

論文96-33A-7-6

# 마이크로셀 환경에서 개인휴대통신을 위한 다중접속 알고리즘의 성능 평가

(Performance evaluation of a multiple-access algorithm for PCN in microcell environment)

全 瑛 熙 \* , 李 裁 滢 \*\* , 崔 炯 辰 \*

(Young-Hee Jeon, Jae-Hyung Lee, and Hyung-Jin Choi)

## 요 약

이 논문에서는 개인휴대통신에 적합한 다중접속 알고리즘을 제안하고 있다. 제안한 알고리즘은 여러 정보원의 집적서비스를 제공하고, 고용량상태에서 안정적으로 동작할 수 있는 특성을 가진다. 또한 마이크로셀환경에서 주어진 대역을 효율적으로 사용하고 다중접속 측면에서는 통계적 다중화기법을 채택하여 시스템의 성능향상을 도모하고 있다. 주로 실시간처리가 필요한 음성신호를 처리하기 위해서 ALOHA 방식의 랜덤액세스방식을 기본적인 구조로 하고, ALOHA-Reservation 형태의 예약프로토콜을 적용하고 있다. 마이크로셀환경에 제안된 알고리즘을 적용하여 시스템처리량과 패킷지연에 대한 결과를 도출하여 성능을 분석하였다.

## Abstract

In this paper, a multiple-access algorithm for PCN is proposed. The proposed algorithm provides the integrated service of information sources and can be operated stably in high load state. Given bandwidth is efficiently used for it in the microcell environment. And system performance can be improved through the statistical-multiplexing technique. In order to process the speech signal usually requiring real-time processing, we adopt a random access of ALOHA type for the basic protocol structure and assume the form of ALOHA-Reservation. We have analyzed the performance of the proposed algorithm through system throughput and packet delay in the microcell environment.

## I. 서 론

미래의 개인휴대통신은 음성과 비음성 정보의 집적 서비스를 동시에 제공하고 고부하상태에서의 안정된 동작 등을 만족시켜야 할 것이다. 특히 무선접속환경에

서 이러한 점을 수용하기 위하여 시스템은 제한된 주파수대역을 효율적으로 사용하여 통합된 하나의 표준을 통해 여러 가입자들과 접속할 수 있어야 한다. 이에 따라 개인휴대통신은 마이크로셀을 기본 단위로 하고 이를 통하여 주어진 대역을 효율적으로 사용하여야 하고 다중접속 측면에는 통계적 다중화를 통한 시스템 성능향상을 도모하여야 한다<sup>[1]</sup>.

초기 다중접속 알고리즘으로는 패킷이 발생할 경우에 무조건적으로 보내는 ALOHA 방식과 이 방식에 망 동기 형태를 도입하여 채널처리량을 두 배 향상시킨 slotted-ALOHA 방식 등을 들 수 있다. 이 후에 이러한 방식의 시스템처리량을 향상시키기 위해 예약알고리즘을 도입하게 된다. 이 방식으로 단순한 형태의

\* 正會員, 成均館大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Engineering, SungKyunKwan Univ.)

\*\* 正會員, LG情報通信 安養研究所

(Mobile Communications Research Lab., LG Information & Communications, Ltd.)

接受日字:1996年1月11日, 수정완료일:1996年6月8日

R-ALOHA, ALOHA-Reservation 과 근래에 많이 연구되고 있는 PRMA 등이 있다. 이 중에서 PRMA 방식은 부하가 적을 경우에는 효과적으로 동작하나 과부하시에는 한정된 예약슬롯에 기인하여 시스템의 처리량이 급격히 떨어지는 단점이 있다.

또한 이러한 다중화 알고리즘은 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있는데 첫번째로는 제어액세스기법 그리고 두번째로는 랜덤액세스 기법을 들 수 있다. 그런데 폴링과 같은 제어액세스기법은 시스템 용량과 거의 가까운 정도의 트래픽을 지속적으로 처리해 줄 필요가 있을 때 적합하고, 랜덤액세스기법은 트래픽특성이 연접적이고 또한 각 단말에서 전송하는 정보량이 시스템용량에 비해 매우 적을 경우에 적합한 것으로 알려져 있다.

그러므로 연접적인 특성을 가진 음성신호를 처리하기 위해서는 ALOHA와 같은 랜덤액세스방식을 취하고, 단말로부터 발생하는 음성신호는 보통 다중패킷이므로 이것의 지속적인 전송을 보장할 수 있는 예약프로토콜을 적용하는 것이 적절할 것이다 [2-3]. 이러한 점들을 감안하여 제안한 알고리즘은 처리해야 할 정보를 명확히 분류하여, 주로 실시간처리가 요구되는 음성신호를 처리하기 위해서 ALOHA 방식의 랜덤액세스방식을 기본적인 구조로 하고, ALOHA-Reservation 형태의 예약프로토콜을 적용하고 있다. 이러한 알고리즘을 적용함으로써 고부하 상태에서 시스템 지연의 커다란 증가없이 안정적으로 동작할 수 있다.

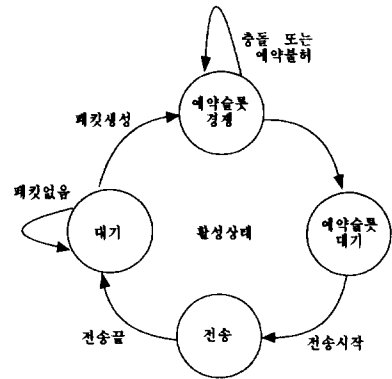
이 논문에서는 기본적인 채널모델과 포착현상에 대한 분석을 통해 마이크로셀환경에 제안된 알고리즘을 적용하여 시스템처리량과 패킷지연에 대한 결과를 도출하여 성능을 분석하였다. 먼저 II절에서 제안한 알고리즘과 시스템모델에 대하여 설명하고 있고, III절에서는 시스템이 적용되는 마이크로셀환경에서의 신호전력 밀도와 수신기 포착확률에 대하여 논하였다. 그리고 IV절에서는 시스템 처리량과 패킷지연에 관하여, 마지막으로 시스템 성능분석을 V절에 나타내었다.

## II. 시스템 모델

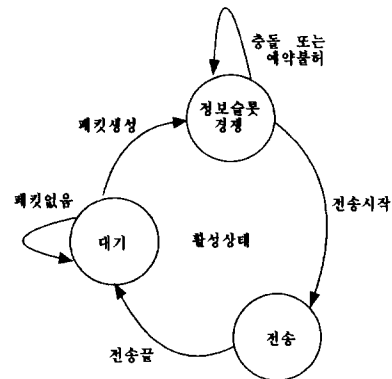
시스템이 필요로 하는 지연조건에 따라 서비스하고자 하는 신호를 음성, 고속데이터, 그리고 저속데이터로 분류한다. TDMA 구조에서 음성과 고속데이터는 다중패킷으로 처리하여 예약프로토콜을 적용하고, 단일패킷 또는 적은 수의 패킷으로 구성된 저속데이터에는

경쟁접속방식을 적용한다. 예약프로토콜은 예약채널용량이 영이 되는 것을 방지하기 위하여 예약슬롯을 미니슬롯으로 나누는 것을 의미한다. 고속데이터를 예약프로토콜에 추가하여 발생하는 음성통화품질이 떨어지는 것을 최소화하기 위한 방안으로 시스템이 안정하게 동작하는 한계 안에서 음성신호에 보다 높은 전송확률과 재전송확률을 부여한다 [4].

제안된 다중접속채널의 구조를 보면 예약슬롯은 미니슬롯으로 나눌 수 있다. 예약이 성공하였을 경우 상향링크와 하향링크에 예약슬롯과 Ack/Nack 슬롯이 쌍으로 주어지며, 예약채널이 없을 경우에는 정보슬롯을 미니슬롯으로 분할하여 예약슬롯으로 사용한다.



(a) 음성, 고속데이터



(b) 저속데이터

그림 1. 상태천이도  
Fig. 1. State transitions.

다중접속채널에서의 상태천이는 다음과 같다. 음성과 고속데이터 단말일 경우에 예약이 성공하면 시스템으로부터 정보슬롯을 할당받고, 사용가능한 정보슬롯이

없을 때는 접속대기된다. 그러나 예약에 실패했을 경우에는 각 단말의 허가확률과 같은 재전송확률을 가지고 재전송을 시도하며, 어떤 한계지연 (약 32 ms) 이상으로 지연될 때 음성신호패킷은 누락된다. 저속단말의 경우는 예약채널에 접속하지 않고 직접 정보채널에 접속을 시도하여 사용가능한 정보슬롯이 있을 경우 Slotted-ALOHA 방식으로 전송한다. 저속데이터 전송시 다른 저속단말의 데이터 전송에 의한 충돌은 각 단말의 재전송을 일으키며, 재전송시 재전송확률은 전송허가확률과 같다.

음성, 고속데이터, 저속데이터 시스템은 M개 단말이 있을 때 각각의 서버가 독립적으로 존재하는 M/M/∞/M 으로 모델링한다 [5]. 각 시스템은 전송데이터가 유무에 따라 두 가지 상태를 가지며, 생성률 λ 와 소멸률 μ 를 가진다.

M/M/∞/M 모델에서 임의의 상태 h에 있을 확률을 각 시스템에 적용하면 다음과 같다 [4-5].

i) 음성 시스템의 경우에 h개의 단말이 묶음구간상태에 있을 확률은

$$p_{h(\text{음성})} = \frac{\left(\frac{\lambda(\text{음성})}{\mu(\text{음성})}\right)^h \binom{M}{h}}{\left(1 + \lambda(\text{음성})/\mu(\text{음성})\right)^M}, \quad (1)$$

여기서 λ(음성)와 μ(음성)는 각각 평균발음구간과 평균 묶음구간의 역수 항을 나타낸다.

ii) 고속데이터 시스템에서는 임의의 슬롯시간에 데이터가 발생할 확률을 고속데이터 단말이 활성화상태로 빠져나가는 소멸률로 나타낼 수 있다. 즉, Mν 단말 중 h개의 단말이 비활성상태에 있을 확률은

$$p_{h(\text{고속})} = \frac{\left(\frac{\lambda(\text{고속})}{\mu(\text{고속})}\right)^h \binom{M\nu}{h}}{\left(1 + \lambda(\text{고속})/\mu(\text{고속})\right)^{M\nu}}, \quad (2)$$

여기서 μ(고속)는 고속데이터가 전송될 확률을 전송 채널에 대해 나타낸 것이고, ν는 전체데이터에 대한 고속데이터의 비율 나타낸다.

iii) 저속데이터 시스템에서 M-Mν 단말 중 h개 단말이 비활성상태에 있을 확률은

$$p_{h(\text{저속})} = \frac{\left(\frac{\lambda(\text{저속})}{\mu(\text{저속})}\right)^h \binom{M-M\nu}{h}}{\left(1 + \lambda(\text{저속})/\mu(\text{저속})\right)^{M-M\nu}}. \quad (3)$$

위에서 나타낸 각 시스템의 상태확률을 이용하여 프

로토콜 서버의 상태전이 확률을 정의할 수 있다. 각 시스템들은 다른 성질의 데이터를 갖지만 단순한 Markov 과정 형태로 상태전이가 이루어진다. 미니슬롯의 길이가 상태전이 시간보다 짧다고 가정하여 채널의 상태전이확률을 유도할 수 있다. 매개변수 i는 예약 획득을 위해 경쟁상태에 있는 단말수, h는 전송데이터가 없는 상태수, 그리고 k는 M-i-h로서 전송을 하고 있거나 사용가능한 정보슬롯을 얻기위해 대기하는 단말수를 나타낸다. S는 예약성공을 나타내고, F는 예약실패, G는 패킷발생, 그리고 NG는 패킷이 발생하지 않았음을 나타낸다. 그리고 FS는 프레임이 차지하는 단위시간, N은 한 프레임에서의 슬롯수, N<sub>MS</sub>(t)는 슬롯당 미니슬롯수, N<sub>A</sub>(t)는 사용가능한 정보슬롯수, 그리고 P<sub>MS</sub>(t)는 예약슬롯에 대한 확률을 나타낸다. 채널 상태 (i,h)에서 상태전이에 대한 각 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Pr[S | I(t) = i, H(t) = h] &= (i \cdot p_{g,h}[1 - p_{g,h}]^{i-1} \frac{i}{i+\nu} \\ &+ i\nu \cdot p_{g,h}[1 - p_{g,h}]^{i\nu-1} \frac{i\nu}{i+i\nu}) \cdot P_{MS}(t) \\ &+ (i - i\nu) \cdot p_{g,h}[1 - p_{g,h}]^{i-\nu-1} \cdot P_A(t) \end{aligned} \quad (4)$$

$$\Pr[F | I(t) = i, H(t) = h] = 1 - \Pr[S | I(t) = i, H(t) = h] \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Pr[G | I(t) = i, H(t) = h] &= h(\mu_{g,h} + \mu_{g,h}) \\ &\cdot FS / (N \cdot N_{MS}) + h\mu_{g,h} \cdot FS / N \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \Pr[NG | I(t) = i, H(t) = h] &= \\ &1 - \Pr[G | I(t) = i, H(t) = h] \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 P<sub>MS</sub>(t)는 N<sub>R</sub>(t)/N 를 나타내고, P<sub>A</sub>(t)는 N<sub>A</sub>(t)/N 과 같다. 그리고 특정시간에서 예약슬롯의 개수와 사용가능한 정보슬롯의 개수는 식(8)과 식(9)와 같다. 각각은 k에 따라 다른 값을 갖게된다.

$$N_R(t) = \begin{cases} N - k, & k < N - N_{RMIN} \\ N_{RMIN}, & k \geq N - N_{RMIN} \end{cases} \quad (8)$$

$$N_A(t) = \begin{cases} N - N_{RMIN} - k, & k < N - N_{RMIN} \\ 0, & k \geq N - N_{RMIN} \end{cases} \quad (9)$$

위에서 구한 네 가지 상태확률 (4)-(7)을 이용하여 구한 상태전이확률은 다음과 같다. i와 j는 각각 상태전이 전과 후의 경쟁단말수를 나타낸다.

$$P_{ij} = \begin{cases} 0 & j < i-1 \text{ \& \ } j > i+1 \\ \Pr[S | K(i) = i, H(i) = h] \cdot \Pr[NG | K(i) = i, H(i) = h] & j = i-1 \\ \Pr[F | K(i) = i, H(i) = h] \cdot \Pr[NG | K(i) = i, H(i) = h] \\ + \Pr[S | K(i) = i, H(i) = h] \cdot \Pr[G | K(i) = i, H(i) = h] & j = i \\ \Pr[F | K(i) = i, H(i) = h] \cdot \Pr[G | K(i) = i, H(i) = h] & j = i+1 \end{cases} \quad (10)$$

프로토콜 서버에서 도착률과 서비스률은 상태전이확률을 이용하여 구할 수 있다. 음성과 고속데이터의 경우는 미니슬롯의 단위구간에 대해서 구한다. 여기서 FS는 프레임 크기를 나타낸다.

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{시스템}} &= P_{i,i+1} / (FS/N \cdot N_{MS}) \\ \mu_{\text{시스템}} &= P_{i,i-1} / (FS/N \cdot N_{MS}) \end{aligned} \quad (11)$$

저속데이터의 경우에는 정보슬롯 단위구간에 대해 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{시스템}} &= P_{i,i+1} / (FS/M) \\ \mu_{\text{시스템}} &= P_{i,i-1} / (FS/M) \end{aligned} \quad (12)$$

### III. 채널 모델

채널환경은 마이크로셀환경으로 하고 시험단말은 기지국과 비교적 가까이 위치하여 직경로성분이 존재하는 라이시안 페이딩을 겪는 반면에 간섭신호는 셀경계 근처에 있거나, 기지국 가까이에 위치하나 기지국과 간섭단말간에 직경로가 형성되지 못하여 기지국에 대한 위치에 관계없이 항상 레일레이분포를 갖는다고 가정한다.

기준신호의 국부평균전력  $\bar{p}_s$  와 간섭신호 국부평균전력  $\bar{p}_n$  에 조건부화되어 있는 라이시안 페이딩과 레일레이 페이딩의 수신전력 확률밀도함수는 다음과 같다 [6].

$$f_{P_s}(p_s | \bar{p}_s) = \frac{(1+K) \exp[-K - \frac{p_s(1+K)}{\bar{p}_s}]}{\bar{p}_s} \exp[-K - \frac{p_s(1+K)}{\bar{p}_s}] \quad (13)$$

$$I_0[\sqrt{\frac{4p_s K(K+1)}{\bar{p}_s}}]$$

$$f_{P_n}(p_n | \bar{p}_n) = \frac{1}{\bar{p}_n} \exp(-\frac{p_n}{\bar{p}_n}) \quad (14)$$

여기서 K는 라이시안 인자이고,  $I_0(\cdot)$ 는 1종 0차 수정부셀함수이다. 마이크로셀 환경에서의 라이시안 인자

값은 일반적으로 7-14 dB 정도를 갖는다.

수신기에서 간섭신호 전력분포는 슬롯구간에서 동일한 위상을 가지고 더해지는 경우와 그렇지 않은 경우로 나눌 수 있다. 동일위상으로 더해지는 경우에 전체 잡음전력은 동일한 평균전력( $P_0$ )의 합으로 볼 수 있으며, 슬롯내에서 위상이 확률적으로 더해지는 경우는 n 개 간섭신호전력 간의 컨볼루션으로 나타낼 수 있다. 식(14)의 확률밀도함수로부터 구할 수 있다.

$$f_{P_n}(p_n) = \frac{1}{n P_0} \exp(-\frac{p_n}{n P_0}) \quad (15)$$

$$f_{P_n}(p_n) = \frac{1}{P_0} \frac{(p_n/P_0)^{n-1}}{(n-1)!} \exp(-\frac{p_n}{P_0}) \quad (16)$$

셀내 트래픽분포와 거리에 따른 영향을 고려하기 위하여 트래픽분포는 셀경계에서 급격히 감소하는 분포 함수를 선택하였고 거리에 따른 신호감쇠는 거리의 네 제곱에 반비례하는 것으로 하였다. 이러한 관계를 바탕으로 슬롯구간에서 동일위상으로 더해지는 n개 간섭신호들의 국부평균전력의 분포를 구할 수 있다 [6].

$$f_{P_n}(\bar{p}_n) = \frac{n}{2} \bar{p}_n^{-3/2} \exp(-\frac{\pi n^2}{4 \bar{p}_n}) \quad (17)$$

#### 1. 수신기 신호포착

임의 슬롯에서 여러 신호가 충돌하였을 경우에 그 중에서 가장 큰 전력을 가진 신호를 수신기가 포착할 수 있는 수신기 포착확률  $P_{Z_n}(z_0)$ 는 다음과 같다 [6].

$$P_{Z_n}(z_0) = P(Z_n > z_0) \quad (18)$$

여기서  $Z_n$ 은 포착신호와 간섭신호의 전력비를,  $z_0$ 는 수신기가 복조할 수 있는 포착신호와 간섭신호의 최소 전력비를 나타낸다. 수신기가 포착하지 못할 확률로 풀어쓰면 다음 식과 같고,

$$P_{Z_n}(z_0) = 1 - \sum_{n=0}^{\infty} R_n F_{Z_n}(z_0) \quad (19)$$

식(19)에서 포아송분포의 트래픽을 가정하여 슬롯구간에서 n개 신호가 충돌할 확률로  $R_n$ 은 다음과 같다.

$$R_n = \frac{G^n}{n!} \exp(-G) \quad (20)$$

$F_{Z_n}(z_0)$ 는 n개 신호가 충돌했을 경우에 포착신호와 간섭신호간 전력비 분포함수로 라이시안 페이딩채널에

서 다음과 같다 [6].

$$F_{z_n}(z_0) = \int_0^{z_0} \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \frac{(1+K)}{\bar{p}_s \bar{p}_n} \cdot \exp\left[-K - \frac{zw(1+K)\bar{p}_n + w\bar{p}_s}{\bar{p}_s \bar{p}_n}\right] I_0\left[\sqrt{\frac{4K(K+1)zw}{\bar{p}_s}}\right] f_{\bar{p}_s}(\bar{p}_s) f_{\bar{p}_n}(\bar{p}_n) d\bar{p}_s d\bar{p}_n dw dz \quad (21)$$

위의 관계식은 수신기에서 수신전력비가 특정치보다 낮을 확률을 나타낸다. 다음절에서는 공간적으로 분포된 단말들이 BPSK 변조신호를 송신하였을 경우에 비트오류률을 고려한 수신기 포착확률에 대하여 알아본다.

2. 변조신호 적용시 포착확률

변조신호를 적용한 이동무선통신 시스템의 성능을 분석하기 위하여 BPSK 변조방식을 선택하면, 수신신호  $y(t)$ 는 다음과 같다.

$$y(t) = a_0 k_0 \cos(\omega_c t + \theta_0) + \sum_{i=1}^n a_i k_i \cos(\omega_c t + \theta_i) + n(t) \quad (22)$$

여기서  $k_0$ 와  $k_i$ 는  $\pm 1$ 로 데이터정보를, 잡음신호  $n(t)$ 는 백색잡음(AWGN)을 나타낸다. 한 비트구간  $T_b$  내에서 신호의 진폭  $a_i$ 와 위상  $\theta_i$ 는 일정하고 수신신호에 대한 완전한 비트동기가 이루어져 간섭신호들이 한 비트주기 내에서 정확하게 겹쳐진다고 가정한다.

백색잡음환경에서 국부평균전력  $\bar{p}_n$ 를 갖는 다수의 간섭신호가 있을 경우에 BPSK 변조된 시험신호에 동기된 수신기 비트오류률은 다음과 같다 [7-8]. 여기서  $p_s$ 는  $\frac{1}{2} a_0^2$ 를 나타낸다.

$$P_e(\text{에러} | p_s, \bar{p}_n) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{p_s}{N_0/T_b + \bar{p}_n}}\right) \quad (23)$$

전송신호들은 L 비트 패킷단위로 구성되기 때문에 포착확률은 L 비트 모두를 성공적으로 수신할 확률을 의미한다. 단말들이 거의 균일한 공간분포를 가진다고 가정하면, 패킷이 성공적으로 포착될 확률은 시험신호와 간섭신호들의 국부평균전력  $\bar{p}_s$ 와  $\bar{p}_n$ 에 대한 조건부확률이기 때문에 이들에 대한 전체적분을 취함으로써 시험단말의 순시평균전력에 대한 포착확률을 구할 수 있다.

$$P_{\text{포착} | n} = \int_0^\infty \int_0^\infty \left( \text{패킷이 성공적으로 포착될 확률} \right) \cdot f_{\bar{p}_s}(\bar{p}_s) f_{\bar{p}_n}(\bar{p}_n) d\bar{p}_s d\bar{p}_n \quad (24)$$

가정에 따라  $f_{\bar{p}_s}(\bar{p}_s)$ 와  $f_{\bar{p}_n}(\bar{p}_n)$ 에 대한 확률밀도 함수는 식(17)로부터 구할 수 있다.

패킷포착은 여러 패킷 중에서 신호전력이 큰 신호패킷이 나머지 n개 간섭패킷들의 전체간섭전력비가 포착률 이상이면 패킷이 포착된다고 가정한다. 이러한 경우에 포착확률은 페이딩구간이 슬롯주기보다 짧은 경우와 긴 경우에 대하여 고려할 수 있다.

첫째, 페이딩주기가 슬롯기간보다 짧은 페이딩환경에서 간섭신호 크기는 비트열들에 대해 독립적이다. 포착신호의 순간전력  $p_0$ 는 라이시안 확률밀도함수에 대한 평균을 취함으로써 구할 수 있고, 패킷내 L 비트들은 동일한 비트에러률을 가지기 때문에 포착확률은 다음과 같다 [8].

$$P_{\text{포착}}(\text{긴 슬롯} | \bar{p}_s, \bar{p}_n) = \left[ 1 - \int_0^\infty P_e \left( \text{에러} | p_s, \bar{p}_n \right) f_{p_s}(p_s | \bar{p}_n) dp_s \right]^L \quad (25)$$

단말들이 거의 균일하게 공간상에 분포하고 있다고 가정된 경우에 포착확률은 식 (25)를 식 (24)에 대입하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{\text{포착} | n}(\text{긴 슬롯}) = \int_0^\infty \int_0^\infty \left[ 1 - \int_0^\infty \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\sqrt{\frac{p_s}{N_0/T_b + \bar{p}_n}}\right) \cdot \exp\left(-K - \frac{1+K}{p_s}\right) \cdot \frac{1+K}{p_s} \cdot I_0\left(\sqrt{\frac{4p_s K(1+K)}{p_s}}\right) dp_s \right]^L \cdot \frac{1}{2} \bar{p}_s^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{\pi}{4\bar{p}_s}\right) \cdot \frac{\pi}{2} \bar{p}_n^{-\frac{3}{2}} \exp\left(-\frac{\pi^2}{4\bar{p}_n}\right) d\bar{p}_s d\bar{p}_n \quad (26)$$

두 번째, 페이딩주기가 슬롯기간보다 긴 환경에서는 신호 크기와 위상이 전체 패킷구간동안 거의 일정함으로, 단말들이 거의 균일하게 공간상에 분포한다고 할 경우에 포착확률은 식 (27)과 같고, 식 (27)을 식 (24)에 대입함으로써 식 (28)을 구할 수 있다.

$$P_{\text{포착}}(\text{짧은 슬롯} | \bar{p}_s, \bar{p}_n) = \int_0^\infty \left[ 1 - P_e(\text{에러} | p_s, \bar{p}_n) \right]^L \cdot f_{p_s}(p_s | \bar{p}_s) dp_s \quad (27)$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{성공}}(N) (\text{음성 슬롯}) &= \int_0^\infty \int_0^\infty \int_0^\infty \left[ 1 - \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{\rho_s}{N_0/T_b + \rho_n}} \right) \right]^L \\
 &\cdot \exp \left( -K - \frac{1+K}{\rho_s} \right) \cdot \frac{1+K}{\rho_s} \\
 &\cdot I_0 \left( \sqrt{\frac{4\rho_s K(1+K)}{\rho_s}} \right) \cdot \frac{1}{2} \rho_s^{-\frac{3}{2}} \exp \left( -\frac{\pi}{4\rho_s} \right) \\
 &\cdot \frac{\pi}{2} \rho_n^{-\frac{3}{2}} \exp \left( -\frac{\pi^2 \pi}{4\rho_n} \right) d\rho_s d\rho_n
 \end{aligned} \quad (28)$$

#### IV. 시스템 처리량 및 패킷지연

제안된 알고리즘에서 가장 중요하게 처리해야 하는 음성에 대해서 시스템 처리량과 패킷지연을 구하였다. 이 후의 성능평가도 음성시스템에 대한 것이다.

전송확률을 가진  $j$ 개 전송단말 중에서 하나가 포착되고 접속한 슬롯이 시스템의 전체 프레임 중에서 예약슬롯일 경우에 하나의 패킷이 성공적으로 전송되었다고 할 수 있다. 이러한 방식으로 전체 시스템처리량을 고려할 수 있고 여기서 중요한 매개변수로는 전송확률과 예약슬롯수이다. 포착현상을 고려한 시스템의 생성률과 소멸율과 시스템처리량은 제안된 알고리즘에 대하여 모델한 포착확률, 식(26)과 식(28), 을 이용하여 각각 아래와 같이 구할 수 있다 [11].

$$\lambda_{\text{시스템}} = \left[ 1 - \sum_{j=1}^i \binom{i}{j} i^j (1-p)^{i-j} P_{\text{포착}j-1} P_{MS} \right] h \mu_{\text{음성}} \quad (29)$$

$$\mu_{\text{시스템}} = \sum_{j=1}^i \binom{i}{j} i^j (1-p)^{i-j} P_{\text{포착}j-1} P_{MS} [N N_{MS} / F - h \mu_{\text{음성}}] \quad (30)$$

$$S_{\text{처리량}} = \sum_{j=1}^i \binom{i}{j} i^j (1-p)^{i-j} P_{\text{포착}j-1} \cdot N_R(k) / N \quad (31)$$

지연은 시스템에 예약시에 발생하는 지연과 예약성공 뒤에 사용가능한 슬롯이 없을 경우에 발생하는 대기지연으로 나누어 생각할 수 있다. 예약슬롯에 경쟁접속할 때 생기는 ALOHA 지연과 예약 뒤에 사용가능한 정보슬롯을 얻기위한 대기지연을 더한 전체지연에 각 상태확률을 곱하여 반복적으로 전체 단말에 대한 평균 지연을 구할 수 있다 [11].

$$\begin{aligned}
 D &= \sum_{i,h} P_{i,h} D(i,h) \\
 &= \sum_{i,h} P_{i,h} (\text{음성}) [D_{\text{ALOHA}}(i,h) + D_{\text{대기}}(i,h)]
 \end{aligned} \quad (32)$$

여기서

$$\begin{aligned}
 D_{\text{대기}} &\approx \begin{cases} 0.5FS, & k < N - N_{RMIN} \\ FS + [T_{AV} / (M-k)] \cdot (k - N + N_{RMIN}), & \text{나머지} \end{cases} \\
 D_{\text{ALOHA}}(i,h) &= [i / S_{\text{처리량}}(i,h)] \cdot FS / (N \cdot N_{MS})
 \end{aligned}$$

가 되고,  $D_{\text{대기}}(i,h)$ 는  $k$ 값에 따라 다른 값을 가진다.

#### V. 성능분석

터미널과 기지국간의 왕복전파지연은 시스템을 접속 하는데 소요되는 지연에 비해 상대적으로 무시할 수 있을 만큼 작다고 가정하였다. 각 터미널이 시스템에 접속을 시도할 때 성공여부는 터미널에서 즉각적으로 알 수 있으므로 재전송은 다음 슬롯에 다시 시도할 수 있다.

표 1. 시스템 매개변수

Table 1. System parameters.

프레임당 슬롯수 (N)	20	채널 전송용량	720 kbit/sec
프레임 구간	16 msec	음성신호레이트	32 kbit/sec
단말수 (N)	0 - 40	패킷크기 (L)	564 bit
슬롯당 예약슬롯수	6	최소 예약슬롯	1
전송확률 (p)	0.3 or 0.5	라이시안 인자 (K)	0, 7 dB
신호전력 대 잡음전력비 (SNR)	10 또는 40 dB		

표 2. 음성활성 통계량

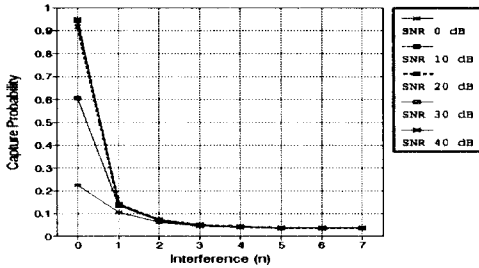
Table 2. Statistics of speech activity.

음성활성 검출기	
평균 발음구간	$t_1 = 1.00$ 초
평균 묵음구간	$t_2 = 1.35$ 초

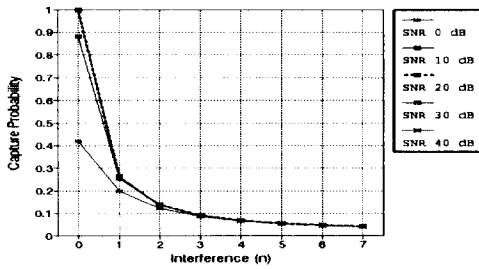
시스템내 매개변수들에 대한 수치를 표 1 과 표 2 에 나타냈다 [11]. 위의 가정을 바탕으로 변조신호를 적용하였을 경우의 시스템 성능분석을 하였다.

그림 2.(a)와 (b)는 라이시안 페이딩환경에 대하여 (c)와 (d)는 레일레이 페이딩환경에서의 성능분석 결과 들을 라이시안 인자가 7 dB인 경우에 대하여 나타내었다. 슬롯길이가 페이딩구간보다 짧은 경우에 보다 유리한 포착확률을 나타낸다. 그러나, 슬롯구간을 적절히 조정하더라도 그림에서 간섭으로 나타난 간섭단말의 수가 증가하면 포착확률은 급격하게 감소한다. 포착확률은 패킷길이보다는 SNR에 보다 민감하지만, SNR

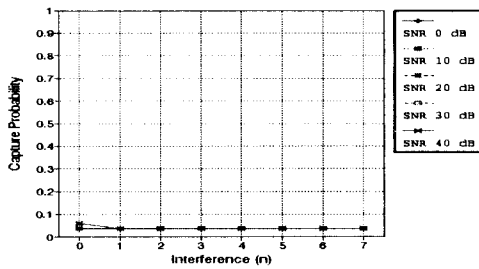
이 커짐에 따라 라이시안 페이딩과 레일레이 페이딩에서 라이시안 인자(K)에 크게 관계없이 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.



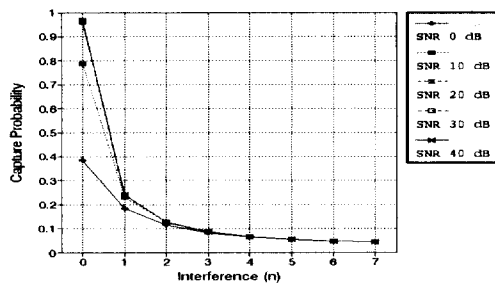
(a) 슬롯구간이 긴 경우



(b) 슬롯구간이 짧은 경우



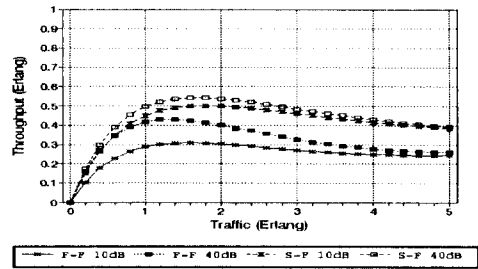
(c) 슬롯구간이 긴 경우



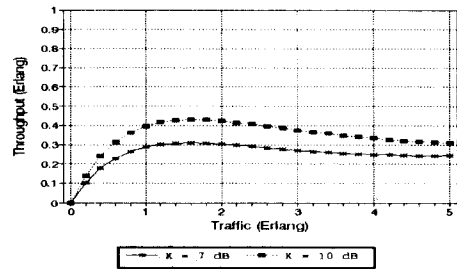
(d) 슬롯구간이 짧은 경우

그림 2. 페이딩 환경에서 포착확률  
Fig. 2. Capture probability in fading environment.

그림 3.(a)는 채널처리량을 신호전력대잡음전력비에 대하여 보여주고 있다. 트래픽이 적을 경우에 신호대잡음비를 크게 하면 수신단에서 비트에러율이 감소하기 때문에 처리량이 향상되나 트래픽이 더욱 증가함에 따라 신호대잡음비에 관계없이 동일한 처리량으로 근사 화됨을 알 수 있다. 이는 트래픽이 증가하면서 기지국에서 수신하는 시험 패킷과 간섭 패킷과의 충돌확률이 커지기 때문이다. 그리고 그림 3.(b)는 슬롯길이가 페이딩구간보다 긴 경우에 라이시안 인자가 채널처리량에 미치는 영향을 보여주고 있다. 트래픽이 적을 때에 직경로성분이 간섭경로를 갖는 간섭신호보다 평균신호전력이 클수록 더 큰 채널처리량을 갖는다.



(a) SNR (10dB, 40dB)



(b) 라이시안 인자 K(7dB, 10dB)

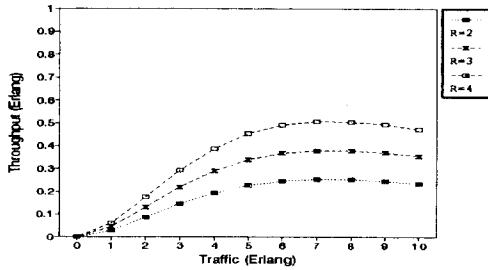
그림 3. 채널 처리량  
Fig. 3. Channel throughput.

그림 4는 BPSK 변조신호를 적용하였을 경우에 전송확률(p) 0.3과 0.5에 대하여 채널처리량을 나타내었다. 트래픽이 적을 경우보다는 어느 정도의 트래픽이 있을 경우에 채널처리량이 증가함을 알 수 있다. 그리고 슬롯길이가 짧은 경우와 긴 경우에서 채널처리량이 거의 같음을 알 수 있는데, 이것은 R개 예약슬롯이 미니슬롯이므로 페이딩주기가 미니슬롯구간보다 길거나 거의 비슷하기 때문이다. 그림 4.(b)와 (d)에서는 전송확률을 너무 크게 설정한데 따른 채널처리량의 감소를

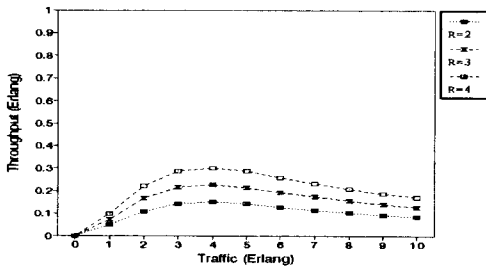
보여주고 있다. 전송확률이 크다는 것은 전송패킷을 가진 단말들의 전송기회 증가로 인한 시간당 수신패킷의 증가를 의미하므로 망 혼잡으로 전체적인 시스템 처리

량이 감소한다. 그러므로 적절한 전송확률의 선택이 중요하다.

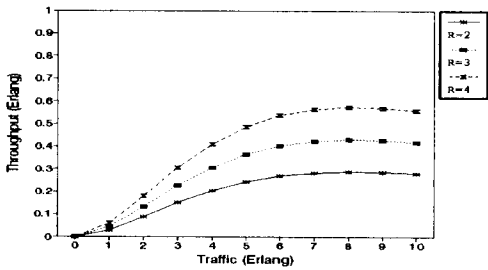
그림 5 는 단말수 M에 따른 시스템지연에 대하여 두 가지 페이딩환경에서의 결과를 보여주고 있는데 크게 차이가 없음을 알 수 있다. 예약슬롯이 적을 경우는 ALOHA 경쟁접속방식으로 인한 충돌이 증가하기 때문에 패킷지연이 길어지고, 예약슬롯이 많을 경우에는 정보슬롯의 감소로 인한 대기지연이 증가함으로 전체적인 지연이 커짐을 알 수 있다. 그러므로 대기지연과 접속지연을 동시에 적절하게 줄일 수 있는 예약슬롯의 설정이 중요하다. 그러나 전체적으로 한계지연 내의 패킷지연을 가진다.



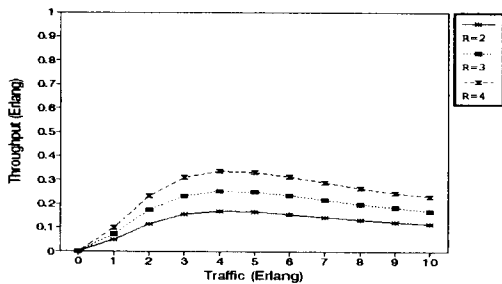
(a) 슬롯구간이 짧은 경우 (p=0.3)



(b) 슬롯구간이 짧은 경우 (p=0.5)

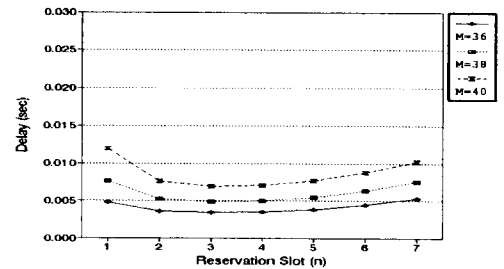


(c) 슬롯구간이 긴 경우 (p=0.3)

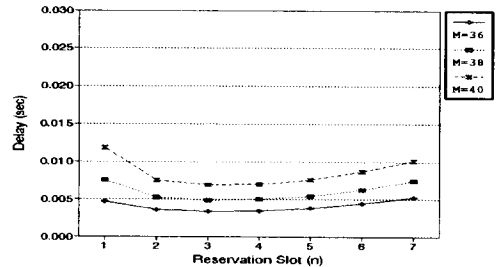


(d) 슬롯구간이 긴 경우 (p=0.5)

그림 4. 채널 처리량  
Fig. 4. Channel throughput.



(a) 슬롯구간이 긴 경우



(b) 슬롯구간이 짧은 경우

그림 5. 시스템 지연  
Fig. 5. System delay.

VI. 결 론

지금까지의 분석결과를 종합하면 다음과 같다. 첫째, 적절한 전송확률을 선택함으로써 시스템의 처리량을 증가시킬 수 있는데 전송확률이 약 0.4일 경우가 최적인 것으로 보인다. 두 번째로, 페이딩 환경에서 처리량을 늘리려면 패킷구간을 페이딩 주기보다 짧게 선택하는 것이 좋다. 제안한 알고리즘에서는 예약을 할 때 구간이 짧은 미니슬롯을 이용하기 때문에 수신기 슬롯내



에서 간섭신호가 동일위상으로 더해질 확률이 높으므로 더 나은 시스템의 성능향상을 기대할 수 있다. 세 번째로, 시스템의 예약슬롯 적을 경우에는 예약을 얻기 위한 경쟁접속으로 패킷지연이 증가하며, 예약슬롯이 많을 경우에는 정보슬롯의 감소로 인한 대기지연이 증가함으로 이를 적절히 조정해야 한다. 그러나, 기존의 예약알고리즘은 고부하상태에서 예약슬롯 부족으로 인하여 채널처리량이 급속히 떨어지는 것에 반하여 제한된 알고리즘은 여분의 예약슬롯을 제공함으로써 전체적인 패킷지연이 한계지연 내로 수렴되게하여 시스템이 고부하시에 안정되게 동작할 수 있음을 알 수 있었다.

이와같이 제안된 알고리즘은 기본적으로 마이크로셀 환경을 기반으로하여 여러 정보원의 집적서비스를 제공할 수 있고, 시스템이 고부하상태일 경우에도 안정적으로 동작할 수 있게 함으로써 이러한 환경을 요구하는 차세대 개인휴대통신에 적합할 것으로 기대된다.

#### 후 기

※ 이 논문은 '95년도 한국과학재단 특정기초연구과제 지원에 의한 결과이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] D. J. Goodman, "Second Generation Wireless Information Networks," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, Vol. 40, No. 2, pp. 366-374, May 1991.
- [2] S. Nanda, D. J. Goodman, and U. Timor, "Performance of PRMA : A Packet Voice Protocol for Cellular Systems," *IEEE Trans. on Vehicular Technologies*, Vol. 40, No. 3, pp. 584-598, August 1991.
- [3] N. M. Mitrou, Th. D. Orinos, and E. N. Protonotarios, "A Reservation Multiple Access Protocol for Microcellular Mobile-Communication Systems," *IEEE Trans. on Vehicular Technologies*, Vol. 39, No. 4, pp. 340-351, Nov. 1990.
- [4] 이재형, 최형진, "마이크로 셀룰라시스템에서의 음성-데이터 집적알고리즘에 관한 연구," *통신정보융합학회논문집*, pp. 292-298, 대전, 94년 4월
- [5] L. Kleinrock, *Queueing Systems*, Vol. I, Theory. pp. 107-108, NewYork : Wiley, 1975.
- [6] J. C. Arnbak and Wim van Blitterswijk, "Capacity of Slotted ALOHA in Rayleigh-Fading Channels," *IEEE Journal on Selected Area in Comm.*, Vol. SAC-5, No. 2, pp. 261-269, February 1987.
- [7] C. van den Broek and R. Prasad, "Effect of Capture on the Performance of the PRMA protocol in an indoor radio environment with BPSK modulation," *Proceedings of the 44th IEEE Vehicular Technology Conference*, pp. 1223-1227, Stockholm, June 1994.
- [8] I. Widiangestu, A.J.'t Jong, and R. Prasad, "Capture probability and throughput analysis of slotted ALOHA and unslotted np-ISMA in a Rician/Rayleigh environment", *IEEE Trans. on Vehicular Technologies*, Vol. 43, No. 3, pp. 457-465, August 1994.
- [9] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Eds., *Handbook of Mathematical Functions*. New York: Dover, 1965.

## — 저 자 소 개 —



全 瑛 熙(正會員)

1994년 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 ~ 현재 성균관대학교 전자공학과 대학원 석사과정 재학중. 주 관심분야는 이동통신, 디지털 신호처리, 동기화 기술 등임



李 裁 濤(正會員)

1994년 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1995년 성균관대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사). 1995년 ~ 현재 LG 정보통신 재직중. 주 관심분야는 CDMA 기술, 디지털 신호처리, 다중접속 프

로토콜 등임



崔 炯 辰(正會員)

1974년 서울대학교 전자공학과 졸업(학사). 1976년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(석사). 1976년 ~ 1979년 주식회사 금성사 중앙연구소 근무(연구원). 1979년 ~ 1982년 미국

University of Southern California 전기공학과 박사(Ph.D). 1982년 ~ 1989년 미국 LinCom Corp. 연구원으로 근무. 1989년 ~ 현재 성균관대학교 전자공학과(부교수). 주 관심분야는 디지털통신, 무선통신, 이동통신, 위성통신 및 동기화 기술을 포함한 Modem 기술 등임