

CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서 동적 접속 제어 알고리즘

임인택⁰

부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부
itlim@taejo.pufs.ac.kr

Dynamic Access Control Algorithm in CDMA Slotted ALOHA Systems

In-Taek Lim⁰

Div. of Computer & Electronics Eng., Pusan University of Foreign Studies

요 약

본 논문에서는 전용 코드 방식의 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서 패킷 전송 확률을 동적으로 제어하는 알고리즘을 제안한다. 전용 코드 방식의 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서는 고유의 확산코드를 이용하여 패킷을 전송하므로 패킷 충돌로 인한 전송 실패는 없는 반면, 다원 접속 간섭에 의한 비트 오류가 패킷 전송의 실패 요인 된다. 제안한 알고리즘에서는 기지국이 망의 부하에 따라 단말기들의 패킷 전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 이를 기반으로 패킷 전송을 시도한다. 성능 분석의 결과, 제안한 알고리즘은 망의 부하에 따라 적응적으로 전송 확률을 제어함으로써 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정하게 유지시킬 수 있었으며, 이로 인하여 시스템 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

1. 서 론

CDMA 기반 시스템의 매체 접근 제어 방식은 단말기들이 패킷을 전송할 때 사용하는 확산코드에 따라 크게 공통 코드 방식과 전용 코드 방식으로 구분된다[1]. 공통 코드 방식인 경우, 패킷을 전송하고자하는 단말기는 시스템 내의 여러 단말기들이 공유하는 확산코드 중에서 하나를 선택하여 패킷을 전송한다. 따라서 둘 이상의 단말기들이 동일한 코드를 선택하여 동일한 슬롯에서 패킷을 전송하면 패킷 충돌로 인하여 전송에 실패한다. 반면, 전용 코드 방식의 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서는 자신에게 할당된 고유의 확산코드를 이용하여 패킷을 전송하므로 패킷 충돌로 인한 전송 실패는 없다. 그러나 동시에 전송되는 패킷들의 다원 접속 간섭에 의한 비트 오류가 패킷 전송의 실패 요인이 된다.

새로운 패킷과 재전송되는 패킷을 고정된 확률로 전송 시도하는 경우의 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에 대한 많은 연구가 있어왔다[2][3]. 그러나, 이러한 고정 전송 확률 기법인 경우, 전송 확률을 높게 하면 망의 부하가 높아짐에 따라 동시에 전송되는 패킷의 수가 많아서 과도한 패킷 오류가 발생할 수 있다. 또한 전송 확률을 낮게 하면 지나친 전송 억제로 인하여 많은 단말기들이 전송 허용이 되지 않아서 시스템 성능이 저하되는 문제점이 있다. 한편 재전송되는 패킷의 전송 확률을 가변적으로 제어하는 HB(Harmonic Backoff) 알고리즘인 경우, 새로운 패킷은 무조건 전송을 시도하고, 재전송되는 패킷은 단말기들이 독립적으로 일정하게 감소시킨 전송 확률로 전송을 시도한다[4]. 그러나 이 방식은 시스템의 부하에 상관없이 전송에 실패한 단말기들이 전송 확률을 감소시키므로, 지나친 전송 억제로 인하여 시스템 처리율이 저하되는 단점이 있다. 따라서 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서는 다원 접속 간섭에 의한 패킷 오

류를 줄이기 위하여 시스템의 부하에 따라 동시에 전송되는 패킷의 수를 제어하기 위한 적응적인 전송 확률 제어 기법을 필요로 한다.

본 논문에서는 전용 코드 방식의 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정한 수준이하로 유지시키기 위한 동적 접속 제어 알고리즘인 PB(Proportional Backoff) 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 제안한 알고리즘은 기존의 HB 알고리즘과는 달리, 기지국이 망의 부하에 따라 새로운 패킷과 재전송되는 패킷의 전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 수신한 전송 확률을 기반으로 전송을 시도한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 기술하고, 3장에서는 제안한 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델 및 접속 제어 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘이 적용되는 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템은 하나의 기지국과 K 개의 단말기로 구성된 중앙 집중형 시스템으로 가정한다. 단말기에서는 슬롯의 시작점에서 패킷을 전송하며, 기지국과 단말기간의 슬롯 동기는 항상 유지되는 것으로 가정한다. 또한 적용하는 시스템의 확산코드 프로토콜은 각 단말기들이 자신에게 할당된 고유의 확산코드를 사용하여 패킷을 전송하는 전용 코드 방식으로 가정한다.

그림 1은 단말기의 상태 천이도를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 휴지(IDLE) 상태에 있는 단말기에서 새로운 패킷이 발생하면 경쟁(CON) 상태로 천이한다. 경쟁 상태에 있는 단말기는 다음 슬롯에서 기지국

으로부터 수신한 전송 확률로 패킷을 전송하고 기지국으로부터 응답을 기다린다. 만일 경쟁 상태에서 전송한 패킷에 오류가 발생하거나 전송 허용이 되지 않음으로 인하여 전송에 실패할 경우, 해당 단말기는 재전송(RETX) 상태로 천이하고, 다음 슬롯에서 기지국으로부터 수신한 재전송 확률로 패킷 전송을 시도한다. 재전송 상태에 있는 단말기는 패킷 전송이 성공할 때까지 계속하여 매 슬롯마다 주어진 재전송 확률로 전송을 시도한다.

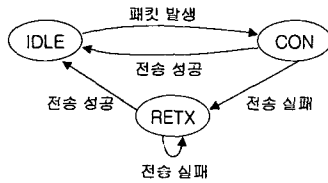


그림 1. 단말기 상태 천이도

본 논문에서 제안하는 전송 확률 알고리즘이 적용되는 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서 경쟁 상태와 재전송 상태에 있는 단말기들은 기지국이 방송한 전송 확률과 재전송 확률로 각각 패킷 전송을 시도한다. 따라서 기지국에서는 매 슬롯마다 시스템 부하에 따라 경쟁 상태에 있는 패킷의 전송 확률과 재전송 상태에 있는 패킷의 재전송 확률을 계산하여 방송하고, 전송할 패킷이 있는 단말기들은 수신한 전송 확률을 기반으로 패킷을 전송한다.

제안하는 알고리즘에서는 기지국이 슬롯 t 에서 전송되는 패킷들의 정보를 기반으로 다음 슬롯 $(t+1)$ 에서의 전송 확률 $P_n(t+1)$ 과 재전송 확률 $P_r(t+1)$ 을 다음과 같이 계산하여 방송한다.

$$P_n(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{if } N_n(t+1) \leq TH \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

$$P_r(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{if } N_r(t+1) \leq TH \\ \frac{TH}{N_r(t+1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

위의 식에서 TH 는 DS/CDMA 시스템에서 처리율을 최대로 유지하기 위하여 동시에 패킷을 전송하는 임계치의 단말기 수를 나타내고, $N_n(t+1)$ 은 슬롯 $(t+1)$ 에서 재전송 상태에 있는 단말기의 수를 나타낸다. 슬롯 $(t+1)$ 에서 재전송 상태에 있는 단말기 수는 슬롯 t 에서 전송한 패킷에 오류가 있는 단말기 수 $N_f(t)$ 와 슬롯 t 에서 전송 허용이 되지 않은 단말기 수 $N_b(t)$ 로 계산되며, 이는 다음과 같이 정의된다.

$$N_r(t+1) = N_f(t) + N_b(t) \quad (3)$$

한편 슬롯 t 에서 전송 허용이 되지 않은 단말기의 수는 경쟁 상태와 재전송 상태에 있는 단말기들이 전송 허용이 되지 않은 수를 나타내며, 다음과 같이 계산된다.

$$N_b(t) = N_n(t-1)(1 - P_n(t)) + N_r(t)(1 - P_r(t)) \quad (4)$$

여기서, $N_n(t)$ 는 슬롯 t 에서 경쟁 상태로 천이한 단말기의 수를 나타내며, 이는 다음과 같다.

$$N_n(t) = \{K - N_r(t) - N_n(t-1)\} \cdot \lambda \quad (5)$$

위의 식 (5)에서 K 는 시스템의 총 단말기 수를 나타내고, λ 는 휴지 상태에 있는 단말기들이 슬롯 당 발생시키는 새로운 패킷의 발생률을 나타낸다. 기지국이 $N_n(t)$ 를 계산할 때, 각 단말기의 새로운 패킷 발생률인 λ 를 직접 알 수 있는 방법은 없다. 따라서 기지국에서는 각 단말기들이 생성하는 새로운 패킷의 수를 추적하기 위하여 일정한 시간을 윈도우로 설정하고, 이 기간동안 도착한 새로운 패킷의 수를 추적하여 이에 대한 평균값을 추정치 λ 로 사용한다.

제안한 방법에서는 재전송 상태에 있는 단말기의 수가 동시에 전송할 수 있는 임계치 TH 보다 적으면, 재전송 상태뿐만 아니라 경쟁 상태에 있는 단말기들이 패킷을 전송하게 한다. 반면, 다원 접속 간섭에 의한 패킷 오류로 인하여 재전송 상태에 있는 단말기의 수가 TH 보다 많으면, 기지국에서는 재전송되는 단말기의 패킷 전송 지연을 줄이기 위하여 새로운 패킷의 전송은 중단시키고, 재전송되는 패킷만 균등한 확률로 전송하게 한다.

3. 시뮬레이션 결과 분석

시뮬레이션을 위하여 각 단말기들은 포아송 분포로 패킷을 생성하고, 패킷의 크기는 432비트로 슬롯의 길이와 동일한 것으로 가정하였다. 또한 DS/CDMA 시스템의 처리이득은 64, E_b/N_0 는 15dB로 가정하였으며, 이 경우 TH 는 12이다. 또한 각 단말기들의 평균 패킷 발생률(λ)를 얻기 위한 윈도우의 크기는 1,000슬롯으로 가정하였다.

그림 2와 3은 경쟁 상태와 재전송 상태에서 고정된 확률($P=1.0$)로 패킷을 전송하는 방법, HB 알고리즘, 및 본 논문에서 제안한 PB 알고리즘으로 접속 제어를 하는 방법에 대하여 시스템 부하에 따른 처리율과 평균 지연 시간을 비교한 것이다. HB 알고리즘은 트래픽 부하가 높은 경우, 패킷 오류로 인하여 전송에 실패한 단말기들은 과도하게 전송을 억제하므로, 그림 2와 3에서 나타낸 바와 같이 본 논문에서 제안한 알고리즘보다 시스템 처리율과 평균 전송 지연 성능이 떨어진다. 또한 고정 접속 제어 기법인 경우($P=1.0$), 부하가 15.0이상으로 증가하면 오히려 처리율이 급격히 저하된다. 이는 모든 단말기들이 무조건 전송을 시도하므로 부하가 증가함에 따라 다원 접속 간섭의 수가 많아지고, 이에 따라 패킷 오류가 많이 발생하기 때문이다. 또한 고정 접속 제어 기법인 경우, 부하가 증가함에 따라 많은 패킷 오류로 인하여 재전송되어야 하기 때문에 평균 전송 지연이 급격히 증가한다.

그림 4와 5는 시스템 부하가 각각 10.0과 50.0인 경우, 각 단말기들의 처리율을 비교한 것이다. 비교적 적은 시스템 부하에서는 HB 알고리즘과 PB 알고리즘이 각 단말기들에게 거의 동일한 처리율을 제공한다. 반면 시스템 부하가 높은 경우, 본 논문에서 제안한 PB 알고리즘은 각 단말기들에게 거의 동일한 처리율을 제공하지만, HB 알고리즘에서의 단말기별 처리율 변동은 매우 심하다. 이는 부하가 높을 경우 HB 알고리즘에서는 재전송 상태의 단말기들은 계속하여 전송 확률을 줄이고, 경쟁

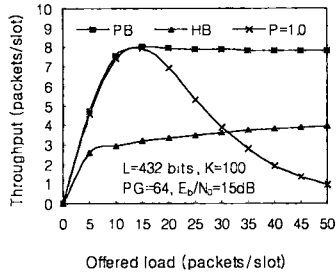


그림 2. 부하에 따른 시스템 처리율 비교

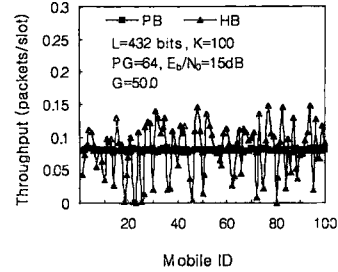


그림 5. 단말기별 처리율 (G=50.0)

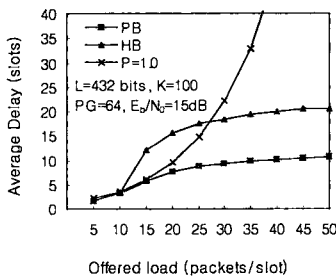


그림 3. 부하에 따른 평균 전송 지연 비교

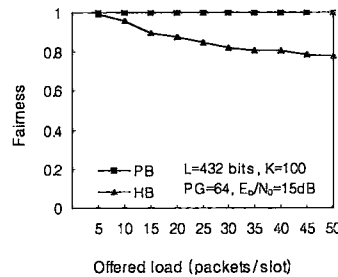


그림 6. 부하에 따른 공평 지수 비교

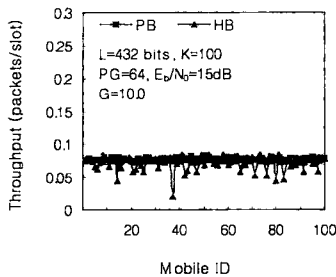


그림 4. 단말기별 처리율 (G=10.0)

따라 새로운 패킷과 재전송되는 패킷의 전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 수신한 전송 확률을 기반으로 전송을 시도한다. 성능 분석의 결과, 제안한 알고리즘은 각 단말기들이 독립적으로 전송 확률을 계산하여 접속 제어를 하는 HB 알고리즘에 비하여 우수한 처리율 및 평균 지연 시간 성능을 얻을 수 있었으며, 시스템 부하에 관계없이 각 단말기에게 공평한 패킷 전송을 보장할 수 있었다.

상태에 있는 단말기들은 재전송 상태 단말기들 보다 우선적으로 전송 허용이 되기 때문이다.

그림 7은 HB 알고리즘과 본 논문에서 제안한 PB 알고리즘으로 접속 제어를 하는 경우, 부하에 따른 처리율 공평성을 비교한 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 PB 알고리즘은 시스템 부하에 관계없이 모든 단말기들에게 비교적 공평한 처리율을 제공한다. 반면, HB 알고리즘은 부하가 증가함에 따라 재전송 단말기들의 과도한 전송 억제로 인하여 처리율 공평성은 급격히 감소한다.

4. 결론

본 논문에서는 CDMA 슬롯 ALOHA 기법에서 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정한 수준이하로 유지시키기 위한 접속 제어 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 알고리즘은 기지국이 망의 부하에

참고 문헌

- [1] E. S. Sousa, and J. A. Silvester, "Spreading code protocols for distributed spread-spectrum packet radio networks," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.36, no.3, pp.272-281, Mar. 1988.
- [2] O. Sallent, and R. Agusti, "A proposal for an adaptive S-ALOHA access system for a mobile CDMA environment," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol.47, no.3, pp.977-986, Aug. 1998.
- [3] M. Saito, *et al.*, "Throughput improvement of CDMA slotted ALOHA systems," *IEICE Trans. on Commun.*, vol.B80-B, no.1, pp.74-80, Jan. 1997.
- [4] S. Choi, and Kang G. Shin, "A unified architecture of wireless networks for real-time and non-real-time communication services," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol.8, no.1, pp.44-59, Feb. 2000.