

# CSMA/CA 경쟁방식 기반의 WPAN 시스템을 위한 QoS 보장 및 에너지 효율적 전송방식

정회원 주 양 익\*, 종신회원 이 연 우\*\*°,  
정회원 정 민 아\*\*\*, 장 봉 석\*\*\*\*, 이 성 로\*\*\*\*\*

## CSMA/CA based Transmission Scheme for QoS Assurance and Energy Efficiency of WPAN Systems

Yang-Ick Joo\* *Regular Member*, Yeonwoo Lee\*\*° *Lifelong Member*,  
Min-A Jung\*\*\*, Bongseog Jang\*\*\*\*, Seong-Ro Lee\*\*\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문은 CSMA/CA 경쟁방식 프로토콜을 사용하는 무선 PAN(WPAN: Wireless Personal Area Network)을 위해 QoS를 보장하고 에너지 효율적인 전송을 위한 방법을 제안한다. WPAN 장치들은 제한된 배터리 용량의 전지로 동작하기 때문에 에너지 소모는 WPAN 시스템에서 가장 중요한 문제 중의 하나이다. 따라서 WPAN이 경쟁기반 MAC 프로토콜을 사용할 경우 독립적 채널 접근 시도에 의한 충돌로 인하여 에너지 소모 문제는 더 중요하다. 본 논문에서는 에너지 소모를 최소화하면서 QoS를 보장하기 위해 최적의 fragment 크기, 변조 수준과 전송 전력을 선택하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에 대한 성능평가를 수행하여 개선정도를 시뮬레이션 결과에 제시하였다.

**Key Words** : CSMA/CA, WPAN, Energy Efficiency

### ABSTRACT

In this paper, we propose a QoS guaranteed and energy-efficient transmission scheme for Wireless Personal Area Networks (WPANs), which operate in conjunction with contention-based access protocols such as CSMA/CA. Energy consumption is one of the most important issues in WPAN systems, because WPAN devices are often required to operate under limited battery capacity. Furthermore, if the WPAN adopts a contention-based medium access protocol, the energy consumption problem becomes even more critical due to the collisions caused by independent channel access trials. Therefore, in this paper, we propose an algorithm that selects the optimum fragment size, modulation level, and transmission power, in order to minimize the energy consumption and guarantee the QoS (Quality of Service) requirements, simultaneously. Our simulation results show that the proposed algorithm has better performance than the previous ones.

※ 본 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원 (KRF-2006-331-D00372) 및 산업자원부와 한국산업기술재단의 지역혁신인력양성사업의 지원으로 수행된 연구결과입니다.

\* 삼성전자 통신연구소 \*\* 목포대학교 정보통신공학전공(ylee@mokpo.ac.kr)(° : 교신저자) \*\*\* 목포대학교 컴퓨터공학전공  
\*\*\*\* 목포대학교 멀티미디어전공 \*\*\*\*\* 목포대학교 정보전자공학전공(srlee@mokpo.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-02-073, 접수일자 : 접수일자 : 2008년 02월 5일, 최종논문접수일자 : 2008년 3월 10일

## I. 서 론

최근 무선 통신기술의 발전과 더불어 개인 무선 기기의 사용이 증가하므로 인하여 다른 기종의 기기사이의 효율적 통신기술에 대한 요구가 증가되었다. 대부분의 무선 통신 기술은 무선 전송 서비스나 백본 인터넷/인트라넷 서비스와 같은 인프라기반의 서비스와 연결되는 전기적 개인 기기를 위한 것이었다. 그러나 최근 언제, 어느 곳에서나 통신을 할 수 있다는 요구에 부응하여 작은 영역의 개인 무선 연결 기법은 미리 인프라구조를 만들지 않고 개인 기기가 서로 통신할 수 있도록 해야 한다. 이러한 연결 기법으로 가장 좋은 기법은 WPAN이다. WPAN은 에너지가 제한된 환경에서 동작하므로 시스템을 최대한 오래 유지하기 위해 기존의 무선 네트워크보다 더 작은 평균 전력 소모로 동작해야 한다. WPAN에 CSMA/CA와 같은 경쟁기반 접근 프로토콜을 사용할 경우 전송 에너지문제는 각 장치의 개별적 채널 접근 시도에 의한 충돌때문에 더 중요하다. 이를 위해 제안된 해결방법이 몇가지 존재하며, 이 중 참고문헌 [1]-[3]에서의 알고리즘은 유용성과 적당한 성능때문에 특히 효율적이라 할 수 있다. [2]의 제한된 적응적 fragmentation 기법과 [3]에서의 동적 비율 적응 알고리즘은 전체적인 처리량을 향상시키기 위하여 fragmentation 크기와 모듈화 수준을 각각 제어한다. 그러나 에너지 소모 감소는 처리량을 최대화시키는 것 보다 더 중요한 문제이므로 이러한 알고리즘에서 사용한 기준사항들은 WPAN에는 적합하지 않다. [1]에서 제안된 방법은 전송 전력 제어(TPC)와 데이터 비율 적응 행위를 통하여 IEEE802.11a/h 시스템에서 통신 에너지 소모를 최소화한다. 그러나 이 알고리즘은 에너지 소모에 따른 fragment 크기를 고려하지 않고 있다. 또한 채널 상태와 연관된 파라미터들이 바뀌지 않더라도 각 프레임의 데이터 전송율과 전송전력이 선택되어 바뀐다. 그러므로 더 많은 처리전력과 시간 소모가 발생된다. 이러한 프레임 대 프레임 동작은 전체 MAC 서비스 데이터 유닛(MSDU)에 대하여 QoS를 고려하지 않고 있다.

참고문헌 [1]-[3]에 제시된 기법은 에너지 소모에 따라 전송전력, 데이터율과 fragment 크기와 같은 모든 시스템 파라미터들이 미치는 영향을 설명하지 않고 있다. 그러므로 경쟁 기반 매체 접근 프로토콜로 동작하는 WPAN에서 에너지 소모를 최소화할 수 있도록 전송 전력, 전송율과 fragment 크기에 대

한 최적의 조합을 선택함으로써 QoS 보장과 동시에 에너지 효율적인 방법을 제안한다. 제안한 알고리즘은 MAC계층에서 다양한 QoS 요구들 즉, WPAN 장치들의 에너지 소모를 최소화하는 것 뿐만 아니라 요구된 처리량, 최대허용 지연 시간등을 보장한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장은 CSMA/CA기반 매체 접근 방법의 시스템 모델을 제시하고 III장에서 분석된 전송 에너지 소모를 보인다. IV장은 CSMA/CA기반 WPAN 장치들에 대하여 QoS를 보장하고 에너지 효율적 전송 알고리즘을 제안한다. V장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안된 알고리즘에 대한 성능평가 결과를 보이며, VI장에서 결론을 맺는다.

## II. WPAN 시스템 모델

IEEE WPAN 표준에서 피코넷(piconet)은 무선 ad-hoc 네트워크로 다수의 독립적인 장치들이 서로 통신하며 일반적으로 사방으로 최소 10m정도를 커버하는 개인 또는 개체 주위의 적은 영역으로 제한된다[4]. 그림 1에서 피코넷의 참여 장치들 중 하나는 피코넷 조정자(PNC)의 역할을 한다고 가정하자. PNC는 비콘(beacon)신호에 대한 시간 정보를 지원하고 QoS를 관리한다.

그림 2는 WPAN의 슈퍼프레임 구조를 보인다. 경쟁 접근 기간(CAP: Contention Access Period)은 명령 또는 비동기 데이터를 통신하는데 사용되며, 비경쟁 기간(Contention Free Period, CFP)은 명령이나 isochronous 스트림, 그리고 비동기 데이터 연

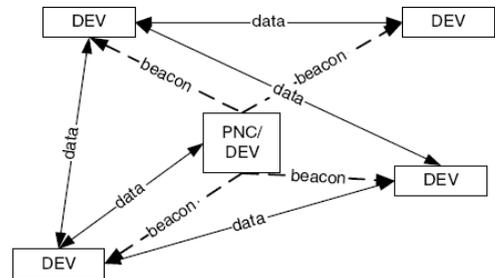


그림 1. WPAN 피코넷 시스템 모델

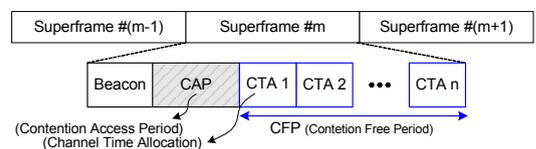


그림 2. WPAN (IEEE802.15.4) 슈퍼프레임 구조

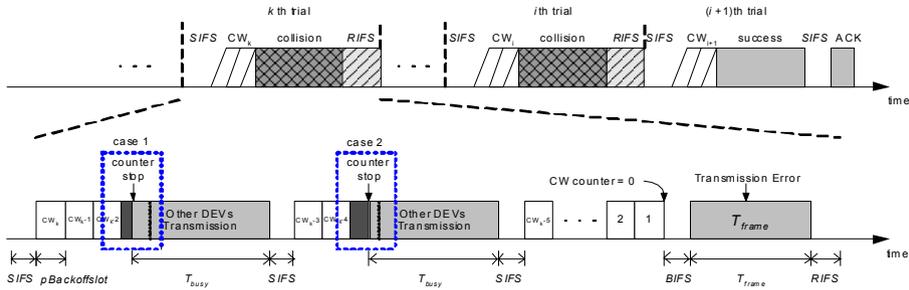


그림 3. CSMA/CA 기반 MAC의 CW counter와 슬롯 할당과정

결을 위해서 사용되는 채널시간 할당 (channel time allocation, CTA)을 위해 예약 된다[4]. 본 논문에서는 IEEE802.15.3 표준과 IEEE802.15.4 표준의 슈퍼프레임 구조가 같기 때문에 IEEE 802.15.3 High-Rate(HR) WPAN 시스템을 CSMA/CA기반 WPAN 시스템 모델의 참조모델로 사용하고 CAP를 설명하고자 한다. 높은 수준의 QoS가 보장되어야 하는 실시간 서비스들은 WPAN의 CFP에서 지원되어야 하는 반면, best-effort 서비스와 같이 낮은 수준의 QoS가 요구되는 서비스들은 WPAN에서 무선 자원들은 보다 효율적으로 사용하기 위해 CAP에서 지원되어야 한다. 본 논문에서 제안된 알고리즘은 에너지 소모가 적어야 하고 어느정도의 QoS가 필요한 CSMA/CA기반 무선 센서 네트워크를 위해 사용될 수 있다. HR WPAN 시스템은 변조방식 QPSK-TCM, DQPSK-TCM, 16 QAM-TCM, 32 QAM-TCM과 64 QAM-TCM 각각에 대해서 11, 22, 33, 44와 55Mbps와 같은 다섯 가지의 데이터 전송율을 지원한다. IEEE 802.15.3 표준은 최대 2048 바이트, 최대 전송 전력은 0에서 10 dBm을 지원한다. 변조 수준 정보와 fragmentation에 대한 정보는 PHY와 MAC헤더에 각각 포함된다. PHY와 MAC 헤더들은 DQPSK 방식으로 변조된다. HR WPAN의 CAP에서 기본 매체 접근 기법이 CSMA/CA라 가정하자. 임의의 장치가 어느 시간에 한 프레임의 전송한다고 할 때, ACK 프레임을 제외하고 모든 프레임의 전송이 시도될 때 exponential 백오프(backoff) 알고리즘이 적용된다. 장치는 경쟁 윈도우(CW; contention window) 크기  $CW_k$ 를 선택하는데  $CW_k$ 는 0과  $CW_{k,max}$  사이의 임의의 값이며,  $CW_{k,max}$ 는  $k$  번째 시도에서 최대 허용가능한 CW 크기를 나타낸다. 다음은 CW 카운터를 유지하는데 이는 매체가  $pBackoffslot$ 에 대응되는 시간동안 유희상태일 때만 감소된다. 채널이 사

용중일때마다 CW 카운터는 값이 변하지 않고 장치는 다른 장치의 전송이 끝날때까지 기다리며, SIFS(Short Interframe Space) 기간은 그 후로 지나치게 된다. 다음으로 장치는 유지된 CW 카운터 값으로 전송과 감지(carrier sensing) 동작을 계속한다. CW 카운터가 0이 되었을때 장치는 채널이 BIFS(Backoff Interframe Space)에 대응되는 시간동안 idle 상태이면 즉시 프레임을 전송한다. 다음으로 만약 ACK 프레임이 전송 시도에 따른 RIFS(Retransmission Interframe Space)동안 장치에 의해 수신되지 않는다면 장치는 재시도 카운터값을 증가시킨 후 앞에 제시한 과정을 반복한다. 그림 3은 이러한 과정을 나타내고 있다.

### III. 에너지 소모량 분석

본 장에서는 그림 3에서 제시한 CSMA/CA 채널 접근 모델로 전송할 경우 필요한 에너지 소모를 분석한다. 이 모델은 전송과 감지를 위한 에너지( $E_{CS}$ ), ACK 수신을 위한 에너지( $E_{ACK}$ )와 데이터 전송 에너지( $E_{rx}$ )에 대응하는 수신 에너지( $E_{tx}$ )를 소모한다. 그러므로 프레임을 성공적으로 전송하고 수신하는데 요구되는 에너지는 다음 식(1)에 의해서 기술된다.

$$E_{frame}(L, R, P_t) = E_{rx} + E_{tx}(L, R, P_t) = E_{CS} + E_{ACK} + E_{rx}(L, R, P_t) \quad (1)$$

위 식에서  $L$ 은 fragment 크기,  $R$ 은 데이터 속도 (변조 수준),  $P_t$ 는 전송 전력을 나타내고 이러한 파라미터들은 물리적 회로내의 에너지 소모에 직접적인 영향을 주므로 수식에 피연산자로 나타내었다.

$L_{MSDU}$  크기의 전체 MSDU를 보내기 위해 장치는  $\lceil L_{MSDU}/L \rceil$  프레임을 전송해야 한다. 결과적으로 전체 MSDU를 전송하는데 요구되는 에너지는 식(2)와 같다.

$$E_{MSDU}(L, R, P_i) = \left[ \frac{L_{MSDU}}{L} \right] \cdot E_{frame}(L, R, P_i) + E_{frame}(L_{remain}, R, P_i) \quad (2)$$

$L_{remain}$ 은 MSDU가 고정된 크기의  $L$ 개의 fragment들로 분할된 후 남은 데이터의 크기를 나타낸다.

그림 3에서와 같이 프레임을 전송하고자 할때  $i$  번 실패했다고 가정할 경우 전송율  $R$  과 전송 전력  $P_i$ 로  $L$ 바이트의 한 프레임을 전송할 때 요구되는 에너지는 프레임 ( $T_{frame}$ )의 전송시간과 이 기간동안 소모된 전력의 product로 식 (3)과 같다.

$$E_{tx}(L, R, P_i) = (i+1) \cdot T_{frame}(L, R) \cdot P_i \quad (3)$$

ACK 프레임의 수신을 위해 필요한 에너지는 다음 식(4)와 같이 기술된다.

$$E_{ACK} = T_{ACK} \cdot P_{rx} \quad (4)$$

TACK는 ACK 프레임의 전송 시간을 나타내며, 식(3)과 식(4)의  $P_{tx}$ 와  $P_{rx}$ 는 프레임을 송신하고 수신하는데 필요한 전력량을 나타낸다. 이는 [1]에서 설명한대로 식(5)와 식(6)에 정의하였다.

$$P_{tx} = P_{c\_mod} + \frac{P_i}{\eta} \quad (5)$$

$$P_{rx} = P_{c\_demod} + P_r \quad (6)$$

여기서  $P_i$ 는 송신자의 전송 전력,  $\eta$ 는 전력 증폭기(PA: Power Amplifier)의 효율(efficiency)을 나타내고,  $P_r$ 은 수신 front-end에서 소모되는 전력을 나타낸다.  $P_{c\_mod}$ 는 다른 기저 프로세서(baseband processors)들을 포함한 변조 회로에서 소모되는 전력,  $P_{c\_demod}$ 는 다른 기저 프로세서들을 포함한 복조 회로에서 소모되는 전력을 나타낸다. 본 논문에서는 [1]에서와 같이 변조기와 복조기 회로에서 소모되는 전력  $P_{c\_mod}$ 와  $P_{c\_demod}$ 를 같은 값  $P_c$ 로 정의하였다. 또한, 그림 3에서  $(i+1)$ 번째 시도에서 전송이 성공적으로 되었음을 가정하였을 경우 채널 탐지에 필요한 에너지  $E_{cs}$ 는 식(7)과 같다.

$$E_{CS} = P_r' \cdot \left[ \sum_{k=1}^i [pBackoffslot \cdot (CW_k + N_{STOP,k}) + N_{STOP,k} \cdot (T_{busy,k} + SIFS) + BIFS + RIFS] + [pBackoffslot \cdot (CW_k + N_{STOP,k}) + N_{STOP,k} \cdot (T_{busy,k} + SIFS) + BIFS + SIFS] \right] \approx P_r' \cdot \left[ \sum_{k=1}^{i+1} [pBackoffslot \cdot (CW_k + N_{STOP,k}) + N_{STOP,k} \cdot (T_{busy,k} + SIFS) + BIFS + RIFS] \right] \quad (7)$$

$N_{STOP,k}$ 는  $k$ 번째 전송시도에서 멈춘 CW 카운터 수,  $T_{busy,k}$ 는  $k$ 번째 시도에 대하여 다른 장치의 전송때문에 채널이 사용된 시간을 나타낸다.

반송파 감지 과정에서 소모되는 전력은 장치가 전송과 유무만 감지하기 때문에 실제 데이터 수신을 위해 필요한 전력보다 적다. 그러므로 본 논문에서는 전송과 감지 과정에서 소모되는 전력  $P_{rx}^*$ 는 실제 데이터 수신 전력의 약 40% 정도, 즉  $0.4P_{rx}$ 로 가정한다. 그림 3에서 검정색으로 표시된 부분은  $pBackoffslot$ 의 시작과 다른 장치의 전송 시작사이의 시간간격을 나타낸다. 최악의 경우, 그러한 시간 동안 전송과 감지에 소모된 에너지는  $P_{rx}^*$ 와  $pBackoffslot$ 의 곱이다. 그리고 ACK 모드로 데이터 프레임을 전송할 때 성공적으로 전송하였을 경우 장치는 ACK 프레임을 기다리는 동안 부가적으로 에너지를 더 소모한다. 또한 ACK 프레임이 SIFS의 끝에 도착할때도 최악의 경우가 된다. CSMA/CA 시스템이 request-to-send/clear-to-send(RTS/CTS) 방법을 WLAN에 사용할때  $T_{busy,k}$  동안 전송과 감지에 소모된 에너지는 NAV(Network Allocation Vector)를 사용함으로써 무시될 수 있다.

프레임을 성공적으로 전송하기 전에 전송 시도 횟수 즉,  $i$  값과 (7)에서의  $N_{STOP,k}$ ,  $CW_k$ ,  $T_{busy,k}$  값은 미리 알수 없기 때문에 확률적으로 예측된다. 피코넷 장치가  $n$ 개 있다고 가정할 경우 전송이 성공적으로 이루어질 확률은 다음 식 (8)과 같이 기술된다.

$$P_s = (1 - FER) \cdot \frac{n\tau(1-\tau)^{n-1}}{1 - (1-\tau)^n} \quad (8)$$

FER은 프레임 에러율(Frame Error Rate),  $\tau$ 는 한 장치가  $pBackoffslot$  동안 전송할 확률로 [5]의 반복 알고리즘에 의해 알 수 있다. 그러므로 한 프레임이 성공적으로 전송되기 전 전송시도 평균횟수는 식(9)에 의해 알 수 있다.

$$E[i] = \frac{1}{P_s} - 1 \quad (9)$$

다음 식 (10)은 채널이  $pBackoffslot$  동안 idle이 아닐 확률을 계산한다.

$$P_b = 1 - (1 - \tau)^n \quad (10)$$

그리고, 전송을 시도하기 전 연속적인 idle slot의 평균 개수는 식 (11)에서 계산하고, 식 (12)를 통하여 한 프레임을 성공적으로 전송하기 위해 CW 카

운터가 멈추는 평균 횟수를 [6]에서와 같이 알 수 있다.

$$E[\Delta] = \frac{1}{P_b} - 1 \quad (11)$$

$$E[N_{stop}] = \frac{E[CW]}{\max(E[\Delta], 1)} - 1 \quad (12)$$

식 (12)에서 한 프레임이 성공적으로 전송하기 위한 CW의 평균값은 식 (13)을 통하여 계산할 수 있다.

$$E[CW] = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{CW_{i,max}} j \cdot P(i, j) \quad (13)$$

$m$ 은 지수백오프(exponential backoff) 알고리즘의 재시도 회수에 대한 최대값을 나타내고,  $P(i, j)$ 는 재시도 횟수가  $i$ 이고 CW 크기가  $j$  인 정상상태 확률(steady-state probability)을 나타내며 식 (14)와 같이 기술된다.

$$P(i, j) = \lim_{t \rightarrow \infty} P\{retry\_count(t) = i, CW(t) = j\} \quad (14)$$

식 (14)의 정상상태 확률을 계산하기 위해 본 논문에서는 [7]에 기술된 고려사항들을 부분적으로 따른다. 그림 4는 CAP의 CW 크기 상태를 나타내는 Markov chain을 보인다. 그림 4의  $(i, j)$  상태에서  $i$ 는 재시도 횟수이고  $j$ 는 CW 크기이다. IEEE802.15.3 표준은 재시도 최대 횟수,  $m$  값을 3으로 명시하고 있다. 실질적으로 전송은 다른 장치의 충돌이나 채널 노이즈로 인하여 실패할 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 실패 요인을 모두 고려하여 전송 실패 확률  $q$ 를 다음 식 (15)와 같이 나타낸다.

$$q = 1 - (1 - FER)(1 - p) \quad (15)$$

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (16)$$

이 때,  $p$ 는 다른 장치의 전송으로 인한 충돌 확률을 의미하며, FER은 채널의 환경 요인, 즉 AWGN 또는 다중경로페이딩(multipath fading) 채널 등에 따라 달라질 수 있다. 본 논문에서 AWGN 채널 환경을 고려한다면,  $i$ 와  $j$ 가 정수이고  $0 \leq i \leq m$ ,  $0 \leq j \leq CW_{i,max}$ 인 Markov chain의 정상상태 확률  $P(i, j)$ 는 다음 식 (17)을 통하여 알 수 있고 식 (18)과 같은 특성을 갖는다.

$$P(i, j) = \begin{cases} \frac{CW_0 - j}{CW_0} \cdot P(0, 0) & i = 0 \\ \frac{CW_i - j}{CW_i} \cdot q^i \cdot P(0, 0) & 0 < i < m \\ \frac{CW_m - j}{CW_m} \cdot \left( q^m + \frac{q^{m+1}}{1 - q} \right) \cdot P(0, 0) & i = m \end{cases} \quad (17)$$

$$\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^{CW_{i,max}} P(i, j) = 1 \quad (18)$$

그러므로  $P(0, 0)$ 은 다음 식 (19)와 같음을 알 수 있다.

$$P(0, 0) = \frac{2(1 - 2q)(1 - q)}{(1 - 2q)(CW_0 + 1) + q \cdot CW_0(1 - (2q)^m)} \quad (19)$$

식 (17), (18)과 (19)를 사용하여 한 프레임을 성공적으로 전송하기 위한 CW의 평균 값을 식 (13)에 의해 계산할 수 있다. 결과적으로, WPAN 표준은 CAP동안 RTS/CTS를 적용하지 않기 때문에 식 (20)에 의해 계산된  $T_{busy,k}$  측정 값을 통해 지원하는 데이터 속도와 유용한 fragment 크기를 알 수 있다.

$$E[T_{busy,k}] = E \left[ \frac{\text{the available fragment sizes}}{\text{the supported data rates}} \right] \quad (20)$$

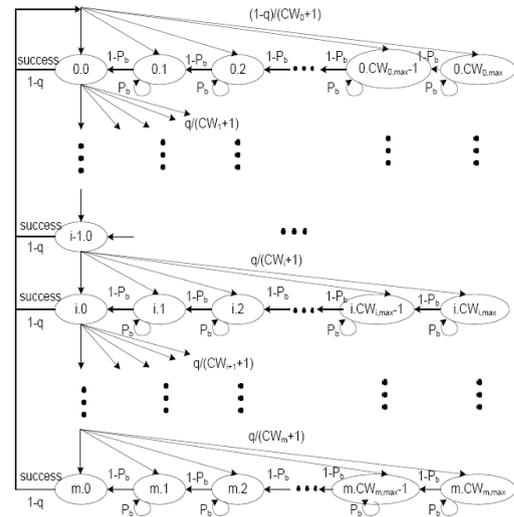


그림 4. 평균 경쟁 윈도우 크기를 위한 Markov chain

#### IV. QoS 보장 및 에너지 효율적 전송방식

본 논문에서는 WPAN 장치 사용에서 전체 MSDU에 대하여 QoS를 보장하고 그 전송 에너지

를 최소화하기 위해 경쟁 기반 매체접근 프로토콜로 동작하는 에너지 효율적인 알고리즘을 제안하였고, 제안한 알고리즘에 대한 순서도는 그림 5와 같다.

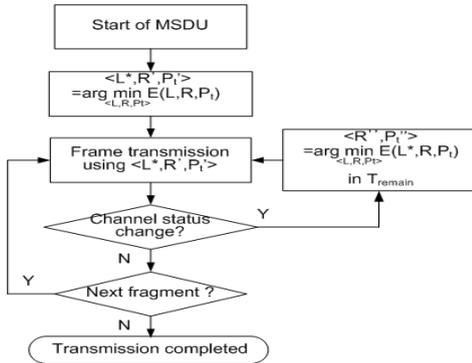


그림 5. 제안한 알고리즘의 흐름도

제안한 알고리즘으로 인하여 새로운 MSDU가 생성될 때, 전송 전력, 데이터 전송율, fragment의 최적조합을 선택함으로써 에너지 소모를 감소시킬 수 있다. 이는 III장의 에너지 소모 분석에서 유도된 최소에너지(ME: Minimum Energy)기준에 기반하여 수행된다. 또한, 전체 MSDU와 현재 채널상태에 대한 QoS 필요조건은 RSSI와 LQI로부터 예측되어 질 수 있으며 제안한 알고리즘에서 고려되었다.

**Minimum Energy Criterion (최소에너지 기준)**

$$\langle L^*, R', P_t^* \rangle = \arg \min_{(L, R, P_t)} E_{MSDU}(L, R, P_t) \quad (21)$$

최소에너지 기준은 값들에 대한 최적의 집합 즉, fragment 크기(L), 데이터 전송율(R), 전송전력(Pt)의 가능한 조합들 중 최소 에너지 소모 집합을 선택하는데 사용한다. 또한, 제안한 알고리즘은 QoS를 요구 시간과 처리량 측면에서 고려한다.

식 (22)의 T\_success\_frame이 T\_frame(L, R)의 전송 시간동안 전송되는 프레임이 성공적으로 수신되는데 요구되는 시간을 나타낸다면, MSDU를 성공적으로 수신하는데 필요한 평균 시간은 식 (23)에서와 같이 T\_success\_MSDU가 MSDU (D\_max)를 위해 최대로 허용되는 지연시간보다 짧다.

$$T_{success\_frame}(L, R) \approx E[i + 1] \cdot [pBackoffslot \cdot (E[CW] + E[N_{STOP}]) + E[N_{STOP}] \cdot (E[T_{busy}] + SIFS) + T_{frame}(L, R) + BIFS + RIFS] + T_{frame}(L, R) \quad (22)$$

$$T_{success\_MSDU} = \left\lfloor \frac{L_{MSDU}}{L} \right\rfloor \cdot T_{success\_frame}(L, R) + T_{success\_frame}(L_{remain}, R) \leq D_{max} \quad (23)$$

또한, 수율(throughput) 요구량 G\_req는 식 (24)을 만족하며, 식 (23)과 식 (24)는 MAC 계층에서의 QoS 요구조건을 나타내고 있다.

$$G = \frac{L_{MSDU}}{T_{success\_MSDU}} \geq G_{req} \quad (24)$$

본 논문에서는 에너지 소모에 영향을 미치는 파라미터들 중 MSDU에 대한 fragment 크기는 일반적으로 고정되며 초기에 결정되어 있다고 가정하였다. ME 기준에 따라 새로운 MSDU는 L\*, 즉 같은 크기로 프레임들로 분할되고, 프레임들은 R'과 Pt에 따라 전송된다. 만약 현재의 채널 상태가 변한다면, 장치는 L\*의 크기의 분할된 MSDU의 나머지 부분에 대하여 R과 Pt를 리셋하며, QoS의 요구조건을 고려한다. 이러한 경우 식 (25)에 제시한 수정된 최소에너지 기준이 새롭게 적용된다.

$$\langle R'', P_t'' \rangle = \arg \min_{(L, R, P_t)} E_{MSDU\_remain}(L^*, R, P_t) \quad (25)$$

그러므로 제안한 알고리즘은 경쟁 기반 접근 프로토콜을 사용하는 WPAN 시스템에 대하여 에너지 소모를 줄일 수 있고 동적 채널 상태 변화에 적용할 수 있으며, 동시에 QoS 요구사항들을 만족할 수 있다. 시뮬레이션을 통한 제안한 알고리즘에 대한 성능 개선 정도는 V장에서 제시한다.

**V. 시뮬레이션 결과**

본 논문에서는 제안한 알고리즘이 최적의 파라미터 집합 <L\*, R', Pt\*>을 선택할 수 있는지의 여부와 선택으로 인하여 효율적으로 에너지를 절약할 수 있는지에 대한 평가를 위해 주로 그림 2의 경쟁 접근 기간(CAP)에 대하여 실험하였다. 실험을 위해 IEEE 802.15.3 표준에 명시된 바와 같이 fragment 크기는 최대 2048바이트까지, 최대 전송 전력은 0에서 10dBm 사이의 스텝 크기(step size) 2dB로 가정하였다. 다른 파라미터들은 표 1과 2에 제시하였으며, 실험을 위한 피코넷 모델내에 10개의 WPAN 장치가 존재한다고 가정하였다.

표 1. IEEE 802.15.3 물리 계층 파라미터<sup>[4]</sup>.

파라미터	값
fragment 사이즈(bytes)	2048,1792,1536,1280,1024,512,256,64
헤더 지속시간(11Mbps)	31.27 $\mu$ s
헤더 지속시간(22, 33, 44, 55Mbps)	22.54 $\mu$ s
$T_{ACK}$	22.54 $\mu$ s
$SIFS$	10 $\mu$ s
$RIFS$	27.27 $\mu$ s
$BIFS$	17.27 $\mu$ s
$pBackoffslot$	17.27 $\mu$ s
경쟁 윈도우 사이즈 $i \in (0,3), CW_i$	$8 \cdot 2^{i-1}$

표 2. 에너지 파라미터.

파라미터	값
$P_c$	400 mW
$P_r$	50 mW
경로손실	50 dB
$\eta$ (PA 효율)	0.1

그림 6의 실험결과는 ME 기준에 따라 제안한 알고리즘이 주어진 채널 상태에 대하여 전송 전력, 데이터 전송율, fragment 크기 값들에 대한 최적의 집합을 어떻게 선택하는 지를 보인다. 그림 5의 결과에서 제안한 알고리즘이 하나의 프레임을 전송하기 위하여 에너지 효율이 최대인 파라미터 집합을 선택하는 것을 볼 수 있다. 예를 들어, 잡음전력 -65dBm 에서 <1536바이트, 64QAM-TCM의 55Mbps, 6dBm>이 선택된다. 일반적으로 잡음 전력이 증가할수록 fragment 크기는 작아져야 하고 변조 레벨은 낮아져야 한다.

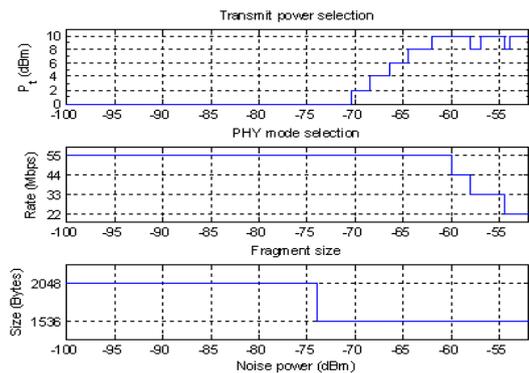


그림 6. 잡음 전력에 따른 전송 전력, 데이터 전송율과 fragment 크기의 선택

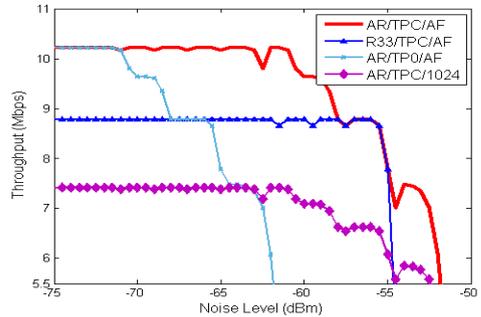


그림 7. 잡음 전력에 따른 처리량 비교

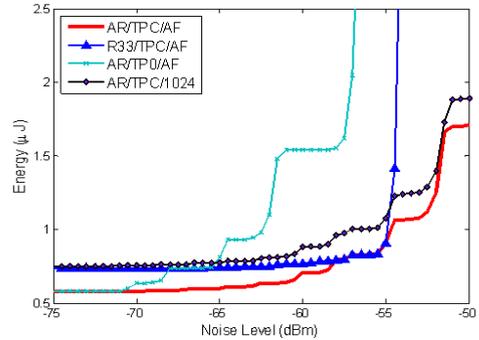


그림 8. 잡음 전력에 따른 에너지 소모 비교

결과적으로 전송 전력은 목표 FER을 만족시키기 위해 증가되어야 한다. 이 그림에서 약간의 변이가 관찰된 이유는 실험에서 고려한 시스템이 다른 시스템에서 지원되는 것처럼 표1의 fragment 크기, 전송 전력 수준, 변조 수준의 이산 고정 파라미터 값들을 갖고 있기 때문이다. 이는 파라미터의 각 스텝 크기가 에너지 소모에 서로 다르게 영향을 미치기 때문에 위에서 언급된 단조로운 관계는 항상 참은 아니다. 또한, 실험결과에서 CSMA/CA에서 채널 접속을 위한 에너지가 fragment 크기에 의존하지 않기 때문에 크기가 큰 fragment가 더 좋다는 것을 알 수 있다.

그림 8은 그림 7에서의 다른 부분적 적응 방법들과의 에너지 성능 비교 결과이며, 전체적인 성능은 거의 그림 7과 같고, 제안한 알고리즘(AR/TPC/AF)이 가장 낮은 에너지를 소모하고 있음을 알 수 있다. 그림 7과 8에서 제안한 방법과 기존의 한 방법에서 같은 성능을 보이는 영역은 고정 파라미터를 사용한 부분이다. 그림 8의 결과에서 적응율과 TPC의 1024 바이트 고정 fragmentation 크기 (AR/TPC/1024)는 처리량 성능과 비교하여 상당히 좋은 에너지 효율성을 보인다. 부분적 적응 기법들 중 1280바이트의 고정된 fragment 크기를 갖는 방

법은 에너지 소모를 계산하는 방법과 QoS 고려하는 것을 제외하고 [1]에서 의 알고리즘과 매우 유사하다. 그러나 frame 대 frame 동작 때문에 [1]에서 제안된 방법에 의해서 요구되는 부가적인 처리 전력에 대해 설명하자면 그 성능은 대단히 떨어지는 것을 알 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 경쟁 기반 매체 접속 프로토콜로 동작하는 에너지가 제한된 WPAN 장치들에 대하여 QoS를 보장하고 에너지 효율적인 전송 방법을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 WPAN 장치의 에너지 소모를 최소화하고 QoS를 보장하기 위하여 현재 채널 상태에 의한 적응적 최적의 파라미터 집합을 찾는다. 제안한 알고리즘과 IEEE 802.15.3 표준의 CAP에서의 기존 알고리즘을 처리량과 에너지 효율 성능 면에서 비교한 결과 제안한 알고리즘의 성능이 훨씬 좋다는 것을 보였다. ME 기준에 의한 적응 파라미터 갱신 기법은 모든 잠음 수준에서의 모든 최적의 포인트를 추적한다. 그러므로 제안한 적응적 전송 방법을 사용하는 WPAN장치들은 낮은 에너지 소모와 높은 QoS를 보장하는 경쟁 기반 매체 접속 프로토콜에 성공적으로 적용되었다.

## 참 고 문 헌

[1] D. Qiao, S. Choi, A. Jain, K. Shin, "MiSer: An Optimal Low-Energy Transmission Strategy for IEEE 802.11a/h," *MobiCom*, Sep.2003.

[2] J. Tourrihes, "Fragment adaptive reduction: coping with various interferer in radio unlicensed bands," in *Proc. IEEE ICC'01*, vol.1, pp. 239-244, 2001.

[3] Jd. P. Pavon, S. Choi, "Link Adaptation Strategy for IEEE 802.11 WLAN via Received Signal Strength Measurement," in *Proc.of IEEE ICC*, vol.2, pp.1108-1113, May2003.

[4] IEEE Draft Std 802.15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for High Rate Wireless Personal Area Networks, Feb. 2003.

[5] P. Cali, M. Conti, and E. Gregori, "Dynamic tuning of the IEEE 802.11 protocol to achieve a theoretical throughput limit," *IEEE ACM*

*transactions on networking*, vol.8, pp.785-799, 2000.

[6] E. Ziouva and T. Antonakopoulos, "CSMA/CA performance under High Traffic Conditions: Throughput and Delay analysis," *Elsevier Computer Communications*, vol.25, pp.313-321, 2002.

[7] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.18, no.3, pp.535-547, March2000.

[8] J. G. Proakis, *Digital Communications*, 4thEd., McGraw-Hill, 2001.

### 주 양 익 (Yang-Ick Joo)

정회원



2000년 2월 고려대학교 전자공학과 석사  
 2004년 2월 고려대학교 전자공학과 박사  
 2004년 3월~현재: 삼성전자, 통신연구소  
 <관심분야> 무선통신, PHY & MAC, Bluetooth, Wireless PAN, 유비쿼터스 네트워크

### 이 연 우 (Yeonwoo Lee)

종신회원



1994년 2월 고려대학교 전자공학과 석사  
 2000년2월 고려대학교 전자공학과 박사  
 2000년 3월~9월 고려대학교 BK21 박사후연구원  
 2000년 10월~2003년12월 영국 Edinburgh 대학교 Research Fellow  
 2004년 1월~2005년 8월 삼성종합기술원, 4G연구팀  
 2005년 9월~현재 국립목포대학교 정보공학부 정보통신공학전공, 조교수  
 <관심분야> 이동통신, Cognitive Radio, Mobile Multihop Relay, 4G 이동통신, Wireless Sensor Network, RRM.

정 민 아 (Min-A Jung)

정회원



1992년 2월 전남대학교 전산통계  
학과 졸업  
1994년 2월 전남대학교 전산통계  
학과 석사  
2002년 2월 전남대학교 전산통계  
학과 박사  
2005년 3월~현재 목포대학교 컴

퓨터공학전공 조교수

<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시  
스템, 무선통신응용분야(RFID, USN, 텔레메틱스),  
임베디드시스템

이 성 로 (Seong-Ro Lee)

정회원



1987년 2월 고려대학교 전자  
공학과 졸업  
1990년 2월 한국과학기술원 전  
기및전자공학과 석사  
1996년 8월 한국과학기술원 전  
기및전자공학과 박사  
2005년 3월~현재 목포대학교 정

보공학부 정보전공학전공 부교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시  
스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템,  
생체인식시스템

장 봉 석 (Bongseog Jang)

정회원



1997년 2월 미국 메사추세츠 주  
립대 컴퓨터과학 박사  
1997년 3월~1999년 2월 삼성전  
자 통신연구소 선임연구원  
1999년 3월~현재 목포대학교 정  
보공학부 멀티미디어공학전공  
부교수

<관심분야> 최적화, 이동통신, 디지털 콘텐츠