
슬롯 CDMA 환경에서 패킷 데이터 서비스를 위한 MAC 프로토콜

임인택*

MAC Protocol for Packet Data Service in Slotted CDMA Environment

In-Taek Lim*

요약

본 논문에서는 슬롯 CDMA 시스템에서 공평한 패킷 데이터 서비스를 위한 MAC 프로토콜을 제안한다. 슬롯 CDMA 시스템에서 동일한 슬롯에 전송되는 패킷들은 다원접속 간섭으로 작용하고, 이는 패킷 전송 실패의 주요 요인이 된다. 따라서 최적의 시스템 처리율을 얻기 위하여 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정하게 유지시킬 필요가 있다. 제안한 프로토콜에서는 기지국이 망의 부하에 따라 새로운 패킷과 재전송되는 패킷의 전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 수신한 확률을 기반으로 전송을 시도한다. 성능 분석의 결과, 제안한 기법은 각 단말기들이 독립적으로 전송 확률을 계산하여 접속 제어를 하는 기법에 비하여 우수한 처리율을 얻을 수 있었으며, 부하에 관계없이 각 단말기에게 공평한 패킷 전송을 보장함을 알 수 있었다.

ABSTRACT

This paper proposes an MAC protocol for fair packet data services in slotted CDMA system. In slotted CDMA system, the packets transmitted in the same slot act as multiple access interference, so that unsuccessful packet transmissions are entirely caused by multiple access interference. Therefore, in order to get the optimal system throughput, the number of simultaneously transmitted packets should be kept at a proper level. In the proposed protocol, the base station calculates the new and retransmitted packet transmission probability of mobile stations according to the offered load and then broadcasts these probabilities. Mobile stations, which have a packet, attempt to transmit packet with the received probabilities. Simulation results show that the proposed scheme can offer better system throughput than the conventional scheme, and guarantee a good fairness among all mobile stations regardless of the offered load.

키워드

MAC 프로토콜, 무선 ATM, 슬롯 CDMA

1. 서론

CDMA 기반 시스템에서 적용되는 확산코드 할당 방식은 단말기들이 패킷을 전송할 때 사용하는 확산코드에 따라 크게 공통코드 방식과 전용코드 방식으로 구분된다[1]. 공통코드 방식인 경우, 패

킷을 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, 전용코드 방식인 경우, 단말기들은 자

*부산외국어대학교 컴퓨터공학부

접수일자 : 2003. 5. 26

신에게 할당된 고유의 확산코드를 이용하여 패킷을 전송한다. 전용코드 방식의 슬롯 CDMA 시스템에서는 고유의 확산코드를 이용하여 패킷을 전송하므로 패킷 충돌로 인한 전송 실패는 없는 반면, 다원접속 간섭에 의한 비트 오류가 패킷 전송의 실패 요인이 된다.

한편, 알고리즘의 구현이 용이한 슬롯 ALOHA 기법을 CDMA 시스템에 적용하고, 새로운 패킷과 재전송되는 패킷을 고정된 확률로 전송 시도하는 경우의 슬롯 CDMA 시스템에 대한 많은 연구가 있어왔다[2][3][4]. 그러나, 고정 전송 확률 기법인 경우, 전송 확률을 높게 하면 망의 부하가 높아지고, 이에 따라 동시에 전송되는 패킷의 수가 많아져서 과도한 패킷 오류가 발생할 수 있다. 또한 전송 확률을 낮게 하면 지나친 전송 억제로 인하여 많은 단말기들이 전송 허용되지 않아서 시스템 성능이 저하되는 문제점이 있다.

이에 따라 단말기들의 전송 확률을 가변적으로 제어하는 기법들에 대한 많은 연구가 있어왔다 [5][8-10]. 이러한 대부분의 기법들인 경우, 새로운 패킷은 무조건 전송을 시도하고, 재전송되는 패킷은 단말기들이 독립적으로 일정하게 감소시킨 전송 확률로 전송을 시도한다. 그러나 이 방식은 시스템의 부하에 상관없이 전송에 실패한 단말기들이 전송 확률을 감소시키므로, 지나친 전송 억제로 인하여 시스템 처리율이 저하되는 단점이 있다. 따라서 슬롯 CDMA 시스템에서는 다원접속 간섭에 의한 패킷 오류를 줄이기 위하여 시스템 부하 기반의 전송 확률 제어 기법을 필요로 한다.

본 논문에서는 전용코드 방식의 슬롯 CDMA 시스템에서 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정한 수준이하로 유지시키기 위한 전송 확률 제어 기반의 MAC 프로토콜을 제안하고, 이에 대한 성능을 분석한다. 제안한 기법은 기존의 기법과는 달리, 기지국이 망의 부하에 따라 새로운 패킷과 재전송되는 패킷의 전송 확률을 계산하여 방송하고, 단말기에서는 수신한 확률을 기반으로 전송을 시도한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안하고자하는 MAC 프로토콜이 적용되는 시스템 모델을 기술하고, III장에서는 본 논문에서 제안

하는 기법을 설명한다. IV장에서는 제안한 기법에 대한 시뮬레이션 결과를 기술하고, 마지막으로 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

1. DS/CDMA의 비트 오류율

본 논문에서 고려하는 DS/CDMA 시스템의 비트 오류율은 다원접속 간섭을 가우시안 임의 변수로 가정하여 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[6].

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

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

위의 식에서처럼 DS/CDMA 시스템인 경우, 처리이득과 동시에 전송하는 단말기의 수인 다원 접속 간섭의 수는 비트 오류율에 커다란 영향을 미친다. 또한 이와 같은 비트 오류는 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 패킷을 전송하는 단말기의 수에 따라 전송에 성공

하는 단말기의 수를 나타낸 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 동시에 패킷을 전송하는 단말기의 수가 12개 이상인 경우, 다원접속 간섭에 의한 과도한 패킷 오류로 인하여 전송에 성공하는 단말기의 수가 급격히 감소한다.

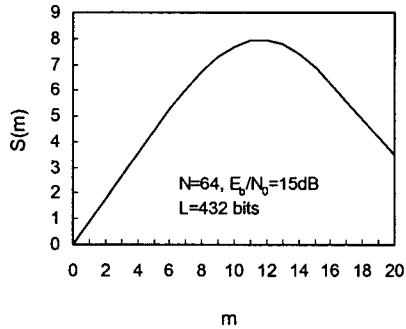


그림 4. CDMA 시스템의 처리율
Fig.1. Throughput of CDMA system.

2. 슬롯 CDMA 시스템의 접속 기법

본 논문에서 제안하는 프로토콜이 적용되는 슬롯 CDMA 시스템은 하나의 기지국과 K 개의 단말기로 구성된 중앙 집중형 시스템으로 가정한다. 각 단말기에는 발생하는 모든 패킷을 수용할 수 있는 충분한 크기의 버퍼가 있는 것으로 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 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 천이한다. 경쟁 상태에 있는 단말기는 다음 슬롯에서 전송 확률로 패킷을 전송하고 기지국으로부터 응답을 기다린다. 만일 경쟁 상태에서 전송한 패킷에 오류가 발생하거나 전송 허용이 되지 않을 경우, 해당 단말기는 재전송(RETX) 상태로 천이하고, 다음 슬롯에서 재전송 확률로 패킷 전송을 시도한다. 재전송 상태

에 있는 단말기는 패킷 전송이 성공할 때까지 계속하여 매 슬롯마다 재전송 확률로 전송을 시도한다. 한편, 전송에 성공한 단말기의 버퍼에 남은 패킷이 있으면 경쟁 상태로 천이하여 위의 과정을 반복하고, 아니면 휴지 상태로 천이한다.

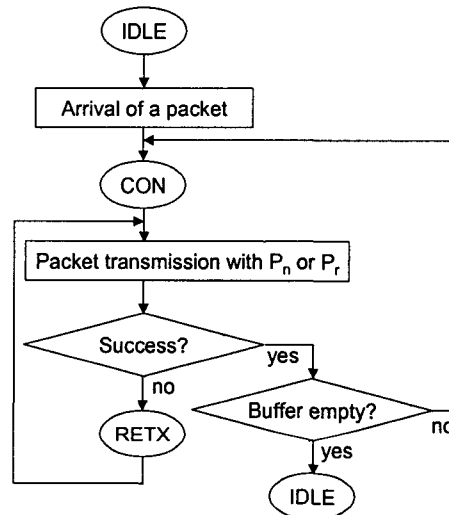


그림 2. 단말기의 동작 상태
Fig.2. Operation mode of mobile station.

III. 전송 확률 제어 기법

본 논문에서 제안하는 전송 확률 제어 기법인 PB(Proportional Backoff) 알고리즘을 위한 시스템 모델은 그림 3과 같다. 그림에서 나타낸 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.

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

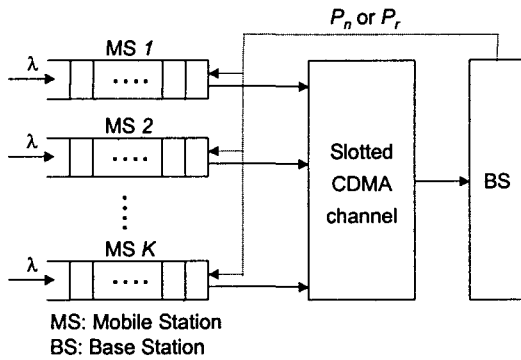


그림 3. 시스템 모델
Fig.3. System model.

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

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

여기서 TH_m 는 DS/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 $N_f(t)$ 와 슬롯 t 에서 전송 허용이 되지 않은 단말기 수 $N_b(t)$ 로 계산되며, 이는 다음과 같이 정의된다.

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

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.

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

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

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

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 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, 전송 확률과 재전송 확률을 모두 1로 하여 재전송 상태뿐만 아니라 경쟁 상태에 있는 단말기들로 하여금 패킷을 전송하게 한다. 반면, 다원접속 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.

IV. 성능 평가

본 논문에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 프로토콜의 성능을 분석하였다. 시뮬레이션을 위하여 각 단말기들은 포아송 분포로 패킷을 발생시키고, 패킷의 크기는 432비트로 슬롯의 길이와 동일하다고 가정한다. DS/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)를 얻기 위한 윈도우의 크기는 1,000슬롯으로 가정하였다.

본 논문에서는 성능 분석을 위하여 시스템 처리율, 평균 전송 지연, 및 처리율 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 처리율 공평지수는 한 슬롯 동안 각 단말기들이 공평하게 성공적으로 전송할 수 있는 패킷의 수에 대하여 시뮬레이션을 통하여 실제로 측정된 성공 패킷의 수에 대한 관계로써, 이는 다음과 같이 정의된다[7].

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

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

본 논문에서는 제안한 PB 알고리즘의 성능을 HB(Harmonic Backoff) 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[5]. 만일 전송에 실패하면 단말기들은 다음 식과 같이 독립적으로 전송 확률을 감소시킨다.

$$P_{i+1} = \frac{P_i}{P_i+1}, i \geq 1 \quad (10)$$

그림 4와 5는 본 논문에서 제안한 PB 알고리즘과 기존의 HB 알고리즘으로 전송 확률을 제어하는 기법에 대하여 시스템 부하에 따른 시스템 처리율 및 평균 전송 지연을 각각 비교한 것이다. 식 (10)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 4에서 나타난 바와 같이 본 논문에서 제안한 알고리즘보다 시스템 처리율이 떨어진다. HB 알고리즘인 경우, 재전송 상태에 있는 단말기들은 계속하여 전송 확률을 감소시키므로 많은 단말기들의 패킷 전송이 허용되지 않고, 이에 따라 그림 5에서처럼 평균 전송 지연은 제안한 PB 알고리즘에 비하여 증가한다.

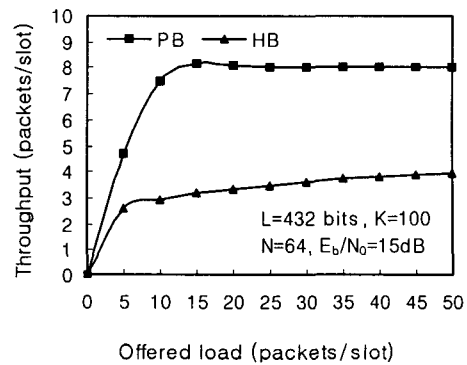


그림 4. 부하에 따른 시스템 처리율
Fig.4. Throughput vs. offered load.

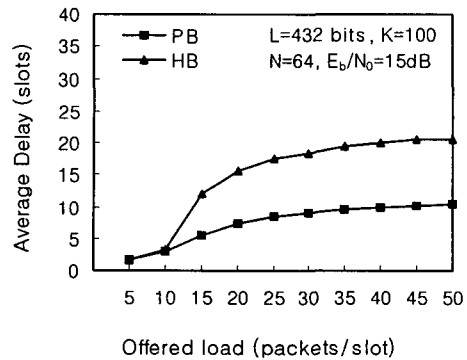


그림 5. 부하에 따른 전송 지연
Fig.5. Transmission delay vs. offered load.

그림 6과 7은 시스템 부하가 각각 10과 50인 경우, 각 단말기들의 처리율을 비교한 것이다. 비교적 적은 시스템 부하($G=10$)에서는 HB 알고리즘과 PB 알고리즘이 각 단말기들에게 거의 동

일한 처리율을 제공한다. 반면 시스템 부하가 높은 경우($G=50$), 본 논문에서 제안한 PB 알고리즘은 각 단말기들에게 거의 동일한 처리율을 제공하지만, HB 알고리즘에서의 단말기별 처리율 변동이 매우 심하다. 이는 부하가 높을 경우, HB 알고리즘에서는 재전송 상태에 있는 단말기들은 계속하여 전송 확률을 줄이므로 전송 허용이 되지 않고, 반면 새로운 패킷이 발생하여 경쟁 상태에 있는 단말기들은 무조건 패킷 전송을 시도하므로 재전송 상태 단말기들보다 우선적으로 전송 허용이 되기 때문이다.

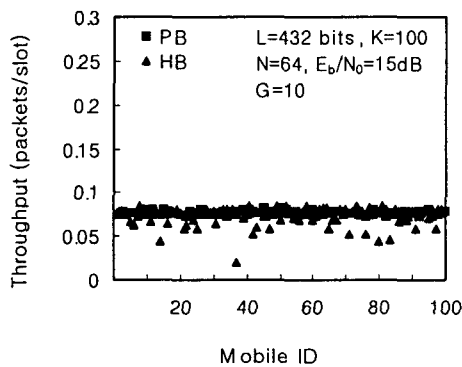


그림 6. 단말기별 처리율 ($G=10$)
Fig.6. Throughput of each mobile station($G=10$).

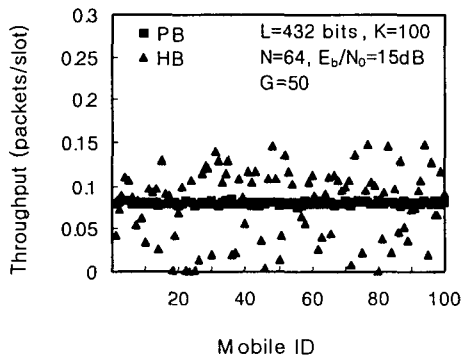


그림 7. 단말기별 처리율 ($G=50$)
Fig.7. Throughput of each mobile station($G=50$).

그림 8은 시스템 부하에 따른 처리율 공평 지수를 비교한 것이다. 그림에서 나타낸 바와 같이 PB 알고리즘은 시스템 부하에 관계없이 모든 단

말기들에게 공평한 처리율을 제공한다. 반면, HB 알고리즘은 부하가 증가함에 따라 재전송 단말기들의 과도한 전송 억제로 인하여 공평 지수가 급격히 감소한다.

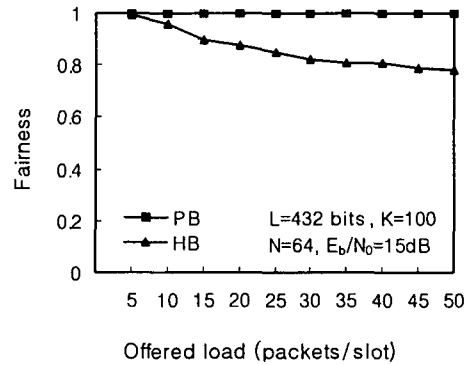


그림 8. 부하에 따른 공평 지수 비교
Fig.8. Fairness index vs. offered loads.

V. 결론

본 논문에서는 전용코드 방식의 슬롯 CDMA 시스템에서 동시에 전송되는 패킷의 수를 일정한 수준이하로 유지시켜서 최적의 시스템 성능을 얻으면서 각 단말기들에게 공평한 패킷 전송을 보장하기 위한 전송 확률 제어 기반의 MAC 프로토콜을 제안하였고, 이에 대한 성능을 분석하였다. 제안한 기법에서는 기지국이 매 슬롯마다 땅의 부하에 따라 새로운 패킷과 재전송되는 패킷의 전송 확률을 동적으로 계산하여 방송하고, 단말기에서는 수신한 전송 확률을 기반으로 전송을 시도한다.

성능 분석의 결과, 제안한 기법은 DS/CDMA 시스템에서 최대의 처리율을 얻을 수 있는 다원 접속 간섭의 수 이하로 동시에 전송되는 패킷의 수를 유지시킬 수 있었다. 이에 따라 제안한 PB 알고리즘은 각 단말기들이 독립적으로 전송 확률을 계산하여 패킷 전송을 시도하는 HB 알고리즘에 비하여 우수한 처리율을 얻을 수 있었으며, 시스템 부하에 관계없이 각 단말기에게 공평한 패킷 전송을 보장할 수 있었다.

참고 문헌

[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] H. Okada, T. Yamazato, M. Katayama, and A. Ogawa, "CDMA slotted ALOHA system with finite buffer," *IEICE Trans. Commun.*, vol.E81-A, no.7, pp.1473-1478, July 1998.

[3] 임인택, "광대역 무선 망에서 R_ALOHA 기법을 적용한 음성/데이터 통합 서비스 MAC 프로토콜," *한국해양정보통신학회 논문지*, 제 3권 제1호, pp.155-162. 1999.3.

[4] 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.

[5] 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.

[6] M. B. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread-spectrum multiple access communication - Part I: system analysis," *IEEE Trans. Commun.*, vol.COM-25, no.8, pp.795-799, Aug. 1977.

[7] T. W. Ban, et al., "A Fair access algorithm for packet data service in DS/CDMA-based slotted-ALOHA system," *Proc. VTC2000*, pp.1160-1164. 2000.

[8] Ch. 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.

[9] TIA/EIA/IS-95-A, "Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular systems," *Telecommun. Indust. Assn.*, May 1995.

[10] 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.

저자 소개



임인택(In-Taek Lim)

1984년 2월 울산대학교 전자계산학과 (공학사)

1986년 2월 서울대학교 계산통계학과 (이학석사)

1998년 2월 울산대학교 컴퓨터공학과 (공학박사)

1986년 1월~1993년 2월 : 삼성전자(주) 특수연구소 선임연구원

1993년 3월~1998년 2월 : 동부산대학 전자계산과 조교수

1998년 3월~현재 : 부산외국어대학교 컴퓨터공학부 조교수

※ 관심분야 : 무선 ATM망, 이동통신, MAC 프로토콜