

---

# Wireless 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜에 관한 연구

이우철\* · 김동일\*\*

동의대학교 정보통신공학과

## The Study of MAC protocol for efficient Wireless Sensor Network

Woo-Chul Lee\* · Dong-il Kim\*\*

Dept. of Information & Comm., Dong-Eui University

E-mail : [adhoc@deu.ac.kr](mailto:adhoc@deu.ac.kr) · [dikim@deu.ac.kr](mailto:dikim@deu.ac.kr)\*\*

### 요 약

무선 센서망은 망의 사용목적에 따라 빛, 온도, 진동, 자기 영역, 바람 등을 감지 할 수 있는 센서와 컴퓨팅 기술로 통합된다. 무선 노드들은 센서에서 감지된 정보를 처리하는 신호 처리 기술과 측정자에게 정보가 도달하게 하는 통신 제어 기술과, 무선으로 구동되고 배터리를 사용하기 때문에 발생하는 제한적 에너지 관리 기술이 구현된다. 그 중 신뢰성 있는 측정 및 감지를 하고자 한다면 망의 지속시간의 비중이 크기 때문에 효율적인 에너지 관리 기술이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 하드웨어에서의 전원관리가 아닌 OSI 7계층 중 데이터 링크 계층에 해당하는 MAC(Medium Access Control)에서 기존의 무선 MAC 프로토콜인 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)과 무선 센서 MAC 프로토콜인 ER-MAC(Energy Rate Medium Access Control)에 대해 설명후 각각 프로토콜에 따른 망의 지속시간을 비교하여 효율성을 분석한다.

### ABSTRACT

Wireless sensor network combines sensing and computing technology which can sense light, temperature, vibration, magnetic field and wind etc, as each purpose of using those. Wireless nodes operate signal processing skill which has proceeded sensed information from the sensor, transmission which makes information reached to observer and limited energy managing skill which is needed on account of using battery to operate wireless. To make responsible measuring and sensing out of them, efficient energy management is so important to maintain life time of network. In this paper, after explaining CSMA/CA(carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance) traditional wireless MAC protocol, and ER-MAC(Energy Rate Medium Access Control) which are not managing resource of hardware but MAC(Medium Access Control), data-link layer out of OSI 7 layer. We would like to analyze those efficiency of power saving comparing with each protocol.

### 키워드

Sensor Network, Power Saving MAC, ER-MAC, CSMA/CA

### 1. 서 론

센서 네트워크(sensor network)는 물리공간의 상태인 빛, 소리, 온도, 움직임과 같은 물리적 데이터를 자가적으로 감지, 측정하여 중앙의 기본 노드(base-station)로 전달하기 위해 애드혹(Ad-hoc) 센서 노드로 구성되는 네트워크를 의미

한다. 센서 네트워크는 일반적으로 멀티홉(multi-hop) 무선망 형태의 분산 센서 노드들로 구성되는데, 센서노드들은 하나이상의 센서, 액추에이터(actuator), 마이크로 컨트롤러, EEPROM, SRAM, 플래시 메모리 그리고 근거리 통신 모듈로 구성된다. 센서 네트워크 기술은 센서와 무선 통신 기능을 이용하여 물리공간에서 측정할 아날

로그 데이터를 디지털 신호로 변환하고, 인프라망으로 연결된 기본 노드로 전달하는 입력시스템의 역할을 수행한다. 센서 네트워크의 개념은 새롭게 대두되고 있는 지능형서비스들인 지능형 환경 모니터링, 위치인지 서비스, 지능형 의료시스템, 지능형 로봇 시스템 등 다양한 분야에 적용되고 있다. 센서 네트워크 환경에서는 동시에 많은 수의 노드의 통신을 고려되어야 하기 때문에 MAC이 주요 사항으로 대두된다. 지금까지 음성 또는 데이터 무선 통신에 적합한 많은 MAC 프로토콜이 제안되었는데, TDMA(Time Division Multiple Access)방식, CDMA(Code Division Multiple Access), 그리고 IEEE 802.11 등으로 분류된다. 그러나 이러한 MAC 프로토콜들과 달리 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜은 센서노드의 특성상 제한된 전력으로 인해 에너지 소비를 줄일 수 있는 기술이 필수 요소이다. 센서 노드들은 주로 배터리 전원을 이용하고, 충전이 어렵기 때문에 수명을 길게 하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 무선 센서 네트워크에 적합하도록 에너지 소모를 줄일 수 있는 MAC 설계 기법을 제안한다. 본 논문의 2장에서는 센서네트워크와 무선 MAC프로토콜을 설명하면서 IEEE 802.11과 S-MAC과 에너지 예측 기반의 무선 센서 MAC 프로토콜 프로토콜에 대해서 살펴보고, 3장에서 시뮬레이션 한 결과를 가지고 각각의 프로토콜들을 비교 분석한다.

## II. 본 론

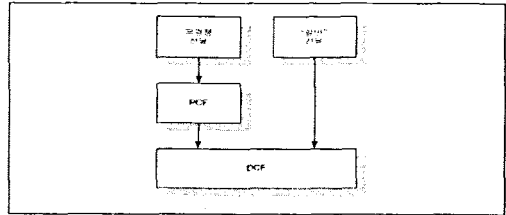
### 2.1 센서 네트워크 기본동작

센서 노드들은 Ad-hoc 네트워크에서의 노드처럼 생각할 수 있지만, 이동성이 거의 없다는 것이 크게 다른 점이라 할 수 있다. 각각의 센서 노드들은 특정 사항을 감지하기 전까지 전력을 줄이기 위해 긴 시간 동안 비활동 상태에 있게 된다. 그후 원하는 것이 감지되면 활동 상태로 들어가는 동작을 반복한다.

### 2.2 MAC 접근 모드와 타이밍

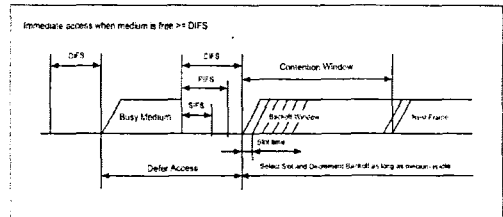
무선 매체에 대한 접근은 조정 함수를 이용하며, 이더넷과 같은 CSMA/CA접근은 분산 조정 함수(DCF : Distributed Coordination Function)에 의해서 제공된다. 만약 무경쟁 서비스가 필요하다면, 포인트 조정함수 (PCF : Point Coordination Function)를 이용할 수 있는데, 무경쟁 서비스는 인프라 스트럭처 네트워크에서만 제공된다. 조정 함수는 <그림 2.2>과 같다. DCF는 표준 CSMA/CA접근 메커니즘의 기초이다. 이더넷과 마찬가지로 전송하기 전에 무선 링크가 깨끗한지 검사하며, 각 프레임의 종료 시점에서 Back-Off를 사용한다. 환경에 따라 DCF는 충돌의 가능성을 좀 더 줄이기 위하여 CTS/RTS

클리어링 기법을 사용한다.



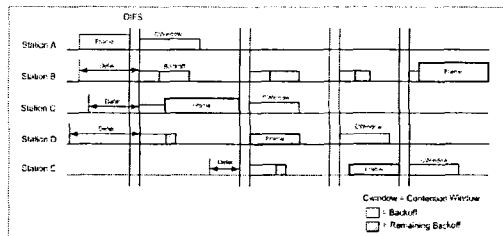
<그림 2.2 MAC 조정 함수>

PCF는 무경쟁 서비스를 제공한다. 포인트 조정자라고 부르는 특수한 스테이션은 매체가 경쟁 없이 제공됨을 보장한다. 포인트 조정자는 액세스 포인트 내에 위치하므로, PCF는 인프라 스트럭처 네트워크로 한정된다. 표준 경쟁에 기초한 서비스의 우선권을 획득하기 위하여 PCF는 스테이션으로 하여금 더 짧은 기간 후에 프레임 전송한다. IEEE 802.11은 MAC동작에서 여러 가지 옵션을 위하여 패킷의 전송 사이에 3가지 IFS(Inter Frame Spacing)를 권고하고 있다. 이것은 DIFS(DCF Inter Frame Spacing), PIFS(PCF Inter Frame Spacing), SIFS(Short Inter Frame Spacing)을 말하며 지속 시간으로 볼 때 DIFS가 가장 길고 PIFS, SIFS순으로 지속 시간이 길다. <그림 2.3>에서 단말기가 송신할 데이터가 있는 경우 채널이 유희상태인지 확인하고 유희 상태이면 DIFS만큼 기다린 후 데이터를 전송한다. 만일 다른 쪽에서 패킷을 전송하여 채널이 비지 상태라면 단말기는 전송이 완료될 때까지 기다리고 백오프 값을 랜덤하게 결정하여 놓는다. 다른 쪽의 패킷 전송이 완료되면 DIFS만큼의 시간을 기다리며 채널의 유희상태를 점검한다.



<그림 2.3 기본적인 액세스 방법>

DIFS시간 동안 채널이 유희상태가 되면 단말기들은 송신을 위한 경쟁에 들어간다. 각 단말기는 백오프 시간만큼 더 채널의 유희상태를 체크하고, 백오프 시간이 가장 짧은 단말기가 먼저 전송을

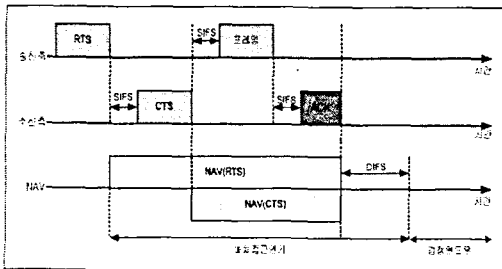


<그림 2.4 Back-off 절차>

시작한다. 이때 다른 단말기들은 새로운 전송을 감지하게 되며 그들의 백오프 타이머를 정지시켜 다음 경쟁시에 다시 사용한다. <그림2.4> Back-off 절차에서 다른 단말기에 의해 데이터 전송을 실패하였을 때 이전에 사용했던 나머지 값을 사용하므로 다음 경쟁 시 점점 백오프 시간이 짧아짐을 알 수 있다.

2.3 반송과 감지 기능과 네트워크 할당 벡터

802.11에서 매체가 이용 가능한지 결정하기 위하여 물리적 반송과 감지, 가상 반송과 감지가 사용된다. 매체가 사용중이라면, MAC은 이를 상위 계층에 보고한다. 물리적 반송과 감지 기능은 물리 계층에서 제공하며, 사용되는 매체와 변조 방식에 의존한다. 그리고 숨겨진 노드 문제 때문에 물리적인 반송과 감지는 충분한 모든 정보를 제공할 수 없다. 가상 반송과 감지는 네트워크 할당 벡터(NAV : Network Allocation Vector)가 제공한다. NAV는 매체가 예약된 경우의 시간 정보를 의미하는 타이머다. 스테이션은 현재 동작을 완료하는데 필요한 모든 프레임들을 포함하여 매체를 사용할 것으로 예상되는 시간을 NAV에 설정한다. 다른 스테이션의 NAV가 0이 아니면, 가상 반송과 감지 기능은 매체가 사용 중임을 지시하며, 0이 되면 가상 반송과 감지 기능은 매체가 한가함을 지시한다.

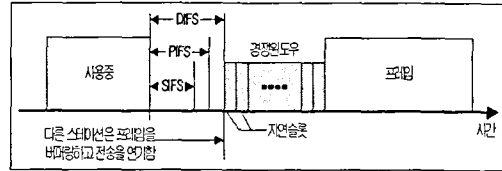


<그림 2.5 가상 반송과 감지를 위한 NAV사용>

<그림 2.5>에서 시퀀스가 방해받지 않음을 보장하려면, 노드는 RTS가 전송될 때, 매체로의 접근을 막기 위하여 RTS내에서 NAV를 설정해야 한다. 그러나 네트워크에 있는 모든 스테이션은 RTS프레임을 반드시 들어야 할 필요는 없다. 수신 측에서는 더 짧은 NAV를 가진 CTS로 응답하며, 이 NAV는 전송이 끝날 때까지 다른 스테이션이 매체에 접근하는 것을 막는다. 이러한 시퀀스가 완료된 후, 그림 오른쪽의 경쟁 윈도우 시작점까지 표시된 DIFS(Distributed InterFrame Space)가 지나면, 매체는 어떤 스테이션이라도 사용 가능하게 된다. RTS/CTS교환은 다중 중첩된 네트워크처럼 밀집된 영역에서 유용하다. 스테이션이 다른 네트워크에 있는 것으로 구성되어 있다고 하더라도, 동일한 물리적 채널에 있는 모든 스테이션은 NAV를 수신할 수 있고, 접근을 적절하게 연기할 수 있다.

2.4 프레임간 간격

전통적인 이더넷과 마찬가지로, 프레임간 간격은 전송 매체로의 접근을 관리하는데 중요한 역할을 한다. IEEE 802.11은 네 개의 서로 다른 프레임간 간격을 사용하는데 매체 접근을 결정할 때에는 세 개의 간격을 사용한다. 여러 개의 프레임간 간격은 각각의 트래픽 유형마다 다른 우선권 수준을 제공하며 원리는 간단하다. 우선권이 높은 트래픽이 매체의 점유를 기다리고 있다면, 낮은 우선권의 프레임이 시도하기 전에 MAC을 차지한다.



<그림 2.6 프레임간 간격의 관계>

SIFS(Short InterFrame Space)는 RTS/CTS프레임이나 긍정 확인 응답과 같은 최고 우선권을 가진 프레임의 전송을 위하여 사용된다. 고수준의 우선권을 가진 프레임은 SIFS가 지난 후에 통신을 시작할 수 있다. PIFS(PCF InterFrame Space)은 무경쟁 동작 중에 PCF에 의해서 사용되며, 무경쟁 주기 동안 전송할 데이터를 가지고 있는 스테이션은 PIFS만큼의 시간이 지난 후에 전송을 시작할 수 있다. 이것은 다른 경쟁 기반의 트래픽보다 우선권을 가진다. DIFS(DCF InterFrame Space)는 경쟁 기반의 서비스에서 최소의 매체 비사용 시간을 갖는다. DIFS보다 더 긴 시간이 지나고 있는 동안 매체가 비사용 중이면, 스테이션은 매체로 곧바로 접근하여 사용할 수 있다.

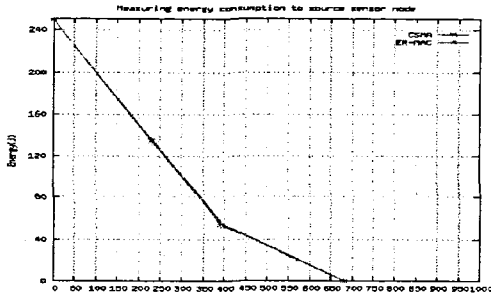
III 시뮬레이션

4.1 시뮬레이션 파라미터

구 성 옵션	구 성 값
채 널 타 임	Wireless Channel
무 선 전 파 모 델	Two Ray Ground
네트워크 인터페이스	SimplePhy
M A C 타 임	SMAC, CSMA/CA, ER-MAC
링 크 모 델	LL
안 테 나 모 델	OmniAntenna
큐 갯 수	50개
크 기	1000 × 1000(M)
라 우 팅 모 델	AODV
응 용 모 델	Application/Traffic/CBR
송신패킷 소비전력	3.0mA
수신패킷 소비전력	1.0mA
휴면 소비 전력	0.5mA
에 너 지 량	250J
노 드 수	10개
시 뮬 레 이 션 톨	NS-2

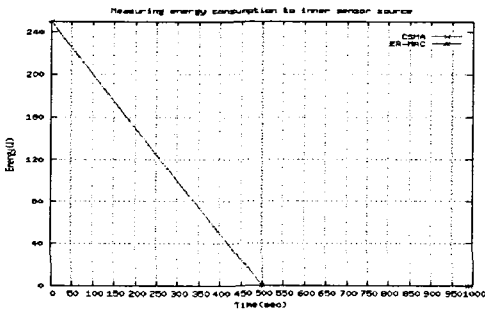
4.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과적으로 ER-MAC의 성능이 CSMA/CA에 비해 에너지 특성이 좋으며, ER-MAC 프로토콜은 TDMA 한주기를 통한 처음 리더 설정 및 에너지 임계 값 계산 시 문제를 어느 정도 보이고 있지만, 실제 모든 노드의 균등한 에너지 상태는 불가능하기 때문에 시뮬레이션 파라메타에서 노드마다 랜덤한 에너지 값을 주어야 한다. <그림 4.1>에서 시뮬레이션 시간이 지날수록 ER-MAC이 망의 지속 시간이 길다는 것을



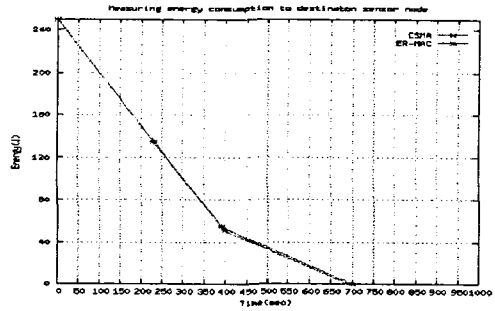
<그림 4.1 송신측노드의 지속시간>

확인하게 된다. 이는 에너지 계산 기반의 프로토콜이 망 전체의 에너지 소비를 최소화한 동등하게 소비하기 때문이며, CSMA/CA는 망의 에너지를 동등하게 사용하지 않기 때문이다. <그림 4.2>에서 중앙노드에서의 소비는 큰 차이를 나타내지



<그림 4.2 중앙노드의 지속시간>

않으며, 중앙 노드들은 전송에 대해 직접적으로 관여 하며, 계속 깨어 있어야 하기 때문에 짧은 지속시간을 나타내고 있다. MAC 계층의 에너지에 많은 영향을 끼치지 않으며, 네트워크 계층에서의 연구가 더 필요하다. <그림 4.3> 그래프에서는 현재 ER-MAC이 가장 적은 소비를 보여주며, 이것은 초기에 NS-2에서 에너지가 동등하게 주어지기 때문에 발생하는 문제로서 각각의 노드들의 임계값 설정과 리더 설정시 기존의 TDMA와 동등하게 사용되는 것을 볼 수 있다. 차후 에너지 값을 랜덤하게 가지게 된다면 에너지 값은 달라질 것이다.



<그림 4.3 수신측노드의 지속시간>

### III 결론

본 논문에서는 무선 센서망에 구현되는 새로운 MAC 프로토콜의 에너지 특성에 대해서 보여주며, 기존에 성능이 확인된 CSMA/CA와 비교하였을 때 ER-MAC은 에너지 특성이 좋지 않는 사실을 알 수 있다. 수신측과 송신 측에서 발생한 에너지 소비 시간 실험 결과는 고정된 에너지 값에서 나온 에너지 소비 측정값을 뜻하며 많은 변수를 가진 에너지 처리에 있어서 평균적인 에너지 소비가 가능하다는 것을 알 수 있다. 차후 랜덤한 에너지 값을 가지면서 발견되는 에너지 불특정 문제점에 대해 추가적인 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] Nokia, "Wireless Broadband Access-Nokia Rooftop Solution," Nokia Network References, <http://www.wbs.nokia.com/solution/index.html>, 2001.
- [2] S. L. Wu, Y. C. Tseng, and J. P. Sheu, "Intelligent Medium Access for Mobile Ad Hoc Networks with BusyTones and Power Control," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, pp. 1647~1657, Sep 2000.
- [3] L. Hu, "Topology Control for Multihop Packet Radio Networks," IEEE Transactions on Communications, vol. 41, pp. 1474~1481, Oct 1993.
- [4] R. Ramanathan and R. Rosales-Hain, "Topology Control of Multihop Wireless Networks using Transmit Power Adjustment," IEEE INFOCOM, pp. 404~413, 2000.
- [5] R. Wattenhofer, L. Li, P. Bahl, and Y. M. Wang, "Distributed Topology Control for Power Efficient Operation in Multihop Wireless Ad Hoc Networks," IEEE INFOCOM, pp. 1388~1397, 2001.