

# 무선 센서 네트워크를 위한 수신 예측 기반 주기 적응적 웨이크업 기법

이경훈\* · 이학재\* · 김영민\*\*

A Period Adaptive Wakeup Technique based on Receive Prediction for WSN

Kyung-Hoon Lee\* · Hak-Jai Lee\* · Young-Min Kim\*\*

요 약

무선 센서 네트워크에서 배터리로 동작하는 센서 노드 또는 수집 노드를 위한 에너지 효율을 개선한 MAC 프로토콜은 중요한 성능 요소이다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜에서 활성구간과 수면구간을 반복하여 수행하는 Duty Cycle 기법의 고정적인 활성 구간에 따른 제한적인 성능을 개선하기 위해 수신 예측 기반의 주기 적응적 웨이크업 제어 기법을 제안한다. 제안된 기법은 CC2500 RF 트랜시버 및 C8051F330 마이크로컨트롤러 기반의 무선 노드를 이용한 성능평가를 통해 최소의 활성구간을 분석하였고, 주기 변화에 따라 적응적으로 수면구간을 증가시켜 에너지 성능을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

For the sensor node or collection node operating with a battery in a wireless sensor network, MAC protocols with improved energy efficiency are important performance factors. In this paper, in order to improve the restrictive capability in accordance with the fixed activity period of the duty cycle technology in the MAC protocol for wireless sensor networks, we propose a periodic adaptive wakeup technique based on receive prediction. The proposed technique is through a performance evaluation using the CC2500 RF transceiver and C8051F330 microcontroller based wireless node, to analyze the minimum active period. As a result, it was confirmed that it is possible to improve energy efficiency by adaptively changing the sleep period in accordance with the change of period.

키워드

Low Power, Wireless Sensor Network, Wakeup, Duty Cycle  
저 전력, 무선 센서 네트워크, 웨이크업, 듀티 사이클

## 1. 서 론

무선 센서 네트워크는 센서 노드를 응용 환경에 배치하여 네트워크를 형성하고 획득한 정보를 수집하여 활용하는 기술이다. 무선 센서 네트워크의 최종 목표

는 모든 사물들끼리 통신이 가능한 유비쿼터스 환경을 구현하는 것으로 M2M(사물통신), IoT(사물인터넷), IoE(만물인터넷) 기술로 진화하고 있다. 특히, IoT 기술 전개에 있어 자율적인 네트워크 형성을 위한 무선 센서 라우팅 기술이 중요하며 배터리로 동작

\* 전남대학교 전자컴퓨터공학과(naikid@hanmail.net, \* Received : Sep. 23, 2015, Revised : Nov. 13, 2015, Accepted : Nov. 23, 2015  
hjlee5120@hanmail.net)

\*\* 교신저자 : 전남대학교 전자컴퓨터공학부

• 접수일 : 2015. 09. 23

• 수정완료일 : 2015. 11. 13

• 게재확정일 : 2015. 11. 23

• Corresponding Author : Young-Min Kim

Dept. of Electrical Engineering, Chonnam National University,

Email : kym@jnu.ac.kr

하는 무선 노드를 위한 에너지 효율을 개선한 MAC 프로토콜은 중요한 성능 요소이다[1-3].

무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜에서 에너지를 소비하는 주요 원인은 고정된 Duty Cycle(듀티 사이클)을 기반으로 RF Transceiver를 활성화(Active) 상태와 수면(Sleep) 상태를 반복적으로 운영 시 수신 성공률을 줄이고 지연시간이 증가하며 한정된 Wakeup 구간 내 채널점유 경쟁으로 인해 재전송 발생률이 높아진다는 것이다. 따라서 에너지 효율 개선을 위한 최소화된 활성화 상태 구현을 위해 RF Transceiver를 제어하는 기술이 필요하다[3]. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜에서 에너지 소비를 줄이기 위하여 수신 예측을 기반으로 주기 변화에 적응적인 웨이크업 기법을 제안하고 그 성능을 평가하였다. 먼저 2장에서 관련된 기존 연구를 소개하고 제안하는 기법의 상세사항을 기술한다. 3장에서는 제안하는 기법의 성능을 분석하고 마지막으로 4장은 논문의 결론을 포함한다.

## II. 관련연구

### 2.1 WSN MAC 프로토콜

무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜에서 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 방식으로 센서 노드들을 활성화(Active) 구간과 수면(Sleep) 구간을 두어 에너지를 절약하는 S-MAC, T-MAC, B-MAC, D-MAC, TRAMA(: Traffic Adaptive MAC) 등이 있다. S-MAC은 단일 채널을 사용하는 경쟁기반 프로토콜로 시간 프레임을 활성화구간과 수면구간으로 나누어 주기적으로 반복한다. 패킷 충돌을 피하기 위해서 RTS/CTS 기법을 사용하며 전송지연 문제를 해결하기 위해 Adaptive Listening 기법을 제안하였다. 따라서 S-MAC은 Idle Listening으로 인한 에너지 소비를 줄일 수 있는 반면, 미리 정해진 활성화구간과 수면구간은 다양한 트래픽 변화에 적합하지 않다.

T-MAC은 S-MAC의 고정된 활성화구간과 수면구간을 가변적인 Duty Cycle로 조절한다. 정해진 시간동안 이벤트가 없으면 수면 상태로 전환하고 불필요한 Idle Listening을 제거하여 에너지 소비를 줄이는 장점이 있다[4-6].

B-MAC은 CCA(: Clear Channel Assessment)를 기반으로 기존 S-MAC 보다 코드 사이즈를 최소화한 프로토콜로 고정된 수면구간을 가지며 긴 프리앰블을 보내어 동기화하는 비동기식 프로토콜이다. 동기화 절차가 없어 에너지 효율을 향상시킨 장점이 있으나 LPL(: Low Power Listening)과 같은 긴 프리앰블은 다른 수신 노드들의 헤더도 포함해야 하는 단점이 있다[7-8]. 이를 개선한 WiseMAC은 이웃 노드로부터 샘플링 스케줄 정보를 얻어 효율적으로 웨이크업 프리앰블의 길이를 줄일 수 있다[9].

D-MAC은 에너지 효율을 유지하면서 매우 짧은 응답시간을 달성하는 것을 목표로 한다. D-MAC에서 노드는 송신, 수신, 슬립의 3개의 상태를 가지며, 트리 네트워크에서 두 노드가 스케줄을 동기화 할 때 발생하는 패킷 충돌을 줄이기 위해 경쟁 윈도우 내에서 랜덤 시간을 더한 백-오프 시간을 이용한다. D-MAC의 알려진 단점은 트리 네트워크에서 많은 노드가 동일한 스케줄을 공유할 가능성이 있고 제한된 충돌 회피 기법을 사용하기 때문에 패킷 충돌이 발생하는 점이다[10].

TRAMA는 시간 슬롯들의 유연하고 자율적인 스케줄링이 가능한 분산 TDMA 기법이다. 전송 스케줄을 위해 Neighbor Protocol(: NP), Schedule Exchange Protocol(: SEP)를 이용하며 타임 슬롯과 수면 스케줄을 결정하기 위해 Adaptive Election Algorithm(: AEA)를 이용한다. 슬롯 할당을 통해 충돌을 피할 수 있어 경쟁 기반 프로토콜보다 더 낮은 성능을 보이지만 긴 지연시간을 갖는 단점이 있다[11].

## III. 성능 평가

### 3.1 수신 예측 기반 웨이크업 기법

본 논문에서 제안한 주기 적응적 웨이크업(: PA-Wakeup) 기법은 수신을 시작하는 타이머를 동적으로 가변시켜 활성화시간을 최소화하여 소모 전력을 낮추는 방식이다. 기존의 패킷예측 알고리즘에서 목표 시간 추정을 위한 증분 값을 제거하여 간략화 하였고, 그림 1의 동작 원리를 통해 그림 2와 같은 절차에 따라 동작한다[12].

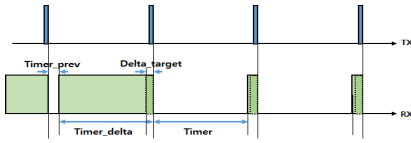


그림 1. 수신 예측 웨이크업 타이밍 다이어그램  
Fig. 1 Receive prediction wakeup timing diagram

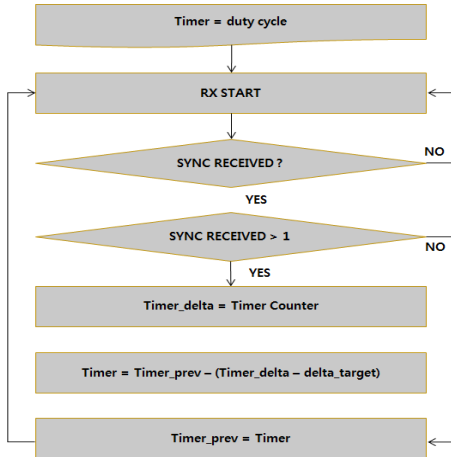


그림 2. 수신 예측 웨이크업 동작 절차  
Fig. 2 Receive prediction wakeup process

수신 노드는 수신을 지시한 후 송신 노드와 동일하게 설정된 Sync Word를 가진 패킷을 수신하게 되고 다음 수신을 위한 타이머는 초기에 설정된 고정된 Duty Cycle로 결정된다. 동일한 Sync Word가 감지되지 않으면 지속적인 수신 상태를 유지하게 되며 수신을 시작한 후 Sync Word가 감지될 때 마다 타이머를 이용하여 수면 구간을 결정한다. 수신을 시작하는 타이머 값에 따라 활성구간과 수면구간이 변화하므로 최적화된 타이머 값을 위해 다음과 같은 수식을 사용한다.

$$Timer' = Timer - (Timer\delta - \delta target) \quad (1)$$

주기마다 업데이트되는 타이머 값(Timer')은 이전 타이머 값(Timer)에서 수신을 시작해서 완료될 때까지의 타이머 카운트 값(Timer $\delta$ )과 최소의 수신 대역폭( $\delta target$ )의 차를 감소시켜 결정된다.

### 3.2 RF Parameters(Protocol) 설정

무선 센서 네트워크를 구축하는 기존의 MAC 프로토콜은 단일 채널 경쟁기반 매체제어 기술로 패킷 충돌 및 간섭에 의한 신뢰성 저하 문제가 존재한다. 이를 해결하기 위해 시분할 기반의 매체 접속 기술과 다중 채널 MAC 기술이 필요하며 가변적인 타임 슬롯 구조로 효율적인 Duty Cycle 기술이 요구되고 있다[13].

이에 따라 본 논문에서는 멀티채널 관리가 가능한 채널 호핑(FHSS: Frequency Hopping Spread Spectrum) 기술을 적용하여 RF 파라미터를 설정하였으며 설정된 값은 표 1과 같다.

표 1. RF 설정  
Table 1. RF parameters

Parameters	Value
IF Frequency	457kHz
Base Frequency	2.432999MHz
Channel Bandwidth	540kHz
Channel Spacing	200kHz
Data Rate	250kBaud
Modulation	MSK

### 3.3 하드웨어 설계 및 구현

본 논문에서는 주기 적응적 수신 예측 웨이크업 기법을 하드웨어로 구현하기 위하여 TI사의 CC2500 2.4 GHz RF transceiver를 사용하였고 이를 제어하기 위한 마이크로프로세서는 SiLabs사의 C8051F330을 사용하였다. 이렇게 구현된 무선 노드는 그림 3에 나타나 있으며 PCB 모듈은 RF 임피던스 매칭회로 및 안테나 연결을 위한 SMA connector 또는 PCB 안테나를 포함하고 있다.

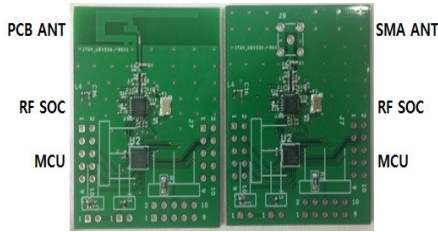


그림 3. 무선 노드 PCB 모듈  
Fig. 3 Wireless node PCB module

### 3.4 웨이크업 동작 실험

주기 적응적 웨이크업 기법의 구현에 앞서 최소 활성 구간을 결정하기 위하여 그림 4와 같이 1ms~4ms의 수신 대역폭에서 패킷 수신율을 분석하였고 2ms 대역폭에서 안정된 수신 성능을 보였다. 따라서 활성구간을 위한  $\delta_{target}$ 는 2ms로 결정할 수 있다.

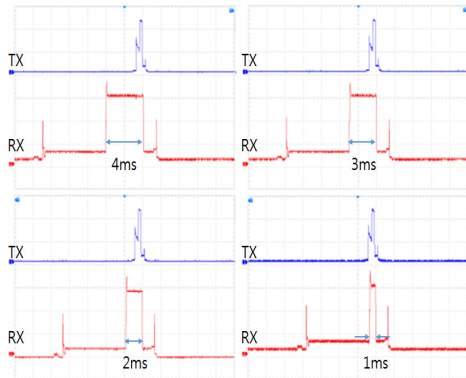


그림 4. 최소 활성구간을 위한 수신 대역폭  
Fig. 4 Receive bandwidth for the minium active mode

그림 5는 0.5s, 1s, 1.5s, 2s의 주기에서 수신 예측 웨이크업 동작을 확인한 결과이다. 모든 주기에서 동일하게 4번째 수신신호 이내에 최소 활성구간을 도달하였고, 주기별 수면구간을 결정하는 타이머(Timer) 값과 활성구간을 위한 타이머 카운트(Timer $\delta$ ) 값을 분석한 결과로 그림 6과 같이 수렴 후 각각 0.2%, 0.02%의 변동률을 보여 안정적인 성능을 확인할 수 있다.

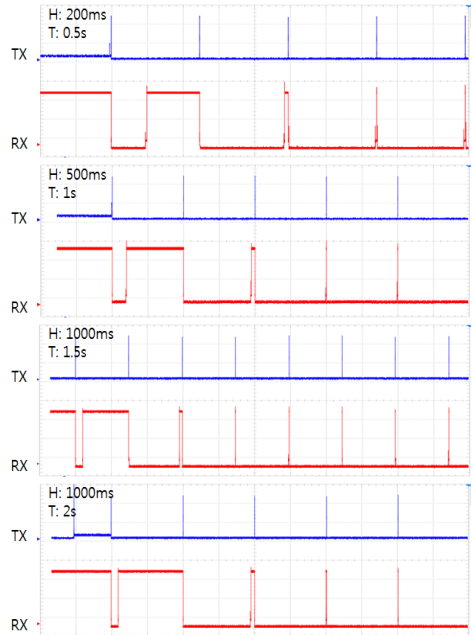


그림 5. 주기에 따른 웨이크업 동작 파형  
Fig. 5 Wakeup waveform of the period

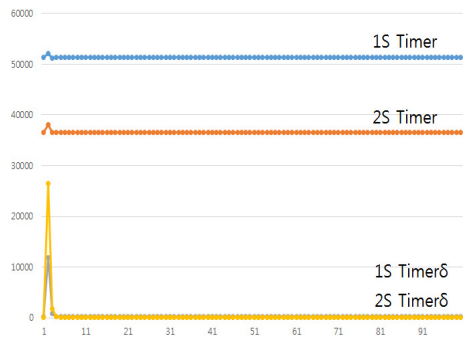


그림 6. Timer 및 Timer $\delta$  변화량  
Fig. 6 Timer and Timer $\delta$  variation

또한 기존의 가변적인 Duty Cycle을 통한 수신 예측 알고리즘과 비교한 결과 그림 7과 같이 순차적인 활성구간 감소를 통한 수신 안정화 보다 감소된 최소 활성구간 수렴 단계를 보였고, 90% Duty Cycle 이상의 에너지 성능 향상을 확인할 수 있다.

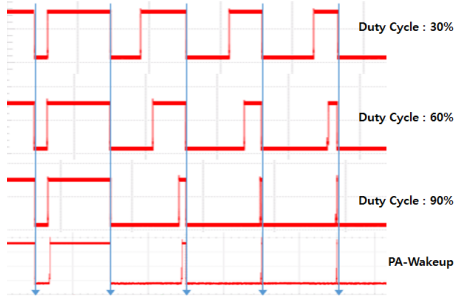


그림 7. 활성 및 수면 동작 비교  
Fig. 7 Comparison of active and sleep operations

#### IV. 결 론

본 논문에서 제안된 수신 예측 기반 웨이크업 제어 기법은 가변적인 주기를 갖는 WSN MAC 프로토콜에서 활성구간과 수면구간을 결정하는데 에너지 효율을 최적화 할 수 있는 방법으로서 저 전력 무선 센서 네트워크에 적용이 가능함을 보여주고 있다. 이러한 웨이크업 기법은 만물인터넷(IoE), 사물인터넷(IoT), 사물통신(M2M), Active RFID, USN, RTLS 등 다양한 분야에 적용이 가능하다. 따라서 무선 센서 네트워크 기반 저 전력 통신기술로서 S-MAC 또는 B-MAC과 같은 비동기식 MAC 프로토콜에 적용하여 가변적인 수집 주기를 갖는 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 높일 수 있을 것이라 기대한다. 향후 웨이크업 기법을 기반으로 스타, 메쉬, 트리 등의 네트워크 토폴로지를 위한 저전력 MAC 프로토콜을 구현하여 네트워크 성능 평가를 수행 할 예정이다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육부와 한국연구재단의 지역혁신 인력양성사업으로 수행된 연구결과임 (No.2013H1B8A2032290).

#### References

[1] J. Kim, S. Lee, J. Koh, and J. Park, "Traffic Control Algorithm for Periodic Traffics in WSN," *J. of the Korea Institute of Electronic*

*Communication Sciences*, vol. 5, no. 1, Feb. 2010, pp. 44-50.  
 [2] M. Son and Y. Kim, "A Study on Hierarchical Communication Method for Energy Efficiency in Sensor Network Environment," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 8, Aug. 2014, pp. 889-897.  
 [3] W. Oh and S. Lee, "MAC protocol for Energy-Efficiency and Delay in Ubiquitous Sensor Networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 4, no. 1, Mar. 2009, pp. 20-24.  
 [4] J. Yun, S. Bae, J. Kang, T. Han, and M. Chung, "Asynchronous MAC Algorithm with a Wake-up Time Estimation in Wireless Sensor Network" *Proc. of Symp. of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Jeju, Korea, June 2009, pp. 865-866.  
 [5] J. Shin, D. Park, and S. Kim, "MAC Layer Protocol for Improvement in Power Consumption and Time Delay in a Sensor Network," *J. of Korean Institute of Communication and Information Sciences*, vol. 40, no. 2, Feb. 2015, pp. 366-368.  
 [6] W. Jung and Y. Oh, "A Study on Energy Efficient MAC Protocol based on S-MAC Protocol," *J. of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 35, no. 2, Feb. 2010, pp. 43-49.  
 [7] H. Oh and H. Song, "Design of Energy Efficient MAC Protocol for Delay Sensitive Application over Wireless Sensor Network," *J. of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, vol. 34, no. 11, Nov. 2009, pp. 1169-1177.  
 [8] J. Min and S. Chung, "A Hybrid WSN MAC Protocol for Energy Efficient and Low Latency Data Collection," *J. of Korean Information Science Society*, vol. 41 no. 1, Feb. 2014, pp. 50-60.  
 [9] A. El-Hoiydi and J.-D. Decotignie, "Wisemac:

An ultra low power mac protocol for the downlink of infrastructure wireless sensor networks”, *Proc. of Symp. of the ISCC 2004 Ninth International Symposium*, vol. 1, Alexandria, Egypt, July 2004, pp. 244-251.

- [10] J. Choi, K. Kim, and D. Kim, “A Study of Medium Access Control Protocol aimed to Energy Efficiency and Reduction of data transmission delay through Single slot renewal mechanism,” *Proc. of Symp. of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, Incheon, Korea, Nov. 2006, pp. 761-764.
- [11] B. Abid, H. Seda, and S. M’bengue, *Wireless Sensor Networks - Technology and Applications chapter4 Collision Free Communication for Energy Saving in Wireless Sensor Networks*. Rijeka, Croatia: INTECH 2012.
- [12] S. Kim and Y. Kim, “A Study of Low Power Protocol and Algorithm for Short Range Wireless Communication,” *J. of Korea Institute of Information technology*, vol. 9, no. 5, May 2011, pp. 49-58.
- [13] J. Lee and D. Eom, “A Study of Variable Wakeup Period for Duty Cycled MAC protocol in WSN,” *J. of The Institute of Electronics Engineers of Korea*, vol. 49, no. 12, Dec. 2012, pp. 45-55.

### 저자 소개



#### 이경훈(Kyung-Hoon Lee)

2003년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

2012년 전남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2014년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 박사(수료)

※ 관심분야 : RF Circuit(RFIC), 근거리무선통신, IoT/사물인터넷, 임베디드 시스템

#### 이학재(Hak-Jai Lee)



1987년 호남대학교 영어영문학과 졸업(문학사)

2014년 전남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2014년 전남대학교 대학원 전자컴퓨터공학과 박사 과정 재학중

※ 관심분야 : RF Circuit(RFIC), 근거리무선통신, 임베디드 시스템

#### 김영민(Young-Min Kim)



1976년 서울대학교 전자학과 졸업(공학사)

1978년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)

1986년 The Ohio state University 전기공학과 졸업(공학박사)

1992년 ~현재 전남대학교 전자컴퓨터공학부 교수

※ 관심분야 : 영상처리, RF Circuit(RFIC), SOC 설계