

# 무선 멀티미디어 센서 네트워크(WMSN) 환경에서 멀티미디어 데이터 전송을 위한 대용량 전송 기법에 대한 연구

이 재 호\*, 엄 두 섭°

## A High Performance Transmission Method for Massively Delivering Multimedia Data in WMSN

Jae-Ho Lee\*, Doo-Seop Eom°

### 요 약

WSN은 센서 탐지에 의한 데이터 전송을 목적으로 사용하며 이러한 송신 이벤트의 데이터 전송량은 일반적으로 용량이 작다. 이러한 이유로 일반적인 WSN MAC 프로토콜은 에너지 효율을 높이기 위하여 듀티 사이클 방식을 적용하지만, 이는 WMSN 환경에서 요구되는 대용량 멀티미디어 데이터 전송에 적합하지 않다. 본 논문에서는 WMSN 요구를 만족시키기 위하여 MAC 계층에서의 새로운 대용량 데이터 전송 기법을 제안하며, 기존 WSN 환경의 경쟁기반 MAC 프로토콜에서 도입하는 듀티 사이클 기법과 공존하여 적용할 수 있도록 설계하였다. 또한, 제안하는 대용량 데이터 전송기법은 송신 버퍼의 상태와 채널 환경을 고려하여 사용 유무를 결정하도록 설계되었으며, 송수신 노드가 대용량 데이터 전송 시점에서 이웃 노드에게 간섭받지 않고 채널 점유를 보장받을 수 있도록 설계되었다. 본 논문은 제안 방식의 객관적 성능을 평가하기 위하여 기존 듀티 사이클 기법을 지속적으로 운영하는 MAC과 제안하는 대용량 전송 방식을 혼용하여 운영하는 MAC을 모두 실험하고 그 결과를 분석하였다.

**key Words** : WSN, WMSN, Wireless Multimedia Sensor Networks, MAC, 센서 네트워크, 멀티미디어

### ABSTRACT

For transmitting sensed data, wireless sensor networks have been developed and researched for the improvement of energy efficiency, hence, many MAC protocols in WSN employ the duty cycle mechanism. Since the progressed development of the low power transceiver and processor let the high energy efficiency come true, the delivery of the multimedia data which occurs in area of sensor work should be needed to provide supplemental information. In this paper, we design a new scheme for massive transmission of large multimedia data where the duty cycle is used in contention based MAC protocol, for WMSN. The proposed scheme can be applied into the previous duty cycle mechanism because it provides two operation between normal operation and massive transmission operation. Measuring the buffer status of sender and the condition of current radio channel can be criteria for the decision of the above two operations. This paper shows the results of the experiment by performing the simulation. The target protocol of the experiment is X-MAC which is contention based MAC protocol for WSN. And two approaches, both X-MAC which operates only duty cycle and X-MAC which operates combined massive transmission scheme, are used for the comparative experiment.

\* 본 연구는 민·군겸용기술사업(Dual Use Technology Program)의 지원을 받아 수행되었습니다.

• 주저자 : 고려대학교 전기전자전파공학과 미래정보망 연구실, izeho75@korea.ac.kr, 정회원

° 교신저자 : 고려대학교 전기전자전파공학과 교수, eomds@korea.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2012-03-159, 접수일자 : 2012년 5월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 10월 31일

## I. 서 론

최근 주요 시설물 관리나 기상 관측 등의 환경 데이터 수집을 위한 효과적인 방법을 위하여 WSN (Wireless Sensor Networks)이 활발히 연구되고 있다. WSN은 원격지에서의 데이터 수집을 위하여 환경 데이터 감지를 위한 센서에 네트워크 기능을 추가하여 전송하는 기술로서, WLAN (Wireless Local Area Networks) 등의 기존 네트워크가 고수율 (high throughput), 빠른 응답 (low delivery delay), 높은 통신거리, 고신뢰 등을 목적으로 두는 점에 반하여 목적과 요구조건이 상이하다<sup>[1]</sup>.

WSN을 구성하는 노드는 설치와 유지 등의 비용을 줄이기 위하여 매우 작은 크기와 낮은 H/W 성능, 적은 메모리 공간 등의 제약을 지닌다. 또한 WSN 운영환경 역시 센서의 정보를 주기적 또는 비주기적으로 전달하는 데 목적을 두기 때문에 기존 네트워크의 운영 환경에 비하여 통신량과 전송 속도 측면에서 높은 성능을 요구하지 않는다. 하지만 유지보수의 비용을 줄이기 위해서는 높은 운영 시간이 요구되며, 이를 만족시키기 위하여 WSN은 에너지 효율 측면을 가장 중요한 성능요소로 요구한다.

현재 수 많은 WSN 관련 기술들이 연구되어왔으며 공통적으로 에너지 성능을 위하여 매우 낮은 데이터 송신량을 기반으로 설계하고 있다. 하지만 저가의 저전력 프로세서와 RF transceiver 제품들이 고속으로 발달함과 함께 센싱 환경에서의 음성이나 영상정보 등의 멀티미디어 데이터 전송 역시 크게 요구되고 있으며, 이를 위한 WMSN (Wireless Multimedia Sensor Networks) 기술이 소개되고 있다. 최근 효과적인 WMSN을 위한 연구가 응용계층부터 물리계층까지 다양한 각도로 진행되고 있으며, MAC 계층에서의 새로운 연구 역시 QoS(Quality of Service)와 대용량 데이터 전송이라는 목표와 함께 활발히 소개되고 있다.

WSN MAC은 비경쟁 방식(Contention-Free)과 경쟁기반(Contention-Based) 방식으로 크게 구분되며 적용 환경과 특성에 따라 각각 장점과 단점을 지닌다<sup>[2]</sup>. TDMA를 기반으로 설계되는 비경쟁 방식의 MAC은 모든 노드의 wakeup / sleep 스케줄을 동기화하여 동작한다. 이는 동기화된 모든 노드들이 주기적으로 송수신 기회를 갖기 때문에 관측 대상 지역의 온도, 습도 등의 환경 데이터를 주기적으로 전송하는 환경에 적합하지만, 지진 등의 자연재해

감시나 시설물 안전관리, 침입자 감지 등의 이벤트 기반 감지 환경에는 적합하지 못하다. 반면에 CSMA/CA 기반의 경쟁기반 MAC은 비경쟁 방식의 MAC에 비하여 간헐적 이벤트 모니터링에 효과적이며, 주기적 데이터 송수신이 없기 때문에 이벤트 발생 빈도가 매우 낮은 환경에서 효율적이다.

WSN 환경에서 연구되고 있는 경쟁기반 MAC중 많은 수가 CSMA/CA 방식을 따른다. 이 방식은 IEEE 802.11 DCF (Distributed Coordination Function)와 듀티 사이클(Duty Cycle)을 기반으로 하는 경쟁방식의 MAC이며, 대표적으로 B-MAC<sup>[4]</sup>, X-MAC<sup>[3]</sup>, Wise-MAC<sup>[5]</sup> 등이 이 방식을 채택하고 있다. 앞서 언급한 자연재해나 침입자 등을 감시하는 응용 환경에서는 센싱 이벤트가 매우 간헐적으로 발생하기 때문에, 주기적으로 동기 메시지를 교환하는 비경쟁 방식에 비하여 CSMA/CA 기반의 경쟁기반 MAC이 에너지 효율 측면에서 매우 유리하다. 하지만 이 방식은 데이터를 송신 할 때마다 CS (Carrier Sensing)을 수행하고 충돌 회피를 위한 백오프(Back-off) 시간을 소모하기 때문에, 모든 데이터 송신 마다 백오프 시간만큼의 지연이 불가피하게 발생하며 이로 인하여 throughput 성능이 낮다. 또한 대용량 데이터 전송 요구가 발생하는 WMSN 환경에서는 이러한 지연 시간과 throughput 문제의 영향이 더욱 심각해진다.

일반적으로 WMSN 환경은 센싱 데이터 전송과 이미지, 음성, 영상 등의 멀티미디어 데이터 전송으로 구분된다. 멀티미디어 데이터는 센싱 데이터보다 전송량이 매우 클 수 있기 때문에 각 데이터 종류 별로 중요도를 분류할 필요가 있으며 이에 따른 QoS를 MAC 계층에서 지원해야한다<sup>[13]</sup>. 또한 기존 WSN MAC은 에너지 효율의 향상을 목적으로 하며 이러한 대용량 데이터의 전송에 대한 고려가 없기 때문에 MAC 계층에서의 WMSN에 적합한 대용량 전송 기법이 절실히 필요하다.

현재 WMSN 환경에서의 많은 MAC 프로토콜에 대한 연구가 QoS를 중심으로 진행되고 있지만, 이에 반하여 앞서 언급한 대용량 전송에 대한 연구는 다소 미진하며 진행 연구의 대부분은 IEEE 802.11e 표준에서의 TXOP 등을 기반으로 진행되어왔다. 침입감시나 재해감시 등의 응용 환경에서 주로 사용하고 있는 CSMA/CA 기반의 MAC에서도 센싱 정보의 신뢰성을 위하여 멀티미디어 데이터 전송이 필요하며, 이 경우 CSMA/CA 특성상 백오프 등으로 인한 전송 지연이 더욱 크기 때문에 대용량 데

이터 전송에 대한 고려가 요구된다. 또한 X-MAC을 비롯한 많은 경쟁기반 MAC 방식에서는 Coordinator가 불필요하며, 이 경우 IEEE 802.11e 표준에서의 TXOP 기법은 적용이 어렵기 때문에 WMSN을 위한 대용량 전송 기법은 더욱 크게 요구된다.

본 논문에서는 경쟁기반 MAC을 멀티미디어 전송이 요구되는 WMSN 환경에 적용할 때 요구되는 대용량 전송의 새로운 방식을 설계하고 이에 대한 검증하는 데 그 목적을 둔다. 본 논문은 II장에서 WMSN 환경의 MAC계층에 대한 몇 가지 연구를 소개하고, III장에서 본 논문에서의 목표인 대용량 전송 방식을 새롭게 제안하며, 이에 대한 실험 결과와 성능 분석을 IV장에서 진행하고 V장에서 결론을 내리는 구성으로 서술되었다.

## II. 연구 배경

WSN에 대한 연구는 응용 계층부터 물리 계층까지 다양한 각도로 진행되고 있다. 이 중 MAC 계층에서의 연구는 에너지 효율과 지연시간, 충돌 회피 문제 등을 중심으로 진행되고 있으며<sup>[2]</sup>, 이벤트 발생 확률이 낮은 응용 환경에서의 에너지 성능을 목표로 하는 경쟁기반 MAC 프로토콜은 기본적으로 CSMA/CA 방식을 채택하고 에너지 효율을 위하여 듀티 사이클 기법을 운영한다. 즉, 모든 노드는 자신만의 듀티 사이클을 가지며 이를 토대로 주기적으로 sleep 상태와 wakeup 상태를 반복하여 에너지 소모를 줄이고, 비컨(beacon) 전송, 시각동기 등의 동기식 메커니즘을 사용하지 않음으로써 불필요한 컨트롤 프레임(control frame) 전송 수를 줄였다. 하지만, 각 데이터 송신 전에 CS를 수행하기 때문에 불가피한 지연 시간이 발생하며, 이러한 이유로 낮은 throughput과 end-to-end 지연문제를 가지고 있다.

B-MAC[4]은 비경쟁 기반 MAC의 주기적 컨트롤 프레임 전송에서 발생하는 에너지 소모를 줄이기 위하여, 실제 데이터를 전송하기 전에 프리앰블(preamble)을 우선 전송함으로써 상대 노드의 wakeup 상태를 보장하여 실제 프레임의 전송 수를 줄였다. 또한 B-MAC에서 발생하는 프리앰블의 에너지 소모량을 감소시키기 위해 제안된 Wise-MAC[5]은 이웃 노드의 wakeup schedule을 학습하고, 이를 토대로 프리앰블 전송 시작 시간을 예측하기 때문에, 프리앰블 전송 시 발생하는 에너

지 소모량을 줄이고 주기오차를 확률적으로 낮추었다.

그림 1에 나타난 X-MAC[3]은 B-MAC을 근간으로 하는 경쟁기반 MAC으로서, Short Preamble과 Address Filtering, Early ACK를 사용하여 에너지 효율을 향상시켰다. Short Preamble 방식은 B-MAC의 프리앰블 전송 방식을 짧게 나누어 여러 번 전송하는 방법으로, 프리앰블간의 송신 간격만큼 에너지 효율을 증가시켰다. 또한 Address Filtering은 각 노드가 Short Preamble을 수신하기 위해 발생하는 wakeup time을 줄이는 방법으로, Short Preamble에 목적지 주소를 포함시켜 수신중인 노드로 하여금 자신의 주소와 일치하지 않을 경우 전체 프리앰블을 수신하지 않고 빠른 sleep 상태로 진입하게 하여 전력 소모량을 최소화하였다. 마지막으로 Early ACK는 수신 노드가 해당 송신 노드의 프리앰블 수신 후 이에 대한 ACK를 전송하고 그 후에 데이터를 수신하는 방법으로써, 기존의 ACK 메커니즘과는 다른 방법을 사용하였다. 기존 Wise-MAC에서는 상대 노드의 wakeup 상태를 파악하지 못하기 때문에 불필요한 데이터 재전송이 발생하였으나, X-MAC에서는 프리앰블 전용의 Early ACK를 이용하여 데이터 프레임의 ACK 대기 시간을 줄여 전송 효율을 높이고 에너지 소모량을 감소 시켰다.

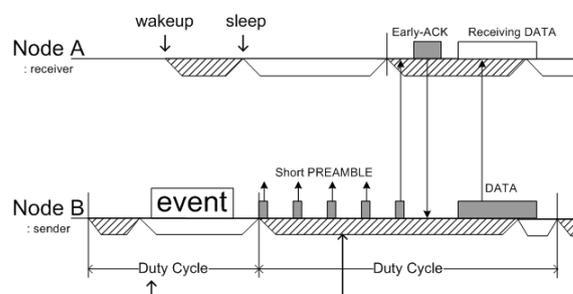


그림 1. The process of X-MAC  
Fig. 1. The process of X-MAC

B-MAC과 X-MAC은 듀티 사이클 등의 기법을 통하여 에너지 효율을 중점적으로 발전시키는 반면 멀티미디어 데이터 전송에 대한 고려가 없다. 이와 같은 멀티미디어 전송의 새로운 요구를 충족시키기 위하여 다양한 WMSN 환경에서의 MAC 프로토콜들이 소개되어 왔으며, 이들은 공통적으로 end-to-end 지연시간에 대한 문제와 서비스 데이터의 구분에 의한 QoS 문제를 중점적으로 다루고 있다<sup>[2]</sup>.

경쟁기반 방식으로서 WMSN 환경에 적합한 형태의 MAC 프로토콜을 위하여 Veres 등의 저자는 IEEE 802.11e 표준 기술에 기반을 두고 연구를 진행하였다<sup>[7]</sup>. 이 연구에서는 분산 네트워크 환경에서의 모든 응용 데이터에 서비스 형태별로 우선순위를 부여하고, Contention 발생 시 채널 점유에 대한 차별을 두었다. 이 방식은 IEEE 802.11 표준에서의 DCF 사용 환경을 가정하였다. DCF 에서의 각 노드는 데이터를 송신하기 위하여 채널을 점유할 때, 경쟁에 참여하는 모든 노드는 CW (Contention Window) 크기를 정하여 채널을 점유한다. 이러한 환경에서 이 연구는<sup>[7]</sup> 서비스 별로 구분된 우선순위에 의하여 해당 송신 데이터의 CWmin과 CWmax를 정하고, 이를 통하여 MAC 계층에서의 QoS를 보장한다. 즉, 우선순위가 높은 데이터는 낮은 CWmin과 CWmax를 설정하기 때문에 CSMA/CA 기반의 채널 점유 경쟁에서 우위를 차지할 수 있다.

경쟁기반 방식의 WMSN MAC 프로토콜의 또 다른 연구로서는 RAP<sup>[8]</sup> 방식이 있다. 이 연구는 IFS (Inter Frame Spacing)와 백오프 크기를 우선순위에 따라 가변시켜 QoS를 보장하였다. 이 연구 또한 IEEE 802.11e 표준을 기반으로 진행되었기 때문에 대용량 데이터 전송에 대하여 TXOP 기법이 적용되었다.

위 연구들은<sup>[7][8]</sup> 모두 IEEE 802.11과 802.11e 표준을 바탕으로 제안되었다. 하지만 이벤트 발생 확률이 낮고 넓리 분포되는 WSN 환경에서는 Coordinator가 불필요한 기존 경쟁기반 MAC<sup>[3-5]</sup>이 효율적이다. 따라서, 이러한 환경에서 멀티미디어 데이터 전송을 위한 대용량 데이터 전송 방안에 대한 연구가 필요하다.

Navrati Saxena 등의 저자는 경쟁방식의 CSMA 기법을 토대로 WMSN을 위한 새로운 MAC 프로토콜<sup>[10]</sup>을 제안하였다. 이 프로토콜은 에너지 효율과 멀티미디어 전송을 위한 새로운 QoS 기법을 CSMA MAC 프로토콜에 적용함으로써, 트래픽이 적은 환경에서 에너지 효율을 높이고 반대의 환경에서 대용량 전송을 지원하였다. 이 프로토콜에서는 모든 노드가 일정 시간동안 송신 노드의 수를 측정하며, 이웃하는 환경에서 송신 노드가 많고 이에 따른 송신 실패율이 높을 경우 CW를 증가시켰다. 이 프로토콜은 결론적으로 트래픽 량에 따른 Wakeup 구간을 가변화시켜 QoS를 보장하는 가변 듀티 사이클 MAC을 나타낸다. 하지만, 수많은 가변 듀티

사이클 방식이 기존부터 제안되어왔으며, 일시적으로 발생하는 대용량 멀티미디어 데이터 전송을 해결하기에는 부족하다.

Tommaso Melodia 등의 저자는 UWB (Ultra Wide Band)를 사용하는 WSN 환경에서 멀티미디어 데이터 전송을 위한 Corss-Layer 구조를 설계하였다<sup>[11]</sup>. 이 기법은 Time-Hopping 기술을 사용하기 위하여 물리 계층과 MAC계층의 구조를 제안하였다. 일반적으로 WMSN 응용계층은 매우 다양하게 존재하며, 각각 요구사항도 매우 다르다. 이 프로토콜은 이와 같은 다양한 응용계층의 요구사항을 필요 대역폭과 최소 요구 지연시간으로 분류하고, 이들을 만족시키기 위한 QoS를 물리계층과 MAC 계층에서 지원하기 위하여 노력하였다. 하지만, 이 연구는 UWB를 사용하는 초 근거리 WMSN 환경에 한정하여 진행하였기 때문에 일반적으로 사용되는 WMSN에 적용하기에는 다소 무리가 있다.

Hadi S. Aghdasi 등의 저자는 WMSN 환경에서의 정지화상 데이터 전송을 위하여 이미지 압축 기법과 MAC 프로토콜을 제안하였다<sup>[12]</sup>. 이 연구는 센서 네트워크 환경에서 비교적 용량이 큰 정지화상 데이터를 패킷 단위로 분할하고 이를 우선순위에 따라 압축하기 위하여, 기존의 DCT 알고리즘을 수정하였다. 또한, 이러한 이미지 데이터를 멀티 홉 환경에서 효율적으로 전송하기 위한 EQ-MAC을 제안하였다. EQ-MAC은 경쟁기반의 WSN MAC 프로토콜로서, 비교적 용량이 큰 이미지 데이터를 멀티 홉으로 전송할 경우에 발생할 수 있는 문제점을 해결하였다. 즉, 최초 송신 노드와 중간의 포워딩 노드들을 둘러싼 이웃 노드들은 이러한 대용량 데이터 전송을 침범하지 않아야 하며, 이를 위하여 송신 노드와 중간 노드는 Sub-RTS 메시지를 통하여 이웃 노드들에게 알린다.

위 3가지 연구들<sup>[10][11][12]</sup>은 Coordinator가 없는 경쟁기반 MAC 프로토콜에서 QoS를 보장하기 위한 노력을 했지만, 일시적이고 폭발적으로 발생하는 대용량 데이터 전송을 해결하기에는 여전히 부족하다. 가변 듀티 사이클<sup>[10]</sup>은 네트워크에 발생하는 트래픽 흐름을 자연스럽게 감지하여 에너지 효율과 전송 수율(throughput)간의 관계를 해결하지만, 이는 일시적으로 발생하는 대용량 전송을 수용하기 힘들다. UWB를 응용하는 센서 네트워크<sup>[11]</sup>는 매우 특수한 환경이며, 일반적인 센서 네트워크 환경에서 발생하는 멀티미디어 데이터 전송과는 다소 거리가 있다. EQ-MAC<sup>[12]</sup>은 WMSN 대용량 데이

터 전송 환경에서 나타날 수 있는 문제점을 효과적으로 해결하였다. 하지만, MTU (Maximum Transmission Unit)의 크기가 매우 작은 센서 네트워크 전송환경에서, 전송 시 마다 Sub-RTS를 송신해야 하는 오버헤드가 크기 때문에 이에 따른 전송 효율이 낮다. 따라서 본 연구에서는, WMSN 대용량 데이터 전송에서 발생하는 컨트롤 프레임을 최소화하여 효율적인 MAC 프로토콜을 제시하고자 한다.

### III. 제안 대용량 전송 기법

#### 3.1. WMSN에서의 대용량 전송 기법의 필요성

WMSN 환경에서는 일반적인 센싱 데이터와 더불어 음성이나 영상 등의 멀티미디어 데이터 역시 동일한 네트워크 자원을 활용하여 전달해야 하는 요구가 발생한다. B-MAC, X-MAC 등의 일반적인 경쟁기반 MAC 프로토콜은 CSMA/CA 방식을 채택하기 때문에 I장에서 언급한 바와 같이 데이터 송신마다 불가피한 지연 시간이 발생하고, 이는 용량이 큰 멀티미디어 데이터를 송신하기에 적합하지 않다.

또한 데이터 송신이 발생할 경우, 듀티 사이클 방식의 비동기 MAC 특성상 상대 노드의 정확한 wakeup time을 알지 못하기 때문에 Preamble Sampling 등의 기법을 활용하며, 이 경우 송신노드에서 송신을 시도하는 시각과 수신노드의 wakeup time간의 차이만큼 지연이 발생한다. 이러한 지연은 송신측에서 전송할 데이터가 계속해서 발생할 경우 송신노드의 버퍼 오버플로우(buffer overflow)를 초래할 수 있으며, 대용량 데이터를 전송해야 하는 WMSN 환경에서 이러한 문제는 더욱 악화될 수 있다.

대용량 데이터의 전송 요구는 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 먼저 음성과 영상 등의 멀티미디어 데이터의 경우는 일반적으로 센싱 데이터보다 월등히 용량이 크며, 이러한 전송 요구가 발생하는 상황에서 기존의 듀티 사이클 방식을 따르면서 Contention을 처리하기는 힘들다. 물론 멀티미디어 데이터는 센싱 데이터에 비하여 중요도의 우선순위가 다를 수 있지만, 전송 요구가 발생한 이상 송신을 지속적으로 연기시킬 수도 없다. 따라서 동일한 네트워크 자원을 이용하여 이를 처리하기 위한 절차가 필요하다.

또 하나의 경우는 CSMA/CA 기반의 경쟁방식에

서 지속적으로 채널 점유의 기회를 얻지 못한 노드에서 발생한다. 채널 점유의 기회를 얻을 확률보다 송신 데이터의 발생률이 높을 경우 이 노드는 송신 버퍼에 데이터가 축적될 확률이 높으며, 이러한 상황이 지속적으로 진행될 경우 버퍼 오버플로우가 발생되고 전송효율을 더욱 악화시킬 수 있기 때문에 지속적으로 축적된 대용량의 데이터를 일시적으로 전송할 필요가 있다. 따라서 본 절에서는 Fragmentation을 활용한 대용량 전송 기법을 제안하고 이를 MTS (Massive Transmission Scheme)이라 명명한다.

#### 3.2. MTS 적용에 대한 판단기준

앞서 언급한 바와 같이 대용량 데이터의 전송에 대한 요구는 멀티미디어 데이터 등의 일시적인 대용량 전송이 발생한 경우와 경쟁기반 채널 점유 방식에서 기회를 얻지 못한 노드에서 축적되는 경우로 구분할 수 있다. 멀티미디어 데이터는 일반적으로 센싱 데이터에 비하여 일반적으로 중요도가 낮으며, II장에서 연구된 QoS 기법[7][8]에 따를 경우 결국 낮은 우선순위로 인하여 송신 버퍼에 축적된다. 즉, 두 가지의 경우 모두 송신 노드의 버퍼에 축적되는 데이터의 크기에 의존적으로 대용량 전송 요구가 발생한다. 본 절에서는 송신 버퍼의 잔류 데이터를 관찰하고 그 크기에 따라 대용량 전송 방식의 적용 여부에 대한 판단 기준을 정한다.

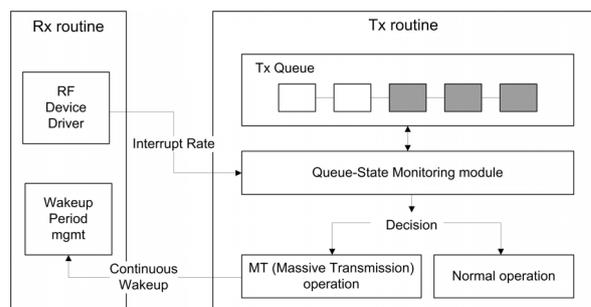


그림 2. MTS 적용 기준을 위한 송신 노드의 내부 구성도  
Fig. 2. The internal structure of a node operating MTS

그림 2는 송신 노드에서의 대용량 데이터 전송과 일반적인 데이터 전송을 구분하기 위한 구성을 나타내었다. 모든 노드는 큐(Queue) 형태의 송신 버퍼를 가지며, 버퍼내에 축적된 데이터잔량을 점검하기 위한 Queue-State Monitoring 모듈이 존재한다. Queue-State Monitoring 모듈은 대용량 데이터 전송의 수행여부를 결정하기 위하여 주기적으로 송신

버퍼에 남아있는 데이터의 총 크기를 Byte단위로 측정하며, 이 값이 특정 임계값을 넘을 경우 대용량 데이터 전송기법인 MT (Massive Transmission) operation을 수행하고, 반대의 경우 일반적인 듀티 사이클 방식의 Normal operation을 수행한다. 본 절에서는 MT operation 수행 여부를 결정하기 위하여 참조할 임계값을 SDTL (Short Data Threshold Length)이라고 명명한다.

SDTL의 초기값 SDTL<sub>init</sub>은 식 (1)과 같이 사용하는 RF transceiver에서 정의하는 MTU 길이의 특정 배수인  $\delta \cdot l_{MTU}$  로 설정한다. 즉, 송신 버퍼에 남아있는 데이터 크기가 MTU의 특정 배수단위로 초기 설정된 SDTL보다 클 경우, 해당 노드는 MT operation 수행을 결정하게 된다.

$$SDTL_{init} = \delta \cdot l_{MTU} \quad (1)$$

모든 RF transceiver는 단일 패킷당 최대 송신할 수 있는 MTU가 정해져 있으며, 빠른 속도로 송신해야 하는 MT operation에서는 SDTL을 MTU의 배수로 정하는 것이 효율적이다. 하지만, 이웃노드의 트래픽이 증가하거나 외부 간섭으로 인하여 송신노드 주위의 채널 환경이 변할 경우, 이로 인하여 이웃 환경에서 다수의 노드가 빈번하게 MT operation을 수행하는 상황이 발생할 수 있다. 이러한 환경에서는 많은 노드가 MT operation을 시도하기 때문에 전반적인 네트워크의 성능을 저하시키는 결과를 초래할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 상황을 피하기 위하여, 식 (2)와 같이 채널 환경을 고려하여 SDTL을 가변화시키는 정책을 선택하였다. 즉, n+1번째 SDTL값은 n번째의 SDTL값과 채널 환경 변수인  $\lambda_c$  를 적용하여 결정된다. 또한, SDTL은 Byte단위를 의미하기 때문에 채널 환경을 나타내는  $\lambda_c$ 의 Floor Function을 활용하여 나타낸다.

$$SDTL_{n+1} = SDTL_n + \lfloor \lambda_{c,n} \rfloor \quad (2)$$

SDTL의 가변화는 채널 환경 변수인  $\lambda_c$  에 의하여 결정되는데,  $\lambda_c$  는 이웃 채널 내에서 발생하는 트래픽 빈도수를 측정하여 구한다. 즉, 주위 채널 환경을 파악하기 위하여, Queue-State Monitoring 모듈은 RF transceiver의 수신측 device driver에서 알 수 있는 RF Rx interrupt count 값을 단위시간 별로 측정하여 SDTL 값을 가변 시킨다.

먼저 RF interrupt 개수를  $C_{irq}$  로 정의하고, 이

에 대한 측정을 위한 단위시간 간격을  $\tau_c$ 라고 정의하면, 단위 시간당 interrupt count 값의 변화율  $\lambda_c$  는 다음과 같이 정의할 수 있다. 이때, 응용 환경의 특성에 따라 interrupt 변화율의 증감을 효율적으로 반영하기 위하여 환경 파라미터를 반영한 상수  $\alpha$ 를 적용하였다.

$$\lambda_c = \alpha \cdot \Delta \frac{C_{irq}}{\tau_c}, \quad (0 < \alpha < 1) \quad (3)$$

이러한 형태로 각 노드는 현재 주변 채널에서 발생하는 트래픽을 측정하고, 트래픽이 많을 경우 현재의 SDTL값을 증가시키며, 반대의 경우 감소시킨다. 또한 SDTL의 가변화는 Queue-State Monitoring 모듈에서 진행되고, 이에 따라 MT operation 수행 여부를 결정한다.

WSN에서의 일반적인 경쟁기반 MAC 프로토콜은 에너지 효율을 극대화하기 위하여 RF transceiver의 wakeup 상태와 sleep 상태를 교대로 운영하는 듀티 사이클 기법을 사용한다. 본 제안에서의 Queue-State Monitoring 모듈은 송신 버퍼에 축적된 데이터의 크기와 SDTL값을 비교하여 일시적인 대용량 송신을 위한 MT operation 진입 여부를 결정하는데, 이때 MT operation 수행 시에는 일시적으로 빠른 송신을 위하여 듀티 사이클 운영을 제한한다. 즉, MT operation 사용이 결정되면, 듀티 사이클을 위하여 반복적으로 수행하는 Wakeup Period 관리모듈이 RF transceiver를 항상 wakeup 상태로 유지하도록 설정한다. 이 동작은 MT operation 실행 도중에만 진행하며, 송신 버퍼의 데이터 적재량이 낮아져서 Normal operation을 수행하게 될 경우 기존의 듀티 사이클을 다시 운영한다.

이러한 형태로 Queue-State Monitoring 모듈은 SDTL을 주위 채널 환경에 따라 적절하게 증감하며, 각 환경에 따라 정의된 SDTL을 기준으로 송신 버퍼에 축적된 데이터가 클 경우 MT operation을 활용하여 짧은 시간 내에 대용량 데이터를 송신한다. 본 논문에서 제안하는 대용량 전송 방식은 듀티 사이클의 목표인 에너지 에너지효율을 일시적으로 감소시킬 수 있지만, 송신 버퍼에 축적된 데이터가 많을 경우 짧은 시간 내에 송신 버퍼의 데이터 적재율을 줄이고 전체적인 전송 지연시간과 에너지 효율을 높이는데 목표를 둔다.

### 3.3. MTS 진행 절차

송신측 노드에서의 Queue-State Monitoring 모듈

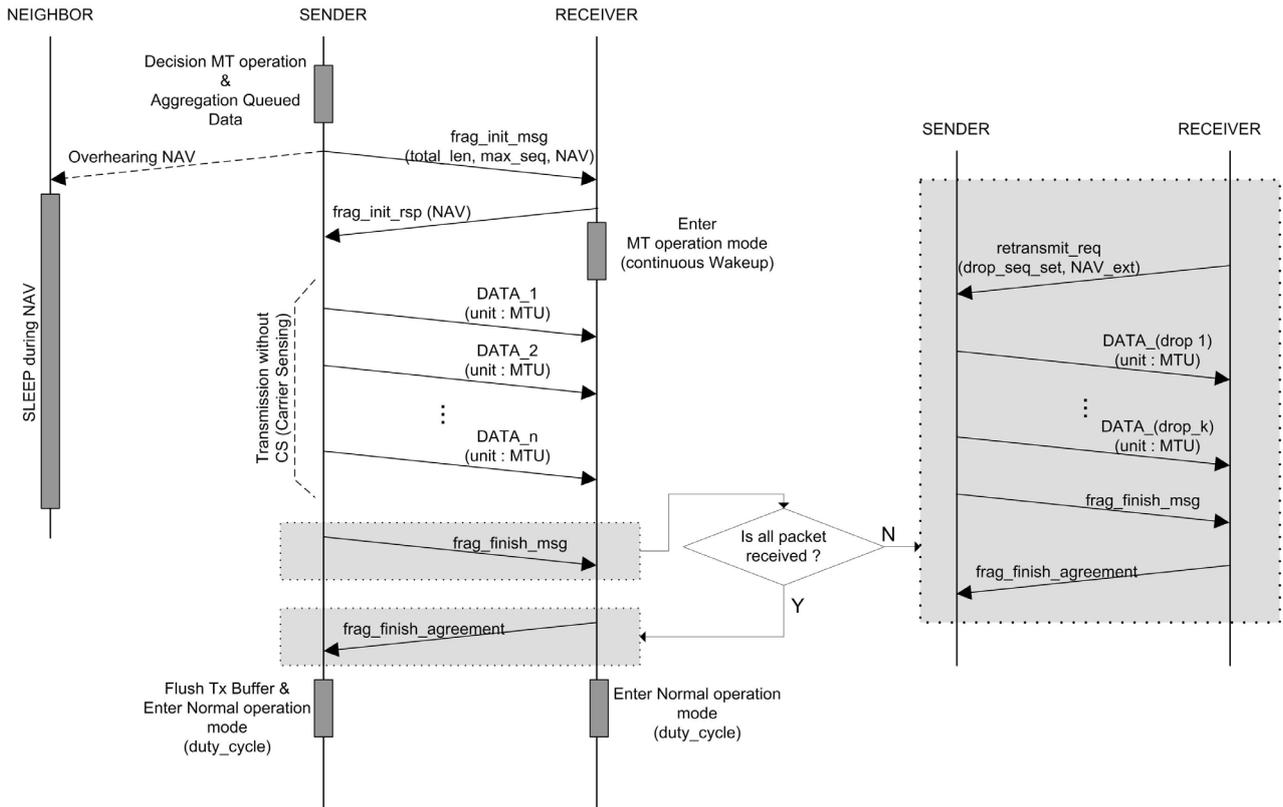


그림 3. MT operation의 진입과 데이터 전송 절차  
Fig. 3. The process of delivering multimedia data using MTS

은 송신 버퍼에 축적된 데이터 크기를 주기적으로 점검한다. 또한 멀티미디어 데이터 전송 등의 일시적인 대용량 요구가 발생할 경우와 CSMA/CA 방식에서 채널 점유의 경쟁에서 송신 기회를 지속적으로 얻지 못한 경우, 짧은 시간 내에 대용량 데이터를 송신하기 위한 효율적인 전송 기법이 필요하다. 모든 노드는 Normal operation 수행 중에 축적된 데이터의 총 크기가 SDTL을 초과하면 MT operation을 수행하는데, 효과적인 대용량 송신을 위하여 각 노드는 다음과 같은 절차를 따른다.

- 1) 버퍼에 남아있는 송신데이터를 MTU 단위로 aggregation 한다.
- 2) Aggregation 된 전체 데이터 크기를 해당 MTU로 나누어 총 패킷 수를 산출한다.
- 3) 전체 데이터 크기와 산출된 패킷 수를 통하여 frag\_init\_msg를 생성하고 이를 목적지 노드에 송신한다.
- 4) 수신 노드로부터 frag\_init\_rsp를 수신하지 못하면, 송신 노드는 frag\_init\_msg를 재전송한다.
- 5) 수신 노드로부터 frag\_init\_rsp가 도착하면 송신 노드는 MTU 단위로 데이터를 연속적으로 송신한다.
- 6) 모든 데이터 송신이 완료되면 송신 노드는 수신 노드에 frag\_finish\_msg를 송신하여 해당 MT operation의

종료를 알린다.

- 7) 수신 노드는 연속적으로 전송된 모든 데이터를 성공적으로 수신한 경우, frag\_finish\_agreement를 전송한다.
- 8) 연속적으로 전송된 데이터에서 수신 노드가 받지 못한 조각이 존재할 경우, 수신 노드는 이들의 sequence 집합을 retransmit\_req 메시지를 통하여 송신노드로 알린다.
- 9) 송신 노드는 retransmit\_req를 수신한 경우 해당 데이터를 다시 MTU 단위로 연속적으로 송신한 후 5)의 절차를 수행한다.
- 10) 송신 노드가 frag\_finish\_agreement를 수신하면 Normal operation 상태로 진입한다.

수신 노드는 frag\_init\_msg를 수신한 후 자신의 수신큐를 점검하여 대용량 데이터 수신 가능 여부를 파악한다. 만약 수신에 불가능한 상태이면 frag\_init\_deny 메시지를 송신노드에게 송신한 후 자신의 듀티 사이클을 그대로 수행하고, 반대로 대용량 수신에 가능한 상태일 경우에는 자신의 Wakeup Period mgmt 모듈에게 wakeup 명령을 내리고 frag\_init\_rsp를 송신한 후, 송신 노드로부터 전송되는 모든 데이터를 연속적으로 수신한다. 이때, 송신 노드에서 연속적으로 전송되는 모든 fragment 데이터는 sequence number를 포함되는데, 수신 노

드에서는 frag\_init\_msg 내의 전체 데이터 크기와 최대 sequence number를 참조하여 이후 연속적으로 수신되는 데이터를 수신하고, 또한 수신하지 못한 데이터의 sequence number를 점검한다. 누락된 sequence number를 참조한 수신 노드는 drop\_seq\_set 이라는 집합체를 생성하고, 모든 데이터 전송의 완료를 의미하는 frag\_finish\_msg를 수신한 후 재전송 요청을 위하여 송신 노드에게 전달한다.

한편, 송신 노드는 frag\_init\_msg를 송신한 후 수신 노드로부터의 응답을 기다린다. 이때, 수신 노드로부터 frag\_init\_deny 메시지를 수신할 경우 대용량 데이터 전송을 포기하고 모든 데이터를 듀티 사이클 방식의 Normal operation 상태에서 송신한다. 또한 수신 노드로부터 특정 시간동안 frag\_init\_rsp 또는 frag\_init\_deny 메시지를 수신하지 못한 경우, 송신 노드는 frag\_init\_msg를 재전송한다. 물론 이 메시지의 재전송 절차를 무기한 수행하지는 않으며, frag\_init\_msg의 재전송 시도수가 제한된 특정 재전송 수에 진입한 경우, 송신 노드는 MT operation을 포기하고 위와 동일하게 Normal operation 상태에서 송신한다.

송신 노드가 frag\_init\_rsp를 수신하는 경우, 이는 해당 수신 노드가 MT operation 상태로 진입했다는 사실을 확인한 상태이므로 연속적으로 fragment 데이터를 송신한다. 이때 지연시간을 단축하기 위하여 송신 노드는 CS를 수행하지 않으며, 백오프 또한 대기하지 않는다. 모든 데이터 송신이 완료되면 MT operation 종료로 위하여 수신 노드에게 frag\_finish\_msg를 전달하고, 이에 대한 응답으로 frag\_finish\_agreement 메시지를 수신할 경우 안전하게 Normal operation으로 진입한다. 만약 수신 노드가 수신하지 못한 데이터가 존재할 경우, 누락된 데이터의 재전송을 위하여 drop\_seq\_set을 포함한 retransmit\_req 메시지를 전송하는데, 이때 송신 노드는 drop\_seq\_set에 명시된 sequence number에 해당되는 데이터를 다시 송신한다. 또한 모든 데이터를 성공적으로 전달받은 수신 노드는 frag\_finish\_agreement를 전송하고 Normal operation으로 진입한다.

이와 같은 형태로 송신 노드와 수신 노드는 MT operation 진입과 진출을 상호 협력하여 결정하며, MT operation에서 두 노드의 상호 절차를 도식화하여 그림 3에 나타내었다.

그림 3과 같이 송신 노드는 frag\_init\_msg를 보

낼 때 aggregation된 데이터를 보내기 전에 MT operation 수행에 필요한 총 데이터 길이와 MTU 단위로 분할된 패킷 수를 먼저 전송하여, 수신측으로 하여금 얼마나 많은 데이터를 MT operation 내에서 수신하게 되는지 미리 판단할 수 있게 한다. 또한 수신측은 aggregation 된 데이터를 수신하기 전에 MT operation 모드로 진입할 수 있는 환경설정을 준비하는 시간을 갖게 된다.

한편, 송신 노드와 수신 노드 외의 다른 이웃 노드들은 MT operation 수행이 종료될 때까지 데이터 전송을 보류해야 한다. 만약 본 operation 수행도중 다른 이웃 노드가 송신할 경우, CS와 백오프 지연을 하지 않는 MT operation 특성상 충돌 확률이 매우 높아진다. 이러한 환경에서는 수신 노드의 drop\_seq\_set의 크기가 급격히 증가하고 재전송률이 높아지며, 대용량 전송을 수행하는 MT operation 효율이 현저히 떨어진다. 따라서 송수신 노드 외의 이웃 노드는 MT operation이 종료될 때 까지 전송 대기 상태를 유지해야 하는데, 이때 에너지 효율을 증가시키기 위하여 이웃 노드는 sleep 상태를 유지한다. 이러한 이웃노드의 sleep 상태 진입은 그림 2에서의 MT operation 모듈 내에서 이루어지며, Wakeup Period mgmt 모듈을 제어함으로써 기능을 수행할 수 있다.

MT operation을 수행하는 송수신 노드의 대용량 데이터 전송을 보장하기 위해서는 이와 같이 이웃 노드의 sleep이 반드시 필요하며, 이때 얼마나 오랫동안 sleep 상태에 머물러야 하는지에 대한 기준이 필요하다. 이 기준값은 IEEE 802.11 표준 등에서 널리 사용되는 NAV (Network Allocation Vector)를 사용한다. MT operation 진입 시 송신노드가 가장 먼저 전송하는 메시지인 frag\_init\_msg는 모든 이웃 노드가 수신할 수 있도록 broadcast 형태로 전송된다. 이 메시지 내부에는 수신 노드의 주소와 MTU 단위의 전체 패킷 수, 전체 데이터 크기를 기반으로 설정한 NAV가 포함되며, NAV는 frag\_init\_msg부터 frag\_finish\_msg까지의 소요되는 시간 정보를 의미한다. 따라서 frag\_init\_msg를 overhear한 모든 이웃 노드는 NAV를 이용하여 얼마나 오랫동안 sleep 상태를 유지해야 하는지 판단할 수 있으며, MT operation의 수신 노드는 또한 이 정보를 토대로 wakeup 상태 유지 시간을 정한다.

하지만 MT operation 역시 모든 데이터가 완벽히 전송될 수는 없기 때문에, MT operation 내에서

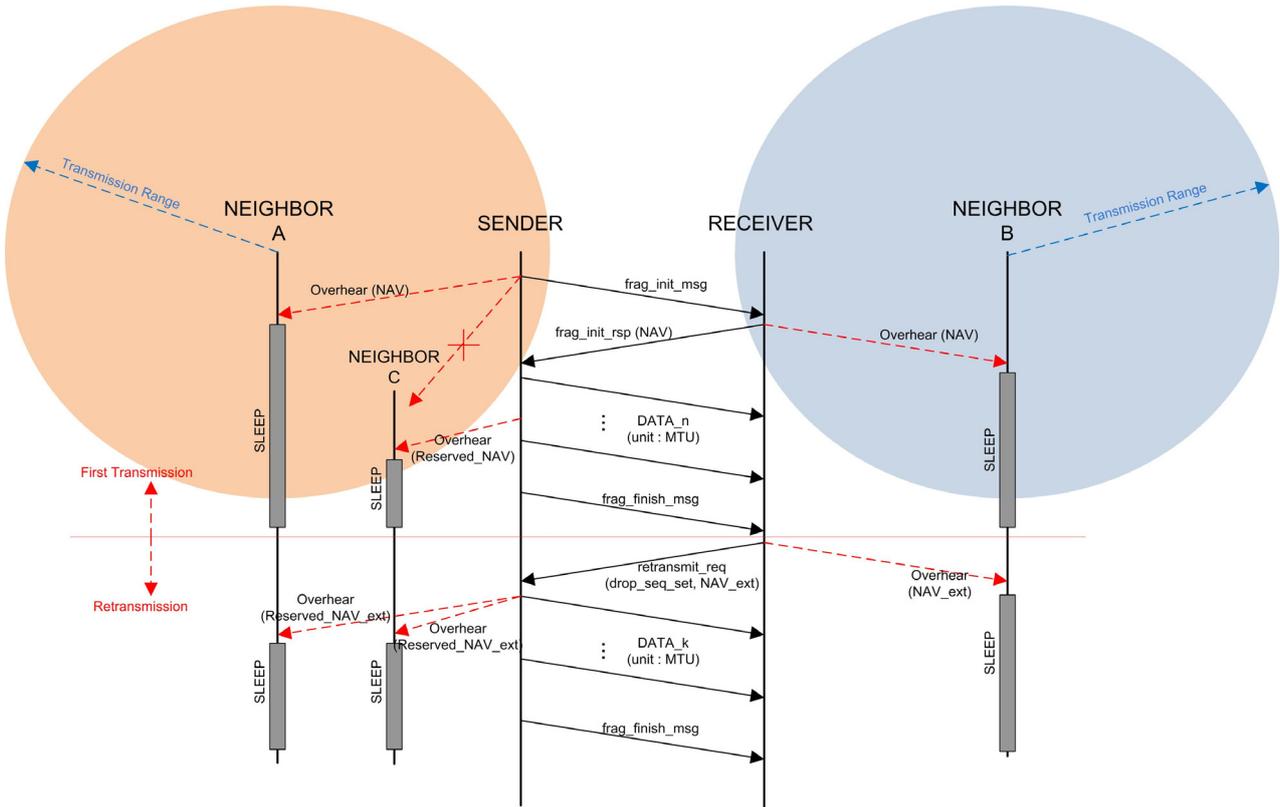


그림 4. 이웃 노드에 의한 MT operation 보호절차  
 Fig. 4. The protection method of MT operation from the neighbors

일어나는 재전송 기간 동안 추가적인 전송시간이 발생하게 된다. 이러한 문제는 그림3에 표현되었듯이, 수신 노드가 재전송 요청을 할 때 `drop_seq_set` 크기를 고려하여 예상되는 필요 시간 정보를 `NAV_ext` 값으로 설정하고, 이를 `retransmit_req` 메시지에 포함하여 송신 노드에게 알리고 추가적인 MT operation 기간을 연장시킨다. 즉, 이웃 노드들은 `frag_init_msg` 내의 NAV를 참조하여 sleep 모드로 진입한 후 NAV 설정값 후에 wakeup 상태로 진입하며, 이때 `retransmit_req` 메시지가 수신되면 `NAV_ext` 만큼 추가적으로 sleep 상태로 진입한다. 이러한 재전송 과정은 동일 MT operation 내에서 계속해서 추가 발생할 수가 있는데, `drop_seq_set`을 통한 `retransmit_req` 메시지의 전송은 모든 데이터를 완벽히 수신할 때까지 반복되기 때문에 이웃 노드로부터 MT operation은 보장될 수 있다. 또한 `retransmit_req`는 `frag_init_msg`와 동일하게 모든 이웃 노드가 수신할 수 있도록 broadcast 형태로 전송한다.

3.4. 이웃 노드로 인한 예외사항에 대한 대처  
 MT operation 상태에서는 송신 노드가 CS와 백

오프 지연 없이 대용량 데이터를 연속적으로 송신하기 때문에 이웃 노드로부터 채널 점유를 반드시 보장 받아야 한다. 앞 절에서 설명한 바와 같이 송신 노드와 이웃하는 위치의 노드들은 MT operation의 시작을 알리는 `frag_init_msg`를 overhear할 수 있으며, 또한 이 메시지에 포함된 NAV를 통하여 안전하게 보호할 수 있다.

하지만 WSN에서 듀티 사이클 기법의 경쟁기반 MAC 프로토콜은 비동기 방식을 채택하고 있기 때문에 `frag_init_msg`를 항상 overhear 하기 힘들다. 즉 `frag_init_msg`가 송신되는 시점에서 sleep 상태에 있는 이웃 노드는 이 메시지를 수신하지 못하기 때문에 이를 통한 채널 보호를 할 수 없다. 그러나 Normal operation 상태의 이웃 노드가 데이터를 송신할 경우 반드시 CS와 백오프 지연을 수행하기 때문에, 이를 수행하지 않는 MT operation 송신에 비해 채널 경쟁에서 점유 기회를 얻지 못한다. 따라서 MT operation 대용량 송신은 CSMA/CA 특성상 채널을 반드시 점유할 수 있으며 이에 대한 보장을 받을 수 있다.

또한 본 논문에서, 송신 노드는 MTU 단위의 연속적인 데이터를 송신할 때 남아있는 예상 전송시

간을 의미하는 Reserved\_NAV를 모든 데이터 송신에 포함하는 것을 제안한다. 따라서 frag\_init\_msg를 수신하지 못한 이웃 노드는 MT operation 대용량 송신 데이터의 Reserved\_NAV값을 overhear 하고 잔존하는 NAV만큼 sleep 상태를 유지하여 에너지 효율을 높일 수 있다.

센서 네트워크는 보편적으로 Multi-hop 기반의 topology를 사용하기 때문에, 기존에 많은 논문에서 제시했듯이 hidden node problem 등의 이웃 노드에 의한 문제점이 발생할 수 있다. 이러한 문제는 대부분 RTS와 CTS를 이용하여 해결하는데, MT operation에서는 메시지 생성 수를 줄이기 위하여 이를 사용하지 않는다. 하지만 frag\_init\_msg / frag\_init\_rsp 메시지와 frag\_finish\_msg / retransmit\_req 메시지를 활용하면 위와 같은 문제를 해결할 수 있기 때문에, RTS/CTS 전용 메시지를 사용하지 않을 뿐, 기능적인 역할은 모두 포함하여 수용될 수 있다.

그림 4에서의 노드 A는 송신 노드의 이웃 노드이며 수신 노드의 이웃이 아닌 노드를 의미한다. 이 노드는 송신 노드로부터 전달되는 frag\_init\_msg를 overhear하여 MT operation을 보호할 수 있다. 하지만 수신 노드가 전달하는 retransmit\_req 메시지를 수신할 수 없기 때문에 재전송 과정에 필요한 시간 정보를 알 수 없다. 이 경우 노드 A는 송신 노드가 송신하는 재전송 데이터에 포함되는 Reserved\_NAV\_ext를 overhear하여 재전송 과정의 MT operation을 보호할 수 있다.

한편 노드 C는 노드 A와 동일한 환경에 위치하지만 듀티 사이클 수행 등으로 인하여 송신 노드로부터 frag\_init\_msg를 overhear하지 못한 경우이다. 이 노드는 초기 NAV 값을 알지 못하지만 CSMA/CA 특성상 CS와 백오프 지연을 수행하지 않는 송신 노드에게 채널 점유의 우위를 얻을 수 없으며, MT operation 송신 데이터의 Reserved\_NAV를 overhear하여 송신 노드를 대용량 데이터 전송을 보호할 수 있다.

마지막으로 노드 B는 수신 노드의 이웃 노드이며 송신 노드의 이웃이 아닌 노드를 의미한다. 이 노드는 송신 노드로부터 frag\_init\_msg를 overhear할 수 없기 때문에 NAV값을 알지 못하지만, 수신 노드가 전달하는 frag\_init\_rsp를 overhear하여 NAV를 알 수 있다. 또한 재전송 과정에서 retransmit\_req 메시지를 수신 노드로부터 overhear할 수 있기 때문에 재전송에 필요한 NAV\_ext 역시

알 수 있다. 또한 노드 B는 초기 NAV 설정으로 인하여 frag\_finish\_msg 후에 wakeup 상태로 진입하기 때문에 듀티 사이클 여부와 관계없이 retransmit\_req 메시지를 수신할 수 있으며, 이로 인하여 NAV\_ext를 수신하지 못할 경우를 배제할 수 있다.

이와 같은 형태로 MT operation 수행에 관계되는 이웃 노드는 다양한 형태로 대용량 데이터 전송을 보장하고 이에 대하여 충돌을 발생시키지 않으므로써 MT operation의 신뢰성을 확보할 수 있다.

## IV. 성능 분석

### 4.1. 시뮬레이션 환경

본 장에서는 제안하는 MTS 방식에 대한 성능을 측정하기 위하여 시뮬레이션을 통한 실험을 진행한 후 이에 대한 성능을 분석한다. MTS의 정확한 성능 실험을 위하여, WSN을 목적으로 설계된 기존의 MAC 프로토콜인 X-MAC을 비교 실험 대상으로 채택하였으며, MTS 역시 X-MAC에 적용하여 실험하였다. X-MAC은 본 논문에서 제시하는 방안과 경쟁기반이라는 관점이 동일하다. 또한 본 제안방식은 듀티 사이클 방식의 MAC에 Add-on 형태로 동작하기 때문에 기존의 경쟁기반 듀티 사이클 방식이 반드시 필요하다. 추가적으로, 본 장에서는 기존 WMSN MAC으로서 EQ-MAC을 동일한 환경에서 비교 실험하였다. EQ-MAC은 멀티 홉 환경에서 대용량 데이터 전송을 위한 기법이며, 본 제안방식과 동일한 경쟁기반 듀티 사이클 방식이다. 이러한 실험은 모두 동일한 조건과 환경에서 실험을 진행하였으며, 실험을 위한 시뮬레이터는 NS-2 (Network Simulator-2)를 이용하였다.

실험 결과의 현실성을 위하여 본 실험은 실제 RF transceiver에서 사용되는 통신 파라미터를 적용하기 위하여 WSN 환경에서 사용되는 CC2420 칩셋의 특성을 그대로 본 실험에 반영하였으며, 이는 표 1과 같다.

본 실험은 단일 홉 환경과 멀티 홉 환경으로 구분하여 진행하였으며, 각 실험마다 소스 노드와 목적지 노드를 실험에 적합하도록 설정한 후 X-MAC, EQ-MAC, 그리고 MTS를 적용한 X-MAC의 실험 결과를 나타내었다. 본 논문에서는 MTS를 적용한 X-MAC을 편의상 X-MAC(MTS)으로 표현하고 모든 실험 결과와 설명에 동일하게 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 환경  
Table. 1. Simulation Parameters

Parameter		Value
Data Rate		128 Kbps
Power Consumption	Tx	2.428 (0 dBm) mW
	Rx	1.814 mW
	Sleep	0.027 mW
Baseband Frequency		2.4GHz
Traffic Agent		CBR
Communication Range		200 meter
Initial SDTL for MTS		4 x MTU
MTU		128 Byte
Duty Cycle		Wakeup : 10%

#### 4.2. Single-hop 환경에서의 성능분석

그림 5와 6은 서로 통신이 가능한 거리에 위치하는 10개의 노드가 존재할 때 임의(random)의 소스 노드와 임의의 목적지 노드를 정한 후, 트래픽 변화에 따른 실험 결과이다. 발생시키는 트래픽은 NS-2 내의 CBR agent를 사용하며 각 트래픽은 128 Byte/sec의 크기를 지닌다. 트래픽 변화는 동일한 소스 노드에 발생시키는 트래픽의 개수를 증가시킴으로서 구현되었으며, 모든 트래픽은 유일한 목적지 노드로 송신된다. 즉, 모든 노드가 통신 가능한 거리에 위치하기 때문에 소스 노드와 목적지 노드를 제외한 8개의 노드는 모두 이웃 노드가 된다.

본 실험에서 X-MAC과 EQ-MAC은 10% 비율의 wakeup 상태를 운영하는 듀티 사이클을 수행하며, X-MAC(MTS)에는 동일한 조건의 X-MAC 프로토콜에 제안하는 MTS 방식을 적용하여 수행하였다.

그림 5의 X-MAC에서는 트래픽 수가 작을 경우 약 0.6초의 지연시간이 발생되었으며, 트래픽 수를 증가함에 따라 점차적으로 지연시간이 증가하는 결과가 관찰되었다. 이는 듀티 사이클을 지속적으로 운영하는 환경에서, 송신 데이터량이 증가함에 따라 각 데이터가 즉각적으로 송신되지 않고 송신 버퍼에 잔류되어 전반적인 지연시간이 증가함을 의미한다. 또한 EQ-MAC은 X-MAC에 비하여 상대적으로 높은 지연시간을 보였지만, 트래픽이 증가함에 따라 X-MAC보다 증가폭이 작으며 트래픽 수가 32 이상 일 경우 오히려 낮은 지연시간을 보였다. EQ-MAC은 항상 Sub-RTS를 수행하기 때문에 단일 듀티 사이클 내에 데이터를 송신할 수 없으며, 따라서 낮은 트래픽 환경에서도 평균 지연시간이 높다. 하지만

Sub-RTS로 인하여 데이터 송신에서 발생하는 혼잡(congestion)을 완화시켜 높은 트래픽에서 X-MAC 대비 낮은 지연시간을 보인다.

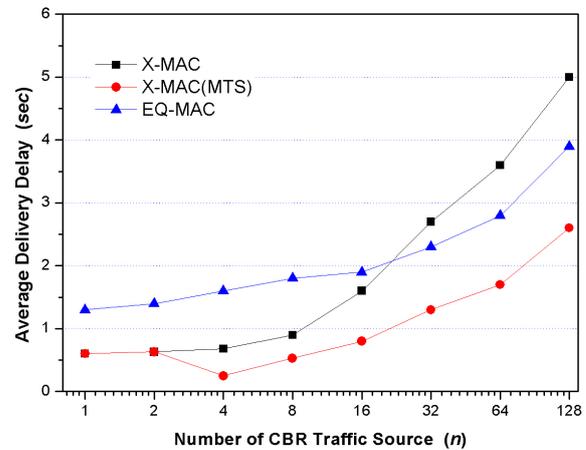


그림 5. Single-hop 환경에서의 평균 전송 지연시간  
Fig. 5. Average delivery delay at single-hop environment

반면 X-MAC(MTS)에서는 트래픽이 낮을 경우 X-MAC과 동일한 결과를 보이지만, 표 1에서 정의한 SDTL보다 송신 데이터량이 증가함에 따라 X-MAC보다 낮은 전송 지연시간을 보이고, EQ-MAC 대비 전반적으로 낮은 전송 지연시간을 나타낸다. X-MAC(MTS)는 대용량 데이터 전송 시 Sub-RTS에 비하여 오버헤드가 매우 작기 때문에, EQ-MAC보다 항상 빠른 송신을 보장할 수 있다. 본 제안 방식에서는 소스 노드가 MT operation을 수행함에 따라 듀티 사이클을 일시적으로 정지하고 대용량 데이터를 연속적으로 송신하기 때문에 전송 지연시간이 급격히 줄어들 수 있으며, 그림 5에서의 트래픽 수가 4일 경우가 MT operation이 시작되는 시점임을 알 수 있다. 이 경우 본 실험을 통하여 0.245정도의 전송 지연시간 결과를 관측할 수 있다.

X-MAC(MTS) 역시 트래픽 수가 증가함에 따라 지연시간이 높아지는 결과를 보인다. 하지만 이 결과는 MTS를 수행하지 않는 X-MAC 대비 짧은 지연시간을 나타낸다.

그림 6은 앞서 설명한 실험과 동일한 조건에서의 각 노드당 평균 에너지 소모량을 나타낸 결과이다. 이 실험 역시 X-MAC 대비 X-MAC(MTS)가 다소 높은 에너지 효율을 보이며, 이는 MT operation 수행 시 이웃 노드가 NAV를 기반으로 sleep 상태로 진입하여 전체 노드의 평균 에너지 소모량이 낮아

지기 때문이다. EQ-MAC은 Sub-RTS 수행으로 인하여 이웃 노드의 Sleep 상태를 유도함으로써, 전체 노드의 평균 에너지 소비를 X-MAC보다 낮출 수 있다. 하지만 모든 송신마다 발생하는 Sub-RTS는 송신 오버헤드가 X-MAC(MTS) 보다 크기 때문에 에너지 소모량이 커진다. 또한 X-MAC(MTS) 역시 대용량 송신을 수행할 때 이웃 노드의 Sleep을 유도하기 때문에, EQ-MAC보다 에너지 소모량이 크지 않다.

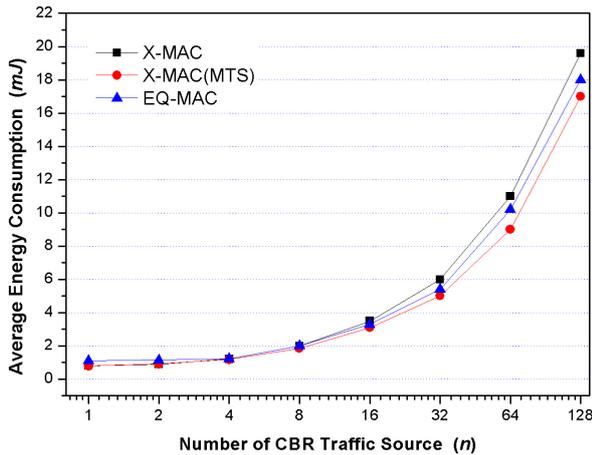


그림 6. Single-hop 환경에서의 평균 에너지 소모량  
Fig. 6. Average energy consumption at single-hop environment

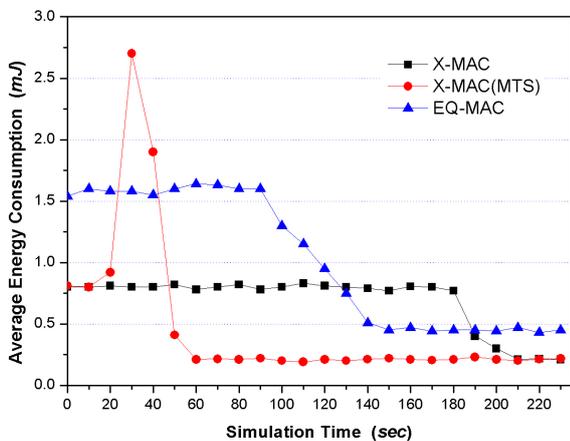


그림 7. Single-hop 환경에서 동일 대용량 데이터를 전송할 때 발생하는 시간에 따른 에너지 소모량의 변화  
Fig. 7. Average energy consumption at single-hop environment in time domain

그림 7은 동일 환경에서 소스 노드에 300KByte 크기의 대용량 데이터를 발생시키고, X-MAC과 X-MAC(MTS)의 일시적인 에너지 소모량을 시간에 따라 나타낸 결과이다. 본 실험은 300KByte의 데이

터를 모두 송신하는 환경에서의 에너지 효율의 변화를 시간에 따라 관찰하는데 목적을 두었으며, 소스 노드에서 송신 버퍼의 한정된 크기로 인하여 손실되는 데이터는 존재하지 않는다고 가정하였다.

본 실험 결과에서 알 수 있듯이, 지속적으로 듀티 사이클을 유지하는 X-MAC 프로토콜은 전체 데이터를 송신하는데 다소 시간이 걸리며, 대용량 데이터를 송신하는 환경에서는 에너지 효율 측면에서도 유리하지 않다는 사실이 확인되었다. EQ-MAC은 송신 노드가 듀티 사이클 내에서 Wakeup 구간을 늘리고 대용량 데이터를 송신하기 때문에, 초기 에너지 소모량은 X-MAC보다 높다. 또한 데이터 송신이 모두 완료될 경우 X-MAC보다 에너지 소모량이 낮아진다. 이 결과를 토대로 EQ-MAC이 X-MAC보다 대용량 데이터 송신에 적합하다는 사실을 알 수 있다. X-MAC(MTS)는 20초에서 40초 사이에 일시적으로 에너지 소모가 급증하지만, 이는 MT operation을 수행함에 따라 발생하는 결과이며, 220초까지의 모든 에너지 소모를 관측하면 오히려 에너지 효율이 높다는 결과를 확인할 수 있다.

이 결과에서 X-MAC(MTS)는 대용량 전송 시 EQ-MAC처럼 초반에 높은 에너지 소모량을 보이고, 송신이 종료된 후에는 낮은 에너지 소모량을 보인다. 하지만, 대용량 송신 시 X-MAC(MTS)는 듀티 사이클 전체를 송신에 할당하기 때문에 지연 시간이 빠르고, 송신이 완료된 상태에서는 EQ-MAC보다 낮은 에너지 소모량을 보이는 차이가 있다.

### 4.3. Multi-hop 환경에서의 성능분석

본 절에서는 Multi-hop 환경에서의 MTS 사용 여부에 따른 전송 지연시간과 에너지 소모를 측정하기 위한 실험을 진행하고, 이에 대한 결과를 분석하였다. 실험에 사용되는 네트워크 모델은 그림 8과 같이 100m 간격의 100개의 노드를 격자구조로 위치시켰다. 이러한 네트워크 구조는 단순하지만 멀티홉 환경에서의 성능을 검증하는데 효과적이다. 또한 앞서 설명한 바와 같이 실제 무선 환경에서 사용되는 RF transceiver의 특성을 그대로 본 실험에 반영하기 위하여 표 1의 파라미터를 적용하였다. 통신거리는 200m로서, 그림 4의 모델의 경우 2홉의 거리가 통신 가능하며 대각선의 경우 1홉까지만 통신이 가능하다.

본 실험은 Multi-hop 환경에서 MTS의 영향을 측정하기 위하여 수행되었으며, 결과의 적합성을 위하여 본 실험은 다음과 같은 절차를 진행하였다. 먼

저 네트워크 전체에서 임의의 소스 노드와 목적지 노드를 각각 선택하고, 선택된 노드들에 초당 5개의 데이터 패킷을 10초 동안 발생시켰다. 이러한 절차는 400초 동안 10초 간격으로 반복시켰으며, 반복시마다 소스 노드와 목적지 노드를 임의로 다시 선택하고, 이를 통하여 소스 노드와 목적지 노드의 위치에 대한 영향력을 일반화 시켰다.

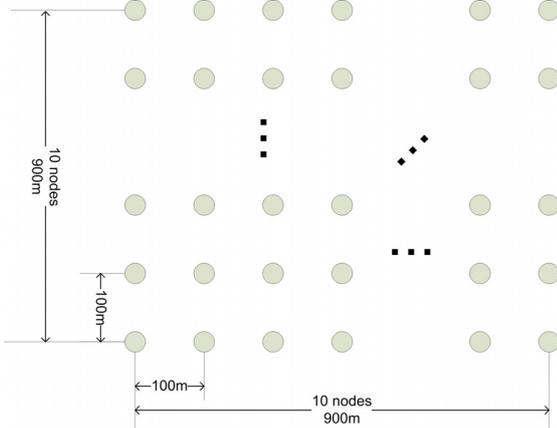


그림 8. Multi-hop 실험을 위한 시뮬레이션 환경  
Fig. 8. The simulation model for evaluating MTS in multi-hop environment

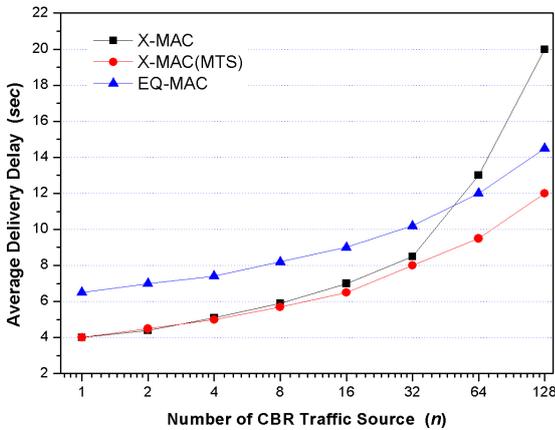


그림 9. Multi-hop 환경에서의 평균 전송 지연시간  
Fig. 9. Average delivery delay at multi-hop environment

그림 9는 Multi-hop 시뮬레이션 환경에서 트래픽 수의 증가에 따라 수행되는 모든 데이터 송신의 평균 전송 지연시간을 측정된 결과이다. 이 실험에서의 모든 결과는 임의로 선택된 소스 노드에서 목적지 노드까지의 평균 전송 지연시간을 나타낸다. X-MAC은 고정된 Wakeup 구간을 운영하기 때문에, 트래픽이 높을수록 제한된 Wakeup 구간에서의 경쟁이 증가하고 이에 따른 혼잡이 증가한다. 위 결과는 트래픽 수가 32 이상일 때 X-MAC의 지연시

간이 급증하는 결과를 보인다.

EQ-MAC은 Sub-RTS로 인하여 트래픽이 낮을 경우에도 평균 지연시간이 높다. 하지만 Sub-RTS 수행이 이웃 노드의 경쟁을 완화시키기 때문에 트래픽 증가에 따른 지연시간 증가 폭이 X-MAC보다 낮으며, 높은 트래픽 환경에서는 오히려 X-MAC보다 낮은 지연시간을 보인다.

X-MAC(MTS)은 트래픽이 낮은 환경에서 X-MAC과 비슷한 결과를 보이고, EQ-MAC과 같이 트래픽 증가에 따른 지연시간 증가폭이 X-MAC보다 낮다. 트래픽이 높을수록 각 노드의 송신 큐에 적재되는 데이터가 증가하고, 대용량 데이터 전송의 수행 빈도가 높아짐으로써, X-MAC(MTS)의 지연시간은 트래픽이 증가할수록 X-MAC보다 낮아진다. 또한 EQ-MAC 에서의 Sub-RTS는 최소한 듀티 사이클 길이만큼 필요하지만, X-MAC(MTS)의 대용량 전송을 위한 컨트롤 오버헤드는 Sub-RTS보다 작다. 이러한 이유로 X-MAC(MTS)은 EQ-MAC 대비 낮은 지연시간을 보인다.

X-MAC(MTS) 역시 송신해야 하는 대용량 데이터의 크기가 증가함에 따라 MT operation 내의 재전송 확률이 증가할 수 있고, MT operation 수행 도중에는 다른 이웃 노드가 데이터를 송신할 수 없기 때문에 일시적으로 전송 지연이 길어질 수 있다. 하지만 MT operation 내의 대용량 데이터가 전송될 때 발생하는 지연이 매우 작기 때문에, X-MAC(MTS)의 평균 지연시간이 트래픽량의 증가에 따라 X-MAC 보다 짧다는 사실을 알 수 있다.

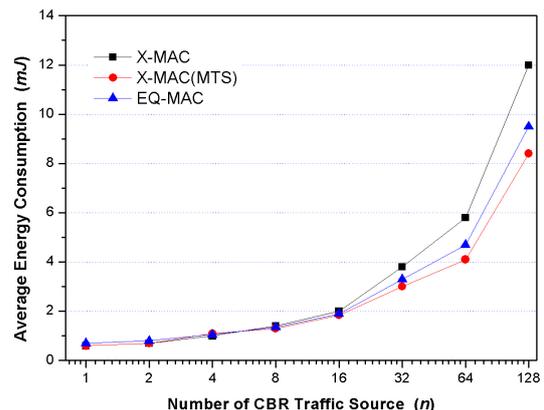


그림 10. Multi-hop 환경에서의 평균 에너지 소모량  
Fig. 10. Average energy consumption at multi-hop environment

그림 10는 Multi-hop 시뮬레이션 환경에서 전체 노드의 평균 에너지 소모량을 측정된 결과이다. 이 결과 역시 그림 9와 같이, 트래픽이 증가함에 따라

X-MAC(MTS)의 에너지 효율이 X-MAC과 EQ-MAC보다 높다는 결과를 보인다.

이 결과는 트래픽 수가 16인 시점에서부터 차이를 보이는데, 이는 표 1에서 정의한 SDTL값에 영향을 받기 때문이다. 물론, 설정된 SDTL 특성상 트래픽의 수가 4보다 클 경우 시점부터 MT operation이 부분적으로 시작되어야 한다. 하지만, 본 실험환경 특성상 소스 노드와 목적지 노드가 임의(random)로 선택되어지기 때문에, 실제적으로 MT operation이 시작되는 시점은 라우팅 경로상의 중간 노드에 모여지는 데이터의 크기에 따라 달라진다. 앞 절에서 설명한 바와 같이, X-MAC(MTS)에서는 MT operation이 시작되면 송신 노드와 수신 노드의 에너지 소모량이 일시적으로 높아진다. 하지만, 송수신 노드의 이웃 노드들은 MT operation을 보호하기 위하여 sleep 상태로 진입하기 때문에, 노드 전체의 평균 에너지 소모량은 X-MAC보다 낮다.

EQ-MAC 역시 송수신 노드의 이웃 노드들을 sleep 상태로 설정함으로써, 높은 트래픽 환경에서 X-MAC보다 평균 에너지 소모량이 낮다. 하지만 트래픽이 증가함에 따라 Sub-RTS의 빈도가 높아지며, 이러한 오버헤드로 인하여 X-MAC(MTS)보다 에너지 효율 측면에서 낮은 결과를 보여준다.

## V. 결 론

본 논문에서는 에너지 효율이 중요시되는 WSN 환경에서 멀티미디어 데이터를 전송하는 WMSN의 요구 특성을 파악하고, 멀티미디어 데이터의 효율적인 데이터 전송을 위하여 새로운 대용량 데이터 전송 기법인 MTS를 제안하였다. 또한 송신 버퍼의 상태와 채널 환경을 고려하여 본 제안 방식을 기존 듀티 사이클 방식에 적용할 때 필요한 기준을 제시하였으며, MTS의 채널 점유를 이웃 노드로부터 보장하기 위하여 NAV 기법을 활용하였다. 이러한 MTS는 기존의 듀티 사이클 방식을 운영하는 경쟁 기반 MAC 프로토콜에 적용이 가능하도록 설계되었으며, 성능 결과를 측정하기 위하여 기존의 X-MAC과 MTS를 적용한 X-MAC을 비교 실험하고 이를 분석하여 MTS의 효율성을 보였다.

현재 WMSN MAC에 대한 연구는 QoS가 중점을 이루고 있으며, 이러한 연구 테마는 대용량 멀티미디어 데이터 전송에 대한 결정 방법과 크게 연관된다. 본 MTS는 설정된 대용량 데이터를 전송하기 위하여 채널을 선점하는 방식을 채택하기 때문에

이웃 노드가 받는 영향의 규모를 QoS 측면에서 재해석할 필요가 있으며, 이에 대한 연구를 향후 진행할 예정이다.

## References

- [1] Jae-Ho Lee, Kyung Hur, and Doo-sop Eom, "A Enhanced Theory for reducing energy consumption and end-to-end delay in stationary wireless sensor network", *J. Korea Information and Communications Society (J-KICS)*, vol. 35, no. 10, pp. 949-959, Oct. 2010.
- [2] Satyajayant Misra, Martin Reisslein, Guoliang Xue, "A Survey of Multimedia Streaming in Wireless Sensor Networks", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 10, no. 4, Fourth Quarter, 2008.
- [3] Michael Buettner, Gary V. Yee, Eric Anderson, and Richard Han, "X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks". *In Proceedings of the 4th International Conference on Embedded Networked Sensor Systems. (SENSYS2006)*, pp. 307-320, Nov. 2006.
- [4] Joseph Polastre, Jason Hill, and David Culler, "Versatile Low Power Media Access for Wireless Sensor Networks". *In Proceedings of the Second International Conference On Embedded Networked Sensor Systems (SenSys2004)*, pp. 95 - 107, Nov. 2004.
- [5] Amre El-Hoiydi, and Jean-Dominique Decotignie, "WiseMAC: An Ultra Low Power MAC Protocol for Multi-hop Wireless Sensor Networks", *In Proceedings of the First International Workshop on Algorithmic Aspects of Wireless Sensor Networks (ALGOSENSORS 2004)*, pp. 18 - 31, Jul. 2004.
- [6] IEEE 802.11e, Wireless QoS Service, from <http://www.ieee.org>.
- [7] A. Veres, A. Campbell, M. Barry, and S Li-Hsiang, "Supporting service

differentiation in wireless packet networks using distributed control”, *IEEE J. Select. Areas Communications*, vol. 19, no. 10, pp. 2081-2093, Oct. 2001.

- [8] C. Lu, B. Blum, T. Abdelzaher, J. Stankovic, and H Tian, “RAP: A real-time communication architecture for large-scale wireless sensor networks”, *In Proceedings of IEEE Real-time Systems Symposium (RTSS)*, pp. 55-66, Dec. 2001.
- [9] TI CC2420 datasheet, from <http://www.ti.com>.
- [10] Saxena. N, Roy. A, and Shin. J, “A QoS-Based Energy-Aware MAC Protocol for Wireless Multimedia Sensor Networks”, *In Proceedings of Vehicular Technology Conference (VTC)*, pp. 183 - 187, May 2008.
- [11] Melodia. T, and Akyildiz. I, “Cross-Layer Quality of Service Support for UWB Wireless Multimedia Sensor Networks”, *In Proceedings of The 27th Conference on Computer Communications (INFOCOM)*, pp. 2038 - 2046, Apr. 2008.
- [12] Aghdasi. H, Abbaspour. M, and Moghadam. M, “An Energy-Efficient and High-Quality MAC Protocol for Image Transmission in Wireless Sensor Networks”, *In 4th IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications (ICCSC)*, pp. 838 - 842, May. 2008.
- [13] Ian F. Akyildiz, Tommaso Melodia, and Kaushik R. Chowdhury, “A survey on wireless multimedia sensor networks”, *Computer Networks*, vol. 51, no. pp. 921-960, Mar, 2007.

이 재 호 (Jae-ho Lee)



2005년 고려대 전자공학과 석사  
 2008년 3월~현재 고려대 전자공학과 박사과정  
 2011년 3월~현재 서일대 겸임교수  
 <관심분야> WPAN, 센서네트워크, MANET, MAC, WBAN

엄 두 섭 (Doo-seop Eom)



1987년 고려대 전자공학과 학사  
 1989년 고려대 전자공학과 석사  
 1999년 일본 오사카대학 보통신공학과 박사  
 1989년 2월~1999년 8월 한국 전자통신연구소 연구원  
 1999년 9월~2000년 8월 원광대학교 전임강사  
 2000년 9월~현재 고려대 전기전자전파공학부 교수  
 <관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, IP 네트워크