

# 제한적 CSMA를 이용한 Hybrid TDMA/CSMA MAC의 성능 향상

## A Study on Performance Improvement of Hybrid TDMA/CSMA MAC Using the Limitive CSMA

이 왕 종\*                      이 승 형\*\*  
(Wangjong Lee)      (Seung-Hyong Rhee)

### 요 약

본 논문에서는 타임 슬롯의 사용되지 않는 구간에서 효과적으로 CSMA를 수행하여 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜의 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜은 디바이스들이 효율적으로 매체를 공유하기 위한 방법으로 TDMA 타임 슬롯의 사용되지 않는 구간을 CSMA 접속 방법을 이용하여 채널의 효율성을 높이고 성능을 개선한다. 그러나 CSMA 구간동안 여러 디바이스들이 경쟁을 벌이기 때문에 지연과 잦은 충돌이 발생하여 네트워크 성능이 낮아진다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위하여 타임 슬롯에 따라 여유 구간에서 CSMA를 수행하는 디바이스를 제한하는 방법을 제안한다. 제안된 알고리즘은 CSMA 구간에서 경쟁을 벌이는 디바이스의 수를 줄여 경쟁으로 인한 전송 지연과 충돌 가능성을 감소시킨다. 이러한 지연과 충돌 가능성의 감소는 네트워크의 성능을 향상시킨다. 시뮬레이션을 통하여 본 논문에서 제안한 제한적 CSMA 방법과 기존의 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜의 성능을 비교하여 성능 향상을 검증한다.

### Abstract

This paper proposes the efficient method of CSMA during an idle duration in the time slot. The hybrid TDMA/CSMA protocol is the method that shares the medium efficiently. This improves the channel efficiency and throughput by using CSMA method during the idle TDMA time slot. In CSMA duration, many devices start to compete with each other. This causes a low throughput because of a long delay and a frequent collision. In order to improve this problem, the proposed method reduces the number of devices that compete in the CSMA duration. Because the number of competed device is reduced, this proposed algorithm reduces the delay and collision probability. This decrements of delay and collision probability improve the networks. The simulation results show that the proposed limitive CSMA methods outperform any methods of hybrid TDMA/CSMA protocol.

**Key words:** Hybrid MAC, TDMA, CSMA, contention, limitive CSMA

† 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업(IITA-2008-C1090-0801-0015) 및 2007년도 광운대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.

\* 주저자 : 광운대학교 전파공학과 박사과정(교신저자)

\*\* 공저자 : 광운대학교 전파공학과 교수

† 논문접수일 : 2008년 12월 31일

† 논문심사일 : 2009년 2월 16일

† 게재확정일 : 2009년 2월 19일

## I. 서 론

여러 디바이스들이 하나의 채널을 공유하여 통신하기 위해서 채널에서 데이터 간의 충돌이 발생하지 않도록 관리하는 방법이 필요하다. 다중접속(Multiple Access) 프로토콜은 여러 디바이스들이 충돌 없이 공유의 채널을 통해 데이터를 전송하기 위한 채널 관리 기술이다. 대표적인 다중접속 기술인 TDMA 기술은 유선 환경뿐만 아니라 IEEE 802.15.3 WPAN, 셀룰러 시스템, 휴대 인터넷 등의 모바일 무선 환경에서도 널리 사용되고 있는 매체 접근 기술이다. TDMA는 동일한 주파수를 사용하는 디바이스들이 서로 다른 시간에 통신하는 방법으로 시간을 타임슬롯으로 나누어 디바이스에게 할당한다. 이 기술은 디바이스간의 충돌이 발생하지 않고 일정한 간격으로 데이터를 전송할 수 있어 멀티미디어와 같은 실시간 데이터 전송을 위해 많이 사용된다. 그러나 타임슬롯을 할당받은 디바이스가 간헐적으로 데이터를 전송하거나 휴면 상태에 들어가는 경우, 매체가 사용되지 않는 상태로 낭비되는 경우가 발생하기 때문에 매체 효율성이 낮아진다.

현재 다양한 네트워크에서 사용되고 있는 CSMA 기술은 디바이스간의 경쟁을 통하여 매체에 접근하는 기술이다. 디바이스는 데이터를 전송하기 전에 매체의 사용여부를 확인하고 매체가 사용되지 않는 경우에 한해서 데이터를 전송을 시작한다. CSMA 다중접속 기술은 데이터를 전송하고자 하는 디바이스만이 매체 접근을 시도하므로 데이터를 전송하지 않는 디바이스에게 불필요하게 채널을 할당하여 채널의 효율성이 낮아지는 단점을 보완할 수 있다. 그러나 디바이스가 증가하거나 트래픽이 많아 경쟁을 벌이는 디바이스가 많아지는 경우, 매체 접근을 위한 경쟁 구간이 길어질 뿐만 아니라 데이터의 불규칙한 지연이 발생한다. 그러므로 TDMA와 같은 실시간 데이터나 QoS 보장이 필요한 데이터 전송이 불가능하다 [1].

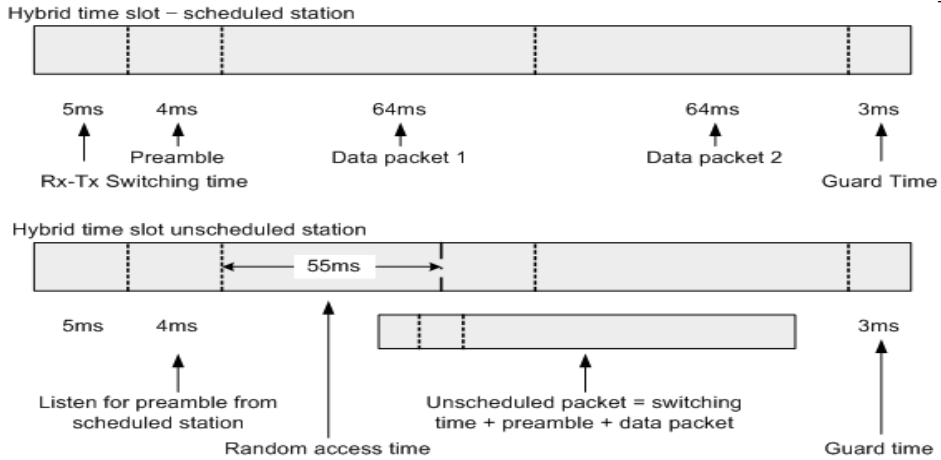
이러한 두 가지 다중접속 프로토콜의 단점을 보완하기 위해 두 프로토콜을 혼용하는 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜에 대한 다양한 연구가 진행되고 있다.

Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜에 관한 연구는 TDMA를 기반으로 사용되지 않는 타임 슬롯 구간에서는 CSMA를 적용하여 데이터를 전송한다. 이러한 채널 재활용을 통한 TDMA의 매체의 효율성 감소 문제를 개선하는 방향으로 진행되고 있다. 이러한 Hybrid MAC 기술은 센서 네트워크를 중심으로 활발히 연구가 진행되고 있다 [2].

본 논문에서는 기존 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜을 기반으로 하여 타임 슬롯에서 사용되지 않는 구간에 효과적으로 CSMA를 적용하는 방안을 제시한다. 기존에 Hybrid TDMA/CSMA에서 사용되지 않는 타임 슬롯 구간 동안 네트워크에 존재하는 모든 디바이스가 경쟁을 벌여 매체 접속이 지연되는 것과 충돌 가능성이 증가하는 것을 개선하였다. 이를 위해 타임 슬롯에 따라 경쟁을 시작하는 디바이스를 제한하여 지연 시간과 충돌 가능성을 감소시킨다. 2장에서는 본 논문의 기본이 되는 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜의 기본적인 내용에 대해서 살펴보고 대표적인 Hybrid MAC 프로토콜인 Z-MAC에 대해서 기술한다. 3장에서는 기존의 Hybrid MAC 프로토콜의 문제점에 대해서 언급하고, 본 논문에서 제안하는 Hybrid MAC 프로토콜의 성능향상을 위한 제한적 CSMA 알고리즘에 대하여 기술한다. 마지막으로 시뮬레이션을 통해 기존의 Hybrid MAC 프로토콜과 본 논문에서 제안한 알고리즘을 비교 분석하여 성능 개선을 검증한다.

## II. Hybrid MAC 프로토콜 관련 연구

Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜은 CSMA를 사용하는 Packet Radio Demonstrator System(PRDS)에서 TDMA의 성능을 향상시키기 위한 방법이다 [3]. TDMA에 의해서 타임 슬롯을 할당받은 디바이스가 타임 슬롯을 사용하지 않는 경우, 그 타임 슬롯을 주변 디바이스들이 CSMA를 통해서 사용할 수 있게 함으로써 자원이 낭비되는 것을 줄이고 전체적인 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있다. [3]에서 제안하는 프로토콜은 TDMA와 CSMA의 동작을 혼합 수용하는 Hybrid 프로토콜이다. <그림 1>은 Hybrid 프로토콜의 타임 슬롯 구조를 보여준다. 각 타임 슬롯은



<그림 1> Hybrid MAC 프로토콜의 타임 슬롯 구조  
 <Fig. 1> Time slot structure of Hybrid MAC Protocol

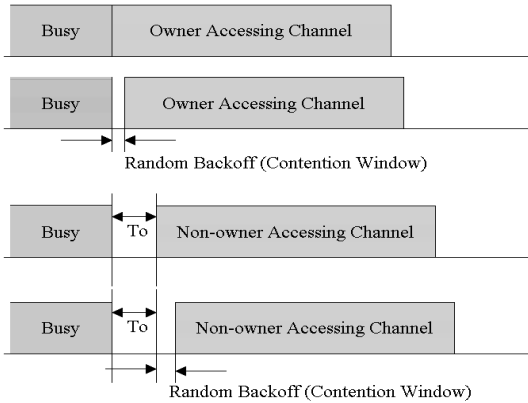
다음과 같이 구성된다.

- **Switching Time**  
 : 전송 모드에서 수신 모드로 전환하는데 필요한 시간으로 각 타임 슬롯마다 5ms로 설정된다.
- **Preamble**  
 : 동기화(synchronization)를 위한 64bits preamble로 적어도 4ms 이상의 전송된다.
- **Message body**  
 : 2개의 데이터 패킷과 5개의 ACK 패킷을 보낼 수 있는 시간으로 128ms로 정의된다.
- **Guard Time**  
 : 부정확한 타이밍과 지연을 위한 구간으로 3ms로 정의된다.

4ms의 preamble 기간 동안 scheduled 디바이스는 전송할 데이터가 존재할 경우 데이터 전송을 시작한다. Preamble 기간 동안 scheduled 디바이스에서 전송이 이루어지지 않으면 unscheduled 디바이스는 남은 타임 슬롯을 사용하기 위해 random access (CSMA)를 하게 된다. Random access는 55ms 이내에 이루어진다<그림 1>. 이런 과정을 거쳐 낭비되는 타임 슬롯을 재활용하여 네트워크의 성능을 향상시키게 된다. 하지만 이러한 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜은

hidden node terminal로 인한 충돌 문제를 갖고 있다.

대표적인 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜인 Z-MAC은 TDMA와 CSMA의 단점을 보완한 MAC 프로토콜이다 [4]. 디바이스간의 경쟁이 심한 경우에는 TDMA로 각 디바이스가 사용할 타임 슬롯을 할당함으로써 매체 접속을 위한 디바이스 간의 잦은 경쟁으로 인해 채널 효율성이 낮아지는 것을 개선한다. 이와 반대로 디바이스간의 경쟁이 심하지 않은 경우에는 CSMA로 동작하여 채널의 효율성과 지연 시간을 개선한다. 네트워크의 상황에 따라 두 가지의 다중 접속 방식을 적용하여 매체 관리 차원에서 뿐만 아니라 전송하는 데이터의 오류 확률도 개선할 수 있다. Z-MAC에서 디바이스는 일반적인 TDMA와는 달리 할당 받은 타임 슬롯에서 바로 데이터 전송을 시작하지 않는다. 타임 슬롯에서 데이터를 전송하기 전에 항상 채널 감지를 수행한다. 그러나 모든 디바이스가 동일한 우선 순위를 가지고 통신을 시도하는 것이 아니라, 각 타임 슬롯에 우선순위가 높은 owner를 두어 다른 디바이스보다 채널에 빠르게 접속할 수 있도록 설정한다<그림 2>. 이러한 과정을 통하여 TDMA와 같이 기존의 TDMA와 동일하게 타임 슬롯에서 데이터 전송의 우선순위를 갖는 디바이스를 정의하여 QoS를 보장할 뿐만 아니라 채널을 할당받은 디바이스가 데이터를 전송하지 않음으로 발생하는



<그림 2> Z-MAC의 전송 제어  
<Fig. 2> Z-MAC transmission control

채널의 낭비를 감소시키고 성능을 개선할 수 있다. 또한 Z-MAC은 TDMA나 CSMA와는 달리 동기화 오류, 슬롯 할당의 실패로 인한 영향을 적게 받는다.

TDMA와 CSMA가 갖는 채널의 효율성과 QoS 보장의 문제점으로 인해 Hybrid MAC에 대한 다양한 연구가 지속적으로 진행되고 있다. 특히 센서 네트워크를 중심으로 TDMA 방식의 intra-cluster 통신과 CSMA 방식의 inter-cluster 통신을 통하여 동기화로 인한 오류, 에너지 소모, 지연을 개선하는 방법에 대한 연구가 진행되었다 [5]. 이러한 Hybrid MAC은 센서 네트워크를 위한 에너지 효율성 개선 방안으로 다양한 연구가 진행되고 있다 [6-8].

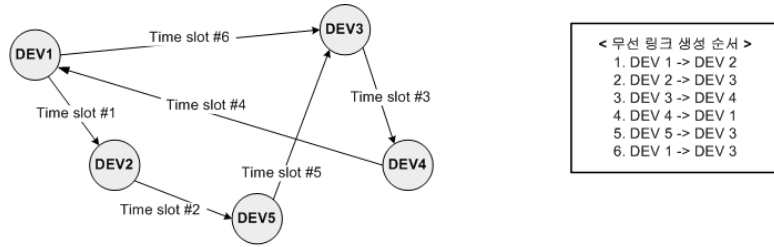
### III. Hybrid TDMA/CSMA에서의 제한적 CSMA 방법

Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜의 성능을 개선하기 위한 제한적 CSMA 알고리즘은 타임 슬롯에 따라 타임 슬롯의 사용되지 않는 구간에서 CSMA로 동작할 디바이스를 제한하여 매체에 접속하기 위한 경쟁을 줄이고 충돌 가능성을 감소시키는 방법이다. 기존의 Hybrid TDMA/CSMA에서는 사용되지 않는 타임 슬롯 구간에서 네트워크에 존재하는 모든 디바이스가 CSMA 동작을 통해 경쟁을 시작한다. 그러나 네트워크에 존재하는 디바이스의 수가 증가할수록 매체 접근을 위한 경쟁은 치열해지고 잦은 경쟁으로

경쟁 구간이 낭비된다. 그 뿐만 아니라 여러 디바이스는 매체가 사용되고 있지 않음을 감지하고 동시에 데이터를 전송하여 발생하는 충돌 (collision)이 증가하게 된다. 디바이스 수 증가로 인한 매체 감지 구간의 증가와 잦은 충돌은 네트워크 성능에 심각한 영향을 미친다. 제한적 CSMA 방법은 사용하지 않는 타임 슬롯에 따라서 경쟁을 시작할 수 있는 디바이스를 구분한다. 타임 슬롯에 따라 경쟁을 하는 디바이스를 구분함으로써 경쟁에 참여하는 디바이스의 수가 줄어들게 된다. 따라서 각 디바이스가 매체에 접속하기 위해 경쟁을 벌이는 구간이 짧아지고 데이터 전송이 이루어지는 구간이 길어짐으로써 매체를 더욱 효율적으로 사용할 수 있다. 짧은 시간 안에 매체 접속이 이루어지므로 전송 지연이 짧아지고 QoS를 보장할 수 있다. 또한 채널에 접속하지 못하는 상황에서 불필요한 경쟁을 벌이는 것을 방지하여 디바이스의 에너지 효율도 향상된다.

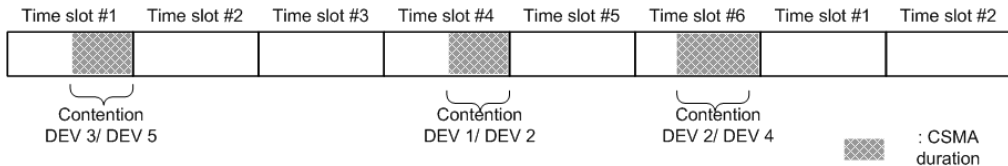
본 논문에서는 성능 개선과 매체 효율성 향상을 위해 각 디바이스에게 할당된 타임 슬롯의 번호를 기준으로 CSMA 구간에서 경쟁을 시작하는 디바이스를 두 개의 그룹으로 분류한다. 각 디바이스는 네트워크에서 최초로 매체를 할당받는 타임 슬롯을 기준으로 자신이 타임 슬롯을 할당받는 순서에 따라 자신이 사용할 타임 슬롯의 odd/even을 구별한다. <그림 3(a)>는 5개의 디바이스가 6개의 무선 링크를 형성한 네트워크를 보여준다. 무선 링크는 생성 순서에 따라 1번 타임 슬롯부터 순차적으로 할당된다.

타임 슬롯에서 사용되지 않는 구간이 발생하면 디바이스는 현재 타임 슬롯 번호의 odd/even 여부를 파악한다. 만약 현재 타임 슬롯 번호가 odd라면 odd 타임 슬롯을 할당받아 통신하는 디바이스만이 CSMA 동작을 시작한다. 이와 반대로 사용되지 않는 구간이 발생한 타임 슬롯 번호가 even이라면 자신이 할당받은 타임 슬롯이 even인 디바이스만이 매체 접속을 위한 경쟁에 들어간다<그림 3>. 1번 타임 슬롯을 할당받은 DEV1이 전송을 끝내고 타임 슬롯의 남은 구간동안 odd 타임 슬롯(3번째, 5번째 타임 슬롯)을 사용하는 DEV3과 DEV5가 CSMA를 통하여 매체에 접속하기 위한 경쟁을 벌인다. 이 경우 odd 타임 슬



(a) TAMA 통신을 위한 네트워크 토폴로지

- < 우선 링크 생성 순서 >
1. DEV 1 -> DEV 2
  2. DEV 2 -> DEV 3
  3. DEV 3 -> DEV 4
  4. DEV 4 -> DEV 1
  5. DEV 5 -> DEV 3
  6. DEV 1 -> DEV 3

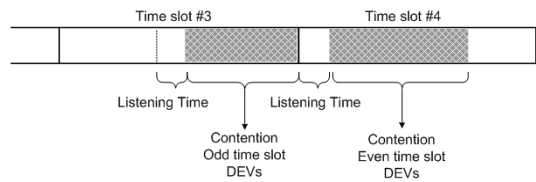


(b) Hybrid TDMA/CSMA 통신에서의 매체 접속

<그림 3> Hybrid MAC의 제한적 CSMA  
<Fig. 3> Limitive CSMA of Hybrid MA

롯을 사용하는 DEV1은 이미 데이터 전송을 끝낸 상태이므로 매체 접속을 위한 경쟁에서 제외된다. 이렇듯 odd 타임 슬롯의 사용되지 않는 구간에서 odd 타임 슬롯을 사용하는 디바이스가 경쟁하도록 하는 것은 even 타임 슬롯을 사용하는 디바이스가 경쟁을 벌이는 것보다 효과적이다. 또한 다음 타임 슬롯이 시작될 때까지 even 타임 슬롯을 사용하는 나머지 디바이스는 매체 접속을 위한 매체 감지를 시도하지 않는다. 이로써 성능 향상뿐 아니라 불필요한 매체 감지 동작에 소비되는 에너지를 줄여 효율적으로 에너지를 관리할 수 있다.

타임 슬롯에서 CSMA로 매체 접속 경쟁을 시작하기 위해서는 현재 타임 슬롯을 할당받은 디바이스가 데이터 전송을 완료했는지를 파악해야 한다. 타임 슬롯이 시작되면 디바이스는 Listening 상태로 매체에 데이터가 전송되고 있는지를 관찰한다. Listening time 동안 데이터 전송이 이루어지지 않을 경우, 타임 슬롯을 할당받은 디바이스의 데이터 전송이 끝난 것으로 간주하고 CSMA로 매체 접속을 위한 경쟁을 시작한다. 만약 타임 슬롯이 시작되었음에도 불구하고 Listening time 동안 데이터 전송이 발생하지 않는다면 타임 슬롯을 할당받은 디바이스가 전송할 데이터가 없는 것



<그림 4> CSMA의 디바이스 제한  
<Fig. 4> Device limitation of CSMA

으로 파악하고 CSMA 동작을 시작한다<그림 4>.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 TDMA를 통하여 각 디바이스에게 할당된 타임 슬롯에서 사용되지 않는 구간의 재활용을 통해 성능 및 매체 효율성을 개선하기 위한 효율적인 CSMA 적용 방안을 제안한다. 타임 슬롯의 번호에 따라 CSMA 동작을 시작하는 디바이스를 구분하므로 네트워크에 존재하는 디바이스의 수가 증가하여 CSMA에서의 충돌 가능성이 높아질수록 높은 성능 향상을 기대할 수 있다.

#### IV. 시뮬레이션

본 논문에서는 ns2 시뮬레이터를 이용하여 기존 연구에서 수행하였던 Hybrid TDMA/CSMA 프로토콜

과 본 논문에서 제안한 제한적 CSMA 프로토콜에 대한 성능을 비교·검증하였다 [10]. 본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 비교를 위한 시뮬레이션 환경 변수는 <표 1>과 같다. 네트워크 혼잡 상황에 따른 성능 비교를 위하여 다양한 트래픽 상황에서 시뮬레이션을 수행하였다.

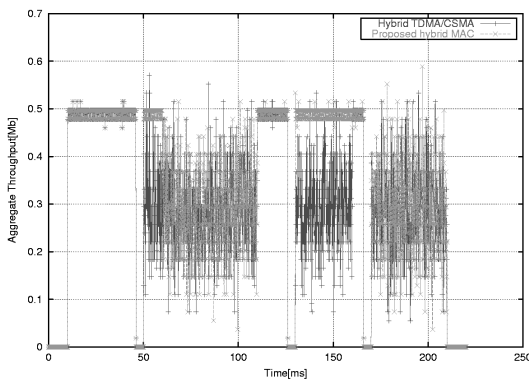
6개의 디바이스가 peer-to-peer로 통신하여 3개의 flow가 존재하는 네트워크에서는 2개의 odd 타임 슬롯과 1개의 even 타임 슬롯이 할당된다. 기존의 Hybrid TDMA/CSMA 알고리즘을 이용하는 경우 각 타임 슬롯에서 사용되지 않는 구간이 존재하는 경우 2개의 디바이스가 경쟁하면서 데이터를 전송한다. 그에 반하여 제안된 알고리즘을 이용하는 경우 odd 타임 슬롯에서는 매체 접속을 위한 경쟁 없이 1개의 디바이스만이 통신을 한다. Odd 타임 슬롯을 사용하는 모든 디바이스의 데이터 전송이 종료된 후에도 사용되지 않는 타임 슬롯 구간이 존재하는 경우에도 even

타임 슬롯을 사용하는 하나의 디바이스만이 데이터를 전송한다. 그러므로 odd 타임 슬롯의 경우 항상 하나의 디바이스가 경쟁 없이 데이터를 전송한다. Even 타임 슬롯에서 사용되지 않는 구간이 존재하는 경우에는 even 타임 슬롯을 사용하는 다른 디바이스가 존재하지 않기 때문에 2번의 Listening time 동안 매체를 관찰 후에 odd 타임 슬롯을 사용하는 두 디바이스가 경쟁하며 데이터를 전송한다<그림 5>.

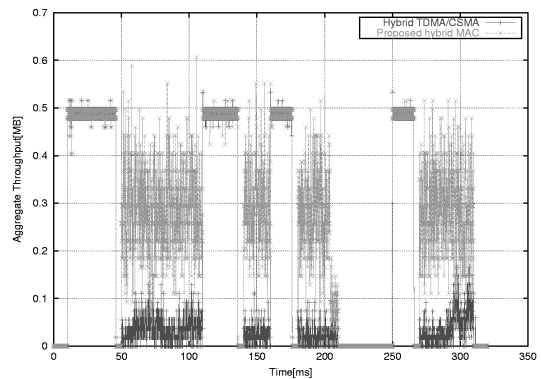
12개의 디바이스가 6개 flow를 형성하여 데이터를 전송하는 3개의 odd 타임 슬롯과 3개의 even 타임 슬롯을 할당받아 통신이 이루어진다. 각 디바이스가 할당받은 타임 슬롯에서 데이터를 전송하는 경우에는 안정적인 성능을 나타내며 데이터 전송이 이루어진다. 그러나 경쟁이 시작되는 CSMA 구간의 경우 매체 접속을 위한 경쟁이 시작되면서 가변적인 성능을 나타낸다. 이러한 네트워크 상황에서 기존의 Hybrid TDMA/CSMA 알고리즘은 모든 전송이 이루어지지 않는 타임 슬롯 구간에서 타임 슬롯을 할당받은 디바이스를 제외한 네트워크에 존재하는 5개의 디바이스가 경쟁적으로 데이터를 전송한다. 제안된 알고리즘은 타임 슬롯에서 사용되지 않은 구간이 발생하는 경우, odd(even) 타임 슬롯에서는 먼저 odd(even) 타임 슬롯을 사용하는 2개의 디바이스가 CSMA 동작을 수행한다. 두 디바이스의 전송 이후에도 데이터를 전송할 수 있는 구간이 타임 슬롯에서 존재한다면 데이터 전송을 끝낸 3개의 디바이스를 제외한 다른 형

<표 1> 시뮬레이션 환경 변수  
<Table 1> Simulation Environment

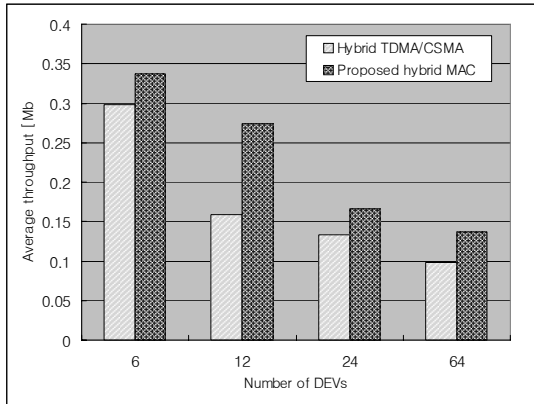
Attribute	Value
Number of Nodes	6 / 12 / 24 / 64
Number of flows (time slots)	3 / 6 / 12 / 32 ( 3 / 6 / 12 / 32)
Time slot length	50ms
Listening Duration	4ms
Simulation Time	320ms



<그림 5> Hybrid TDMA/CSMA 성능 비교 (3 flows)  
<Fig. 5> Throughput of Hybrid TDMA/CSMA (3 flows)



<그림 6> Hybrid TDMA/CSMA 성능 비교 (6 flows)  
<Fig. 6> Throughput of Hybrid TDMA/CSMA (6 flows)



<그림 7> DEV 수 변화에 따른 평균 성능  
 <Fig. 7> Average throughput with various number of DEVs

태의 타임 슬롯을 사용하는 나머지 3개의 디바이스가 데이터 전송을 위한 경쟁을 시작한다<그림 6>.

제안한 알고리즘은 기존 Hybrid TDMA/CSMA 알고리즘보다 CSMA 구간에서 동작하는 디바이스의 수가 1/2가량 감소한다. 매체 접속을 위해 경쟁하는 디바이스의 수의 감소는 경쟁으로 인한 지연 감소와 충돌 가능성 감소로 성능과 매체 효율성을 향상시킨다. 이러한 효과는 네트워크에 존재하는 디바이스의 수가 증가 할수록 명확히 나타난다<그림 5, 그림 6>.

<그림 5>와 <그림 6>을 통하여 기존 Hybrid TDMA/CSMA 알고리즘과 제안한 알고리즘을 적용 시 성능과 패킷을 보여준다. DEV수의 증가에 따라 타임 슬롯의 개수가 증가하면서 일정한 시간 동안 DEV는 여러 개의 타임 슬롯으로 분할하여 사용한다. 디바이스 수의 증가로 하나의 DEV가 교환하는 데이터의 수가 감소하여 평균적으로 낮은 성능을 보이지만, 기존 Hybrid TDMA/CSMA와 비교할 때 제안한 알고리즘이 우수한 평균 성능을 보여준다.<그림 7>

## V. 결 론

본 논문에서는 Hybrid TDMA/CSMA 기술에서 전송 지연과 채널 효율성을 개선하기 위한 방법을 제안하였다. TDMA 타임 슬롯의 사용되지 않는 구간에서 CSMA를 수행하는 디바이스의 수를 제한함으로써

성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. CSMA 동작을 하는 디바이스의 수를 감소시킴으로 경쟁 시간을 줄여 네트워크에 많은 디바이스가 존재하는 경우 발생하는 성능 저하를 개선할 수 있다.

타임 슬롯을 두 종류로 분류하여 타임 슬롯 번호에 따라 CSMA로 동작할 수 있는 디바이스를 제한하였다. 이를 통하여 경쟁 구간을 단축시키고 충돌 가능성을 줄임으로 성능의 개선을 가져왔다. 또한 제한된 디바이스가 CSMA로 데이터를 전송한 이후에도 타임 슬롯이 남아 있는 경우 나머지 디바이스들이 CSMA로 데이터 전송을 시작하여 채널의 효율성 측면에서는 기존의 Hybrid TDMA/CSMA 기술과 대비하여 우수한 성능 개선을 나타낸다.

## 참 고 문 헌

- [1] B. A. Forouzan, *Data Communication and Networking*, McGraw Hill, 2003.
- [2] W. Wang, H. Wang, D. Peng, and H. Sharif, "An energy efficient pre-schedule scheme for hybrid CSMA/TDMA MAC in wireless sensor networks," *Proc. IEEE Int. Conf. Communication Systems*, pp. 1-5, Oct. 2006.
- [3] B. A. Sharp, E. A. Grindrod, and D. A. Camm, "Hybrid TDMA/CSMA protocol for self managing ratchet radio networks," *Proc. IEEE Int. Conf. Universal Personal Communications*, pp. 929-933, Nov. 1995.
- [4] I. Rhee, A. Warriar, M. Aia, and J. Min, "Z-MAC: a hybrid MAC for wireless sensor networks," *IEEE Trans. Networking*, vol. 16, no. 3 pp. 511-524, June 2005.
- [5] M. Shark, I. Ahmed, M. Peng, and W. Wang, "Cluster organization based design of hybrid MAC protocol in wireless sensor networks," *Proc. Int. Conf. Networking and Services*, pp. 78-83, June 2007.
- [6] J. Ploastre, J. Hill, and D. Culler, "Versatile low power media access for wireless sensor networks,"

- Proc. ACM Conf. Embedded Networked Sensor Systems*, pp. 95-107, Nov. 2004.
- [7] W. Wang, D. Peng, H. Wang and H. Sharif, "Smart hybrid frame scheduling to improve energy efficiency in wireless sensor network," *Ubiquitous Computing and Communication Journal*, vol. 2, no. 3, pp. 16-21, June 2007.
- [8] H. Cho, M. Cho, J. Chung, and W. Jeong, "A centralized hybrid MAC protocol for wireless sensor networks," *Proc. Int. Conf. Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information*, pp. 445-460, Dec. 2007.
- [9] The CMU Monarch Project, "Wireless and mobile extension to ns," Snapshot Release 1.1.1, Carnegie Mellon University, Aug. 1999.

저자소개



이 왕 중 (Lee, Waongjong)

2005년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 박사과정  
 2003년 3월 ~ 2005년 2월 : 광운대학교 전파공학과 석사  
 1996년 3월 ~ 2003년 2월 : 광운대학교 전자공학부 졸업



이 승 형 (Rhee, Seung-Hyong)

2000년 ~ 현재 : 광운대학교 전파공학과 교수  
 2002년 ~ 현재 : 국가정보원/국방연구원 기술자문  
 1996년 1월 ~ 1999년 5월 : Univ. of Texas at Austin 공학박사  
 1984년 3월 ~ 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업  
 1988년 9월 ~ 1990년 8월 : 연세대학교 전자공학과 석사