

# CDMA S-ALOHA 시스템에서 공평한 패킷 전송을 위한 MAC 프로토콜<sup>†</sup>

임인택<sup>o</sup>

부산외국어대학교 컴퓨터공학부

itlim@taejo.pufs.ac.kr

## MAC Protocol for Fair Packet Transmission in CDMA S-ALOHA Systems

In-Taek Lim<sup>o</sup>

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

### 요 약

본 논문에서는 CDMA S-ALOHA 시스템에서 공평한 패킷 전송을 위한 MAC 프로토콜을 제안한다. CDMA S-ALOHA 시스템에서 동일한 슬롯에 전송되는 패킷들은 다원접속 간섭으로 작용하며, 이는 패킷 전송 실패의 주요 요인이 된다. 따라서 최대의 시스템 처리율을 얻기 위하여 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정하게 유지시킬 필요가 있다. 제안한 기법에서는 기지국이 망의 부하에 따라 다음 슬롯의 패킷 전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기들은 수신한 전송 확률을 기반으로 패킷 전송을 시도한다.

### 1. 서 론

CDMA S-ALOHA 시스템에서 고정된 확률로 패킷 전송을 시도하는 MAC 프로토콜에 대한 많은 연구가 있어 왔다[1][2]. 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 기존의 알고리즘인 경우, 새로운 패킷은 무조건 전송을 시도하고, 재전송되는 패킷은 단말기들이 독립적으로 일정하게 감소시킨 전송 확률로 전송을 시도한다 [3][4]. 그러나 이 방식은 시스템의 부하에 상관없이 전송에 실패한 단말기들이 전송 확률을 감소시키므로, 지나친 전송 억제로 인하여 시스템 처리율이 저하되는 단점이 있다.

본 논문에서는 전용 코드 방식의 CDMA S-ALOHA 시스템에서 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정한 수준 이하로 유지시키기 위한 전송 확률 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 제안하는 알고리즘을 위한 시스템 모델을 기술하고, 3장에서는 본

논문에서 제안하는 알고리즘을 기술하고, 4장에서는 제안한 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

### 2. 시스템 모델

본 논문에서 제안하는 알고리즘을 위한 시스템 모델은 그림 1과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 기지국에서는 매 슬롯마다 시스템 부하에 따라 경쟁 상태에 있는 단말기의 전송 확률  $P_n$ 과 재전송 상태에 있는 단말기의 재전송 확률  $P_r$ 을 계산하여 방송한다. 전송할 패킷이 있는 단말기들은 자신의 현재 상태를 기반으로 수신한 전송 확률 또는 재전송 확률로 패킷 전송을 시도한다.

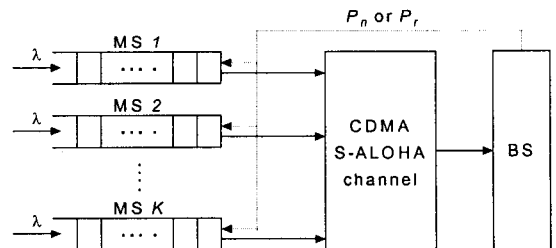


그림 1. 시스템 모델

그림 2는 단말기의 동작 상태를 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 바와 같이 휴지(IDLE) 상태에 있는 단말기에서 새로운 패킷이 발생하면 경쟁(CON) 상태로 천이한다. 경쟁 상태에 있는 단말기는 다음 슬롯에서 주어진 전송 확률로 패킷을 전송하고 기지국으로부터 응답을 기

<sup>†</sup> 이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-041-D00447)

다린다. 만일 경쟁 상태에서 전송한 패킷에 오류가 발생하거나 전송 허용이 되지 않음으로 인하여 전송에 실패할 경우, 해당 단말기는 재전송(RETX) 상태로 천이하고, 다음 슬롯에서 주어진 재전송 확률로 패킷 전송을 시도한다. 재전송 상태에 있는 단말기는 패킷 전송이 성공할 때까지 계속하여 매 슬롯마다 주어진 재전송 확률로 전송을 시도한다. 한편, 전송에 성공한 단말기의 버퍼에 남은 패킷이 있으면 경쟁 상태로 천이하여 위의 과정을 반복하고, 아니면 휴지 상태로 천이한다.

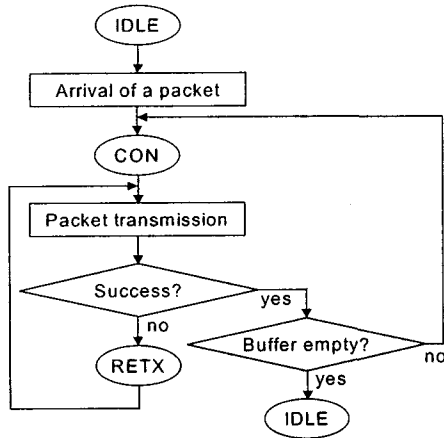


그림 2. 단말기 동작 상태도

3. PB 알고리즘

본 논문에서 제안하는 전송 확률 알고리즘이 적용되는 CDMA S-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.

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

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

위의 식에서  $TH$ 는 DS/CDMA 시스템에서 처리율을 최대로 유지하기 위하여 동시에 패킷을 전송하는 임계치의 단말기 수를 나타내고,  $N_r(t+1)$ 은 슬롯  $(t+1)$ 에서 재전송 상태에 있는 단말기의 수를 나타낸다. 슬롯  $(t+1)$ 에서 재전송 상태에 있는 단말기 수는 슬롯  $t$ 에서 전송한 패킷

에 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,  $\lambda$ 는 휴지 상태에 있는 단말기들이 슬롯 당 발생시키는 새로운 패킷의 발생률을 나타낸다. 기지국이  $N_n(t)$ 를 계산할 때, 각 단말기의 새로운 패킷 발생률인  $\lambda$ 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  $\lambda$ 로 사용한다.

4. 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( $\lambda$ )를 얻기 위한 윈도우의 크기는 1,000슬롯으로 가정하였다.

본 논문에서는 제안한 PB 알고리즘의 성능을 HB 알고리즘과 비교하였다. HB 알고리즘은 각 단말기들이 독립적으로 전송 확률을 계산하여 패킷 전송을 시도하는 방법으로, 새로운 패킷이 발생하면  $P_i=1.0$ 의 확률로 전송을 시도한다. 만일 전송에 실패하면 단말기들은 다음 식과 같이 독립적으로 전송 확률을 감소시킨다[3].

$$P_{i,t+1} = \frac{P_i}{P_i+1}, i \geq 1 \quad (6)$$

그림 3과 4는 본 논문에서 제안한 PB 알고리즘과 기존의 HB 알고리즘에 대하여 시스템 부하에 따른 전송되는 평균 패킷 수와 시스템 처리율을 비교한 것이다. 식 (6)에 나타난 바와 같이 HB 알고리즘인 경우, 패킷 전송에 실패한 단말기들은 재전송 상태에 있는 단말기의 수와는 무관하게 전송 확률을 감소시킨다. 반면, 본 논문에서 제안한 알고리즘에서는 재전송할 패킷이 있는 단말기 수와 동시 전송이 가능한 단말기 수의 임계치를 기반으로 기지국이 다음 슬롯의 전송 및 재전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 이를 기반으로 전송을 시도한다. 따라서 HB 알고리즘은 트래픽 부하가 높은 경우, 패킷 오류로 인하여 전송에 실패한 단말기들은 과도하게 패킷 전송을 억제하므로, 그림 3에서 나타난 바와 같이 본 논문에서 가정한  $TH$ 인 12개보다 월등히 적은 수의

패킷이 전송된다. 이에 따라 그림 4에서 나타낸 바와 같이 본 논문에서 제안한 알고리즘보다 시스템 처리율이 떨어진다.

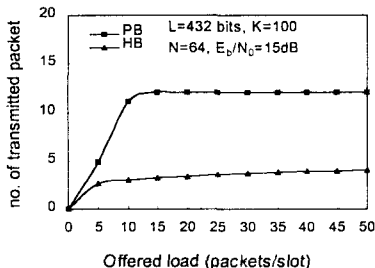


그림 3. 부하에 따른 전송되는 패킷 수

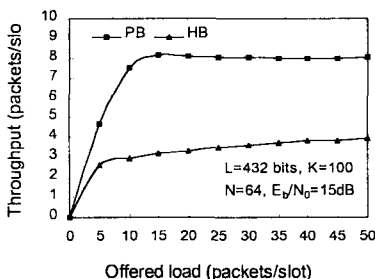


그림 4. 부하에 따른 시스템 처리율

그림 5와 6은 시스템 부하( $G$ )가 각각 10.0과 50.0인 경우, 각 단말기들의 처리율을 비교한 것이다. 비교적 적은 시스템 부하( $G=10.0$ 인 경우)에서는 HB 알고리즘과 PB 알고리즘이 각 단말기들에게 거의 동일한 처리율을 제공한다. 반면 시스템 부하가 높은 경우( $G=50.0$ 인 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 상태에 있는 단말기들은 재전송 상태 단말기들 보다 우선적으로 전송 허용이 되기 때문이다.

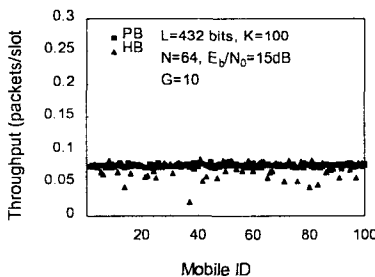


그림 5. 단말기별 처리율 ( $G=10.0$ )

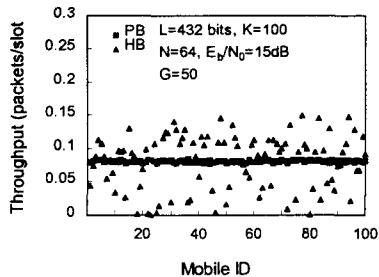


그림 6. 단말기별 처리율 ( $G=50.0$ )

### 5. 결론

본 논문에서는 CDMA S-ALOHA 기법에서 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정한 수준이하로 유지시키기 위한 전송 확률 제어 알고리즘을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 방법에서는 재전송 상태에 있는 단말기의 수가 동시에 전송할 수 있는 임계치보다 적으면, 재전송 상태뿐만 아니라 경쟁 상태에 있는 단말기들이 패킷을 전송하게 한다. 반면, 다원접속 간섭에 의한 패킷 오류로 인하여 재전송 상태에 있는 단말기의 수가 임계치보다 많으면, 기지국에서는 재전송되는 단말기의 패킷 전송 지연을 줄이기 위하여 새로운 패킷의 전송을 중단시키고, 재전송되는 패킷만 균등한 확률로 전송하게 한다. 성능 분석의 결과, 제안한 알고리즘은 각 단말기들이 독립적으로 전송 확률을 계산하는 HB 알고리즘에 비하여 우수한 처리율 성능을 얻을 수 있었으며, 시스템 부하에 관계없이 각 단말기에게 공평한 패킷 전송을 보장할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] O. Sallent, and R. Agusti, "A proposal for an adaptive S-ALOHA access system for a mobile CDMA environment," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol.47, no.3, pp.977-986, Aug. 1998.
- [2] M. Saito, et al., "Throughput improvement of CDMA slotted ALOHA systems," *IEICE Trans. Commun.*, vol.B80-B, no.1, pp.74-80, Jan. 1997.
- [3] S. Choi, and Kang G. Shin, "A unified architecture of wireless networks for real-time and non-real-time communication services," *IEEE/ ACM Trans. Networking*, vol.8, no.1, pp.44-59, Feb. 2000.
- [4] J. Perez-Romero, R. Agusti, and O. Sallent, "An Adaptive ISMA-DS/CDMA MAC Protocol for Third Generation Mobile Communication Systems," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol.50, no.6, pp.1354-1365, Nov. 2001.