

IEEE 802.15.4의 Slotted CSMA/CA 성능향상에 관한 연구

준회원 박 두 진*, 정 원 수*, 종신회원 윤 찬 영**, 정회원 오 영 환*

A study on the slotted CSMA/CA for performance enhancement of IEEE 802.15.4

Doo-Jin Park*, Won-Soo Jung* Associate Members

Chan-Young Yun** Lifelong Member, Young-Hwan Oh* Regular Member

요 약

IEEE 802.15.4는 채널 접근을 위해 MAC 계층에서 Slotted CSMA/CA(Carrier Sense Multiple access with Collision Avoidance) 를 사용한다. Slotted CSMA/CA는 PAN에 가입되는 디바이스의 수가 많을수록 설정되는 백오프 시간의 범위가 큰 것이 유리하고, PAN에 가입되는 디바이스의 수가 적을수록 설정되는 백오프 시간의 범위가 작은 것이 유리하다. IEEE 802.15.4는 PAN에 가입되는 디바이스의 수가 작은 경우 에너지 소모를 줄이기 위해 BLE(battery life extension) 필드를 설정하여 백오프 시간의 범위를 작게 설정하지만 디바이스의 수가 많은 경우에는 특별한 설정을 하지 않는다. 본 논문에서는 WSN(wireless sensor network) 디바이스의 수가 많은 경우에 PAN에 가입된 디바이스의 수가 많은 환경에서 백오프 시간의 범위가 커지도록 IPM(improve performance mechanism) 필드를 설정하여 IEEE 802.15.4에서의 채널 접근에 대한 성능을 향상시켰다. IPM 필드를 1로 하여 BE값을 macMaxBE로 설정하여 데이터를 전송하려는 디바이스간의 충돌을 줄임으로써 포화수율이 향상되는 것을 시뮬레이션 결과를 통하여 확인하였다.

Key Words : IEEE 802.15.4, Slotted CSMA/CA

ABSTRACT

IEEE 802.15.4 uses Slotted CSMA/CA for a channel access by MAC layer. Slotted CSMA/CA decides a range of Backoff Time to use BE(Backoff Exponent). A performance is good a small Backoff Time by less device more than many device. In case of few device, IEEE 802.15.4 sets BLE field for reduce a energy consumption. But in case of many device isn't special set. There are many devices that want to join into PAN in U-Healthcare environment. In this paper we proposed channel access using IPM field in IEEE 802.15.4 for improved performance. IPM Field to 1 by setting the BE value macMaxBE Device to transmit data by reducing the conflict between the yield increases to be saturated throughout the simulation results were confirmed.

I. 서 론

IEEE 802.15.4는 저속, 저가, 저전력을 특징으로 설계된 표준으로 PHY계층과 MAC계층에서의 표준

을 제공하고 있다^[1]. 이러한 IEEE 802.15.4의 응용 분야는 산업제어, 재난 관리, 게임 분야 활용, 가전 제품의 원격제어, 타이어 압력 센서와 같은 자동차 분야, 바이오센서를 이용한 u-Healthcare 분야 등에

* 광운대학교 전자통신학과 통신망 연구실 (pdj1224@kw.ac.kr), ** 계원디자인예술대학 임베디드소프트웨어과(cksdud@kaywon.ac.kr)
논문번호 : 09041-0724, 접수일자 : 2009년 7월 24일

활용된다²⁾. 특히 의료환경의 u-Healthcare에서 사용되는 센서 네트워크의 경우 외부 10개, 내부 5개의 디바이스를 요구하기 때문에 디바이스의 증가에 따른 IEEE 802.15.4 WPAN의 연구가 필요하다³⁾.

네트워크의 구성은 PAN을 관리하는 PAN 코디네이터와 PAN에 가입되어 데이터를 수집하고 수집된 데이터를 PAN 코디네이터에게 전송하는 디바이스가 있고, 디바이스의 종류는 FFD(full function device)와 RFD(reduced function device)의 두 가지 형태가 있다.

채널 접근 방법으로는 비컨 메시지의 유무에 따라 나뉜다. 비컨을 사용하는 채널 접근 방법은 Beacon Enable Mode로 slotted CSMA/CA이고, 비컨을 사용하지 않는 채널 접근 방법은 None-Beacon Enabled Mode로 unslotted CSMA/CA이다⁴⁾.

본 논문에서는 비컨에 IPM(improve performance mechanism) 필드를 설정하여 MAC에 접근하기 위한 변수 중의 하나인 BE값을 조절하는 매커니즘을 제안한다. 그러므로 비컨을 사용하지 않는 unslotted CSMA/CA를 배제하고, 비컨을 사용하는 slotted CSMA/CA만을 고려하였다⁵⁾.

slotted CSMA/CA는 BE값에 의해 설정되는 백오프 시간의 값으로 채널에 접근에 우선순위를 부여한다⁶⁾. 하지만 2개 이상의 디바이스가 동시에 백오프 시간이 0이 되어 채널 접근을 시도하게 되면 충돌이 발생하게 된다. 충돌이 발생하면 slotted CSMA/CA는 더 넓은 범위에서 백오프 시간이 설정되도록 한다. 하지만 백오프 시간이 넓은 범위에서 설정되면 전송지연이 길어지게 된다. 그러므로 PAN에 가입된 디바이스가 적을 때는 백오프 시간이 작은 범위에서 설정될수록 유리하고, PAN에 가입된 디바이스가 많을 때는 백오프 시간이 큰 범위에서 설정될수록 유리하다⁷⁾.

IEEE 802.15.4의 slotted CSMA/CA에서는 PAN에 가입된 디바이스의 수가 적은 경우 비컨 메시지에 BE값을 낮게 설정하여 백오프 시간이 작은 범위에서 설정되게 하는 BLE 필드가 있다. 하지만 PAN에 가입된 디바이스의 수가 많은 경우 BE값을 높게 설정하여 백오프 시간이 넓은 범위에서 설정되게 하는 부분은 없다. 또한 IEEE 802.15.4 표준의 Slotted CSMA/CA 방식에서의 성능향상에 관한 연구들이 있었다. 패킷의 우선순위에 따라서 채널 접근기법을 사용하는 방법과⁸⁾, 이전의 전송 성공한 단말의 BE를 PAN 코디네이터에게로 전송하여 네트워크에 있는 전체 단말들이 그 BE값을 사용하여

충돌을 최소화하는 방법 등이 있다. 하지만 이 방법에서 BE의 값을 PAN조정자에게 전송한 다음에야 네트워크전체의 단말들이 알맞은 BE를 받게 되므로 비 효율적인 면이 생기기 된다^{9),10)}.

그러므로 본 논문에서는 많은 수의 디바이스가 PAN에 가입되었을 때 비컨에 높은 BE값을 유지하는 IPM 필드를 설정하였다. 비컨에 IPM 필드를 설정함으로써 PAN 코디네이터가 BE값을 별도로 각 디바이스에게 전송하는 오버헤드를 줄이고, PAN에 가입된 디바이스의 수가 많은 경우에 IPM 필드의 설정으로 BE값을 높게 유지함으로써 PAN에 가입된 디바이스의 수가 많은 경우에 slotted CSMA/CA가 향상된 성능을 낼 수 있도록 하였다.

서론에 이어 2장에서는 IEEE 802.15.4 MAC에 대해서 알아보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 매커니즘에 대해 알아보도록 하겠다. 다음으로 4장에서는 제안한 프로토콜에 대한 성능의 향상을 시뮬레이션함으로써 증명하였으며 마지막으로 5장에서는 결론을 맺었다.

II. IEEE 802.15.4 MAC

IEEE 802.15.4는 비컨 사용 유무에 따라 Beacon Enabled Mode와 None-Beacon Enabled Mode로 동작한다. Beacon Enabled Mode는 비컨을 통해 PAN 코디네이터와 디바이스 사이에 동기를 맞출 수 있다. Beacon Enabled Mode에서 PAN 코디네이터와 PAN에 가입된 디바이스 사이에 주고 받는 프레임의 구조를 슈퍼 프레임(superframe)이라고 한다.

2.1 슈퍼 프레임

IEEE 802.15.4 표준에서 슈퍼 프레임은 WPAN의 환경에 따라 선택적으로 사용 될 수 있다. 이러한 슈퍼 프레임의 선택적인 사용은 PAN 코디네이터의 비컨에 의해 결정이 된다. 슈퍼 프레임은 크게 비컨, 활동 구간(=SD, superframe duration), 비활 동구간으로 나뉜다.

활동 구간에서는 동일 크기의 16개의 슬롯으로 구성되고, slotted CSMA/CA로 동작하는 CAP (contention access period)와 GTS로 동작하는 CFP (contention free period)로 나뉜다. CAP구간에서 통신을 원하는 디바이스는 Slotted CSMA/CA를 사용하여 다른 디바이스와 경쟁하여 채널에 접근하고, CFP구간은 GTS를 원하는 디바이스의 요청에 의해 PAN 코디네이터가 디바이스에게 GTS의 할당 여부

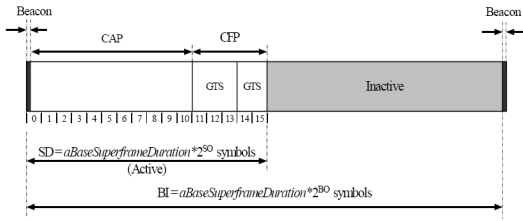


그림 1. 슈퍼프레임 구조의 예

에 따라서 채널에 접근한다. CFP는 슬롯을 7개까지 할당할 수 있다.

그림 1은 슈퍼 프레임 구조에 대한 예를 보여준다.

2.2 비컨 프레임 포맷

기본적인 비컨 프레임 포맷(beacon frame format)은 그림 2와 같고, 본 논문에서 설정할 비컨 프레임 포맷에 포함되어 있는 MAC Payload의 Superframe Specification 부분의 그림 3과 같다.

Octets:	2	1	4-10	0/5/6/10/14	2	variable	variable	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Addressing fields	Auxiliary Security Header	Superframe Specification	GTS fields	Pending address fields	Beacon Payload	FCS	
MHR	MAC Payload				MFR				

그림 2. 비컨 프레임 포맷

Bits:	0-3	4-7	8-11	12	13	14	15
Beacon Order	Superframe Order	Final CAP Slot	Battery Life Extension (BLE)	Reserved	PAN Coordinator	Association Permit	

그림 3. 슈퍼프레임 특징 필드의 포맷

2.3 프리미티브

프리미티브는 각 계층의 서비스에 대한 정보의 흐름을 모델화 한 것을 의미한다. 각 프리미티브는 특정 서비스 요구에 대한 정보를 전달하는 추상화된 개념이다. 각 각의 서비스 프리미티브는 그 특성을 나타내는 파라미터가 있으며 특정 서비스와 관련된 하나 이상의 연관된 프리미티브를 갖는다. 본 절에서는 본 논문과 관련된 디바이스가 PAN에 가입하는 것과 관련된 가입 프리미티브와 디바이스가 비컨 메시지를 받았을 때에 대한 비컨 통보 프리미티브를 보겠다.

2.3.1 가입 프리미티브

디바이스가 PAN에 가입하기 위해서는 현재 수신되는 PAN의 상태를 확인하는 채널 스캔과정과 채널 스캔 후에 채널에 가입하는 두 가지 과정을 거쳐 디바이스는 PAN에 가입하게 된다.

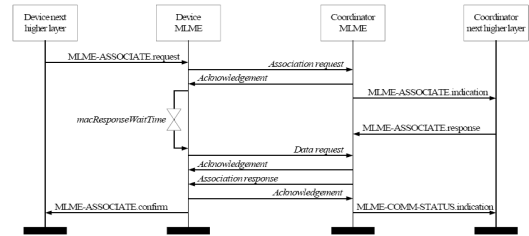


그림 4. 가입 할당을 위한 메시지 순서 차트

채널 스캔은 PAN에 가입하려는 디바이스는 MLME-SCAN.request와 MLME-SCAN.confirm 프리미티브를 통해 채널을 스캔한다. 스캔을 통해 스캔을 하는 디바이스의 POS(personal operating space) 내에서 비컨 프레임을 전송하는 모든 코디네이터를 찾아 적절한 코디네이터의 PAN에 가입한다.

채널 가입은 디바이스에서 채널 스캔의 결과를 확인하여 가입하려는 PAN의 코디네이터에 MLME-ASSOCIATE.request, MLME-ASSOCIATE.indication, MLME-ASSOCIATE.response, MLME-ASSOCIATE.confirm 프리미티브를 이용하여 PAN에 가입한다. 그림 4는 가입 프리미티브는 디바이스가 PAN에 어떻게 가입되는지에 대한 순서 차트이다.

2.3.2 비컨 통보 프리미티브

비컨 통보 프리미티브는 디바이스가 가입된 PAN의 코디네이터가 비컨을 보내면 MLME-BEACON-NOTIFY.indication 프리미티브로 디바이스 MLME에서 디바이스 상위 계층으로 비컨에 수신되었음을 알린다. 이것은 그림 5와 같다.

본 논문에서 비컨을 수신했을 때 비컨 프레임에 Reserved되어 있는 필드를 이용하여 코디네이터에서 경쟁이 심해짐을 판단하여 비컨 프레임을 이용하여 이 사실을 디바이스 MLME에 전달하고 디바이스 MLME는 MLME-BEACON-NOTIFY.indication를 통해 디바이스의 상위계층에 이 사실을 알리게 된다.

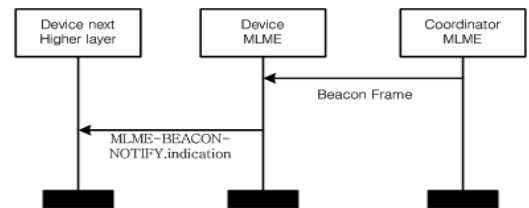


그림 5. 비컨 알림에 대한 순서

2.4 CSMA/CA 알고리즘

IEEE 802.15.4는 Beacon Enabled Mode와 Non-

Beacon Enabled Mode로 나뉜다. 본 논문에서는 비컨에 BE값을 높게 설정하는 IPM 필드를 설계하였으므로 비컨을 사용하는 Beacon Enabled Mode만 보겠다.

Beacon Enabled Mode는 Slotted CSMA/CA를 사용한다. Slotted CSMA/CA는 PAN에 가입되어 있는 모든 디바이스는 비컨에 의해서 동기화 되고 각 디바이스는 매 전송시에 NB(number of backoff), CW(contention window), BE(backoff exponent)의 3개의 변수에 의해 Slotted CSMA/CA의 방식에 따라 매체에 접근하여 데이터를 전송한다. NB는 CSMA/CA 알고리즘에서 현재 전송 동안 시도된 백오프 횟수로 매번 새로운 전송이 시작하기 전에 0으로 초기화된다. CW는 데이터 프레임과 ACK 프레임간의 충돌을 방지하기 위해 CCA(clear channel access)를 두 번 수행하게 한다. BE는 Backoff Exponent로 한 디바이스가 채널에 접근하기 위해 얼마나 많은 시간을 기다리는지를 결정하는 변수이다.

그림 6은 Slotted CSMA/CA 알고리즘의 수행 절차를 나타낸 것이다. Slotted CSMA/CA 알고리즘은 NB는 0으로, CW는 2로 초기화 하고 나서 BLE 값이 0(false)인지 1(true)인지 확인하여 BLE값이 1이면 BE값은 2와 macMinBE값과 비교하여 작은 값을 BE값으로 하고, BLE값이 0이면 BE값을 macMinBE값으로 한다.

그 다음 백오프 기간의 경계를 찾고 식(1)에 의해 결정된 백오프 기간을 기다리고 PHY계층에 CCA수행을 요청한다.

$$\text{Backoff Time} = \text{Random}(0 \sim 2^{\text{BE}} - 1) \times \text{aSlotTime} \quad (1)$$

채널이 사용중이지 않으면 CW값에서 1을 빼준다. 그리고 CW값이 0인지 확인하여 0이면 매체를 점유하게 되고, CW값이 0이 아니면 PHY계층에 CCA수행을 다시 요청한다. 채널이 사용중이면 CW값을 2로 하고, NB값에 1을 더해주고, BE값은 식(2)을 수행하여 값을 넣어준다.

$$\text{BE} = \min(\text{BE} + 1, \text{macMaxBE}) \quad (2)$$

NB값과 MAC PIB 속성의 macMaxBackoff값과 비교하여 NB값이 더 크면 Slotted CSMA/CA 알고리즘을 다시 수행하고, 그렇지 않으면 식(1)에 따른 백오프 기간을 다시 기다려 그림 6의 절차에 맞게 Slotted CSMA/CA 알고리즘을 수행한다.

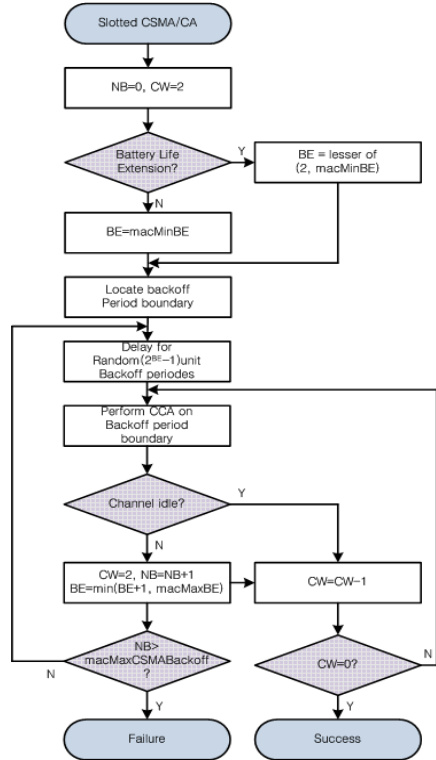


그림 6. Slotted CSMA/CA 알고리즘

표 1. Range and Default of the BE

Attribute	Range	Default
macMinBE	0~macMaxBE	3
macMaxBE	3~8	5
macMaxCSMABackoff	0~5	4

표 1은 MAC PIB 속성에서 BE값과 MaxCSMABackoff의 범위와 초기값을 나타낸다.

BE값이 작게 되면 데이터를 보내기 위해 경쟁하는 디바이스는 같은 백오프 시간을 가지고 전송하여 충돌이 발생할 확률은 증가하지만 백오프 시간으로 인한 전송 지연은 짧아지게 되고, BE값이 크게 되면 데이터를 보내기 위해 경쟁하는 디바이스가 같은 백오프 시간을 가질 확률이 적어 충돌 확률이 감소하지만 백오프 시간으로 인한 전송 지연은 길어지게 된다. 그러므로 PAN에 가입된 디바이스가 적을수록 BE값을 작게 설정하는 것이 더 효율적이고, 반대로 PAN에 가입된 디바이스가 많을수록 BE값을 크게 설정해 주어야 더 좋은 전송 성능을 발휘할 수 있다.

III. 제안한 알고리즘

3.1 비컨 프레임 포맷의 제안

비컨 프레임의 Superframe Specification에서의 12번째 필드는 BLE(battery life extension) 필드로 코디네이터의 PAN에 가입된 디바이스의 개수가 적을 때 BLE를 1로 설정한다. BLE값이 1로 설정되면 BE값을 2와 macMinBE값과 비교하여 작은 값을 BE값으로 설정함으로써 BE값을 작게 유지한다. 이 경우 각각의 디바이스가 백오프 시간을 갖게 될 확률이 적기 때문에 BE값을 작게 유지함으로써 백오프 시간에 의한 전송지연을 단축시킨다. 하지만 PAN에 가입된 디바이스가 많아 많은 디바이스가 경쟁하게 되면 충돌이 증가하게 되어 충돌로 인한 오버헤드의 증가로 성능이 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 이에 대한 보완책으로 IPM 필드를 설정하여 많은 디바이스가 PAN에 가입하여 데이터를 전송할 때 충돌로 인한 오버헤드를 줄임으로 데이터 전송을 더욱 효율적으로 하도록 하였다.

IPM 필드는 PAN에 가입된 디바이스가 많은 경우 1로 설정된다. IPM 필드가 1로 설정되면 BE값이 macMaxBE가 되어 각 디바이스는 백오프 시간을 넓은 범위의 랜덤한 값을 가지므로 기존의 알고리즘보다 충돌을 줄인다. 그러므로 IPM 필드를 설정함으로써 PAN에 가입된 디바이스의 개수가 많은 경우에 표준보다 더 좋은 성능을 발휘 할 수 있도록 하였다.

기존의 비컨 프레임 포맷에서 Superframe Specification 필드의 13번째 비트는 Reserved 되어 있다. 그림 7은 Reserved 되어 있는 13번째 필드에 IPM 필드를 추가한 제안한 비컨 프레임 포맷이다.

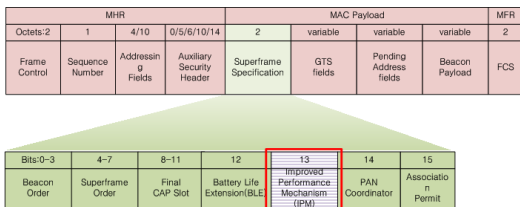


그림 7. 제안한 비컨 Frame Format

3.2 BE값과 백오프 시간의 관계 예시

BE값에 대한 백오프 시간의 값에 대한 예시는 아래 그림 8과 같다. 그림 8을 보면 BE값이 2이면 백오프 시간은 0~3 사이 값에서 aslotime을 곱해주는 것이고, BE값이 8이면 백오프 시간은 0~255사이

<p>BE = 2</p> <p>backoff time = rand(0~2²-1) * aslotime</p> <p>backoff time = (0~3 사이의 값) * aslotime</p> <p>backoff time 4가지 값을 가짐</p>
<p>BE = 8</p> <p>backoff time = rand(0~2⁸-1) * aslotime</p> <p>backoff time = (0~255 사이의 값) * aslotime</p> <p>backoff time 256가지 값을 가짐</p>

그림 8. BE값에 따른 백오프 시간 값 예시

값에서 aslotime을 곱해주게 된다. 그러므로 PAN에 가입된 디바이스가 많은 경우 BE값이 작아서 작은 범위에서 백오프 값을 설정하는 것 보다, BE값이 커서 큰 범위에서 백오프 값을 설정하는 것이 같은 백오프 시간을 가질 확률이 적게 된다.

하지만 BE값이 커지게 되면 충돌 확률은 줄어들지만 백오프 시간이 커져서 지연시간이 증가하게 되는데 이는 충돌로 인한 지연시간보다 작기 때문에 BE값을 크게 하여 충돌을 줄이는 것이 더욱 효과적이다. 그러므로 PAN에 가입된 디바이스의 개수가 많을 때 IPM 필드를 설정하여 BE값을 BE값의 최대값인 macMaxBE값으로 유지하여 충돌을 줄이는 방법을 제안 한다.

3.3 비컨 통보 프리미티브에 의한 IPM 필드값의 전달

제안한 알고리즘에서 비컨 통보 프리미티브는 앞서 제안한 비컨 프레임 포맷의 IPM 필드의 값을 PAN 코디네이터에서 PAN에 가입되어 있는 디바이스로 전달하는 방법을 정의한다.

앞서 보았던 그림 5는 디바이스에서 비컨 프레임을 수신했을 때의 프리미티브이다. 그림 7을 보면 가장 먼저 코디네이터 MLME에서 디바이스 MLME로 비컨 프레임을 전송한다. 이때 전송되는 비컨 프레임의 포맷은 IEEE 802.15.4 표준에 명시된 그림 2와 랫 2와 랫 하지만 제안한 알고리즘에서는 전달되는 비컨 프레임 포맷은 표준 비컨 프레임 포맷에서 IMP 필드를 추가한 그림 7 2와 랫 이후에 디바이스 MLME에서 MLME-BEACON-NOTIFY.indication를 통해 IPM그15.4정보까지 디바이스의 상위계층그1 전달하게 된다.

3.4 Slotted CSMA/CA 알고리즘의 제안

그림 9는 본 논문에서 제안하는 Slotted CSMA/CA 알고리즘의 수행 절차를 나타낸다. Slotted

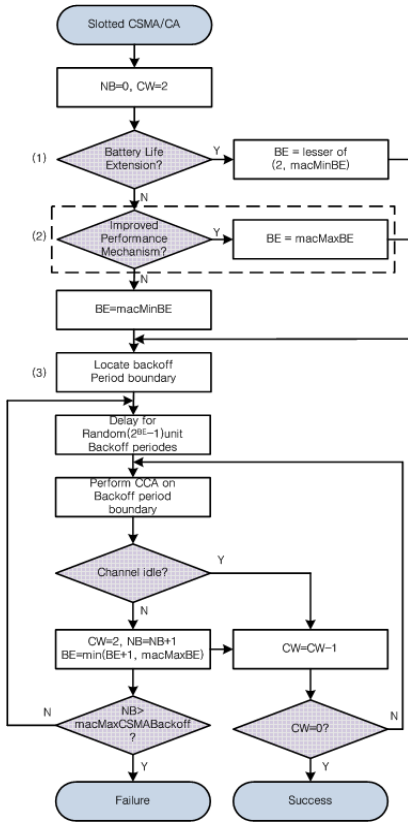


그림 9. 제안하는 Slotted CSMA/CA 알고리즘

CSMA/CA가 시작 되면 NB와 CW값을 0과 2로 초기화 하고 절차 (1)에서 BLE값이 0인지 1인지 확인한다. BLE 값을 확인 하는 방법은 앞서 설명한 대로 코디네이터에서 디바이스로 슈퍼 프레임의 비컨 프레임을 전송한다. 전송되는 비컨 프레임의 포맷의 Specification 필드의 12번째 필드인 BLE 필드가 0이나 1로 채워져 전송이 되면, 디바이스는 앞서 설명한 비컨 통보 프리미티브의 절차에 따라 이 정보를 디바이스의 상위계층에 알리게 된다.

BLE 필드의 값이 1이면 BE값은 2와 macMinBE 값과 비교하여 작은 값을 BE값으로 하고, 절차 (3)을 수행하게 된다. 하지만 BE값이 0이면 바로 절차 (2)를 수행하게 된다.

절차 (2)는 본 논문의 기존 Slotted CSMA/CA 알고리즘에서 추가되는 절차로 동작은 다음과 같다. 먼저 앞서 설명한 BLE를 확인하는 방법과 같은 방법으로 IPM 필드의 값을 확인한다. IPM 필드의 값이 1이면 BE값을 macMaxBE값으로 설정함으로써 식 (2)에서 나올 수 있는 백오프 시간 값의 범위를 넓혀 줌으로 PAN에 가입된 노드가 같은 백오프 시간

을 가져 충돌이 발생하게 되는 확률을 줄여주게 된다. IMP 필드의 값이 0이면 절차 (3)을 수행하게 된다. 절차 (3) 이후의 과정은 앞서 설명한 기존의 IEEE 802.15.4에서의 Slotted CSMA/CA의 동작 절차와 동일하다.

또한 제안하는 Slotted CSMA/CA 알고리즘에서 제안하는 IPM이 들어간 그림 9의 절차 (1), (2)에 대한 절차 코드는 그림 10과 같다.

```

if(BLE=1)
    BE=lesser of (2, macMinBE)

else if(BLE=0 & IPM=1)
    BE=macMaxBE

else if(BLE=0 & IPM=0)
    BE=macMinBE
    
```

그림 10. 제안하는 Slotted CSMA/CA 알고리즘 절차 코드

IV. 시뮬레이션

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 테스트하기 위한 시뮬레이션을 위해 다음과 같은 가정을 하였다.

비컨을 사용하지 않는 unSlotted CSMA/CA 알고리즘은 배제하고, 비컨을 사용하는 Slotted CSMA/CA 알고리즘만을 사용하여 PAN에 가입된 디바이스가 전송매체에 접근한다. 또한 다수의 디바이스가 경쟁중이고, 한 프레임을 전송 하였을 때, 다음 전송할 프레임이 항상 존재하며, 슈퍼 프레임 전체를 CAP 구간으로 사용한다고 가정한다. 또한 환경은 250Kbps(=R)의 속도로 1symbol당 4bit(=r)를 사용하였다. 나머지 시뮬레이션 파라미터는 다음 표 2와 같다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Parameter		Value (sec)
T_{slot}	Slot time	$(20symbol * r) / R$
T_h	PHY Header + MAC Header 전송시간	$(15 * 8) / R$
T_p	MAC Payload 전송시간	$(75 * 8) / R$
T_{ifs}	IFS duration	$(40symbol * r) / R$

제한하는 방식의 효율성을 입증하기 위하여 성능 파라미터로는 포화수율과 전송성공률을 이용하였다. 그림 11과 12는 알고리즘에 대한 포화수율 (S : saturation throughput)를 나타낸다. 포화수율은 전체 전송 시간 중 순수하게 데이터를 전송하는 데 소요된 시간의 비율로 정의하며, 이를 식으로 나타내면 식 (3)과 같다.

$$S = \frac{N_{TX} \times \text{Frame Payload}}{T_{total}} \quad (3)$$

T_{total} 은 총 시뮬레이션 시간이며 N_{TX} 는 총 전송 성공회수이다.

그림 11은 PAN에 가입된 디바이스의 개수에 상관없이 표준과 IPM을 적용시킨 그림이다. 그림 11에서 디바이스의 개수가 2~8개로 적을 때, IPM이 설정되면 표준 알고리즘보다 포화수율이 감소한다. 하지만 16~128개로 디바이스의 개수가 많을 때, IPM이 설정되면 표준 알고리즘보다 포화수율이 향상된다.

그러므로 PAN에 가입된 디바이스의 개수가 16~128개 일 때 IPM 필드를 1로 설정하면 기존의 표준 매커니즘보다 성능이 향상된다.

그림 12는 표준 알고리즘에서 디바이스의 개수가 16~128개 일 때에만 IPM을 1로 설정한 그림이다.

그림 13은 전송성공률에 대한 그림으로 IPM을 1로 설정하게 되면 충돌이 감소하여 전송 성공률이 높음을 알 수 있다.

이와 같은 시뮬레이션 결과는 그림 14에서와 같이 PAN에 가입된 디바이스의 개수가 16개가 되는 시점부터 백오프 시간에 의한 전송지연 보다 충돌로 인한 전송지연이 커지기 때문이다.

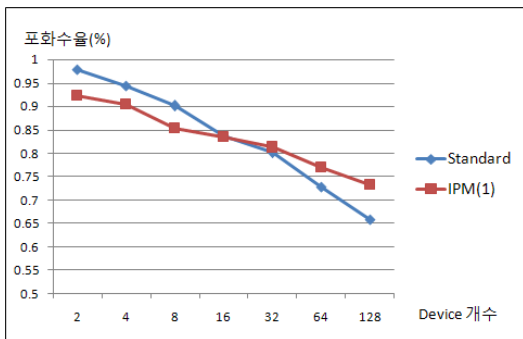


그림 11. 표준과 IPM이 1로만 설정된 알고리즘의 포화수율

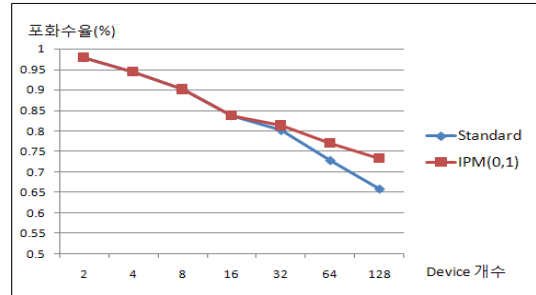


그림 12. 표준과 IPM이 0과 1로 설정된 알고리즘의 포화수율

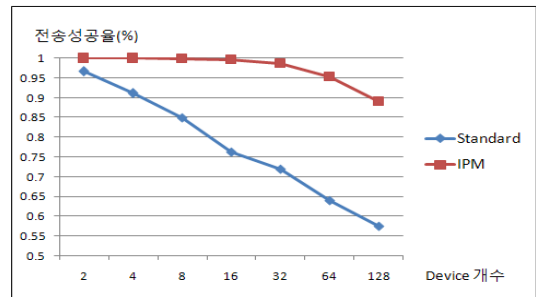


그림 13. 전송성공률

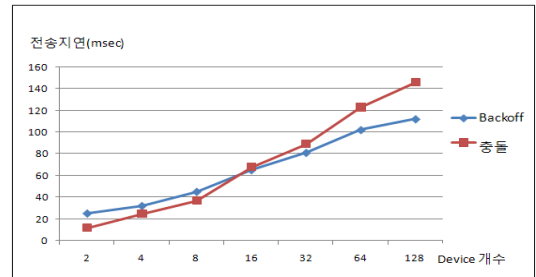


그림 14. 표준에서 Backoff와 충돌로 인한 전송지연

V. 결론

IEEE 802.15.4는 저속, 저가, 저전력의 특징으로 설계 되어 센서 네트워크분야에서 많이 응용이 되고 있다. 하지만 센서 네트워크 분야에서 앞으로 점점 디바이스의 개수가 증가하고 더 높은 전송률을 요구함에 따라 이에 대한 보완책이 필요하다. 현재의 IEEE 802.15.4 표준에서는 디바이스의 개수가 적을 경우 비컨 프레임에 BLE 필드가 있어 BLE 필드가 1로 설정되어 있으면 BE값을 낮게 설정하여 백오프 시간이 낮게 설정되어 전송 지연이 줄어들어 전력소모를 줄임으로 성능이 향상되게 하였다. 하지만 디바이스의 개수가 많을 경우에는 BE값이

작게 되면 각 디바이스마다 동시에 채널에 접근하게 되는 경우가 많아져 충돌로 인해 성능이 저하된다. 표준에서는 이와 같은 단점에 대한 보완책이 없다.

본 논문에서는 PAN에 가입된 디바이스의 개수가 많이 요구되는 u-Healthcare를 모델로 디바이스의 개수가 많을 때 전송율 증가를 위해 비컨 프레임에 IPM 필드를 추가하였다. IPM 필드가 1로 설정되면 BE값을 macMaxBE로 설정하여 데이터를 전송하려는 디바이스간의 충돌을 줄인다. 충돌을 줄임으로 포화수율이 향상되는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

향후 연구에서는 실제 운용되고 있는 센서 노드에 제한한 IMP File를 추가하여 결과를 측정함으로써 다양한 환경 요소를 가지고 있는 실제적인 상황에서 적용하였을 때의 성능을 비교 평가해 보는 것이 필요하다.

참 고 문 헌

[1] *IEEE Std 802.15.4, Part 15.4 : Wireless Medium Access Control Layer (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, Dec. 2003.

[2] 박주희, 박용민, "RFID와 센서 네트워크 통합을 통한 U-healthcare 서비스 지원에 관한 연구," *한국통신학회논문지*, Vol. 33 No. 12, 2008. 12.

[3] 장병준, 최선웅, "Wireless Body Area Network 기술 동향," *한국전자과학회, 전자과학기술 제19권 제3호*, pp. 35~46, 2008. 5.

[4] 강재은, 박학래, 이정규, "클러스트-트리 기반 LR-WPAN에서 End-to-End 지연시간을 줄이기 위한 적응적 Beacon 스케줄링 알고리즘," *한국통신학회논문지*, Vol. 34 No. 3, 2009. 3.

[5] 배성재, 기형주, 이태진, 정민영, "IEEE 802.15.4 MAC 계층의 성능 향상을 위한 분할 경합 접근 방식," *정보과학회논문지, 제 14권 제 4호*, 2008. 6.

[6] A. Koubaa, M. Alves, E. Tovar, "IEEE 802.15.4 for Wireless Sensor Networks: A Technical Overview," *IPPHURRAY Technical Report, HURRAY-TR-050702*, Jul. 2005.

[7] 기형주, 최승혁, 정민영, 이태진, "IEEE 802.11 무선랜의 성능 향상을 위한 Binary Negative-Exponential Backoff 알고리즘," *한국통신학회 논문지*, Vol. 31 No. 12A, 2006. 12.

[8] T. Kim and S. Choi, "Priority-based delay mitigation for event-monitoring IEEE 802.15.4 LR-WPANs," *IEEE Communications Letters*, Nov. 2005.

[9] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated adaptive sleeping for wireless sensor networks," *IEEE/ACM Trans. Networking*, Vol. 12, pp. 493-506, June. 2004.

[10] Ai-Chun Pang, Hsueh-Wen Tseng, "Dynamic Backoff for Wireless Personal Networks," *IEEE Communications Society GLOBECOM'04*, 2004.

박 두 진 (Doo-Jin Park)

준회원



2008년 2월 백석대학교정보공학과 졸업
 2008년 3월~현재 광운대학교 전자통신공학과 석사과정
 <관심분야> 센서네트워크, 임베디드 시스템, USN

정 원 수 (Won-Soo Jung)

준회원

한국통신학회논문지 제32권 제12호 참조

윤 찬 영 (Chan-Young Yun)

종신회원

한국통신학회논문지 제33권 제2호 참조

오 영 환 (Young-Hwan Oh)

정회원

한국통신학회논문지 제32권 제12호 참조