
USN에서 에너지 효율성과 지연을 위한 MAC 프로토콜

오원근* · 이성근*

MAC protocol for Energy-Efficiency and Delay in Ubiquitous Sensor Networks

Won-geun Oh* Sung-keun Lee*

Sunchon National University

freedom533@naver.com, owg@sunchon.ac.kr, sklee@sunchon.ac.kr

요 약

센서 노드는 제한된 에너지를 가지고 동작한다. 대부분의 경우에, 에너지가 고갈된 배터리를 교체하거나 재충전하는 것은 바람직하지 않거나 불가능하다. 따라서 MAC프로토콜 디자인에서 에너지 소모를 줄이는 것은 매우 중요한 문제 중 하나이다. 하지만, 센서 응용이 지연에 민감할 경우, 지연이 매우 중요한 요소이고, 이 지연은 에너지 소비와 트레이드오프하게 된다. 따라서 본 논문에서는 에너지 소모를 줄이고, 낮은 지연을 얻을 수 있는 MAC프로토콜을 제안한다. 이 프로토콜은 DSMAC을 기반으로, 동적으로 경로 사이의 상대적인 buffer의 패킷의 양에 따라서 duty cycle를 변경하게 된다.

ABSTRACT

sensor node work limited energy. It is undesirable or impossible to replace the batteries that are depleted of energy because of characteristics of the sensor network. Due to the specific energy constrained environment, MAC design for sensor networks generally has to take energy consumption as one of its primary concerns. But in sensor networks, latency has been a key factor affecting the applicability of sensor networks to some delay-sensitive applications. Therefore, we propose MAC protocols based DSMAC in this paper. Which is able to dynamically change the sleeping and duty cycle of sensors is adjusted to adapt to packet amounts in buffer. Proposed MAC has energy efficiency and low latency, compared DSMAC.

키워드

USN, delay, MAC Protocol

1. 서 론

센서 네트워크는 소형 센서 노드들로 구성되어 있으며, 구성된 센서 노드들은 주변 환경으로부터는 물리적인 현상을 감지, raw 데이터를 처리, 센싱 정보의 통합, 계산을 수행한다. 그리고 이 데

이터를 sink노드로 single-hop 또는 multi-hop를 통하여 데이터를 전송하게 된다. 이러한 WSN은 오늘날 환경 모니터링, 서식지 모니터링, 건강관리, 프로세스 모니터링 그리고, 감시 등과 같은 상업적이고 산업적인 부분에 많이 사용된다. 센서 노드는 그 특성상 배터리를 교체하거나 재충전을

* 순천대학교

접수일자 : 2009. 01. 17

할 수 없기 때문에, 배터리를 모두 소모하게 되면 더 이상 정상적인 라우팅 동작과 감지 작업을 수행할 수 없다. 따라서 에너지를 효율적으로 사용하기 위해 많은 연구들이 진행되고 있다. 하지만 응용의 적당한 QoS를 제공하기 위해서는 에너지 효율성도 중요하지만 지연이 중요한 문제가 된다 [1]. 따라서 본 논문에서는 에너지 효율적으로 사용하면서, 지연을 줄일 수 있는 MAC 프로토콜을 소개한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서 기존에 제안된 관련 MAC 프로토콜을 기술하고, III장에서는 제안된 MAC 프로토콜을 상세하게 서술한다. 그리고 IV장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

센서 네트워크는 제한된 에너지를 가지기 때문에, 센서 네트워크에 대한 MAC 프로토콜에서 에너지 소비는 중요한 관심사 중 하나이다. 이 주제를 연구한 프로토콜로는 주기적인 duty cycle를 사용하여 에너지 소비를 줄이는 S-MAC[2] 프로토콜이 있다. 센서 네트워크는 bursty한 특징을 가지기 때문에, 이벤트가 없는 구간에 listen을 하게 되면 불필요한 에너지를 낭비하게 될 것이다. 따라서 S-MAC에서는 이러한 에너지 낭비를 막기 위해 주기적으로 sleep를 취하게 된다. S-MAC에서는 sleep/listen 두 기간으로 나눈다. 노드가 주기적으로 sleep와 listen을 반복적으로 동작하고, 여기에서 sleep기간은 응용의 요구 상황에 따라 변화될 수 있다. 하지만 한번 설정된 duty cycle는 변함없이 지속되기 때문에, 지연에 민감한 응용일 경우에는 적용하기 힘들다.

Adaptive SMAC[3]은 SMAC을 기반으로 지연을 줄이기 위해 제안되었다. 어떠한 노드들 사이에 데이터를 전송할 때, 이 전송이 언제 끝나는지 알려주는 NAV를 주변노드에게 전송한다. 주변 노드들은 두 노드간의 전송이 언제 끝나는지 알기 때문에 그 시점에서 잠깐 listen모드로 변경하여 자신에게 전송이 오는지 확인을 하고, 데이터를 수신하여 지연을 줄이는 방법이다. 이 방법은 한 홉 사이에서 지연을 줄일 수 있다.

DMAC[4]은 지연을 단축하기 위해 제안되었다. adaptive SMAC에서는 한 홉 에서만의 지연을 단축시키지만, DMAC에서는 싱크까지 최대한 지연 없이 전송하는 프로토콜이다. 어떤 한 노드에서 싱크로 데이터를 전송하면, sleep 없이 싱크까지 데이터를 전송하게 된다. 이 프로토콜은 미리 스케줄이

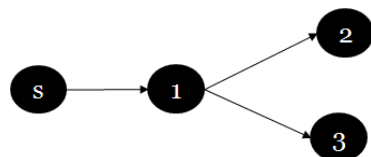
설정되어 있어 RTS/CTS 철차도 없다. 하지만 데이터 패킷의 신뢰성 있는 전달을 위한 ACK 프레임은 사용된다.

SMAC에서 낮은 duty cycle 할당은 에너지 보존을 위해 효율적이지만, 지연 문제를 무시하게 된다. 센서 네트워크에서 지연에 민감한 응용은 지연이 매우 중요한 요소가 되기 때문에, SMAC을 기반으로 동적으로 duty cycle를 변경하여 에너지 효율적이고, 낮은 지연을 제공하기 위해 DSMAC[5]이 제안되었다. 일반적으로 S-MAC와 같은 listen/sleep의 주기를 갖는 프로토콜들은 duty cycle을 미리 정의하여 통신하는 데 비해, DSMAC은 데이터 트래픽을 고려해서 동적으로 duty cycle을 변화시킴으로써 데이터 지연을 줄일 수 있는 기법을 제시한다.

III. MAC 프로토콜 제안 및 분석

DSMAC은 에너지 효율성과 지연 사이에서 좋은 성능을 보여준다. 고정 duty cycle를 사용하는 SMAC과는 다르게, 트래픽 부하에 따라 자동적으로 duty cycle를 변경하게 함으로써, 에너지 효율성을 크게 저하시키지 않으며, 지연에 민감한 응용에 대해 지연을 줄일 수 있는 장점을 제공한다. 그러나 특정 노드로 전달되는 패킷이 많을 경우, DSMAC에서는 해당 노드가 주변 노드들의 duty cycle을 모두 높게 함으로써, 지연을 줄이게 되지만, 주변노드의 추가적인 idle listening에 의한 에너지 효율성 측면에서 성능이 저하되는 단점이 있다.

DSMAC의 동작과정은 다음과 같다. 주변 노드로부터 데이터를 수신하면, 데이터 패킷에 포함된 지연 정보를 추출한 후, 평균지연을 계산한다. 평균 지연이 크면 자신의 duty cycle를 새롭게 갱신을 하고 SYNC 패킷을 통해, 주변노드에게 새로운 duty cycle를 전송함으로써, 주변 모든 노드의 duty cycle를 변경시킨다.



[그림 1] 네트워크 토폴로지 예

예를 들어, [그림 1]에서 1번 노드가 지연이

크다고 판단을 하면, 주변 노드에게 SYNC를 통해 새로운 duty cycle를 전송함으로써, 모든 주변 노드의 duty cycle를 2배로 조정하게 한다. 이 경우, 1번 노드가 전송해야 할 패킷의 대부분이 3번 노드로 전송해야 할 경우라면, 2번 노드도 같이 duty cycle을 증가시키기 때문에, 추가적인 idle listening에 의해 불필요한 에너지가 낭비되는 단점을 나타낸다. 따라서 본 논문에서는 위에서 지적한 DSMAC의 단점을 극복하고, 전송해야 할 패킷이 많은 경로의 두 노드만이 duty cycle를 높여 지연을 줄일 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다.

DSMAC의 경우, 어떠한 노드에서 평균 지연이 높게 발생된다면, 주변 노드의 duty cycle을 증가시켜, 지연을 줄이게 되어 지연에 민감한 응용서비스의 QoS를 만족시킬 수 있다. 그러나 전송해야 할 패킷 대부분이 어느 한쪽 노드로 전송될 경우에는, 자신과 목적지 노드 사이에만 duty cycle를 조정함으로써, 에너지와 지연 측면에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

먼저 모든 센서 노드가 초기 동작할 때, 공통적으로 기본 duty cycle를 적용한다. 각각의 노드는 수신된 데이터로부터 지연 정보를 획득하고, 평균 지연을 계산하게 된다. 여기까지는 DSMAC과 유사하다. 데이터를 수신한 노드는 평균지연을 통해 지연이 과도하다고 판단하게 되면, 버퍼에 패킷이 많이 채워졌다는 것을 의미하기 때문에 버퍼에 있는 패킷을 빠르게 전송하기 위해, 다음에 이 노드가 전송을 할 때, 자신의 버퍼를 확인을 한다. 그리고 현재 목적지로 가는 패킷의 양을 검사하게 된다. 이 패킷의 양이 일정 경계치 보다 크다고 판단되면, RTS 메시지를 통해 목적지 노드로 listen 기간을 변경하는 것 없이 sleep time 기간 길이를 짧게 하는 것에 의해 duty cycle을 줄이는 것을 요청하게 된다. RTS를 수신한 노드에서는 자신의 에너지 자원을 체크하여 이러한 duty cycle 조정 요구를 수용할 것 인지를 판단하게 된다. 이러한 결정은 CTS 메시지를 통해 송신자에게 전송하게 된다. 이러한 방법으로 duty cycle를 줄이는 것을 결정하게 되면, 이 두 노드는 다른 노드에 비해 패킷을 전송할 수 있는 기회가 더 많아지게 된다. 따라서 상대적으로 많은 패킷을 가지고 있는 경로에서, 빠르게 패킷을 전송할 수 있어 지연을 줄일 수 있을 것이다. 본 논문에서 사용하는 수정된 RTS와 CTS 메시지 형식을 [그림 2]에 나타내었다.

Lenght	Type	To Addr	From Addr	Duration (NAV)	CRC	
원래의 RTS, CTS 데이터 형식						
Lenght	Type	To Addr	From Addr	Duration (NAV)	Duty cycle Level	CRC
수정된 RTS						
Lenght	Type	To Addr	From Addr	Duration (NAV)	Duty cycle Level	CRC
수정된 CTS						

[그림 2] 수정된 RTS, CTS 메시지 형식

알고리즘 1에서 전송 측면에서는 평균 지연이 경계 값보다 크다고 판단하게 되면, 현재 목적지로 가는 패킷의 양을 측정하게 된다. 이 크기는 p_{target} 로 표현한다. 이 값이 경계 값(Tmax)보다 크다면, 전송해야할 패킷의 양이 상대적으로 많다고 판단되기 때문에, duty cycle을 줄여서 데이터를 전송할 수 있는 기회를 높이게 된다. 만약 p_{target} 이 값이 경계 값(Tmin)보다 작다고 한다면, 상대적으로 전송해야할 패킷의 양이 아주 작기 때문에, sleep 시간을 두 배로 늘려서 duty cycle을 늘려서 에너지 소모를 작게 한다. 그리고 위의 경우에 해당하지 않을 때는, 현재 목적지로 가는 패킷을 제외한 다른 노드로 가는 패킷들 중 가장 큰 패킷의 크기를 확인하고, 값은 p_{hiest} 으로 표현한다. 이 p_{hiest} 값을 이용하여 buffer의 패킷들이 균등하게 분포되어 있는지 확인하게 된다. p_{hiest} 가 Tmax 보다 작은 경우에는 현재 버퍼에서 다른 노드로 전송해야 할 패킷들이 골고루 분포 되어있다고 판단한다. 따라서 이 경우에는 duty cycle을 줄이게 된다. p_{hiest} 가 큰 경우에는 현재 목적지 보다 다른 목적지로 가는 패킷의 양이 상대적으로 아주 크다고 판단되기 때문에, 현재의 duty cycle를 유지하게 된다. 위와 같은 과정을 통해 결정된 duty cycle를 실제로 적용하기 위해서, RTS 메시지를 통해 목적지에 전송하게 된다. RTS를 수신 받은 목적지에서는 RTS에 포함된 duty cycle를 꺼낸다. 그리고 현재의 자신의 에너지와 현재의 duty cycle를 확인하고, 수신된 duty cycle로 동작할 것인지 결정하게 된다. 이렇게 결정을 하고, CTS를 통해 자신의 결정을 송신자 측으로 전송한다. CTS를 전송받은 송신자는 CTS에 포함된 duty cycle 결정을 확인하고 duty cycle를 실제로 적용하게 된다. 제안된 MAC 프로토콜에서 사용되는 알고리즘은 아래 서술하고, 여기에서 사용되는 duty cycle level에 따른 duty cycle는 아래 표에서 보여준다.

[표 1] duty cycle level

Duty cycle level	Duty cycle
1	SMAC
2	Sleep 1/2
3	Sleep 1/4

알고리즘 1 - 전송 측

- 데이터 수신
 데이터를 수신, 데이터 패킷에 표시된 time stamp 정보를 기반으로 지연을 획득, 자신의 평균 지연 갱신, 전력 소비와, 패킷을 카운트함.

- RTS 전송
 RTS 패킷을 구성한다.
 if(My queue is empty || avg_delay < Dmin) && duty cycle level > 1)
 현재 duty cycle level 감소

if(avg_dealy > Dmax && current duty cycle level < 3 && current energy < Te)
 if($p_{target} > T_{max}$)
 현재 duty cycle level 증가
 else if($p_{target} < T_{min}$)
 현재 duty cycle level 감소
 else if($p_{hiest} < T_{max}$)
 현재 duty cycle level 증가
 else
 현재 duty cycle level 유지

결정된 duty cycle를 CTS 패킷에 포함하여 전송

- CTS 수신
 수신된 CTS의 패킷에 포함된 상대의 결정을 확인하고 실제 duty cycle를 변경함

알고리즘 2 - 수신 측

- RTS 수신
 if(current duty cycle level <= received duty cycle level && current energy < Te)
 수신 받은 duty cycle level로 결정
 else if(current duty cycle level >= received duty

cycle level && avg delay < Dmin)
 수신 받은 duty cycle level로 결정
 else
 자신의 duty cycle level

- CTS 전송
 결정된 duty cycle level을 CTS를 통해 전송

여기에서 avg_delay는 그 노드에서의 평균 지연 값을 나타낸다. 그리고 Dmax와 Dmin 값은 최대, 최소 지연 값을 나타내고, 이 값은 변경될 수 있다. Te 값은 에너지 경계 값을 나타내고, 이 값을 초과할 경우에는 에너지 소모를 많이 한 경우를 나타낸다. Tmax, Tmin은 패킷 양의 최대, 최소를 나타낸다. 이 값들은 현재 버퍼에서 목적지로 가는 패킷의 양을 판단할 때 사용한다.

[그림 1]의 시나리오에서 1번 노드가 2번 노드로 가는 패킷을 3번 노드에 비해 많이 가진다고 가정한다. 1번 노드는 지연이 크다고 판단하게 되면, 이 노드는 2번 노드와의 duty cycle를 조정하기 위해 RTS를 사용한다. 상대적으로 많은 데이터 패킷을 전송해야하는 두 노드간의 duty cycle를 조정함으로써, 지연을 줄이고, 에너지 효율성을 보장할 수 있다. 그리고 1번 노드는 duty cycle를 참여하지 않는 3번 노드와의 통신에서 어떤 동기화 문제도 가지지 않는다. DSMAC에서와 같이, 1번 노드는 3번과 통신을 할 때, 자신의 스케줄을 사용하여 통신을 수행한다. 다만 DSMAC과는 다르게 적은 패킷이 전송되는 3번은 duty cycle를 참여하지 않음으로써, 에너지 소비를 줄이게 된다.

DSMAC의 경우에는 데이터를 수신 받는 노드에서 duty cycle를 결정하지만 제안된 MAC 프로토콜은 송신자 측에서 duty cycle를 결정하게 된다. DSMAC에서는 데이터를 전송받는 수신측에서 평균지연을 측정하고, 지연이 크다고 판단하면, 이 수신측에서 SYNC 패킷을 통해 duty cycle의 조정을 요청하게 된다. 반면에 제안된 MAC 프로토콜은 평균지연을 측정하고, 이 노드가 전송을 할 때, 버퍼를 확인하고, duty cycle의 조정을 수신측에 요청하게 된다.

본 지식재산권은 정통부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임 (08-기반-13, 정보통신연구기반조성사업)

IV. 결론

센서 노드는 제한된 배터리를 가지고 동작하기 때문에 에너지 소비는 MAC 프로토콜에서 매우 중요한 문제 중 하나이다. 하지만, 지연에 민감한 센서 응용의 경우, 지연이 중요한 문제이기 때문에 본 논문에서는 DSMAC을 기반으로 buffer의 패킷의 양에 따라서 두 노드의 경로사이의 duty cycle을 변경하는 MAC 프로토콜을 제안하였다. DSMAC과는 다르게 송신 측에서 duty cycle을 결정하고, 패킷이 많은 경로에는 duty cycle을 줄여서, 데이터를 빠르게 전송하게 하여 지연을 줄일 수 있게 하였고, 패킷이 적은 경로에서는 두 노드사이의 duty cycle를 늘려서 에너지 소모를 줄일 수 있게 하였다. 결과적으로 DSMAC과 비교하여 지연과 에너지 측면에서 모두 좋은 성능을 얻을 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] Mahmood Ali, Annette Bohm and Magnus Jonsson, Wireless Sensor Networks for Surveillance Applications A comparative Survey of MAC Protocols, IEEE computer Society, July 2008
- [2] Deborah Estrin, John Heidemann, Wei Ye, An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor Networks, in proceeding of the IEEE INFOCOM: 1567~1576, 2002.
- [3] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin. Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks. in IEEE transactions on Networking, June 2003
- [4] G. Lu, B. Krishnamachari, and C.S. Raghavendra, 26-30 An Adaptive Energy Efficient and Low-latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks, Proc. of 18th Int'l Parallel and Distributed Proc. Symp: 224, Apr. 2004.
- [5] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang, Medium Access Control with a Dynamic Duty Cycle for Sensor Networks, IEEE Wireless Commun. and Networking Conf., Vol.3,21-25 : 1534~1539, Mar. 2004.

저자소개

오원근

한국전자통신학회 02권04호 참조

이성근

한국전자통신학회 02권04호 참조