

# 비콘 기반 저속 WPAN에서의 적응적 백오프 알고리즘

박성우\*

## An Adaptive Back-off Algorithm in Beacon-Enabled LR-WPAN

Sung-Woo Park\*

요 약

저속 WPAN은 저속, 저전력, 저비용의 단거리 무선 네트워킹 기술이다. 저속 WPAN에서는 경쟁 기반의 CSMA/CA 알고리즘을 사용하여 디바이스들의 무선 채널 접속을 제어하기 때문에 프레임 전송시 언체라도 충돌이 발생할 수 있으며 이로 인해 네트워크 성능이 심각하게 저하될 수 있다. 본 논문에서는 저속 WPAN의 CSMA/CA 과정에서 프레임 충돌율을 줄이기 위해 네트워크 상황에 따라 백오프 구간을 동적으로 변화시키는 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션 수행 결과, CSMA/CA 과정에서 제안하는 동적 백오프 알고리즘은 백오프 구간을 정적으로 유지했을 경우에 비해 프레임 전달율과 지연 시간 측면에서 안정적이면서도 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

### ABSTRACT

The Low-Rate WPAN is a short range wireless networking technology characterized by low-rate, low-power, low complexity and low-cost. The LR-WPAN controls wireless channel access among network devices based on the contention-based CSMA/CA algorithm. Therefore, frame collisions may take place at any time, leading to the severe degradation of network performance. This paper proposes a new algorithm that changes back-off periods adaptively in the CSMA/CA process depending on network conditions, resulting in the reduction of frame collisions. Throughout extensive simulations, it turns out that varying the back-off periods dynamically shows better performance than maintaining the fixed back-off periods.

### 키워드

LR-WPAN, IEEE 802.15.4, CSMA/CA, Back-off  
저속 WPAN, IEEE 802.15.4, CSMA/CA, 백오프

## 1. 서론

저속 WPAN(: Wireless Personal Area Network)은 저속(~250kbps), 저전력(~1mW), 저비용의 단거리(~10m) 무선 통신 환경을 제공함으로써 홈/산업용 기기 자동화, 환경 모니터링, 의료용, 군사용 등의 다양

한 유비쿼터스 컴퓨팅 환경에 응용될 수 있는 기술이다[1-3]. 저속 WPAN에 관한 표준화는 Zigbee Alliance와 IEEE 802.15 WG 내의 TG4에 의해 진행되었다. Zigbee Alliance에서는 네트워크 계층과 응용 계층을 포함하는 전체적인 프로토콜 구조를 확립하였으며, IEEE에서는 MAC과 PHY 계층에 대한 구체적

\* 교신저자 : 한남대학교 정보통신공학과  
• 접수일 : 2016. 07. 26  
• 수정완료일 : 2016. 08. 13  
• 게재확정일 : 2016. 08. 24

• Received : Jul. 26, 2016, Revised : Aug. 13, 2016, Accepted : Aug. 24, 2016  
• Corresponding Author : Sung-Woo Park  
Dept. of Information and Communication Eng., Hannam University,  
Email : swpark@hnu.kr

인 표준 규격 IEEE 802.15.4를 작성하였다[4].

저속 WPAN은 프로토콜의 단순성에 초점을 두고 개발되었기 때문에 MAC 계층 파라미터들을 고정 또는 축소함으로써 가장 단순한 형태의 CSMA/CA 메커니즘을 기반으로 동작하고 있다. 그러나 간편성을 너무 중요시한 나머지 성능 면에서는 비효율적인 측면을 보이기도 한다. 특히, 숨은 디바이스들이 다수 존재하는 상황에서는 프레임 충돌로 인하여 네트워크 성능이 급격히 떨어지게 된다.

성능 측면에서 볼 때 CSMA/CA의 백오프 과정이 매우 중요한 역할을 한다는 사실은 이미 잘 알려져 있다[5-6]. 이에 따라, CSMA/CA 성능을 개선하기 위한 다양한 백오프 알고리즘이 제시된 바 있다[7-9]. 본 논문은 CSMA/CA 과정에서 전송 프레임들 간의 충돌로 인해 발생하는 성능 저하 문제를 개선하기 위한 새로운 백오프 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 저속 WPAN의 PAN 코디네이터가 비콘 프레임을 통해 현재의 네트워크 상황(프레임 충돌율)을 모든 디바이스에게 주기적으로 전송한다. 각 디바이스는 PAN 코디네이터로부터 제공된 충돌 정보에 따라 백오프 구간을 적응적으로 변화시켜 프레임 충돌 확률을 줄여 나가게 된다.

본 논문의 이하 구성은 다음과 같다. 2절에서는 IEEE 802.15.4 MAC 표준 규격을 요약하여 소개한다. 3절에서는 CSMA/CA 알고리즘의 백오프 개선 방안을 제시한다. 4절에서는 제안한 백오프 알고리즘에 대한 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 분석한다. 5절에서는 본 논문의 결론을 짓는다.

## II. IEEE 802.15.4 MAC

### 2.1 토폴로지

IEEE 802.15.4 저속 WPAN은 그림 1과 같이 응용 서비스에 따라 star 형태나 peer-to-peer 형태로 토폴로지를 제공할 수 있다. IEEE 802.15.4는 단일 홉 전송을 위한 PHY/MAC 기능을 정의하며, 멀티-홉 전송을 위한 라우팅 기능은 IEEE 802.15.5에서 별도로 규정하고 있다[10]. 제안하는 적응적 백오프 알고리즘에서는 모든 디바이스가 PAN 코디네이터로부터 전송되는 비콘 프레임을 통해 충돌 정보를 공유하기 때

에 그 적용 대상으로 star 토폴로지를 우선적으로 고려하고 있다. 제안 알고리즘을 peer-to-peer 토폴로지에 적용하기 위해서는 모든 네트워크 디바이스가 비콘 프레임을 주기적으로 전송하여 충돌 정보를 서로 공유하는 분산 형태로 구현되어야 한다.

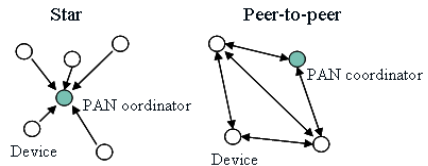


그림 1. 저속 WPAN 토폴로지  
Fig. 1 Topology of LR-WPAN

### 2.2 슈퍼프레임

IEEE 802.15.4 MAC은 PAN 코디네이터가 전송하는 비콘 프레임에 의해 네트워크 동기가 유지되는 경우와 그렇지 않은 경우로 구분할 수 있다. 비콘에 의해 네트워크 동기가 유지되는 경우 모든 프레임의 송수신은 그림 2에 나타난 슈퍼프레임의 반복적 시간 구조를 기반으로 이루어진다.

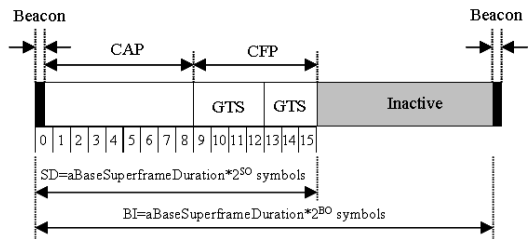


그림 2. 슈퍼프레임 구조  
Fig. 2 Superframe structure

슈퍼프레임은 PAN 코디네이터가 전송하는 비콘 프레임의 수신과 함께 시작되며, 활성(active) 구간과 비활성(inactive) 구간으로 나누어진다. 디바이스는 활성 구간에서만 데이터를 송수신할 수 있으며, 비활성 구간에서는 저전력(sleep) 모드로 들어가게 된다. 16개의 시간 슬롯으로 구성되는 활성 구간은 다시 CAP(Contention Access Period)과 CFP(Collision Free Period)로 구분된다. 실시간 서비스를 위해 CFP

구간 내에서 별도로 GTS(: Guaranteed Time Slot)를 할당할 수 있다.

그림 2에서 BO(: Beacon Order)와 SO(: Superframe Order)는 비콘 프레임의 주기(BI)와 활성 영역의 길이(SD)를 각각 결정하는 파라미터이다. MAC 계층 상수인 *aBaseSuperframeDuration*은 최소 960 심볼<sup>1)</sup>에 해당하며, BO와 SO에 따라 BI와 SD는 각각 15ms에서부터 245s에 이르는 길이를 가지게 된다. 한편, 활성 구간과 비콘 주기의 비율( $2^{SO}/2^{BO}$ )로 정의되는 듀티 사이클(duty cycle)은 전력 소비와 채널 간섭 등을 고려할 때 대부분의 응용에서 1% 미만으로 설정되어 사용된다.

### 2.3 채널 접속

채널 접속도 비콘에 의한 네트워크 동기가 이루어지는 경우와 그렇지 않은 경우로 구분된다. 그림 3은 동기가 필요 없는 unslotted CSMA/CA 과정을 보여 주고 있다. 동기가 필요한 slotted CSMA/CA의 경우 시간 슬롯 기반으로 동작해야 하며, 에너지 절약 모드와 CW(: Contention Window) 기능이 추가된다[4].

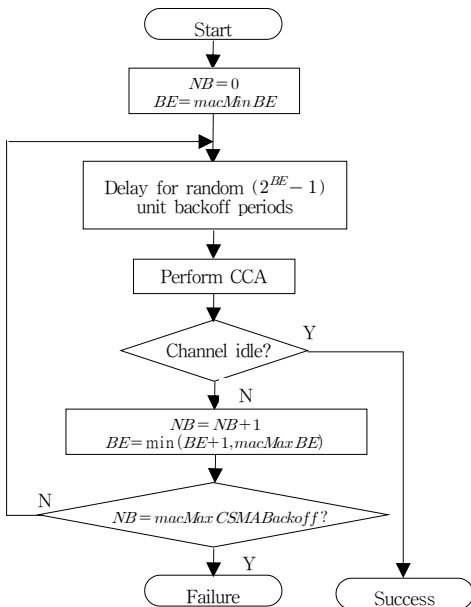


그림 3. CSMA/CA 과정  
Fig. 3 CSMA/CA Process

그림 3의 CSMA/CA에서는 각 디바이스마다 채널 접속을 위해 NB(: Number of Backoff)와 BE(: Backoff Exponent)로 정의되는 두 개의 변수를 관리한다. NB는 프레임 전송 과정에서의 백오프 횟수를 나타내는데, 새로운 프레임 전송시 0에서 시작하여 백오프할 때마다 1씩 증가한다. BE는 캐리어를 감지하기 전에 대기하는 백오프 구간을 결정한다. 백오프 구간의 기본 단위는 디바이스에서의 송수신 전환과 캐리어 감지 시간을 고려하여 20 심볼로 규정되어 있다. 초기 BE는 MAC의 속성(attribute)인 *macMinBE*로 설정되며, 기본(default) 값은 3으로 규정되어 있다.

디바이스가 프레임을 전송하고자 할 때 수신기를 우선 동작시키고 0과  $2^{BE}-1$  사이에서 결정되는 임의의 정수 개의 백오프 구간이 지난 후 채널의 상태를 감지한다. 캐리어 감지 과정에서 채널이 유휴 상태라면 디바이스는 즉시 프레임의 전송을 시작할 수 있다. 하지만 채널이 유휴 상태가 아니라고 판정될 경우 NB와 BE를 각각 1씩 증가시키면서 백오프 과정을 실행한다. BE는 *macMaxBE*로 규정된 상한 값을 가지며 규격에서는 기본 값을 5로 규정하고 있다. 만약 증가된 NB가 정해진 임계값 *macMaxCSMABackoff*를 넘게 되면 프레임 전송을 포기한다.

## III. 적응적 백오프

### 3.1 문제점 분석

경쟁 기반의 CSMA/CA를 사용할 경우, 둘 이상의 디바이스가 동시 또는 아주 미세한 시간차를 두고 프레임을 전송할 때 발생하는 프레임 충돌을 피할 수 없게 된다. 프레임 충돌 확률은 다양한 네트워크 상황에 의해 영향을 받을 수 있다.

- **짧은 단말**이 존재하면 디바이스들 간의 프레임 전송시 캐리어 감지 기능을 정상적으로 수행할 수 없기 때문에 프레임 충돌이 증가하게 된다.
- **듀티 사이클**이 작을수록 활성 구간으로 프레임 전송이 집중되는 버스트 효과로 인하여 프레임 충돌이 증가하게 된다.
- **프레임 길이**가 길어지면 그만큼 충돌 가능 구간의 증가로 인한 충돌을 역시 높아지게 된다.

1) 2.4GHz 대역에서 1심볼은 16μs에 해당함.

- 이 외에도 트래픽 분포/부하 및 네트워크 토폴로지 등에 따라 프레임 충돌율은 증가 또는 감소될 수 있다.

IEEE 802.15.4의 CSMA/CA 과정은 운용 환경이 열악한 데 반해 디바이스의 구현 복잡도를 우선적으로 고려해 매우 단순한 형태로 구현되었다. IEEE 802.15.4에서는 백오프 과정에 있어서 지연 시간을 줄이기 위해 BE의 최소값(*macMinBE*)과 최대값(*macMaxBE*)을 비교적 작은 값으로 설정하고 있는데 이는 백오프 구간을 감소시켜 디바이스 간의 프레임 충돌을 증가시키는 요인 중의 하나가 된다. 또한, 숨은 단말 문제 해결을 위한 구체적 기능이 없을 뿐만 아니라 백오프 과정에서 프레임의 새로운 전송과 재전송을 구분하지 않고 있다.

### 3.2 제안 알고리즘

본 논문에서는 CSMA/CA 과정의 프레임 충돌율을 줄이기 위해 네트워크 상황에 따라 초기 BE 값인 MAC 속성 *macMinBE*를 동적으로 변화시키는 방안을 제안한다. 각 디바이스가 독자적으로 *macMinBE* 값의 결정을 하는 기존 방식들과는 달리, 제안하는 백오프 알고리즘에서는 각 디바이스가 PAN 코디네이터가 제공하는 충돌 정보를 기반으로 *macMinBE* 값에 대한 결정을 한다. 제안하는 동적 백오프 알고리즘을 요약하면 다음과 같다.

- PAN 코디네이터는 수신 프레임의 충돌 상황을 일정 시간 감시하여 충돌의 다소 여부를 파악한 후, 이 충돌 정보를 비콘 프레임을 통해 각 디바이스에게 전달한다.
- PAN 코디네이터가 산출한 충돌 정보를 실어 나르기 위해 비콘 프레임 내에서 현재 표준 규격에서 사용하지 않는 1 비트를 충돌 정보를 나타내기 위한 ‘충돌’ 비트로 정의한다.
- 각 디바이스는 비콘 프레임을 수신한 후 충돌 비트의 내용에 따라 초기 BE 값의 증가 또는 감소를 결정한다.

그림 4는 IEEE 802.15.4 표준 규격에서 규정한 비콘 프레임 내의 슈퍼프레임 스펙 필드를 보여주고 있다[4]. 슈퍼프레임 스펙은 MAC 페이로드로서 슈퍼프레임의 특성들을 기술하고 있다. 슈퍼프레임 스펙 내에서 현재 사용되지 않는 비트 13을 충돌 비트로 정의할 수 있다.

Bits:0-3	4-7	8-11	12	13	14	15
Beacon order	Superframe order	Final CAP slot	Battery life extension	Reserved	PAN coordinator	Association permit

그림 4. 슈퍼프레임 스펙 필드 형식

Fig. 4 Format of the superframe specification field

그림 5는 제안한 동적 백오프 알고리즘 중 PAN 코디네이터에서 실행되는 부분을 의사 코드로써 표현한 것이다. PAN 코디네이터는 일정 시간동안 프레임 수신 과정을 관찰한 후, 충돌로 손실된 프레임과 정상 수신된 프레임의 비율 CR( Collision Ratio)을 가중치 이동 평균(weighted moving average) 방식에 의해 산출한다. CR 산출 간격은 비콘 전송 주기와 일치한다. CR이 특정 임계값 TH\_COL을 초과할 경우 비콘 프레임 내의 충돌 비트를 ‘1’로 설정하고 그렇지 않을 경우에는 ‘0’으로 설정한다.

```

Step 1: measure the collision ratio
        CR = no. of collision pkts / no. of received pkts
Step 2:
        if CR exceeds TH_COL
            set the collision bit to one
        else
            set the collision bit to zero
Step 3:
        send out the BEACON frame
    
```

그림 5. PAN 코디네이터용 의사코드

Fig. 5 Pseudo-code for PAN coordinator

그림 6은 제안한 동적 백오프 알고리즘 중 디바이스에서 실행되는 부분을 의사 코드로써 표현한 것이다. 각 디바이스는 PAN 코디네이터로부터 수신된 비콘 프레임내의 충돌 비트에 1이 연속적으로 TH\_INC 회 이상 나타나면 *macMinBE*를 1 증가시킨다. 반대로 충돌 비트에 0이 연속적으로 TH\_DEC회 이상 나타나면 *macMinBE*를 1 감소시킨다. 두 조건을 모두 만족시키지 못하면 *macMinBE*를 변경하지 않는다.

알고리즘에서 사용하는 임계값 TH\_COL, TH\_INC, TH\_DEC는 성능을 결정하는 중요한 파라미터들로서 네트워크 규모나 트래픽 부하에 따라 신중히 결정되어야 한다. 또한, 임계값 TH\_INC를 TH\_DEC보다 어느 정도 크게 하여 히스테리시스 특성을 갖게 함으로

써  $macMinBE$ 의 증가-감소간 진동으로 인해 발생하는 불안정 문제를 완화할 수 있다.

```

Step 1: check the collision bit in a BEACON frame
Step 2:
  if "1" appears consecutively more than TH_INC times
    increment macMinBE by one
  else if "0" appears consecutively more than TH_DEC times
    decrement macMinBE by one
  else
    do nothing
    
```

그림 6. 디바이스용 의사코드  
Fig. 6 Pseudo-code for device

- Case 2: 숨은 디바이스의 개수를 최대로 설정.
- 듀티 사이클
  - 1/128 (< 1%)
  - SO: 0~7, BO: 7~14 (=SO+7)
- 트래픽 특성
  - 타입: CBR
  - 패킷 길이: 50 바이트
  - 데이터 발생률
    - Case 1: 디바이스 당 50 bps
    - Case 2: 디바이스 당 30 bps
  - 소스: TR1~TR15, 싱크: PAN 코디네이터
- 백오프 파라미터
  - 고정된  $macMinBE$  사용 (IEEE 802.15.4)
    - $macMinBE$ : 3, 5, 7, 9
    - $macMaxBE$ :  $macMinBE+2$
  - 적응적  $macMinBE$  사용 (제안 알고리즘)
    - TH\_COL = 0.05
    - TH\_INC = TH\_DEC = 2
    - $macMinBE$ : 3~9
    - $macMaxBE$ : 11

#### IV. 성능 분석

##### 4.1 시뮬레이션 환경

동적 백오프 알고리즘에 대해 NS-2<sup>2)</sup>를 이용하여 성능 평가를 수행하였다. 성능 분석을 위한 네트워크 토폴로지는 그림 7과 같이 PAN 코디네이터를 중심으로 일정한 거리를 유지하는 15개의 디바이스를 원 형태로 배치하였다.

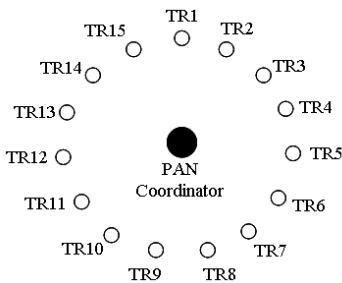


그림 7. 네트워크 토폴로지  
Fig. 7 Network topology

시뮬레이션 환경을 요약하면 다음과 같다.

- 전송 속도: 250 kbps
- 전송 범위 (전송 전력 레벨)
  - Case 1: 숨은 디바이스가 존재하지 않음.

##### 4.2 시뮬레이션 결과

고정된  $macMinBE$ 를 사용하는 백오프 알고리즘 (IEEE 802.15.4)과 제안한 적응적 백오프 알고리즘을 시뮬레이션을 통해 비교하였다. 시뮬레이션은 각 경우에 있어서 10,000초 동안 수행되었다.

그림 8과 9는 숨은 디바이스가 존재하지 않는 경우 (case 1)에 있어서 SO 값을 0에서 7까지 증가시켰을 때 프레임 전달률과 평균 지연 시간의 변화를 각각 보여주고 있다. Case 1에서는 전송 전력을 충분히 크게 함으로써 모든 디바이스들 간에 캐리어 감지가 가능하여 숨은 디바이스로 인한 프레임 충돌의 가능성을 완전히 배제하였다. 듀티 사이클을 128로 고정하였기 때문에 BO는  $BO=SO+7$ 의 관계를 유지하면서 7에서 14까지의 변화를 각각 보인다. 그림 8과 9에서 적응적  $macMinBE$ 를 사용할 때 (adaptive BE로 표시) 가장 좋은 성능을 보이고 있음을 알 수 있다. 고정된  $macMinBE$ 를 사용하는 경우 ( $macMinBE=n$ 으로 표시,  $n=3,5,7,9$ ),  $macMinBE$ 이 5나 7일 때 비교적 만족할 만한 성능을 보이고 있다.  $macMinBE$ 이 3인 경우 SO가 커질수록 성능이 급격히 저하되고 있으며,

2) <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

*macMinBE*이 9인 경우에는 모든 SO 값에 대해 전반적으로 낮은 성능을 나타내고 있다.

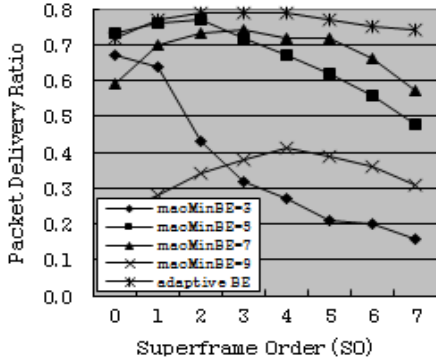


그림 8. 프레임 전달률 대 SO (case 1)

Fig. 8 Frame delivery ratio vs. SO (case 1)

전달율이 상당히 저하됨을 알 수 있다. 반면에 적응적 *macMinBE*를 사용하는 경우 모든 SO 범위에 있어서 전반적으로 만족할 만한 성능을 보이고 있다.

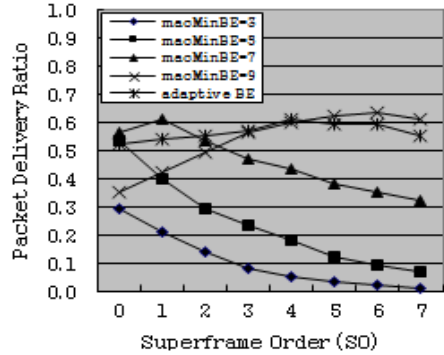


그림 10. 프레임 전달률 대 SO (case 2)

Fig. 10 Frame delivery ratio vs. SO (case 2)

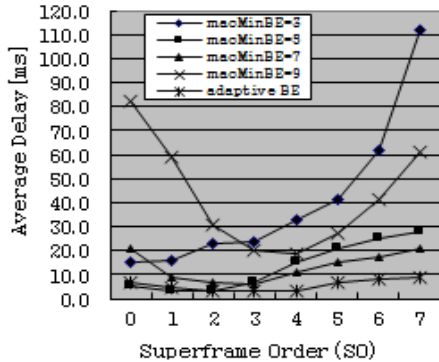


그림 9. 평균 지연 시간 대 SO (case 1)

Fig. 9 Average delay vs. SO (case 1)

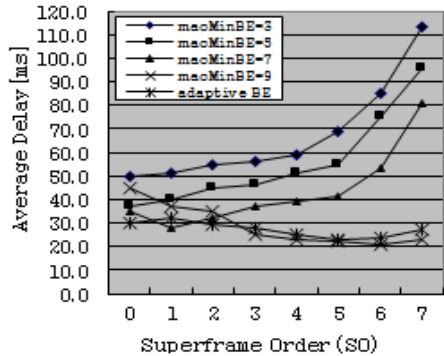


그림 11. 평균 지연 시간 대 SO (case 2)

Fig. 11 Average Delay vs. SO (case 2)

그림 10과 11은 숨은 디바이스의 개수가 최대인 경우(case 2)의 시뮬레이션 결과이다. Case 2에서는 모든 디바이스의 전송 범위를 PAN 코디네이터까지로 제한하였다. 즉, 전송 전력을 최소화 하여 네트워크상에서 숨은 디바이스의 개수가 최대가 되도록 설정하였다. 이 경우에는 숨은 디바이스들로 인해 성능이 전반적으로 저하되므로 디바이스 당 프레임 발생률을 case 1의 50 bps보다 작은 30 bps로 설정하였다. Case 2에서 고정된 *macMinBE*를 사용하는 경우, *macMinBE*를 7이나 9로 시작하는 경우가 만족할만한 성능을 보이고 있으며 *macMinBE*가 3이나 5일 때에는 프레임

결과적으로 IEEE 802.15.4 표준 규격에서와 같이 고정된 *macMinBE*를 사용하는 경우 네트워크 성능을 최적화하는 *macMinBE* 값이 숨은 디바이스의 수, SO와 BO의 값, 트래픽 부하 등의 네트워크 환경에 따라 달라지기 때문에 네트워크 성능이 제한적일 수밖에 없다. 하지만, 적응적 *macMinBE*를 사용하는 경우, case 1과 case 2 모두에 있어서 고정적 *macMinBE*를 사용하는 경우에 비해 프레임 전달률과 지연 시간 측면에서 일관성 있게 우수한 성능을 보이고 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

IEEE 802.15.4에서 규정하고 있는 CSMA/CA 알고리즘은 백오프시 고정된 *macMinBE* 값을 사용함으로써 숨은 디바이스 등으로 인한 프레임 충돌 현상에 대해서 취약한 면을 지니고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위해 CSMA/CA 파라미터 *macMinBE* 값을 네트워크 상황에 따라 동적으로 변화시키는 적응적 백오프 알고리즘을 제안하였다.

시뮬레이션을 통해 CSMA/CA에서의 동적 백오프 알고리즘이 고정 백오프 알고리즘에 비해 전반적으로 높은 프레임 전달율과 낮은 평균 지연 시간을 제공하는 것을 확인하였다. 결론적으로 본 논문에서 제안한 알고리즘을 구현하기 위해서는 비콘 프레임 상의 1 비트 추가 지정과 이에 대한 처리 과정으로 인해 디바이스의 복잡도가 다소 증가하게 되나 이로 인해 얻게 되는 성능 개선 효과가 매우 우수함을 입증할 수 있었다.

### 감사의 글

이 논문은 2016년도 한남대학교 학술연구조성비 지원에 의하여 연구되었음.

## References

[1] F. Chen, N. Wang, R. German, and F. Dressler, "Simulation study of IEEE 802.15.4 LR-WPAN for industrial applications," *Wireless Communications and Mobile Computing*, vol. 10, issue 5, 2010, pp. 609-621.

[2] G. Kim, "Implementation of real-time sensor monitoring system on Zigbee module," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 6, no. 2, 2011, pp. 312-318.

[3] J. Lee and J. Hong, "Performance improvement of IEEE 802.15.4 MAC for medical WBAN environments," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 10, no. 1, 2015, pp. 103-110.

[4] IEEE Std. 802.15.4 Part 15.4: *Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, IEEE, New York,

USA, Sept. 2011.

[5] C. Singh, A. Kumar, and P. Ameer, "Performance evaluation of an IEEE 802.15.4 sensor network with a star topology," *J. of Wireless Networks*, vol. 14, issue 4, Aug. 2008, pp. 543-568.

[6] D. Rohm, M. Goyal, H. Hosseini, A. Divjak, and Y. Bashir, "A simulation based analysis of the impact of IEEE 802.15.4 MAC parameters on the performance under different traffic loads," *J. of Mobile Information Systems-Advances in Wireless Networks*, vol. 5, issue 1, 2009, pp. 81-99.

[7] J. Lee and I. Kim, "A study on the CSMA/CA performance improvement based on IEEE 802.15.6," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 10, no. 11, 2015, pp. 1225-1230.

[8] Z. Dahham, A. Sali, and B. ALi, "An efficient backoff algorithm for IEEE 802.15.4 wireless sensor networks," *Wireless Personal Communications*, vol. 75, issue 4, 2014, pp. 2073-2088.

[9] A. Vutukuri, S. Bhattacharya, T. Raj, and V. Geetha, "Enhanced back-off technique for IEEE 802.15.4 WSN standard," In *Proc. 7th Int. Conf. Networks & Communications*, Sydney, Australia, Dec. 2015, pp. 21-29.

[10] IEEE Std. 802.15.5 Part 15.5: *Mesh Topology Capability in Wireless Personal Area Networks (WPANs)*, IEEE, New York, USA, May 2009.

### 저자 소개



#### 박성우(Sung-Woo Park)

1985년 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1989년 Texas A&M 대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)

1992년 UC, Irvine 대학교 대학원 전기및컴퓨터공학과 졸업(공학박사)

1992년 ~ 현재 한남대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 컴퓨터네트워크

