

# 무선 센서 네트워크에서의 에너지 효율을 위한 짧은 프리앰블을 가지는 MAC 프로토콜에 대한 연구

논문  
59-1-35

## Research of Short Preamble MAC Protocol for Energy Efficient in Wireless Sensor Network

나 경 흠\* · 이 상 빈\*\* · 고 두 현\*\*\* · 안 순 신†  
(Kyeongheum Na · Sangbin Lee · Doohyun Ko · Sunshin An)

**Abstract** - Idle listening is very critical source of energy dissipation in wireless sensor networks. To reduce idle listening, we propose preamble sampling MAC that is named EESP-MAC. The main idea of EESP-MAC is to add control information into the short preamble frame. So the stream of short preambles is used not only for preamble sampling but also for avoiding overhearing, decreasing control packet overhead and reducing the listening of the redundant message, caused by message-flooding.

**Key Words** : Preamble, MAC protocol, Energy efficiency, WSN

### 1. 서 론

무선통신과 소형 기계 기술의 발전은 무선센서네트워크의 발달을 가져왔다. 무선센서네트워크는 일반적으로 다수의 센서 노드와(Sensor node), 싱크 노드(Sink node)라 불리는 소수의 데이터 수집기로 구성된다. 여기서, 센서 노드는 센서 값을 생성해서 이를 싱크 노드에 보고하는 일을 한다.

보통 센서노드는 개별적으로 떨어져 있기 때문에 이 노드들의 배터리의 교환은 거의 불가능하다. 하지만 대부분의 무선센서네트워크의 어플리케이션은 센서 데이터를 수집하기 위한 매우 긴 노드의 수명을 요구한다. 그러므로 각각의 레이어(layer)에 대한 에너지효율적인 모델이 무선센서네트워크에서 중요시된다. 시제 무선센서네트워크에는 다음과 같은 에너지를 비효율적으로 낭비하는 다양한 원인이 존재한다..

- 충돌 : 2개의 노드가 동시시간대에 통신을 시도해서 서로 간섭을 일으킬 경우, 재전송에 의한 에너지 소모
- 제어 패킷 부하 : 무선센서네트워크에서 RTS/CTS/ACK 사용에 따른 부하
- 오버히어링(overhearing) : 패킷의 전체/일부가 다른노드에 아무런 의미없이 전달될 때
- 아이들(idle) 리스닝 : 노드가 패킷을 받기위한 상태로 이것에 의한 비효율/에너지낭비 발생

무선센서네트워크의 어플리케이션은 낮은 트래픽을 발생시키기 때문에 통신채널은 언제나 아이들상태가 유지되는게

일반적이다. 그렇기 때문에 아이들 리스닝은 무선센서네트워크에서 매우 중요한 에너지 소모 이유이다. 이 아이들 리스닝을 줄이기 위해 센서네트워크는 RF 수신 시간을 줄이는데, 이는 수신자가 긴시간동안 잠든후에 주기적으로 일어나서 채널을 체크하는 방식을 쓰는것을 말한다. 만약 채널이 아이들할경우 수신자는 다음 채널 체크 기간까지 다시 잠들 것이다. 하지만 이 알고리즘은 슬립 상태일경우의 메시지 손실을 가져올 수 있다.

MAC 프로토콜에 의한 듀티 사이클을 가진 2가지 신뢰적인 메시지 전송방법이 존재할 수 있다. 첫번째는 각각의 노드들이 전부 슬립/웨이크업 스케줄을 일치시키는것이다. 이런 방식은 S-MAC에서 쓰이는것이다. S-MAC은 낮은 파워의 RTS-CTS프로토콜로 이 방식을 씀으로써 S-MAC은 아이들 리스닝으로 인한 에너지 낭비를 피할 수 있다. 하지만 S-MAC은 매우 복잡해서 사용하기 힘들고 네트워크의 규모가 커질수록 전체노드의 스케줄을 관리하기 힘들어지고 이것은 부하를 만들어 낸다. 두번째는 전송자가 패킷을 아주 긴 프리앰블(preamble)을 가지고 보냄으로써 채널 체크 기간에 맞추는것이다. 이런방식을 프리앰블 샘플링이라 하며 그림 1은 이 과정을 보여주고 있다

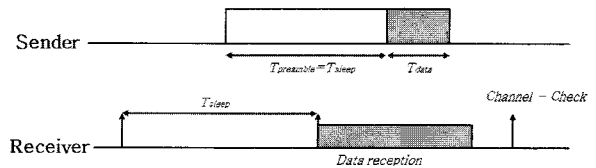


그림 1 프리앰블 샘플링의 과정  
Fig. 1 Preamble sampling process

첫번째 방식과 비슷하게 각각의 RF 통신기들은 낮은 듀티사이클을 가지고있으나 이것은 웨이크업 스케줄에 대한

\* 준 회원 : 고려대학 공과학과 석사과정  
\*\* 비 회원 : 고려대학 공과학과 박사과정  
\*\*\* 비 회원 : 고려대학 공과학과 박사과정  
† 교신저자, 정회원 : 고려대학 공과학과 조교수 · 공박  
E-mail : khna@dsys.korea.ac.kr  
접수일자 : 2009년 12월 2일  
최종완료 : 2009년 12월 23일

정보 공유가 존재하지않고, 대신에 노드는 웨이크업 시간과 비슷한수준의 길이를 가진 긴 프리앰블 을 가지고 데이터를 전송한다.그에따라 수신자는 긴 프리앰블을 샘플링 가능하고 RF통신기는 데이터 프레임을 받을 준비를 하게 된다. 이런 방식의 MAC 프로토콜을 편하게 PS-MAC이라 부르기로 한다. 이런타입의 MAC프로토콜로 B-MAC이란 것이 있다. 하지만 B-MAC은 긴 고정된 프리앰블로 인한 에너지 낭비가 존재하며 이 것으로 인한 오버헤어링 문제가 있다.

프리앰블 샘플링을 가진 듀티 사이클을 제어하는 MAC프로토콜로 WiseMAC이라는 것이 있는데, 이것은 ACK 프레임을 통해 웨이크업 스케줄을 공유하는것으로 프리앰블 길이를 줄일수 있으나 각 쌍에서 클록 드리프트 (clock drift) 문제가 있다. 그렇기 때문에 주기적인 센싱이 길 경우 이런 동기화 방식은 오버헤어링과 긴 프리앰블로 인한 에너지 낭비를 해결하지 못한다. 이런 문제는 WiseMAC에서도 언급하고 있는 부분이다. 이 긴 프리앰블로 인한 문제점을 해결하기위해 나온 것으로 DPS-MAC이라는 MAC프로토콜이 있다. 이 프로토콜에서는 목적지주소를 프리앰블에 추가하여 수신자는 목적지주소를 프리앰블을 보고 알 수 있게 된다. 만약 수신한 메시지의 수신처가 해당노드일 경우 노드는 메시지의 남은 과정을 수행하겠지만 반대의 경우 메시지의 수신을 포기할 것이다. 이런 DPS-MAC은 아이들 리스닝과 오버헤어링으로 인한 문제를 해결했으나 메시지 플러딩에 의한 에너지 낭비를 해결하지 못했다.

그렇기 때문에 우리는 긴 프리앰블 대신에 짧은 프리앰블을 사용할 것이고 이 짧은 프리앰블안에 추가적인 정보를 넣어 에너지를 절약할 것이다. 이를 통해 제어메시지 부하를 줄이고, 오버헤어링을 방지하며, 메시지 플러딩으로 인한 에너지 낭비를 줄일 것이다. 이것을 여기서는 편의를 위해 EESP-MAC(Energy Efficient Short Preamble MAC) 이라 칭할 것이다.

남은 분량에서 2장에서는 이 sp MAC의 구조에 대해 설명할 것이며 3장에서는 sp MAC의 성능을 수학적으로 분석할 것이다. 남은 4장에서는 결론과 다음 연구에 대해 서술할 것이다.

## 2. EESP-MAC의 구조

EESP-MAC의 기본은 짧은 프리앰블 프레임에 제어 정보를 넣어서 짧은 프리앰블 프레임의 스트림(stream)이 프리앰블 견본 추출 뿐만 아니라 오버헤어링까지 방지하고, 제어패킷부하와 메시지 플러딩에 위한 초과 메시지 수신을 줄이는데에 있다.

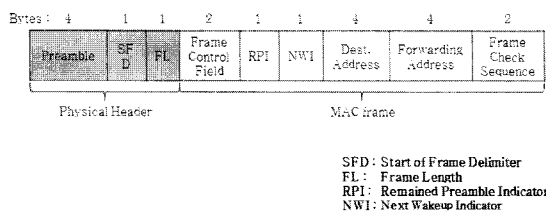


그림 2 EESP 프레임의 포맷  
Fig. 2 The format of EESP frame

## 2.1 EESP-MAC의 기본 동작

그림 2는 짧은 프리앰블 프레임의 메시지 포맷이며 이를 여기선 EESP 프레임이라 명명했다. 이 포맷은 chipcon CC2420과 IEEE 702.15.4을 기본으로 한다. 우리는 프레임 제어 필드를 타입 지시자로 사용할것이다. 잔여 프리앰블 지시자 필드(RPI)는 전송되어야 하는 프리앰블의 남은 숫자를 뜻한다. 다음 웨이크업 지시자(NWI)는 EESP 프레임에 의해 만들어진 노드의 다음 웨이크업 시간까지의 남은 시간을 뜻한다. 각각의 EESP 프레임의 다음 웨이크업 지시자는 EESP프레임의 전송전에 업데이트 된다. 도착지 (Destination) 주소 필드는 데이터 프레임의 도착지 주소 필드와 동일하다. 여기에 있는 전송지(forwarding) 주소 필드는 크로스 레이어 동작을 지원하도록 되어 있다.

노드가 전송될 메시지를 수신할경우, 데이터 프레임의 메시지의 발신지 주소를 복사 후에, 전송될 EESP 프레임의 전송지 주소에 덧붙인다. 만약 메시지 플러딩의 시작점인 노드의 경우에는, 전송지 주소 필드의 값을 0으로 채운다. 유니캐스트(unicast)의 경우에도 전송지 주소필드의 값은 0으로 처리한다.

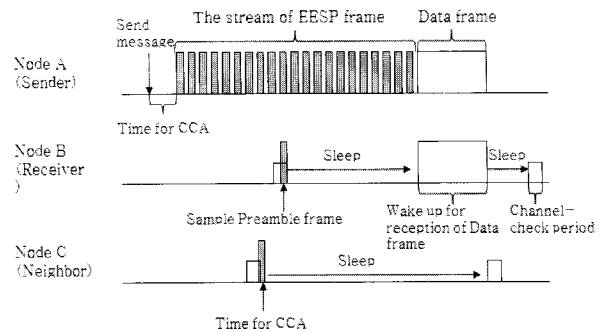


그림 3 EESP MAC의 동작  
Fig. 3 The operation of EESP MAC

그림 3은 EESP MAC의 기본 동작을 보여주고 있다. 만약 전송되어야 할 메시지가 있을경우 EESP MAC는 채널에 사용자가 있는지를 확인(CCA)한다. 만약 사용자가 없을경우, EESP MAC은 EESP 프레임의 스트림(stream)으로 데이터를 전송한다. 그림 3에서, EESP 프레임의 스트림 길이는 스트림 양쪽에 있는 채널 검사 기간 EE간격보다 길 수 없으며, 그에 따라 노드 A의 전파 수신영역에 있는 모든 노드들은 1개의 EESP 프레임을 수신 할 수 있다. 왜냐하면, 각각의 EESP 프레임은 도착지 주소필드를 가지고 있기때문에 EESP 프레임을 수신하는 노드는 이 전송된 프레임이 자신의 것인지 아닌지를 판단할 수 있기 때문이다. 그러므로 노드 A에 이웃하는 노드 C는 이 전송이 필요한지 아닌지를 인지 검사다음 채널 검사 기간있는 슬립(sleep)함으로써 양쪽에 을 채널한다. 이와 반대로, 수신대상인 노드 B는 데이터 통의 전개속하며, RPI필드를 통해 남아있는 EESP 프레임의 개수를 할 수 있검사이를 통해 의미없는 EESP 프레임의 수신을 줄인다. 노드 B는 프레임 수신후에 슬립(sleep)하며  $NRPI(T_p+T_{ip})$ 의 시간후에 웨이크업하여 데이터 프레임을 받을 준비를 한다.

2.1 불필요한 플러딩-메시지(flooded-message)의 방지

만일 노드가 플러딩을 위해 메시지를 퍼뜨리면 이 노드는 이것의 이웃이 전송한 긴 프리앰블을 가진 불필요한 데이터 프레임 수신할 것이다. 이런 형태의 에너지 낭비는 이 노드의 이웃이 많을 경우 더욱 커질 것이다. 이런 불필요한 플러딩-메시지로 인한 에너지 낭비를 피하기 위해, EESP MAC는 다음의 2개의 EESP 프레임을 확인한다. - 도착지 주소 프레임과 전송지 주소 프레임. 만약 수신된 EESP 프레임의 도착지 주소 필드가 브로드캐스트(broadcast) 주소이고 전송지 주소 필드가 이 노드의 소스 주소와 동일할 경우, 노드는 이 전송이 불필요한 것이라 판단한다. 이 경우 수신된 EESP 프레임은 이 노드가 전송했던 데이터 프레임인 것을 의미하기 때문이다. 그래서 이 노드는 다음 채널 점검 기간까지 슬립상태로 대기한다.

2.3 제어 패킷 부하의 감소

승인(acknowledgement)은 신뢰성 있는 MAC 계층의 통신을 위해 전형적으로 사용되는 방식이다. 하지만 이 방식은 추가적인 제어 패킷 부하를 야기한다. 이 제어 패킷 부하 : ACK 프레임의 갯수 를 줄이기 위해 EESP MAC에서는 암시적 ACK와 일반적 ACK 의 2가지를 사용한다. 암시적 ACK는 멀티홉(multihop) 무선 센서 네트워크의 2가지 특성을 사용하는데, 오버헤더링이고 멀티홉 패스(multi-hop path)다. 노드는 플러딩 메시지의 오버헤더링을 통해 전송이 성공적이었다는 것을 확인한다. 만약, 노드가 플러딩 메시지를 보내고, 전송지 주소가 동일한 EESP프레임을 수신할 경우, 노드는 이전에 퍼뜨린 플러딩 메시지가 성공적으로 전해졌다는 것으로 알고 통신을 할 것이다. 이 암시적 ACK 방식은 네트워크계층 프로토콜에 의존하기 때문에 크로스 레이어 방식으로 볼 수 있다..

2.4 기타 장점

노드가 EESP 프레임을 수신했을 경우 노드는 EESP프레임의 LWI필드를 보고 전송측의 프리앰블 샘플링의 스케줄을 알 수 있다. 그래서, EESP MAC은 EESP 프레임의 스트림이 없어도 데이터 통신이 가능하다. 여기서 LWI를 ACK가 아닌 EESP 프레임에 포함했기 때문에 프리앰블 샘플링의 스케줄은 전송자의 통신범위에 있는 모든 노드들 사이에선 다른 값을 갖는다. 이것이 WiseMAC과 구별되는 장점이지만 WiseMAC과 마찬가지로 클록 드리프트 문제를 해결하지는 못한다.

2.5 실행시 고려할 사항

EESP MAC을 디자인할 때 우리는 몇몇 파라미터(parameter)를 중요하게 고려했다.

첫번째로, 그림 4에 있는  $T_{ip}$  란 값이다.  $T_{ip}$  는 내부 EESP 프레임 듀레이션(duration)이다. MAC프로토콜이 프레임을 보내면, MAC 계층이 전송시간과 물리적전송시간과의  $\theta$  만큼의 지연이 발생하며 이  $\theta$  의 값은 HW와 SW구조에 따라 달라진다.  $\theta$  의 변화를 최소화하기 위해서는  $T_{ip}$  가  $\theta$  보다 매우 큰 값을 가져야 하며 또한, 수신측 버퍼의 오버플로우를 방지할 정도의 값을 가져야 한다. 이 논문에서는  $T_{ip}$  의 적정값을 제시하지는 않는다. Chipcon CC2420에

서는 EESP 프레임 1개(20 바이트)를 전송하는 시간이 0.6 msec라 하고있으므로, 우리는 일단 1.4msec의 값을  $T_{ip}$  로 할 생각이다.

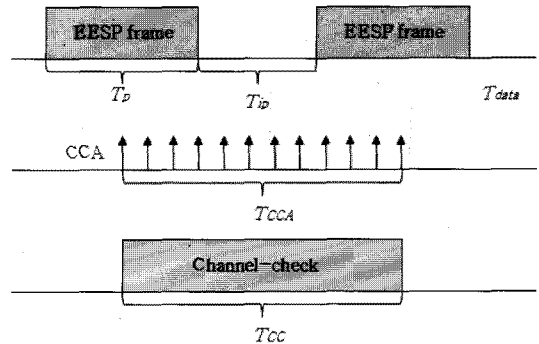


그림 4 CCA와 CC  
Fig. 4 CCA and CC

$T_{ip}$  가 큰 값을 가지게 되면  $T_{ip}$  바로 다음의 CCA (clear channel assessment)는 EESP MAC에 맞지 않게 된다. 예를 들어 노드가 1개의 EESP 프레임이 진행된 후 바로 CCA를 할 경우 노드는 채널이 비어있다 판단할 것이며 이는 충돌을 일으킬 것이다. 이런 상황을 방지하기 위해 EESP MAC은 CCA를  $T_{CCA}$  간격으로 하게 했다. 또한  $T_{CCA}$  의 값은 각각의 EESP프레임 마다 1번의 채널체크가 가능하게 하기위해 반드시  $T_{ip} + T_p$  보다 커야만 한다. 마지막 값은  $T_{cc}$  로 이것은 채널 체크 간격을 말한다.  $T_{cc}$  동안 노드는 최소한 1개의 EESP 프레임을 받아야만 하며 그렇기 때문에  $T_{cc}$  역시  $T_{ip} + T_p$  보다 큰 값을 가져야만 한다. 그림 4는 이 값들의 관계관계관여주고 있다.

3. 성능 분석

여기서는 에너지 소모에 대한 비교분석을 할 것이다. EESP MAC의 기본 아이디어는 짧은 프리앰블 프레임에 제어 정보를 넣는데에 있다. 그렇기 때문에 이 짧은 프리앰블 프레임의 스트림은 프리앰블 샘플링뿐만 아니라, 오버헤더링을 방지하고, 컨트롤패킷 부하와 메시지 플러딩에 의한 불필요한 메시지 수신을 줄이는데도 사용된다.

EESP MAC은 EESP 프레임의 전송지 주소 필드를 사용해서 컨트롤 패킷의 부하를 줄인다. 예를들어 m개의 홉을 거쳐가는 메시지전송이 있다고 했을 경우, EESP MAC은 도착지 노드에서 만들어지는 단 1개의 ACK 프레임만이 필요하다. 하지만 simple PS-MAC의 경우 m개의 ACK 프레임이 필요하다. 이 예를 보면 EESP MAC이 패킷 부하로 인한 에너지 낭비를 줄인다는건 명확하다. EESP MAC의 장점을 증명하기 위해, 우리는 1개의 데이터 프레임 수신시 생기는 에너지 소모에 대한 수식을 만들었다. 그림 5는 EESP MAC에서 에너지가 사용되는 때를 보여주며 여기 있는 값들은 표 1에 설명되어 있다. 또한 이 섹션에서 사용되는 다른 모든값들도 표 1에 설명을 해주었다.

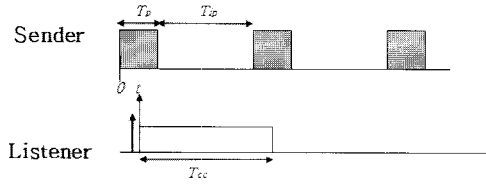


그림 5 EESP프레임의 수신  
Fig. 5 Reception of EESP frame

이 프레임 송수신상황은 2가지 경우가 존재한다. 하나는 수신측이 EESP 프레임의 일부만을 받고 채널 체크 기간에 완전한 하나의 EESP 프레임을 받는 경우이며, 또 하나는 수신측이 완전한 EESP 프레임 하나만을 받는 경우다. 만약 수신측이 EESP 프레임을 받는 수신자일 경우 데이터 수신을 위한 필요한 에너지 소모량은 다음과 같다.

$$E_{receiver} = \begin{cases} E_{recv}\{(T_p-t)+T_p+T_{data}\}+2E_{idle}T_{ip}+E_{sleep}\{(N-2)(T_p+T_{ip})+t\} & ,0 < t \leq T_p \\ E_{recv}\{(T_p-T_{data})+E_{idle}(T_p+2T_{ip}-t)+E_{sleep}\{(N-1)(T_p+T_{ip})-(T_p+T_{ip}-t)\} & ,T_p < t \leq T_p+T_{ip} \end{cases}$$

만약 수신측이 EESP 프레임을 받는 수신자가 아닐 경우 오버히어링에 의한 에너지 소모는 다음과 같다.

$$E_{overhearing} = \begin{cases} E_{recv}\{(T_p-t)+T_p\}+2E_{idle}T_{ip}+E(N_{rp}, T_{data})+E_{sleep}\{(N-2)(T_p+T_{ip})+t+T_{data}\} & ,0 < t \leq T_p \\ E_{recv}T_p+E_{idle}(T_p+2T_{ip}-t)+E(N_{rp}, T_{data})+E_{sleep}\{(N-1)(T_p+T_{ip})-(T_p+T_{ip}-t)+T_{ip}+T_{data}\} & ,T_p < t \leq T_p+T_{ip} \end{cases}$$

$E(N_{rp}, T_{data})$ 는 데이터 프레임의 일부를 수신하는데 필요한 에너지 양이다. 계산의 편의를 위해 여기서는  $E(N_{rp}, T_{data})$ 을 무시할 것이다. 다음수식은  $E(N_{rp}, T_{data})$ 의 경계조건을 나타내고 있다.

$$0 < E(N_{rp}, T_{data}) \leq E_{recv}T_p$$

Simple PS-MAC의 경우 오버히어링과 무의미한 프리앰블을 수신하는 것을 방지하는 메커니즘이 없으며 데이터 수신시 필요한 에너지는 다음과 같다.

$$E_{receiver} = E_{recv}(T_{data}+x) + E_{sleep}(T_{preamble}-x) = E_{overhearing}, \quad 0 < x \leq T_{sleep}$$

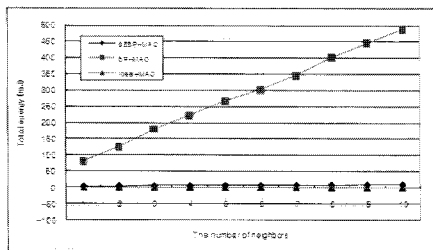


표 1 파라미터. - Chipcon CC2420기준

Table 1 Parameter

Parameter	Description	Values used in simulation
N	Number of EESP frames	50, 100, 150, 200, 250
B	Data rate	250 kbps
$C_{sleep}$	Current used in sleep mode	0.02 mA
$C_{idle}$	Current used in idle listening mode	0.426 mA
$C_{rx}$	Current used in rx mode	19.8 mA
V	Voltage	3 V
$T_p$	The time of EESP frame	0.6 ms ( 20 bytes )
$T_{ip}$	The time of inter EESP frame	1.4 ms
$T_{sleep}$	The time of Sleep	= N ( $T_p+T_{ip}$ )
$T_{preamble}$	The time of PS-MAC preamble	= $T_{sleep}$
$T_{data}$	The time of data frame	3.2 ms ( 100 bytes )
t	Uniformly distributed random variable	$0 < t < T_p+T_{ip}$
x	Uniformly distributed random variable	$0 < x < T_{sleep}$

그림 6에서 우리는 1개의 데이터 프레임을 보낼경우의 전체 에너지 소모량을 100msec의 채널 체크 간격을 설정하여 계산할 것이다. 여기서 전체 에너지는 수신측과 그 이웃의 에너지 소모의 총 합을 말한다. 이상적인 MAC은 전혀 오버히어링과 프리앰블 샘플링이 없는 것을 의미한다. EESP MAC은 오버히어링과 무의미한 EESP 프레임의 수신을 방지하는 메커니즘을 가지고 있으므로 simple PS-MAC보다 에너지 사용이 더 적다. 그림 6과 7에서 우리는 EESP MAC이 simple PS-MAC보다 에너지 효율뿐만 아니라 노드의 밀도에 따른 에너지문제와 채널 체크 면에서 좀더 나은 것을 볼 수 있을 것이다. 그림 8에서는 EESP MAC이 메시지 플러딩에 의한 무의미한 메시지 수신을 줄일수 있다는 것을 확인할 것이다.

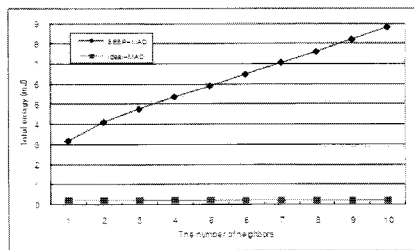


그림 6 PS-MAC과 EESP-MAC의 이웃의 개수에 따른 있을경우, 아이들 할때의 전체 에너지 소비량 (오버히어링포함) 우측의 그래프는 좌측의 그래프를 확대한 것이다.

Fig. 6 Energy consumption of ideal, PS-MAC and EESP-MAC as a function of the number of neighbors. The right graph is enlarged-version of the left graph.

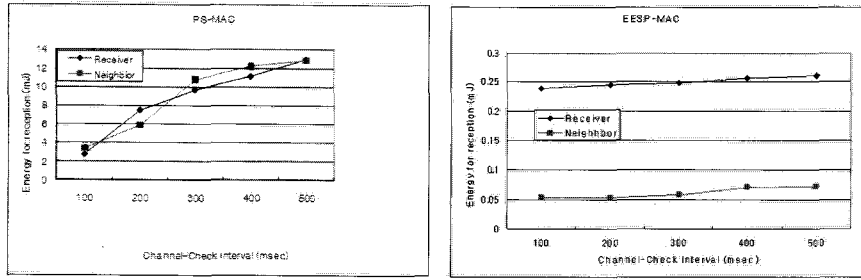


그림 7 채널 체크 간격에 따른 PS-MAC와 EESP-MAC의 에너지 소비 비교  
 Fig. 7 Energy consumption of PS-MAC and EESP-MAC as channel-check interval

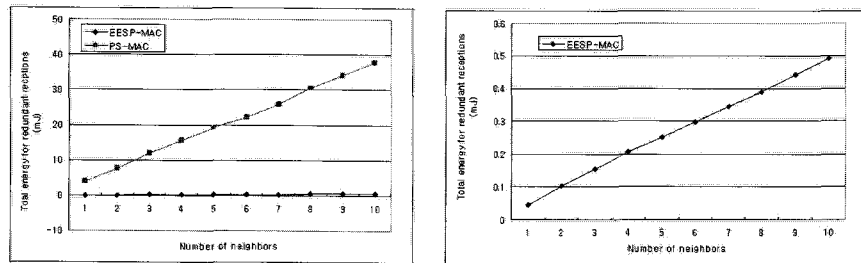


그림 8 이웃의 개수에 따른 메시지 플러딩에 의한 에너지 소비량 비교. 우측은 좌측의 그래프를 확대한 것이다.  
 Fig. 8 Energy consumption of EESP-MAC by receiving redundant flooding message. The right graph is enlarge-version of the left graph.

#### 4. 결 론

무선센서네트워크에서 에너지효율적인 MAC 프로토콜은 앞으로도 지속적으로 연구될 분야이다. 비효율적인 작동문제를 해결하고 무선센서네트워크의 이상적인 작동을 위해 여기서는 EESP MAC이란 프로토콜을 제안했다. EESP MAC의 중심이 되는 아이디어는 짧은 프리앰블 프레임에 제어 정보를 추가하는 것이며, 이를 통해 짧은 프리앰블 스트림은 프리앰블 샘플링뿐만 아니라 오버헤어링 방지와 제어 패킷 부하감소, 메시지 플러딩에 의한 불필요한 메시지 수신 감소를 가능케 한다. EESP MAC은 simple PS-MAC보다 무선센서네트워크에 적합하며, 더 높은 에너지 효율을 가진다. 그림 6에서는 오버헤어링을 방지함으로써 얻어지는 에너지 이득을 확인가능하며 그림 7에서는 무의미한 EESP 프레임의 감소로 인한 에너지 이득을 보여주고 있다. 그림 8에서 EESP MAC에서는 수신노드에 이웃하는 노드들은 수신노드보다 매우 적은 에너지 소모를 보이며 반면에 simple PS-MAC에서는 수신노드와 이웃한 노드의 에너지 소모가 비슷한 값을 보여준다. 이 프로토콜은 아직 연구중에 있으며 이를 사용한 노드를 통한 실제 네트워크를 제작중에 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, A survey on sensor networks, IEEE Communications Magazine, Volume: 40. Issue: 8, pp. 102-114, August 2002.
- [2] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin. An energy-efficient mac protocol for wireless sensor networks. In In Proceedings of the 21st International Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies (INFOCOM 2002), NewYork,NY,June2002.
- [3] S. Singh and C. S. Raghavendra. PAMAS: Power Aware Multi-Access protocol with Signalling for Ad Hoc Networks. ACM ComputerCommunications Review, 1999.
- [4] A. El-Hoiydi, Aloha with Preamble Sampling for Sporadic Traffic in Ad Hoc Wireless Sensor Networks, in Proc. IEEE Int. Conf. on Communications, NewYork,USA, Apr2002, pp.3418 - 3423.
- [5] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. Versatile low power media access for wireless sensor networks. In Proceedings of the Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Baltimore,MD,November2004

#### 감사의 글

본 연구는 2009년도에 산업원천기술개발사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

- [6] A. El-Hoiyi, J.-D. Decotignie, and J. Hernandez. Low power MAC protocols for infrastructure wireless sensor networks. In Proceedings of the Fifth European Wireless Conference, Feb. 2004.
- [7] Sangsoon Lim, Youngmin Ji, Jaejoon Cho, and Sunshin An. An Ultra Low Power Medium Access Control Protocol with the Divided Preamble Sampling. UCS 2006, LNCS 4239, pp. 210 - 224, 2006.
- [8] CC1000.  
[//www.chipcon.com/index.cfm?kat\\_id=2&subkat\\_id=12&dok\\_id=14](http://www.chipcon.com/index.cfm?kat_id=2&subkat_id=12&dok_id=14)
- [9] Mica2(Sensor node).  
<http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?id=69>
- [10] CC2420.  
[http://www.chipcon.com/index.cfm?kat\\_id=2&subkat\\_id=12&dok\\_id=115](http://www.chipcon.com/index.cfm?kat_id=2&subkat_id=12&dok_id=115)
- [11] Mica2(Sensor node).  
<http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?id=105>
- [12] TelosB(Sensor node).  
<http://www.xbow.com/Products/productsdetails.aspx?id=147>

## 저 자 소 개



### 나 경 흠 (羅慶欽)

1982년 12월 7일생  
 2008년 고려대 전기전자전파공학부 졸업  
 2008~현재 : 고려대 대학원 공과대학 석사과정.



### 이 상 빈 (李相斌)

1980년 2월 26일생  
 2004년 고려대 전자공학부 졸업  
 2006년 고려대 대학원 공과대학 석사과정 졸업  
 2006~현재 고려대 대학원 공과대학 박사과정.



### 고 두 현 (高斗賢)

1981년 6월 1일생  
 2007년 강남대 전자공학부 졸업  
 Engineering, Kangnam University.  
 2009년 고려대 대학원 통신시스템 학과 석사과정 졸업  
 2005~2006년 KETI 연구원 재직.  
 2009~현재 고려대 대학원 공과대학 박사과정  
 Korea University.



### 안 순 신 (安淳臣)

1950년 2월 19일생  
 1973년 서울대 졸업  
 1975년 KAIST 대학원 전자공학 석사과정 졸업  
 1979 : ENSEEIHT 대학원 전자정보학과 박사과정 졸업  
 1982~현재 : 고려대학교 전자공학부 교수 재직