

이동 애드혹 망에서 QoS 지원을 위한 예약 방식의 MAC 프로토콜

임상택^o 조인취

한양대학교 정보통신대학원

limst^o@ihanyang.ac.kr, iwjoe@hanyang.ac.kr

MAC Protocol with Reservation for Supporting QoS in Mobile Ad-hoc Networks

Sangtaeg Lim^o Inwhee Joe

The Graduate School of Information and Communications, Hanyang University

요 약

본 논문에서는 이동 애드혹 망에서 멀티미디어 트래픽 처리를 위해 예약 방식의 매체 접근 제어(MAC) 프로토콜을 설계하고 그 성능을 평가하였다. 예약 방식의 MAC 프로토콜은 두 개의 부분 계층으로 이루어진 계층적 접근법을 기반으로 한다. MAC의 하위 부분 계층은 이동 애드혹 망에서 비동기 데이터 트래픽을 지원하기 위해 CSMA/CA를 사용하는 기본적인 접근 방법을 제공한다. 그 위에 상위 부분 계층은 실제 데이터 전송에 앞서 슬롯(slot) 예약을 수행함으로써 실시간 주기적 트래픽을 지원한다. 제안된 프로토콜은 소프트웨어 시뮬레이터를 사용하여 검증하였다. 시뮬레이션 수행 결과는 예약 방식의 MAC 프로토콜이 IEEE 802.11 표준과 비교하여 실시간 트래픽 전송에 더 적합함을 보여주었다.

1. 서 론

이동 애드혹 (mobile ad-hoc) 망 [1]은 기지국(Base Station) 또는 액세스 포인트(Access Point)와 같은 기간 통신구조물의 도움 없이 이동 노드들만으로 구성되어 상호 통신을 가능하게 하는 임시적인 망이다. 따라서 전장이 나 천재지변으로 인하여 기간 통신구조물이 파괴된 경우, 인구가 드문 지역, 탐색구조 활동, 임시적으로 구성되는 회의 등에서 이용할 수 있는 유일한 대안이라고 할 수 있다.

IEEE 802.11 작업 그룹은 이동 애드혹 망 뿐 아니라 무선랜(Wireless Local Area Networks)을 위한 국제 표준으로서 매체 접근 제어(Media Access Control) 프로토콜을 개발해왔다 [2]. 분산 조정 함수 DCF(Distributed Coordination Function)는 비동기 데이터 전송을 지원하기 위하여 임의의 접근 방법인 CSMA/CA를 이용하는 MAC 프로토콜의 하위 부분 계층이다. 임의의 접근 방법이 실시간 트래픽에는 부적합하기 때문에 이를 지원하기 위해 포인트 조정 함수 PCF(Point Coordination Function)라 불리는 중앙 집중화된 조정자, 즉 액세스 포인트에 의해 제어되는 폴링(polling) 기반의 스케줄링 기법이 DCF 위에서 사용된다.

그러나 이동 애드혹 망에는 액세스 포인트와 같은 인프라가 없고, 중앙 집중화된 조정자 또한 없기 때문에 PCF는 이동 애드혹 망에서 동작하지 않을 것이다. 또한 DCF만으로는 실시간 트래픽의 지연(delay) 요구 사항을 만족시킬 수 없다는 점에서 멀티미디어 트래픽을 지원하기에 충분하지 않다. 따라서 우리는 본 논문에서 비동기 데이터 트래픽과 실시간 데이터 트래픽 전송을 포함하는 멀티미디어 트래픽을 위한 새로운 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안된 프로토콜은 실시간 트래픽을 지원하기 위해 DCF 위에서 PCF를 사용하는 대신 예약 조정 함수

RCF(Reservation Coordination Function)를 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 예약 방식의 MAC 프로토콜을 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜의 성능을 평가하고 마지막으로 4장에서 결론을 맺는다.

2. 예약 방식 MAC 프로토콜

예약 방식의 MAC 프로토콜(예약 CSMA/CA)은 이동 애드혹 망에서 멀티미디어 데이터 전송을 지원하기 위하여 설계되어졌다. 예약 CSMA/CA는 그림 1과 같이 2개의 부분 계층으로 구성된 계층적 접근법을 기반으로 한다. IEEE 802.11 표준과 같이 하위 부분 계층은 DCF로 비동기 데이터 전송을 지원하기 위한 기본적인 접근 방법을 제공한다. RCF라 불리는 상위 부분 계층은 실제 데이터 전송에 앞서 슬롯 예약을 수행함으로써 실시간 주기적 트래픽을 지원하기 위해 DCF 위에 구현되어진다. DCF는 각각의 전송을 위하여 무선 채널 접근을 위해 경쟁하는 경쟁 방식으로 동작한다. IEEE 802.11 표준과 같은 DCF 기반이기 때문에 표준 무선랜의 물리 계층을 이용할 수 있고 이동 애드혹 망과 무선랜 망 사이에 MAC 계층에서 호환성을 제공

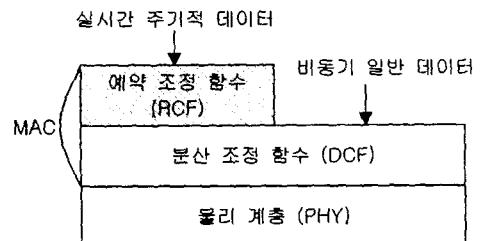


그림 1 예약 CSMA/CA 구조

할 수 있다.

RCF의 목적은 실시간 주기적 데이터 전송을 위해 슬롯 예약을 수행하는 것이다. 노드는 three-way handshake를 이용하여 동적으로 슬롯 예약을 수행한다. 예약이 성공적으로 이루어지면, 트래픽이 완료될 때 까지 어떠한 경쟁도 없이 프레임 주기(cycle)에서 동일한 슬롯을 계속 예약 사용한다. 트래픽 완료 후 예약된 슬롯은 자동으로 해제된다. 실시간 트래픽은 TDMA 방식과 유사하며, 비동기 트래픽은 CSMA/CA와 매우 유사하게 동작한다.

슬롯화된 시스템은 슬롯 동기 유지를 위한 기법을 필요로 한다. 이동 애드혹 망에서는 이동 통신의 기지국과 같은 중앙 집중화된 조정자가 없기 때문에 GPS(Global Positioning System)가 고려될 수 있다. 특히, 군용 GPS는 100 ns 보다 작은 시간 동기를 제공할 수 있다 [3]. 그림 2와 같이 각 프레임 주기는 두 기간(period), TDMA 기간과 경쟁 기간으로 구성된다. TDMA의 첫 번째 슬롯은 GPS를 위해 예약되어지고 나머지 슬롯은 실시간 트래픽을 위해 사용된다. 한편, 경쟁 기간은 무선 채널 접근을 위해 경쟁함으로써 DCF에서 비동기 트래픽을 지원하기 위해 또는 RCF에서 TDMA 슬롯을 예약하기 위해 사용된다.

802.11 표준과 같이, IFS(Inter-Frame Space)의 사용을 통하여 무선 채널에 대한 우선순위(priority) 접근을 조정한다. 예의 CSMA/CA에는 3개의 IFS 간격(interval)이 있다. 그것들은 SIFS(Shortest IFS), RIFS(RCF-IFS) 그리고 DIFS(DCF-IFS) 이다. SIFS가 가장 짧고 RIFS가 중간 길이, DIFS가 가장 길다. 따라서 RCF에서 슬롯 예약 시 사용하는 RIFS 간격이 DIFS보다 짧기 때문에 실시간 트래픽이 비동기 데이터 트래픽보다 높은 우선 순위를 갖는다.

RCF는 이동 애드혹 망에서 숨겨진 단말기(hidden terminal) 문제를 줄이기 위해, 슬롯 예약 시 three-way handshake를 기본으로 한다. RCF에는 IEEE 802.11의 DCF에서 사용하는 제어 프레임(RTS, CTS, ACK)에 추가로 슬롯 예약을 수행하기 위한 세 개의 제어 프레임을 사용한다. RFS(Request for Slot Reservation), RAC(Reservation Acknowledgment) 그리고 RAN(Reservation Announcement) 프레임이 그것들이다. 이동 노드가 실시간 트래픽(예를 들어, 음성 또는 영상)의 전송을 원할 때, 먼저 RFS 프레임을 전송하여 가능한 슬롯을 예약한다. 만약 RFS가 올바르게 수신되면, 수신자는 슬롯 테이블에서 가능한 슬롯을 검색하여 슬롯이 있다면 "예약됨(reserved)"으로 기록하고 RAC 프레임으로 응답한다. RAC 프레임은 이 트래픽을 위하여 예약된 슬롯 번호를 송신자에게 알린다. 이 과정에서 RAC 프레임은 수신자의 전송 범위에서 브로드캐스트 씴으로 수신자의 이웃 노드들은 각각 자신의 슬롯 테이블을 갱신한다. 송신자는 RAC 프레임이 수신 되면, 자신의 범위에 있는 이웃 노드들에게 슬롯 예약을 알리기 위하여 피기백(piggyback)방식

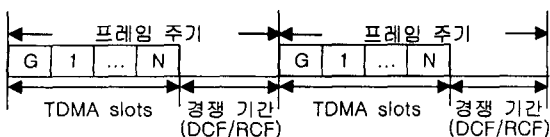


그림 3 예약 CSMA/CA의 프레임 주기 구조

2 bytes	2	6	6	4
Frame Control	Duration	RA	TA	FCS

a. RFS 프레임

2 bytes	2	6	6	4
Frame Control	Duration	RA	Slot Number	FCS

b. RAC 프레임

그림 2 RCF 프레임 형식(Format)

으로 RAN 프레임을 첫 번째 데이터 프레임과 함께 전송한다. RAN을 피기백 방식으로 전송하는 이유는 실시간 트래픽을 위해 시작 지연(delay)을 줄이고 대역폭 사용 효율을 높이기 위해서이다. 그림 3은 RCF에서 사용하는 제어 프레임의 형식을 보여준다. 그림 3에 나오지 않은 RAN 프레임은 데이터 프레임에 슬롯 번호 필드를 추가하여 만들었다.

각 노드의 슬롯 예약 테이블을 관리 할 때, 방향성을 주어 송신과 수신으로 구분함으로써 슬롯 사용을 더욱 효율적으로 할 수 있다. 이는 다음의 간단한 알고리즘으로 수행할 수 있다. index는 노드 자신의 주소를 가리킨다.

- RFS 수신
 - if (rfs_ra == index)
 - send_recv_table 둘 다 예약
 - rac 전송
- RAC 수신
 - if (rac_ra == index)
 - send_recv_table 둘 다 예약(send_table에서 빈 슬롯 검색)
 - else
 - send_table 예약(recv_table에서 빈 슬롯 검색)
- RAN 수신
 - send_recv_table 둘 다 예약

그림 4의 사례에서 노드 a와 d가 각각 노드 b와 c에게 실시간 데이터를 전송하려고 한다. 표 1과 2는 슬롯 예약 과정이 끝난 후, 테이블 관리에 방향성이 있을 경우와 없을 경우의 슬롯 예약 상황을 각각 보여준다.

표 1 송수신 구분 예약 테이블 표 2 예약 테이블

		send_			recv_		
슬롯	노드	1	2	3	1	2	3
		a	■			■	
b			■			■	
c							■
d					■		

슬롯	1	2	3
a	■		
b	■	■	
c	■		■
d	■		

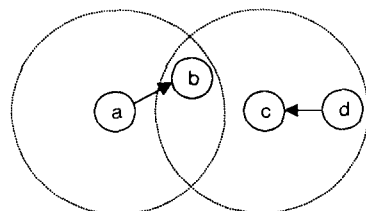


그림 4 슬롯 예약 방법 사례

3. 시뮬레이션

시뮬레이션 수행의 목적은 이동 애드혹 망에서 멀티미디어 데이터 전송을 위한 예약 CSMA/CA 프로토콜을 평가하는 것이다. 비동기 데이터 전송을 위한 DCF 성능 평가는 여러 논문에서 폭넓게 연구되었다 [4], [5]. 따라서 본 논문에서는 이동 애드혹 망에서 실시간 주기적 데이터 전송에 초점을 맞추었다.

시뮬레이션은 소프트웨어 시뮬레이터를 구현하여 수행하였고, 실시간 트래픽은 CBR(Constant-Bit-Rate) 트래픽을 사용하였다. CBR 패킷의 유료부하(payload)는 512bits 이다. 시뮬레이션 매개 변수는 표 3과 같다.

표 3 시뮬레이션 매개 변수(parameter) 값(value)

Parameter	Value
Frame cycle	20 ms
Channel bit rate	2 Mbps
SIFS	10 us
RIFS	30 us
DIFS	50 us
TDMA slot length	0.8 ms
Backoff slot length	20 us
Propagation delay	100 us

시뮬레이션의 결과는 그림 5와 6에서 나타난다. 그림 5 평균 지연을 보면, 시뮬레이션 초기에는 트래픽이 적으므로 IEEE 802.11 표준이 더 낮은 평균 지연 값을 가진다. 그러나 일정 트래픽(0.3) 이상의 부하(load)에서는 802.11은 평균 지연이 크게 상승하지만 예약 CSMA/CA는 상승폭이 매우 작음을 알 수 있다. 이는 예약 CSMA/CA의 경우 일정한 프레임 주기를 가지고 있으므로 트래픽의 거의 없을 때에도 일정한 지연을 가지지만 트래픽이 많을 때에도 영향을 크게 받지 않는다는 것을 보여준다. 그림 6 처리율을 보면, 부하가 높아질수록 예약 CSMA/CA가 IEEE 802.11 표준보다 더 높은 처리율을 가진다. 이것은 일단 슬롯 예약이 완료된 후에는 경쟁에 의한 대역폭의 낭비가 없기 때문에 예약 CSMA/CA가 더 높은 처리율을 가진다는 것을 보여준다.

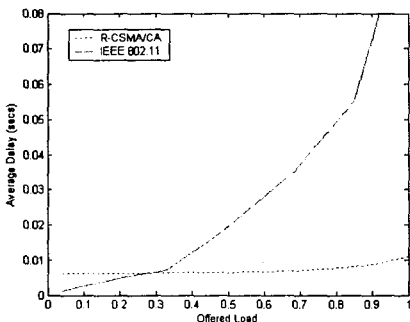


그림 5 평균 지연(delay)

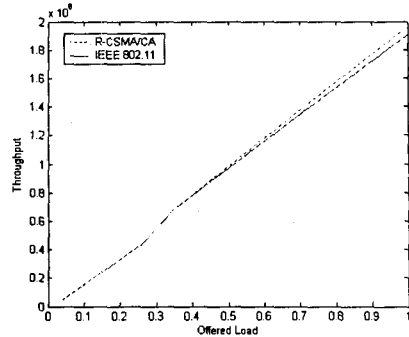


그림 6 처리율(Throughput)

4. 결론

본 논문에서는 이동 애드혹 망에서 멀티미디어 데이터 전송을 지원하기 위한 새로운 MAC 프로토콜인 예약 CSMA/CA를 설계하고 그 성능에 대하여 논하였다. 제안한 프로토콜의 주요 개념은 실시간 트래픽 전송을 지원하기 위하여 근본적인 접근 방법인 CSMA/CA 위에 예약 기법을 구현하는 것이다. 슬롯 예약은 송신자와 수신자 간에 제어 패킷을 three-way handshake으로 교환함으로써 이루어진다. 또한 타임 슬롯의 효율성을 높이기 위하여 송신과 수신으로 나누어서 예약한다. 만일 토폴로지의 변화가 심하면, 예약 조정 함수는 종료되고 오직 경쟁방식인 CSMA/CA 만으로 동작한다. 시뮬레이션은 소프트웨어 시뮬레이터를 구현하여 수행하였고, 그 결과는 실시간 주기적 데이터 전송을 위해 IEEE 802.11 표준과 비교하여 예약 CSMA/CA가 결정적(deterministic) 지연이 제공되는 한 더 높은 처리율(throughput)을 제공한다는 사실을 보여주었다.

참고문헌

- [1] Internet Engineering Task Force (IETF) Mobile Ad-Hoc Networks (MANET) Working Group Charter, <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>
- [2] IEEE 802.11, "Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and physical Layer (PHY) Specifications" Standard 802.11, 1999
- [3] C. Zhu and M.S. Corson, "A Five-Phase Reservation Protocol(FPRP) for Mobile Ad-hoc Networks", Proceedings of IEEE INFOCOM '98, March 1998.
- [4] H.S. Chhaya and S. Gupta, "Performance of Asynchronous Data Transfer Methods of IEEE 802.11 MAC Protocol", IEEE Personal Communications Magazine, pp. 8-15, October 1996
- [5] B.P. Crow et al., "IEEE 802.11 Wireless Local Area Networks", IEEE Communications magazine, pp. 116-126, September 1997