

# 전력 효율을 위한 수신자 기반 비동기 센서 MAC 프로토콜 설계

박인혜\*, 이형근<sup>o</sup>

## Design of Receiver-Initiated Asynchronous MAC Protocol for Energy-Efficiency in WSNs

In-hye Park\*, Hyung-keun Lee<sup>o</sup>

### 요약

본 논문은 네트워크 전체의 전력 소모를 줄이기 위해 제어 패킷의 소모를 줄이는 비동기 센서 MAC 프로토콜을 설계한다. 기존 비동기 방식의 X-MAC은 너무 많은 제어 패킷을 보낸다는 단점, PW-MAC은 다중 송신자와 단일 수신자 상황에서 데이터 패킷이 충돌한다는 단점이 있다. 본 논문에서는 두 프로토콜의 단점을 보완하여 수신자 기반(Receiver-Initiated)으로 동작하며, 송신자에 의해 제어 패킷을 생성하는 MAC 프로토콜을 제안한다. 본 문에서 NS2를 이용한 실험의 결과를 통해 전력 소모, 전달 지연, 평균 처리량이 기존 연구에 비해 향상됨을 확인했다.

**Key Words** : Wireless sensor networks, Sensor MAC protocol, Asynchronous MAC protocol, Receiver-initiated schedule

### ABSTRACT

In this paper we describe an asynchronous MAC protocol with receiver-initiated duty cycling for energy-efficiency in wireless sensor networks(WSN). Legacy asynchronous MAC protocols, X-MAC and PW-MAC, has weaknesses which generates too many control packets and has data collision problem between multiple transmitters, respectively. Therefore, we propose a receiver-initiated asynchronous MAC protocol which generates control packets from transmitter to complement these disadvantages.

Compared to the prior asynchronous duty cycling approaches of X-MAC and PW-MAC, the proposed protocol shows a improvement in energy-efficiency, throughput and latency from simulation results.

## I. 서론

무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Networks)의 노드들은 전력 소모를 줄이기 위해 활성화와 비활성 구간을 반복하는 듀티 사이클로 동작한다<sup>[1]</sup>. 그 중에서 특히 주변 노드와 동기를 맞추지 않는 비동기 MAC 프로토콜인 X-MAC<sup>[2]</sup>은 기존의 동기식 프로토콜에 비해 제어 패킷의 수를 줄임으로써 전력 손실을 줄일 수 있었다. 그러나 비동기식 프로토콜은 송수신 노드 간의 웨이크 업(Wakeup) 스케줄의 차이만큼 제어 패킷 오버헤드가 증가된다는 단점을 갖는다. 이에 송신자에서 발생하는 제어 패킷 오버헤드를 크게 줄일 수 있는 수신자 기반(Receiver-Initiated)의 스케줄로 동작하는 RI-MAC<sup>[3]</sup>, PW-MAC<sup>[4]</sup>가 등장했다. 하지만 두 프로토콜은 수신자에서 발생하는 제어 패킷이 매체 효율성(Utilization)을 감소시킨다는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 기존 MAC 프로토콜의 단점을 보완하여 무선 센서 네트워크의 전력 소모를 줄이는 MAC 프로토콜을 설계한다. 제안하는 프로토콜은 수신자 기반으로 동작하며, X-MAC과 같이 송신자에서 송신 데이터가 존재할 경우에만 제어 패킷을 생성한다. 또한 프리앰블과 이른 확인 패킷의 충돌을 피하기 위해 2쌍(2-pair) 시간 슬롯 접근 방식을 사용하였다. 해당 방식의 사용으로 기존의 프로토콜에 비해 높은 전력 효율성, 높은 처리량, 짧은 지연의 결과를 낼 수 실험으로 검증했다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 2장에서 제안하는 MAC 프로토콜에 대해 설명한다. 3장에서는 기존 프로토콜들과 제안하는 프로토콜의 성능을 비교하고 성능을 평가한다. 마지막으로 4장에서는 본 연구의 결과를 정리하고 결론을 맺는다.

## II. 수신자 기반 MAC 프로토콜 설계

### 2.1 수신자 기반 비동기 MAC 프로토콜

제안하는 MAC 프로토콜은 X-MAC 기반으로 동

\* 이 논문은 2012년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의해 연구되었음.

• First Author : Kwangwoon University Department of Computer Engineering, alwaysin@kw.ac.kr 학생회원

◦ Corresponding Author : Kwangwoon University Department of Computer Engineering, hklee@kw.ac.kr 종신회원

논문번호 : KICS2014-10-437, Received October 29, 2014; Revised November 11, 2014; Accepted November 11, 2014

작하며, 다만 데이터를 보내려는 송신자가 데이터를 받을 수신자의 웨이크업 스케줄에 맞춰 일시적으로 일어나 데이터를 보낸다. 이 동작을 통해 송신자는 자신과 수신자의 웨이크업 스케줄 차이만큼의 비활성 상태를 유지함으로써 전력 낭비를 줄일 수 있다. 다음 그림 1에 제안하는 MAC의 기본 개념이 나타나있다. 그림 1에 나타난 것과 같이 송신자(T)는 자신의 스케줄(수신을 위함)과 수신자의 스케줄에 두 번 일어나 데이터를 송신한다.

이 때 중요한 것이 송신자의 스케줄을 수신자가 예측하는 것이다. 이를 위해 송신자가 수신자의 일어나는 시점을 계산하는 방법은 다음과 같다. 수신자는 자신이 일어난 뒤 얼마의 시간이 흐른 뒤에 송신자에게 응답을 보내는지에 대한 시간 정보( $T_{wake-up}^R$ )를 프리앰블의 응답인 이른 확인 패킷에 실어서 보낸다. 이를 수신한 순간에 송신자는 자신이 일어난 가장 최근의 시점에서부터 흐른 시간( $T_{wake-up}^T$ )에서  $T_{wake-up}^R$ 을 빼서 수신자 노드 i와의 웨이크업이 얼마나 차이가 나는지에 대한 시간 값( $T_{Ri}^{gap}$ )을 계산한다(식 1).

$$T_{Ri}^{gap} = T_{wake-up}^T - T_{wake-up}^R - propagation \quad (1)$$

계산된 시간 차이 값은 송신자 내부에 수신자의 ID와 함께 표 형태로 저장돼, 추후 특정 수신자에게 데이터를 보낼 때 해당 수신자의 웨이크업 시점 계산에 사용된다.

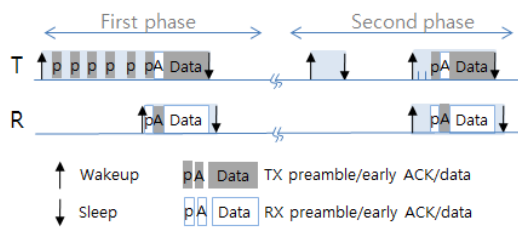


그림 1. 제안하는 MAC 동작의 기본 개념  
Fig. 1. Concept of proposed MAC protocol

2.2 2쌍 타임 슬롯 무작위 백오프

기존의 수신자 기반 웨이크업 동작은 단일 수신자 다수 송신자의 상황에서의 데이터 충돌을 야기한다. 특히 송신자가 서로의 존재를 모르는 경우에는 이 충돌 문제의 해결이 더욱 어렵다. 따라서 제안하는 MAC 프로토콜은 데이터 충돌에 의한 전력 낭비를 방지하기 위하여 CSMA/CA의 무작위 백오프(Random

Backoff)와 NAV(Network Allocation Vector) 방식을 적용하여 경쟁적으로 무선 매체를 접근시켰다.

제안하는 프로토콜에서는 제어 패킷을 엮는 주변 노드들이 데이터 패킷의 길이 정보가 삽입된 프리앰블과 이른 확인 패킷을 통해 전송을 연기(Pending)하는 NAV를 설정하게 했다. 일시적으로 일어난 한 송신자가 무작위 백오프 도중에 다른 노드의 제어 패킷을 수신하면 노드 ID를 해석하여 자신이 보내려는 수신자의 ID와 동일한 경우에만 NAV를 설정한다. 만일 자신과 무관한 패킷일 경우에는 급번 주기에서의 전송을 포기하고 잠든다. NAV를 설정한 송신자는 NAV가 모두 종료된 후 다시 백오프를 진행하여 매체 점유를 위한 경쟁에 들어간다. 특히 프리앰블과 이른 확인 패킷에 데이터 길이 정보가 들어있기 때문에 송신자들이 서로의 존재의 인지와 상관없이 패킷 충돌을 방지할 수 있다.

다수의 송신자가 서로의 존재를 모를 때 다수 송신자 중 하나의 프리앰블과 수신자의 이른 확인 패킷이 충돌할 가능성이 있다. 그림 2와 같이 프리앰블과 이른 확인 패킷이 충돌이 되면, 데이터를 보내던 송신자(T1)는 T2의 프리앰블에 의해 데이터가 손실된 사실을 모른 채 데이터가 성공적으로 전달 됐다고 판단 후 잠든다. 이 경우 데이터를 그대로 큐에서 삭제하여 수신자에게로의 전달이 이뤄지지 않는 단점이 발생한다. 제안하는 프로토콜에서는 이러한 상황을 방지하기 위해 시간 슬롯을 2쌍 단위로 백오프를 진행하였다. 즉, 홀수 슬롯은 프리앰블 그리고 짝수 슬롯은 이른 확인 패킷 전용 슬롯으로 구분한 것이다. 이 방법을 통해 프리앰블과 이른 확인 패킷간의 충돌 가능성을 배제했다.

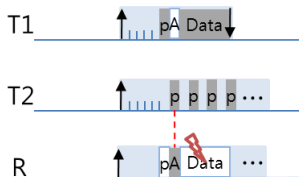


그림 2. 프리앰블과 이른 확인 패킷의 충돌  
Fig. 2. Collision between preamble and early-ACK

III. 성능 평가

본 장에서는 제안한 MAC 프로토콜의 성능 평가를 위해 네트워크 실험 도구인 NS2(v.2.32)를 이용해 X-MAC과 PW-MAC 그리고 제안하는 MAC 프로토

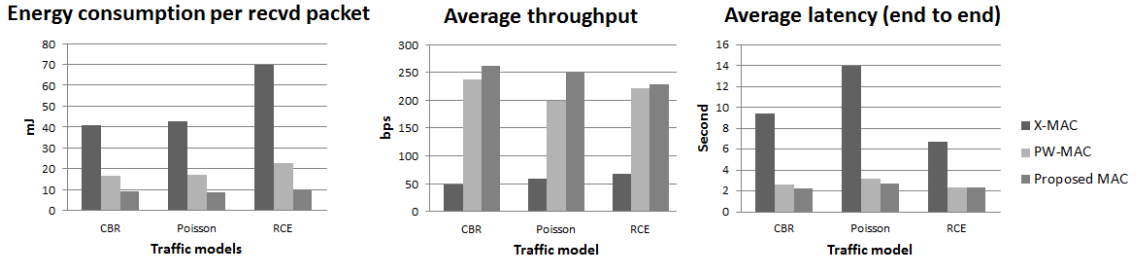


그림 3. 실험 결과(패킷 당 전력 소모, 평균 처리량, 평균 데이터 지연시간)  
 Fig. 3. Simulation results(energy consumption per received data packet, average throughput, average latency)

콜을 각각 구현하여 그 성능을 비교한다. 총 15개의 노드를 무작위로 배치하고 가운데에 수집(Sink) 노드로 데이터를 수집토록 했다. 다음 표 1에는 실험에 사용된 네트워크 파라미터 값을 표현했다.

그림 3에 수집노드까지 성공적으로 수신된 패킷 당 소모된 모든 전력량, 성공적으로 전달된 3홉 데이터의 평균 지연시간, 평균 처리량을 나타냈다. 모든 결과에서 공통적으로 X-MAC이 모든 트래픽 종류에서 가장 낮은 성능을 보이고, 제안된 MAC 프로토콜이 가장 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다. 이는 X-MAC에서 낭비되는 제어 패킷이 가장 많기 때문이고 제안하는 MAC의 제어 패킷이 가장 적기 때문이다. 특히 그림 3의 전력 소모 결과와 평균 지연 결과를 비교(RCE 트래픽)하면, 수신자 기반 웨이크 업 방법을 사용한 PW-MAC에 비하여 더욱 낮은 전력 소모로 보다 높은 평균 처리량 성능을 얻을 수 있다. 이는 다수의 송신자가 단일 수신자에게 데이터를 보낼 때 발생하는 충돌이 대폭 감소했기 때문에 도출된 결과이다.

표 1. 네트워크 값  
 Table. 1. Network parameters

Parameters	Value
Routing protocol / Traffic	Static,
Duty cycle rate	5.9 % (88ms / 1.5s)
Rx/Tx power in mode	15.2 / 28.9 mA
Sleep/idle power in state	0.0004/0.0087 mA

#### IV. 결 론

본 논문에서는 전력 소모를 줄이기 위한 비동기 센서 MAC 프로토콜을 설계하고 실험을 통해 그 성능을 확인했다. 제안된 MAC 프로토콜은 X-MAC의 많은 제어 패킷 송신 문제와 PW-MAC의 패킷 충돌 문제

를 보완하기 위하여 수신자 기반 웨이크 업 방법과 2쌍 단위 백오프 기법을 적용했다. 이를 통해 제어 패킷간의 충돌 회수를 크게 줄일 수 있었다. 본 문에서 실행한 실험의 결과를 통해 전력 소모, 전달 지연, 평균 처리량이 기존 MAC 프로토콜에 비해 향상됨을 확인 했다. 추후 연구로 본 논문에서 제안한 프로토콜을 해석적 방법을 통해 성능 평가를 진행할 계획이다.

#### References

- [1] K. H. Jung and Y. J. Seo, "An efficient collision resolution method in wireless sensor networks based on IEEE 802.15.4 slotted CSMA/CA," *J. Commun. Networks(JCN)*, vol. 37, no. 9, pp. 750-759, Sept. 2012.
- [2] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A short preamble MAC protocol for duty-cycled wireless sensor networks," in *Proc. ACM Int. Conf. SenSys*, 2006 (ACM SenSys 2006) pp. 307-320, Boulder, USA, Nov. 2006.
- [3] Y. Sun, O. Gurewitz, and D. B. Johnson, "RI-MAC: A receiver-initiated asynchronous duty cycle MAC protocol for dynamic traffic loads in wireless sensor networks," in *Proc. ACM Int. Conf. SenSys 2008 (ACM SenSys 2008)*, pp. 1-14, Raleigh, USA, Jun. 2008.
- [4] L. Tang, Y. Sun, O. Gurewitz, and D. B. Johnson, "PW-MAC: An energy-efficient predictive wakeup MAC protocol for wireless sensor networks," in *Proc. IEEE Int. Conf. INFOCOM 2011 (IEEE INFOCOM 2011)*, pp. 1305-1313, Shanghai, China, Apr. 2011.