

논문 2008-45CI-1-8

# 무선 센서 네트워크를 위한 효율적인 프리앰블 샘플링 기법을 사용하는 비동기 MAC의 성능 분석

## (Performance of Asynchronous MAC with an Efficient Preamble Sampling Scheme for Wireless Sensor Networks)

변 강 호\*, 윤 중 호\*\*, 김 세 한\*\*\*

(Kang-Ho Byun, Chong-Ho Yoon, and Se-Han Kim)

### 요 약

무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜에서 에너지 효율성은 가장 중요한 이슈들 중 하나이다. 프리앰블 샘플링 기법을 사용하는 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜은 동기를 맞추기 위한 프로토콜 절차가 없기 때문에 프로토콜을 유지하기 위하여 사용하는 에너지 소모가 적다. 그러나 프리앰블 샘플링 기법을 사용하는 노드들은 동기를 맞추지 않고 각각 다른 시간에 깨어나서 자신에게 전송되는 데이터가 있는지 확인하기 때문에, 프리앰블 오버히어링이나 데이터 오버히어링이 발생하기 쉽다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 수신노드식별자와 페이로드의 길이정보를 수납한 짧은 프리앰블을 사용함으로써 주변노드의 오버히어링을 감소시킨 B-MAC++를 제안하였다. 그리고 기존의 프리앰블 샘플링 기법을 사용하는 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜들과 제안한 B-MAC++를 모의실험을 통하여 에너지소모 관점에서 평가 비교분석 하였다.

### Abstract

On the wireless sensor network MAC protocols, one of main issues is energy efficiency. Since several asynchronous wireless sensor network MAC protocols with short preamble sampling scheme can be operated without setting the timing synchronization among neighbor nodes, it consumes a little energy for maintaining protocols. However, each node encounters either preamble or data overhearing problem, because each node wakes up in a different time and must check whether the frame is being sent to itself or not. To solve this overhearing problem, we newly propose B-MAC++ that can reduce the overhearing energy consumption by using short preambles with destination address and payload length. From simulation results, we show that the proposed B-MAC++ has advantageous in terms of power consumption efficiency over other asynchronous wireless sensor network MAC protocols.

**Keywords :** Wireless Sensor Network, MAC, Energy efficiency, Preamble sampling, Overhearing

## I. 서 론

무선 센서 네트워크에서, 센서노드들은 제한된 에너지로 최대한 오래 동안 동작해야 하기 때문에 센서노드의 에너지 효율성은 가장 중요한 이슈 중 하나이다.<sup>[1]</sup> 이러한 에너지 효율성을 반영한 다양한 종류의 Wireless Sensor Network(WSN)용 Media Access Control(MAC) 프로토콜이 제안되었다.<sup>[2~7]</sup>

이러한 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜의 일부는

\* 학생회원, \*\* 평생회원, 한국항공대학교  
정보통신공학과 응용네트워크 연구실  
(Korea Aerospace University)

\*\*\* 정회원, 한국전자통신연구원, USN전송기술연구팀  
(ETRI)

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 IT  
신성장동력핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였  
음. [2005-S-106-02, RFID/USN용 센서태그 및 센  
서노드 기술]

접수일자: 2007년10월2일, 수정완료일: 2008년1월11일

동일한 시각에 동시에 깨어나서 통신을 하고 슬립(sleep) 상태로 전환하는 동기방식으로 동작한다. 이러한 동기방식의 대표적인 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜인 S-MAC은 모든 노드들이 동시에 깨어나서 싱크 패킷을 주고받으며 동기를 맞춘다.<sup>[2]</sup>

이와 같은 동기화 과정은 프로토콜 오버헤드(protocol overhead)<sup>[3]</sup>로 작용하여 에너지 소모요인이 된다. 특히 노드가 이동성을 갖는 네트워크 환경의 경우, 주기적인 동기 패킷의 수신에 보장되지 않기 때문에 동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜은 이동성을 갖는 노드들로 구성되는 네트워크 환경에 적합하지 못하다.

반면에 노드 간 웨이크-업(wake-up)시점을 맞추지 않는 비동기 방식의 MAC 프로토콜들은 동기화 과정에 의해 소모되는 에너지가 없고, 매우 짧은 길이의 리스(listen) 구간을 사용하기 때문에 아이들-리스닝(idle-listening)<sup>[3]</sup>으로 소모하는 에너지가 매우 적다. 게다가 동기과정이 필요 없기 때문에 이동성을 갖는 노드들로 구성된 네트워크 환경에 적합하다.

하지만 이러한 프리엠블 샘플링(preamble sampling) 기법을 사용하는 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜들은 수신노드가 충분히 수신할 수 있는 긴 길이의 프리엠블을 사용하기 때문에 발생하는 문제점들이 있다. 그 중 가장 큰 문제점은 각각의 노드들이 깨어나는 시간이 다르기 때문에 송신노드가 긴 프리엠블과 데이터를 전송하는 중에 인근노드들이 송신노드의 프리엠블과 데이터를 오버히어링(overhearing)<sup>[3]</sup>하기 쉽다는 것이다.

본 논문에서는 이동형 노드간 통신에 적합한 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC에서의 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 수신노드식별자와 페이로드의 길이정보를 수납한 짧은 프리엠블을 사용함으로써 주변 노드의 오버히어링을 감소시킬 수 있는 새로운 B-MAC++를 제안하였다.

그리고 기존의 프리엠블 샘플링 기법을 사용하는 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜인 X-MAC과 B-MAC+에 대하여 제안한 B-MAC++의 에너지 소모 성능을 모의실험을 통하여 비교분석하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 본 서론에 이어, II장에서는 기존에 제안되었던 단일채널을 사용하는 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜의 동작과 특징을 분석하고, III장에서 본 논문에서 제안하는 B-MAC++에 대하여 상세히 기술한다. IV장에서는

B-MAC++와 기존의 비동기 MAC 프로토콜을 비교, 분석하고 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜 분석

### 1. Berkeley MAC

Berkeley MAC 프로토콜은 비동기 방식으로 동작하는 대표적인 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜이다.<sup>[4]</sup> Berkeley MAC 프로토콜로 동작하는 노드들은 동일한 체크인터벌(check interval) 간격으로 각각 다른 시간에 깨어난 뒤, 채널에 유효한 신호가 있는지 여부를 확인하는 LPL(Low Power Listening) 동작을 수행한다.

그림 1의 송신노드와 같이 전송할 데이터가 있는 노드는 자신이 송신할 데이터가 있음을 체크인터벌보다 긴 프리엠블을 사용하여 인근노드들에게 알린 후, 전송하고자 하는 데이터 프레임의 송신한다.

이 때 프리엠블의 길이는 모든 노드가 충분히 수신할 수 있는 체크인터벌 이상의 긴 길이이므로 인근노드들은 체크인터벌 간격에 맞추어 임의의 시간에 깨어나도 프리엠블을 수신할 수 있다. 프리엠블을 수신한 노드들은 자신이 수신대상일지도 모르므로 프리엠블의 수신을 유지하다가 프리엠블에 뒤이어 전송되는 데이터 헤더에 포함된 목적지주소를 수신하여 자신이 수신대상인지 확인한다. 만약 자신이 수신대상이 대상이라면 그림 1의 수신노드와 같이 수신을 유지하여 데이터를 수신하고, 자신이 수신대상이 아니라면 즉시 슬립 상태로 전환한다.

이러한 Berkeley MAC 프로토콜은 노드간 동기를 맞추기 위한 절차가 없어 간편한 특징은 있지만 인근노드에게 전송할 데이터가 있음을 알리기 위해서는 체크인터벌 보다 긴 프리엠블이 사용되어야 하는 단점이 있

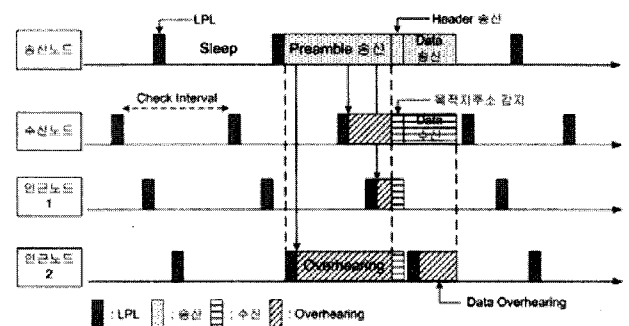


그림 1. Berkeley MAC의 동작 예  
Fig. 1. An example of a Berkeley MAC operation.

다. 그리고 프리엠블을 수신한 노드들은 프리엠블에 뒤 이어 전송되는 데이터 헤더에 포함된 목적지주소를 수신할 때까지 수신을 유지하게 되는데 최악의 경우 그림 1에서 인근노드2와 같이 프리엠블의 대부분을 오버헤어링하게 된다. 뿐만 아니라 인근노드들은 프리엠블에 뒤 이어 전송되는 데이터의 길이를 모르기 때문에 데이터가 전송되고 있는 시점에 깨어나는 경우에 데이터를 오버헤어링하게 된다.

이처럼 Berkeley MAC 프로토콜에서는 오버헤어링으로 낭비하는 에너지가 큰 문제점이 있다. 이러한 문제점에 대해서 오버헤어링을 줄이거나 프리엠블의 길이를 줄이는 다양한 방법이 제안되고 있다.

## 2. X-MAC

X-MAC 프로토콜은 Berkeley MAC 프로토콜에서 사용하는 프리엠블 대신 비트동기를 위한 최소한의 프리엠블과 목적지주소가 수납된 쇼트-프리엠블(Short Preamble)을 여러 번 송신함으로써 Berkeley MAC 프로토콜에서 발생하는 프리엠블 오버헤어링을 감소시켰다.<sup>[5]</sup>

즉, X-MAC으로 동작하는 노드는 자신이 송신할 데이터가 있는 경우 그림 2와 같이 인근노드에게 전송할 데이터가 있음을 알리기 위하여 최소한의 프리엠블과 목적지주소로 구성된 쇼트-프리엠블을 송신한 뒤 ACK를 수신할 수 있는 충분한 기간 동안 수신대기상태를 유지한다.

송신노드의 인근노드들은 쇼트-프리엠블에 포함된 목적지주소를 수신하고 자신이 수신대상노드인지를 판단한다. 자신이 수신대상노드라고 판단한 수신노드는 ACK를 송신하여 송신노드에게 자신이 쇼트-프리엠블을 수신했음을 알리고 데이터를 수신할 준비를 하며 수신대상이 아니라고 판단한 노드들은 sleep 상태로 전환하여 이후에 전송되는 쇼트-프리엠블을 수신하지 않는다.

따라서 X-MAC 프로토콜에서는 송신노드가 Berkeley MAC 프로토콜에서와 같은 고정길이의 프리엠블을 사용하지 않고 수신대상노드로부터 송신되는 ACK를 수신할 때까지 쇼트-프리엠블을 송신하기 때문에 프리엠블을 전송하는데 소요되는 에너지를 절약하게 된다.

그리고 수신대상이 아닌 노드들은 하나의 쇼트-프리엠블만을 수신하고 sleep 상태로 전환하기 때문에 프

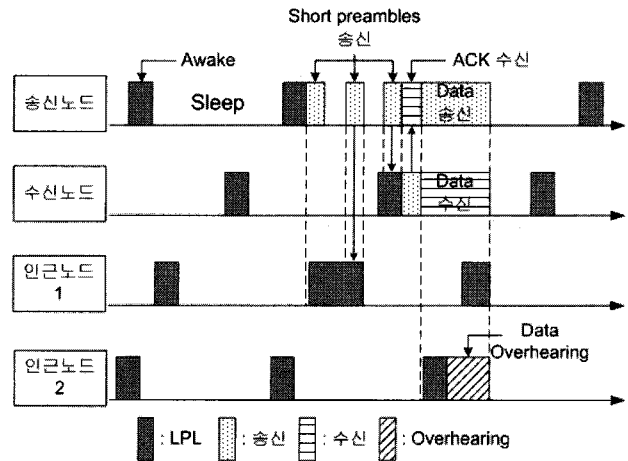


그림 2. X-MAC의 동작 예

Fig. 2. An example of X-MAC operation.

리엠블 오버헤어링으로 발생하는 에너지 소모도 역시 줄이게 된다.

하지만 X-MAC 프로토콜에서의 어웨이크(Awake) 구간의 길이는 송신노드가 쇼트-프리엠블을 송신중인지 알기 위하여 쇼트-프리엠블 간의 사이에서 ACK를 수신하기 위하여 대기하는 구간의 길이보다 길어야 한다.

따라서 채널이 아이들(idle)한 상태에서, 같은 길이의 슬립 구간을 사용한다고 가정한다면 채널의 유효신호 여부만을 파악하는 Berkeley MAC 프로토콜의 LPL보다 큰 에너지를 소모하게 된다. 뿐만 아니라 데이터 전송 구간에서 깨어난 노드는 그림 2에서의 인근노드2와 같이 데이터의 전송이 종료될 때까지 데이터 오버헤어링이 발생하는 문제점이 있다.

## 3. B-MAC+

B-MAC+는 Berkeley MAC 프로토콜의 프리엠블 구간을 연속적인 짧은 웨이크-업 프리엠블(Wake-Up Preamble)들로 구성된 하나의 롱-프리엠블(Long Preamble)로 대체하여 송신노드의 인근노드들이 프리엠블을 오버헤어링 하는 것을 최소화한다.<sup>[6]</sup>

B-MAC+의 롱-프리엠블의 구조는 그림 3과 같이 Preamble과 Start Frame Delimiter(SFD), Destination Address(DA), Countdown of Preamble로 구성된다.

그림 3에서 웨이크-업 프리엠블을 구성하는 Preamble 필드는 비트단위의 동기를 맞추고, SFD필드는 바이트 단위의 프레임이 시작됨을 알리고, DA필드는 목적지의 주소로서 수신대상노드여부를 알 수 있도록 하며, 남은 웨이크-업 프리엠블의 카운트다운 값을 담은 Countdown of Preamble을 통해 남은 프리엠블의

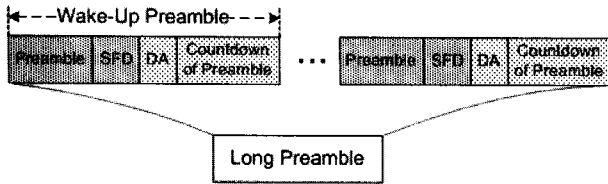


그림 3. B-MAC+의 롱-프리엠블 구조  
Fig. 3. Long Preamble format of B-MAC+.

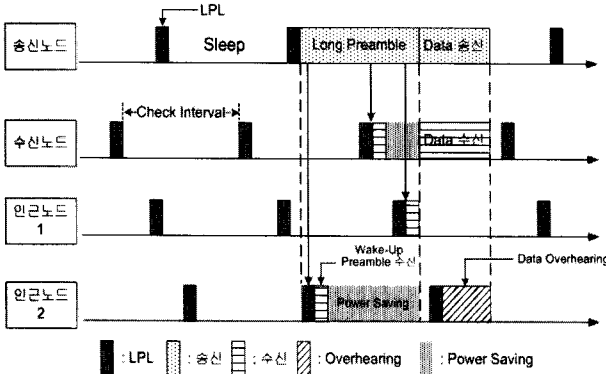


그림 4. B-MAC+의 동작 예  
Fig. 4. An example of B-MAC+ operation.

길이를 파악하고 남은 프리엠블 구간만큼 슬립 상태를 유지하여 오버히어링을 방지한다.

B-MAC+는 Berkeley MAC 프로토콜과 마찬가지로 일정한 길이의 체크인터벌 구간 동안 슬립하고 LPL을 수행하는 동작을 반복한다. 송신노드는 전송하고자 하는 데이터가 있을 때, 롱-프리엠블과 뒤이어 데이터를 전송한다. 이 때 송신노드의 인근노드들은 롱-프리엠블을 구성하는 웨이크-업 프리엠블을 수신하여 목적지주소와 프리엠블의 남은 길이를 파악한다.

웨이크-업 프리엠블의 DA 필드를 통해 자신이 수신 대상노드라고 판단한 노드는 롱-프리엠블의 전송이 끝나는 시점에 깨어나서 데이터를 수신하고, 수신대상노드가 아니라고 판단한 인근노드들은 롱-프리엠블의 전송이 끝나는 시점까지 슬립 상태를 유지하여 롱-프리엠블이 전송되는 구간에서 발생하는 오버히어링을 방지한다.

하지만 B-MAC+ 역시 전송되는 데이터의 길이 정보를 모르기 때문에 데이터가 전송되는 구간에 깨어나는 송신노드의 인근노드들은 그림 4의 인근노드2와 같이 데이터 오버히어링이 발생하는 문제점을 가진다.

이러한 데이터 오버히어링은 어떤 노드가 데이터를 전송할 때, 해당 노드의 인접한 노드가 LPL을 수행하는 경우에만 일어나게 된다. 따라서 데이터의 길이가 길거나, 데이터의 전송이 빈번하거나, 노드들이 밀집하게 분

포하거나, 체크인터벌이 짧을 때 데이터 오버히어링이 일어날 확률이 높다.

### III. Overhearing을 감소시킨 비동기 방식의 센서 네트워크 MAC 프로토콜

본 장에서는 기존의 비동기 방식으로 동작하는 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜에서 발생하는 오버히어링을 최소화하는 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜인 B-MAC++를 제안한다.

이전 연구결과인 X-MAC과 B-MAC+에서는 Berkeley MAC 프로토콜에서 발생하는 프리엠블의 오버히어링에 대하여 목적지 주소를 담은 짧은 길이의 프리엠블을 여러 개 송신함으로써 수신대상이 아닌 노드들의 프리엠블 오버히어링문제를 해결하였다.

하지만 이러한 MAC들은 송신노드가 데이터를 전송할 때, 인근노드들이 깨어날 때 발생할 수 있는 데이터 오버히어링이 고려되지 않았기 때문에 에너지 효율적인 측면에서 단점이 있다.

본 논문에서 제안하는 B-MAC++는 이와 같은 데이터 오버히어링을 감소시키기 위하여 송신노드의 인근노드들이 데이터 전송의 시작시점과 종료시점을 감지하여 수신대상노드여부에 따라 선택적으로 수신하거나 신속하게 슬립하여 추가적인 전원절약을 할 수 있는데 착안한 것이다.

본 논문에서 제안하는 B-MAC++에서 사용하는 롱-프리엠블은 B-MAC+와 유사한 연속된 웨이크-업 쇼트 프리엠블(Wake-Up Short Preamble)로 구성되어 있다. 그림 5는 B-MAC++에서 사용하는 롱-프리엠블과 웨이크-업 쇼트 프리엠블의 구조를 도시한 그림이다.

그림 5와 같이 웨이크-업 쇼트 프리엠블은 Preamble과 Start Frame Delimiter(SFD), Destination Address(DA), Countdown of Preamble, Data Length 필드로 구성되며 그림 3의 B-MAC+의 웨이크-업 프리엠블 구조에서 Data Length 필드가 추가된 구조이다.

송신 노드가 롱-프리엠블을 전송할 때 깨어나는 송

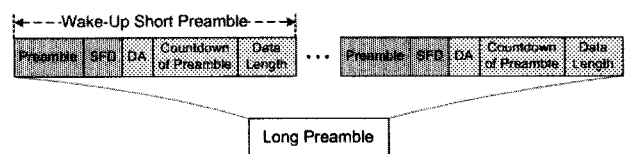


그림 5. B-MAC++의 롱-프리엠블 구조  
Fig. 5. Long preamble format of B-MAC++.

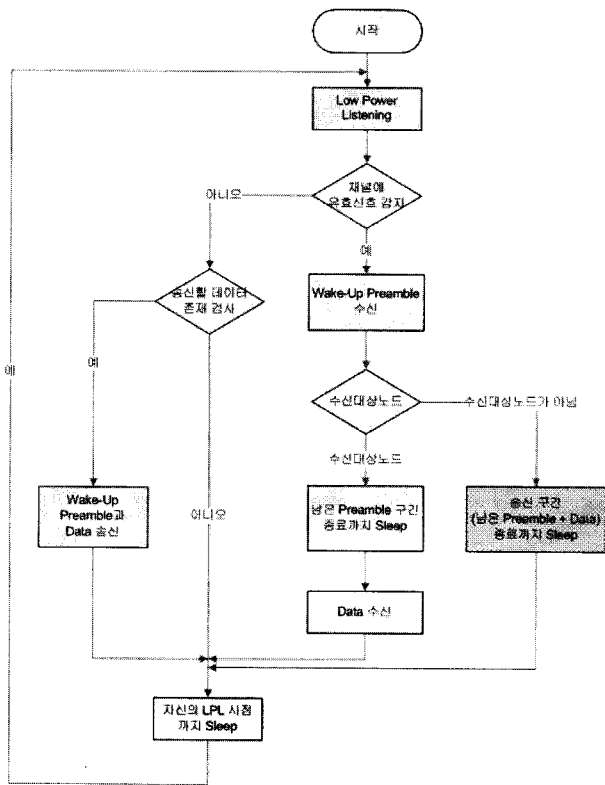


그림 6. B-MAC++로 동작하는 노드의 흐름도  
Fig. 6. B-MAC++ Flow chart per node.

신노드의 인근노드들은 롱-프리엠블 내부의 연속된 웨이크-업 쇼트 프리엠블 중 하나의 완전한 웨이크-업 쇼트 프리엠블을 수신하게 된다. 이때, 웨이크-업 쇼트 프리엠블을 수신한 노드는 DA 필드를 보고 자신의 수신대상인지 여부를 판단할 수 있으며, Countdown of Preamble 필드를 통해 남은 웨이크-업 쇼트 프리엠블의 개수를 알 수 있으며, Data Length 필드로 이어져 전송되는 데이터의 길이를 알 수 있다.

따라서 웨이크-업 쇼트 프리엠블을 수신한 노드들은 그림 6과 같이 자신이 수신대상인 경우에 남은 롱-프리엠블의 길이만큼 슬립상태를 유지하다가 깨어나서 Data가 전송되는 길이만큼 수신하고, 수신대상이 아닌 노드들은 남은 롱-프리엠블이 전송되는 길이와 데이터가 전송되는 길이만큼 슬립상태를 유지하여 데이터 오버헤어링을 피할 수 있다.

그림 7은 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜로 동작하는 노드들의 송·수신 예이다. 모든 노드들은 동일한 체크인터벌을 가지고 LPL과 슬립을 반복한다.

그림 7에서 송신노드는 LPL로 채널에 유효한 신호가 없다는 것을 확인하고 롱-프리엠블과 데이터를 이어서 송신한다. 수신노드는 자신의 LPL 주기에 맞게 동작하다가 채널에 유효한 신호가 있음을 감지하고 깨어나서

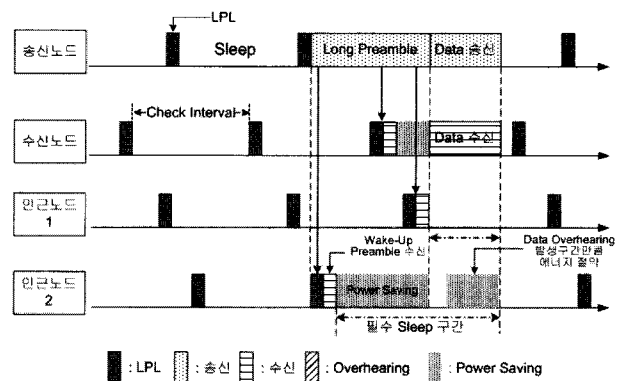


그림 7. B-MAC++의 동작 예  
Fig. 7. An example of B-MAC++ operation.

송신노드가 송신하는 롱-프리엠블의 웨이크-업 쇼트 프리엠블을 수신하여 자신이 수신대상이라는 것을 알고 롱-프리엠블의 남은 길이만큼 슬립 상태를 유지하다가 데이터를 수신한다.

인근노드1과 인근노드2는 자신의 체크인터벌 주기에 맞게 슬립과 LPL을 반복하다가 LPL을 통해 채널에 유효한 신호가 있음이 감지되면 송신노드가 송신하는 롱-프리엠블의 웨이크-업 쇼트 프리엠블을 수신하여 자신이 수신대상이 아님을 알고 롱-프리엠블의 전송이 종료되기까지의 남은 시간과 데이터의 전송이 종료되기까지의 남은 시간을 합한 길이만큼 슬립상태를 유지한다.

이와 같이 동작함으로써 B-MAC++는 기존의 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜들과는 달리 프리엠블 영역에 데이터의 길이를 포함하여 인접한 노드들에게 데이터의 길이를 알려줌으로써 인근노드들은 데이터의 전송이 종료되기까지의 시간을 참조하여 데이터 오버헤어링을 방지하였다.

#### IV. 성능분석

제안된 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 본 장에서는 기존 비동기 방식의 MAC 프로토콜과 제안한 MAC 프로토콜을 데이터의 발생률, 체크인터벌의 변화에 따른 에너지 소모량을 모의실험으로 비교 분석하였다. 사용한 시뮬레이터는 C++를 이용한 이벤트-드리븐(Event-Driven) 방식으로 직접 구현하였다.

시뮬레이션 토폴로지는 그림 8과 같으며, 시뮬레이션은 하나의 송신노드인 노드A가 다른 하나의 수신노드인 노드B에게 100Kbps의 속도로 100바이트의 데이터를 일정한 간격으로 송신할 때, 노드C-1부터 노드C-7

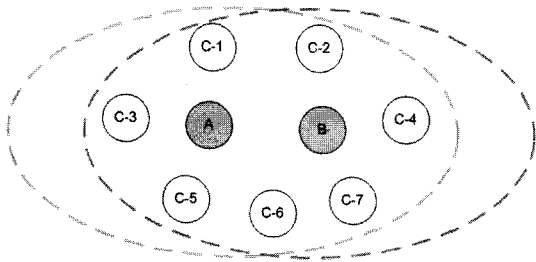


그림 8. 시뮬레이션 토폴로지  
Fig. 8. Simulation topology.

표 1. 실험에 사용된 노드별 전력소모특성  
Table 1. Power characteristics per node.

장치	상태	값 [ $\mu$ A]
MCU	Active	5500
	Power-down (Timer만 동작)	25
Radio	Transmit	18800
	Receive	17400
	Sleep	< 0.001

이 소모하는 에너지를 측정하였다.

이 때, 각 노드는 한 싸이클 이내의 범위에서 랜덤한 시각에 시뮬레이션을 시작하도록 하였으며, 10만초 동안의 시뮬레이션을 수십 차례 수행하여 얻은 값의 평균으로 결과를 도출하였다.

센서네트워크에서 사용되는 패킷의 길이는 일반적으로 128바이트 이내의 길이를 사용하며 데이터의 길이 자체가 때문에 100바이트의 고정 길이 데이터를 사용하였다.

시뮬레이션에서 적용되는 노드의 각 상태에 대한 전력소모특성은 표 1과 같으며, 라디오의 상태를 변환하거나 초기화 하는 과정에서 소모하는 시간과 에너지는 모두 0이라고 가정하였고, 장치에 인가되는 전압은 3V로 가정하여 결과를 도출하였다. 표 1에서의 수치는 최근 널리 사용되는 ATMEL사의 ATMEGA128L<sup>[9]</sup>과 Chipcon사의 CC2420<sup>[10]</sup>의 전력 소모 값이다.

그림 9는 노드A의 데이터 발생 간격을 2초로 설정하고 모든 노드들의 체크인터벌을 10ms에서 800ms까지 변화시켰을 때 7개의 노드들이 오버히어링으로 소모하는 평균 에너지를 분석한 그림이며 그림 10은 위와 동일한 조건에서 각 노드들이 소모하는 총 에너지의 평균을 비교 분석한 그림이다.

여기서 오버히어링은 자신이 수신대상이 아님에도 불구하고 프리앰블을 수신하거나, 데이터를 수신하는 것을 말하며, 자신이 수신대상인 경우에 프리앰블을 수

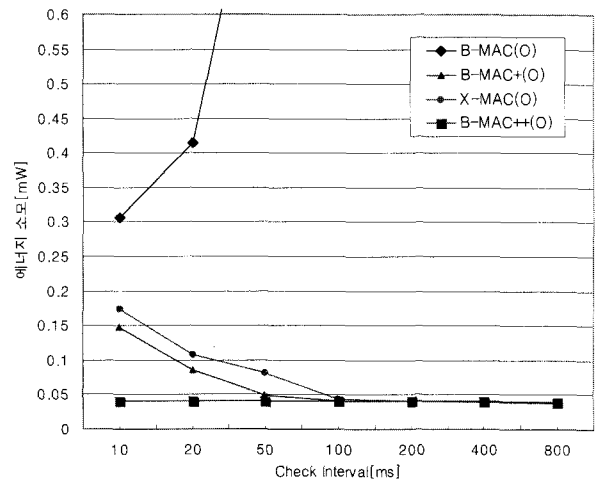


그림 9. 체크인터벌에 따라 각 노드가 overhearing시 소모하는 평균 에너지

Fig. 9. Average overhearing energy consumptions per node for check intervals

신하면 프로토콜-오버헤드에 의한 에너지 소모로 처리하였다.

그림 9에서 Berkeley MAC 프로토콜은 프리앰블을 오버히어링 하기 때문에 체크인터벌이 길수록 프리앰블을 오버히어링 하는데 소모되는 에너지가 커지므로 에너지 소모량이 크게 증가하는 것을 볼 수 있다.

반면에 프리앰블 오버히어링을 최소화한 X-MAC과 B-MAC+는 오히려 체크인터벌의 길이가 짧을수록 데이터 오버히어링이 빈번하게 발생하기 때문에 소모하는 에너지가 커지고, 체크인터벌의 길이가 길수록 데이터 오버히어링이 발생하지 않기 때문에 소모하는 에너지가 적어진다. 따라서 체크인터벌이 짧을수록 제안하는 B-MAC++ 프로토콜은 데이터 오버히어링을 하지 않기 때문에 에너지 효율성이 더 뛰어나다는 것을 알 수 있다.

그림 10에서 Berkeley MAC 프로토콜은 체크인터벌이 커질수록 오버히어링 하는 프리앰블의 길이가 커지기 때문에 에너지의 소모량이 커지며 다른 MAC 프로토콜은 프리앰블을 오버히어링 하지 않고 오히려 LPL이나 Awake로 소모하는 에너지가 줄어들기 때문에 소모하는 에너지 소모량이 줄어든다.

X-MAC은 다른 비동기 방식의 MAC 프로토콜과 달리 어웨이크 구간의 길이가 길기 때문에 체크인터벌의 길이가 짧을수록 에너지 소모량이 크다. 하지만 체크인터벌의 길이가 길수록 어웨이크 구간에서 소모하는 에너지가 적기 때문에 B-MAC+와 제안하는 B-MAC++와의 성능이 비슷해진다.

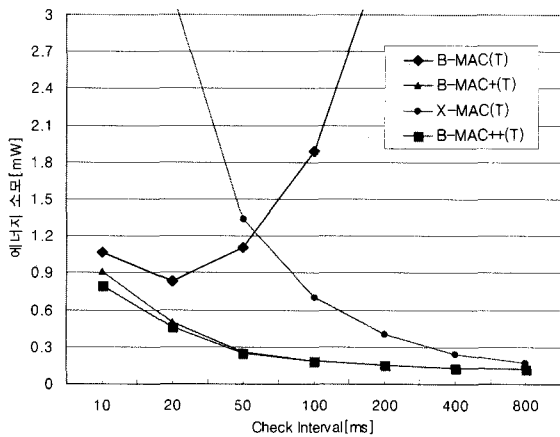


그림 10. 체크인터벌에 따른 노드 당 총 소모 에너지  
Fig. 10. Total energy consumption per node for check intervals.

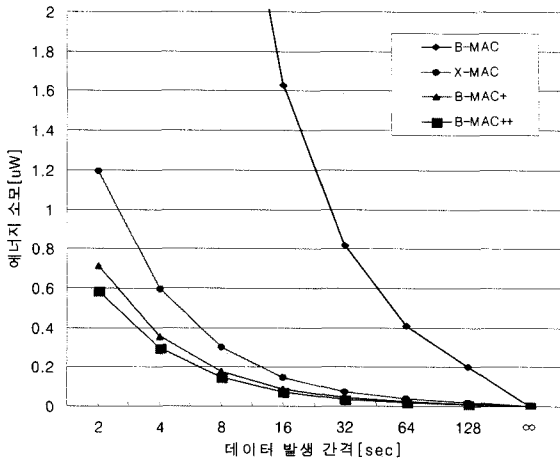


그림 11. 데이터 발생 간격에 따라 각 노드가 평균적으로 overheard에 소모하는 에너지 (체크인터벌 = 50ms)  
Fig. 11. Average overheard energy consumption per node for traffic load

제안된 B-MAC++ 프로토콜은 그림 9에서 데이터 오버히어링으로 절약한 에너지만큼 B-MAC+보다 우수한 전력소모 특성을 갖는다는 것을 알 수 있다.

그림 11은 그림 8의 토폴로지에서 노드A의 데이터 발생 간격을 2초부터 무한대까지 변화시키고 체크인터벌을 50ms로 고정시킨 상태에서 노드C-1부터 노드 C-7의 7개의 노드들이 오버히어링으로 소모하는 에너지의 평균을 분석한 그림이다. 데이터가 빈번하게 발생될수록 제안하는 B-MAC++ 프로토콜은 다른 MAC 프로토콜보다 전력소모 면에서 장점이 있음을 알 수 있다.

## V. 결 론

비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜은 동기에 사용하는 프로토콜 오버헤드가 없다. 하지만 그에 대한 트레이드오프로 송신노드는 수신대상 노드가 충분히 수신할 수 있는 길이의 프리앰블을 사용하여 송신할 데이터가 있음을 알려야 한다. 또한 노드들은 각자 다른 시점에 깨어나기 때문에 송신노드가 송신하는 프리앰블과 데이터를 오버히어링 하는 문제점이 있다.

이러한 문제점을 보완하기 위하여 B-MAC+와 X-MAC은 Berkeley-MAC에서 사용하는 프리앰블 영역에 목적지 주소를 포함시켜서 프리앰블 오버히어링 문제를 해결하였지만 데이터에 대한 오버히어링 문제가 남아있었다.

본 논문에서는 데이터 오버히어링을 방지하는 MAC 프로토콜인 B-MAC++를 제안하고 체크인터벌, 데이터 발생률을 변화시켜 기존의 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜과 성능을 비교 분석하였다.

그 결과 제안한 MAC 프로토콜은 체크인터벌이 짧을 수록, 데이터의 발생빈도가 높을수록 기존의 비동기 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜보다 우수한 에너지 효율성을 가짐을 알 수 있었다.

제안된 B-MAC++는 비동기 방식의 무선 센서 네트워크에서 발생하는 오버히어링을 최소화하여 에너지 소모를 줄였다. 하지만 LPL을 기반으로 동작하는 비동기 방식의 무선 센서네트워크 MAC 프로토콜들은 공통적으로 고정된 길이의 프리앰블을 사용하기 때문에 데이터를 전송하는 데에 사용하는 에너지보다 프리앰블의 전송에 사용하는 에너지가 더 큰 문제점이 있다.

따라서 향후에는 비동기 방식의 무선 센서네트워크 MAC 프로토콜에서 사용되는 프리앰블의 길이를 Wise-MAC<sup>[7]</sup>과 유사하게 동적으로 조절하거나, Dynamic S-MAC<sup>[8]</sup>과 유사하게 트래픽 양을 기반으로 체크인터벌을 조절하는 기능으로 보완하는 방안에 대한 추가연구가 수행되어야 할 것이다.

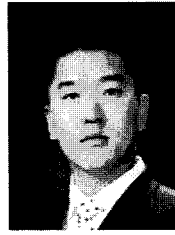
## 참 고 문 헌

- [1] Muneeb Ali, Umar Saif, Adam Dunkels, "Medium Access Control Issues in Sensor Networks", *ACS SIGCOMM Computer Communication*, pp. 33-36, Vol 36, No 2, Apr. 2006.
- [2] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin.

“Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for wireless sensor networks”, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(3), pp.493 - 506, June 2004.

- [3] T. V. Dam and K. Langendoen, “An Adaptive Energy-Efficient MAC Protocol for Wire-less Sensor Networks”, *Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems*, Los Angeles, USA, Nov. 2003.
- [4] J. Polastre, J. Hill and D. Culler, “Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks.”, *Proceedings of the 2nd International Conference on Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 95-107, Baltimore, USA, Nov. 2004.
- [5] Michael Buettner, Gary Yee, Eric Anderson, Richard Han, “Technical Report CU-CS-1008-06 (X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol For Duty-Cycled Wireless Sensor Networks)”, Department of Computer Science University of Colorado at Boulder, pp. 1-11, May 2006.
- [6] Marco Avvenuti, Paolo Corsini, Paolo Masci and Alessio Vecchio, “Increasing the efficiency of preamble sampling protocols for wireless sensor networks”, *Mobile Computing and Wireless Communications International Conference*, Amman, Jordan, Sept. 2006.
- [7] Amre El-Hoiydi and Jean-Dominique Decotignie, “WiseMAC: An ultra low power MAC protocol for the downlink of infrastructure wireless sensor networks.”, *ISCC2004, the 9th IEEE International Symposium on Computers and Communications*, Alexandria, Egypt, 28 June 2004.
- [8] Peng Lin, Chunming Qiao and Xin Wang, “Medium Access Control With A Dynamic Duty Cycle For Sensor Networks”, *Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, pp. 1534-1539, Atlanta, USA, Mar. 2004.
- [9] ATMEL Corp, ATmega128/ATmega128L data sheet, 391, 2007. <http://www.atmel.com>
- [10] Chipcon Inc, CC2420 data sheet, 87, 2004. <http://www.chipcon.com>

— 저 자 소 개 —



변 강 호(학생회원)  
 2006년 한국항공대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.  
 2006년~현재 한국항공대학교 정보통신공학과 석사과정.  
 <주관심분야 : 센서네트워크 MAC 기술>



윤 종 호(평생회원)  
 1984년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 1986년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사 졸업.  
 1990년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사 졸업.

<주관심분야 : MAC 기술 및 BcN 전달망 기술>



김 세 한(정회원)  
 1998년 한국항공대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.  
 2000년 한국항공대학교 정보통신 공학과 석사 졸업.  
 2000년~한국전자통신연구원, USN전송기술연구팀, 선임연구원

<주관심분야 : RFID/USN 센서노드 및 태그 기술>