
에너지 효율적인 무선 센서 네트워크를 위한

적응형 Timeout 기반 MAC 프로토콜

권용훈 · 공인엽

금오공과대학교

A MAC Protocol Based on Adaptive Timeout for Energy Efficient Wireless Sensor Networks

Yong-Hun Kwon · In-Yeup Kong

Kumoh Institute of National Technology

E-mail : yhkwon2310@gmail.com

요 약

무선 센서 네트워크에서 각 노드들은 일반적으로 자체 충전이 어려운 배터리를 전원으로 사용하고 배터리 방전시의 교체도 어렵기 때문에 제한된 에너지원 내에서의 각 노드들의 수명 연장을 위한 연구는 중요한 이슈가 되어 왔다. 그래서 각 노드들의 에너지 소비량을 최소한으로 하는 많은 방법들이 제안되었으며 특히 에너지 효율적인 MAC 프로토콜에 관한 연구가 활발히 진행되었다. 그 중 경쟁 기반 MAC 프로토콜인 T-MAC은 S-MAC의 고정된 듀티 사이클에 적응성을 추가한 프로토콜로서 각 노드가 활성 모드에서 수면 모드로 진입하기 전 고정된 timeout을 주게 된다. 이 고정된 timeout 내에서 송수신되는 데이터가 없으면 각 노드들은 수면 모드로 진입하게 되는데 timeout은 항상 고정되어 있기 때문에 송수신 되는 데이터가 없을 때에는 불필요한 에너지 소비를 발생시킨다. 본 논문에서는 확률적으로 timeout을 분석하고 확률에 따른 timeout을 제공하여 timeout 동안의 불필요한 에너지 소모를 줄임으로서 에너지의 효율을 높일 수 있는 적응형 timeout 기반 MAC 프로토콜을 제안한다.

ABSTRACT

In wireless sensor networks, each node generally uses a battery because it is hard to replace or charge. For this reason, study for life time prolongation of each node within the limited energy source has become an important issue. So many ways are suggested to minimize the energy consumption for each node, especially energy efficient MAC protocols have been studied actively. T-MAC of contention based MAC protocol is that added the adaptability on fixed duty cycle of S-MAC. T-MAC allocates the fixed timeout before each node goes to sleep mode from active mode. If no data exchanged in a timeout, each node goes to sleep mode. Because of the timeout is always fixed, the absence of data exchange in a timeout will cause unnecessary energy consumption. In this paper, in order to improve the energy efficiency, we propose a MAC protocol based on adaptive timeout that analyze the probability of the timeout, and provides the modified timeout.

키워드

Wireless Sensor Network, MAC protocol, energy-efficiency, T-MAC

1. 서론

물리계층과 MAC계층에서 IEEE 802.15.4 표준을 사용하는 무선 센서 네트워크는 작은 크기의 독립된 무선 센서 노드들로 구성된 네트워크이다. 각 센서 노드는 기본적으로 센서, 센싱된 정보를 처리할 수 있는 마이크로프로세서, 무선 송수신기로 구성된다. 그리고 각 센서 노드들은 배터리를 전원으로 사용하는데 이 배터리는 자체 충전과 방전시의 교체도 어렵기 때문에 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율 문제는 중요한 연구 주제가 되었다. 에너지 효율을 높이기 위해서는 불필요한 에너지 소모를 줄여야 하는데 불필요한 에너지 소모의 주요 요인으로는 충돌로 인한 재전송(collison), 직접적인 관련이 없는 데이터의 수신(overhearing) 그리고 과도한 사전 제어 정보의 전송(control overhead), 계속적인 전송 채널 감시(idle listening)가 있다. 이러한 불필요한 에너지 소모의 요인들은 노드들 간의 데이터 송수신 과정에서 일어나게 되는데 노드들이 공유하는 무선 매체의 접근을 효과적으로 관리한다면 불필요한 에너지 소모의 요인들을 줄임으로써 좀 더 에너지 효율적인 무선 센서 네트워크 환경을 구축할 수 있다. 무선 매체 접근의 효과적인 관리는 MAC 프로토콜에 의해 가능하며 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 설계하는 것이 중요하다.

이에 본 논문에서는 무선 센서 네트워크의 에너지 효율적인 MAC 프로토콜 중 경쟁기반 방식 프로토콜인 T-MAC의 고정된 timeout 때문에 발생하는 에너지 소모를 줄이고자 적응형 timeout 기반 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 II장에서 MAC 프로토콜에 대한 관련 연구를 소개하고 III장에서 제안하는 MAC 프로토콜을 설명하며 IV장에서 결론 및 향후 과제를 제시하고 끝을 맺는다.

II. 관련 연구

무선 센서 네트워크는 제한된 에너지 자원, 멀티 홉 방식의 동작 등의 제한성 때문에 기존의 무선 네트워크에서 사용하던 MAC 프로토콜을 사용하기에는 무리가 있다. 기존의 무선 네트워크의 MAC 프로토콜에서는 높은 데이터 처리량과 전송 지연을 낮추는 것이 주요 목적이었으며 에너지 효율은 큰 고려대상이 아니었다.[1]

무선 센서 네트워크의 에너지 효율을 높이기 위한 MAC 프로토콜 중 대표적인 것으로 경쟁기반 MAC 프로토콜인 S-MAC[2]과 T-MAC[3]이 있다. 경쟁기반 MAC 프로토콜은 collison과 idle listening의 문제가 있지만 구조가 복잡하지 않고 확정성이 좋다는 장점이 있다.

S-MAC은 그림 1에서처럼 고정된 프레임의 활성 구간 및 수면 구간을 사용하여 불필요한 에너

지 소모를 발생시키는 idle listening을 줄이고 RTS와 CTS를 사용함으로써 collison 문제를 해결하여 에너지 효율을 높이고자 하였다. 그러나 수면 구간 진입 후에는 다음 활성 구간까지 데이터 전송을 할 수 없으므로 데이터 처리량이 낮아지고 전송 지연 문제가 발생하게 된다.

T-MAC은 그림 2에서처럼 S-MAC과 비슷한 구조를 가지고 있다. 그러나 T-MAC에서는 활성 구간에서 고정된 timeout을 사용하여 데이터의 송수신이 많은 상황에서 timeout내에서 일어나는 데이터의 송수신을 허용함으로써 동적인 활성 구간을 할당해 데이터의 처리량을 높이고 전송 지연은 줄일 수 있도록 하였다. 그리고 time-out내에서 데이터의 송수신이 없을 때에는 곧바로 수면 구간으로 진입하여 idle listening에 의해 발생하는 불필요한 에너지 소모도 줄이고자 하였다. 그리고 S-MAC과 마찬가지로 RTS와 CTS를 사용함으로써 collison 문제도 해결하였다. 하지만 고정된 timeout을 사용하기 때문에 데이터의 송수신량이 많지 않을 때에는 timeout 시간 동안의 idle listening 때문에 불필요한 에너지 소비를 발생시키게 된다.

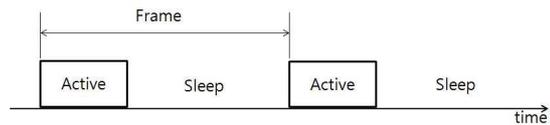


그림 1. S-MAC의 고정된 프레임

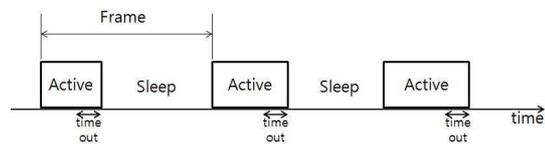


그림 2. T-MAC의 timeout에 따른 동적인 활성 구간 및 수면 구간

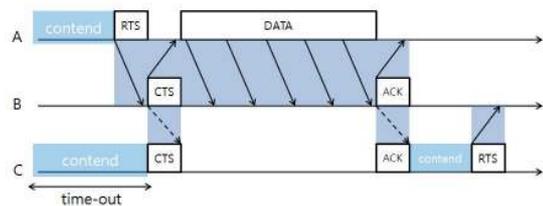


그림 3. T-MAC의 기본적인 데이터 송수신

III. 적응형 timeout 기반 MAC 프로토콜

1. 기존 T-MAC의 데이터 송수신

기존의 T-MAC에서 모든 노드들은 활성 구간의 시작에서부터 큐에 저장되어 있던 데이터를 전송하기 위해 치열한 경쟁을 벌인다. 그리고 모든 데이터의 송수신이 끝난 후에도 timeout 시간을 두어 그 시간에 이루어지는 데이터의 송수신을 허용하게 된다. 그림 3에서는 기본적인 T-MAC의 데이터 송수신을 보이고 있다. 경쟁 구간에서 A노드가 매체를 선점하여 B노드와 통신을 하고 있으며 C노드는 B노드에서의 CTS신호를 감지하고 A와 B노드의 통신을 방해하지 않으며 또 수면 구간으로 진입하지 않고 A와 B노드간의 통신이 끝날 때 까지 깨어 있게 된다. 이 때 A와 C노드간의 경쟁에서 진 C노드에게는 두 번의 RTS 재전송의 기회가 주어진다. 노드들에게 주어지는 timeout은 최소한 고정된 작은 경쟁 구간 C의 길이와 RTS의 길이 R 그리고 CTS의 시작까지의 길이 T의 합보다 커야한다.[3]

$$\text{timeout} > C + R + T$$

2. 적응형 timeout 기반 MAC 프로토콜

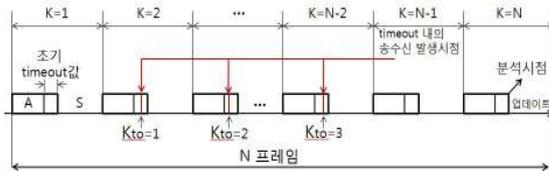


그림 4. N프레임 동안의 정보수집 및 분석

적응형 timeout 기반의 MAC 프로토콜은 timeout에서 소모되는 불필요한 에너지를 줄이고 자 N개의 프레임 시간동안 timeout내에서 발생하는 데이터의 송수신을 카운트하여 확률적으로 timeout을 할당한다. 그림 4에서 N은 time-out 분석을 위한 프레임 수로서, N개의 프레임 시간마다 time-out이 업데이트된다. K는 정보수집 시간 동안 매 프레임마다 증가하는 프레임 카운터로서, K가 N에 도달하면 누적된 timeout 관련 데이터가 분석되고, K는 0으로 초기화된다. Kto는 timeout내에서 발생한 데이터의 송수신 카운터로 분석된 timeout값이 업데이트 되는 시점에서 0으로 초기화 된다. N프레임 동안의 정보 수집 및 분석, 업데이트의 흐름도는 그림 5와 같다.

처음의 timeout의 값은 [3]에서 할당한 15ms로 할당한다. 이 값은 C+R+T의 1.5배의 해당하는 값으로 timeout의 최소값 즉 C+R+T는 10ms가 된다. K와 Kto의 값은 0으로 초기화 되며 timeout내에서 데이터의 송수신 발생은 Kto에 의

해 카운트되고 Kto의 카운트 여부와는 상관없이 한 개의 프레임 종료 시 K가 카운트된다. K가 N번째 프레임까지 카운트 되면 그림 4에서와 같이 N번째 프레임의 timeout의 끝에서 분석이 시작되며 수면 구간에서 다음 N개의 프레임 시간동안의 timeout이 업데이트 된다.

N개의 프레임 시간동안 timeout내에서 발생한 데이터의 송수신 확률에 따른 timeout은 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\text{timeout} = Kto/N \times Tp + Tmin$$

Tp는 현재의 timeout값이고 Tmin은 10ms의 값을 가지는 timeout의 최소값이다. 위 식을 바탕으로 초기 timeout이 15ms일 때 10개의 프레임 시간동안 timeout내에서 발생한 데이터의 송수신의 확률에 따른 다음 10개의 시간 프레임에 사용될 timeout은 표 1과 같다.

표 1에서 timeout내에서의 전송 확률이 적은 노드들은 timeout값을 줄임으로서 불필요한 에너지 소모를 줄일 수 있고 전송 확률이 높은 노드들은 timeout의 값을 증가시켜 데이터의 송수신이 많은 구간에서의 전송을 보장하여 신뢰성을 높일 수 있다.

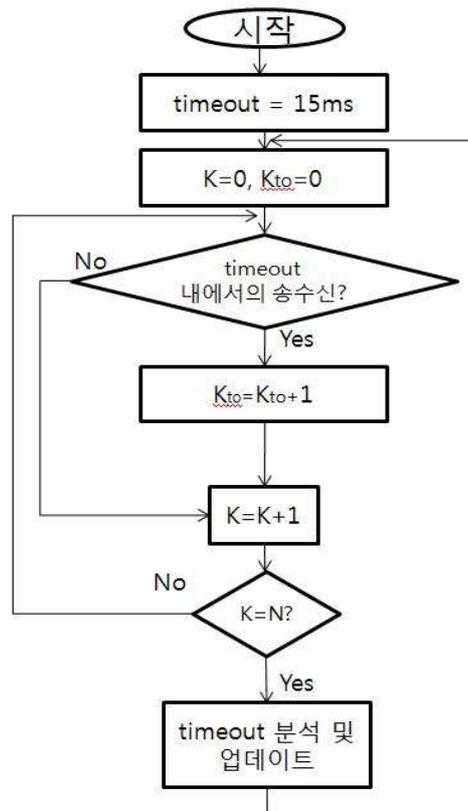


그림 5. 정보 수집 및 분석, 업데이트 흐름도

표 1. 확률에 따른 timeout값

Kto	확률	timeout
1	10%	11.5ms
2	20%	13.0ms
3	30%	14.5ms
4	40%	16.0ms
5	50%	17.5ms
6	60%	19.0ms
7	70%	20.5ms
8	80%	22.0ms
9	90%	23.5ms
10	100%	25.0ms

IV. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 MAC 프로토콜인 적응형 timeout 기반의 MAC 프로토콜을 제안하였다. 기존 T-MAC에서의 고정되어 있던 timeout을 timeout 내에서의 데이터의 송수신 확률에 따라 데이터의 송수신이 많지 않은 경우 timeout을 줄여 불필요한 에너지 소모를 줄이고자 하였고 데이터의 송수신이 많은 곳에서는 timeout을 증가시켜 데이터의 송수신의 신뢰성을 높이고자 하였다.

향후 과제로는 먼저 적응형 timeout 기반 MAC 프로토콜의 시뮬레이션이 필요할 것이고 실제 무선 센서 네트워크에 적용하여 실제 모델에서의 동작을 확인하는 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

- [1] K. Kredo II and P. Mohapatra, "Medium Access Control in Wireless Sensor Networks", Computer Networks, Vol. 51, Issue 4, March 2007, pp. 961-994.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D.Estrin, "Medium Access Control with Coordinated, Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 12, no. 3, June 2004, pp. 493-506.
- [3] T. van Dam and K. Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", ACM Sensys 2003, Nov 2003, pp. 171-180.