

무선 애드혹 네트워크에서 슬롯방식을 이용한 멀티채널 MAC 프로토콜*

김성찬⁰, 고영배

아주대학교 정보통신전문대학원⁰, 아주대학교 정보통신대학
kimsungchan@dmc.ajou.ac.kr⁰, youngko@ajou.ac.kr

A Slot Based Multi-channel MAC Protocol for Wireless Ad hoc Network

Sung-Chan Kim⁰, Young-Bae Ko

Graduate School of Information and Communication⁰, Ajou University
College of Information and Computer Engineering, Ajou University

요 약

무선 애드혹 네트워크에서 주로 사용되는 IEEE 802.11은 모든 노드가 하나의 채널을 공유하기 때문에 높은 throughput을 기대하기 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 여러 채널을 동시에 사용하는 멀티채널 기반의 MAC 프로토콜이 제안되었다. 그러나 기존의 멀티 채널 기반 MAC 프로토콜은 멀티채널을 사용함에도 불구하고 각 노드들이 서로간의 경쟁을 통해 데이터를 전송하기 때문에, 데이터 트래픽이 증가하는 경우 throughput이 급격하게 감소한다. 따라서 본 논문에서는 데이터의 전송시간을 일정한 시간으로 나누어 노드들간의 경쟁을 방지함으로써 throughput을 향상시키는 슬롯 기반의 멀티채널 MAC 프로토콜(Slotted MMAC)을 제안한다.

1. 서론

통신장비의 이동성과 휴대성에 관심이 높아지면서 무선 애드혹 네트워크에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 무선 애드혹 네트워크는 유선 기간망 없이도 각각의 단말기들이 스스로 라우터 역할을 수행하여 멀티 홉으로 데이터를 전달할 수 있다. 이러한 무선 애드혹 네트워크는 흔히 IEEE 802.11 [1] 표준을 기반으로 구현된다. IEEE 802.11은 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 방식을 이용하여 각 노드들은 경쟁을 통해 하나의 medium을 공유한다. 한 노드가 medium을 선점한 경우 그 노드의 전송 범위 안에 있는 다른 노드들은 데이터 전송을 지연시킬 수 밖에 없기 때문에, 호스트의 밀도가 높거나 데이터의 트래픽이 증가하는 경우 네트워크 throughput이 급격하게 감소하는 문제가 발생한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 [2]에서는 파워 컨트롤을 통해 전송 범위를 조절하여 충돌(Collision)이 일어나는 영역을 줄이고, 이를 통해 네트워크의 throughput을 증대시킨다. 또한 [3]에서는 방향성 안테나를 사용하여 안테나가 향하는 전송 영역을 제한시킴으로써, 동시에 여러 노드들이 데이터를 전송할 수 있도록 하는 방식을 제안하였다. 이러한 공간 재활용 기법 이외에도 throughput을 증대시키기 위해 여러 채널을 동시에 사용하는 MAC 프로토콜에 관한 연구가 수행되어 왔다. 특히 IEEE 802.11b에서는 간섭이 일어나지 않는 독립된 3개의 채널을 제공하기 때문에, 이를 이용한 멀티채널 기술에 대한 중요성이 점차 대두되고 있다[4].

멀티채널 기반의 MAC 프로토콜 중의 하나인 MMAC[5]은

하나의 송수신기를 사용하여 각 노드가 서로 다른 채널을 동시에 사용함으로써 throughput을 증대시킨다. MMAC은 Power Saving Mode (PSM)를 지원하는 IEEE 802.11 환경에서 ATIM 메시지를 통해 채널을 예약하고, 예약된 채널을 통해 데이터를 전송한다. 그러나 동시에 이용 가능한 채널의 개수가 한정되어 있기 때문에, 데이터 트래픽이 증가할수록 여러 개의 노드가 같은 채널을 예약할 확률이 높아진다. 따라서 Medium을 확보하기 위한 경쟁이 불가피하기 때문에, 이는 멀티채널 활용의 효율을 저하하는 원인이 된다.

본 논문에서는 이러한 MMAC의 문제점을 해결하기 위해 슬롯방식을 이용한 멀티채널 MAC 프로토콜(Slotted MMAC)을 제안한다. Slotted MMAC에서는 각 채널의 데이터 전송 시간을 슬롯 단위로 분할하여 각 노드들은 자신에게 할당된 타임 슬롯 동안 데이터를 전송한다. 한 노드가 어떤 채널과 타임 슬롯들을 예약한다면 다른 노드는 그 채널에 속한 해당 타임 슬롯들을 사용하지 않게 되므로 노드간 경쟁이 발생하지 않는다. 그러므로 노드들간의 충돌을 발생시키지 않고 네트워크의 throughput을 증가시킬 수 있다.

2. 관련연구

[그림1]은 MMAC의 기본적인 동작 과정과 문제점을 보여 준다. ATIM 윈도우 기간 동안 모든 노드들은 Default 채널을 사용하여 ATIM 메시지와 ATIM-ACK, ATIM-RES 메시지를 교환하며, 이러한 메시지 교환을 통하여 ATIM 윈도우 기간 이후에 사용할 채널을 선택한다. ATIM 윈도우 기간이 끝나고 각 노드들이 선택된 채널을 통해 곧바로 데이터를 전송할 경우 다른 노드와의 충돌이 발생할 수 있으므로, 백오프(backoff) 알고리즘을 사용하여 충돌을 피한다. MMAC은 이러한 백오프 시간 이외에도 허든 터미널 문제(Hidden Terminal Problem)를

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업의 연구 결과로 수행되었음.

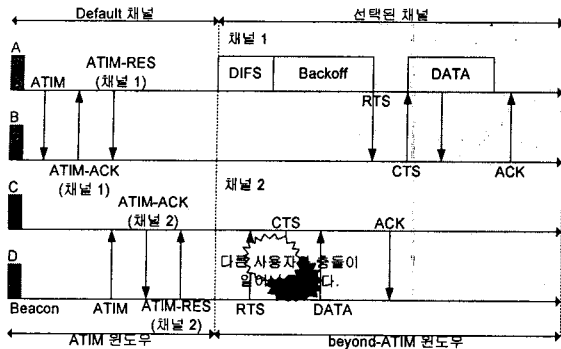


그림 1. MMAC의 동작과 문제점

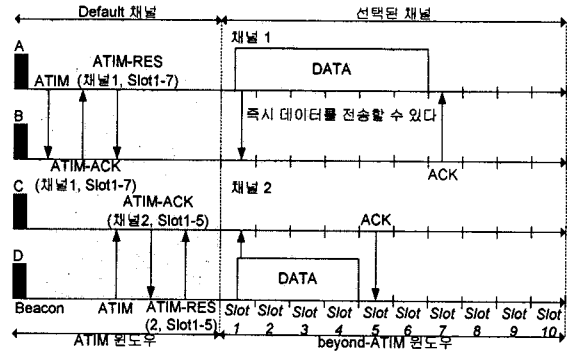


그림 2. Slotted MMAC의 동작

해결하기 위해 RTS와 CTS를 사용한다. 백오프 시간 및 RTS/CTS를 사용한 충돌 회피 기법은 데이터 트래픽이 증가하는 경우 노드간 경쟁이 극심해짐에 따라 매우 큰 오버헤드로 작용할 수 있다.

본 논문에서는 슬롯기반의 예약 기법을 사용하여 이러한 백오프 시간 및 RTS/CTS 교환으로 인한 오버헤드를 제거하고 데이터를 곧바로 전송하여 네트워크의 throughput을 향상시키고자 한다.

3. 슬롯 방식을 이용한 멀티채널 MAC 프로토콜 (Slotted MMAC)

Slotted MMAC은 ATIM 윈도우 기간 동안 ATIM 메시지와 ATIM-ACK, ATIM-RES 메시지를 교환하여 통신할 채널과 시간을 결정한다. 제안 기법의 세부 동작은 다음과 같다.

각 노드는 다른 노드의 통신 채널과 시간이 같다면 충돌이 일어나기 때문에 Slotted MMAC을 사용하는 노드는 데이터를 전송하기 전에 서로가 사용하는 채널과 타임슬롯을 알아야 한다. 따라서 Slotted MMAC은 MMAC과 마찬가지로 ATIM 윈도우 기간 동안 이러한 정보들을 교환하며, 각 노드는 자신의 통신 채널과 타임슬롯 정보를 저장할 2차원 배열의 테이블을 유지한다. 이 테이블을 통신 슬롯 테이블(Communication Slot Table)이라고 부르며, 한 Beacon 시간이 끝나면 새로운 통신 정보를 저장해야 하기 때문에 테이블은 초기화된다.

노드들은 ATIM 윈도우 기간 동안 이러한 테이블을 포함한 메시지를 교환함으로써 전송 채널과 타임슬롯을 결정한다. 우선 보낼 데이터가 있는 노드는 데이터의 전송시간 및 ACK의 전송시간, 두 개의 SIFS (Short Inter-Frame Spacing)을 합쳐 총 통신시간을 계산한 뒤, 이 시간보다 큰 최소의 타임슬롯 개수와 자신의 통신슬롯테이블을 ATIM 메시지에 담아 상대노드에게 전송한다. ATIM 메시지를 받은 상대노드는 자신의 통신슬롯테이블과 ATIM 메시지 내의 통신슬롯테이블에서 연속적으로 사용되지 않은 타임슬롯을 골라 통신할 채널과 타임슬롯을 선택한 후, ATIM-ACK 메시지를 이용하여 선택된 채널과 타임슬롯을 전송한다. ATIM-ACK 메시지를 받은 노드들은 두 노드의 통신을 방해하지 않기 위해 자신의 통신슬롯테이블에 ATIM-ACK 메시지에 포함된 채널과 타임슬롯을 기록한다. ATIM-ACK 메시지를 받은 노드는 선택된 채널과 타임슬롯을 ATIM-RES 메시지를 통하여 전송한다.

[그림2]는 ATIM 윈도우 기간을 이용하여 4개의 노드가 이러한 메시지를 교환하는 과정을 보여준다. 이 그림에서는

ATIM 윈도우 이후의 시간이 총 10개의 타임슬롯으로 분할되었고, 노드A는 데이터 전송을 위해 그 타임슬롯들 중 7개의 타임슬롯을 필요로 하며, 노드D는 5개의 타임슬롯을 필요로 한다고 가정하였다. ATIM 윈도우 기간 동안에는 서로간의 경쟁을 통하여 메시지를 전송하기 때문에 랜덤 백오프 시간을 짧게 잡은 노드A가 다른 노드들보다 먼저 ATIM 메시지를 전송할 것이다. 따라서 노드A는 데이터 전송을 위한 타임슬롯의 개수(7개)와 자신의 통신 슬롯 테이블을 ATIM 메시지에 담아 전송하게 되며 이 메시지를 수신한 노드B는 자신의 통신 슬롯 테이블과 수신된 ATIM 메시지의 통신 슬롯 테이블에서 연속적으로 사용하지 않은 7개의 타임슬롯을 찾는다(채널1의 타임슬롯1부터 타임슬롯7까지). 노드B는 이렇게 결정된 채널과 타임슬롯을 ATIM-ACK 메시지를 통해 노드A에게 알려주며 이 과정에서 두 노드의 주변노드들(노드C와 D)도 이 정보를 각자의 통신 슬롯 테이블에 기록한다. 이후 노드C와 노드D가 채널과 타임슬롯을 선택할 때 채널1에서는 10개의 타임슬롯 중 7개의 타임슬롯이 이미 되어 있으므로 통신에 필요한 5개의 타임슬롯을 예약할 수 없다. 따라서 채널2의 타임슬롯을 선택한다. 이와 같이 서로 간섭을 일으키지 않는 두 개의 채널을 사용하기 때문에 4개의 노드는 동시에 통신을 할 수 있게 된다.

메시지를 교환하는 두 노드가 통신을 하는 동안 다른 노드와의 충돌이 일어나도록 하지 않기 위해서는, 두 노드가 통신하는 채널과 타임슬롯을 모든 주변노드들에게 알려 주어, 주변 노드들이 두 노드가 통신하는 채널과 타임슬롯을 사용하지 못하도록 하여야 한다. ATIM-ACK 메시지와 ATIM-RES 메시지를 사용하여 이러한 역할을 수행할 수 있으며, 실제 데이터 전송 시 주변노드와 경쟁을 할 필요가 없게 되므로 백오프 오버헤드를 가지지 않는다.

[그림3(a)]는 노드A로부터 ATIM 메시지를 받은 노드B가 ATIM-ACK 메시지를 이용하여 주변노드들에게 결정된 채널과 타임슬롯을 알리는 모습을 보여준다. ATIM-ACK 메시지는 기존의 RTS/CTS 메시지가 NAV (Network Allocation Vector)을 설정하여 NAV 기간 동안 주변노드가 통신을 할 수 없도록 하는 것과 마찬가지로, ATIM-ACK 메시지를 수신한 노드들이 일정한 타임슬롯 동안 해당 채널로 통신을 할 수 없게 한다. 또한 [그림3(b)]에서는 ATIM-RES 메시지를 통하여 ATIM-ACK 메시지가 알릴 수 없는 영역에 통신 채널과 타임슬롯을 알릴 수 있으며, ATIM-ACK 메시지와 마찬가지로 RTS/CTS 메시지가 하는 역할을 대신 할 수 있다. 따라서 ATIM 윈도우 기간 이후 두 노드는 주변 노드에게 RTS/CTS 메시지를 전송할 필

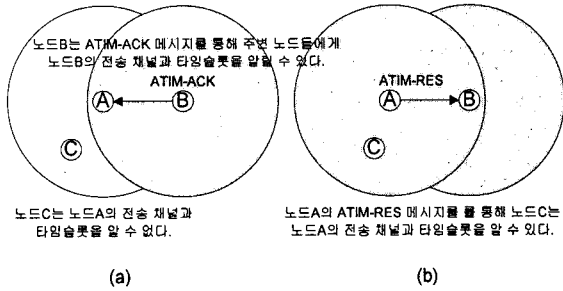


그림 3. (a)ATIM-ACK의 역할; (b)ATIM-RES의 역할

요가 없다.

Slotted MMAC은 위에서 언급한 바와 같이 백오프 시간을 기다리지 않고 RTS/CTS 제어 메시지를 교환하지 않기 때문에 자신에게 할당된 타임슬롯 동안 예약된 채널을 통하여 데이터를 즉시 전송할 수 있다.

4. 토의 및 향후 과제

싱글 인터페이스를 사용하는 네트워크 장비들은 자신의 인터페이스를 한 채널에서 다른 채널로 변경하는데 일정한 시간이 걸린다. 이러한 채널 변경 시간 (channel switching delay) 동안 송수신기는 어떠한 신호도 감지할 수 없기 때문에 채널을 바꾸는 동안 전송된 데이터는 올바르게 수신되지 않는다. 결국 데이터는 재전송되며 이것은 네트워크의 오버헤드를 초래할 수 있다. 따라서 채널 변경 시간 문제를 해결하기 위해서는 채널이 변경되는 타임슬롯 사이에 가드타임을 두는 기법을 사용할 수 있다. 하지만 가드타임이 길어질수록 데이터를 전송할 수 있는 시간이 줄어들게 되어 throughput이 감소할 수 있으므로 네트워크 장비의 채널변경시간을 고려하여 최소한의 가드타임을 두어야 한다.

본 논문에서 중요하게 다루어야 할 또 하나의 요소는 타임슬롯의 길이이다. 타임슬롯의 길이가 길어질수록 타임슬롯과 데이터 전송시간을 세밀하게 조절하지 못하게 되어 데이터의 전송이 완료된 후에 여분의 시간이 길어질 수 있다. 이는 노드의 데이터 전송이 끝났음에도 불구하고 Medium을 선점하고 있는 것이기 때문에, 그만큼 네트워크의 throughput을 감소시키게 된다. 이와 반대로 타임슬롯의 길이를 줄인다면 이러한 문제가 발생하는 것을 최소화시킬 수 있으나, ATIM 메시지 내 관리하는 타임슬롯의 개수가 늘어나게 되어 노드의 프로세싱 오버헤드를 증가시킬 수 있다. 따라서 효율성과 스케줄링의 오버헤드 사이에 균형을 맞출 수 있는, 적절한 타임슬롯의 길이를 찾는 것이 중요하다

또한 본 논문에서 제안한 알고리즘을 이용하여 전력의 소비를 최소화하는 데 기여할 수 있다. 모든 노드가 IEEE 802.11의 PSM을 이용하면 ATIM 윈도우 기간이 지난 후에 ATIM 메시지를 전송하지 않은 노드는 통신모듈을 끈 Doze 상태가 된다. 반대로 [그림4(a)]와 같이 보낼 데이터가 있는 노드는 한 Beacon 기간이 끝날 때까지 통신모듈을 켜 놓게 된다. 그러나 본 논문에서 제안하는 프로토콜을 이용하면 [그림4(b)]에서 보는 바와 같이, ATIM 윈도우 기간 이후에 사용하지 않는 타임슬롯 동안 sleep 모드로 전환할 수 있기 때문에 불필요한 에너지 소비를 막을 수 있다.

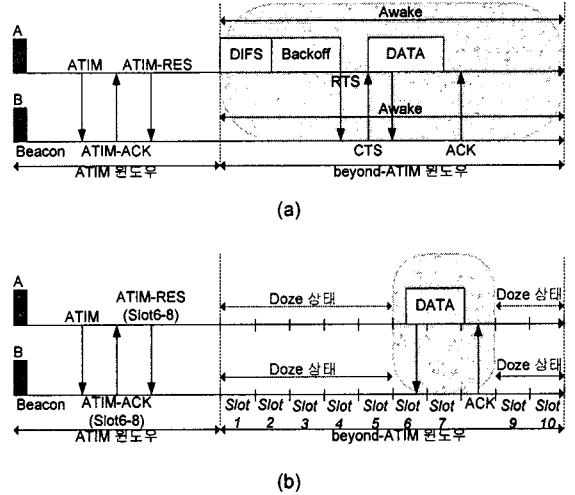


그림 4. (a) IEEE 802.11의 Power Saving Mode (PSM)

(b) 사용하지 않는 타임슬롯 동안 전원을 끄는 경우

5. 결론

기존의 MMAC에서는 ATIM 윈도우 기간이 끝난 후에도 모든 노드들이 자신에게 할당된 채널을 선정하기 위해 경쟁을 할 뿐만 아니라, 히든 터미널 문제를 해결하기 위해 RTS/CTS 메시지를 교환해야 한다. 본 논문에서 제안하는 Slotted MMAC은 ATIM 윈도우 기간 동안 두 노드가 통신할 채널과 타임슬롯을 함께 예약함으로써, 특정 시간 동안 특정 채널에 대한 배타적인 사용권을 보장받을 수 있다. 따라서 데이터 전송 시에 경쟁을 할 필요가 없기 때문에, 백오프 알고리즘과 RTS/CTS 메시지 교환으로 낭비되는 시간을 절약할 수 있다. 이러한 효율적인 멀티채널의 활용으로 Slotted MMAC은 네트워크 throughput을 더욱 향상시킬 수 있다. 향후 과제로써, 시뮬레이션을 통해 본 제안 기법의 성능을 검증할 것이다.

참고문헌

- [1] 802.11 Working Group, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications," 1997.
- [2] J. Monks, V. Bharghavan, W. Hwu, "A Power Controlled Multiple Access Protocol for Wireless Packet Networks," in IEEE INFOCOM, April 2001.
- [3] Y.-B. Ko, V. Shankarkumar and N.H. Vaidya, "Medium Access Protocols using Directional Antennas in Ad Hoc Networks," in IEEE INFOCOM, March 2000.
- [4] IEEE 802.11b Working Group, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications - High-speed Physical Layer in the 2.4 GHz band," 1999.
- [5] J. So, N. H. Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using A Single Transceiver," in ACM MOBIHOC, Tokyo, Japan, May 2004.