

CDMA기반 슬롯 ALOHA 시스템에서 패킷 전송을 위한 접속 제어 프로토콜

임인택*

* 부산외국어대학교 컴퓨터전자공학부

Access Control Protocol for Packet Transmission in CDMA-based Slotted ALOHA System

In-Taek Lim*

* Div. of Computer & Electronics Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies

E-mail : itlim@taejo.pufs.ac.kr

요 약

본 논문에서는 CDMA 슬롯 ALOHA 시스템에서 공정한 패킷 전송을 보장하기 위한 접속 제어 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘에서는 기지국이 망의 부하에 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 알고리즘에 비하여 우수한 처리율 및 평균 지연 시간 성능을 얻을 수 있었으며, 부하에 관계없이 각 단말기에게 공정한 패킷 전송을 보장할 수 있었다.

ABSTRACT

This paper proposes an access control algorithm for guaranteeing fair packet transmissions in CDMA-based slotted ALOHA systems. In the proposed algorithm, the base station calculates the packet transmission and retransmission probabilities based on the offered loads and then broadcasts these probabilities to all mobile stations. Mobile stations, which have a packet to transmit, attempt to transmit a packet with the received probabilities. Simulation results show that the proposed algorithm can offer better system throughput and average delay than the conventional algorithm. Results also show that the proposed algorithm can guarantee a good fairness among all mobile stations regardless of the offered loads.

1. 서 론

무선 패킷 통신을 위한 MAC 프로토콜 중에서 슬롯 ALOHA 방식은 알고리즘이 단순하여 구현이 용이한 반면, 트래픽이 증가함에 따라 잦은 패킷 충돌로 인하여 처리율이 급격히 감소하는 단점이 있다. 그러나 이를 CDMA 시스템에 적용한 CDMA 슬롯 ALOHA 기법에서는 알고리즘의 단순성을 유지하면서, 비교적 높고 안정적인 성능을 얻을 수 있다[1].

CDMA 슬롯 ALOHA 기법에서는 확산코드에 의하여 다중 채널이 제공되므로 패킷 충돌로 인한 전송 실패는 없는 반면, 다원 접속 간섭에 의한 비트 오류가 패킷 전송의 실패 요인이 된다.

전송할 패킷이 있는 단말기는 주어진 전송 확률로 패킷 전송을 시도하고, 기지국으로부터 전송에 대한 성공 응답을 기다린다. 전송에 실패한 경우, 해당 단말기는 다음 슬롯에서 주어진 재전송 확률에 따라 재전송을 시도한다. 전송하고자 하는 패킷에 대한 접속 제어가 없이 무조건 전송을 시도하는 경우, 망의 부하가 점차 높아짐에 따라 다원 접속 간섭이 많아서 과도한 패킷 오류가 발생할 수 있다. 따라서 CDMA 슬롯 ALOHA 기법에서는 다원 접속 간섭에 의한 패킷 오류를 줄이기 위하여 동시에 전송되는 패킷의 수를 제어하기 위한 접속 제어 알고리즘을 필요로 한다.

본 논문에서는 CDMA 슬롯 ALOHA 기법에서

다원 접속 간섭의 수를 일정한 수준이하로 유지시키기 위한 PB(Proportional Backoff) 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 제안한 알고리즘은 전송에 실패한 단말기들이 독립적으로 전송 확률을 계산하는 HB(Harmonic Backoff) 알고리즘[2]과는 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. II장에서는 제안하고자하는 접속 제어 알고리즘을 기술한다. III장에서는 제안한 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 접속 제어 알고리즘

2.1 DS/CDMA 시스템의 비트 오류율

본 논문에서 고려하는 DS/CDMA 시스템의 비트 오류율은 M.B.Pursley가 해석한 모델을 가정한다. 해석 결과에 따르면 동시에 전송하는 단말기 수가 m 이고, 처리이득이 N 이면서 신호 대 잡음 전력 비가 E_b/N_0 인 경우, 평균 비트 오류율은 다음 식과 같다[3].

$$P_e(m) = Q \left(\left[\frac{m-1}{3N} + \frac{N_0}{2E_b} \right]^{-\frac{1}{2}} \right) \quad (1)$$

여기서, $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-u^2/2} du$

패킷의 전체 길이가 L 비트인 경우, 기지국에서는 수신한 패킷의 모든 비트에 오류가 없으면 해당 패킷은 전송에 성공한 것으로 간주한다. 만일 m 개의 단말기가 동시에 패킷을 전송할 때, 하나의 패킷이 성공적으로 수신될 확률 $P_s(m)$ 과 성공적으로 패킷을 전송한 단말기의 수 $S(m)$ 은 다음과 같다.

$$P_s(m) = (1 - P_e(m))^L \quad (2)$$

$$S(m) = m \cdot (1 - P_e(m))^L \quad (3)$$

그림 1은 패킷의 길이가 432비트이고, 처리이득이 64이면서 E_b/N_0 가 15dB인 경우, 동시에 패킷을 전송하는 단말기의 수에 따라 전송에 성공하는 단말기의 수를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 동시에 패킷을 전송하는 단말기의 수가 어느 일정 수준(12개)이상인 경우, 다원 접속 간섭에 의한 과도한 패킷 오류로 인하여 전송에 성공하는 단말기의 수가 급격히 감소한다.

2.2 제안하는 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 하나의 기지국과 K 개의 단말기로 구성된 중앙 집중형 시스템으로 가정한다. 전송할 패킷이 있는 단말기는 슬롯의 시작점에서 자신에게 할당된 확산코드를 사용하여 주어진 전송 확률로 전송을 시도한다.

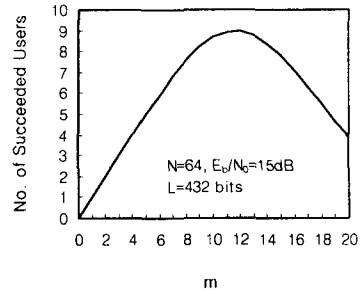


그림 1. 동시 전송 단말기 수별 성공 단말기 수

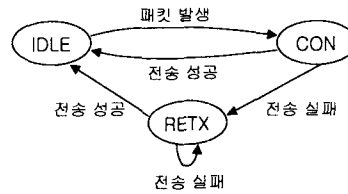


그림 2. 단말기 상태 천이도

그림 2는 단말기의 상태 천이도를 나타낸 것이다. 휴지(IDLE) 상태에 있는 단말기에서 패킷이 발생하면 경쟁(CON) 상태로 천이한다. 경쟁 상태에 있는 단말기는 다음 슬롯에서 기지국으로부터 수신한 전송 확률로 패킷을 전송하고, 기지국으로부터 응답을 기다린다. 만일 경쟁 상태에서 전송에 실패하거나 전송 허용이 되지 않은 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 재전송 확률로 전송을 시도한다.

그림 3과 4는 단말기 수가 100개일 때, 새로운 패킷과 재전송되는 패킷을 동일한 전송 확률(p)로 전송을 시도하는 경우, 시스템 부하(G)와 전송 확률에 따라 동시에 전송되는 패킷 수 및 시스템 처리율을 각각 나타낸 것이다. 그림 3에서 나타낸 바와 같이 동시에 전송되는 패킷의 수는 전송 확률과 시스템 부하가 증가함에 따라 급격히 증가한다. 이에 따라, 그림 4에서 나타낸 바와 같이 주어진 시스템 부하에서 일정한 전송 확률 이상으로 전송을 시도하면 패킷 오류의 증가로 인하여 처리율은 급격히 감소한다. 시스템 부하가 15.0, 30.0, 및 50.0인 경우 전송 확률이 각각 0.3, 0.5, 및 1.0일 때 최대의 처리율을 나타내며, 이 경우 동시에 전송되는 패킷의 수는 그림 3에서처럼 12개이다. 이는 그림 1에서 나타낸 바와 같이 DS/CDMA 시스템에서 동시에 전송되는 패킷의 수가 12개일 때 성공적으로 전송되는 수가 최대인 경우와 동일하다. 따라서 최대 처리율을 얻기 위하여 동시에 전송되는 패킷 수를 일정한 임계치로 유지시킬 필요가 있으며, 이를 위하여 전송

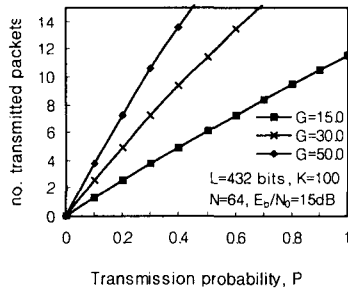


그림 3. 전송 확률별 동시 전송 패킷 수

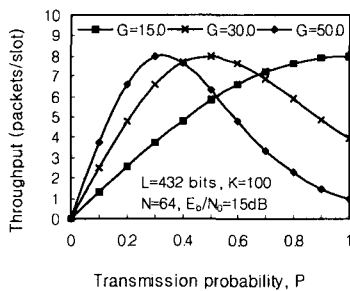


그림 4. 전송 확률별 처리율

확률을 시스템 부하에 따라 적응적으로 제어할 필요가 있다.

본 논문에서는 시스템 부하에 따라 경쟁 상태에 있는 패킷의 전송 확률과 재전송 상태에 있는 패킷의 재전송 확률을 기지국에서 매 슬롯마다 계산하여 방송하는 접속 제어 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 기지국이 슬롯 t 에서 전송되는 패킷들의 정보를 기반으로 슬롯 $(t+1)$ 에서의 전송 확률 $P_n(t+1)$ 과 재전송 확률 $P_r(t+1)$ 을 다음과 같이 계산하여 방송한다.

$$P_n(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{if } N_n(t+1) \leq TH \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$$P_r(t+1) = \begin{cases} 1, & \text{if } N_r(t+1) \leq TH \\ \frac{TH}{N_r(t+1)}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

여기서 TH 는 DS/CDMA 시스템에서 처리율이 최대가 되는 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 $N_r(t)$ 와 슬롯 t 에서 전송 허용이 되지 않은 단말기 수 $N_b(t)$ 로 계산되며, 이는 다음과 같이 정의된다.

$$N_r(t+1) = N_r(t) + N_b(t) \quad (6)$$

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.

$$N_b(t) = N_n(t-1)\{1 - P_n(t)\} + N_r(t)\{1 - P_r(t)\} \quad (7)$$

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

$$N_n(t) = (K - N_n(t) - N_r(t-1)) \cdot \lambda \quad (8)$$

위의 식에서 K 는 시스템의 총 단말기 수를 나타내고, λ 는 휴지 상태에 있는 단말기들이 슬롯당 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 추정치로 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 전송을 중단시키고, 재전송되는 패킷만 균등한 확률로 전송하게 한다.

III. 성능 평가

본 논문에서는 성능 분석을 위하여 패킷의 크기는 432비트로 슬롯의 길이와 동일하며, 처리이득이 64이고, E_b/N_0 는 15dB로 가정하였다. 이 경우 TH 는 12개이다.

본 논문에서는 성능 분석을 위하여 시스템 처리율, 평균 전송 지연, 및 공평 지수를 성능 분석의 매개변수로 사용하였다. 시스템 처리율은 한 슬롯 동안 성공적으로 전송되는 패킷의 수를 나타내며, 평균 전송 지연은 패킷이 발생한 시점부터 성공적으로 전송이 완료될 때까지의 평균 시간을 나타낸다. 또한 공평 지수는 한 슬롯 동안 각 단말기들이 공평하게 성공적으로 전송하는 패킷의 수에 대하여 시뮬레이션을 통하여 실제로 측정된 패킷의 수에 대한 관계로써, 이는 다음과 같이 정의된다[4].

$$Fairness = \frac{\left(\sum_{i=1}^K Y_i / Z_i \right)^2}{K \sum_{i=1}^K (Y_i / Z_i)^2} \quad (9)$$

여기서, Y_i 와 Z_i 는 단말기 i 에 대하여 각각 실제 측정된 처리율과 공평 처리율을 나타낸다.

그림 5와 6은 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 알고리즘인 경우, 패킷

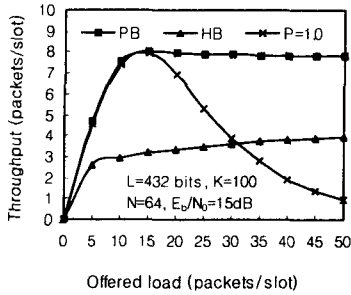


그림 5. 부하에 따른 시스템 처리율 비교

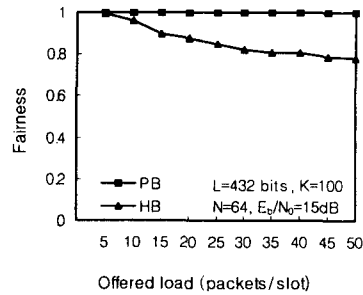


그림 7. 부하에 따른 공평 지수 비교

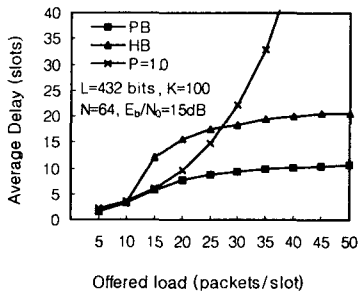


그림 6. 부하에 따른 평균 전송 지연 비교

전송에 실패한 단말기들은 재전송 상태에 있는 단말기의 수와는 무관하게 전송 확률을 감소시킨다. 반면, PB 알고리즘에서는 재전송할 패킷이 있는 단말기 수와 동시 전송이 가능한 단말기 수의 임계치를 기반으로 기지국이 다음 슬롯의 전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 이를 기반으로 전송을 시도한다. 따라서 트래픽 부하가 높은 경우, HB 알고리즘에서는 패킷 오류로 인하여 전송에 실패한 단말기들이 과도하게 전송을 억제하므로, 그림 5와 6에서 나타낸 바와 같이 PB 알고리즘보다 시스템 처리율과 평균 전송 지연 시간 성능이 떨어진다. 또한 고정 접속 제어 기법인 경우($P=1.0$), 부하가 15.0 이상으로 증가하면 오히려 처리율이 급격히 저하된다. 이는 모든 단말기들이 무조건 전송을 시도하므로 부하가 증가함에 따라 다윈 접속 간섭의 수가 많아지고, 이에 따라 패킷 오류가 많이 발생하기 때문이다. 고정 접속 제어 기법인 경우, 부하가 증가함에 따라 많은 패킷 오류로 인하여 재전송되어야 하기 때문에 평균 전송 지연 또한 급격히 증가한다.

그림 7은 시스템 부하에 따른 HB 알고리즘과 PB 알고리즘의 공평 지수를 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 공평 지수가 급격히 감소한다.

IV. 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 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.

† 이 논문은 2001학년도 부산외국어대학교 학술연구조성비에 의하여 연구되었음

참고문헌

- [1] D. Raychaudhuri, "Performance analysis of random access packet switched code division multiple access systems," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.COM-29, no.6, pp.859-901, Jun. 1981.
- [2] 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.
- [3] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread-spectrum multiple access communication-part I: system analysis," *IEEE Trans. on Commun.*, vol.COM-25, no.8, pp.795-799, Aug. 1977.
- [4] T. W. Ban, et al., "A Fair access algorithm for packet data service in DS/CDMA-based slotted-ALOHA system," *Proc. of VTC2000*, pp.1160-1164.