

---

# Mesh Networks을 위한 다중채널 다중인터페이스 MAC 프로토콜에 관한 연구

김영범\*

A Study on Multi-Channel Multi-Interface MAC Protocols for Mesh Networks

Young-Beom Kim\*

## 요 약

본 논문에서는 무선 애드혹 네트워크에서 복수개 채널을 이용한 효율적인 매체접속제어 프로토콜로써 DM-MMAC (Doze Mode Multi-Chanel MAC)을 제안한다. 기존의 IEEE 802.11 프로토콜의 경우 물리계층에서 복수개의 가용 채널이 주어지나 MAC 계층에서는 오직 고정된 단일채널을 통한 접속만이 가능하다. 이를 보완하기 위한 프로토콜로써 여러 가지 멀티채널 MAC 프로토콜이 제안되었으나 대부분의 경우 채널수가 적고 호스트의 수가 많아지면 전송 처리율(throughput)이 급격히 저하되는 문제점이 있다. 본 연구에서는 기존 MMAC 프로토콜의 채널 할당 및 채널점유 과정을 단순화하고 호스트 간 충돌가능성을 줄임으로써 절전효과와 함께 전송률 향상을 도모하였다.

## ABSTRACT

In this paper, we propose a new MAC protocol, namely DM-MMAC (Doze Mode Multi-Chanel MAC) for ad hoc wireless networks which can utilize multiple channels effectively, thereby enhancing the network throughput considerably. Basically, the IEEE 802.11 specification allows for the use of multiple channels available at the physical layer, but its MAC protocol is designed only for a single channel with the fatal drawback, so called multi-channel hidden terminal problem in multi-channel environments. In this vein, several multi-channel MAC protocols have been proposed, but most of them demonstrate the performance problem that its throughput drastically decreases as the number of mobile hosts residing in a given network increases with small number of available channels. In this work, we tried to improve the performance of multi-channel MAC protocols in terms of network throughput as well as power saving effects by simplifying the channel assignment and channel capturing procedures and reducing the possibility of collisions between mobile hosts.

## 키워드

애드혹 네트워크, 매체접속제어, 다중채널 MAC 프로토콜, 메시 네트워크

## Keywords

Ad-hoc network, medium access control, multi-channel MAC protocol, mesh networks

---

\* 정회원 : 건국대학교 전자공학부 (교신저자, ybkim@konkuk.ac.kr)

접수일자 : 2011. 02. 23

심사완료일자 : 2011. 03. 23

## I. 서 론

무선 네트워크 구성을 위한 IEEE 802.11 표준은 다중 채널을 사용할 수 있도록 설계되어 있다. IEEE 802.11b의 물리계층(PHY)에서는 14개의 채널을 사용할 수 있으며 채널이 완벽하게 중복되지 않는 조건에서 주파수 영역은 최소한 30MHz 이상이 되어야 한다. 이러한 채널 중 1, 6, 11번이 전형적으로 데이터 통신에 사용함으로 3개의 채널이 사용 가능하다[1].

다중채널에서는 다중 송수신이 가능하기 때문에 다중채널을 사용하게 되면 단일채널을 사용하는 것 보다 높은 네트워크 전송률을 얻을 수 있다. 그러나 IEEE 802.11의 MAC 프로토콜에서는 호스트 간에 단일채널만 사용할 수 있도록 설계되었다. 사실상 현재 IEEE 802.11의 통신유형은 반이중방식(half-duplex mode)이기 때문에 MAC 프로토콜을 다중채널로 설계하는 것은 쉽지 않다.

즉, 트랜시버가 채널을 자유롭게 변경하는 것은 문제가 되지 않으나 트랜시버는 동시에 송신과 수신을 하지는 못한다. 따라서 트랜시버가 여러 개의 채널 중 한 채널의 수신을 기다린다면 나머지의 채널에서의 수신은 불가능하다. 이러한 문제점을 해결 하기 위해 다중채널 MAC (MMAC : Multi-Channel MAC)이 제안되었다[2].

MMAC 프로토콜에서는 ATIM (Ad-hoc Traffic Indication Messages) 윈도우를 이용해서 약속된 시간에 약속된 한 개의 채널에서 모이게 함으로써 다중채널 환경에서 발생하는 IEEE 802.11의 문제점을 해결하였으며 preferable channel list (PCL)를 이용하여 효율적인 채널 할당이 이루어지도록 하였다. 하지만 PCL에서는 모든 채널이 할당이 된 후에도 계속적인 채널할당이 이루어지기 때문에 과도한 경쟁으로 인한 충돌확률이 증가하게 되는 문제가 있다.

본 논문에서는 통신부하가 높은 조건하에서 보다 효율적인 DM-MMAC 프로토콜을 제안한다. DM-MMAC 프로토콜은 채널이용 목록(Channel Usage List)을 사용하며 모든 채널이 배정이 된 다음에는 각각의 호스트가 더 이상 송수신 시도를 하지 않는 DOZE mode 방식을 사용함으로써 불필요한 경쟁을 최소화했으며 이 것으로 네트워크 전송률이 향상되게 되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 이어지는 장에서는 본 연구의 주제와 관련되는 기존 연구동향에 대해 소개하며 III장에서는 MMAC의 기본개념과 문제점을 제시한다. IV장에서는 제안된 DM-MMAC 프로토콜의 기본개념을 소개하며 V장에서는 IEEE 802.11, MMAC과 DM-MMAC의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 네트워크 전송률 측면에서 비교 분석한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

무선 네트워크에 있어서 다중채널을 활용하는 경우 전송률 증대를 기대할 수 있기 때문에 최근 이에 관한 많은 연구들이 진행되어 왔다. 그 중 첫 번째로 Dual Busy Tone Multiple Access 방식[3]에서는 한 개의 채널을 한 개의 데이터 채널과 두 개의 보조채널로 나눈다. 데이터를 송수신하기 전 busy tone을 보조채널로 보내게 되는데 각 이동단말은 이 보조채널을 확인하여 현재 채널이 사용 중인지 여부를 인식하게 된다. 이 프로토콜은 단일채널에서만 사용이 가능하고 다중채널에서는 사용하기가 어렵기 때문에 다중채널환경에서 전송률 향상에는 기여를 하지 못한다.

Multi-channel MAC Protocol with Dynamic Channel Assignment (DCA)[6]은 한 개의 고정된 제어 채널을 이용한 채널 할당을 통하여 효율적인 채널 이용을 기하고 있다. 모든 호스트들은 2개의 트랜시버를 가지고 있고 한 개는 제어 채널에 고정되어 있으며 나머지 한 개는 원하는 데이터 채널로 움직일 수 있다. 송신을 원하는 호스트는 제어 채널을 이용해서 수신측에게 RTS를 보내는데 RTS 패킷 안에는 송신측이 원하는 채널정보가 들어 있다. RTS를 받은 수신측은 송신측에게 CTS를 보내면서 최종적으로 원하는 채널을 결정하게 된다. 이 프로토콜은 채널간의 동기화가 필요 없으며 최소한의 제어 신호만으로도 효과적인 채널 할당을 할 수 있다는 장점이 있으나 다중채널의 개수가 많은 경우 고정된 제어 채널에서의 빈번한 통신으로 인한 병목현상이 발생할 수 있다는 단점이 있다.

### III. MMAC의 기본개념과 문제점

각 이동 호스트들은 효율적인 채널 선택을 위해 선호 채널목록 (PCL : Preferable Channel List)으로 불리우는 데이터구조를 유지/관리한다. PCL은 해당노드의 전파범위 내에서 채널의 사용 상태를 기록하게 되며 기록시 모든 통신채널은 HIGH, MID, LOW 의 3개 상태로 분류된다.

ATIM 윈도우에 해당하는 시간 동안 모든 Host는 공통채널에 맞춰져 있으며 이 시간동안 송신 및 수신측은 추후의 데이터 통신을 위해 사용할 채널을 결정하게 되며 이러한 송/수신측간 교환되는 채널정보를 엿듣게 되는 (overhearing) 다른 인접 호스트들은 이러한 정보를 자신이 갖고 있는 PCL 상에 반영하게 된다.

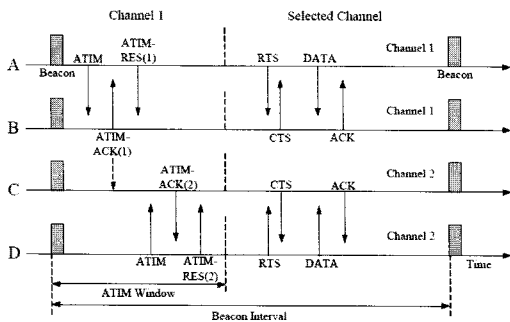


그림 1. MMAC에서의 채널 선택  
Fig. 1 Channel selection in MMAC

ATIM 윈도우내에서 채널협상을 위해 송/수신측간에 교환되는 메시지는 ATIM, ATIM- ACK, ATIM- REG의 세 가지이다 (그림 1 참조). 송신 호스트 S가 호스트 D로 보내야하는 패킷이 있는 경우, S는 먼저 ATIM 패킷을 통해 그러한 의도를 D에게 알린다. 이 때 S는 ATIM 패킷에 자신의 PCL 정보를 포함시킨다. ATIM 패킷을 수신한 호스트 D는 송신측이 보내온 PCL과 자신의 PCL을 기반으로 한 개의 채널을 선택한다. D는 채널을 선택한 후 ATIM-ACK에 이러한 채널정보를 포함시킨 후 S에 보낸다. 호스트 S는 이 패킷을 받게 되면 ATIM-ACK에 명시된 채널을 선택할 수 있는 지 먼저 검토하게 된다. S는 다른 채널을 이미 선택해 버린 경우가 아니라면 해당 채널

을 선택할 수 있다. S는 ATIM-ACK에 명시된 채널을 선택하게 되면 S가 선택한 채널번호가 포함된 ATIM-RES 패킷을 D에게 보낸다. ATIM-RES 패킷을 통해 D의 인접 노드들은 S-D간 통신을 위한 채널정보를 얻게 되며 이를 각자 PCL에 반영하게 된다.

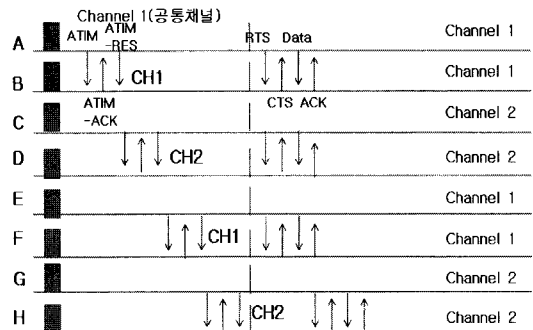


그림 2. MMAC 프로토콜의 문제점  
Fig. 2 A problem associated with MMAC

MMAC 프로토콜은 다음과 같은 문제점을 가지고 있다. 즉, 채널의 적고 통신에 참여하는 호스트의 수가 많은 경우, 단순한 Back-off 방식으로는 패킷의 충돌확률이 증가하게 되고 RTS/CTS 메커니즘으로 인한 통신 대역폭 낭비가 상당해진다.

예를 들어 그림 2의 경우를 살펴보자. 이 경우 채널 수는 2이며 8개의 호스트가 동일한 전파범위 안에 존재하고 있다고 하자. 가령 호스트 A, C, E는 각각 호스트 B, D, F와 통신을 원하는 상태라고 가정해 보자. 이 때 A, B간 통신의 경우에는 PCL에 의거해서 채널 1을 선택을 하고, C, D간 통신의 경우 PCL에 따라서 채널 2를 선택할 수 있다.

하지만 E-F와 G-H는 이미 PCL 상에 두 채널이 LOW 상태이기 때문에 무작위로 채널을 선택하게 된다. 따라서 RTS/CTS 교환 및 Back-off 메커니즘을 통해 어느 정도 충돌 가능성이 줄어들긴 하지만 전송실패 확률은 여전히 상당하다고 할 수 있다. 그림 2의 경우, 전송 성공 확률은 0.25밖에 안된다 (즉, 4회의 전송 시도 중 1개만이 성공). 또한, 성공적인 전송이 이뤄진다 하더라도 RTS/CTS 메커니즘으로 인한 전송 대역폭 낭비로 효율성이 많이 떨어지게 된다.

#### IV. DM-MMAC 프로토콜

이 장에서는 본 연구에서 제안한 DM-MMAC 프로토콜을 소개하기로 한다. 먼저, 다음의 가정을 한다. 첫째, 통신 채널의 수는 N이며 모든 채널의 대역폭은 동일하다. 둘째, 어떤 채널 간에도 대역중첩이 없으며 따라서 각기 다른 채널을 통해 전송된 패킷 간에는 간섭이 없다. 셋째, 모든 호스트는 1개의 반이중방식의 트랜시버를 갖는다. 따라서 각 호스트는 송수신이 모두 가능하나 동시 송수신은 불가능하다. 넷째, 각 트랜시버는 채널의 동적변경이 가능하며, 채널변경에 소요되는 스위칭 시간은 IEEE 802.11 규격에 정의되어 있는 224us로 가정한다. 마지막으로, 무선 네트워크상의 모든 호스트들 간에는 동기기가 이루어져 있으며, 따라서 모든 host들은 동시에 beacon interval을 시작하게 된다.

DM-MMAC에서는 효율적인 채널 선택을 위해 Channel Usage List (CUL)을 사용한다. CUL에서 모든 채널은 Used channel(USED), Unused channel(UNUSED), Previously Successful channel (PSC)의 세 가지 상태로써 관리된다.

DOZE MODE란 CUL상에 모든 채널이 USED 상태가 되었을 때 다음 beacon interval까지 송수신을 시도하지 않은 채 최소한의 기능만을 기동시켜 놓은 휴면 상태를 말한다. 이러한 방식을 통해 절전효과뿐만 아니라 모든 채널이 선택된 이후에도 발생할 수 있는 호스트간의 불필요한 경쟁을 방지하게 되며, 또한 이러한 불필요한 경쟁에서 필요했던 RTS/CTS 교환 과정을 없앴으로써 전송률 향상을 기대할 수 있다.

DM-MMAC에서 채널 선택은 다음과 같이 진행된다. PSC를 제외한 모든 채널들은 호스트가 처음으로 기동되거나 매 비콘 구간 시작 시 UNUSED 상태로 초기화된다. ATIM 윈도우 동안 특정 채널이 선택되는 경우 이 채널은 USED 상태로 변하게 된다. 또한 특정 채널을 통한 송수신이 성공적으로 완료된 경우(ACK 메시지를 통해 확인) 해당 채널은 PSC에 저장되며 최대 3개까지 저장된다. 만약 3개가 초과한다면 가장 오래된 기록이 지워지고 새 기록으로 갱신된다.

그림 3에서 비콘 구간 시작 시 모든 채널은 UNUSED 상태로 초기화되므로 모든 호스트들의 CUL 상에는 Ch1, Ch2, Ch3는 UNUSED 상태로 설정된다. PSC는 계

속 가지고 있는 값을 유지하기 때문에 전 비콘 구간에서 가지고 있던 값을 계속 가지고 있게 된다. A와 B가 통신을 시작하려고 하는 경우 A는 B에게 ATIM 패킷을 보내기 전 CUL를 참고해서 채널을 선택한다. 이때 A에 있는 UNUSED 채널목록에는 Ch1, Ch2, Ch3가 있는데 이때 A는 PSC를 고려하여 가령 Ch1을 선택할 수 있다. ATIM 패킷을 통해 Ch1을 선택했다는 정보를 보내면 B에서는 Ch1을 최종적으로 선택해서 ATIM-ACK 메시지를 보내게 된다.

마지막으로 A는 ATIM-RES를 통해 최종적으로 채널을 선택한다는 것을 B에게 알리게 된다. ATIM-RES, ATIM-ACK 메시지는 브로드캐스트 되어 인접노드에게 Ch1의 예약사실을 알리게 되며, 이를 바탕으로 C, D의 CUL에서 Ch1은 USED 상태로 설정된다. 비슷한 방법으로 C와 D간의 채널선택과 데이터 통신이 이루어지게 된다. C와 D가 ATIM-ACK 및 ATIM-RES를 통해 채널 예약을 완료하면 E와 F의 CUL에는 더 이상 USED 상태의 채널은 존재하지 않게 되므로 E와 F는 DOZE MODE로 들어가게 된다. 마지막으로, 모든 호스트는 ACK 메시지를 통해 성공적인 통신이 이루어졌음을 확인하면 자신의 PSC 목록을 업데이트한다. 호스트 A와 B는 Ch1을 통해 성공적으로 통신을 했기 때문에 PSC 목록에 Ch1이 기록되게 되며 C와 D는 Ch2에서 성공적으로 통신을 했기 때문에 Ch2가 PSC에 기록된다.

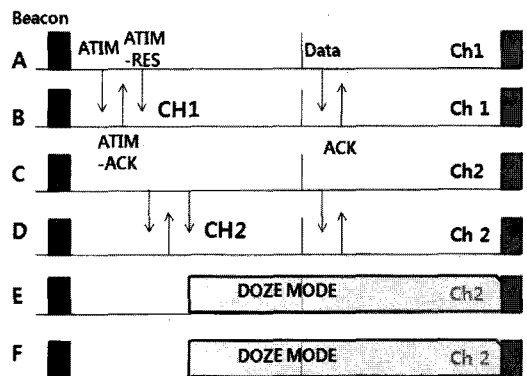


그림 3. DM-MMAC에서의 채널 선택  
Fig. 3 Channel selection in DM-MMAC

### V. 컴퓨터 시뮬레이션 및 검토

본 연구에서 시뮬레이션은 무선 애드 혹 네트워크 환경을 기반으로 하였다. 각 채널의 전송속도는 2Mbps, 노드간 거리는 250m, 그리고 비콘 구간의 길이는 100ms로 설정하였다. 모두 3개의 채널을 사용하였으며 패킷 크기는 512 bytes, ATIM 윈도우의 길이는 20ms로 가정하였다. 각 시뮬레이션의 길이는 20초이며 최종적인 결과치로서 모두 10번의 시뮬레이션을 통해 얻은 값을 평균하였다. 시뮬레이션에서 사용된 트래픽 모델로서 Constant-Bit-Rate (CBR)를 사용하였다.

전송 처리율 측면에서 IEEE 802.11, MMAC, DM-MMAC의 성능을 노드수를 증가시켜 가면서 비교하였다. 그림 4는 네트워크 부하 증가에 따른 3개 프로토콜의 처리율을 그래프로 나타낸 것이다. 네트워크의 크기는 노드 (또는 호스트) 개수를 뜻하며 6, 30, 64로 바꾸어 가며 비교해 보았다. 네트워크 부하가 작은 경우 모든 프로토콜은 비슷한 성능을 보이나, 네트워크 부하가 증가함에 따라 DM-MMAC의 성능이 MMAC과 IEEE 802.11에 비해 양호해짐을 알 수 있다. IEEE 802.11 같은 경우 3개의 채널이 주어져 있다고 하더라도 1개 채널만을 사용하므로 MMAC나 DM-MMAC에 비해 성능이 많이 떨어짐을 알 수 있다. MMAC의 경우 네트워크 부하가 증가함에 따라 호스트간 채널이용을 둘러싸고 과도한 경쟁이 발생하게 되며 따라서 DM-MMAC이 상대적으로 나은 성능을 보이게 된다. MMAC와 DM-MMAC은 3개 채널을 사용하는데도 불구하고 처리율 측면에서 IEEE 802.11의 3배에 많이 못미치는 성능을 보여줌을 알 수 있는데, 이는 IEEE 802.11 기본 프로토콜과 비교하여 채널을 배정하는데 주어진 대역폭의 일부를 쓰기 때문이다. 다시 말하면 ATIM 윈도우와 주기적인 비콘 패킷과 같은 전송 오버헤드가 불가피하게 전송 대역폭의 일부를 소모하기 때문이다.

### VI. 결론

본 논문에서는 무선 애드 혹 네트워크에서 전송 처리율 향상을 목적으로 다중채널을 활용하는 효율적인 MAC 프로토콜로서 DM-MMAC (Doze Mode Multi-

Channel MAC)을 제안하였다. 네트워크 트래픽 부하 (통신부하)가 작은 경우 IEEE 802.11, MMAC, DM-MMAC 모두 성능차이는 없으나 네트워크 트래픽 부하 (통신부하)가 커질수록 DM-MMAC 프로토콜이 가장 나은 성능을 나타내었다. DM-MMAC 프로토콜에서는 모든 가용 채널의 할당이 완료된 후 불필요한 추가적인 채널 할당이나 데이터 송수신 시도를 제거함으로써 호스트간 충돌과 RTS/CTS 교환 과정에 따른 전송 대역폭 낭비를 줄임으로써 전체적인 전송 처리율 향상을 기대할 수 있다.

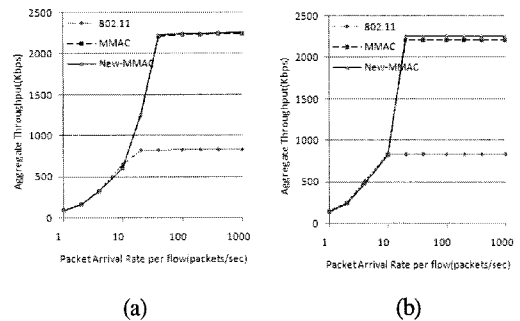


그림 4. 무선 LAN 환경에서 패킷 도착률 및 노드 수에 따른 전송 처리율 비교  
(a) 30 node (b) 64 node  
Fig. 4 Performance comparisons: Throughput vs. packet arrival rate and number of nodes in WLANs (a) 30 node (b) 64 node

### 참고문헌

- [1] IEEE 802.11 Working Group, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," 1997.
- [2] J. So and N. H. Vaidya, "Multi-channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals using a Single Transceiver," in Mobihoc, 2004.
- [3] J. Deng and Z. Haas, "Dual Busy Tone Multiple Access (DBTMA): A New Medium Access Control for Packet Radio Networks," in Proc. of IEEE ICUPC, Florence, Italy, 1998.

- [4] Z. Tang and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Hop-Reservation Multiple Access (HRMA) for Ad-Hoc Networks," in Proc. of IEEE INFOCOM, 1999.
- [5] A. Nasipuri, J. Zhuang and S. R. Das, "A Multichannel CSMA MAC Protocol for Multihop Wireless Networks," in Proc. of IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC), September 1999.
- [6] S.-L. Wu, C.-Y. Lin, Y.-C. Tseng and J.-P. Sheu, "A New Multi-Channel MAC Protocol with On-Demand Channel Assignment for Multi-Hop Mobile Ad Hoc Networks," in Int'l Symposium on Parallel Architectures, Algorithms and Networks (I-SPAN), 2000.
- [7] N. Jain and S. Das, "A Multichannel CSMA MAC Protocol with Receiver-Based Channel Selection for Multihop Wireless Networks," in Proc. of the 9th Int. Conf. on Computer Communications and Networks (IC3N), October 2001.

### 저자소개



김영범(Young Beom Kim)

1984년 2월 서울대 전자공학과  
(공학사)

1986년 2월 서울대 전자공학과  
(공학석사)

1996년 8월 미 메릴랜드주립대(공학박사)

1997년 9월 ~ 현재 건국대학교 전자공학부 정교수

※주관심분야: 무선 네트워크, ATM, 통신망 트래픽 제어