

광대역 무선망에서 동적경계 기반의 충돌 해소 알고리즘

*안계현, *박병주, **백승권, *김영천
*전북대학교 컴퓨터공학과
**한국전자통신연구원

Adaptive Collision Resolution Algorithm based on Dynamic Boundaries in Broadband Wireless Networks

*K.II.Ahn. *B.J.Bark. **S.K. Baik and *Y.C. Kim
*Dept. of Computer Engineering Chonbuk National Univ.
**Electronics and Telecommunications Research Institute
yckim@moak.chonbuk.ac.kr

요 약

동적 예약 기반의 MAC 프로토콜을 사용하는 광대역 무선망에서 지연에 관한 QoS에 영향을 미치는 가장 중요한 요소는 상향 채널의 데이터 전송을 예약하기 위한 임의의 접속방식을 갖는 예약 요청 슬롯의 성공률 및 공정성 제어이다. 본 논문에서는 Slotted ALOHA 기반의 임의의 접속 방식에서 충돌을 격지 않은 새로운 사용자와 이전 프레임에서 충돌을 경험한 사용자가 액세스하는 경쟁 구간을 분할함으로써 충돌을 해소하는 충돌 해소 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 과거에 경험한 충돌의 수와 트래픽 부하를 고려하여 재 시도를 위한 구간을 동적으로 설정함으로써 충돌 지연을 경험한 사용자에게 전송 성공의 기회를 증대시킬 수 있으며 이에 따라 임의의 접속방식에서의 경쟁지연을 감소시킬 수 있다. 성능평가를 위해 시뮬레이션을 실시하였으며, 동적 경계 기반 충돌 해소 알고리즘은 충돌 지연을 고려하지 않는 알고리즘과 재 전송을 위해 일정한 대역폭을 고정적으로 할당하는 알고리즘보다 상대적으로 낮은 지연과 높은 성공률을 나타내었다.

1. 서 론

차세대 광대역 무선망은 무선 단말에게 유선망과 투명성 있는 멀티미디어서비스를 제공할 수 있어야 한다. ETSI BRAN HIPERLAN/2와 DAVIC LMDS 시스템 등 제안된 대부분의 광대역 무선망은 예약 기반의 TDMA MAC 프로토콜을 채택하고 있다[1-5]. 이러한 MAC 프로토콜은 중앙 스케줄링에서 각 단말기의 전송 요구와 우선순위를 고려하여 자원을 할당하며 각 사용자는 데이터 전송을 위한 슬롯을 예약하기 위하여 상향 채널의 예약 요청 슬롯을 경쟁 방식으로 액세스한다. 이때 경쟁 방식의 예약 요청은 기본적으로 충돌이 발생할 수 있다. 특히 서비스 영역 내에 가입자 요구가 많아질수록 상향 프레임 내의 예약 요청 슬롯에서의 충돌이 빈번하게 발생되며, 이러한 랜덤 액세스 절차로 인한 충돌은 결국은 서비스 지연 및 내역의 낭비를 초래하게 된다. 따라서 모든 패킷들이 비록 지연을 겪지만 일정시간 뒤에는 패킷이 성공적으로 전송될 수 있도록 하는 충돌 해소 알고리즘 (CRA: Collision Resolution Algorithm)이 필요하다.[6,8]

이에 따라 본 논문에서는 단일 프레임 내에 예약 요청 슬롯의 수가 일정하고 불특정 다수의 단말로부터 공유되는 상향 채널에서 충돌이 발생한 사용자에게 전송 성공의 기회를 증가시킴으로서 충돌을 해결하는 동적 경제기반의 충돌 해소 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 경쟁 구간으로 할당된 전체 슬롯을 처음 시도하는 사용자들이 액세스하는 구간과 충돌이 발생하여 재시도하는 사용자들이 액세스하는 구간으로 분할한다. 또한 경험한 충돌지연을 고려하여 다른 우선순위, 별도의 구간을 할당하며, 각 구간의 경계는 이전 프레임의 전송 결과와 트래픽 발생상황에 따라 동적으로 설정한다. 충돌을 겪지 않은 새로운 사용자보다 우선하여 충돌을 경험한 사용자의 전송 성공의 기회를 부여함으로써 공정성을 부여하면서 임의 접속방식에서의 경쟁 지연을 감소시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 다음 장에서는 예약 기반의 TDMA MAC 프로토콜이 갖는 상향 프레임 구조를 살펴본다. 3장에서는 제안한 동적 경제기반의 충돌 해소 알고리즘을 기술하였으며, 4장에서는 시뮬레이션 결과를 도시하고 제안한 알고리즘과 다른 알고리즘과의 성능을 비교하고 분석한다. 마지막으로 3장에서 결론을 맺는다.

2. 예약기반의 TDMA MAC 프로토콜

예약기반 MAC 프로토콜을 사용하는 대부분의 무선망 시스템에서 상향 프레임의 구조는 그림1과 같다. 단일의 프레임은 다수개의 타임 슬롯으로 구성되며 경쟁을 기반으로 예약 요청 메시지를 전송하는 경쟁구간과 예약을 통해 경쟁 없이 데이터를 전송하는 데이터 전송구간으로 나누어진다. 특히 경쟁구간의 슬롯들은 충돌로 인한 대역의 낭비를 줄이기 위하여 미니슬롯으로 분할한다.

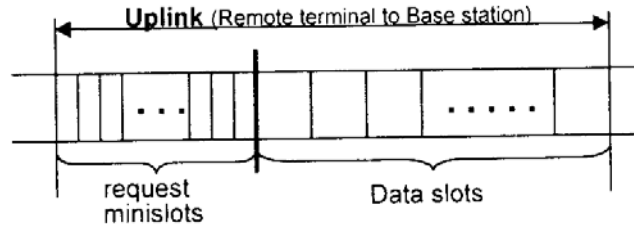


그림 1 상향 프레임 구조

데이터를 전송하고자 하는 다수의 단말기는 상향 링크의 경쟁구간을 액세스하여 데이터 슬롯 할당요구를 기지국에 보낸다. 이때 상향 링크의 경쟁구간의 슬롯은 데이터 슬롯 할당 요청 및 무선 제어 패킷 등을 기지국으로 전송하기 위해 다수의 단말기에 공유되며 Slotted ALOHA를 이용하여 경쟁한다. 경쟁에서 성공한 예약 요청 메시지는 기지국에 전송되며 중앙 스케줄러는 서비스의 QoS를 고려하여 데이터 슬롯의 할당 요구에 대한 수락 및 거절 여부를 결정하고, 하향링크의 제어슬롯을 통하여 각 단말기에 스케줄링 정보를 통보한다. 반면 예약 요청 슬롯 액세스에 실패한 사용자는 다음 프레임의 경쟁 구간을 이용하여 다시 예약 요청 메시지를 전송한다. 이러한 랜덤 액세스 절차로 인한 충돌은 결국은 서비스 지연 및 대역의 낭비를 초래하게 된다. 따라서 모든 패킷들이 비록 지연을 겪지만 일정시간 뒤에는 패킷이 성공적으로 전송될 수 있도록 하는 충돌 해소 알고리즘이 요구된다.

본 논문에서는 단일 경쟁 구간을 다수개의 경쟁 구간으로 분할하여 단말이 경험한 충돌 지연에 따라 각기 다른 경쟁구간을 할당함으로써 충돌 지연이 큰 단말에게 전송 성공의 확률을 증대시키는 충돌 해소 알고리즘을 제안한다. 경쟁 구간과 데이터 전송구간의 경계는 트래픽 상황에 따라 달라질 수 있으나 본 논문에서는 전체 경쟁 구간의 슬롯 수는 고정되어 있다고 가정한다.

3. 동적 경계 기반의 충돌 해소 알고리즘

본 논문에서 제안한 동적 경계 기반의 충돌 해소 알고리즘은 충돌이 발생한 사용자에게 전송성공의 기회를 증가시키기 위하여 경쟁구간의 슬롯들을 처음 시도하는 사용자들이 액세스하는 구간과 충돌이 발생하여 재시도 하는 사용자들이 액세스하는 구간으로 분할하는 방식이다. 또한 거듭하여 충돌이 발생할 수 있으므로 사용자가 경험한 충돌의 횟수에 따라서도 다른 우선순위를 부여한다.

이때 전체 경쟁구간을 분할하는 경계는 이전 프레임에서의 경쟁구간 액세스결과와 상향 채널의 트래픽 발생상황에 따라 동적으로 움직이도록 설정한다.

3.1 충돌에 따른 경쟁 구간 분할

그림 2는 동적 경계 기반의 충돌 해소 알고리즘의 기본 동작을 설명하고 있다. 그림에서 p_x 는 이전 프레임들로부터 경쟁구간에서 x 번의 충돌을 경험한 사용자들에게 액세스 권한을 부여한 경쟁 구간을 의미한다. 먼저 그림 2(a)는 초기화된 프레임 구조로서 이전 프레임에서 충돌을 경험한 사용자가 없는 경우에 경쟁구간의 모든 슬롯을 모든 사용자에게 허용하는 형태이다. 즉, p_0 구간은 처음으로 전송을 시도하는 예약 요청 패킷이 액세스하는 구간이다. 그림 2(b)는 이전 프레임 (그림2(a))의 p_0 경쟁구간에서 발생한 충돌로 인하여 현재 프레임에서 재 시도를 위해 p_1 경쟁구간이 할당된 구조를 나타낸다. 그림 2(b)에서 p_0 는 전체 경쟁구간에서 p_1 을 할당하고 남은 영역으로 결정된다. 만약 p_1 구간에서 충돌이 발생한다면 이는 다음 프레임에서 p_2 영역을 생성하게 되며 그림 2(c)와 같은 구조로 나타날 수 있다. 분할된 경쟁구간의 경계는 하향 채널을 통하여 기지국이 모든 단말에게 방송(Broadcast)하며 단말기는 자신이 요청한 제어 패킷의 시도, 성공, 충돌 여부에 따라 해당하는 구간 내의 예약 요청 슬롯을 액세스 한다.

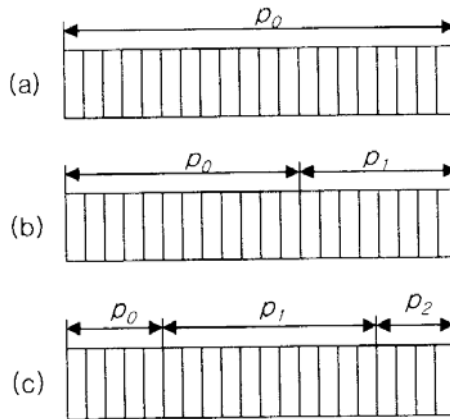


그림 2 동적 경계 구간 분할

제안한 알고리즘에서 이전 프레임의 p_x 경쟁구간에서 발생한 충돌은 다음 프레임에서 p_{x-1} 경쟁구간을 생성하며, 이때 p_{x-1} 경쟁구간에 해당하는 슬롯의 개수는 p_x 에서 발생한 충돌 슬롯개수의 Θ ($\Theta \geq 1$) 배로 결정한다. 따라서 충돌이 발생한 슬롯 수에 따라 경쟁 구간의 경계는 동적으로 변한다.

3.2 경계 설정을 위한 Θ 값 결정

Θ 는 재시도하는 패킷들의 전송 성공확률에 영향을 미치는 파라미터이다. Θ 값을 증가시키면 따라 재 시도하는 예약 요청 패킷에 대한 전송 성공의 기회도 증가한다. 그러나 여분의 슬롯이 다수 개 제공되므로 전체 경쟁 구간에 대한 처리 율은 낮아질 수 있다. 특히 높은 우선순위를 갖는 경쟁 구간에서 많은 수의 슬롯을 점유함으로써 상대적으로 낮은 우선순위의 사용자들에게는 적은 수의 슬롯이 할당되고 경쟁 구간의 성공률이 매우 낮아지게 된다.

또한 낮은 우선순위의 경쟁구간에서 추가적인 충돌의 수를 크게 증가시키게 된다. 반면 낮은 θ 값은 재 시도하는 사용자의 성공률을 높게 증가시키지 못하므로 충돌지연의 효과적인 감소를 기대하지 못할 수 있다. 즉, θ 의 값은 경쟁 구간의 성공률뿐만 아니라 상향 채널의 전체 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

θ 의 값을 결정하는 방법으로 다음 두 가지 방법이 가능하다. 먼저 첫 번째 방법은 충돌 지연이 증가하더라도 경쟁 구간의 너비는 충돌이 발생한 슬롯 수의 일정한 배수로서 결정하는 방법이다. 다시 말하면 x 값에 상관없이 p_{x+1} 구간은 이전 프레임의 p_x 에서 발생한 충돌 슬롯 수의 θ 배로 결정한다. 제안한 알고리즘은 충돌 지연이 같은 사용자 그룹 내에서만 경쟁한다. 따라서 충돌을 경험한 횟수가 증가함에 따라 함께 경쟁하는 사용자의 수는 감소하게 되며 이는 고정된 θ 값을 사용하여 경쟁 구간을 증가시킨다 하더라도 보다 높은 우선순위를 부여하는 효과를 기대할 수 있다. 두 번째 방법으로는 충돌 지연이 증가함에 따라 충분한 우선순위를 부여하기 위하여 θ 값을 증가시키는 방법이다. 그러나 앞서 설명한와 같이 충돌을 경험한 횟수가 증가할수록 경쟁하는 사용자 그룹의 수는 감소하므로, θ 값을 증가하도록 설정한다면 높은 충돌지연을 경험한 사용자그룹에게 과도한 슬롯을 할당하는 결과를 초래한다. 따라서 본 논문에서는 일정한 θ 값(=3)을 사용하도록 한다. 그러나 충돌지연을 크게 증가시키지 않기 위해 p_1 을 결정하기 위한 θ 값은 경쟁 구간의 액세스 율을 고려하여 이상적인 값을 결정하도록 한다. 이상적인 θ 값은 경쟁 구간의 액세스 율에 따라 영향을 받는다. 왜냐하면 충돌이 발생한 단일의 슬롯에 대하여 액세스에 실패한 사용자의 수는 트래픽 발생 상황에 따라 다르기 때문이다. 이러한 경우에 있어 작은 값을 부여할지, 큰 값을 부여할지에 대한 선택이 추가적으로 요구된다. 경쟁구간의 액세스 율이 낮은 경우 충돌한 슬롯 당 참여한 사용자의 수가 작기 때문에 상대적으로 낮은 θ 를 부여하는 방식을 생각할 수 있다. 그러나 경쟁 구간 액세스 율이 낮은 상황에서는 나머지 슬롯들이 액세스 될 확률이 또한 낮게 나타나므로 충돌이 발생한 사용자에게 충분한 우선순위를 부여해도 과도한 슬롯을 할당함으로써 나타나는 성능 저하가 발생하지 않는다. 이에 관한 실험결과를 다음 장에 나타내었다.

따라서 본 논문에서 제안한 동적 경계 기반의 충돌 해소 알고리즘은 첫 번째 발생한 충돌을 해결하기 위한 θ 값으로 경쟁 구간의 액세스 율이 낮은 경우에 큰 값(=4)으로 선택한다. 그러나 액세스 율이 높거나 거듭해서 발생한 충돌에 대한 θ 은 고정된 3값을 선택하였다. 즉 p_0 에서 발생한 충돌의 개수가 c_0 일 때, p_1 경쟁구간의 슬롯 수는 $c_0 \times \theta$ 이고 $p_{1,2,3...}$ 에서 발생한 충돌 $c_{1,2,3...}$ 에 대하여 $p_{2,3,4...}$ 경쟁 구간은 $c_{1,2,3...} \times 3$ 으로 선택한다. 경쟁구간의 액세스 율이 낮은 상태를 판단하기 위한 조건은 식 (1)과 같이 결정한다.

$$i_0 > s_0 + c_0 \quad (1)$$

i_0 : p_0 경쟁 구간에서 액세스하지 않은 슬롯 수

s_0 : p_0 경쟁 구간에서 성공한 슬롯 수

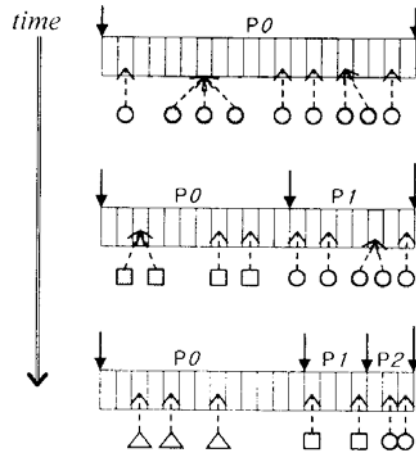


그림 3 시나리오

4. 성능평가 및 분석

제안한 동적 경계 기반의 충돌 해소 알고리즘의 성능평가를 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 입력 부하는 전체 경쟁 구간의 슬롯 수에 대한 요구된 경쟁 패킷 수의 비율을 의미하며, 지연은 처음 경쟁 슬롯을 시도하는 시간과 액세스에 성공하는 시간의 간격, 성공률 (success ratio)은 전체 경쟁 슬롯 수에 대한 성공한 슬롯 수의 비율로 정의한다. 단일 경쟁 슬롯 수에 대한 성공한 슬롯 수의 비율로 정의한다. 단일 프레임이 포함하는 전체 경쟁 슬롯의 수는 20개로 일정하고 각 사용자에게 대하여 서비스의 도착은 포아송 분포를 가정하였다.

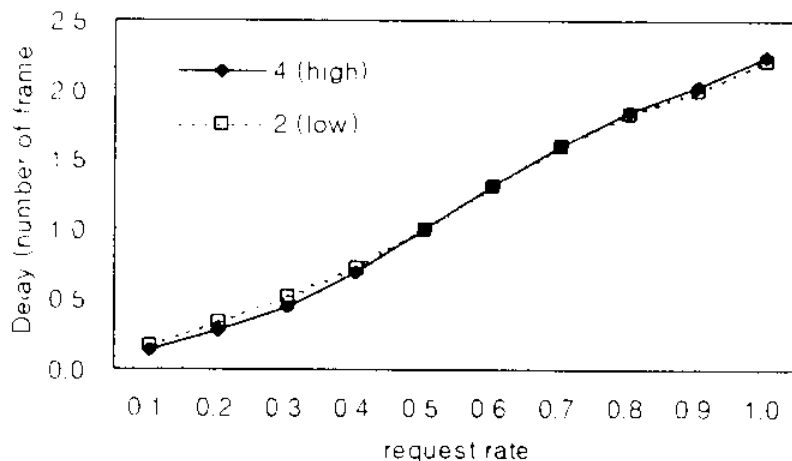


그림 4 가중치 값에 따른 지연

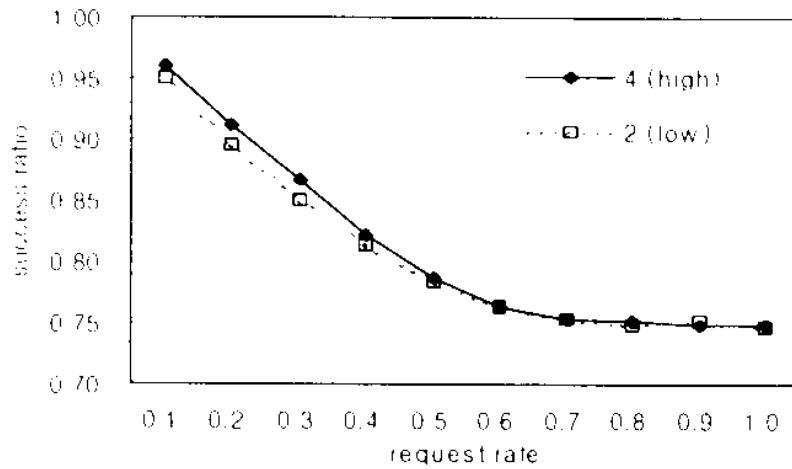


그림 5 가중치 값에 따른 성공률

먼저 그림 4와 그림 5는 경쟁구간의 액세스율이 낮은 경우에 p_1 을 생성하기 위한 θ 값으로 작은 값과 큰 값을 선택한 경우에 대한 실험 결과이다. 4에 해당하는 높은 값을 선택하는 것이 지연이나 성공률 관점에서 보다 나은 성능을 얻을 수 있다. 이는 앞서 설명한 바와 같이 경쟁구간의 입력부하가 낮을 때에는 각 경쟁 슬롯이 액세스된 확률도 낮으므로 충돌이 발생한 사용자에게 충분한 슬롯을 할당할 지라도 나머지 사용자들에 대한 충돌 발생 확률을 크게 증가시키지 않기 때문이다. 이러한 결과를 바탕으로 제안한 알고리즘은 첫 번째 발생한 충돌을 해결하기 위해 액세스율이 낮은 경우에 대하여 θ 값을 4로 설정하여 설계하였으며 모의실험을 수행한 결과를 그림 6과 그림 7에 나타내었다.

그림 6과 그림 7에서는 제안한 동적 경계 기반의 충돌 해소 알고리즘 (Dynamic)과 다른 알고리즘과의 성능 비교를 위해 지연과 성공률 관점에서 성능을 비교하였다. (a, b) 로 표기된 그래프는 처음 시도하는 패킷을 위해 a 개의 슬롯을 재 시도를 위해 b 의 슬롯을 할당한 알고리즘의 결과이다. 또한 충돌 지연을 고려하지 않고 동일한 경쟁 구간을 유지하는 알고리즘 (No bound)에 대한 성능도 함께 나타내었다.

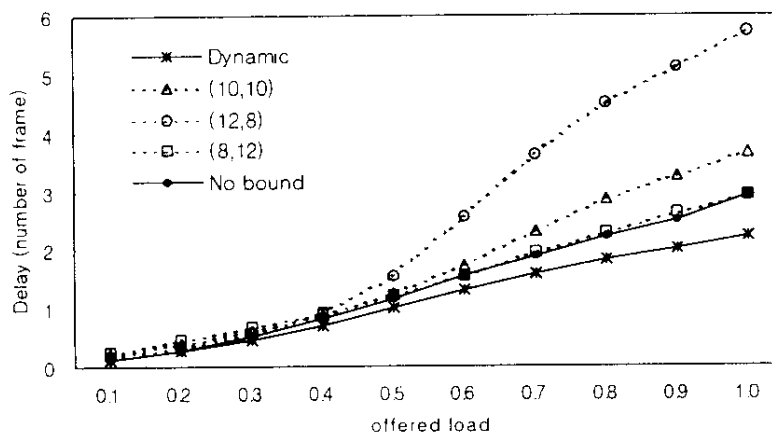


그림 6 지연에 관한 성능 비교

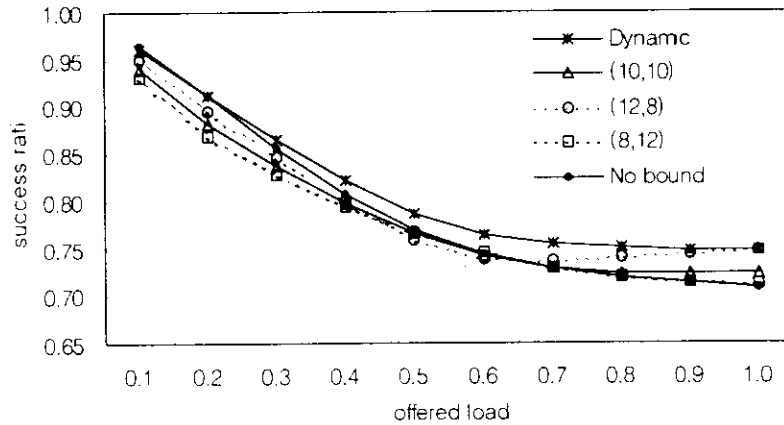


그림 7 성공률에 관한 성능비교

입력 부하에 관계없이 제안한 동적 경계 기반 충돌 해소 알고리즘이 정적 경계 알고리즘과 무경계 알고리즘보다 우수한 성능을 나타내고 있다. 반면 정적 경계 알고리즘은 경계를 설정한 값에 따라 교차하는 성능결과를 나타낸다. 즉, 처음 시도하는 사용자에게 많은 슬롯을 할당하는 경우, 입력 부하가 낮을 때에는 낮은 지연과 높은 성공률을 나타내지만 입력 부하가 증가할수록 충돌지연을 갖는 사용자들의 분포가 증가하면서 크게 성능이 저하한다.

5. 결론

본 논문은 예약 기반의 MAC 프로토콜에서 데이터 전송을 위한 대역을 예약하기 위해 수행하는 임의 접속방식에서 단말기의 충돌지연을 고려하여 경쟁시킴으로서 충돌을 해소하고 임의 접속 지연을 액세스시킬 수 있는 동적 경계 기반의 충돌 해소 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 경쟁에 참여하는 단말기의 과거 충돌을 경험한 횟수를 고려하여 액세스하는 경쟁 슬롯을 구분하고 충돌 지연이 증가할수록 전송 성공률을 증가시킨다. 이를 위해 재 시도를 위한 경쟁 구간의 경계를 이전 프레임의 전송 결과와 경쟁 구간의 입력 부하에 따라 동적으로 결정하므로 정적으로 분할하는 알고리즘이나 충돌 지연을 고려하지 않는 알고리즘보다 입력 부하에 관계없이 낮은 지연과 높은 성공률을 나타낸다.

참고문헌

- [1] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, "Media Access Control Protocol Control Protocol Based on DOCSIS 1.1," IEEE 802.16.1mc-00/01, Dec. 1999.
- [2] IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, "MAC Protocol for IEEE 802.16.1," IEEE 802.16.1mc-00/15r1. April 2000
- [3] D. Raychaudhuri, et. al. "WATMnet : A Prototype Wireless ATM System for Multimedia personal Communication," *IEEE JSAC*. vol. 15, no.1, pp.83, jan.1997.
- [4] 이우용, 김용진, 강충구, "ETSI BRAN의 무선 ATM 및 광대역 무선 액세스 네트워크 표준화 및 기술 동향." *한국통신학회지*, 1998년 11월.
- [5] 정해원, 방봉혁, 이형호, "광대역 무선가입자망의 현황 및 관련기술 동향", *한국통신학회지*, 제 16권 10호, 1999년. 10월
- [6] D.Vazpuez-Cortizo. et. al. "FS-ALOHA++ , A Collision Resolution Algorithm with QoS Support for the Contention Channel in Multiservices Wireless LAN." *Globecom'99*. 1999.
- [7] Mark D. Corner, et. al. "A Priority Scheme for the IEEE 802.14 MAC Protocol for Hybrid Fiber-Coax Networks."
- [8] Philippe Jacquet. Paul Muhlethaler et.al. "Performance implementations of tree collision resolution on CATV network. "IEEE 802.14 Working Group(WG)meeting. April 1. 1996