

IEEE 802.15.4에서 우선순위 IFS를 이용한 확률기반 매체 접근 방법

The Probability Based Ordered Media Access

전영호, 김정아, 박홍성

Young-Ho Jean, Jeong-Ah Kim, Hong-Seong Park

Abstract - The IEEE 802.15.4 uses a CSMA/CA algorithm on access of media. The CSMA/CA algorithm does Random Backoff before the data is transmitted to avoid collisions. The random backoff is a kind of unavoidable delays and introduces the side effect of energy consumptions. To cope with those problems we propose a new media access algorithm, the Priority Based Ordered Media Access (PBOMA) algorithm, which uses different IFSs.

The PBOMA algorithm uses Sampling Rate and Beacon Interval to get a different access probability(or IFS). The access probability is higher, the IFS is shorter. Note that The transfer of urgent data uses tone signal to transmit it immediately. The proposed algorithm is expected to reduce the energy consumptions and the delay.

Key Words : IEEE 802.15.4, CSMA/CA, Priority, Probability, Sampling Time, Random Backoff, IFS, Tone Signal

1. 서 론

전력 소모를 줄이기 위해 프로토콜들은 여러 가지가 개발되었다. S-MAC[1]은 가장 대표적인 프로토콜로 주기적인 sleep과 wakeup을 이용하여 데이터를 전송하지 않을 경우 sleep 하여 에너지 소모를 줄이는 방법이다. 이 방법은 에너지 소모를 줄일 수 있지만 주기적인 sleep으로 인한 delay가 증가한다. T-MAC[2]은 active time에서 일정한 시간이 지나면 sleep mode로 변환하는 것으로 S-MAC에서의 idle listening을 좀더 줄일 수 있는 방법으로 에너지 절약에는 효율적이나 delay는 증가시킨다. 이렇게 S-MAC, T-MAC 등은 모두 delay에 따른 throughput 저하를 가져온다.

IEEE 802.15.4는 Low-Rate Personal Area Network를 위해 만들어진 프로토콜로 저속, 저 전력이 특징이다[3]. IEEE 802.15.4는 beacon에 의해 active 구간과 sleep 구간으로 나누어지고 active 구간에만 데이터를 전송하여 에너지 소모를 줄인다. 또한 데이터 전송 시 충돌을 방지하기 위해 CSMA/CA 알고리즘을 사용한다. CSMA/CA를 사용할 때 에너지 소모와 delay 관점에서 보면 collision이 가장 큰 문제가 된다. CSMA/CA는 데이터가 발생했을 때 무조건 random backoff한 후 데이터를 전송할 수 있다. random backoff는 일정한 범위내에서 random 하게 발생하기 때문에 충돌이 발생할 확률이 높다. 또한 random backoff 하는 시간만큼 delay가 발생하게 된다. 에너지 소모를 줄이기 위해 CCA의 횟수를 줄

이는 방법도 발표 되었지만 현 하드웨어 기술에서는 불가능하다[5]. 본 논문은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 전송하려는 데이터에 sampling time[4]과 beacon interval을 사용하여 우선순위를 주어 우선순위에 따라 매체에 접근하여 충돌 확률을 감소시켜 파워소모를 줄이고 또한 우선순위가 높은 데이터의 전송지연을 막을 수 있는 PBOMA(probability Based Ordered Media Access with IFS)를 제안한다.

본 논문은 아래와 같이 구성된다. 2장은 IEEE 802.15.4의 간단한 동작과 CSMA/CA 알고리즘에 대하여 설명하고, 3장은 제안하는 알고리즘인 PBOMA와 Urgency Transmission에 대하여 설명한다. 4장에서는 결론을 내린다.

2. IEEE 802.15.4의 동작

IEEE 802.15.4 LR-WPAN은 beacon mode와 non beacon mode로 구성되는데 IEEE 802.15.4의 대부분의 특징은

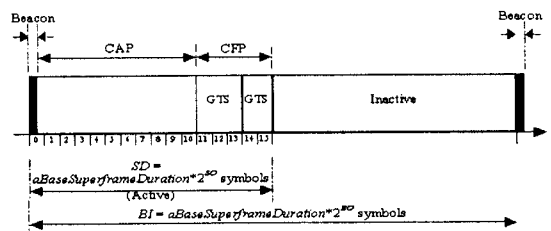


그림 1 IEEE 802.15.4 superframe 구조

저자 소개

전영호, 김정아 : 江原大學 통신멀티學科

박홍성: 江原大學 전기전자공학부

beacon mode에서 나타난다. 따라서 본 논문은 beacon mode에 초점을 맞추었다. beacon mode에서 IEEE 802.15.4 LR-WPAN은 superframe 구조를 사용한다[1]. 그림 1은

superframe 구조를 나타낸다. 데이터 전송은 active mode에서 발생하고 inactive에서는 에너지 절약을 위해서 radio를 off 한다. active 구간은 16개의 slot으로 나누어져 있고 경쟁을 통하여 매체에 접근하는 CAP구간, 노드들의 요청에 의해서 Coordinator에서 순서를 정하여 보내줌으로 경쟁 없이 매체에 접근하는 CFP구간으로 나누어진다.

CSMA/CA 알고리즘 : 알고리즘 시작 시 NB(Number of Backoff), CW(Contention Window) 값은 각각 0,2로 셋팅된다. 그리고 BE(Backoff Exponential) 값을 정하게 된다. 그런 다음 backoff period의 경계에 위치한다. random backoff time은 $0 \sim 2^{BE}-1$ 사이의 값을 생성하고, 이 값은 각 backoff period의 경계에서 감소한다. BE는 3 - 5의 값을 가질 수 있다. 이러한 backoff time이 감소하여 0이 되었을 때 채널을 확인하기 위해 CCA(Channel Clear Assignment)를 시행한다. CCA는 ACK가 도착하는 것을 보증하기 위해서 사용하는 것이다. 이렇게 2회의 CCA가 끝나고 매체가 비사용 중이라는 것을 판단해 내면 바로 매체에 접근하여 데이터를 전송하는 방식이다.

3. 제안된 알고리즘

3.1 PBOMA

일반적인 CSMA/CA 방식에서는 데이터가 생성된 후 데이터를 전송하기 전에 충돌을 방지하기 위해서 무조건적으로 random backoff 하게 된다. 하지만 random backoff는 일정한 범위 내에서 random 하게 발생하기 때문에 완전히 충돌을 없앨 수는 없다. 따라서 여전히 충돌이 발생할 가능성이 남아 있게 된다. 또한 random backoff 시에는 노드가 아무것도 하지 않기 때문에 backoff period 만큼 데이터에 대한 delay가 발생하게 된다. 그림 2는 IEEE 802.15.4에서 사용하는 일반적인 CSMA/CA 방식을 나타낸다.

본 논문은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 random backoff를 사용하지 않고 전송하려는 데이터에 우선순위를 주어 우선순위에 따라 매체에 접근하여 충돌 확률을 감소시켜 파워소모를 줄이고 또한 우선순위가 높은 데이터의 전송 지연을 막을 수 있는 PBOMA(Probability Based Ordered Media Access with IFS)를 제안한다.

PBOMA에서 추가 되는 것은 우선순위와 확률에 의한 매체 접근방법이다. 우선 우선순위는 sampling time과 beacon interval을 이용하여 할당한다. sampling time이란 노드에 데이터가 생성되는 시간을 뜻하는 것으로 sampling time의 빈도에 따라 우선순위를 정할 수 있다.[4] sampling time이 빠른 노드와 느린 노드가 있을 때 sampling time이 빠른 노드는 중요한 데이터를 보낼 가능성이 높다. 왜냐하면 중요한 데이터일 경우 혹은 변화량에 민감한 경우 손실이나 지연에 의한 오차를 줄이기 위해 전송횟수를 많게 하기 때문이다. 따라서 sampling time이 빠른 노드에 높은 우선순위를 할당하여 중요한 데이터의 전송을 보증한다.

반대로 sampling time이 느린 노드에 높은 우선순위를 할당하는 것도 한 방법이 될 수 있다. 우선순위는 식 1과 같이 정한다.

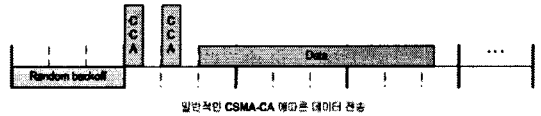


그림 2 일반적인 CSMA/CA에 따른 데이터 전송

$$P_{smi} = \begin{cases} \frac{BI}{T^s} + \alpha & : \text{sampling 주기가 빠를 때} \\ 1 - \frac{BI}{T^s} + \alpha & : \text{sampling 주기가 느릴 때} \end{cases} \quad \text{높은 우선순위} \quad \text{----- (1)} \quad \text{높은 우선순위}$$

식 1에서 BI는 beacon Interval을 T^s 는 노드 자신의 sampling time을 나타낸다. α 는 가중치를 나타내는 것으로 특별한 데이터를 우선적으로 전송하려고 할 때 사용할 수 있다. P_{smi} 는 우선순위를 나타내는 것으로 본 논문에서는 아래 표1과 같이 5가지의 우선순위를 나타낸다.(sampling 주기가 빠를 때 높은 우선순위)

우선순위	범위
Highest	1
High	2
Middle	3
Low	4
Lowest	5

표1 sampling time에 의한 우선순위 범위

우선순위가 정해 졌으면 중요한 데이터의 전송을 보증하기 위해서 그림 3과 같이 우선순위에 따라 IFS (Interframe

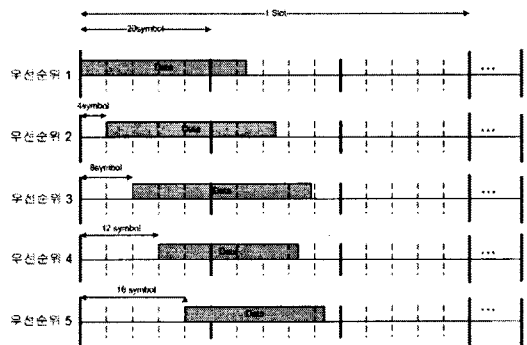


그림 3 우선순위에 따른 IFS 할당

Spacing)을 할당한다. 우선순위가 낮을수록 4 symbol의 delay가 발생하여 높은 우선순위의 데이터가 먼저 전송할 수 있게 하고, 먼저 전송되는 것이 있으면 감지하여 delay하게 된다. 동일한 우선순위의 노드가 있을 때 동시에 데이터를 전송하게 되므로 충돌이 발생하게 된다. 이것을 막기 위해서 sampling time에 대한 우선순위와 IFS를 할당하였으면 여기다가 노드에 따른 MAC Address를 사용하여 최종적으로 매체에 접근하는 확률을 구한다. 아래 식2는 최종적인 매체 접근확률을 구하는 식을 나타낸다.

$$P_{ms} = P_{sm} - [MAC_Address \times (\frac{P_{sm}}{((T^s + 1) \times NumSuperframeSlot))}] + \beta \quad (2)$$

P_{ms} 는 sampling time과 MAC Address를 이용하여 데이터를 전송하는 확률을 나타낸다. MAC Address는 노드의 address의 마지막 자리로 1-F까지 사용한다. β 는 가중치를 나타내는 것으로 확률을 높이고 싶은 데이터가 있을 때 가중치를 주어 사용할 수 있다. NumSuperframeSlot은 상수 값으로 IEEE 802.15.4의 beacon mode의 active 구간의 slot 수를 나타낸다.

지금까지 설명한 방식과 같이 우선순위에 따라 데이터 전송확률을 다르게 함으로써 충돌을 줄일 수 있다. 하지만 위와 같은 방법을 사용하였다 할지라도 충돌을 100% 없앨 수 없다. 이때는 충돌이 발생한 노드의 데이터 전송 확률을 감소시킨 후 감소된 확률을 가지고 전송해야 한다. 만약 충돌이 발생한다면 데이터 전송확률을 확률계수 만큼 감소시키고, 확률을 다시 계산한다. 다시 계산한 확률 값이 Threshold 값보다 크지 확인하고 Threshold 값보다 크다면 확률을 Threshold 값으로 고정시킨다. 무선에서는 충돌을 확인 할 수 있는 방법이 없다. 따라서 ACK를 받지 못한다면 모든 상황을 충돌로 간주한다.

3.2 Urgency Transmission

어느 노드건 긴급데이터를 전송해야 할 필요성이 생긴다. 이럴 경우 다른 노드에게 매체 접근 권한을 주지 않고 자신이 가져야지만 delay 없이 데이터를 전송할 수 있다. 그러기 위해서 toning signal을 사용한다. toning signal을 사용하는 경우는 아래와 같이 2가지 경우로 나누어진다.

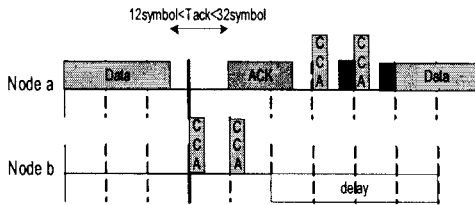


그림 4 전송중의 노드가 긴급데이터를 전송해야하는 경우

그림 4는 전송하고 있는 노드가 긴급데이터를 전송해야 할 경우를 나타낸다. 노드 a가 전송 중에 긴급데이터를 생성했을 때 전송 중인 데이터에 대한 ACK를 받고 바로 CCA를 거쳐 데이터를 전송한다. 여기서 CCA 중간에 8symbol의 toning signal을 전송한다. 다른 노드와 동시에 CCA를 할 경우에 다른 노드들은 toning signal을 들을 수 있고 toning signal을 들은 노드는 CCA를 중단하고 backoff 한다.

그림 5는 새로운 노드가 긴급 데이터를 전송하는 경우를 나타낸다. 새로운 노드가 긴급데이터를 전송하는 경우 역시 CCA 다음에 tone signal을 전송하여 2번 모두 성공하면 데이터를 전송할 수 있다. 모든 노드들은 carrier sensing을 하기 때문에 tone signal을 들고 우선순위의 데이터가 다른 노드에 있음을 감지하게 된다. toning signal을 전송하는 데이

터의 우선순위는 최고로 한다. 즉 매체 접근 확률을 1로 하여 항상 빠르게 전송 할 수 있도록 한다.

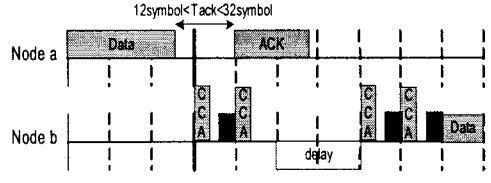


그림 5 새로운 노드가 긴급 데이터를 전송하는 경우

4. 결론

IEEE 802.15.4는 데이터를 전송하려고 할 때 충돌을 피하기 위해서 CSMA/CA를 사용한다. 본 논문은 IEEE 802.15.4에서 일반적으로 사용하는 알고리즘인 CSMA/CA의 동작의 일부분인 random backoff를 없애고 데이터에 우선순위를 부여하여 충돌을 줄이고, 중요한 데이터의 지연을 줄일 수 있는 방법인 PBOMA를 제안하였다. 우선 sampling time과 beacon interval을 이용하여 데이터의 우선순위를 주고, 이 우선순위에 맞게 IFS를 주어 매체 접근에 차등을 둔다. 상기 단계 후 MAC Address를 사용하여 최종적인 매체 접근 확률을 구한다. 이렇게 방식으로 동등한 우선순위의 노드가 동시에 데이터를 전송하려고 할 때 충돌을 방지한다.

이렇게 충돌을 줄임으로써 에너지를 절약 할 수 있고, 또한 전송지연을 줄여 전송률을 높일 수 있다. 긴급한 데이터가 있을 경우는 toning signal을 사용하여 delay이 긴급데이터를 전송할 수 있다. 제안한 알고리즘에 대한 분석과 시뮬레이션을 통한 성능평가가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] W. Ye, J. Hedemann, and D.Estrin, "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks," IEEE/ACM Transaction on Networking, June 2004.
- [2] Tijs van Dam, Koen Langendoen, "An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wireless Sensor Networks", SenSys'03, Nov, 2003.
- [3] IEEE Std 802.15.4, Part 15.4 : Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) specification for Low Rate Wireless Personal Area Network(LR-WPAN), Dec. 2003.
- [4] Jung Ah Kim, Vitaly Li, Young Ho Jean, Hong Seong Park, "주기적인 센서 네트워크에서의 IEEE 802.15.4를 위한 전력 절감 알고리즘", KACC'05, pp 90-95, Oct, 2005
- [5] Tae Hyun Kim, Sunghyun Choi "Priority-Based Delay Mitigation for Event-Monitoring IEEE 802.15.4 LR-WPANs", IEEE Communications Letters, Nov, 2005