

비경쟁 접근 프로토콜 기반 WPAN을 위한 에너지 효율적인 전송기법

정회원 주 양 익*, 종신회원 이 연 우**°,
정회원 정 민 이***, 최 명 수****, 김 서 균*****

Contention-Free Access Protocol Based Energy-Efficient Transmission for Wireless PANs

Yang-Ick Joo* *Regular Member*, Yeonwoo Lee**° *Lifelong Member*,
Min-A Jung***, Myeong-Soo Choi****, Seogyun Kim***** *Regular Members*

요 약

에너지 효율적 전송기술은 무선 PAN(WPAN: Wireless Personal Area Network) 장치들과 같이 에너지 소모에 있어서 제약을 많이 받는 무선장치의 동작 시간을 최대화하기 위해서 필수적으로 요구되는 핵심 기술이다. 더욱이, WPAN이 TDMA 동작 방식과 연동되어 수행될 때, 할당된 각 time 슬롯에서 실제 물리적 전송의 QoS 요구 사항에 대한 보장은 설계시 만족시켜야 하는 또 다른 중요 설계 고려사항이다. 따라서, 본 논문에서는 TDMA 기반의 비경합 매체 접근 프로토콜과 함께 동작하는 WPAN을 위한 에너지-효율적이며 동시에 QoS를 고려한 전송 방법을 제안한다. 제안한 알고리즘을 통해서 전송파워, 물리적 데이터 전송율(변조 수준/방식), 에너지 소모 최소화, 그리고 동시에 할당된 time 구간에서 요구되는 QoS 만족시키는 fragment 크기 등에 대한 최적 조합을 결정할 수 있다. 제안한 알고리즘과 기존의 알고리즘과의 차이점은 전송파워, 데이터 전송율 및 fragment 크기에 대한 모든 파라미터의 조합을 찾는 것이다. 시뮬레이션 결과는 제안한 알고리즘을 통하여 처리량과 에너지 소모 측면에서 성능이 향상되었음을 보인다.

Key Words : WPAN, Energy efficient, Contention free Access Protocol, QoS

ABSTRACT

One of very essential techniques for enlarging lifetime of energy-constrained wireless personal area network (WPAN) devices is energy-efficient transmission technique. If the WPAN is operated based on a TDMA protocol, the satisfaction of QoS requirements at each allocated time slot is another important factor to be considered. We therefore propose an energy-efficient transmission scheme for WPANs operating with a contention-free medium access protocol such as TDMA, as well as satisfying QoS requirement. The proposed algorithm determines the optimum combination of transmit power, physical data rate and fragment size required to simultaneously minimize the energy consumption and satisfy the required QoS in each assigned time duration, considering all the possible energy-minimization related parameters. The proposed algorithm demonstrated the improved performance results in terms of throughput and energy consumption via computer simulation.

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

* 삼성전자 통신연구소, ** 목포대학교 정보통신공학전공(ylee@mokpo.ac.kr)(°교신저자), *** 목포대학교 컴퓨터공학전공,

**** 목포대학교 정보전자공학전공, ***** 정보통신연구진흥원

논문번호 : KICS2008-03-127, 접수일자 : 2008년 3월 13일, 최종논문접수일자 : 2008년 4월 14일

I. 서 론

최근, 개인 무선장치 대중화에 있어 가파른 성장은 다양한 이기종의 무선 장치 간의 효율적인 통신에 대한 요구를 증대시키고 있다. 지금까지 개발된 무선 통신 기술들은 무선 캐리어 서비스 제공자나 백본 (backbone) 네트워크와 같이 이미 확립된 인프라 구조에 개인 전자장치 등을 연결하는데 초점이 맞추어져 있었다. 그러나, 유비쿼터스 통신 연결성 (connectivity)에 대해 커져가는 요구로 인하여, 보다 증대되고 있는 관심을 유도하기 위해, 다른 방향의 coverage spectrum이 도입되었다. 이러한 기술의 도입으로 다시 작은 범위의 개인 무선통신 연결 기술이 요구되었으며, 개인 통신 장치가 기존의 확립된 인프라 구조가 없이도 서로 통신을 할 수 있도록 허용해야 한다. WPAN은 이러한 연결 기술의 좋은 예이다. WPAN 장치들은 대개 에너지 소모에 있어서 많은 제약을 받는 환경에서 동작하기 때문에, 기존의 무선 네트워크 컴포넌트보다 더 적은 평균 전력 소모만으로도 동작할 수 있어야 한다. 즉, 무선 센서 네트워크 응용에서와 같이 넓은 영역에 걸쳐 분산된 많은 수의 장치들을 위해 자주 배터리를 바꾸어 주는 것이 거의 불가능한 일일 뿐만 아니라, 각 장치에서는 제약된 배터리 수명으로 인하여, 에너지 효율적 동작은 WPAN 장치들에 있어서 가장 필수적인 요구사항이다. 만약 WPAN이 TDMA 기반의 기법들과 연동되어 동작할 때, 할당된 각 time 구간에서의 QoS 요구사항은 좋지 못한 무선채널 (coarse wireless channels)하에서 물리적 전송 시에 반드시 만족 되어야 한다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해, 매체 접근 제어 (Medium Access Control, MAC) 계층의 해당 설계 파라미터들에 맵핑되며, 물리계층과 MAC 계층 간의 전송전력, 변조 방식/수준, fragment 크기 등의 최적 조합을 통하여 이러한 요구사항은 만족될 수 있다. 본 논문에서는 어떻게 MAC 계층의 설계 파라미터들을 맵핑시킬 지에 대한 내용은 논외로 한다. 지난 몇 년 동안, 비경합 매체 접근 프로토콜과 연동되어 동작하는 무선 통신 시스템을 위한 에너지 효율적 전송 기법들이 많이 연구되었다^{[1]-[4]}. 에너지 소모를 줄이기 위하여 데이터 전송율(변조 방식/수준에 의해서 결정되는 전송율)을 변경시키는 변조-스케일링 알고리즘이^[3]에서 제안 되었다. 그러나 이러한 방법은 채널 상태를 고려하지 않고 다른 장치들로부터 데이터를 모을 수 있는 네트워크 조정 노드들을 위

해서만 사용이 가능하다. [4]에서 기술된 패킷 전송 스케줄링 알고리즘은 지연 시간 제약 하에서 에너지 소모를 최소화한다. 하지만, 이것은 물리적 회로들에 의해서 소모되는 에너지 소모를 간과하였으며, 더욱이, 특정 시-구간에 도착하는 패킷들만을 고려하였다. IEEE 802.11 WLAN 환경을 위해서 동시에 전송전력과 전송율 적응 기능을 갖는 다른 몇 가지 방법들이 [1]과 [2]에서 제안되었다. 그러나, 전송전력과 변조방식 및 수준등에 대한 적절한 조합의 선택이 각 프레임 전송 시에 반복적으로 발생하기 때문에, 불필요한 에너지가 채널 환경의 변화가 없는 곳에서도 발생하게 된다. 더욱이 프레임 대 프레임 동작 (프레임-by-프레임 operation)은 각 할당된 time 슬롯에서 전체 MAC 서비스 데이터 유닛들(MAC Service Data Units, MSDUs)을 위해 QoS를 고려할 수 없다는 단점을 지니고 있다. 언급한 바와 같이, [1]-[4]에서 제안한 방법들은 에너지 소모와 관련하여 전송 전력, 데이터 전송율, fragment 크기와 같은 모든 시스템 설계 파라미터들을 동시에 고려하지 못하는 문제점을 갖고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전송 전력, 물리적 전송률 및 fragment 크기의 최적 조합을 찾는 에너지 효율적이며 QoS를 고려한 방식을 제안한다. 제안한 알고리즘을 통하여, TDMA 기반의 매체접근 프로토콜과 연동되는 WPAN의 에너지 소모를 최소화 할 수 있다. 더욱이, 제안하는 방법은 채널의 상태와 요구되는 QoS (요구 처리량 또는 최대허용 지연시간)를 고려할 수 있다. 본 논문은 다음과 같이 구성 되어 있다. II장에서 간략히 TDMA에 기반한 비경합 매체 접근 방법의 시스템 모델에 대해서 기술하고 III장에서는 II장에서 기술된 시스템 모델에 대한 전송 에너지를 분석한다. 이후, TDMA기반의 WPAN을 위한 에너지 효율적이고 QoS를 고려하는 전송 알고리즘을 IV장에서 제안한다. V장에서는 제안한 알고리즘에 대한 처리량과 에너지 소모의 성능 평가 결과를 기술하고 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

그림 1에서 보는 바와 같이, 본 논문에서는 다수의 장치들이 무선 ad-hoc 네트워크를 구성하고 독립적인 장치들이 서로 통신할 수 있는 WPAN-표준인 피코넷(piconet) 모델을 가정한다. 이와 같은 네트워크는 일반적으로 사방으로 최소 10m 정도를

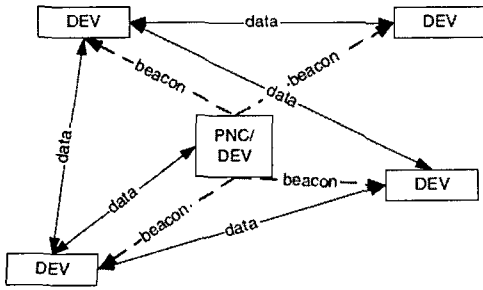


그림 1. WPAN 표준 네트워크 모델.

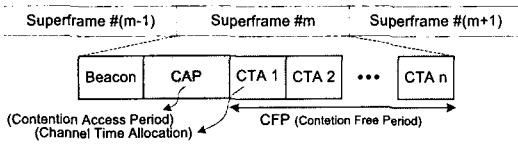


그림 2. WPAN의 슈퍼프레임 구조

커버하는 개인 또는 개체 주위의 적은 영역으로 제한된다⁵⁾. 피코넷에서 통신에 참여하고 있는 장치들 중의 하나는 비콘(beacon) 신호에 대한 시간 정보를 지원하고 QoS를 관리하는 피코넷 조정자(piconet coordinator, PNC)로서의 역할을 해야 한다.

그림 2 WPAN 표준 슈퍼프레임 구조를 보여주고 있다. 경합 접근 기간(The Contention Access Period, CAP)은 명령(command)이나 비동기 데이터를 통신하기 위해 사용되며, 비경합 기간(Contention Free Period, CFP)는 명령이나 등시적 (isochronous) 스트림, 그리고 비동기 데이터 연결을 위해서 사용되는 채널시간 할당 (channel time allocation, CTA)을 위해 예약된다⁵⁾. CTA 동안, 같은 피코 넷에서 다른 장치들로 부터의 간섭 없이, 장치들은 데이터를 전송할 수 있다. 따라서, CTA는 특정 QoS 조건을 가진 데이터 프레임의 전달하는데 유용하다. IEEE 802.15.3 표준과 IEEE 802.15.4 표준의 슈퍼프레임 구조가 다르지 않기 때문에, TDMA-기반의 WPAN 시스템의 참조 모델로써, IEEE 802.15.3 고속 (High-Rate, HR) WPAN 시스템을 고려한다⁵⁾. HR WPAN 시스템은 QPSK-TCM, DQPSK-TCM, 16QAM-TCM, 32QAM-TCM와 64QAM-TCM 각각에 대해서 11, 22, 33, 44, 55와 같은 다섯 가지의 데이터 전송율을 지원한다. IEEE 802.15.3 표준은 최대 2048 바이트, 최대 전송 전력은 0에서 10 dBm을 지원한다. 변조 수준 정보와 fragmentation은 각각 물리적 헤더와 MAC 헤더에 포함된다. 물리적 헤더와 MAC 헤더들은 DQPSK 방식으로 변조된다.

Ⅲ. 에너지 소모량 분석

그림 1과 그림 2에 기술된 WPAN 시스템 모델의 에너지 소모를 분석한다. Fragment 크기 L , 데이터 전송율 R , 전송 전력 P_t 를 사용하여 프레임을 전송할 때 요구되는 에너지는 다음 식 (1)에 의해서 기술된다¹¹⁾.

$$E_{frame}(L, R, P_t) = T_{frame}(L, R) P_t \quad (1)$$

위 식에서 T_{frame} 은 프레임의 전송 시간이며, P_{tx} 는 프레임을 전송하는데 요구되는 전체 전력이며, 다음과 같이 정의된다¹¹⁾.

$$P_{tx} = P_{c_mod} + \frac{P_t}{\eta} \quad (2)$$

P_t 는 엄밀한 의미(strict sense)에서 전송기의 출력 전력이다. η 는 전력 증폭기(Power Amplifier, PA)의 효율성을 나타낸다. P_{c_mod} 는 기저 밴드 프로세서들을 포함한 전송기의 변조 회로에서 소모되는 전력을 나타낸다. 성공적인 전송인 ACK 모드로 데이터 프레임을 전송할 때, 장치는 ACK 프레임을 기다리거나 받으면서 추가적인 에너지를 소모해야 한다. IEEE 802.15.3 표준에서 단기 프레임간 공간 (Short Inter프레임 Space, SIFS)의 끝에서 ACK 프레임이 도착하는 최악의 경우에, 에너지 소모는 다음과 같이 정의된다.

$$E_{SIFS} = T_{SIFS} \cdot P_{rx}^* \quad (3)$$

여기서, T_{SIFS} 는 SIFS의 시간이며, P_{rx}^* 은 전송과 감지(carrier sensing)에서 소모되는 전력이다. 이때, P_{rx}^* 은 실제 데이터 수신에서 소모되는 전력보다 적으며, 본 논문에서는 실제 데이터 수신 전력의 40%를 P_{rx}^* 값으로 예측하였고 따라서, $0.4P_{rx}$ 이다. 그러나 만약 기대되고 있는 ACK 프레임이 SIFS 구간에서 올바르게 수신되지 못한다면, 장치는 전송 시도에 따라오는 RIFS (Retransmission Inter프레임 Space) 기간 후에 장치는 프레임을 재전송한다. 만약 ACK 프레임이 SIFS의 끝부분과 RIFS의 끝부분 사이에 도착하지 않는다면, 전송 실패로 인해서 RIFS 동안 소모되는 전력은 다음과 같이 기술된다.

$$E_{RIFS} = T_{RIFS} \cdot P_{rx}^* \quad (4)$$

여기서 T_{RIFS} 는 RIFS의 시간이다. ACK 프레임을 수신하는 동안 소모되는 에너지는 다음과 같

이 표현된다.

$$E_{ACK} = T_{ACK} \cdot P_{rx} \quad (5)$$

T_{ACK} 는 한 ACK 프레임의 전송 시간을 나타내고, 수신모드에서 장치의 전체 전력 소모 P_{rx} 는 (6)에 의해서 표현된다¹¹⁾.

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

P_r 은 수신 front-end에서 소모되는 전력이며, P_{c_demod} 는 기타 기저 프로세서 (baseband processors)를 포함하는 복조기 회로에서 소모되는 전력을 나타낸다. 본 논문에서는, 변조 회로에서 소모되는 전력(P_{c_mod})과 복조회로에서 소모되는 전력(P_{c_demod})은 [1]에서 기술 되었듯이 같은 값인 P_c 로 설정하였다. L_{MSDU} 크기로 전체 MSDU의 전송을 고려할 때, 전송장치는 L_{MSDU}/L 개의 프레임들을 전송해야 한다. 따라서, 전송 에러를 고려하지 않고 전체 MSDU를 전송하는데 요구되는 전력은 다음과 같이 기술된다.

$$\begin{aligned} E_{MSDU}(L, R, P_t) &= \left[\frac{L_{MSDU}}{L} \right] \cdot E_{frame}(L, R, P_t) + E_{frame}(L_{remain}, R, P_t) \\ &+ \left[\frac{L_{MSDU}}{L} \right] \cdot (E_{SIFS} + E_{ACK}) \end{aligned} \quad (7)$$

L_{remain} 은 MSDU가 고정 크기 L 로 분할된 후의 남은 데이터의 길이이다. 위와 같은 수식모델에 근거하여, 할당된 CTA 기간 동안 전송 장치에 의해서 소모된 전체 에너지를 계산할 수 있다. CTA가 각 노드가 전송해야 할 데이터의 양에 근거하여 각 노드에 할당되는 것을 가정한다. CTA 기간 동안 K 개의 MSDU들을 전송하기 위해서 소모되는 총 에너지는 다음과 같이 기술된다.

$$E_{CTA} = \sum_{k=1}^K E_{MSDU,k}(L, R, P_t) \quad (8)$$

이러한 수식에 기반하여, 다음 장에서 새로운 알고리즘을 제안한다.

IV. TDMA기반 접근 프로토콜을 위한 에너지 효율적 전송 기법

수신 신호 강도 지표 (Received Signal Strength

Indicator, RSSI)와 링크 품질 지표 (Link Quality Indicator, LQI)로부터 예측할 수 있는 현 채널 상태와 현 QoS 제약 하에서 전송에너지를 최소화하는 fragment 크기, 데이터 전송율, 전송 전력의 최적 조합을 결정하는 알고리즘을 에너지 효율적으로 설계하였다. 효과적인 알고리즘 설계를 위해서, 각 MSDU에서 프레임 오류에 기인하는 프레임 재전송과 요구되는 QoS와 같은 몇 가지 파라미터들이 최적 조합을 결정하는데 고려되어야 한다. 프레임 에러에 의해 발생하는 재전송을 고려했을 때, 평균 처리량은 (9)에 의해서 계산되며, 계산된 처리량은 MAC 계층에서 맵된 QoS 요구량을 나타내는 TH_{req} 이상의 값 이어야 한다.

$$\begin{aligned} TH = & \frac{(1-FER) \cdot \sum_{k=1}^K L_{MSDU,k}}{\sum_{k=1}^K \left[\left[\frac{L_{MSDU,k}}{L} \right] T_{frame}(L, R) + T_{frame}(L_{remain}, R) + \left[\frac{L_{MSDU,k}}{L} \right] \cdot FER \cdot T_{RIFS} \right.} \geq TH_{req} \\ & \left. + \left[\frac{L_{MSDU,k}}{L} \right] \cdot (1-FER) \cdot (T_{ACK} + T_{SIFS}) \right] \end{aligned} \quad (9)$$

FER은 프레임 오류율을 나타내며, 현 채널 상태를 반영한다. FER은 채널의 환경 요인, 즉 AWGN 또는 다중경로페이딩(multipath fading) 채널 등에 따라 달라질 수 있다¹⁶⁾. 단순성을 위해서, 일반화의 손실 없이, 본 논문에서는 AWGN 채널 환경을 고려한다. 무선 채널에서 전송 오류를 고려할 때, 식 (7)에서 정의한 MSDU 전송을 위한 평균 에너지 소비는 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\begin{aligned} E_{MSDU,k}(L, R, P_t) = & \left(\left[\frac{L_{MSDU,k}}{L} \right] \cdot E_{frame}(L, R, P_t) + E_{frame}(L_{remain}, R, P_t) \right. \\ & \left. + \left[\frac{L_{MSDU,k}}{L} \right] \cdot ((E_{SIFS} + E_{ACK}) \cdot (1-FER) + E_{RIFS} \cdot FER) \right) \cdot \sum_{i=0}^{q-1} FER^i \end{aligned} \quad (10)$$

q 는 프레임이 폐기되기 전에 재전송을 시도한 횟수의 상한이다. 마지막으로 영향을 미치는 요인들을 고려하면, 현재 채널상태 하에서 CTA에 대한 ECTA를 최소화하고 아래에서 정의된 기준에 근거한 QoS 제한을 최소화하기 위해 필요한 최적의 $\langle L, R, P_t \rangle$ 집합을 찾을 수 있다.

정의. 최소 에너지(ME) 기준

$$\langle L', R', P_t' \rangle = \arg \min_{\langle L, R, P_t \rangle} E_{CTA}(L, R, P_t) \quad (11)$$

CTA 구간의 지연에 대하여 잡음 전력과 패스 손실이 모두 일정하게 제공될 때, 전송 에너지의 소비를 최소화하기 위하여 CTA 구간 동안 $\langle L^*, R', P_t \rangle$ 조합을 유지하는 것이 최선일 것이다. 그러나 무선 채널에서 CTA 지연 동안에 잡음 전력과 패스 손실이 일정하지 않을 수도 있기 때문에, ME 기준에 따라 CTA에서 남은 시간 지연(remaining time duration)에 대한 전체 전송 에너지를 최소화하기 위하여 최적의 집합을 새로운 값 $\langle L^*, R'', P_t' \rangle$ 이나 $\langle L^{**}, R'', P_t' \rangle$ 로 변경 하여야 한다. 그림 3은 제안한 알고리즘의 흐름도이다.

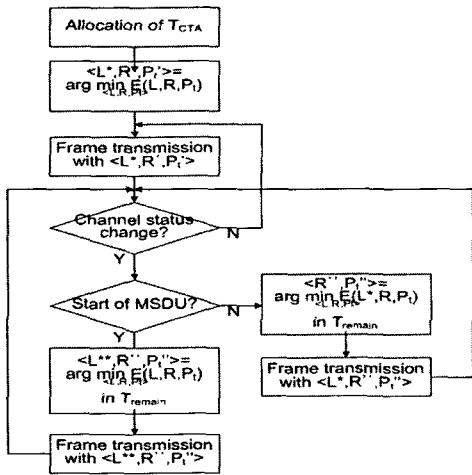


그림 3. 제안한 알고리즘의 흐름도

V. 실험 결과

제안한 알고리즘이 최적 파라미터 집합인 $\langle L^*, R', P_t \rangle$ 을 선택할 수 있는지 평가하기 위하여, IEEE 802.15.3 고성능(High-Rate) WPAN 시스템의 파라미터를 기준으로 비경합 기간(contention free period, CFP)을 그림2의 몇몇 CTA 기간을 통하여 실험한다. 이를 통하여 에너지를 절약한다. IEEE 802.15.3 표준에 명시된 대로, fragment 크기(fragment size)를 최대 2048 바이트까지로 하고 0과 10dBm사이의 최대 전송 전력의 한 스텝 크기(step size)가 2dB라고 가정한다. 표1과 표2는 그 외의 인수들을 나타낸다. 두 MSDU는 CTA에서 전송된다고 가정한다. 그 크기는 3000 바이트와 4000 바이트이고 CTA 시간 지연은 0.006초이다. 10개의 WPAN 장치가 실험된 피코넷 모델에 존재한다고 가정한다.

표 1. IEEE 802.15.3 물리 계층 파라미터.

Parameter	Value
Preferred fragment size (bytes)	64, 256, 512, 1280, 2536, 1792, 2048
Header duration for 11 Mbps	31.27 μ s
Header duration for 22, 33, 44, 55 Mbps	22.54 μ s
T_{ACK}	22.54 μ s
T_{SIFS}	10 μ s
T_{RIFS}	27.27 μ s

표 2. 에너지 파라미터.

Parameter	Value
P_c	400 mW
P_r	50 mW
Path loss	50 dB
η (PA efficiency)	0.1

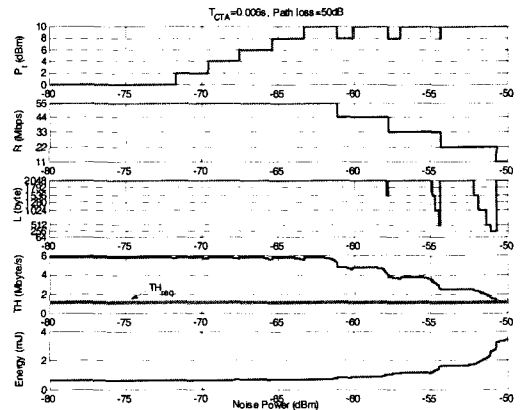


그림 4. 잡음 전력 수준에 따라 선택된 전송전력(P_t), 데이터율(R), fragment 크기(L)의 파라미터 집합 처리율(TH)과 소비 에너지

그림 4의 실험결과는 ME 기준으로 선택된 최적 $\langle L^*, R', P_t \rangle$ 집합이 어떻게 에너지 효율이 최대인 전송을 하는지와 주어진 채널 상태에서 어떻게 전체 전송 에너지를 최소화하는지를 보여준다. 그림 4의 결과에서, 제안한 알고리즘이 하나의 프레임 전송을 하기 위하여 에너지 효율이 최대인 파라미터 집합을 선택하는 것을 볼 수 있다. 예를 들어, -60dBm의 잡음 전력(noise power)을 위하여 $\langle 2048 \text{ bytes}, 44 \text{ Mbps of } 32\text{QAM-TCM}, 10 \text{ dBm} \rangle$ 집합이 선택된다. 일반적으로 잡음 강도가 증가할수록 fragment 크기는 작아져야 하고 변조 수준(modulation level)은 낮아져야 한다. 그러므로 전송 전력은 목표 FER을 충족시키기 위하여 증가되어야 한다. 이 그림에서 약간의 변이가 관찰된 이유는 고려한 시스

템이 이산적인 고정 파라미터 값을 갖기 때문이다. 이 파라미터들은 표1의 fragment 크기, 전송 전력 수준, 변조 수준 들이다. 이는, 파라미터의 각 스텝 크기가 에너지 소비에 다르게 영향을 미치기 때문에 위에서 언급된 단조로운 관계는 항상 참은 아니다. 예를 들어, 잡음 전력이 약 51dBm일 때, 고정 변조 수준으로 fragment 크기를 감소시키는 것보다 256 바이트에서 2048 바이트로 fragment 크기를 증가시키고 22 Mbps 에서 11 Mbps로 변조 수준을 감소시키는 것이 에너지 효율을 더 좋게 한다. 또한, 그림 4는 잡음 전력 수준에 따라 새로 선택된 최적 $\langle L^*, R', P_i \rangle$ 집합으로 처리율 (처리량 :TH) 과 에너지 소비성능을 나타낸다. 그러나, 목표 FER 을 이룰 수 없는 정도로 잡음 수준이 최악으로 높은 경우에는 QoS 요구, TH_{req} 와 같은 처리율 요구는 보장될 수 없다. 이런 문제를 해결하기 위하여, 가장 낮은 변조의 프레임을 가능한 한 가장 작은 fragment 크기와 가장 높은 전송 전력으로 보내는 방법뿐이다. 그림 5는 CTA 지연 동안 채널상태의 변화에 따른 제안한 알고리즘의 적응도를 나타낸다. 그러므로 업데이트된 알고리즘에 기반으로 하는 제안한 ME 기준 즉, $\langle L^*, R', P_i \rangle$ 또는 $\langle L^{**}, R'', P_i'' \rangle$ 와 같은 최적의 파라미터 집합을 갱신하여 처리율과 에너지 소비 면에서 상당한 성능 향상을 이룰 수 있다. 초기 단계에서, 최적 파라미터 집합은 잡음 전력이 -6dBm인 초기 채널상태를 기준으로 결정되고 처음 분할된 프레임이 전송된다. CTA 지연동안 잡음 전력 수준이 변화되면 과거의 채널 상태 (그림 5에서 업데이트되지 않은 경우)를 기준한 파라미터 집합을 가진 전송 구조는 더 많은 에너지를 소비할 것이고 처리율은 감소할 것이다. 이런 경우와 비교할 때, 현재 채널상태에 적합하도록 파라미터 집합을 변경하는 제안한 알고리즘은 에너지 소비를 감소시키고 처리율을 향상시킬 수 있다. 그러므로, 채널상태에 따라 최적의 전송 파라미터를 변경하는 것이 처리율 뿐 아니라 에너지 소비 면에서 더 효과적이라는 것을 확인할 수 있다. WPAN 과 같은 동적 채널 환경을 고려할 때, 채널 적응성 (adaptability)이 중요한 요소이므로 이러한 시스템에서 제안한 구조가 매우 적합하다. 부분적으로 고정된 파라미터 집합(고정된 데이터율, 고정된 전송 전력, 고정된 fragment 크기)을 가진 부분적인 적응 구조(adaptive schemes)와 비교할 때, 제안한 알고리즘이 더 적은 에너지를 소비한다. QoS 요구를 만족시키면서 에너지 효율을 달성하기 때문이다. 이와

같은 결과는 그림 6에 나타나 있다. 그림 6은 제한된 알고리즘이 채널의 상태에 따라 fragment 크기, 데이터 전송율, 전력 등의 모든 파라미터를 적응적이고 성공적으로 변경시킨다. 부분적 적응 구조들 사이에서, 고정된 fragment 크기 128 바이트 방법은 매우 좋은 에너지 효율을 나타낸다. 이 방법은 에너지 소비와 QoS 문제를 산정하는 법을 제외하면 [1]에서 기술된 알고리즘과 매우 유사하다. 그러나, [1]에서 제안한 구조에서 프레임 대 프레임 동작(operation)으로 인해 발생하는 부가적인 처리 전력을 고려하면 그 성능이 더욱 크게 감소됨을 알 수 있다.

그림 6에서와 같이 44Mbps의 고정된 PHY율을 갖는 다른 구조들은 부분적으로 최적의 해를 나타내고 있다. 그러나 -55dBm나 -57dBm이상으로 잡음 수준이 증가하게 되면 이 두 구조들은 갑자기

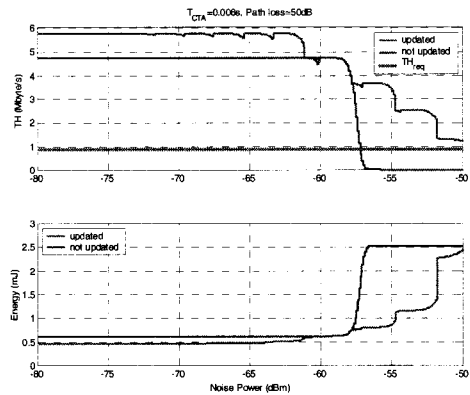


그림 5. 고정된 파라미터와 갱신된 파라미터를 갖는 방법 사이의 처리량과 에너지 소비 비교

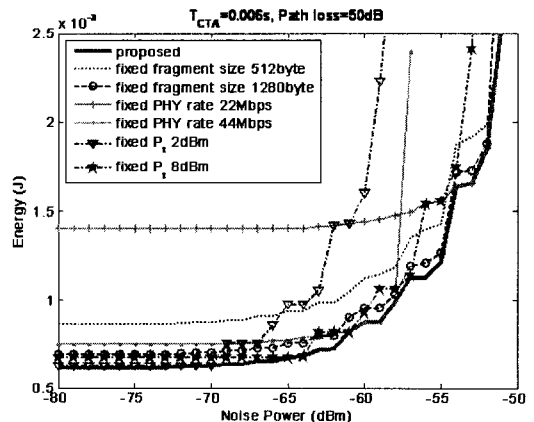


그림 6. 주어진 CTA 시간 지연과 패스 손실(path loss)에 대한 잡음 전력 수준에 따른 구조들 간의 에너지 소비 비교

더 많은 전력을 필요로 한다. 게다가 고정된 전력 전송(power transmission)을 가진 구조들은 유사한 결과를 보인다. 이러한 결과로부터, 모든 파라미터가 적절히 변경되지 않는다면 최적의 에너지 소모를 보장할 수 없다고 결론지었다. 그림 6에서, 제안한 알고리즘이 최적의 해를 찾아내고 있다는 것을 알 수 있다. 제안한 알고리즘은 저전력 전송을 하고 낮은 잡음 수준에서 fragment 크기와 PHY율을 증가시킨다. 이는 결과적으로 높은 처리율과 QoS 요구를 만족시킨다. 반면에, 잡음 수준이 증가되면 더 많은 전력으로 전송하고 PHY율과 fragment 크기를 감소시킨다. 그러므로, 제안한 알고리즘은 잡음이 심한 환경에서도 요구된 처리율 이상의 좋은 성능을 유지시킬 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 TDMA기반의 접근 프로토콜과 관련하여, 에너지가 제한된 WPAN시스템의 운용을 위하여 에너지 효율이 좋은 전송 구조를 제안한다. WPAN 장치의 시스템 수명에 대한 요구를 만족시키기 위하여, PHY 계층에서 MAC 계층까지의 데이터율, 전송전력, fragment 크기의 파라미터 집합에 초점을 둔다. 이러한 파라미터는 WPAN 장치에 의해 소비되는 에너지 양을 결정하는 중요한 요소이기 때문이다. 그러므로 WPAN 장치의 에너지 소비를 최소화하고 QoS를 보장하기 위하여 제안한 알고리즘은 현재 채널상태에 적합한 최적 파라미터 집합을 찾는다. IEEE 802.15.3 표준의 CFP 지연에서 고정된 파라미터 기반의 구조와 비교할 때, 제안한 ME 기준(criterion-base)의 적응 파라미터 갱신 구조는 처리율과 에너지 효율에서 최적의 성능을 나타내었다. 그러므로 제안한 구조는 TDMA기반의 WPAN 장치의 QoS 성과와 에너지 효율을 모두 향상시킬 수 있다.

참 고 문 헌

[1] D. Qiao, S. Choi, A. Soomro, and K. G. Shin, "Energy-Efficient PCF Operation of IEEE 802.11a Wireless LAN," in Proc. of IEEE INFOCOM'02, vol.2, pp.580-589, NewYork, NY, June2002.
 [2] D. Qiao, S. Choi, A. Jain, K. Shin, "MiSer: An Optimal Low-Energy Transmission Strategy for

IEEE 802.11a/h," MobiCom'03,pp.161-175, San Diego, CA, Sep. 2003.

[3] C. Schurgers, V. Raghunathan, and M. B. Srivastava, "Modulation Scaling for Real-Time Energy Aware Packet Scheduling," GLOBECOM '01, vol. 6, pp. 3653-3657, Nov. 2001.
 [4] B. Prabhakar, E. U. Biyikoglu, and A. E. Gamal, "Energy-Efficient Transmission over a Wireless Link via Lazy Packet Scheduling," in Proc. IEEE INFOCOM'01, vol.1, pp.386-394, Anchorage, AK, April 2001.
 [5] IEEE 502.15.3, Part 15.3: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Wireless Personal Area Networks (WPAN), standard, IEEE, Feb. 2003.
 [6] J. G. Proakis, Digital Communications, 4thEd., cGraw-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 네트워킹

이 연 우 (Yeonwoo Lee)

중신회원



1994년 2월 고려대학교 전자공학 과 석사

2000년2월 고려대학교 전자공학 과 박사

2000년 3월~9월 고려대학교 BK21 박사후 연구원

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



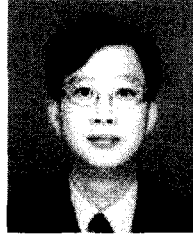
1992년 2월 전남대학교 전산통계
학과 학사
1994년 2월 전남대학교 전산통계
학과 석사
2002년 2월 전남대학교 전산통계
학과 박사
2005년 3월~현재 목포대학교 컴

퓨터공학전공 조교수

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

김 서 균 (Seogyun Kim)

정회원



1992년 2월 전남대학교 전자공학
과 학사
1996년 8월 전남대학교 전자공학
과 석사
2002년 2월 전남대학교 전자 공
학과 박사
2002년 4월~현재 정보통신연구

진흥원 선임연구원

<관심분야> 모바일 서비스, 방송시스템, 무선통신분야
(USN, 배열신호처리)

최 명 수 (Myeong-soo Choi)

정회원



2000년 2월 목포대학교 전자공학
과 학사
2002년 2월 목포대학교 전자공학
과 석사
2005년~현재 목포대학교 전자공
학과 박사과정

<관심분야> 디지털통신시스템,

무선통신분야(USN, 배열신호처리), 임베디드시스
템, 생체인식시스템