

# 무선 센서 네트워크에서 FDMA를 이용한 MAC 성능 향상

정성민<sup>o</sup> 조인휘

한양대학교 정보통신대학원

smjung@hanyang.ac.kr iwjoe@hanyang.ac.kr

## Performance Improvement of MAC using the FDMA in Wireless Sensor Network

Sungmin Jung<sup>o</sup>, Inwhee Joe

Graduate School of information and communication, Hanyang University

### 요 약

현재 유비쿼터스 센서 네트워크에서 사용하는 여러가지 MAC 중 가장 많이 사용하고 있는 MAC은 B-MAC이다. B-MAC은 CSMA/CA 방식을 사용하고 있는 데, scalability는 좋으나, 노드수가 증가할수록 기하급수적으로 네트워크의 성능이 저하된다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하는 방법 중 근본적인 해결책인 FDMA를 이용한 MAC을 제안하려 한다. 이 MAC은 CSMA/CA와 다르게 한 채널만 사용하는 것이 아니라, 2.4Ghz대역에 16개 채널 모듈을 동적으로 할당하며 사용하게 되어 있다. 여러 채널을 사용함으로써 MAC성능을 향상시킬 수 있었다. FDMA를 이용한 MAC을 구현하여 성능평가를 하고 B-MAC에 비하여 우수하다는 것을 본 논문에서 검증하였다.

### 1. 서 론

현재 유비쿼터스 센서네트워크에서 가장 많이 사용하는 OS인 TinyOS는 B-MAC을 기반으로 하고 있는데 이 MAC은 CSMA/CA방식을 기반으로 하고 있다. CSMA/CA는 네트워크 채널이 노드에 의해 사용 중이라면 backoff time을 가져 delay를 했다가 채널을 다시 접근하여 사용 중이 아니라면 그때 채널을 독점하여 사용하는 것이다. 여기서 backoff time이 CSMA/CA 성능을 좌우 하는 데, 네트워크 성능을 높이기 위해서 backoff time을 너무 줄이게 되면 성능은 높아질 수 있으나 전력이 낭비될 수 있고, 너무 늘리게 되면 전력을 비교적 적게 사용할 수 있으나, 네트워크 성능을 저하시키게 된다. 이러한 문제를 근본적으로 해결할 수 있는 방법을 본 논문에서 제안하려 한다. CSMA/CA는 한 채널을 사용함으로써 노드간에 채널 간섭 문제가 발생하는 데, 이러한 문제를 해결하기 위해서 2.4Ghz대역에 16 채널을 간섭 없이 사용한다면 근본적으로 해결 할 수 있게 된다.

### 2. 무선 센서 네트워크에서 FDMA을 이용한 MAC

#### 2.1 FDMA을 이용한 MAC 필요성

현재 센서 네트워크에서는 대표적으로 B-MAC, S-MAC, T-MAC...등 여러 가지 MAC이 있다. 하지만 이러한 MAC이 아직까지 센서네트워크에서 최적으로 적용되지 못하는 실정이다. 이 MAC들의 가장 큰 공통점은 한 채널만을 사용하면서 시간차를 두고 센서 노드간 경쟁을 피하는 것이다. 이러한 방식 즉 2.4Ghz대역에서 16개 채널을 사용할 수 있는 데 한 채널만을 사용하는 방식은 FDMA방식에 입장에서 채널 사용을 낭비하는 것이라고 할 수 있다. 본 논문에서 제안된 MAC으로 16개 채널을 모두 사용하고 이 채널들

을 효율적으로 관리하며 할당하는 방법으로 MAC 성능을 높였다.

#### 2.2 FDMA을 이용한 MAC 개요

이 제안된 MAC은 한 채널만을 사용하지 않고 2.4Ghz대역에 16개에 여러 채널을 모두 사용한다. 예를 들어 한 노드가 2405Mhz 대역에 채널을 사용하다가 2410Mhz 대역으로 변조 할 수 있다. 송신 노드가 수신 노드에게 데이터를 보내기 위해서는 주변 노드들에게 자신이 16개 채널 중 가장 적게 사용되는 채널을 할당하며 그것을 사용한다는 것을 알리고 수신 노드에게 같은 채널로 동기화시키기 위해서 F-RTS(Frequency Request To Send) 메시지를 보낸다. 수신 측에서는 이 메시지를 보고 자신의 채널을 변조한다. 또한 주변 다른 노드들은 이 메시지를 수신한 후 채널 테이블을 갱신한다. 아래는 제안된 MAC에 순차적인 메커니즘을 나열한 것이다.

- ① 송신 측 노드는 채널 테이블을 참조해서 현재 사용되지 않는 채널을 찾는다. 혹시 모든 채널이 사용되고 있다면 채널을 카운트를 하고 있다가 가장 적게 사용되는 채널을 할당한다. 이 할당된 채널을 가지고 수신 측 노드에게 Main 채널(모든 노드가 공통적으로 송수신하는 채널)로 F-RTS(채널을 할당 받기 위한 요구 Message)를 보낸다.
- ② 수신 측은 송신 측 노드에게 받은 F-RTS 메시지가 자신의 주소인지를 확인하고 자신의 주소라면 요구된 채널로 변조한다.
- ③ 수신 측이 아닌 주변 노드들은 채널을 평소에 Main 채널로 수신하고 있다가 F-RTS를 수신하면 채널 테이블을 갱신한다.
- ④ 수신 노드는 송신 노드에 데이터를 다 전송 받

은 후 다시 Main 채널로 변조 하고 Channel disassociation message를 보내 채널을 반환 한다.

2.3 F-RTS(Frequency - Request To Send) 및 지능적인 채널 할당

F-RTS는 송신 측에서 수신 측 노드에게 자신과 같은 채널로 통신하기 위해서 전송하는 제어 메시지이다. 송신 측 노드는 자신에 채널 테이블을 살피고 현재 사용되는 채널이 있는지 없는지를 여부를 판별하고 없다면 그 중 한 채널을 선택하고 모든 채널이 사용 중이라면 가장 적게 사용되는 채널을 선택한다.

used	Chnl Num	Node ID	Used Node Cnt
-	1	-	-
TRUE	2	0x1F	1
TRUE	3	0x23	1
TRUE	4	0x72	1
TRUE	5	0x13	1
TRUE	6	0x03	1
TRUE	7	0x15	1
0	8	0	0
0	9	0	0
0	10	0	0
0	11	0	0
0	12	0	0
TRUE	13	0x54	1
TRUE	14	0x2F	1
0	15	0	0
0	16	0	0

그림 1 Channel Table

위 그림1은 채널 테이블을 사용하는 한 예이다. 처음 Chnl Num 2에 있는 채널이 할당 가능한지를 보고 사용 중이라면 3,4,5,...경사한 후 최종적으로 채널 8번이 아직 할당 되어 있지 않았기 때문에 채널 8번을 할당하여 수신 노드에게 채널 8번을 할당하라는 F-RTS메시지를 보낸다. 만약 노드 수가 32개를 초과했을 경우 채널16개 모두 사용 중일 수 있는 데 그 경우에는 Used Node Cnt 필드를 참조하여 현재 가장 적게 사용하는 채널을 할당하는 것이다. 이렇게 함으로서 채널 사용을 분산 시킬 수 있고 지능적인 채널 할당을 할 수 있다. 또한 채널이 겹치는 노드끼리는 CSMA/CA방식으로 채널을 경합하게 된다. 하지만 16개 채널에서 경합하기 때문에 네트워크 성능 저하는 크게 우려 되지 않는다.

채널에는 크게 Main 채널과 Data 송수신 채널로 나눌 수 있다.

- ① Main 채널: 2405Mhz대역 (1번 채널), F-RST

- F-RTS(Frequency-Request To Send) Message : 채널을 사용하는 송수신 노드 및 주변 노드가 채널 테이블을 관리, 변조하기 위해서는 Main 채널을 기본으로 두어야 한다.

- ② Data 송수신 채널 : 2410 ~ 2485Mhz대역 (2~16번 채널)
  - 1번 채널을 제외한 나머지 채널은 데이터를 위한 송수신 채널로 사용한다.

2.4 채널 Update

제안된 MAC은 송수신하는 노드만이 중요한 역할을 하지는 않는다. 네트워크 속해 있는 주변 모든 노드가 중요한 역할을 하는데 그 이유는 주변 노드가 할당받지 않고 유효한 현재 사용되고 있는 채널로 통신을 하게 되면 채널 간섭 문제가 발생하기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 모든 노드가 채널 테이블을 효과적으로 관리해야 하며 update해주어야 한다.

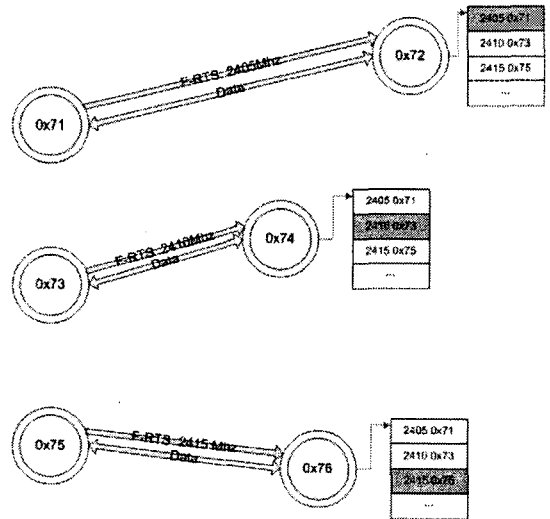


그림 2 채널 Update

그림 2는 Channel을 update하는 루틴을 그림화한 것이다. 0x71은 0x72에게 채널 2405Mhz로 F-RTS를 보내고 Data를 송신한다. 0x73은 채널 2410Mhz대역을 할당하고 0x75는 2415Mhz대역을 할당하고 사용하는 것이다. 또한 0x71은 0x73이 2410Mhz대역으로, 0x75가 2415Mhz대역으로 통신하고 있다는 것을 채널 테이블 update를 통해서 알고 있게 되는 것이다. 채널 테이블 update는 F-RTS를 통해서만 일어난다.

2.5 Channel disassociation message

Channel disassociation message는 수신 측 노드가 송신 측 노드로부터 모든 데이터를 전송 받았을 후 채널 테이블에 현재 사용하고 있는 채널을 반환하기 위해서 전송하는

제어 메시지이다. 이 메시지를 수신 측 노드에서 보내게 되는데 Main 채널로 변조한 후에 전송한다. 이렇게 함으로써 주변 노드들에게 채널을 반환한다는 것을 알리게 된다.

### 3. MAC 성능평가 및 결론

#### 3.1 MAC 성능평가

제안된 MAC의 성능 평가를 하기 위해 구현하여 실험을 하였다. 비교대상은 현재 센서네트워크에서 가장 많이 사용하고 있는 OS인 TinyOS에 보편적이고 신뢰 할 수 있는 MAC인 B-MAC을 비교하였다.

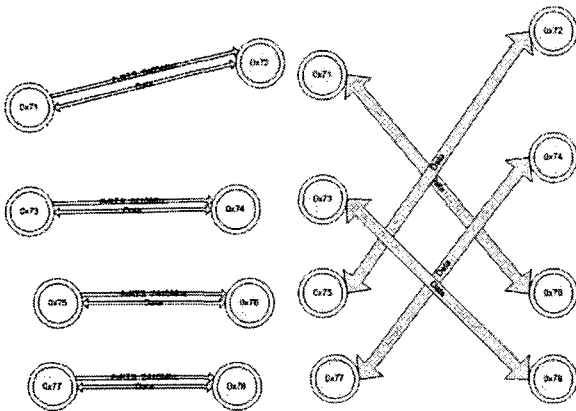


그림 3. 왼쪽 제안된 MAC 오른쪽 B-MAC 실험 환경

제안된 MAC은 서로 다른 채널을 사용하는 일종에 병렬 통신하는 반면, B-MAC은 한 채널을 사용함으로써 네트워크에 모든 노드끼리 서로 경쟁하며 Backoff time을 가지게 된다.

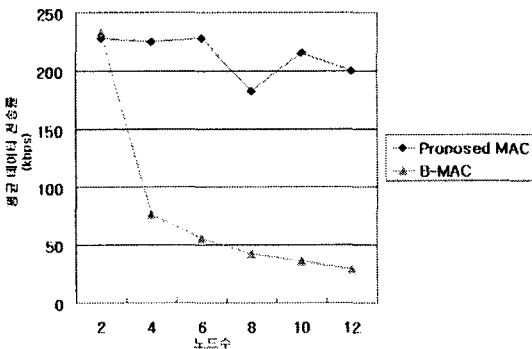


그림 4. MAC 성능 평가 그래프

그림 4는 MAC 성능 평가 그래프인데, X축은 노드수이고, Y축은 평균 데이터 전송률(kbps)이다. 본 실험환경은 crossbow사의 micaz 플랫폼을 사용하였고, OS는 TinyOS를 사용하였으며 RF모듈은 CC2420이고 주파수

는 2.4Ghz대역에 16채널을 사용하였다. B-MAC은 실험 결과 그림4에서 알 수 있듯이 노드가 증가 할수록 backoff time을 많이 가지게 되며 그로인해 네트워크 성능이 기하급수적으로 저하되는 것을 볼 수 있다. 이는 한 채널을 여러 노드가 공유하며 시간차를 두고 사용하기 때문이다, 본 논문 이러한 문제를 근본적으로 해결하기 위해 FDMA을 이용한 MAC을 구현하였다. 제안된 MAC은 2.4Ghz대역에 16개 채널을 동적으로 할당하며 사용하기 때문에 노드가 많아지더라도 채널간섭 없어 병렬로 통신할 수 있으며 그로인해 네트워크성능 저하가 비교적 없다는 것이 그림4에 잘 나타나있다.

#### 3.2 결론

B-MAC은 CSMA/CA방식을 기반으로 하여 한 채널을 여러 노드가 공유하며 backoff time이용하여 시간차를 두고 통신한다. 이렇게 backoff time을 가지게 되면 delay가 생기는 데, 노드가 많아질수록 기하급수적으로 생겨나게 된다. 본 논문에서는 이러한 결과를 증명하였고 이 문제를 근본적으로 해결하기 위해서 FDMA방식을 이용한 MAC을 구현하였다. 제안된 MAC은 총 16개 채널을 동적으로 할당하며 통신이 하기 때문에 서로 채널 간섭 없이 네트워크 트래픽을 분산시킬 수 있다. 네트워크 통신이 직렬이 아닌 병렬로 통신되는 결과이기 때문에 노드가 증가하더라도 성능이 B-MAC보다 우수하다는 것을 입증하였다. 제안된 MAC은 B-MAC 비해 성능뿐 아니라 delay time 또한 적어 전력 낭비를 줄일 수 있다.

#### [참고문헌]

[1] 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, November 2004.  
 [2] An Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks. In Proceedings of the IEEE Infocom, pp. 1567-1576. New York, NY, USA, USC/Information Sciences Institute, IEEE. June, 2002.  
 [3] W. Ye, J. Heidemann and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC Protocol. for Wireless Sensor Networks," in INFOCOM 2002, New York, Jun. 2002., pp.1567-1576.  
 [4] Chipcon Corporation. CC2420 low power FSK transceiver. [http://www.chipcon.com/files/CC2420DBK\\_User\\_Manual\\_1\\_3.pdf](http://www.chipcon.com/files/CC2420DBK_User_Manual_1_3.pdf) Apr. 2002.