

논문 2011-4-8

# 무선 센서 네트워크에서 에너지 효율을 위한 반송파 감지지역의 충돌방지 전력제어

## Collision Avoidance Power Control of Carrier Sensing Zone for Energy Efficiency in Wireless Sensor Network

김창복\*, 김남일\*\*

Chang-Bok Kim, Nam-Il Kim

**요 약** 무선 센서 네트워크에서, IEEE 802.11은 센서노드간에 최대전력을 사용하여 패킷을 전송하기 때문에, 불필요한 에너지 소모가 발생한다. BASIC구조는 RTS-CTS패킷 전송에 최대 전송전력을 사용하며, 에너지 효율을 높이기 위해서 DATA-ACK전송에 최소한으로 필요한 전송전력을 사용한다. 그러나 BASIC구조는 반송파 감지지역의 노드에 의한 ACK패킷의 충돌로 인해 네트워크 수율이 떨어지며, 전력제어를 하지 않는 IEEE 802.11을 사용할 때 보다 더 높은 에너지 소모를 가진다. 기존에 제안된 PCM(Power Control MAC)구조는 ACK패킷의 충돌을 피하기 위해, 반송파 감지지역에서 DATA패킷의 전송을 감지하기 위해 주기적으로 최대 전력레벨로 DATA패킷 전송방법을 이용하였다. 본 논문에서는 기존의 PCM구조의 에너지 효율에 대한 문제점을 제시하고, 보다 높은 에너지 효율을 가진 개선된 PCM구조를 제안하였다.

**Abstract** In Wireless Sensor Networks, IEEE 802.11 happen unnecessary energy consume because of packet transmission using maximum power between sensor node. The BASIC scheme is to use maximum transmission power for RTS-CTS and minimum required transmission power so as to high energy efficiency for DATA-ACK. However BASIC scheme may degrade network throughput with collision of ACK packet by node in carrier sensing zone and may result in higher energy consumption than when using IEEE 802.11 without power control. Existing PCM(Power Control MAC) scheme is to use DATA packet transmission method by periodically maximum power level so as to sensing DATA packet transmit in carrier sensing zone of transmission node, and this method can avoid collision of ACK packet. This paper present problem by energy efficiency of PCM scheme, and design some more improved PCM scheme.

**Key Words** : IEEE 802.11, BASIC, PCM, Power Control, Energy Efficiency, MAC Protocol

### 1. 서 론

무선 센서네트워크(WSN : Wireless Sensor Network)는 고성능 지능형 센서노드를 이용하여, u-city, u-헬스

케어, 홈 네트워크 등 유비쿼터스 응용분야에서 광범위하게 사용되고 있다. 지능형 센서노드는 임베디드 프로세서, 저 전력 RF칩, 건전지 등으로 구성되어 있으며, 데이터의 수집 및 처리 그리고 처리된 정보를 목적지에 전송하는 기능이 있다. WSN은 에너지 효율성(Efficiency), 전송지연(Latency), 수율(Throughput), 확장성(Scalability) 등을 고려하여 설계하여야 한다. 특히, 높은 이동성을 유지하기 위해, 건전지와 같은 제한된 전력을 사용해야 하

\*정회원, 가천의과학대학교 정보공학부 교수

\*\*중신회원, 가천의과학대학교 정보공학부 교수(교신저자)

접수일자 2011.6.7, 수정일자 2011.7.13

게재확정일자 2011.8.12

기 때문에, 에너지 효율성 있는 설계가 매우 중요한 문제이다. 센서노드의 가장 높은 에너지 소모는 노드간 RF 통신에 의해 발생하기 때문에, 최적의 RF 통신방법이 필요하다. 최근, 에너지 소모를 줄일 수 있는 MAC(Media Access Control)프로토콜과 RF 전력제어(Power Control)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup>.

MAC프로토콜은 낮은 듀티 사이클(Duty Cycle)동작으로, 에너지 소모를 줄이는 방법이다<sup>[2-3]</sup>. 즉, 주기적으로 활성(Active)상태와 수면(Sleep)상태를 반복하면서, 활성상태일 때 RF 송수신기에 전력을 공급하여 통신을 수행하고, 수면상태일 때 전력을 차단하는 방식으로, 에너지 소모를 감소하는 방법이다. RF 전력제어는 패킷전송에 필요한 최적의 전력수준을 유지하여, 에너지 소모를 줄이는 방법이다<sup>[4-5]</sup>. 필요이상의 높은 전력사용은 에너지 소모가 많을 뿐 아니라, 인접 노드에 상대적으로 많은 간섭이 발생되어 패킷의 재전송에 의해 또 다른 에너지 소모 요인이 된다.

본 논문에서는 기존의 전력제어 방법인 IEEE 802.11, BASIC 전력제어에 대해서 관련연구와 전력제어의 문제점을 기술하고, 기존의 전력제어의 문제점을 해결하기 위해 제안된 PCM(Power Control MAC) 전력제어 방법에 대해서 논의한다. 최종적으로 제안된 PCM 전력제어 방식의 에너지 소모요인에 대해서 논의하고 에너지 소모를 최소화할 수 있는 PCM 전력제어 방법을 제안한다.

## II. 관련연구

### 1. IEEE 802.11

IEEE 802.11은 무선랜을 위한 규격모음으로서, 현재 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n 등 다양한 규격들이 있다. 802.11 규격의 핵심요소는 모든 물리계층 위에 올라갈 수 있는 MAC 프로토콜 기술로서, 데이터를 무선매체에 전송하는 것을 제어하는 기술이다.

IEEE 802.11은 패킷 충돌문제를 감안한 CSMA/CA방식을 이용하는 DCF(Distributed Coordination Function)에 기반을 두고 있다<sup>[6]</sup>. CSMA/CA방식은 데이터를 전송하기 전에 현재 무선매체의 상태를 확인하고, 어느 노드도 통신을 하고 있지 않을 때, 데이터를 전송하는 경쟁기반 무선매체 접근방식이다. 즉, 어느 노드가 무선매체를 이용하여 전송을 시도할 때, 이미 다른 노드에서 데이터

를 전송하고 있다면, 백오프(Backoff) 규칙을 이용하여, 0부터 N까지 숫자 중 랜덤하게 하나의 숫자를 선택한 후, 그 숫자만큼 기다린 다음 다시 데이터 전송을 시도하는 방법이다.

이와 같이 IEEE 802.11은 패킷충돌 문제를 줄이기 위해, CSMA/CA 통신방식을 사용하지만, 해결될 수 없는 숨겨진 노드(Hidden Terminal)문제가 있다. 그림 1(a)에서 노드 A가 노드 B에게 데이터를 전송하고 있을 경우, 노드 C는 노드 A의 데이터 전송여부를 감지할 수 없다. 이때 노드 C가 노드 B에게 전송할 경우, 노드 B에서 노드 A와 C에서 전송된 두 패킷이 충돌하게 된다. 그림 1(b)에서, 송신노드는 데이터를 전송하기 전에, 데이터 전송시간을 RTS패킷에 넣어 노드 B에 전송한다. 또한, 노드 B는 수신할 데이터의 전송시간을 CTS패킷에 넣어, 노드 B뿐 아니라 주변 이웃노드 즉, 노드 C에도 전송한다. 따라서, 노드 B주변에 있는 모든 노드들은 CTS 패킷을 통해, 노드 A와 B가 현재 데이터 통신을 하려고 한다는 사실을 파악할 수 있으며, 또 다른 노드에서 노드 B에 데이터 전송을 방지할 수 있다.

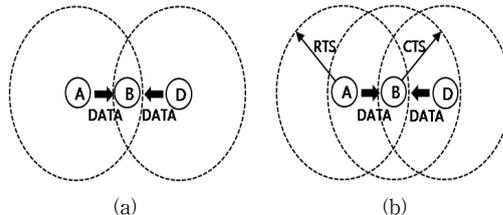


그림 1. 숨겨진 노드와 충돌 해결  
Fig. 1. Collision solution of hidden node

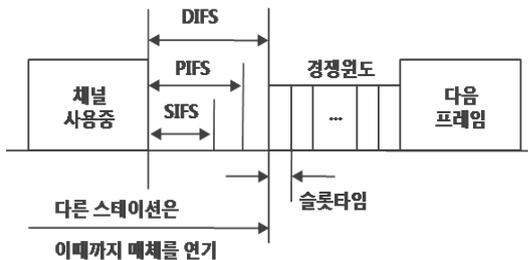


그림 2. 프레임 시간 간격  
Fig. 2. Frame time space

IEEE 802.11은 SIFS(Short IFS), PIFS(PCF IFS), DIFS(DCF IFS), EIFS(Extends IFS) 등의 패킷 간 시간간격을 나타내는 IFS(interframe space)를 정의하여, 무

선매체 접근을 위한 우선순위 레벨을 제공한다. SIFS는 RTS, CTS, ACK패킷 전송시 사용하며, 최고 우선순위를 가진다. PIFS는 PCF패킷 전송시 사용하며, DIFS는 DCF패킷 전송시 사용한다. 또한, EIFS는 패킷 전송 오류발생시에 사용하며, 고정간격이 아니다.

2. IEEE 802.11 전력제어

IEEE 802.11은 최대전력을 사용하여 패킷을 전송하기 때문에, 불필요한 에너지 소모가 발생한다. 무선 센서네트워드는 노드간에 패킷을 전송할 때, 패킷의 송수신 및 신호감지 여부에 따라 전송영역(transmission range), 반송파 감지영역(carrier sensing range), 반송파 감지지역(carrier sensing zone) 등으로 분류된다<sup>[7]</sup>.

전송영역은 수신노드가 송신노드의 신호를 감지할 수 있으며, 패킷을 해석할 수 있는 영역이다. 반송파 감지영역은 수신노드가 패킷의 해석여부와 상관없이 송신노드의 신호를 감지할 수 있는 영역으로, 전송영역의 두 배 이상의 거리를 가진다. 반송파 감지지역은 반송파 감지영역에서 전송영역을 배제한 영역으로, 각 노드가 신호를 감지할 수는 있지만, 패킷을 해석할 수 없는 지역이다. 그림 1에서, 노드 C가 패킷을 전송할 때, 노드 B와 D는 전송영역에 있기 때문에, 신호를 감지할 수 있으며, 패킷을 해석할 수 있다. 그러나 노드 A와 E는 반송파 감지지역에 있기 때문에 신호를 감지할 수는 있지만, 패킷을 해석할 수 없다.

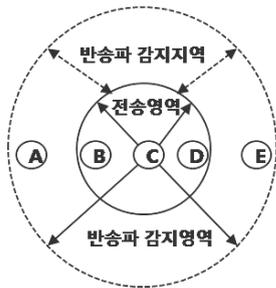


그림 3. IEEE 802.11의 노드 감지 범위  
Fig. 3. Node sense range of IEEE 802.11

반송파 감지는 공간 인터페이스에 의한 물리감지 뿐 아니라, 가상감지를 이용하여 수행한다. 가상감지는 RTS, CTS, DATA패킷의 헤더에 포함된 기간(duration) 필드를 사용하여, ACK패킷의 수신시간을 추론하는데 사용된다. 또한, 기간필드는 전송세션의 남아있는 시간을

나타내는 NAV(Network Allocation Vector)를 설정하는데 사용된다. 송수신 노드가 RTS와 CTS패킷을 전송했을 때, 전송영역내의 노드들은 패킷을 정확하게 수신할 수 있어, 패킷의 기간필드를 이용하여 NAV를 설정할 수 있지만, 반송파 감지지역의 노드들은 단지 신호를 감지할 수 있을 뿐, 패킷을 해석할 수 없기 때문에, 기간필드를 이용한 NAV설정이 불가능하다. 그러나 반송파 감지지역에서도 busy에서 idle로 무선매체의 변화가 감지됐을 때, EIFS기간으로 NAV를 설정할 수 있다. 그림 4는 전송영역과 반송파 감지지역에 있는 노드들의 NAV 설정에 대한 흐름을 나타냈다.

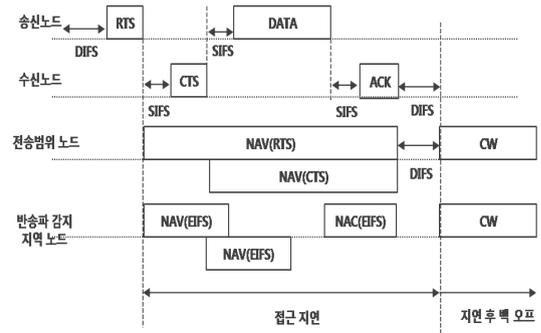


그림 4. IEEE 802.11의 NAV 설정  
Fig. 4. NAV set-up of IEEE 802.11

EIFS는 SIFS, DIFS 그리고 물리계층의 가장 낮은 전송률에서 ACK패킷을 전송하기 위한 시간길이를 사용하여 다음과 같이 계산한다.

$$EIFS = SIFS + DIFS + \frac{(8 \times ACKsize) + preambleLength + PLCPHeaderLength}{BitRate} \quad (1)$$

ACKsize는 ACK패킷 크기이며, preambleLength는 144비트, PLCPHeaderLength는 48비트이며, BitRate는 물리계층의 가장 낮은 전송률이다. 만일 1Mbps 전송률인 경우, 계산에 의해 EIFS는 364us가 된다<sup>[8]</sup>.

IEEE 802.11은 4-헨드셰이크를 이용하여 숨겨진 노드에 의한 충돌문제를 방지하였지만, 완벽하게 해결하지는 못한다. 그림 5에서, 노드 C에서 D에 패킷을 전송한다고 가정하자. 노드 C와 D가 RTS와 CTS를 전송할 때, 노드 A와 F는 RTS와 CTS의 반송파 감지지역이므로, EIFS를 이용해서 NAV를 설정할 것이다. 또한, 노드 C의 DATA 전송동안에, 노드 A는 C의 DATA전송을 감지하

기 때문에 전송을 지연할 것이다. 그러나 노드 F는 노드 C의 반송파 감지지역이 아니기 때문에, 노드 C의 DATA 전송을 감지하지 못한다. 따라서, 노드 F는 무선매체가 노드 C의 DATA패킷 전송기간 동안 idle이 되어, NAV가 설정되지 않으므로, 새로운 전송을 시도할 수 있어, 노드 D의 ACK패킷과 충돌을 일으킨다.

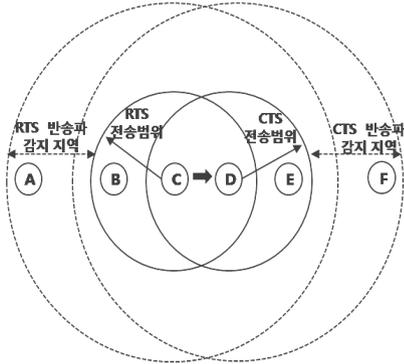


그림 5. IEEE 802.11의 패킷 충돌  
Fig. 5. Packet collision of IEEE 802.11

이와 같은 비대칭 상황에 대한 해결방법으로 제안된 BASIC구조는 RTS-CTS패킷은 가능한 가장 높은 전력레벨로 전송하고, DATA-ACK패킷은 통신이 가능한 가장 낮은 전력레벨로 전송한다<sup>[9-10]</sup>. 그림 7에서, 노드 A와 B는 노드 C의 비대칭 상황에 의한 충돌문제를 해결하기 위해, 가장 높은 전력레벨로 RTS-CTS패킷을 전송하고, 통신이 가능한 낮은 전력레벨로 DATA-ACK패킷을 전송한다.

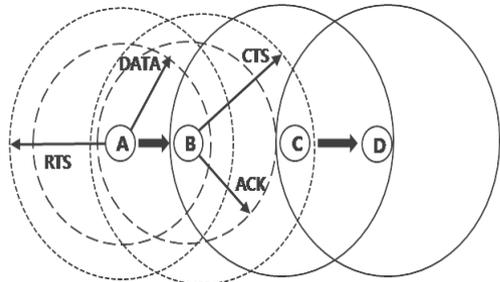


그림 7. BASIC 구조  
Fig. 7. Basic scheme

BASIC구조의 에너지 효율 프로토콜을 다음과 같다. 여기서  $P_{max}$ 는 최대 전력레벨을 의미한다.

### III. 기존의 전력제어 MAC

#### 1. BASIC 전력제어 프로토콜

전력제어는 에너지 소모를 감소할 수 있지만, 전력제어에 의해 노드간에 다른 전송전력을 사용할 경우, 비대칭 상황에 의해서 충돌을 증가하는 결과를 발생할 수 있다. 그림 6과 같이, 노드 A와 B는 노드 C와 D보다 낮은 전송전력을 사용한다고 가정하자. 이때, 노드 A가 노드 B에 패킷을 송신할 경우, 노드 C와 노드 D에 감지되지 않을 수 있으며, 만일 노드 C와 D가 더 높은 전력으로 서로 간에 전송을 했을 때, 노드 A와 B에 송수신되는 패킷과 충돌할 수 있다.

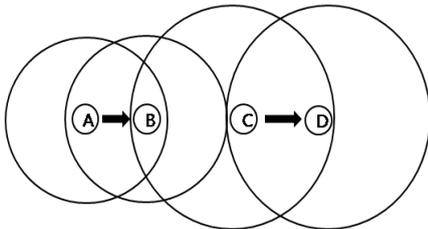


그림 6. 전력 비대칭에 의한 충돌 증가  
Fig. 6. Collision increase by power asymmetry

방법 1 : 송신노드는  $P_{max}$ 로 RTS패킷에 전력레벨  $P_r$ 을 포함하여 수신노드에 전송한다. 수신노드는 RTS패킷에 포함된 전력레벨  $P_r$ 을 기반으로, 현재의 잡음을 계산에 포함하여, 통신 가능한 가장 낮은 전력레벨  $PI$ 를 계산하며, CTS패킷에 포함하여 송신노드에 전송한다. 송신노드는 CTS에 명시된 전력레벨  $PI$ 를 사용하여 DATA패킷을 보낸다. 또한, 수신노드는 전력레벨  $PI$ 를 사용하여, ACK패킷을 송신노드에 전송한다.

방법 2 : 방법 1과 동일하게, 수신노드가 전력레벨  $P_r$ 이 포함된 RTS패킷을 수신했을 때, 다시  $P_{max}$ 로 송신노드에 CTS패킷을 전송한다. 송신노드가 CTS를 받았을 때, 수신된 전력레벨  $P_r$ 과 전송된 전력레벨  $P_{max}$ 를 기준으로 하여, 다음 식과 같이  $PI$ 를 계산한다.

$$PI = [P_{max} / P_r] \times Rx_{thresh} \times C \quad (2)$$

여기서  $Rx_{thresh}$ 는 최소한으로 필요한 신호세기이고,  $C$ 는 상수로서 일반적으로 1로 설정한다<sup>[11]</sup>. 송신노드는 계산된 값  $PI$  전력레벨을 사용하여 DATA를 전송한다. 또

한, 동일한 방법으로 ACK패킷의 전송전력은 수신노드가 RTS를 전송받았을 때 결정된다.

BASIC구조는 각 노드간 비대칭 상황에 대한 충돌을 방지할 수 있다. 그러나 BASIC구조는 여전히 숨겨진 노드로 인한 충돌이 발생한다. 그림 8에서, 노드 D에서 E에 패킷을 전송한다고 가정하자.

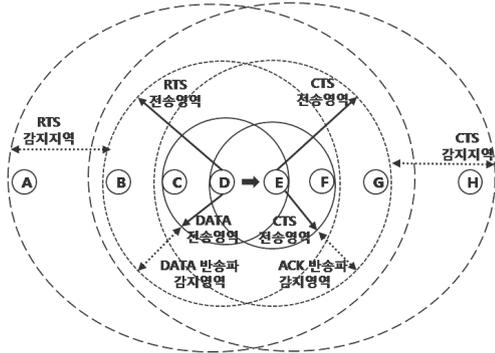


그림 8. BASIC 구조의 문제점  
Fig. 8. problem of Basic scheme

노드 D와 E가 각자 RTS-CTS패킷을 전송했을 때, 노드 B와 C는 RTS 그리고 노드 F와 G는 CTS패킷을 수신하여, B, C, F, G노드들은 노드 D와 E의 DATA패킷 전송기간에 전송을 지연한다. 또한, 노드 A는 노드 D가  $P_{max}$ 로 RTS패킷을 전송했을 때, 노드 D의 반송파 감지지역 안에 있기 때문에, 신호를 감지할 뿐 패킷을 해석할 수 없다. 따라서, 노드 A는 노드 D로부터 RTS 패킷신호를 감지했을 때, EIFS로 NAV를 설정한다. 또한, 노드 H는 노드 E로부터 CTS 전송을 감지했을 때, EIFS로 NAV를 설정한다. 그러나 BASIC구조는 DATA-ACK패킷에 대한 전송전력을 감소하기 때문에, 전송범위와 반송파 감지지역이 RTS-CTS패킷보다 작다. 그러므로 노드 C와 F는 각자 DATA와 ACK패킷을 제대로 받을 수 있지만, 노드 A와 H는 전송을 감지할 수 없기 때문에, 무선매체가 idle이 된다. 또한, DATA패킷 전송기간은 EIFS보다 크기 때문에, 노드 A와 F는 DATA패킷이 전송되기 전에 NAV가 종료된다. 이때, 노드 A 또는 F 중에서 어느 노드가  $P_{max}$ 로 전송을 시작하면, 노드 D의 ACK패킷과 노드 E의 DATA패킷과 충돌을 일으킨다. 이것은 수율의 감소와 에너지 소비를 발생하는 결과를 나타낸다<sup>[7]</sup>.

## 2. PCM 프로토콜

PCM(Power Control MAC)은 DATA패킷 전송기간보다 짧은 EIFS를 가짐으로서, DATA패킷 전송기간에 NAV가 종료됨으로서 발생하는 패킷 충돌에 대한 BASIC구조의 문제점을 해결하기 위해 제안되었다. PCM구조의 전력제어 프로토콜은 다음과 같다<sup>[7]</sup>.

단계 1 : 송수신노드는  $P_{max}$ 를 사용하여, RTS-CTS패킷을 전송한다. 이 때, 반송파 감지지역의 노드들은 EIFS기간으로 NAV를 설정한다.

단계 2 : 송수신노드는 BASIC구조와 유사하게, RTS-CTS패킷에서 전송된 전력레벨을 이용하여, 통신 가능한 가장 낮은 전력레벨  $PI$ 를 계산하여, DATA패킷을 전송한다.

단계 3 : 송신노드는 반송파 감지지역의 수신노드가 DATA패킷을 감지할 수 있도록, 최대 전력레벨  $P_{max}$ 를 210us 주기로 DATA패킷에 삽입하여 전송한다.

단계 4 : 수신노드는 송신노드로  $PI$ 전력을 사용하여 ACK패킷을 전송한다.

PCM구조는  $P_{max}$ 를 사용하여 RTS-CTS패킷을 전송한 후에, 송수신 노드들은 DATA-ACK패킷을 전송하기 위한 최적의 전력레벨  $PI$ 를 결정한다. 그리고 송신노드는  $PI$ 와 주기적으로  $P_{max}$ 를 사용하여 DATA 패킷을 전송하며, 수신노드는  $PI$ 를 사용하여 ACK 패킷을 전송한다.

PCM구조는 DATA패킷 전송구간의 전송전력을 주기적으로  $P_{max}$ 를 전송함으로써, ACK패킷의 수신상태를 간섭할 수 있는 반송파 감지지역의 노드가 주기적으로 busy로 채널을 감지하게 함으로서 충돌을 방지할 수 있다. 그림 9는 PCM구조의 전력레벨 변화에 대해서 나타냈다.

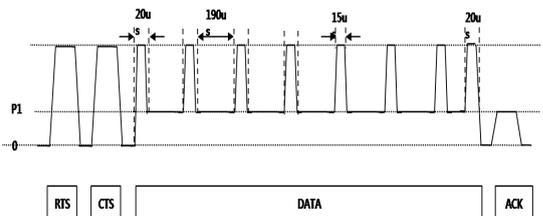


그림 9. PCM 구조  
Fig. 9. PCM scheme

반송파 감지신호 시간 15us는 반송파 감지를 위해서 적절한 시간이다. 또한, 상승구간에서 최대전력의 10%로부터 90%로 증가하기 위해 요구되는 시간 또는, 하강구간에서 최대전력의 90%에서 10%의 감소되는 시간은 2us보다 작다. 따라서 반송파 감지신호는 상승시간(2us),  $P_{max}$  전송시간(15us), 하강시간(2us)으로 충분하기 때문에, 총 20us 정도로  $P_{max}$  전송시간을 설정하였다<sup>[8]</sup>.

전송률 2Mbps에서 EIFS는 212us로 계산되며, PCM은 190us 간격으로 20us의  $P_{max}$ 로 DATA 패킷을 전송하였다. EIFS기간 212us는 주기적으로 반복되는 DATA 패킷의  $P_{max}$  전송시간(210us) 보다 더 길기 때문에, 반송파 감지지역내의 노드는 지속적으로 EIFS를 추가한다. 또한, DATA패킷 전송이 종료되는 시점에 20us의  $P_{max}$ 를 전송함으로써, DATA 패킷의 전송을 종료하게 된다.

PCM40구조는 송신노드가 DATA패킷 전송동안에 40us에 대해서 170us 주기로  $P_{max}$ 로 DATA패킷을 전송하는 PCM의 변형된 구조이다.

#### IV. 제안 PCM 프로토콜

EIFS는 물리계층이 패킷전송을 시작하였지만, 정확하게 FCS(Frame Check Sequence)값으로 수신된 상태가 아닌 경우에 사용된다. 본 논문의 전력제어 메커니즘은 반송파 감지지역에서 각 노드들이 신호를 감지하지만 패킷을 해석할 수 없을 때, EIFS를 사용하는 변형된 구조를 이용하였다. 즉, 반송파 감지영역에서 노드들이 신호를 감지하지만 패킷을 해석할 수 없을 때, EIFS기간으로 NAV를 설정하는 방법을 사용하였다. 또한, 기존의 PCM과 PCM40구조에 또 다른 에너지 소모요인이 있음을 분석하고, 에너지 효율을 높일 수 있는 방법을 제안하였다. PCM과 PCM40은 다음과 같은 에너지 소모요인이 있다.

1. DATA패킷을 송신하는 동안 주기적으로 최대 전력 레벨을 사용하는 것은 에너지 소모요인이다.
2. 반송파 감지지역의 노드들은 송신노드에서 DATA 패킷 전송시 발생하는 주기적인 최대전력을 수신하는 것은 또 다른 에너지 소모요인이다.

전송되는 DATA패킷이 대용량일 경우에는 DATA패킷의 전송시간이 길어진다. 이때, PCM과 PCM40구조와

같이 송신노드에서 210us의 시간간격으로  $P_{max}$ 를 전송하고, 같은 간격으로 수신노드에서  $P_{max}$ 를 감지하는 것은 또 다른 전력소모가 요인이므로, 본 논문에서는 DATA 패킷 전송시작과 종료를 알리는 최대 전력레벨  $P_{max}$ 를 전송하고, 반송파 감지지역의 노드들은 전송 시작신호를 감지하여, EIFS기간을 시작하고, 종료신호를 감지하여, EIFS기간을 종료할 수 있도록 함으로써, 반송파 감지지역 내의 노드에서 또 다른 패킷 전송을 방지하도록 하는 방법이다. 본 논문에서 제안하는 전력제어 프로토콜을 다음과 같다.

- 단계 1 : 송신노드는  $P_{max}$ 를 사용하여 RTS-CTS패킷을 전송한다.
- 단계 2 : 송신노드는 PCM구조와 유사하게, RTS-CTS패킷에서 전송된 전력레벨을 이용하여, 최소한으로 필요한 전송 전력레벨  $PI$ 을 계산한다.
- 단계 3 : 송신노드는 SIFS의 간격 없이 세 차례 연속된  $P_{max}$ 를 이용하여, DATA패킷의 시작을 알리는 신호를 전송과 함께, 최소한으로 필요한 전송 전력레벨  $PI$ 을 사용하여 DATA 패킷을 전송한다. 이때, 반송파 감지지역의 노드들은 세 차례 연속된  $P_{max}$ 를 감지하여 EIFS기간을 시작한다.
- 단계 4 : 송신노드가 DATA패킷 전송을 종료할 때, 또 다시 SIFS의 간격 없이 두 차례 연속된  $P_{max}$ 를 이용하여, DATA 패킷의 종료를 알리는 신호를 전송한다. 이 때, 반송파 감지지역의 노드들은 두 차례 연속된  $P_{max}$ 를 감지하여 SIFS와 ACK패킷 전송시간이 더해진 후에, EIFS기간을 종료한다.
- 단계 5 : 수신노드는 PCM구조와 유사하게, 최소한으로 필요한 전송 전력레벨  $PI$ 을 이용하여, 수신노드에 ACK패킷을 전송한다.

그림 10에 대용량의 DATA패킷의 제안 PCM구조에 대해서 나타냈다. 송수신 노드간 패킷을 전송할 때, RTS 패킷을 전송하기 전에 DIFS기간 동안 지연되며, CTS, DATA, ACK 패킷을 전송하기 전에는 SIFS기간 동안 지연된다. 이러한 패킷 전송의 특성을 이용하여, 본 논문에서는 RTS, CTS, ACK 패킷의 전송과 차별되는

DATA패킷 전송을 이용하여, 반송과 감지지역에서 DATA패킷의 전송시간을 인식할 수 있게 하여, EIFS기간을 설정할 수 있도록 하였다. 즉, DATA 패킷의 전송 시작과 종료임을 인지할 수 있는 신호체계를 이용하여, 반송과 감지지역의 노드들의 새로운 패킷전송을 방지하여, DATA-ACK패킷의 전송과 충돌을 방지하였다.

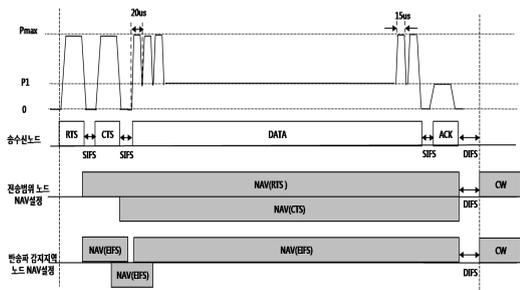


그림 10. 대용량 DATA패킷의 제안 PCM구조  
Fig. 10. Proposal PCM scheme of mass DATA packet

DATA패킷을 전송할 때, SIFS기간이 없는 3번의  $P_{max}$ 전력으로 시작하고, 전송을 종료할 때 2번의  $P_{max}$ 전력으로 종료하는 이유는 반송과 감지영역의 외부에 있는 또 다른 송신 센서노드가 전송을 시도할 때의 충돌을 방지하기 위해서이다. 만약, 전송시작과 종료를 똑같은 신호체계를 이용한다면, 반송과 감지영역의 외부에 있는 또 다른 센서노드가 송신을 시도할 경우에는 반송과 감지지역에 있는 센서노드는 DATA패킷의 종료로 인식하여, 새로운 송신을 시도할 수 있을 것이다. 이와 같은 전력제어 신호체계로서 전송영역의 DATA-ACK패킷이 반송과 감지지역의 노드들의 새로운 패킷전송으로 인한 충돌로서 발생하는 재전송 문제점을 해결할 수 있으며, 이를 통해 높은 에너지 효율과 수율을 증가할 수 있다.

## V. 결론

IEEE 802.11은 노드간에 최대전력을 사용하여 패킷을 전송하기 때문에, 불필요한 에너지 소모가 발생한다. BASIC구조는 RTS-CTS에 대해서 가능한 최대전력  $P_{max}$ , DATA-ACK에 대해서 통신 가능한 저전력  $PI$ 를 사용하여, 에너지 소모를 줄일 수 있는 목적으로 제안되었다. 그러나 BASIC구조는 DATA패킷 전송동안에 반송

과 감지지역의 노드에서 전송을 시도할 수 있어, 충돌과 재 전송이 증가되어, 802.11보다 높은 에너지 소모와 수율이 감소되는 결과를 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존에 제안된 PCM과 PCM40구조는 DATA패킷 전송구간의 전송전력을 통신 가능한 저전력  $PI$ 를 사용하여 전송하면서, 주기적으로  $P_{max}$ 를 전송함으로써, ACK패킷의 수신상태를 간접할 수 있는 반송과 감지지역의 노드들에 대해서 주기적으로 busy로서 채널을 감지하게 함으로서 충돌을 방지하였다. 그러나 PCM과 PCM40구조 역시 DATA패킷을 송신하는 동안 주기적으로 최대 전력레벨의 사용과 반송과 감지지역의 노드들은 송신노드에서 DATA패킷 전송시 발생하는 주기적인 최대전력을 수신에 의한 또 다른 에너지 소모요인이 있다. 본 논문에서는 대량의 DATA패킷을 가진 경우에, DATA패킷 전송시작과 종료를 알리는 최대 전력레벨  $P_{max}$ 를 전송하고, 반송과 감지지역의 노드들은 시작신호를 감지하여, EIFS기간을 시작하고, 종료신호를 감지하여, EIFS기간을 종료함으로써, 기존의 PCM방식인 주기적  $P_{max}$ 로 전송으로 인한 전력소모 요인을 최소화할 수 있다.

## 참고문헌

- [1] Akyildiz, I.F. Su, W. Sankarasubramaniam, Y. and Cayirci E., "A Survey on Sensor Networks", IEEE Communications Magazine, August 2002.
- [2] E. S. Jung , N. H. Vaidya., "An Energy Efficient MAC Protocol for Wireless LANs", In INFOCOM 2002, June 2002.
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "Medium access control with coordinated, adaptive sleeping for sensor network", in IEEE Transaction on Networking, June 2003.
- [4] S. Agarwal, S. Krishnamurthy, R. H. Katz, and S. K. Dao, "Distributed Power Control in Ad-hoc Wireless Network", In PIMRC01, 2001.
- [5] J. P. Ebert , A. Wolisz, "Combined Tuning of RF Powew and Medium Access Control for WLANs", In IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MoMuC'99),

- November 1999.
- [6] Giuseppe Bianchi, "Performance Analysis of the IEEE 802.11 Distributed Coordination Function", IEEE Journal on Selected Area in Communications, March 2000.
- [7] Eun-Sun Jung, Nitin H. Vaidya, "A Power Control MAC Protocol for Ad Hoc Networks", International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02), pp. 23-28, September, 2002.
- [8] The editors of IEEE 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specification", 1997.
- [9] J. Gomez, A. T. Campbell, M. Naghshineh, and C. Bisdikian, "Conserving transmission Power in Wireless Ad Hoc Networks", In ICNP'01 November 2001.
- [10] M. B. Pursley, H. B. Russell, and J. S. Wyszocarski, "energy-Efficient Transmission and Routing Protocols for Wireless Multiple-hop Networks and Spread-Spectrum Radios. In EUROCOMM 2000, pp. 1-5, 2000.
- [11] J. P. Monks, V. Bharghavan, and W. mei W. Hwu, "A Power Controlled Multiple Access Protocol for Wireless Packet Networks", In INFOCOM 2001, April 2001.

### 저자 소개

#### 김 창 복(정회원)



- 2008년 2월 : 인천대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)
  - 2011년 8월 현재 : 가천의과학대학교 정보공학부 교수
- <주관심분야 : 이동통신, 인터넷보안, 임베디드 시스템, 센서네트워크>

#### 김 남 일(종신회원)



- 2000년 8월 : 건국대학교 전자공학과 (공학박사)
  - 2011년 8월 현재 : 가천의과학대학교 정보공학부 교수
- <관심분야 : 컴퓨터네트워크, 트래픽 제어, 유비쿼터스, 유헬스케어, BcN>