

CDMA S-ALOHA 시스템에서 중앙 집중형 백오프 제어 기법

임인택
부산외국어대학교 컴퓨터공학부

Centralized Backoff Control Scheme for CDMA S-ALOHA System

In-Taek Lim
Dept. of Computer Eng., Pusan Univ. of Foreign Studies

요약

본 논문에서는 CDMA S-ALOHA 시스템에서 단말기들의 공평한 패킷 전송을 보장하기 위한 중앙 집중형 백오프 기법을 제안하고 이에 대한 성능을 분석한다. 전용 코드 방식의 CDMA 시스템에서는 각 단말기들이 고유의 확산코드를 이용하여 패킷을 전송하므로 패킷 충돌로 인한 전송 실패는 없는 반면, 다원 접속 간섭에 의한 비트 오류가 패킷 전송의 실패 요인이 된다. 제안한 기법에서는 기지국이 망의 부하에 따라 단말기들의 백오프를 위한 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 이를 기반으로 패킷 전송을 시도한다.

1. 서론

CDMA 기반 시스템에서 적용되는 확산코드 할당 방식은 단말기들이 패킷을 전송할 때 사용하는 확산코드에 따라 공통코드 방식과 전용코드 방식으로 구분된다[1]. 공통코드 방식인 경우, 패킷을 전송하고자 하는 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, 전용코드 방식인 경우, 단말기들은 자신에게 할당된 고유의 확산코드를 이용하여 패킷을 전송한다. 전용코드 방식에서는 고유의 확산코드를 이용하여 패킷을 전송하므로 패킷 충돌로 인한 전송 실패는 없는 반면, 다원 접속 간섭에 의한 비트 오류가 패킷 전송의 실패 요인이 된다.

한편, 알고리즘의 구현이 용이한 S-ALOHA 기법을 CDMA 시스템에 적용한 CDMA S-ALOHA 시스템에서 단말기들의 백오프를 위한 확률을 가변적으로 제어하는 기법들에 대한 많은 연구가 있어왔다 [2][3][4]. 이러한 대부분의 기법들인 경우, 새로운 패킷은 무조건 전송을 시도하고, 재전송되는 패킷은 단말기들이 독립적으로 일정하게 감소시킨 확률로 백오

프를 한다. 그러나 이 방식인 경우, 전송에 실패한 단말기들은 시스템의 부하에 상관없이 전송 확률을 감소시키므로, 지나친 전송 억제로 인하여 시스템 처리율이 저하되는 단점이 있다. 따라서 CDMA 시스템에서는 다원 접속 간섭에 의한 패킷 오류를 줄이기 위하여 시스템 부하를 기반으로 한 백오프 제어 기법을 필요로 한다.

본 논문에서는 전용코드 방식의 CDMA S-ALOHA 시스템에서 최대 처리율을 얻고, 각 단말기들에게 공평한 패킷 전송을 보장하기 위하여 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정 수준으로 유지시키는 백오프 기법을 제안한다. 제안한 기법은 기존의 기법과는 달리, 기지국이 망의 부하에 따라 새로운 패킷과 재전송되는 패킷의 백오프를 위한 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 수신한 확률을 기반으로 백오프를 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 CDMA 시스템에서의 처리율과 CDMA 시스템에서의 동적 백오프 제어 기법의 필요성을 분석하고, 제안하고자 하는 기법이 적용되는 CDMA S-ALOHA 시스템 모델을 기술한다. 3장에서는 제안하는 백오프 제어 기법을 설명하고, 4장에서는 제안한 기법에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

2.1 CDMA 시스템의 처리율

본 논문에서 고려하는 CDMA 시스템의 비트 오류율은 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.

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

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

위의 식에서처럼 CDMA 시스템인 경우, 처리이득과 다원 접속 간섭의 수는 비트 오류율에 커다란 영향을 미친다. 또한 이와 같은 비트 오류율은 성공적으로 전송되는 패킷의 수, 즉 시스템 처리율에도 영향을 미친다. 패킷의 전체 길이가 L 비트인 경우, 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 전송하는 단말기의 수에 따라 전송에 성공하는 단말기의 수를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 동시에 패킷을 전송하는 단말기의 수가 12개 이상인 경우, 다원 접속 간섭에 의한 과도한 패킷 오류로 인하여 전송에 성공하는 단말기의 수가 급격히 감소한다.

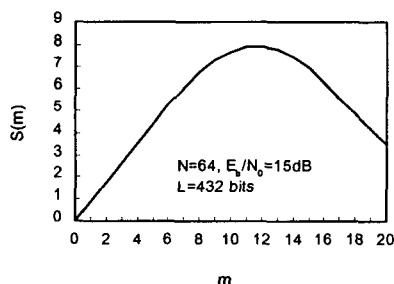


그림 1. 동시에 전송 단말기 수별 성공 단말기 수

2.2 CDMA S-ALOHA 시스템의 접속 기법

본 논문에서 제안하는 프로토콜이 적용되는 CDMA

S-ALOHA 시스템은 하나의 기지국과 K 개의 단말기로 구성된 중앙 집중형 시스템으로 가정한다. 각 단말기에는 발생되는 모든 패킷을 수용할 수 있는 충분한 크기의 버퍼가 있는 것으로 가정한다. 단말기에서는 슬롯의 시작점에서 패킷을 전송하며, 기지국과 단말기 간의 슬롯 동기는 항상 유지되는 것으로 가정한다. 또한 적용하는 시스템의 확산코드 프로토콜은 각 단말기들이 자신에게 할당된 고유의 확산코드를 사용하여 패킷을 전송하는 전용코드 방식으로 가정한다.

그림 2는 단말기의 동작 상태를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 휴지(IDLE) 상태에 있는 단말기에서 새로운 패킷이 발생하면 경쟁(CON) 상태로 전이된다. 경쟁 상태에 있는 단말기는 다음 슬롯에서 기지국으로부터 수신한 백오프 확률로 패킷을 전송하고, 기지국으로부터 응답을 기다린다. 만일 경쟁 상태에서 전송한 패킷에 오류가 발생하거나 전송 협용이 되지 않을 경우, 해당 단말기는 재전송(RETX) 상태로 전이하고, 다음 슬롯에서 패킷 전송을 시도한다. 재전송 상태에 있는 단말기는 패킷 전송이 성공할 때까지 계속하여 매 슬롯마다 재전송 확률로 전송을 시도한다. 한편, 전송에 성공한 단말기의 버퍼에 남은 패킷이 있으면 경쟁 상태로 전이하여 위의 과정을 반복하고, 아니면 휴지 상태로 전이한다.

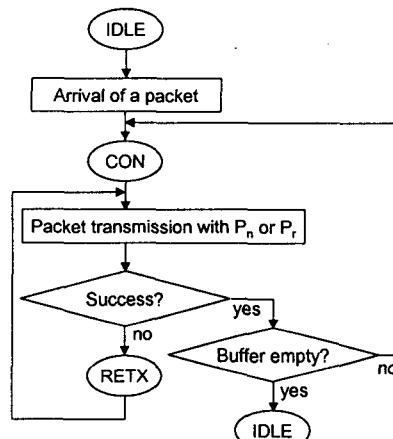


그림 2. 단말기의 동작 상태

3. 백오프 제어 기법

본 논문에서 제안하는 PB(Proportional Backoff) 기법을 위한 시스템 모델은 그림 3과 같다. 제안한 기법에서는 매 슬롯마다 시스템 부하에 따라 경쟁 상태에

있는 단말기의 백오프를 위한 확률 P_n 과 재전송 상태에 있는 단말기의 백오프를 위한 확률 P_r 을 기지국이 계산하여 방송한다. 전송할 패킷이 있는 단말기들은 자신의 현재 상태를 기반으로 수신한 확률로 백오프를 한다.

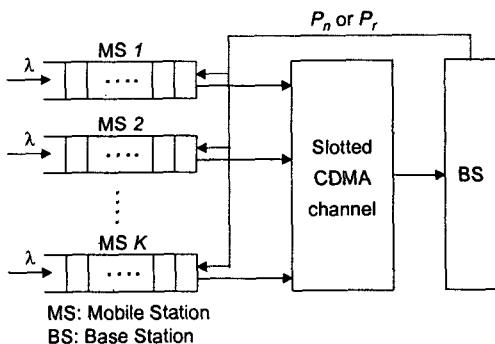


그림 3. 시스템 모델

기지국이 각 단말기들에게 방송하기 위한 슬롯 $(t+1)$ 에서의 확률 $P_n(t+1)$ 과 확률 $P_r(t+1)$ 은 슬롯 t 에서 전송되는 패킷들의 부하를 기반으로 다음과 같이 계산된다.

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

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

여기서 TH_m 은 CDMA 시스템에서 처리율을 최대로 유지하기 위하여 동시에 패킷을 전송하는 단말기 수의 임계치를 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 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 상태 또는 재전송 상태에 있는 단말기들이 전송 허용이 되지 않은 수를 나타내며, 다음과 같이 계산된다.

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

여기서, $N_r(t)$ 은 슬롯 t 에서 경쟁 상태로 전이한 단말기의 수를 나타내며, 이는 다음과 같다.

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

위의 식에서 K 는 시스템의 총 단말기 수를 나타내고, λ 는 휴지 상태에 있는 단말기들이 슬롯 당 발생시키는 새로운 패킷의 발생률을 나타낸다. 기지국이 $N_r(t)$ 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 최대 처리율을 유지하기 위하여 동시에 전송할 수 있는 단말기 수의 임계치 TH_m 보다 적으면, 경쟁 상태와 재전송 상태 단말기들의 백오프를 위한 확률을 모두 1로 하여 재전송 상태뿐만 아니라 경쟁 상태에 있는 단말기들로 하여금 패킷을 전송하게 한다. 반면, 다원 접속 간섭에 의한 패킷 오류로 인하여 재전송 상태에 있는 단말기의 수가 TH_m 보다 많으면, 기지국에서는 재전송되는 단말기의 패킷 전송 지연을 줄이기 위하여 경쟁 상태에 있는 단말기들의 새로운 패킷에 대한 전송은 중단시키고, 재전송 상태에 있는 단말기들만 균등한 확률로 패킷을 전송하게 한다.

4. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 위하여 각 단말기들은 포아송 분포로 패킷을 발생시키고, 패킷의 크기는 슬롯의 길이와 동일하고, 432비트로 가정한다. CDMA 시스템의 처리이득은 64이고, E_b/N_0 는 15dB로 가정하였으며, 이 경우 시스템의 처리율을 최대로 유지하기 위한 단말기 수의 임계치 TH_m 는 12이다. 또한 각 단말기들의 평균 패킷 발생률(λ)을 얻기 위한 윈도우의 크기는 1,000슬롯으로 가정하였다.

본 논문에서는 처리율 및 처리율 공평 지수를 성능 분석의 매개변수로 사용하였다. 처리율은 한 슬롯동안 성공적으로 전송되는 패킷의 수를 나타낸다. 또한 처리율 공평 지수는 한 슬롯 동안 각 단말기들이 공평하게 성공적으로 전송할 수 있는 패킷의 수와 시뮬레이션을 통하여 측정된 성공한 패킷의 수에 대한 편차로 정의한다.

본 논문에서는 제안한 PB 기법의 성능을 분산형 백오프 기법인 HB(Harmonic Backoff) 기법과 비교하였다. HB 기법은 각 단말기들이 독립적으로 백오프를

위한 확률을 계산하여 패킷 전송을 시도하는 방법으로, 새로운 패킷이 발생하면 $P_1=1.0$ 의 확률로 전송을 시도한다[3]. 만일 전송에 실패하면 단말기들은 다음 식과 같이 독립적으로 전송 확률을 감소시킨다.

$$P_{i+1} = \frac{1}{P_i + 1}, i \geq 1 \quad (9)$$

그림 4와 5는 시스템 부하가 각각 10과 50인 경우, 각 단말기들의 처리율을 비교한 것이다. 비교적 적은 시스템 부하($G=10$)에서는 HB 기법과 PB 기법이 각 단말기들에게 거의 동일한 처리율을 제공한다. 반면 시스템 부하가 높은 경우($G=50$), 제안한 PB 기법은 각 단말기들에게 거의 동일한 처리율을 제공하지만, HB 기법은 처리율의 차이가 매우 크다. 이는 HB 기법에서는 재전송 상태의 단말기들은 전송 확률을 줄이므로 전송 허용이 되지 않고, 경쟁 상태에 있는 단말기들은 무조건 패킷 전송을 시도하기 때문이다.

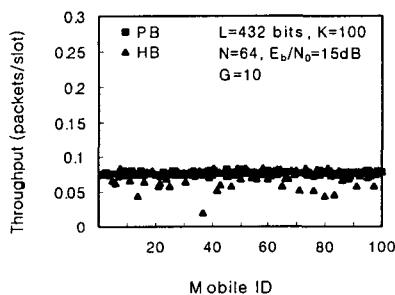
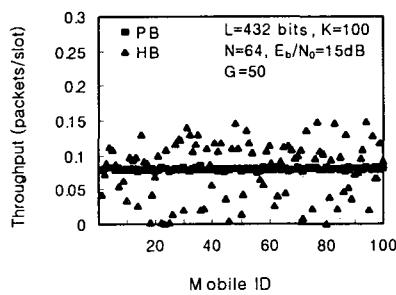
그림 4. 단말기별 처리율 ($G=10$)그림 5. 단말기별 처리율 ($G=50$)

그림 6은 시스템 부하에 따른 처리율 공평 지수를 비교한 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 PB 기법은 시스템 부하에 관계없이 모든 단말기들에게 공평한 처리율을 제공한다. 반면, HB 기법은 부하가 증가함에 따라 재전송 단말기들의 과도한 전송 억제로 인하여 공평 지수가 급격히 감소한다.

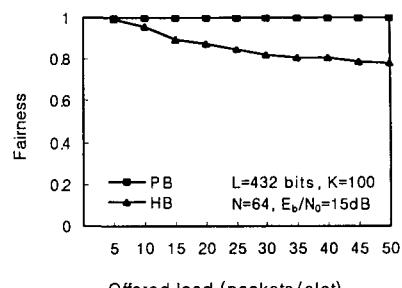


그림 6. 부하에 따른 공평 지수 비교

5. 결론

본 논문에서는 전용코드 방식의 CDMA S-ALOHA 시스템에서 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정한 수준이하로 유지시켜서 최적의 시스템 성능을 얻으면서 각 단말기들에게 공평한 패킷 전송을 보장하기 위한 백오프 기법을 제안하였고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 기법에서는 기지국이 매 슬롯마다 망의 부하에 따라 새로운 패킷과 재전송되는 패킷의 백오프를 위한 확률을 동적으로 계산하여 방송하고, 단말기에서는 수신한 확률을 기반으로 백오프를 시도한다.

[참고문헌]

- [1] E. Sousa, and J. A. Silvester, "Spreading code protocols for distributed spread-spectrum packet radio networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol.36, no.3, pp.272~280, Mar. 1988.
- [2] S. Choi, and K. 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.
- [3] C. V. Verikoukis, and J. J. Olimos, "Up-link performance of the DQRUMA MAC protocol in a realistic indoor environment for W-ATM networks," in *Proc. VTC2000*, pp.1650~1655, Sept. 2000.
- [4] J. F. Frigon, and V. C. M. Leung, "A pseudo-Bayesian ALOHA algorithm with mixed priorities," *ACM Wireless Networks*, vol.7, Issue 1, pp.55~63, Jan. 2001.