

무선 데이터통신을 위한 CDMA_ALOHA 기법의 성능 분석

正會員 許 政 錫* 正會員 楊 成 龍* 正會員 李 正 泰**

Performance Evaluation of CDMA_ALOHA Techniques for Wireless Data Communications

Jeng Seok Heo*, Seong Ryong Yang*, Jung Tae Lee** *Regular Members*

要 約

최근에는 개인통신 시스템을 위한 다중 접속 기법으로 CDMA 방식이 활발히 연구되고 있다. 또한 다중 접속 방식을 제어하기 위한 기존의 ALOHA 프로토콜은 채널의 충돌로 인한 낮은 성능이 문제점으로 지적되어 왔으나 무선 패킷통신망에는 적합한 제어 기법으로 입증되어 왔다.

본 논문에서는 ALOHA 기법을 CDMA 기술로 구현한 S_CDMA_ALOHA 및 MS_CDMA_ALOHA 시스템의 성능을, 다양한 시스템 변수를 고려하여 해석적 방법으로 분석하고 시뮬레이션을 통하여 타당성을 입증하였다. 분석결과를 살펴볼 때 ALOHA 시스템의 최대 성능은 36% 정도이지만 S_CDMA_ALOHA 시스템은 58%, MS_CDMA_ALOHA 시스템은 90% 이상이었다. 특히 MS_CDMA_ALOHA 시스템은 과부하 상태에서도 처리율이 크게 저하되지 않았으며 지연특성도 상당히 개선됨을 알 수 있었다.

ABSTRACT

CDMA technique has been largely focused for Wireless Data Network and PCN. ALOHA protocol also has been proven to be effective for Packet Radio Network regardless of low throughput due to channel collisions. In this paper, we evaluate the performance of CDMA_ALOHA schemes, denoted as S_CDMA_ALOHA(Slotted_CDMA_ALOHA) and MS_CDMA_ALOHA(Minislotted_CDMA_ALOHA) system, by analytic and simulation method.

The superiority of the CDMA_ALOHA systems over conventional Slotted ALOHA system are clearly demonstrated for throughput, delay and stability performances. The MS_CDMA_ALOHA scheme provides better delay and throughput performance than the S_CDMA_ALOHA scheme.

*蔚山大學校 컴퓨터工學科
Dept. of Computer Engineering, University of Ulsan.

**釜山大學校 컴퓨터工學科
Dept. of Computer Engineering, Pusan, Nat'l University.

論文番號 : 9421

接受日字 : 1994年 1月 19日

I. 서 론

최근에 유, 무선 기술이 복합된 개인통신망(PCN; Personal Communication Network)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[1,2,3,4]. 이러한 개인 통신망을 실현하기 위한 다중 접속 방식으로는 FDMA, TDMA 및 CDMA 기법등이 검토되어 왔으나 최근에 TDMA 나 CDMA 기법을 중심으로 연구 및 표준화가 추진중에 있다^[4,5]. 그러나 TDMA 기법이 시간과 같은 물리적 자원에 제한을 받는 점에 비하여 CDMA 기법은 비교적 용이하게 채널을 제공할 수 있는 점과 셀 계획(Cell Planning)이 상대적으로 쉽다는 잇점 때문에 최근에는 이 방식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^[6,7,8,9,10].

한편 무선 데이터 서비스를 위한 패킷 라디오망의 MAC(Media Access Control) 프로토콜 중에서 ALOHA 방식은 알고리즘이 간단하여 구현하기 쉽지만 트래픽의 증가에 따라 처리율이 급격히 떨어지는 단점이 있었다. 그러나 이를 CDMA 다중채널 접속 기술에 적용(이하 CDMA_ALOHA 기법이라 함)할 경우 ALOHA 방식의 간편성을 살릴 수 있고, 높은 처리율을 얻을 수 있다^[11,12,13,14].

CDMA_ALOHA 방식은 각 슬롯의 시작점에서만 패킷을 전송할 수 있는 S_CDMA_ALOHA 방식을 중심으로 연구되어 왔으나, 최근에는 확산코드의 매칩(chip; 그림3 참조)의 시작점에서 패킷을 전송할 수 있는 MS_CDMA_ALOHA 방식이 제안되었다^[15]. 그러나 이들방식은 밝은 전망에 비하여 그 성능 분석이 제대로 이루어지지 못한 실정이다.

본 연구에서는 S_CDMA_ALOHA와 MS_CDMA_ALOHA 시스템의 성능들을, 다양한 시스템 변수를 고려하여 분석하였다.

본 논문은 5장으로 구성되어 있으며 2장에서는 S_CDMA_ALOHA 및 MS_CDMA_ALOHA 프로토콜을 설명하였고, 3장에서 각 프로토콜에 대한 해석적 모델을, 4장에서 성능해석 및 시뮬레이션을 통한 분석 결과를 기술하였으며, 5장에서는 결론을 제시하였다.

II. 시스템 구성

본 논문에서 성능을 분석하고자 하는 CDMA_ALOHA 시스템은 그림 1과 같이 N개의 사용자 터미널과 하

나의 BS(Base Station)로 구성된 단일 셀 시스템이다. 사용자 터미널들은 BS로 데이터를 전송하기 위해 M개의 채널을 공유한다. M개의 채널은 서로 직교(Orthogonal)하는 M개의 확산부호(PN Code)에 의해 제공되며 각각의 PN 코드는 자기상관계 특성(Auto-correlation Property)을 가진다^[16]. 사용자 터미널들은 데이터를 전송하기 위해 M개의 PN 코드 중 하나를 무작위로 선택하여 데이터를 확산(Spread)시켜 전송하고 수신기는 송신기에서 사용된 것과 같은 PN 코드를 가지고 데이터를 복원시킨다. BS에는 R개의 수신기가 있고 이들 수신기는 라디오 부(Radio Section)와 디지털 부(Digital Section)로 구성된다.

한편 각 패킷들은 그림2와 같이 프리앰블(Preamble), 헤더(Header), 데이터, 검사합계(Checksum) 부로 구성된다^[19]. 프리앰블 부는 수신기가 반송 에너지(Carrier Energy)를 감지하고 상관기(Correlator)들이 PN 코드를 인식(PN Code Acquisition)하기 위하여 수신기의 라디오 부에서 사용된다. 프리앰블 부를 이용하여 PN 코드를 인식하면 헤더, 데이터, 검사합계 부는 수신기의 디지털 부에 연결되어 패킷의 나머지 부분을 복원한다. 프리앰블 부의 길이는 상관기 구조에 따라 시스템 설계시 결정된다.

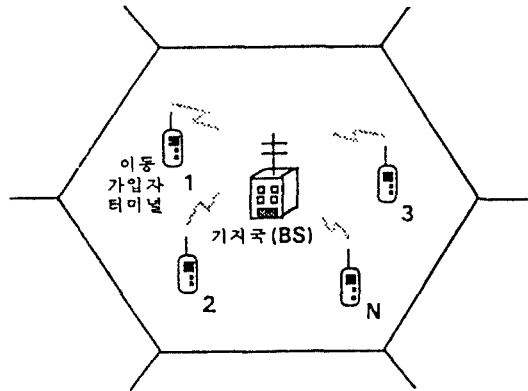


그림 1. CDMA_ALOHA 기법을 이용한 무선 데이터 통신 시스템

Fig. 1. CDMA_ALOHA Wireless Data Communication System

프리앰블	헤더	데이터	검사합계
------	----	-----	------

그림 2. 패킷 구조
Fig. 2. Packet Format

2.1 S-CDMA-ALOHA 시스템

S-CDMA-ALOHA 시스템은 M개의 PN 코드(C_1, C_2, \dots, C_M) 중에서 하나를 무작위로 선택하여 데이터를 확장시키고 그림3.a에 제시된 바와같이 각 슬롯의 시작점에서 전송한다. 이때 슬롯은 일정한 크기의 패킷이 전송되는 시간이며 수신기는 송신기와 슬롯 단위로 동기되어 있다. 수신측의 PN 코드 인식기(PN Code Acquisition Device)는 PN 코드들간의 상호상관관계 특성(Cross-correlation Property)을 이용하여 프리앰블 기간동안 송신측에서 사용한 PN 코드를 인식한다. 수신기는 이렇게 인식된 PN 코드를 이용하여 패킷의 나머지 부분을 복원시킨다.

이때 S-CDMA-ALOHA 시스템에서는 서로 다른 사용자가 동일한 PN 코드를 선택하면 충돌(Collision)이 발생된다. 따라서 사용자가 패킷 전송에 실패할 경우는 채널 충돌이 발생되거나 이용 가능한 수신기가 없는 경우이다. 그림3.a에서 볼때 가입자 A, B, D는 충돌상태이고 가입자 C는 다른 PN코드로 확산시키기 때문에 성공적으로 패킷전송을 완료할 수 있다. S-CDMA ALOHA 시스템에서는 패킷 전송이 실패할 경우 해당 패킷이 전달되는 슬롯 기간동안 시스템 자원(채널, 수신기)이 점유된다. 한편 S-CDMA-ALOHA 시스템에서 수신기의 수는 최대 채널의 수만큼 가질 수 있으며 그 이상의 수신기는 시스템 처리율의 향상에 영향을 미치지 않는다.

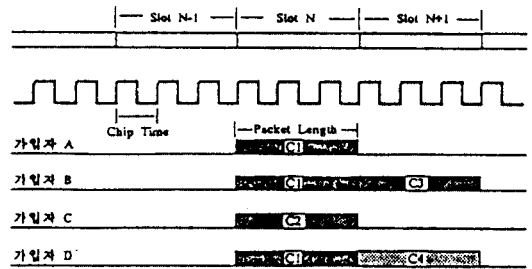
2.2 MS-CDMA-ALOHA 시스템

S-CDMA-ALOHA 시스템은 각 슬롯의 시작점에서만 패킷의 전송을 시도할 수 있는 반면에 MS-CDMA-ALOHA 시스템은 그림 3.b와 같이 각 칩의 시작점에서 전송을 시도할 수 있는 점이 다르다. PN 코드는 코드들간(C_1, C_2, C_M) 상호상관관계 특성(Cross-correlation Property)을 가지고 있으며, 하나의 코드열 코드열 내에서는 자기상관관계 특성(Auto-correlation Property)을 가지고 있다. S-CDMA-ALOHA 시스템에서는 PN 코드의 상호상관관계 특성만을 이용한 반면, MS-CDMA-ALOHA 시스템에서는 PN

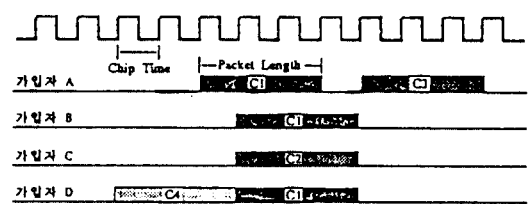
코드의 상호상관관계 특성과 자기상관관계 특성을 이용하여 둘 이상의 사용자가 동일한 PN 코드를 선택 하더라도 전송시점이 하나의 칩 이상 차이가 나면 수신측에서 서로 다른 PN 코드로 인식하여 구분할 수 있다^[2,3].

MS-CDMA-ALOHA 시스템에서는 보낼 패킷이 있으면 칩의 시작점에서 전송을 시작한다. 이때 둘 이상의 사용자가 동일한 PN 코드를 선택하고 동일한 칩의 시작점에서 전송을 시도하면 충돌이 발생한다. 따라서 MS-CDMA-ALOHA 시스템에서 사용자가 패킷의 전송에 실패할 경우는 채널충돌 또는 이용 가능한 수신기가 없을 경우이다. 그림3.b에서 볼때 가입자 A와 B는 동일한 PN코드를 사용하지만 전송 시작점이 다르기 때문에 서로 충돌하지 않는다.

MS-CDMA-ALOHA 시스템에서 수신기는 칩 단위로 송신기와 동기를 맞추어야 하며 S-CDMA-ALOHA 시스템과 마찬가지로 PN 코드를 인식하면 이용 가능한 수신기를 배정하여 패킷의 나머지 부분을 복원한다. 이 시스템의 수신기 수는 최대 사용자 수와 같으며 그 이상으로 수신기를 추가하여도 성능은 향상되지 않는다.



a. S-CDMA-ALOHA 시스템의 동작



b. MS-CDMA-ALOHA 시스템의 동작

그림 3. CDMA-ALOHA 시스템의 동작
Fig. 3. Time Structure for CDMA-ALOHA Protocols

III. 성능해석

S_CDMA_ALOHA 시스템에서는 사용자가 한개의 패킷을 성공적으로 전송하고 난 후, 다음 슬롯에 새로운 패킷을 발생시킬 확률을 λ_L 이라고 하자. 한편 전송에 실패할 경우 사용자는 재전송 상태(Backlogged State)에 들어가게 되고 재전송 상태에 있는 사용자는 P_{rL} 의 확률로 다음 슬롯에서 재전송을 시도한다고 가정하자. 한편 MS_CDMA_ALOHA 시스템에서는 N개의 사용자가 칩마다 λ_c 의 확률로 새로운 패킷을 발생시키고, 전송에 실패하여 재전송 상태에 있는 사용자는 매 칩마다 P_{rL} 의 확률로 재전송을 시도하며, 한 패킷 길이는 일정하게 L개의 칩으로 구성된다고 가정하자. 이와 같은 가정하에서 S_CDMA_ALOHA 시스템과 MS_CDMA_ALOHA 시스템에서 단위 시간(슬롯, 칩시간)당 가해지는 시스템 부하 $G(bn)$, 즉 평균 전송 시도율은 다음과 같다.

$$G(bn) = (N - bn)\lambda + bn \cdot Pr \quad (1)$$

bn : 재전송 상태에 있는 사용자 수

λ : 패킷 전송 시도 확률

(λ_L : S_CDMA_ALOHA, λ_c : MS_CDMA_ALOHA)

Pr : 패킷 재전송 시도 확률

(P_{rL} : S_CDMA_ALOHA, P_{rC} : MS_CDMA_ALOHA)

3.1. S_CDMA_ALOHA 시스템

이제 S_CDMA_ALOHA 시스템의 성능을 분석하기 위하여 해석적 모델을 유도해 보자^[9,11,12,14]. 슬롯의 종료시점 t에서 재전송 상태에 있는 사용자 수 $x(t)$ 를 시스템 상태로 보면, $x(t)$ 는 일차원 유한 상태 마르코브 체인(Markov Chain)으로 표현 될 수 있다. 임의의 슬롯 기간에 j 상태(재전송 상태에 있는 사용자 수가 j개인 상태)에 있는 시스템이 n개의 패킷을 전송하고자 시도하여 그중 C_s 개를 성공적으로 전송하였다면, 다음 슬롯에서 k 상태로 바뀔 전이 확률(Transition Probability) P_{jk} 는 다음과 같이 주어진다^[15].

$$P_{jk} = \sum_{n=0}^N \sum_{a=0}^{\min(M,n)} \binom{j}{n-a} P_r^{n-a} (1-p_r)^{j-n+a} \binom{N-j}{a} \lambda^a (1-\lambda)^{N-j-a} S(C_s | n, M, R) \quad (2)$$

여기서 $0 \leq j \leq N$, $0 \leq k \leq N$, $a = k - j + C_s$

n : 동시에 전송을 시도한 패킷 수

a : 새로 도착되어 전송이 시도된 패킷 수

$S(C_s | n, M, R)$: M개의 채널과 R개의 수신기가 있는 시스템에서 전송한 n개의 패킷 중에서 C_s 개가 성공할 조건부 확률

상기식에서 $\binom{j}{n-a} P_r^{n-a} (1-p_r)^{j-n+a}$ 은 재전송 상태에 있는 j개의 사용자중에서 $n-a$ 개가 재전송을 시도할 확률을 의미하며, $\binom{N-j}{a} \lambda^a (1-\lambda)^{N-j-a}$ 는 $N-j$ 개의 사용자중에서 a개의 사용자가 새로 도착된 패킷을 전송할 확률을 의미한다. 한편 조건부 확률 $S(C_s | n, M, R)$ 은 식 (3)과 같이 재귀적(Recursive)으로 구할 수 있다^[15].

$$S(C_s | n, M, R) = \left(1 - \frac{1}{M}\right)^n S(C_s | n, M-1, R) + \sum_{j=1}^n \binom{n}{j} \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{n-j} \left(\frac{1}{M}\right)^j [\gamma_j S(C_s - 1 | n-j, M-1, R-1) + (1-\gamma_j) S(C_s | n-j, M-1, R-1)] \quad (3)$$

$$\text{여기서 } \begin{cases} \gamma_j = 1 \\ \gamma_j = 0, & j \neq 1 \end{cases}$$

상기식에서 γ_j 는 j개의 패킷이 임의의 채널을 선택하여 전송을 시도하고, 그 중 한개의 패킷이 성공적으로 전송될 확률이다. 식(3)의 첫번째 항은 n개 패킷이 M개의 채널중에서 첫번째 채널을 모두 선택하지 않을 확률이며, $\binom{n}{j} \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{n-j} \left(\frac{1}{M}\right)^j$ 는 n개중에서 j개가 M개의 채널중에서 첫번째 채널을 선택할 확률이다. 한편 식(3)에 주어진 $S(C_s | n, M, R)$ 의 초기 조건은 다음과 같다.

$$S(0|1, M, R) = 1 - \gamma_1, \quad S(1|1, M, R) = \gamma_1,$$

$$M \geq 1, R \geq 1$$

$$S(0|n, 1, R) = 1 - \gamma_n, \quad S(1|n, 1, R) = \gamma_n,$$

$$n \geq 1, R \geq 1$$

$$S(k|n, M, R) = 0, \quad k > n \geq 0, \text{ or } k > M \geq 0, \text{ or}$$

$$k > R \geq 0, \text{ or } k, M, n < 0$$

이상과 같이 P_{jk} 가 구해지면 정상상태확률(Steady-state Probability) Π 는 방정식(4)에 의해 구해진다 [17].

$$\Pi = \Pi P \tag{4}$$

여기서 $\sum_{i=0}^N \pi_i = 1$

따라서 시스템 처리율(System Throughput) S 는 슬롯 기간동안에 발생하는 평균 패킷 수가 되며 식(5)와 같이 주어진다.

$$S = \lambda(N - \sum_{i=0}^N i \pi_i) \tag{5}$$

한편 패킷지연 시간을 패킷이 발생된 시간부터 성공적으로 전송이 완료 될때까지 걸린 시간으로 정의할 경우(전파지연 시간을 무시), 평균패킷지연을 D 라고 하면 정상상태에서 한개의 패킷을 발생시켜 전송을 완료하는데 $\frac{1}{\lambda} - 1 + D$ 가 된다. 따라서 슬롯기간으로 표현되는 평균패킷지연 시간 D 는 식(6)과 같이 표시된다 [15].

$$D = \frac{N}{S} - \frac{1}{\lambda} + 1 \tag{6}$$

3.2. MS_CDMA_ALOHA 시스템

S_CDMA_ALOHA 시스템의 성능해석 모델에서는 슬롯단위는 시스템의 상태가 변하므로 슬롯의 종료시 시스템의 상태는 재전송 상태에 있는 사용자의 수와 새로운 패킷을 발생시킬 수 있는 사용자의 수로 정의된다. 따라서 S_CDMA_ALOHA 시스템은 일차원 마르코브 체인으로 해석이 가능하였다. 그러나 MS_CDMA_ALOHA 시스템은 매 칩의 종료시점에서 시스템의 상태가 변하며 다음과 같은 상태변수에 의해 시스템 상태가 정의된다.

- ① 재전송 상태에 있는 사용자 수 $\{X_t\}$
- ② 성공적으로 패킷을 전송중에 있는 사용자 수 $\{y_t\}$
- ③ 채널충돌이 발생되었으나 이를 인식하지 못하고 패킷을 전송중에 있는 사용자 수 $\{Z_t\}$
- ④ 패킷을 채널충돌없이 전송중이나 수신기 부족으로 수신기를 할당받지 못한 사용자 수 $\{Q_t\}$

그리고 새로운 패킷을 발생시킬 수 있는 사용자 수는 상기 상태변수가 결정되면 자동적으로 정의될 수 있다. 즉 새로운 패킷을 발생시킬 수 있는 사용자 수는 전체 사용자 수에서 상기 네가지 상태에 있는 사용자 수를 제외하면 구할 수 있다.

MS_CDMA_ALOHA 시스템의 성능을 정확히 분석하려면 상기 네가지 상태변수가 모두 고려되어야 하므로 해석적 모델을 구하는 과정은 매우 어려운 문제가 된다. 따라서 Zhang은 MS_CDMA_ALOHA 시스템을 충돌이 없는 예약 시스템으로 가정하고 수신기 수에 제한이 없다는 가정하에 상기 ①, ②항만을 고려하여 해석적 모델을 유도하였다 [15]. 즉 재전송 상태에 있는 사용자 수가 j 개이고 패킷을 성공적으로 전송중에 있는 사용자 수가 i 개인 상태에서 n 개의 패킷을 전송하고자 시도하여 C_s 개를 성공하고 난 후 재전송 상태에 있는 사용자 수가 k , 패킷을 성공적으로 전송중에 있는 사용자 수가 l 개인 상태로 천이할 확률 P_{ijk} 를 구하면 식(7)과 같다.

$$P_{ijk} = \sum_{n=0}^{N-i} \sum_{c_s=0}^{\min(M-i, R-i, n)} \binom{j}{n-a} P_r^{n-a} (1-p_r)^{j-n+a} \binom{N-i-j}{a} \lambda^a (1-\lambda)^{N-i-j-a} \binom{i}{l-c_s} q^{c_s+i-l} (1-q)^{l-c_s} S(c_s | n, M, R-i) \tag{7}$$

여기서

$$0 \leq i \leq \min(M, R), 0 \leq j \leq N-i, 0 \leq l \leq \min(M, R), 0 \leq k \leq N-l, q = \frac{1}{L}$$

Zhang이 제시한 수식에서는 사용 가능한 채널이 $M-i$ 개이고 해당 칩 기간에 성공적으로 전송을 시작한 사용자가 그 칩의 종료시점에서 전송을 완료할 확률을 q 로 보고 있으나, MS_CDMA_ALOHA 시스템에서는 사용중인 PN 코드일지라도 다른 사용자가 사용한 수 있고 또한 성공적으로 전송을 시작한 사용자는 그 칩의 종료시점에서는 전송을 완료하지 않기 때문에 그 다음 칩부터 q 의 확률로 전송을 완료하는 것으로 보는 것이 타당하므로 이 점을 고려하여 Zhang의 수식을 수정하였다.

상기식에서 $S(C_s | n, M, R-i)$ 는 식(3)을 이용하여 구할 수 있다. P_{ijk} 가 구해지면 식(4)을 이용하여 다음 식과 같이 시스템 처리율을 구할 수 있다.

$$S = \sum_j (N-i-j) \lambda \pi_{ij} \quad (8)$$

식(7)과 같이 Zhang의 모델에 기반을 둔 방식에서는 앞서 제시한 ③항의 상태변수가 고려되지 않았다. 그러나 MS_CDMA_ALOHA 시스템에서는 충돌한 패킷을 전송중 일지라도 시스템의 자원을 점유하고 있으므로 이를 고려하여야만 보다 정확한 성능 평가가 가능하다.

따라서, 이제부터는 충돌한 패킷을 전송중인 사용자 수도 고려하여 성능을 분석해 보자(단, 수신기의 수는 제약이 없는 것으로 가정). 칩 기간의 종료시점에서 시스템의 상태는 $\{x_t, y_t, z_t\}$ 로 표시되고 이는 3차원 마르코브 체인으로 정의된다. 칩의 종료시점에서 시스템 상태가 $\{x_t=i, y_t=j, z_t=s\}$ 에서 $\{x_{t+1}=l, y_{t+1}=k, z_{t+1}=t\}$ 로 변하는 전이확률을 구하면 식(9)와 같다.

$$P_{ijstkt} = \sum_{n=0}^{N-i-s} \sum_{c_s=0}^{\min(M, R-i-s, n)} \binom{j}{n-a} P_r^{n-a} (1-p_r)^{j-n+a} \binom{N-i-j-s}{a} \lambda^a (1-\lambda)^{N-i-j-s-a} \binom{i}{l-c_s} q^{c_s+i-l} (1-q)^{l-c_s} \binom{s}{t-u_s} q^{s-t+u_s} (1-q)^{t-u_s} S(c_s | n, M, R-i-s) \quad (9)$$

여기서

$$u_s = n - c_s$$

$$a = k - j - s + t + c_s$$

$$0 \leq i \leq \min(N, R), \quad 0 \leq j \leq N-i, \quad 0 \leq s \leq \min(N, R)$$

$$0 \leq l \leq \min(N, R), \quad 0 \leq k \leq N-l, \quad 0 \leq t \leq \min(N, R)$$

위 식에서 $\binom{i}{l-c_s} q^{c_s+i-l} (1-q)^{l-c_s}$ 항은 칩의 종료 시점에서 성공적으로 전송중에 있는 i 개의 사용자 중에서 $l-c_s$ 개는 계속적으로 패킷을 전송중인 상태를 유지하고 $i-(l-c_s)$ 개는 전송이 완료될 확률을 의미한다. 또 $\binom{s}{t-u_s} q^{s-t+u_s} (1-q)^{t-u_s}$ 항은 현재 충돌한 패킷을 전송중인 s 개의 사용자 중에서 $t-u_s$ 개가 칩의 종료 시점에서 계속하여 충돌한 패킷을 전송할 확률이다. 상기식에서 $S(c_s | n, M, R-i-s)$ 는 식(3)을 이용하여 구할 수 있고, 이를 이용하여 칩 기간

당 시스템 처리율과 평균지연을 구하면 식(10)(11)과 같다.

$$S = \sum_{\substack{i \\ u_s}} (N-i-j-s) \lambda \pi_{ijs} \quad (10)$$

$$D = \frac{N}{S} - \frac{1}{\lambda} + 1 \quad (11)$$

IV. 시뮬레이션 결과 및 성능비교

본 논문에서는 3장에서 유도한 수식의 타당성을 확인하기 위하여 시뮬레이션을 수행하고 그 결과를 비교하였다. 일차원 마르코브 체인으로 모델링한 S_CDMA_ALOHA 시스템의 해석적 모델과 2차원 및 3차원 마르코브 체인으로 모델링한 MS_CDMA_ALOHA 시스템의 성능해석 모델들에 대한 계산은 METLAB [18] 소프트웨어를 이용하여 수행하였다. 그림4는 S_CDMA_ALOHA 방식의 성능을 보여주고 있는데 해석적 모델에 의한 계산 결과가 시뮬레이션 결과와 거의 일치함을 알 수 있다. 기존의 슬롯 ALOHA 시스템의 최대 성능이 36% 수준임을 고려해 볼 때 S_CDMA_ALOHA 시스템은 상당히 개선된 성능을 보여 주고 있다.

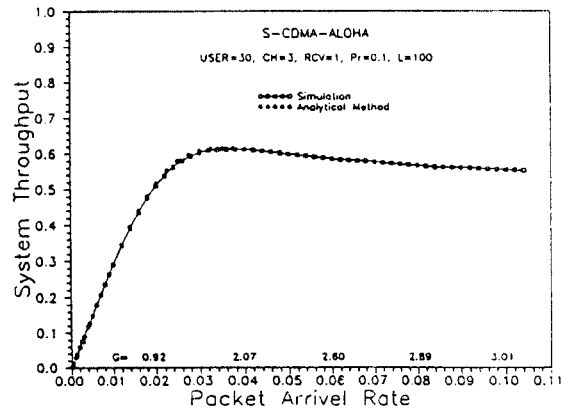


그림 4. S_CDMA_ALOHA 시스템의 패킷 도착율에 대한 시스템 처리율

Fig. 4. Throughput vs. Packet Arrival Rate for S_CDMA_ALOHA System

그림5는 MS_CDMA_ALOHA 방식에서, 패킷 도착률에 대한 시스템 처리율을 보여주고 있다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 MS CDMA ALOHA 방식의 최대 성능이 90% 이상임을 고려해 볼때 무선 데이터 통신용 프로토콜로 매우 적합함을 알 수 있다. 또 MS CDMA ALOHA 방식은 기존의 ALOHA 방식과는 달리 부하가 증가하여도 안정적인 처리율을 유지하고 있다. 그림5에서는 식(7)과 식(9)에서 제시한 모델을 이용하는 경우 및 시뮬레이션을 통하여 얻은 값을 함께 보여주고 있다. 특히 충돌 상태인 패킷을 전송중인 상용자를 고려한 식(9)의 해석적 결과와 시뮬레이션 결과가 매우 근접하고 있어 식(7)보다 비교적 정확하게 시스템을 표현하는 해석적 모델을 알 수 있다.

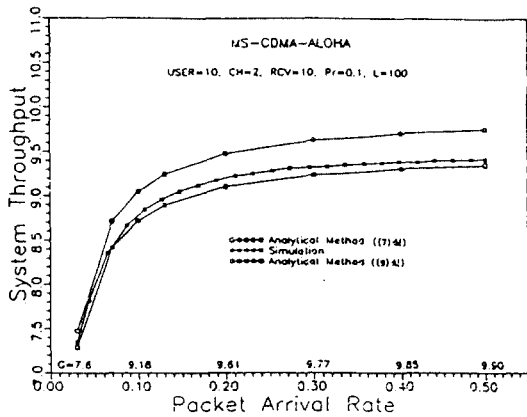


그림 5. MS_CDMA_ALOHA 시스템의 패킷 도착률에 대한 시스템 처리율

Fig. 5. Throughput vs. Packet Arrival Rate for MS CDMA ALOHA System

식(9)에서 제시한 모델은 MS_CDMA_ALOHA 시스템을 비교적 정확히 모델링하고 있지만 3차원 마르코프 과정이 되어 계산과정이 복잡하다. 예를들면, 사용자 수가 30, 채널 수가 5개, 수신기 수가 10개인 경우 크기가 3916×3916인 배열을 취급해야 한다. 따라서 본 논문에서는 다양한 시스템 변수를 고려한 성능평가의 시뮬레이션을 통하여 수행하였다. 그림6과 7은 CDMA ALOHA 시스템들의 시뮬레이션에 의한 성능평가를 보여주고 있다. 각 방식간 공평한 비교를 위해 $\lambda_i = 1 - (1 - \lambda_c)^i$, $P_{ni} = 1 - (1 - P_{ci})^i$ 을 유지시

키면서 시뮬레이션을 실시 하였다. 이 그림에서 제시된 슬롯 ALOHA(S_ALOHA) 시스템의 성능은 비교를 목적으로 기존에 알려진 결과를 인용하였다. 그림 6에서 MS_CDMA_ALOHA 시스템은 타 방식에 비하여 우수한 성능을 보여주고 있으며 과부하 상태에서도 성능이 저하되지 않고 안정적으로 동작하고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 CDMA ALOHA 시스템들의 지연특성에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있는데 S_CDMA_ALOHA 시스템은 과부하 상태가 되면 기하급수적으로 지연이 증가 되지만 MS_CDMA_ALOHA 방식은 개선된 지연특성을 유지하고 있음을 알 수 있다.

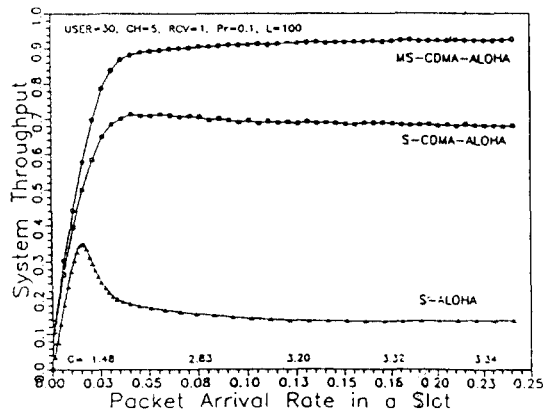


그림 6. 제공된 부하에 대한 시스템 처리율
Fig. 6. Throughput vs. Offered Load

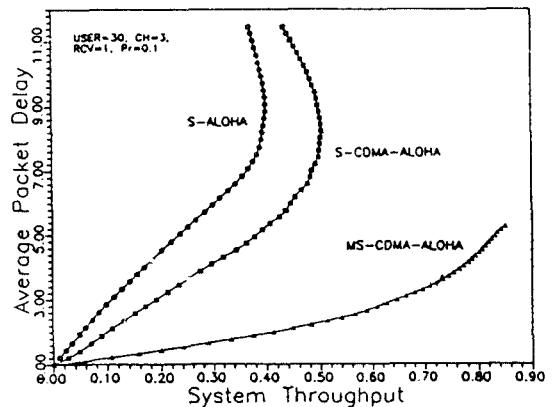


그림 7. 시스템 처리율에 대한 지연 특성
Fig. 7. Delay vs. System Throughput

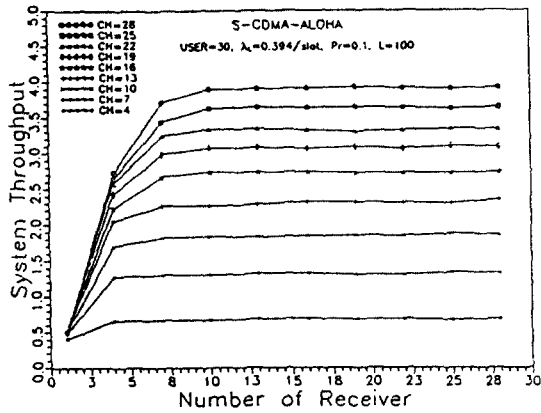


그림 8. S_CDMA_ALOHA 시스템에서 수신기 수에 대한 시스템 처리율
 Fig. 8. Throughput vs. Number of Receivers for S_CDMA_ALOHA System

그림 8, 9, 10 및 11은 채널 수와 수신기가 시스템 성능에 끼치는 영향을 보여주고 있다. 그림8과 9에서 볼 때 수신기 수는 어느 일정 수준을 초과하면 시스템 성능에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 그림8와 9에서 볼 때 S_CDMA_ALOHA 시스템일 경우 시스템 성능은 채널 수에 민감하다. 이것은 채널 충돌확률이 높기 때문에 채널 수를 늘리면 성능을 향상시킬 수 있음을 의미한다. 그러나 그림10과 11에서 볼 때 MS_CDMA_ALOHA 시스템에서는 시스템의 성능이

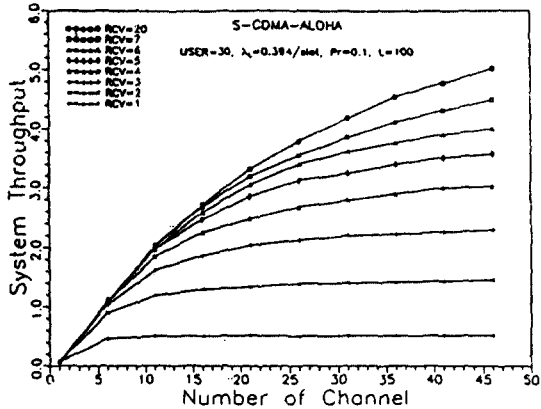


그림 9. S_CDMA_ALOHA 시스템에서 채널수에 대한 시스템 처리율
 Fig. 9. Throughput vs. Number of Receivers for MS_CDMA_ALOHA System

채널 수에 민감하지 않음을 알 수 있다. 이것은 MS_CDMA_ALOHA 시스템이 S_CDMA_ALOHA 시스템의 경우보다 충돌확률이 낮다는 것을 의미한다. 따라서 MS_CDMA_ALOHA 시스템에서는 채널 수의 증가가 시스템의 성능 향상에 크게 기여하지 못함을 알 수 있다.

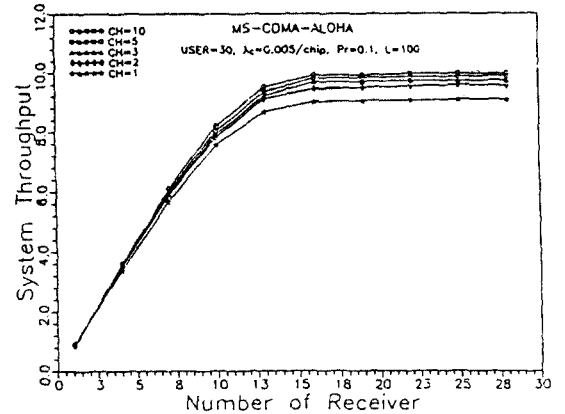


그림 10. MS_CDMA_ALOHA 시스템에서 수신기 수에 대한 시스템 처리율
 Fig. 10. Throughput vs. Channels for S_CDMA_ALOHA System

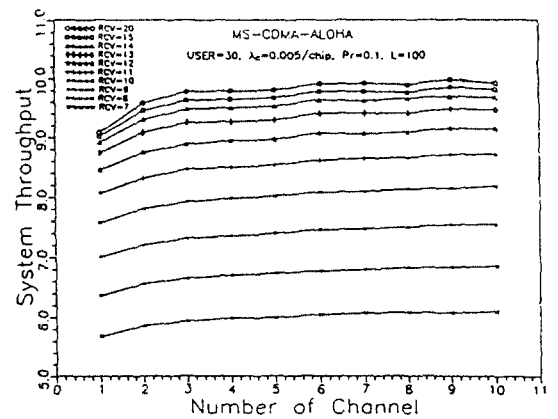


그림 11. MS_CDMA_ALOHA 시스템에서 채널수에 대한 시스템 처리율
 Fig. 11. Throughput vs. Channels for MS_CDMA_ALOHA System

V. 결 론

무선 데이터 통신 및 PCN에 대한 수요증가로 이들 통신망에 사용될 수 있는 MAC 프로토콜의 필요성이 대두되고 있다. 기존의 프로토콜에는 여러가지가 있지만 무선의 특성상 ALOHA 방식이 집중 지목되어 왔으나 최대 효율이 36% 이하인 점이 단점으로 지적되어 왔다. 한편 최근에는 CDMA 기법에 의해 채널을 제공하고 이들 채널의 제어 기법으로서는 ALOHA 프로토콜을 적용한 연구가 진행되어 있다. 본 논문에서는 이들 CDMA ALOHA 기법으로서 매 슬롯의 시작점에서 전송을 시도하는 S-CDMA ALOHA 시스템과 매 칩의 시작점에서 전송을 시도하는 MS-CDMA ALOHA 시스템에 대하여 해석 및 시뮬레이션 방법으로 성능을 분석하였다. 즉 S-CDMA ALOHA 시스템과 MS-CDMA ALOHA 시스템의 성능을 1차원 및 3차원 마르코프 체인으로 해석하고 시뮬레이션을 수행하여 제시된 모델이 타당함을 입증하였다.

본 논문에서는 수신기 수, 채널 수 등의 시스템 변수와 성능과의 관계를 아울러 분석하였다. 먼저 수신기 수에 따른 시스템 성능 변화를 보면 수신기 수에 따라 성능이 향상되나 수신기가 어느 일정수 이상이 되면 성능향상에 기여하지 못한다. 이는 본 연구에서 적용한 트래픽 도착모델에서 가입자 수와 패킷 발생률에 따라 동시에 전송중에 있는 패킷수의 분포와 관련이 있으며 동시에 전송중인 최대 패킷수 이상의 수신기는 성능향상에는 무관하기 때문이다. 또한 채널 수 변화에 따른 성능변화를 보면 S-CDMA ALOHA 시스템의 경우는 채널 수 증가에 따라 성능이 증가하나, MS-CDMA ALOHA 시스템의 경우는 채널수의 증가가 성능향상에 끼치는 영향은 크지 않다. 이는 MS-CDMA ALOHA 시스템에서는 채널 충돌율이 S-CDMA ALOHA 시스템 보다는 낮기 때문이다. 이러한 성능평가 결과들은 시스템 설계시 시스템의 성능과 BS구조의 복잡성(채널수, 수신기수) 간의 문제를 분석하는데 중요한 자료가 될 것이다.

CDMA ALOHA 시스템들은, 특히 MS-CDMA ALOHA 시스템의 기존의 ALOHA 시스템과는 달리 성능이 개선되고 과부하 상태에서도 안정된 성능을 유지하고 있음을 볼 때, 무선 데이터 통신 및 PCN 등의 다중접속 프로토콜로 적합함을 알 수 있다.

참 고 문 헌

1. William C. Y. Lee, Mobile Communications, Design Fundamentals, John Wiley & Sons Inc, 1993.
2. William C. Y. Lee, Mobile Cellular Telecommunication System, McGRAW-HILL 1990.
3. Samuel. Musa, et al., "Co-channel Interference of Spread Spectrum Systems in a Multiple User Environment," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-26, No.10, pp.1405-1412, Oct. 1978.
4. "Wireless Access & Personal Communications Networks," Communication & Marketing Systems, Bethesda, MD. 20854.
5. "Wideband Spread Spectrum Digital Cellular Dual-Mode Mobile System-Base Station Compatibility Standard," TR45, EIA/TIA Interim Standard, Feb 1993.
6. Kung Yao, "Error Probability of Asynchronous Spread Spectrum Multiple Access Communication Systems," IEEE Trans. on comm., Vol. COM-25, No. 8, pp. 803-809, Aug. 1977.
7. R. L. Pickholtz, "Theory of Spread-Spectrum Communications-A Tutorial," IEEE Trans. Comm., vol. COM-30, no. 5, pp. 129-158, May, 1982.
8. K. S. Gilhousen, et al., "On the Capacity of a Cellular CDMA System," IEEE Trans. on Veh. Technol., Vol. 40, No. 2, pp. 303-312, May 1991.
9. Dimitrios Makrakis, "Spread Slotted ALOHA Techniques for Mobile and Personal Satellite Communication Systems," IEEE JSAC. Vol. 10, No. 6, pp. 985-1002, August 1992.
10. M. B. Pursley, D. V. Sarwate, "Performance Evaluation for Phases-Coded Spread-Spectrum Multiple Access Communication-Part II : Code Sequence Analysis," IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-25, No. 8, pp. 800-803, Aug. 1977.
11. Wuyi Yue, "The Effect of Capture on Performance of Multichannel Slotted ALOHA Systems," IEEE Trans. on Comm., Vol. 39, No. 6, pp. 818-822, June 1991.

12. D. Raychaudhuri, "The Performance of Random Access Packet Switched Code Division Multiple Access Systems," IEEE Trans, on Comm., Vol. Com-29, No. 6, June 1981.
13. B. Ramamurthi, et al., "Perfect-Capture ALOHA for Local Radio Communications," IEEE JSAC., Vol. SAC-5, No. 5, pp. 806-813, June 1987.
14. Christian Namislo, "Analysis of Mobile Radio Slotted ALOHA Networks," IEEE JSAC., Vol. SAC-2, No. 4, pp. 583-588, July 1984.
15. Zhensheng Zhang, et al., "Performance Analysis and Simulation of Code Division Multiple Access(CDMA) Cellular Digital Network," IEEE VTC. '93, pp. 420-423, New Jersey May 1993.
16. Bernard Sklar, Digital Communications, Prentice-Hall International, Inc. 1988.
17. Alberto Leon-Garcia, Probability and Random Processes for Electrical Engineering, Addison-Wesley Publishing Company 1989.
18. MATLAB, The MathWorks, Inc., 1993.
19. Robert E. Kahn, et al., "Advances in Packet Radio Technology," Proceedings of the IEEE, Vol. 66, No. 11, pp. 1468-1496, Nov. 1978.



許政錫(Jeong Seok Heo) 正會員
 1976년 2월 : 서울대학교 공과대학 (학사)
 1986년 2월 : 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과(석사)
 1994년 8월 : 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 (박사과정 수료)

1980년~1983년 : 한국전자통신연구소 선임연구원
 1983년~1986년 : 한국통신 연구개발단 선임연구원
 1986년~현재 : 울산대학교 컴퓨터공학과 부교수
 ※주관심분야 : B-ISDN, Multimedia 통신, PCN



楊成龍(Seong Ryong Yang) 正會員
 1989년 2월 : 울산대학교 공과대학 (학사)
 1992년 2월 : 울산대학교 대학원 전자공학과(석사)
 1992년~현재 : 울산대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사과정)

※주관심분야 : B-ISDN, Multimedia 통신, PCN



李正泰(Jung Tae Lee) 정회원
 1976년 : 부산대학교 전자공학과(학사)
 1983년 : 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)
 1988년 : 서울대학교 컴퓨터공학과(박사)
 1976년~1984년 : 한국전자통신연구소 선임연구원

1985년~1988년 : 동아대학교 전산공학과 조교수
 1988년~현재 : 부산대학교 컴퓨터공학과 부교수
 1992년~1993년 : 일본 NTT 연구소 초빙 연구원
 ※주관심분야 : 컴퓨터 네트워크, B-ISDN, PCN