

# 무선 센서 네트워크에서 지향성 안테나를 이용한 SRDMAC 프로토콜<sup>1)</sup>

김혜정\*, 김상경\*, 김창화\*, 박찬정\*

\*강릉대학교 컴퓨터공학과

e-mail : {hjkim, skkim98, kch, cjpark}@kangnung.ac.kr

## SRDMAC Protocol Using Directional Antennas in Wireless Sensor Networks

Haejung Kim\*, Sangkyung Kim\*, Changhwa Kim\*, Chanjung Park\*

\*Dept of Computer Science & Engineering, Kangnung National University

### 요 약

기존의 무선 센서 네트워크에서는 센서 노드는 하나의 전방향성 안테나와 하나의 무선 채널을 공유하여 데이터를 전송하므로 과도한 채널 경쟁과 센서 노드간의 데이터 충돌로 데이터 재전송이 자주 발생하여 불필요한 에너지의 소비가 많고, 소스 노드와 목적지 노드의 데이터 전송시 RTS(Request To Send)와 CTS(Clear To Send) 패킷을 사용하여 전파 전송 범위 전체에 대해 채널 예약을 하므로 공간의 활용도가 낮은 편이다. 본 논문에서는 전방향성 안테나의 문제점 및 단점을 보완하기 위한 방법으로 지향성 안테나를 사용하기 위한 SRDMAC(Spatial Reuse Directional MAC) 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 센서 노드 간의 데이터 전송시 충돌을 방지하여 데이터 재전송에 소모되는 에너지와 목적지 노드가 위치한 영역 일부분에만 데이터를 전송함으로써 에너지 소모량을 줄일 수 있으며, 목적지 노드가 위치한 영역을 제외한 다른 영역의 이웃 노드와의 데이터 전송이 가능하므로 공간 재사용율을 최대한 증가시킬 수 있다.

### 1. 서론

무선 센서 네트워크는 산업, 과학, 군사 등 다양한 분야에서 필요로 하는 기술로서 많은 응용을 위하여 특정한 영역에서 발생하는 정보 및 환경을 감지하여 수집하여 무선 통신망을 이용하여 사용자에게 정보를 전달하는 목적으로 연구가 활발하게 진행되고 있다.

무선 센서 네트워크 환경에서 기존의 IEEE 802.11 MAC 프로토콜에서 전방향성 안테나를 이용한 방법으로부터 자원의 활용을 증가시키기 위해서 지향성 안테나를 사용하게 된다.

센서 노드가 하나의 전방향성 안테나를 사용하는 방식은 하나의 무선 채널을 공유하여 센서노드 간의 데이터를 송수신하게 되며, 이러한 방식에서는 이웃 노드와 충돌을 회피하기 위해서 데이터 전송이 끝날 때까지 대기 시간을 갖는다고 해도 과도한 채널 경쟁과 충돌은 피할 수 없는 문제이다. 이러한 채널 경쟁과 충돌을 회피하기 위한 방법으로 자원의 활용도를 높이기 위해서 지향성 안테나를 사용하게 된다.

지향성 안테나를 사용함으로써 얻어지는 이점으로는 여러 가지가 있을 수 있다. 먼저 데이터 송수신시 충돌을

회피하여 에너지 효율성이 높아지고, 채널을 공유함으로써 점유하는 공간을 안테나의 방향성을 고려하여 재사용할 수 있으며, 데이터의 전송 범위 또한 증가하게 된다.

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 전방향성 안테나를 사용함으로써 발생하는 많은 채널의 경쟁과 충돌을 줄이기 위하여 지향성 안테나를 사용하기 위한 SRDMAC(Spatial Reuse Directional MAC) 프로토콜을 제안한다.

제안된 프로토콜은 지향성 안테나의 MAC 테이블 정보와 DRTS(Directional Request To Send)와 DRRTS(Directional Reuse Request To Send), DCCTS(Directional Clear To Send)와 DRCTS(Directional Reuse Clear To Send), DATA, ACK 패킷을 사용하여 데이터 충돌 방지, 에너지 효율성 및 공간 재사용을 증가시킨다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 센서 네트워크에서의 MAC 프로토콜과 지향성 안테나에 관련된 연구를 살펴보고, 3절에서는 프로토콜의 요구사항을 설명하고, 4절에서는 네트워크 초기 과정에서의 MAC 테이블 구성 과정을 기술하고, 5절에서는 SRDMAC 프로토콜에 사용되는 용어 및 데이터 전송과정을 기술하면서, 마지막으로 6절에서는 결론 및 향후 연구 과제를 기술한다.

### 2. 관련 연구

무선 센서 네트워크에서 기존에 연구된 MAC 프로토

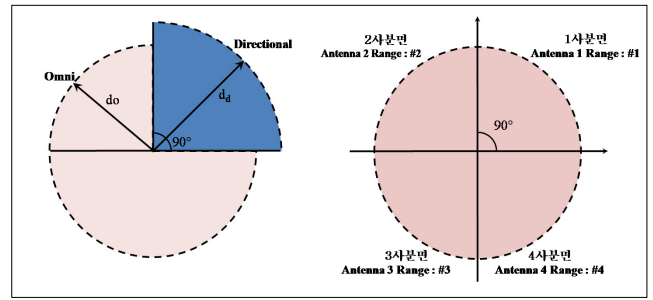
1) 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 2008년도 대학 IT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITA-2008-C1090-0801-0044)

콜은 전방향성 안테나의 사용을 기본 전제로 하고 있으며, 전방향성 안테나를 사용하여 두 센서 노드 간의 데이터 통신시 360° 전방향으로 하나의 무선 채널을 공유하여 전송한다. 이러한 특성은 채널의 불필요한 간섭과 충돌 및 전력이 전방향으로 분산되기 때문에 전파 범위의 축소와 불필요한 에너지 낭비 등과 같은 네트워크 성능에 있어서 효율성을 감소시킨다. 이러한 전방향성 안테나의 제약 사항 및 단점을 해결하기 위한 방안으로 지향성 안테나를 이용하는 접근 방안이 최근 활발하게 연구되고 있다. 관련 연구를 살펴보면 소스노드는 목적지노드, 목적지노드는 소스노드의 위치를 식별하기 위해 지향성 안테나를 사용하여 RTS와 CTS 메시지를 서로 교환하고, 데이터 패킷은 상대 노드에게 지향성 안테나를 이용하여 전송하는 방법론을 제안하고 있다[2]. 이와 관련하여 제안된 프로토콜에는 DMAC(Directional MAC)과 MMAC(Multi-Hop RTS MAC) 프로토콜이 있으며[3], DMAC 프로토콜은 IEEE 802.11 프로토콜과 비슷하게 동작되고, 지향성 안테나를 사용하여 높은 공간의 재사용을 가능하게 제공하므로, MMAC 프로토콜은 지향성 안테나의 확장된 데이터 전파 범위를 이용하여 멀리 떨어져 있는 노드들이 직접 통신할 수 있는 기능을 제공한다. 관련 연구[2][3]에서의 프로토콜에서는 지향성 안테나의 이점을 이용하여 유니캐스트 전송의 효율성을 향상시키는 방안에 대해서 제안하고 있다.

본 논문에서 제안된 SRDMAC 프로토콜은 전방향성 안테나는 갖고 있지 않으며, 단지 지향성 안테나 4개만을 사용하며, 프로토콜의 기능으로는 각각의 지향성 안테나를 사용하여 브로드캐스팅, 유니캐스팅을 제공할 수 있다. 기존의 RTS와 CTS 패킷을 RTS 패킷은 DRTS와 DRRTS 패킷으로, CTS 패킷은 DCTS 패킷과 DRCTS 패킷으로 두 가지로 구분지어 전송하게 된다. 따라서, 공간의 재사용으로 인한 활용도를 높일 수 있고, 무선 센서 네트워크에서의 Hidden terminal과 Exposed terminal 문제를 최소화시킬 수 있으며, 전방향성 안테나를 사용하거나 기존의 지향성 안테나를 사용할 때보다 보다 공간의 재사용도, 에너지 효율 및 패킷의 충돌 방지, 데이터 전송 범위 증가 등 많은 전체적인 자원의 활용도를 증가시킬 수 있다.

### 3. SRDMAC 프로토콜 요구사항

SRDMAC 프로토콜에 적용하기 위한 지향성 안테나 모델에 대하여 설명한다. 안테나 모델은 (그림 1)의 왼쪽 그림에서 보여주듯이, 각 센서 노드는 4개의 지향성 안테나를 사용하므로 전방향성 안테나를 사용할 때보다 전파 범위를 증가시킬 수 있다. 또한, 오른쪽 그림과 같이 지향성 안테나는 90°방향으로 각 안테나는 4개의 방향에 따른 각각의 #1, #2, #3, #4와 같은 식별 번호와 각각의 송신기와 수신기를 가지고 있다. 또한 90°방향 단위로 빔 폭과 원뿔형의 전송 패턴을 갖게 되며, 빔의 폭이 중첩되지 않게 고정하여 전방향인 360°로 지향하며, 안테나의 전파 전송 범위는 동일한 전송 범위를 갖게 된다.

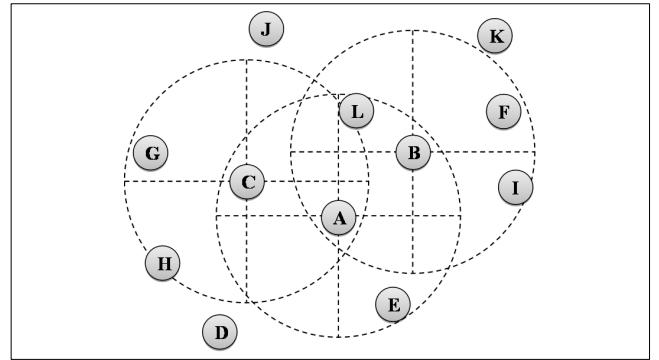


(그림 1) SRDMAC의 안테나 모델

### 4. MAC 테이블 구성

초기의 네트워크 구성은 센서노드는 N개로 무작위로 배치되며, 각 노드는 센서 네트워크에 초기에 배치되면 움직임이 없다고 가정한다.

무작위로 배치된 센서 노드는 각 노드들 간에 MAC 테이블 구성을 위해서 이웃 노드에게 패킷을 전송한다.



(그림 2) 네트워크 초기 구성

(그림 2)는 네트워크 구성을 위해 무작위로 배치된 센서 노드가 MAC 테이블을 구성을 위한 과정을 그림으로 표현한 것으로 알파벳 순으로 채널 점유하여 MAC 테이블 구성을 위한 패킷을 1사분면, 2사분면, 3사분면, 4사분면 순으로 브로드캐스트하게 한다고 가정을 한다. 가정에 따라, 가장 먼저 노드 A가 채널을 점유하여 MAC 테이블 구성 패킷을 브로드캐스트한다. 패킷을 전송한 후 일정 시간동안 응답 신호를 수신하여 노드 A의 MAC 테이블을 구성하게 되며, 일정 시간이 지난 다음에 도착한 응답 신호에 대해서도 MAC 테이블에 계속해서 추가하게 된다.

또한, 일정 시간이 지나면 다음 노드 즉 노드 B가 채널 경쟁을 통하여 노드 A와 같은 방식으로 MAC 테이블을 구성한다고 가정한다. 네트워크에 참가한 다른 모든 노드도 위와 같은 방법을 반복하여 지향성 안테나의 MAC 테이블을 구성하게 된다. 본 논문에서는 채널을 점유한 하나의 센서 노드가 전방향으로 동시에 MAC 테이블을 구성하기 위한 패킷을 전송하지 않고 안테나 번호 순서대로 MAC 테이블 구성 패킷을 전송함으로써 MAC 테이블 구성 패킷에 대한 응답 신호의 충돌을 최대한으로 줄이고, 패킷 충돌을 줄임으로서 에너지의 효율성을 높일 수 있다

는 이점을 얻을 수 있다.

위와 같은 방식으로 구성된 노드에 대한 지향성 안테나의 MAC 테이블은 <표 1>과 같이 구성되며, 노드 A의 MAC 테이블을 살펴보면, 노드 A의 #1 범위에는 B와 L, #2 범위에는 C, #3 범위에는 이웃 노드가 없으며, #4 범위에는 E가 위치하고 있다는 것을 알 수 있다. 결과적으로 4개 지향성 안테나 전파 범위 내에 있는 모든 이웃 노드가 MAC 테이블에 추가된다. 이렇게 구성된 MAC 테이블의 정보는 데이터를 전송할 때 사용하게 된다.

<표 1> 센서 노드 MAC 테이블 구성 예

Node A		Node B		Node C	
#1	B	#1	F	#2	G
#1	L	#2	L	#3	H
#2	C	#3	A	#4	A
#4	E	#4	I		

**5. SRDMAC 프로토콜 데이터 전송 과정**

네트워크에 모든 센서 노드들은 SRDMAC 프로토콜을 사용하여 데이터를 전송하게 되며, 데이터 전송하는 과정을 설명하기 전에, SRDMAC 프로토콜을 제안하기 위한 몇 가지 용어를 정의한다.

- DRTS : 소스 노드에서 목적지 노드가 위치한 사분면으로 전파되는 패킷
- DRRTS : DRTS가 전파된 사분면을 제외한 나머지 사분면으로 전파되는 패킷
- DCTS : 목적지 노드가 DRTS 패킷을 수신한 사분면 범위로 채널 예약을 위한 응답 신호로 전파되는 패킷
- DRCTS : DCTS가 전파된 사분면을 제외한 나머지 사분면으로 전파되는 패킷
- 통신보장영역 : 소스 노드와 목적지 노드가 1:1 통신 시 간섭을 받아서는 절대로 안되는 최소 영역으로 DRTS 패킷을 수신한 영역과 DCTS 패킷을 수신한 영역을 합한 영역

(그림 3)은 노드 A와 노드 B의 두 노드 간의 데이터 전송을 위해서 SRDMAC 프로토콜을 이용하기 위한 패킷의 종류에 따른 전파 전송 범위를 도식화한 것이다. 그리고, 노드의 위치는 목적지 노드 B는 소스 노드 A의 1사분면에 위치하고, 소스 노드 A는 목적지 노드 B의 4사분에 있다고 그림과 같이 가정한다. 두 노드는 다음과 같은 단계를 거쳐 데이터를 송수신하게 된다.

[1] 노드 A는 노드 B의 위치를 파악하기 위해 MAC 테이블의 정보를 분석하여, 노드 B가 1사분면에 있다는 것을 파악한다.

[2] 노드 A는 노드 B가 위치한 1사분면으로 #1 안테나를 사용하여 DRTS 패킷을 전송한다.

- DRTS 패킷을 수신한 모든 이웃 노드, 즉 통신보장 영역에 포함된 모든 노드들은 4개의 송신기를 모두 대기 모드로 전환한다.

[3] 노드 B는 노드 A로부터 DRTS 패킷을 수신한 안테나 #3 영역인 3사분면으로 DCTS 패킷을 전송한다.

- DCTS 패킷을 수신한 모든 이웃 노드 즉 통신보장 영역에 포함된 모든 노드들은 4개의 송신기를 모두 대기 모드로 전환한다.

[4] 노드 A는 노드 B로부터 DCTS 패킷을 수신한 다음 DRTS 패킷을 전송한 나머지 영역인 2, 3, 4사분면에 DRRTS 패킷을 전송한다.

- 2사분면의 이웃 노드 경우는 DRRTS 패킷의 수신 안테나 #4와 DRRTS 패킷에 포함된 안테나 정보 #1의 송신기를 대기 모드로 전환하고 나머지 #2와 #3 안테나 영역은 통신이 가능하다.

- 3사분면의 이웃 노드 경우는 DRRTS 패킷의 수신 안테나 #1와 DRRTS 패킷에 포함된 안테나 정보 #1이 같기 때문에 #1 안테나만 대기 모드로 전환하고 나머지 안테나 #2, #3, #4 영역은 통신 가능하다.

- 4사분면의 이웃 노드의 경우도 마찬가지로 DRRTS 패킷의 수신 안테나 #2와 패킷에 포함된 안테나 정보 #1을 제외한 #3과 #4 영역은 다른 노드와 통신이 가능하다.

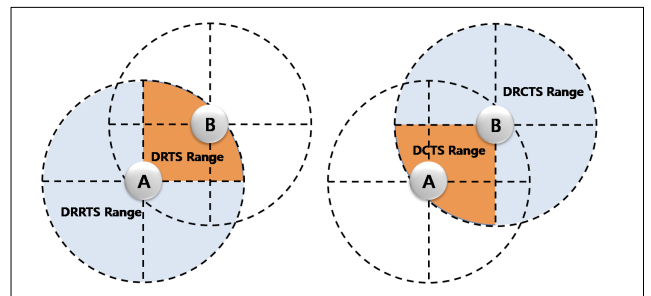
[5] 노드 B는 DCTS 패킷을 전송한 나머지 영역인 1, 2, 4사분면에 DRCTS 패킷을 전송한다.

- 노드 A와 마찬가지로 노드 B의 1, 2, 4사분면의 이웃 노드는 위치에 따라 DRCTS의 수신 안테나 번호와 DRCTS 패킷에 포함된 안테나 정보 #3의 영역을 제외하고는 모두 통신 가능하다.

[6] 위의 단계를 거치면서 두 노드 간의 채널이 확보되었으므로 노드 A가 B에게 DATA 패킷을 전송한다.

[7] 노드 B가 DATA 패킷을 완전하게 수신하였다면, 노드 A에게 ACK 패킷을 전송한 후, 이웃 노드와의 채널 예약을 해제한다.

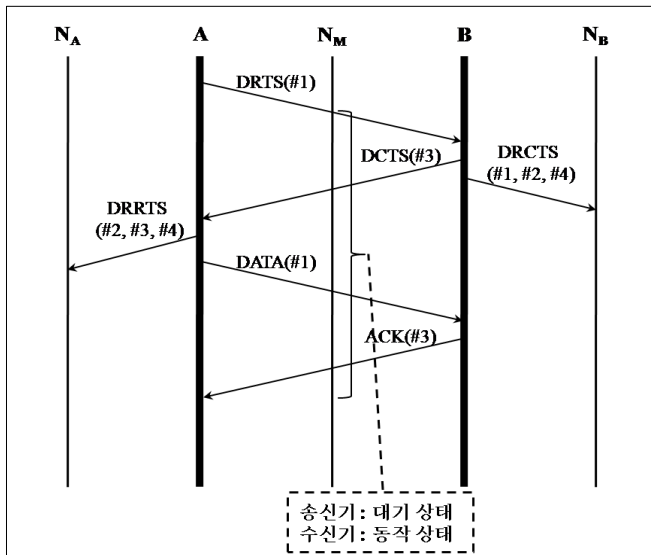
[8] 마지막으로, 노드 A가 ACK 패킷을 수신한 후, 이웃 노드와의 채널이 예약된 것을 해제한다.



(그림 3) 패킷 전송 범위

두 노드 간의 데이터 전송 과정을 단계별로 살펴보았다. 결과적으로 통신보장영역에 위치한 이웃 노드는 4개의 송신기를 모두 대기 모드로 전환하여 송신은 불가능하고 수신만 가능한 상태가 된다. 그리고, 통신보장영역을 제외한 이웃 노드 중에 소스 노드로부터 DRRTS 패킷, 목적지 노드로부터 DRCTS 패킷을 수신한 이웃 노드는 자신의 위치에 따라 4개의 지향성 안테나 영역 중 평균적으로 2개 이상의 안테나는 다른 노드와의 통신이 가능하게 되므로 공간 재사용이 가능하게 된다는 것을 알 수 있다.

아래의 (그림 4)는 (그림 3)의 노드 A와 노드 B간의 데이터 전송의 예로 통하여, SRDMAC 프로토콜의 데이터 전송 절차를 도식화한 것이다. 그림을 보면,  $N_A$ ,  $N_B$ 는 노드 A와 B의 통신보장영역에 포함되는 이웃 노드를 제외한 이웃 노드를 의미하며,  $N_M$ 는 노드 A와 B사이의 통신보장영역 안에 포함되는 이웃 노드를 의미한다.



(그림 4) SRDMAC의 데이터 전송 절차

## 6. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 무선 센서 네트워크에서 전방향성 안테나의 제약 사항 및 단점을 해결하기 위한 방안인 지향성 안테나를 사용하였고, 지향성 안테나 사용시 자원의 효율성을 극대화하기 위한 SRDMAC 프로토콜을 제안하였다.

제안된 프로토콜은 각각의 지향성 안테나를 사용하여 브로드캐스팅, 유니캐스팅을 제공할 수 있으며, 공간의 재사용 및 패킷의 충돌을 최소화하기 위한 목적으로 기존의 RTS와 CTS 패킷을 RTS 패킷은 DRTS와 DRRTS 패킷으로, CTS 패킷은 DCTS 패킷과 DRCTS 패킷으로 두 가지로 구분지어 제안하여 사용하였다.

이로 인해 얻어지는 이점으로는 전방향성 안테나를 사용하거나 기존의 지향성 안테나를 사용할 때 보다 공간의 재사용 및 패킷의 충돌을 최소화함으로써 불필요한 에너지 소비를 줄일 수 있고, 데이터 전송 범위 증가 등 전체

적으로 여러 가지 측면에서 자원의 활용도를 증가시킬 수 있다.

향후 연구 과제로는 제안한 SRDMAC 프로토콜을 성능 평가 및 검증을 통하여 공간의 재사용율과 및 데이터 충돌 회피를 통한 에너지 효율성을 확인할 필요가 있다.

## 참고문헌

- [1] IEEE Std. 802.11. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification, 1999.
- [2] A.Nasipuri, S.Ye, J.You and R.E.Hiromoto, "A MAC Protocol for Mobile Ad Hoc Networks using Directional Antennas", in Proceeding of IEEE WCNC, September 2000.
- [3] R.Choudhury, X.Yang, R.Ramanathan, and N.Vaidya, Using Directional Antennas for Medium Access Control in Ad Hoc Networks, Final report submitted by Texas A&M University to BBN technologies, July 2001.
- [4] Yu Wang, J.J.Garcia-Luna-Aceves, "Spatial Reuse and Collision Avoidance in Ad Hoc Networks with Directional Antennas", in Proceeding of IEEE GLOBECOM, November 2002.
- [5] Y-B.Ko, V.Shankarkumar, N.H.Vaidya, "Medium Access Control Protocols Using Directional Antennas in Ad Hoc Networks," in IEEE INFOCOM 2000, Mar 2000.