

DS-CDMA 시스템에서 예약 기반 매체접근제어의 성능 분석†

°이 상 민*, 반 태 원*, 조 유 제*, 송 재 섭**, 정 재 민**
*경북대학교 전자전기공학부, **한국통신 가입자망연구소

Performance Analysis of Reservation-Based Medium Access Control in the DS-CDMA System

°Sang-Min Lee*, Tae-Won Ban*, You-Ze Cho*, Jae-Sup Song**, and Je-Min Chung**
*School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University,
**Network Access Laboratory, Korea Telecom

요 약

본 논문에서는 DS-CDMA 시스템에서 예약 기반 MAC 프로토콜의 성능을 분석한다. 본 논문에서 고려하고 있는 예약 기반 MAC 프로토콜은 NAK 방식과 Request 큐잉 방식이다. NAK 방식은 예약 요구를 수락할 수 없는 경우에 NAK를 전송하여 전송 불가를 통지하는 방식이며, Request 큐잉 방식은 예약 요구를 수락할 수 없을 경우에 기지국에 예약 요구 패킷을 저장하는 방식이다. 그리고 이러한 두 방식에 채널 유지 기능을 추가한 방식을 함께 고려한다.

각 방식에서 패킷의 길이를 변화시키면서 수율과 평균 전달 지연 시간을 비교하였다. 성능 분석 결과 패킷의 길이가 짧은 경우에는 예약 방식의 성능이 매우 낮으며, 패킷의 길이가 길어지면 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 그리고, 채널 유지 기능을 추가함으로써 전반적인 성능이 향상되며, 채널 유지 방식에서는 패킷간의 도착 시간, 예약 과정의 지연 시간 등을 고려해서 최적의 채널 유지 시간을 설정해야 함을 알 수 있다.

1. 서론

IMT-2000 (International Mobile Telecommunications-2000)은 동일한 단말기를 이용하여 세계 어느 곳에서도 다양한 종류의 멀티미디어 서비스를 이용할 수 있도록 하는 차세대 이동통신 시스템이다. 멀티미디어 트래픽과 같은 다양한 종류의 트래픽을 수용하기 위해서는 회선 모드로는 효율적인 서비스가 불가능하며, 패킷 모드 서비스를 이용하는 것이 바람직하다. 이러한 패킷 모드 서비스에서는 상향 링크의 채널을 효율적으로 사용하기 위한 MAC 프로토콜이 매우 중요하다. 그리고, MAC 프로토콜은 기본이 되는 다중 접속 방식에 의해서 영향을 받게 되는데, 브라질에서 개최된 최근의 ITU 회의에서는 모든 다중 접속 방식을 표준에 포함시키는 방향으로 의견이 모아졌다 [1]. 그러나 현재까지 가장 대표적인 다중 접속 방식은 광대역 CDMA 이다.

IMT-2000을 위한 각국의 제안서로서 가장 대표적인 방식중의 하나는 UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access)이며, UTRA의 FDD (Frequency Division Duplex) 모드에서는 다중 접속 방식으로 비동기 광대역 CDMA를 사용한다 [2]. 현재는 3GPP (3rd Generation Partnership Project)를 구성하여 UTRA의 표준화를 위해서 활발히 연구를 진행하고 있다 [3].

일반적으로 CDMA 기반 MAC 프로토콜은 공유 채널 방식과 전용 채널 방식으로 구분된다 [2]. 공유 채널에서는 공용의 코드를 이용하기 때문에 동일한 코드를 이용하여 데이터를 전송할 경우에 발생하는 코드 충돌에 의해서 프로토콜의 성능이 좌우된다. 전용 채널에서는 자신에서 주어진 확산 코드를 이용하여 데이터를 전송한다. 예약 방식으로 데이터를 전송하여 다중 접속에 의한 패킷 에러에 의해서 성능이 영향을 받는다. 따라서 본 논문에서는 UTRA의 무선 채널을 바탕으로 전용 채널을 위한 예약 기반 MAC 프로토콜의 성능을 분석하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론인 1장에 이어서, 2장에서는 본 논문에서 고려하고 있는 패킷 구조 및 전송 방식을 설명한다. 그리고, 3장에서는 예약 기반 MAC 프로토콜에 대하여 고찰하고 논문에서 고려하고 있는 방식들에 대하여 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 모델 및 시뮬레이션 결과를 분석한다. 마지막으로

로 5장에서 결론을 맺도록 하겠다.

2. 패킷의 구조 및 전송 방식

본 논문에서 고려하고 있는 패킷 구조 및 전송 방식은 UTRA의 패킷 구조 및 전송 방식을 사용하였다 [2],[4],[5].

먼저 L2 PDU를 분리하여 MAC 계층의 데이터 블록을 생성하는 과정을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 알 수 있듯이 실제 전송의 단위가 되는 MAC 계층의 데이터 블록은 L2 PDU를 고정된 길이로 분리하여, 헤더와 CRC를 부착하여 생성한다. 그리고, 본 논문에서는 L2 PDU를 간단하게 패킷이라고 부르기로 한다.

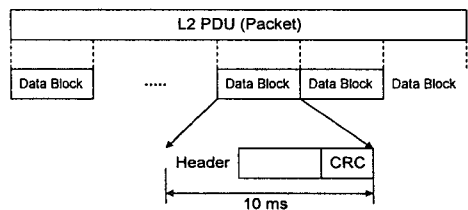


그림 1. L2 PDU의 분리 및 전송

데이터 블록은 10 ms 길이의 1 슬롯 시간 동안 전송이 이루어진다. 1 슬롯 시간은 8개의 액세스 슬롯으로 구분되는데, 액세스 슬롯에 동기를 맞춰서 데이터 블록의 전송이 시작될 수 있다.

3. 예약 기반 MAC 프로토콜

CDMA 기반 MAC 프로토콜은 일반적으로 공유 채널에서는 랜덤 액세스 방식으로 데이터를 전송하고, 전용 채널에서는 예약 방식으로 데이터를 전송하도록 한다 [2].

랜덤 액세스 방식은 예약 과정이 필요없기 때문에 신속하게 데이터를 전송할 수 있다. 그러나, 전송중에 코드 충돌로 인한 오류가 발생할 수 있고, 블록 에러 확률이 높기 때문에 신뢰성 있는 데이터 전송을 보장하지 못하는 단점이 있다. 따라서 발생 빈도가 낮거나 전송할 패킷의 길이가 길지 않은 경우에 사용하는 것

† 본 논문은 한국통신 '99 정보통신기초연구과제의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

이 일반적이다. 반면에 예약 방식은 예약을 위한 오버헤드가 존재하는 대신에 예약이 이루어진 상태에서는 거의 예외 없이 데이터 전송이 가능하다. 발생 빈도가 높고 패킷의 길이가 긴 경우에 적합한 것으로 알려져 있다.

예약 방식은 데이터 전송을 원하는 단말이 예약 요구 패킷을 기지국에 전송하고 기지국에서는 각 단말의 예약 요구를 바탕으로 전송 허가 여부를 결정한다. 그리고, 전송을 허가받은 단말은 동일한 패킷 내의 데이터 블록을 연속적으로 전송할 수 있으며, 패킷의 전송이 완료된 이후에는 채널을 해제한다. 본 논문에서는 전송을 허가할 수 없는 경우의 처리 방식에 따라 예약 기반의 MAC 프로토콜을 NAK 방식과 Request 큐잉 방식으로 구분한다.

NAK 방식에서는 전송을 허가할 수 없으면 기지국이 단말에 NAK를 전송함으로써 전송 불가를 통지한다. 따라서 NAK를 수신한 단말은 예약 요구 패킷을 재전송해야 한다. 이 방식은 현재 할당중인 채널의 수와 수용 가능한 채널의 수를 비교하는 간단한 동작만으로 전송 허가 여부를 결정할 수 있으나, 자원 예약에 실패하면 전송 요구 패킷을 계속해서 재전송해야 하는 문제점이 있다. 반면에 Request 큐잉 방식은 전송을 허가할 수 없으면 예약 요구 패킷을 기지국의 버퍼에 저장하며, 잉여 채널이 발생하면 기지국이 전송 허가를 각 단말에 통지하는 방식이다 [6]. 예약이 실패한 경우에 전송 요구 패킷을 저장해야 하기 때문에 기지국에 이를 위한 버퍼가 있어야 하는 단점이 있다. 그러나, 잉여 채널이 존재할 경우에 신속하게 자원을 할당할 수 있는 장점이 있다.

예약 기반 방식은 일반적으로 자원 할당을 위한 오버헤드로 인해 성능의 저하가 발생할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 예약 기반 방식의 오버헤드를 줄이기 위해서 채널 유지 기능을 추가하였다. 예약 방식은 패킷 단위로 자원 할당이 이루어지기 때문에 패킷을 전송한 단말은 채널을 해제해서 새로운 패킷이 전송될 수 있도록 한다. 따라서 패킷의 길이가 짧으면 예약을 위한 오버헤드의 영향이 상당히 크게 된다. 반면에, 채널 유지 시간을 설정하면 하나의 패킷을 전송한 이후에도 바로 채널을 해제하지 않고 일정한 시간 동안 채널을 유지하게 된다. 그리고, 채널을 유지하고 있는 중에 새로운 패킷이 생성되면 예약 과정 없이 바로 패킷을 전송할 수 있기 때문에 예약 과정의 오버헤드를 줄일 수 있는 장점이 있다.

4. 시뮬레이션 모델 및 시뮬레이션 결과

본 장에서는 성능 분석을 위한 시뮬레이션 모델에 대하여 알아보고, 시뮬레이션 결과를 분석한다.

4.1 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 시뮬레이션을 위하여 60 개의 단말과 하나의 기지국으로 구성된 망 모델을 고려한다. 각 단말에서 패킷간의 도착 시간은 지수 분포를 따르며 패킷의 길이는 기하 분포를 따르는 것으로 가정하였다. 전용 채널의 개수는 8 개를 고려하였으며, 전용 채널에서 각 데이터 블록의 에러 확률은 0.5 %, 예약 과정의 지연 시간은 100 ms 로 가정하였다 [4]. 그리고 예약 과정에서 예약 요구 패킷은 오류 없이 전송이 되는 것으로 가정하였다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터의 값을 표 1 에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Number of Dedicated Channel	8
Reservation Delay	100 msec
Dedicate Channel Block Error Rate	0.5 %
Packet Interarrival Time	Exponential Distribution
Packet Duration	Geometric Distribution

그리고 성능 분석은 수율 및 지연 시간 관점에서 비교하며, 수율 및 평균 전달 지연 시간의 정의는 다음과 같다.

- 수율 : 슬롯당 평균적으로 전송된 데이터 블록의 수. 채널의 개수를 8 개로 가정하였기 때문에 최대 수율은 8 [blocks/slot]이다.

- 평균 전달 지연 시간 : 하나의 패킷이 생성되어 전송되기까지의 시간. 그러나, 패킷이 여러 데이터 블록으로 구성될 수 있기 때문에 서로 다른 길이를 갖는 패킷들의 전달 지연 시간을 공평하게 비교하기 위해서 패킷의 첫 번째 데이터 블록이 전송을 완료하는 시간을 패킷의 전송 완료 시간으로 간주한다.

4.2 NAK 방식과 Request 큐잉 방식의 성능 분석

먼저, 그림 2 는 예약 기반의 NAK 방식과 Request 큐잉 방식의 수율 및 전달 지연 시간을 나타낸 것이다. 결과를 통해서, 두 방식의 성능이 패킷의 길이와 밀접한 관련이 있음을 알 수 있다. 패킷 길이가 짧은 경우에는 실제 데이터 전송 시간보다 자원 예약 과정의 지연 시간이 길기 때문에 수율이 매우 낮고 지연 시간도 증가한다는 것을 알 수 있다. 예를 들어, 패킷이 1 개의 데이터 블록으로 구성된 경우에는 10 msec 동안의 데이터 전송을 위하여 최소한 100 msec 를 기다려야 하기 때문에 수율이 슬롯당 0.8 [blocks/slot] 이하로 낮아진다. 그러나 패킷의 길이가 길어지면 예약 기반 방식의 성능은 개선된다. 이것은 패킷의 길이가 길어지게 되면 동일한 예약 지연 이후에 전송 가능한 데이터 블록의 수가 증가하면서 예약 과정의 오버헤드가 상대적으로 줄어들기 때문이다. 이와 같은 결과를 바탕으로 일반적으로 알려진 것처럼 예약 방식은 패킷의 길이가 길고 트래픽의 부하가 높은 경우에 우수한 성능을 나타낸다는 것을 알 수 있다.

그리고, Request 큐잉 방식의 성능이 NAK 방식에 비해 성능이 우수하다는 것을 알 수 있다. 특히 평균 전달 지연 시간은 차이가 확연하게 나타난다. Request 큐잉 방식은 기지국의 버퍼에 전송을 원하는 단말의 정보를 저장해서 잉여 채널 정보를 신속하게 통지할 수 있기 때문에 NAK 방식에 비해서 성능이 우수하게 된다.

4.3 예약 기반 방식에서 채널 유지 시간에 따른 성능 비교

그림 3 은 예약 방식에 채널 유지 기능을 추가한 경우의 수율 및 전달 지연 시간의 변화를 나타낸 것이다. 먼저, 성능 분석을 위하여 채널 유지 시간을 두 가지 방법으로 설정하였다.

- 방법 I : 패킷의 마지막 데이터 블록을 전송한 이후에 정해진 일정 시간동안 채널을 유지하는 방법
- 방법 II : 패킷 전송중에 새로운 패킷이 발생하면 계속해서 채널을 유지하는 방법

그림 3-(a)는 방법 I에서 채널 유지 시간을 10 msec 로 설정한 경우의 수율인데, 채널 유지 기능을 사용할 경우에는 패킷의 길이에 관계없이 수율이 크게 향상된다는 것을 알 수 있다. 채널 유지 기능을 사용하지 않으면 한 패킷의 전송을 완료한 이후에 채널을 해제함으로써 채널의 해제, 할당을 위한 오버헤드가 커서 수율의 크게 저하된다. 그러나 채널 유지 기능을 사용하면 채널을 유지하고 있는 상태에서는 자원의 예약 과정이 필요없기 때문에 수율이 매우 향상된다. 그리고 NAK 방식인지 Request 큐잉 방식 인지의 여부에 관계없이 수율이 거의 동일한 수준으로 나타난다는 것을 알 수 있다..

그림 3-(b)는 채널 유지 방식들의 평균 전달 지연 시간을 나타낸 것이다. 결과를 통해서 알 수 있듯이, 채널 유지 기능을 사용할 경우 그렇지 않은 방식들에 비해서 평균 패킷 전달 지연 특성도 향상되는 것을 알 수 있다. 그리고, 방법 II 가 채널 유지 시간을 10 msec 로 설정한 방법 I 에 비해서 지연 시간이 길게 나타나는 것을 알 수 있다. 이것은 주어진 환경에서는 패킷 사이의 도착 시간이 상대적으로 길어서 방법 II 의 효과가 크지 않기 때문이다.

따라서 채널 유지 기능을 사용할 경우에는 방법 I 을 사용할 것인지, 방법 II 를 사용할지의 여부와, 방법 I 을 사용할 경우 얼마의 시간을 설정할지 하는 것이 매우 중요하게 된다. 그림 4 는 방법 I 에서 채널 유지 시간의 변화에 따른 지연 시간의 변화를 나타낸 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 하나의 임계치를 경계로 특성이 달라지게 된다. 부하가 임계치 이하일 경우에는 채널 유지 시간이 길수록 평균 전달 지연 시간이 짧아지는 반면에 부하가 임계치 이상일 경우에는 채널 유지 시간이 짧을수록 평균 전달 지연 시간

이 짧아진다는 것을 알 수 있다.

부하가 임계치 이하일 경우에는 패킷 간의 도착 시간이 길어서 채널 유지 시간이 짧으면 채널 유지의 효과가 상대적으로 작게 나타나기 때문에 채널 유지 시간이 길수록 성능이 향상되는 것이다. 반대로 부하가 임계치 이상일 경우에는 패킷 간의 도착 시간이 상대적으로 짧기 때문에 채널 유지 시간을 길게 설정하는 것이 오히려 다른 단말의 전송을 방해하는 효과를 나타내게 된다.

따라서 최적의 채널 유지 시간을 설정하기 위해서는 부하가 낮은 영역에서 방법 1을 사용하여 채널 유지 시간 길게 설정했다가 부하가 증가하면 차츰 줄여나가야 할 것이다. 그리고, 부하가 어떤 영역 이상으로 증가할 경우에는 방법 II가 가장 우수한 성능을 나타내게 된다.

이때 부하의 임계치는 예약 기반 방식의 채널 예약 방식 및 채널 예약을 위한 지연 시간, 평균 패킷 길이 등에 영향을 받게 된다. 그림 4의 (a)와 (b)를 비교하면 패킷 길이가 길어지면 부하의 임계치가 증가한다는 것을 알 수 있다. 그리고 NAK 방식과 Request 큐잉 방식의 임계치 역시 다르다는 것을 알 수 있다. 또한, 채널 예약 지연 시간이 길 경우에 이 임계치가 상대적으로 낮아진다는 것을 알 수 있다. 위의 결과들을 종합하면, 부하의 임계치는 패킷 간의 도착 시간이 예약 지연의 1/2 정도일 경우 나타내며, 방식에 따라서 조금씩의 차이가 있다. 따라서 채널 유지 방식에서 채널 유지 시간을 설정하기 위해서는 예약 지연 시간과 패킷 간의 도착 시간을 비교하여 패킷의 도착 시간이 예약 지연 시간의 1/2에 비해서 큰 경우에는 저부하 상태이므로 채널 유지 시간을 다소 길게 설정하고, 그렇지 않으면 채널 유지 시간을 줄여야 한다는 것을 알 수 있다.

5. 결론

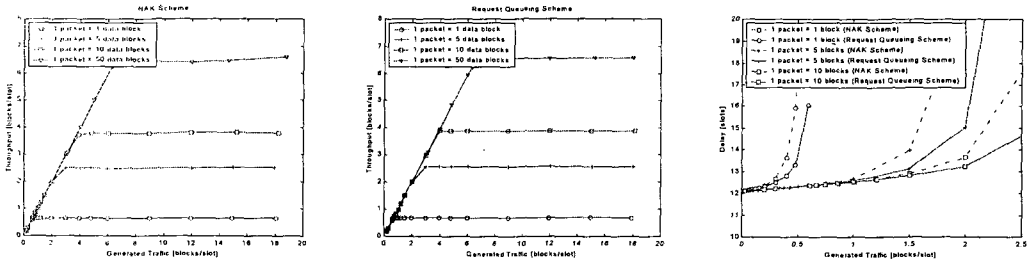
본 논문에서는 예약 기반 방식으로 NAK 방식과 Request 큐잉 방식 및 각 방식에 채널 유지 시간을 설정하여 성능을 분석하였다. 예약 방식은 패킷의 길이가 짧은 경우에 성능이 저하되지만 패킷 길이가 길어지면서 성능이 향상된다는 것을 알 수 있었다. 그리고, 채널 유지 시간을 설정할 경우에 성능이 전반적으로 그렇지 않은 방식에 비해서 우수하다. 또한 채널 유지 방식에서는 채널 유지 시간에 따라서 성능이 좌우됨을 알 수 있었다.

그리고 패킷 간의 도착 시간이 예약 지연 시간의 1/2이 되는 부하를 임계치로 해서 임계치 이하에서는 채널 유지 시간을 다소 길게 설정하는 것이 짧은 경우에 비해서 지연 시간을 줄일 수 있고, 임계치 이상에서는 가능한 채널 유지 시간을 짧게 설정함이 유리하다는 것을 알 수 있었다.

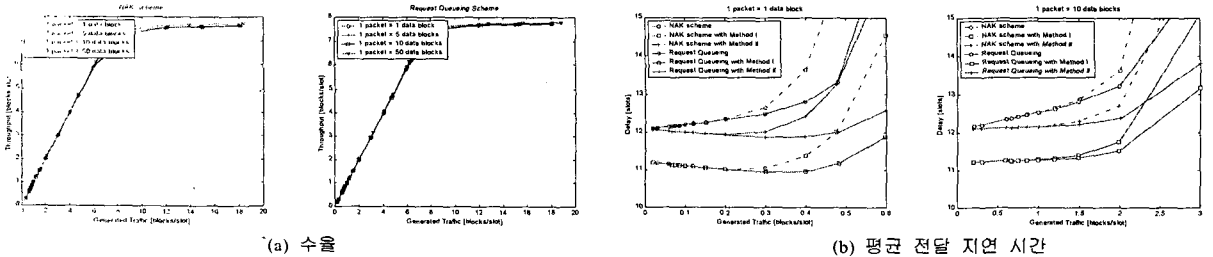
향후 여러 다양한 환경에서 최적의 채널 유지 시간을 설정할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요할 것이며, 채널 유지 시간의 변화에 따른 각 단말의 공평성에 관한 고찰도 필요할 것이다.

참고 문헌

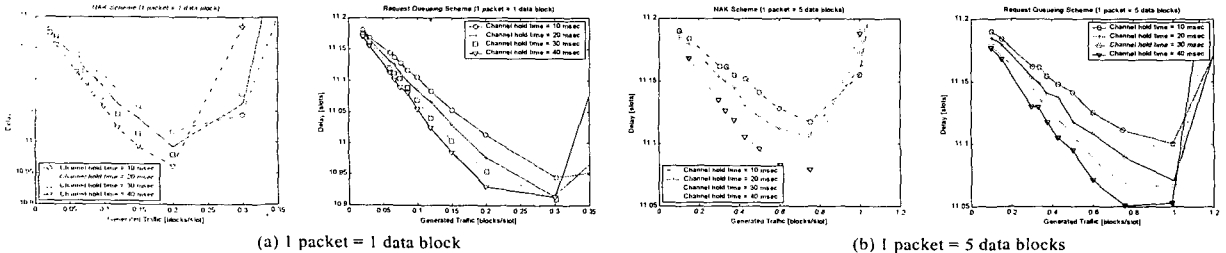
- [1] ITU Homepage, <http://www.itu.int/>.
- [2] ETSI, *The ETSI UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA) ITU-R RTT Candidate Submission*, June 1998.
- [3] 3GPP S2.21 v0.0.1, *MAC Protocol Specification*, Jan. 1999.
- [4] F. Khan and C. Roobol, "Performance of Dual Mode Packet Access in DS-CDMA Systems," in *Proc. of MMT'98*, 1998.
- [5] C. Roobol, P. Beming, J. Lundstjo, and M. Johansson, "A Proposal for an RLC/MAC Protocols for Wideband CDMA Capable of Handling Real Time and Non Real Time Services," in *Proc. of VTC'98*, 1998.
- [6] M. Ali Arad and A. Leon-Garcia, "A Generalized Processor Sharing Approach to Time Scheduling in Hybrid CDMA/TDMA," in *Proc. of INFOCOM '98*, 1998.



(a) 수율
그림 2. NAK 방식과 Request 큐잉 방식의 성능 비교



(a) 수율
그림 3. 채널 유지 방식의 수율 및 평균 전달 지연 시간의 변화



(a) 1 packet = 1 data block
그림 4. 채널 유지 시간이 변화에 따른 지연 시간 변화