{W-1}{2} + T_{RTS-ACK} \right) + \left\{ 1 - (P\{I\})^{M-1} \right\} \left[ \frac{P_c}{1-p_c} E[T_{col}] + T_{RTS-ACK} + \frac{1}{1-p_c} E[slot] \frac{W-1}{2} \right] \quad (1)$$

$$EC = (P\{I\})^{M-1} (E[En_{BO}] + En_{RTS-CTS}) + \left\{ 1 - (P\{I\})^{M-1} \right\} \left[ \frac{P_c}{1-p_c} E[En_{T_{col}}] + En_{RTS-ACK} + \frac{1}{1-p_c} \frac{W-1}{2} E[En_{slot}] \right] \quad (2)$$

여기서  $\sigma$ 와  $W$ 는 각각 최소 슬롯 길이와 고정 BO 원도 크기를 나타내고,  $T_{RTS-CTS}$ 는 RTS와 CTS 패킷들 사이의 시간을,  $T_{col}$ 은 관찰 센서의 패킷 전송을 포함한 충돌 슬롯의 시간길이,  $slot$ 은 관찰 센서의 각 전송 시도 전의 슬롯 당 시간길이를 표시한다. 또한,  $En_{(\cdot)}$ 은  $(\cdot)$  구간 동안의 에너지 소비를 나타낸다.

### III. 수치적 결과

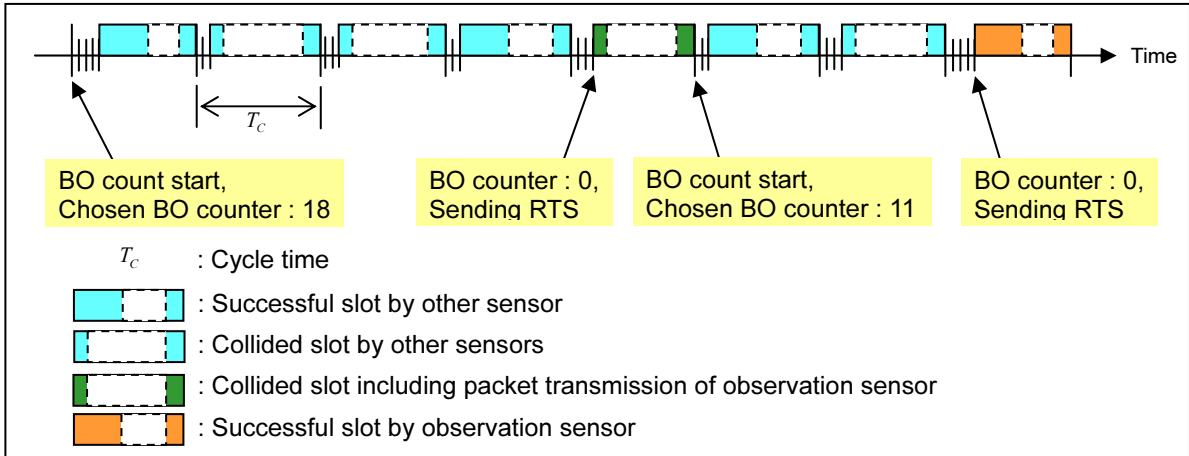


그림 1. 공유 채널에서 하나의 패킷 전송이 완성되기까지 이루어지는 과정의 한 예

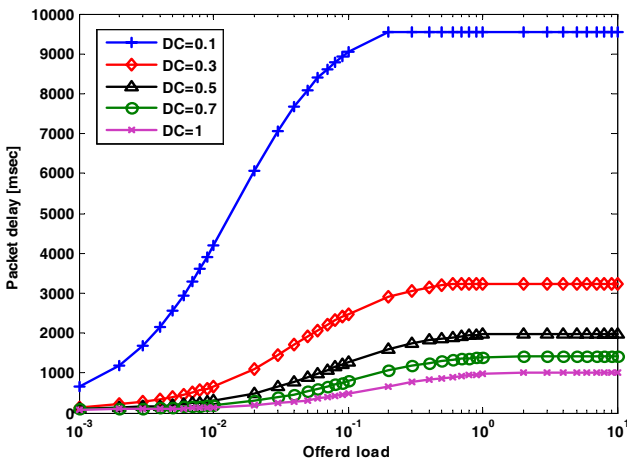


그림 2. 패킷 지연 대 트래픽 부하

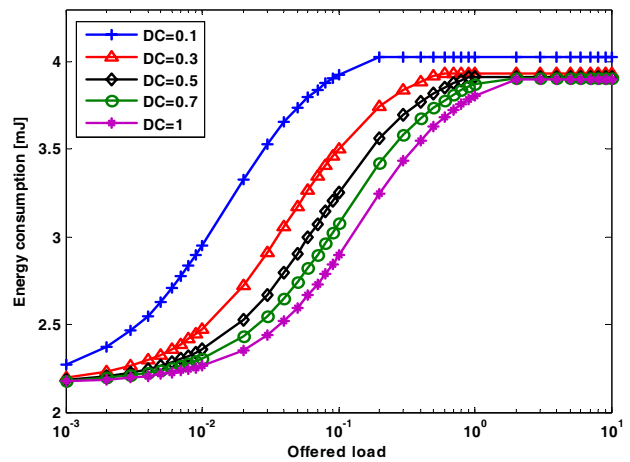


그림 3. 에너지 소비 대 트래픽 부하

앞에서 구한 수식들을 바탕으로 단일 홉 무선 센서 네트워크에서의 S-MAC 프로토콜의 패킷 지연과 에너지 소비가 그림 2와 그림 3에서 표현된다. S-MAC에 대한 파라미터들과 실제 Mica 노드의 각 모드에서의 전력값은 [1]에서의 값을 따르고,  $M=5$  와  $W=20$  을 고려한다.

그림 2에서 보는 바와 같이 패킷 지연은 제공된 부하가 커질수록 증가하는데, DC값이 작을수록 그 증가치가 커짐을 알 수 있다. 그것은 작은 DC 값이 더 긴 고정 사이클을 의미하기 때문이다. 또한, 그림 3에서 보는 바와 같이 하나의 데이터가 성공적으로 보내지는데 소비되는 에너지는 부하가 클수록, 그리고 DC 값이 작을수록 커짐을 알 수 있다. 동일한 부하에서 DC 값이 작을수록 에너지 소비량이 큰 이유는 작은 DC 값의 고정된 사이클 길이가 더 길어서 각 센서가 전송될 패킷을 가질 확률이 더 크기 때문이다. 그러나, 이것이 같은 시간 동안 작은 DC 값을 가진 센서가 더 많은 에너지를 소비함을 의미하지는 않는다. 동일한 시간을 가지고 비교할 때 작은 DC 값을 가진 센서는 훨씬 많은 에너지를 절약할 것이다.

#### IV. 결론

본 논문에서 우리는 단일 홉 WSN에서 S-MAC 프로토콜을

사용하는 센서 노드들의 패킷 지연과, 그 때의 평균 에너지 소비량을 유도하고 수치적으로 해석하였다. 그것은 마르코프 체인 모델과 공유 채널에서의 해석을 통해 얻어질 수 있다. 표현된 수식적 결과는 실제 S-MAC 프로토콜을 적용하는 WSN을 구성할 때, 패킷 지연과 그때의 에너지 소비량을 예상하여 설계되도록 하는데 기준이 될 수 있다. 또한 이 모델은 다중 홉으로 확장되기 위한 기반 모델로서도 활용 될 수 있다.

#### 참고문헌

- [1] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," *IEEE INFOCOM*, Vol. 3, pp. 1567-1576, Jun. 2002.
- [2] H. Tseng, S. Yang, P. Chuang, H. Wu, and G. Chen, "An Energy Consumption Analytic Model for A Wireless Sensor MAC Protocol," *IEEE VTC 2004-Fall*, Vol. 6, pp. 4533-4537, Sept. 2004.
- [3] E. Zouva, T. Antonakopoulos, "The IEEE 802.11 Distributed Coordination Function in Small-Scale Ad-Hoc Wireless LANs," *Intl. J. Wireless Inform. Networks*, Vol. 10, pp. 1-15, Jan. 2003.
- [4] I. N. Vukovic, and N. Smavatkul, "Delay analysis of different backoff algorithms in IEEE 802.11," *IEEE VTC2004-Fall*, Vol. 6, pp. 4553-4557, Sept. 2004.