

무선 센서 네트워크 기반 에너지 효율성이 개선된 MAC 프로토콜 설계

이철승*

Design by Improved Energy Efficiency MAC Protocol based on
Wireless Sensor Networks

Cheol-Seung Lee*

요 약

무선 센서 네트워크 기술은 유비쿼터스 컴퓨팅 환경의 급성장중인 기술이며 다양한 분야에서 응용과 연구가 진행되고 있다. 무선 센서 네트워크를 구성하는 센서 노드들은 분산 네트워크 환경에서 배터리를 이용하여 Life cycle을 유지하기 때문에 QoS 요구보다는 에너지 효율이 매우 중요하다. 이러한 사항을 고려하여 IEEE802.15.4의 MAC 프로토콜에서는 트래픽에 적응적인 MAC 프로토콜 연구와 무선 센서 네트워크 환경에 신뢰성과 효율성이 강조된 표준화 작업을 진행중에 있지만, 에너지 효율이 줄어든 만큼 센서 노드의 응답속도가 떨어지는 문제점을 지니고 있다. 이에 본 논문은 동기식 방식과 하이브리드 방식의 MAC 프로토콜을 분석하여 전체네트워크의 에너지 효율이 개선된 MAC 프로토콜을 설계하였다.

ABSTRACT

Wireless sensor network technology is a rapidly growing technology of ubiquitous computing environment and application and research are being carried out in various fields. The sensor nodes constituting the wireless sensor network maintain the life cycle by using the battery in the distributed network environment, so energy efficiency is more important than QoS requirement. In MAC protocol of IEEE802.15.4, MAC protocol study adaptive to traffic and standardization work emphasizing reliability and efficiency in wireless sensor network environment are underway. but, Wireless sensor networks have the problem that the response speed of the sensor node drops as the energy efficiency decreases. In this paper, we designed the MAC protocol with improved energy efficiency of the whole network by analyzing the MAC protocol of the synchronous method and the hybrid method.

키워드

Wireless Sensor Network, MAC Protocol,
무선 센서 네트워크, MAC 프로토콜

1. 서론

유비쿼터스 컴퓨팅 환경에서 무선 센서 네트워크 기술은 트래픽 모니터링 감시와 추적기술, 군사적 목

적, 이동 디바이스 감지, 헬스 모니터링 그리고 스마트 환경과 같은 다양한 형태의 응용으로 사람과 사물 뿐만 아니라 사물 간의 정보공유로 새로운 패러다임을 마련해 나가고 있다[1-2].

* 교신저자 : 광주여자대학교 교양·교직과정부
• 접수일 : 2017. 03. 26
• 수정완료일 : 2017. 05. 31
• 게재확정일 : 2017. 06. 16

• Received : Mar. 26, 2017, Revised : May. 31, 2017, Accepted : Jun. 16, 2017
• Corresponding Author : Cheol-Seung Lee
Dept. of Liberal Arts, Kwangju women's Univ.
Email : cyberec@kwu.ac.kr

무선 센서 네트워크는 그림 1과 같이 많은 무선 센서 노드들이 서로 통신을 하며 연결된 구조로서 필요 영역의 데이터를 수집하고, 수집된 데이터를 기지국(sink)을 통해 유선 네트워크와 연결된 구조이다.

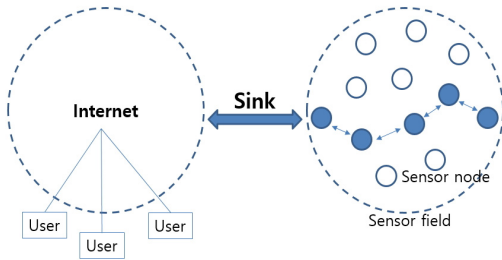


그림 1. 무선 센서 네트워크 환경
Fig. 1 Wireless sensor network environment

하드웨어의 기술의 발달로 센서 노드의 개발은 다양한 센싱모듈이 장착된 센서 노드를 광범위한 지역에 배포시켜 정보를 수집할 수 있게 되었으며, 다양한 방법으로 연구가 진행이 되고 있다[3]. 하지만 센서 노드들은 일정시간 동안 동작할 수 있는 에너지 즉, 배터리를 사용하기 때문에 배터리의 효율을 최대화하는 것은 매우 중요한 문제이다[4]. 센서 노드들은 배터리가 소모되기 전까지 작업을 진행해야 하며, 에너지 사용의 제약을 받는다. 소스노드의 배터리가 소진 될 경우 더 이상 네트워크에 참여할 수 없어 에너지 소모량을 최대한 고려해야 한다[5-6].

무선 센서 네트워크 환경의 신뢰성과 센서 노드의 정보전달의 표준화 작업을 TG4e에서 IEEE802.15.4의 MAC 규격의 기능을 보완하고 있지만, 전력손실을 최소화하기 위한 센서 노드의 sleep mode 시 데이터 전달 속도의 문제, 전력 소모가 줄어든 만큼의 응답속도의 문제로 데이터 전달속도와 응답속도를 줄이는 방안의 연구가 필요하다.

본 논문은 효율적인 MAC 프로토콜의 개선을 위해 데이터 전송 빈도에 따라서 동적으로 Beacon을 수신할 수 있게 프로토콜을 추가함으로써 효율적인 전력 관리와 응답속도를 최소화 할 수 있는 연구이다.

II. 관련연구

IEEE802.15의 무선센서 네트워크 MAC 프로토콜 표준화 기술을 TG5는 WPAN(Wireless Personal Area Network) Mesh 네트워크 형태 MAC 및 PHY 연구를 통해 데이터 전송률이 낮고 소스 노드의 배터리가 수년간 지속되는 저가의 제품을 위한 MAC 프로토콜 표준을 제정하는 그룹이다[7].

표 1. MAC 프로토콜 분류
Table 1. MAC protocol classification

Classification		Protocols	
CSMA	synchronous	S-MAC, T-MAC, D-MAC, S-MAC/AL	MS-MAC, R-MAC, DW-MAC,
	asynchronous	B-MAC, X-MAC, MH-MAC, RI-MAC, BOX-MAC	B-MAC+, STEM, WiseMAC, A-MAC, f-MAC
TDMA		IEEE 803.15.4, TRAMA, M-MAC, Bir-MAC, LEACH, S-MACS, L-MAC	L-MAC, FLAMA, O-MAC, BMA, EMACs, Y-MAC,
HYBRID		SCP-MAC, P-MAC	Z-MAC,

무선센서 네트워크에서는 일반 무선 네트워크와는 달리 센서 노드의 데이터 송·수신, Idle Listening, sleep mode로 나누어 볼 수 있으며 데이터 전송 시 가장 많은 에너지를 소모한다. Idle Listening 상태는 이웃한 센서 노드의 데이터를 수신하기 위해 전원을 유지하면 기다리고 있는 상태이고, sleep mode에서는 에너지를 거의 소모하지 않는다.

무선센서 네트워크에서는 배터리를 기반으로

동작하기 때문에 QoS 요구보다는 에너지 소비를 최소화하기 위해 MAC 프로토콜이 제안되어야 하며, 표 1은 무선 센서네트워크에 사용되는 MAC 프로토콜을 분류에 따라 나열하였다.

무선 센서 네트워크에서 센서 노드의 특성을 고려한 S-MAC(: Sensor MAC), T-MAC(: Timeout MAC), P-MAC(: Pattern MAC)에 대한 연구가 대표적이다.

2.1 S-MAC 프로토콜

S-MAC[8-9] 프로토콜은 active mode와 sleep mode를 주기적으로 반복함으로써 무선 센서 네트워크의 불필요한 idle listening 문제를 해결하기 위해 제안된 방법으로, 활성화 구간인 active모드와 비활성화 구간인 sleep 모드를 고정된 길이를 가지고 주기적으로 구성된 프레임이다.

sleep mode 동안에는 센싱에 관련된 transceiver의 전원을 차단함으로써 데이터를 전송하지 않고, 버퍼에 저장하여 전체 네트워크 수명을 연장한다. active mode에서는 버퍼에 저장된 데이터의 존재 여부에 따라 송·수신 여부를 확인하고 이웃한 센서 노드에게 데이터를 전송한다.

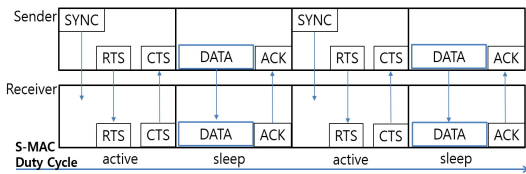


그림 2. S-MAC 프로토콜 동작상태
Fig. 2 S-MAC protocol operation

그림 2는 S-MAC 프로토콜의 동작 상태를 보이고 있다. 센서 노드의 active mode에서 SYNC 제어 패킷을 보낸 후 RTS(: Request To Send) 패킷을 송신한다. 수신노드는 RTS 패킷의 응답으로 CTS(: Clear To SEND) 패킷을 송신하고 데이터 전송은 sleep mode 동안 송·수신 데이터 존재 여부를 확인할 수 있다. sleep mode 동안 데이터 반응 속도를 감소시키고, 구현이 간단하

여 데이터 전송이 효율적이지만, Duty cycle은 높은 부하를 기준으로 고정되었기 때문에 트래픽이 변화하는 환경에서 적절하지 않는다는 단점이 존재한다.

2.2 T-MAC 프로토콜

S-MAC 프로토콜의 Duty cycle의 문제점을 개선한 T-MAC[10] 프로토콜은 동기방식의 타이머를 이용한 프로토콜로 센서 노드들이 RTS 패킷과 CTS 패킷을 교환하여 데이터 전송과 ACK(: Acknowledge)를 사용하여 충돌을 회피하여 신뢰성을 보장한다.

T-MAC 프로토콜은 S-MAC 프로토콜과 동일한 동기화방식으로 동작하지만 active mode에서 데이터 송·수신이 감지되지 않으면 곧 바로 sleep mode로 전환하여 idle listening에 소비되는 에너지를 줄여 효율성을 높일 수가 있다.

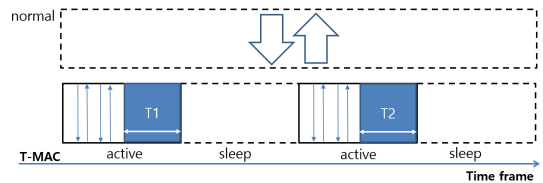


그림 3. T-MAC 프로토콜 동작상태
Fig. 3 S-MAC protocol operation

그림 3은 동기방식 타이머를 이용하는 T-MAC을 보이고 있다. T-MAC은 경쟁구간의 길이와 RTS 패킷의 길이 그리고 반환시간을 이용하여 T_n 이라는 일정한 시간의 타이머를 사용하여 T_n 시간동안 데이터 수신 없이 수신노드는 비활성화 구간인 sleep mode로 전환하면서 불필요한 Idle Listening 에너지를 줄여 효율을 높인 MAC 프로토콜이다.

2.3 P-MAC 프로토콜

P-MAC[11] 프로토콜은 S-MAC 프로토콜과 같이 분할된 time section이 적용되지만, 네트워크에 참여한 세션노드들의 데이터 전송량이 변동되는 동적인 트래픽에 따라 패턴 교환을 통하여 각 센서 노드들은 이웃한 노드들의 트래픽 패턴에 기반을 두고 active mode와 sleep mode를 동적으로 스케줄을 정한다.

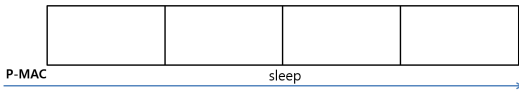


그림 4. P-MAC 프로토콜 동작상태
Fig. 4 P-MAC protocol operation

P-MAC 프로토콜은 STFs(Super Time Frames)로 나뉘고 각각 2개의 PETF(Pattern Exchange Time Frame)와 PRTF(Pattern Repeat Time Frame)으로 구성된다. PETF에서 센서 노드들은 반복하는 자신의 트래픽 패턴들을 이웃한 센서 노드들과 수집하고 교환을 통해 이전에 보낸 데이터의 패턴 유형을 찾고, 현재 패턴에 맞추어 다음 구간의 active mode로 스케줄링 하여 트래픽 부하를 줄여 효율적으로 에너지를 관리하게 된다.

III. 에너지 효율성 연구

본 장에서는 P-MAC 프로토콜을 기반으로 무선 센서 네트워크를 구성함으로써 센서 노드의 sleep mode를 스케줄링 하는 동적 수면 프로토콜을 제안한다. 센서 노드의 패킷 데이터의 정보에는 송신할 노드의 설정된 수신강도(RSSI) 값과 수신된 전송 파워를 포함한다. 패킷 데이터를 수신하는 센서 노드는 실제 송신노드의 RSSI값과 수신된 RSSI값을 받기 위해 설정된 값을 통해 얼마나 떨어진 센서 노드의 패킷 데이터인지 알 수 있다. 이를 토대로 응답 메시지를 보낼 때 적절한 전송 파워를 설정할 수 있어 센서 노드에 조금이나마 전력 소모를 줄일 수 있다.

3.1 패턴적용 스케줄링

에너지 효율성 연구를 위해 센서 노드는 이전에 수신된 데이터의 패턴을 분석하여 이를 토대로 sleep mode를 스케줄링 하는 동적 수면 프로토콜에 대한 연구이다. 생성된 패턴은 $P_{i,n}^j$ 으로 표현되며 이는 센서 노드 j의 i주기와 n번째 패턴이 적용되는 Ts(Time section)는 동등한 n개의 Ts로 구성되고 식 1로 표현한다.

$$T_s - 1$$

$$T_s = \{P_{1,0}^j, P_{1,1}^j, P_{1,2}^j, \dots, P_{1,n-1}^j, P_{1,n}^j\} \quad (1)$$

$$T_s + 1$$

식 (1)에 패턴이 적용되는 Ts에 $p_{1,0}^j$ 구간은 반드시 active mode로 설정 되어야 하며 최대 $p_{1,n}^j$ 구간까지 sleep mode로 설정할 수 있다.

Ts는 Ts-1 번째 time section에서 수집된 데이터 변화량에 따라 Ts는 결정되고, 패턴이 시작되는 $p_{1,0}^j$ 구간부터 적용되며, 한번 설정된 패턴은 Ts+1 번째 time section 구간의 $p_{1,0}^j$ 구간 전까지 유지된다.

Ts+1번째 time section은 Ts 구간의 $p_{1,0}^j$ 부터 $p_{1,n}^j$ 까지의 패턴에 따라 결정되고 Ts 구간의 $p_{1,0}^j$ 부터 $p_{1,n}^j$ 까지 구간은 active mode 이며 다음 구간에 적용될 패턴을 갱신하게 된다.

Ts-1 번째 구간의 데이터의 변화량이 적거나 같은 경우는 sleep mode를 적용하여 센싱 주기를 늘려 나간다.

$$\{1_0, 1_1, 1_2, 1_3, \dots, 1_{n-1}, 1_n\}$$

$$\downarrow$$

$$\{1_0, 0_1, 1_2, 0_3, \dots, 1_{n-1}, 0_n\}$$

$$(2)$$

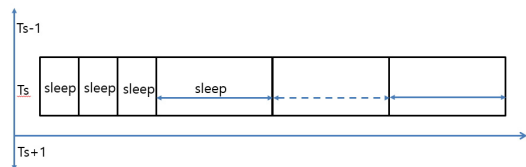


그림 5. 패턴적용 스케줄링
Fig. 5 Pattern application and schedule

3.2 데이터 변화량의 Threshold(δ) 설정

무선 센서 네트워크의 센서 노드에 측정된 데이터 값은 오차값 δ 이 발생할 수 있다. δ 값에 따라 sleep mode가 짧아지고 이는 센서 노드의 에너지 소비가 늘어나게 된다. 효율적인 데이터 변화량 측정을 위해서는 δ 값인 오차범위를 설정해 주어야 한다. δ 값은 센서의 민감도에 따라 달라

지고 주변 환경(온도, 습도)에 따라 약간의 오차는 발생할 수 있으나 통상적으로 일정한 값을 유지한다.

IV. 성능평가

본 논문에서 제안한 에너지 효율성 연구는 센서 노드의 패턴과 δ 값을 이용하여 에너지 효율성을 측정하였다.

제안 알고리즘의 실험을 위해서는 NS3를 사용하였고 시뮬레이션 시간은 1500초로 설정하여 50개의 임의의 센서 노드를 선별하여 S-MAC 프로토콜과 비교하여 에너지 효율성을 측정하였다.

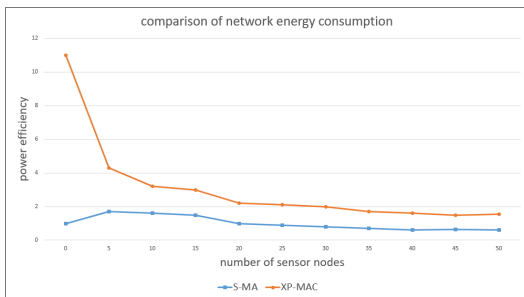


그림 6. 에너지 효율성 측정
Fig. 6 Energy efficiency measurement

그림 6은 50개의 임의의 센서 노드를 이용하여 S-MAC 프로토콜과 제안 프로토콜의 에너지 효율성을 측정한 결과이다.

실험 초반에 제안 프로토콜은 sleep mode 일 경우 S-MAC보다 에너지 효율이 좋은 것으로 나타났으며, 전체네트워크의 참여된 센서 노드수가 증가할수록 전체 데이터 변화량은 많아지게 되었고, 그만큼 에너지 소모도 늘어나게 되어 전체 에너지 효율은 낮아진다. 하지만 S-MAC 프로토콜과 비교했을 경우 P-MAC을 기반으로 한 제안 프로토콜이 센서 노드의 수가 증가하더라도 에너지 효율이 좋음을 알 수 있다.

V. 결론 및 향후 연구과제

무선 센서 네트워크 기술의 발달은 유비쿼터스 컴퓨팅 활용의 다양한 분야에 응용 및 연구되고 있다. 무선 센서 네트워크에 참여하는 센서 노드들은 오랜 시간 동안 효율적인 에너지 소비를 통해 오랜 시간 생명력을 지속해야 하지만, 이웃한 센서 노드를 찾거나 데이터 수신을 하기 위해 많은 에너지를 소모하게 된다.

본 연구는 HYBRID 방식의 P-MAC 프로토콜의 응용을 통해 무선 센서 네트워크를 구성함으로써 센서 노드의 active mode와 sleep mode 스케줄링이 가능하도록 네트워크를 설계 하였다.

센서 노드는 sleep mode를 이전에 수집된 센서 데이터 즉, 패턴을 비교하여 동적으로 sleep mode를 할당하고 패킷 데이터 정보에 RSSI값을 통한 거리 정보를 포함 함으로써 효율적으로 송신 에너지를 조절 하여 전체 네트워크에 참여하는 센서 노드의 에너지 효율을 증가시키는 연구이다.

향후 4차 산업 혁명 시대의 근간이 될 무선 센서 네트워크의 성장성을 감안한다면 센서 노드들의 연산량을 고려해야 하며, 가볍고, 강력한 보안성을 제공할 수 있어야 할 것이다. 무선 센서 네트워크 융합기술들의 지속적인 연구는 다양한 산업분야에 실용화가 가능할 것으로 기대된다.

References

- [1] P. Schaffer, K. Farkas, A. Horvath, T. Holczer, and L. Buttyan, "Secure and Reliable Clustering in Wireless Sensor Networks : A Critical Survey," *Computer Networks*, vol. 56, no. 11, July 2012, pp. 2726-2741.
- [2] W. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks," *IEEE Trans. Wireless Communications*, vol. 1, no. 4, Oct. 2002, pp. 660-670.
- [3] P. Hung, L. Xiao, S. Soltani, M. Mutka, and N. Xi, "The evolution of MAC protocols in wireless sensor networks: A survey," *J. of*

The IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 15, Issue 1, Apr. 2012, pp. 101-120.

- [4] 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. 19-23.
- [5] J. Lee, and I. Kim, "Energy-efficient Channel Allocation MAC for Wearable WBANs," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 11, Nov. 2016, pp. 1135-1140.
- [6] Y. Jo, I. Yun, S. Kim, and H. Park. "A Study on the MAC(Media Access Control) protocol for Unmanned Aerial Vehicle(UAV)," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11, no. 1, Jan. 2016, pp. 119-124.
- [7] Standard 802.15.4-2006, Part 15.4: *Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, New York, USA, 2006.
- [8] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium Access Control with coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," *J. of the IEEE/ACM Trans. Networking(TON)*, vol. 12, issue 3, June 2004, pp. 493-506.
- [9] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Network," In *Proc. the 21st Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002)*, vol. 3, New York, USA, June 2002.
- [10] T. Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks," In *Proc. the 1st Int. Conf. on Embedded Networked Sensor System (SenSys'03)*, Los Angeles, USA, Nov. 2003. pp. 171-180.
- [11] T. Zheng, S. Radhakrishnan and V. Sarangan, "PMAC: An Adaptive Energy Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Network," In *Proc. the 19th IEEE Int. Parallel and Distributed Processing System*, Denver, USA, Apr. 2005.

저자 소개



이철승(Cheol-Seung Lee)

2001년 광주대학교 공과대학 컴퓨터학과 졸업 (공학사)

2003년 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업 (공학석사)

2008년 조선대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

2012년 ~ 광주여자대학교 교양·교직과정부 교수

※ 관심분야 : MANET Security, Android Security Wireless Sensor Network Security, IOT