

셀룰러 패킷무선망에서 하이브리드 DS/FH 확산대역 시스템의 성능

정회원 조현욱* 박상규*

Performance of Hybrid DS/FH Spread-Spectrum Systems in Cellular Packet Radio Network

Hyun Wook Cho*, Sang Kyu Park* *Regular members*

요 약

본 논문에서는 레일레이 페이딩 채널 하에서 ALOHA 방식을 이용한 패킷 무선망의 성능을 분석한다. 접속을 획득하고 접속률을 높이는 방안으로 캡처효과를 이용하고 셀룰러 환경을 고려하기 위해서 트래픽 모델을 절단된 종형 분포로 가정한다.

논문에서 제안된 패킷 구조는 접속시 서로 충돌하는 확률을 줄여 채널처리용량을 향상시킬 수 있도록, 여러 사용자가 접속을 획득하기 위해 서로 경쟁하는 경쟁영역과 사용자의 데이터 정보가 들어있는 데이터 영역으로 나뉜다. 경쟁영역에서는 공통확산부호를 갖는 DS방식을 이용하여 신호를 전송하고 데이터 영역에서는 하이브리드 DS/FH방식을 이용하여 신호를 전송한다. BPSK 변조를 사용하였으며 수신기는 선형상관수신기와 hard-limiting 상관수신기를 사용하였다. 하이브리드 DS/FH 방식은 간섭전력의 변화에 큰 영향을 받지 않으므로 비트 당 칩 개수 N 과 도약 주파수의 수 q 의 값을 적절히 선택하면 간섭전력의 변화가 심한 환경에도 일정한 시스템 성능을 얻을 수 있고 hard-limiting 상관수신기를 이용함으로써 레일레이 페이딩과 같은 페이딩 현상이 심한 환경에서 좋은 패킷 무선망의 성능을 얻을 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, the performance of packet radio networks using the ALOHA protocol in Rayleigh fading channels is analyzed in terms of the capture probability and the throughput. We consider capture effect in order to increase the probability of the channel access and to include cellular environment we assume that the traffic is a truncated bell-shaped distribution.

The packet proposed in this paper consists of a competition part and a data part to decrease the probability of collision in the channel access. In the competition part, DS system with common spreading code is used and in the data part, hybrid DS/FH system is used. We consider the linear correlation receiver and the hard-limiting correlation receiver as the receiver model. BPSK modulation is also employed. Because hybrid DS/FH systems are not sensitive to variation of the interference power, as we choose a proper chip number N and a frequency hopping number q , we can obtain a steady system performance even though the variation of interference power is severe. By using the hard-limiting correlation receiver, we can obtain a good system performance of packet radio networks in severe fading channels such as Rayleigh fading.

* 한양대학교 전자전기공학부(skpark@email.hanyang.ac.kr)

논문번호: 98438-1008, 접수일자: 1998년 10월 8일

I. 서 론

이동무선환경에서 각 이동국이 전송한 패킷은 다중 경로에 의한 페이딩 현상과 이동국의 공간 분포로 인하여 발생하는 원근효과(near-far effect)⁽¹⁾⁽²⁾의 영향으로 변화된 전력레벨을 갖고 수신기에 도달하는데 이것은 한 패킷의 전력이 다른 패킷의 전력의 합보다 크면 수신기가 그 패킷을 캡취하는 캡취효과를 이용할 수 있다는 가능성을 제시한다.⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾ Ambak과 Gluck은 레일레이 페이딩 채널 하에서 슬롯 ALOHA 패킷 무선망의 성능을 분석하였고⁽⁷⁾⁽⁸⁾ Sheikh는 페이딩과 원근효과를 이용한 ALOHA 시스템의 성능을 분석하였다.⁽⁴⁾

이동통신 사용자들이 증가함에 따라 통화를 위해서는 빠르고 정확한 접속이 선행되어야 한다. 접속패킷이 한가지 형태로 구성된 일반적인 방법에서는 접속획득을 위해 긴 길이의 패킷이 전송된다. 이 경우는 접속시 충돌할 확률이 높아지게 되므로 접속획득 확률이 낮아지는 문제점을 가지고 있다.

본 논문에서는 접속획득 확률을 높이기 위해서 패킷을 경쟁영역과 데이터 영역의 두 부분으로 나누어 접속패킷을 전송한다. 경쟁영역은 DS방식을 사용하고 데이터 영역은 DS/FH방식을 사용하여 신호를 전송한다. DS방식을 사용한 짧은 길이의 경쟁영역은 패킷 전체를 접속획득용으로 사용하는 일반적인 경우보다 충돌이 일어날 수 있는 부분이 적어지므로 접속획득 확률이 커진다. 또한 기지국은 공통으로 사용하는 DS부호를 사용하여 수신신호를 역확산시킴으로서 먼저 수신된 신호와 부호동기가 맞지 않은 신호의 충돌 간섭 크기를 줄일 수 있다. 그리고 캡취를 고려함으로써 패킷 전체에서 경쟁하는 경우보다 성공확률을 증가시킬 수 있다.

경쟁 영역에서는 데이터 영역에서 사용되는 확산 부호를 가지고 있으므로 사용자의 정보 및 데이터가 들어있는 데이터 영역에 확산 부호를 넘겨주어서 역확산이 이루어 질 수 있도록 도와준다. 경쟁 영역은 단순히 경쟁만을 하므로 공통 부호로 확산하여 신호를 전송하고, 데이터 영역은 하이브리드 DS/FH 방식을 이용하여 신호를 전송한다. 변조방법으로서 두 영역 모두 BPSK 방식을 이용한다.

도약방식으로서 한 비트마다 한 번 도약하는 느린 주파수 도약을 가정하였으며 도약패턴으로는 랜덤도약패턴을 가정하였다. 또한 기준셀 뿐만 아니라 인접

셀에서 오는 간섭성분의 영향을 고려하기 위해서 기준 사용자에게 영향을 주는 다른 사용자가 기준 셀에 가장 많이 분포되어 있고 기준 셀에서 멀어질 수록 다른 사용자의 영향이 줄어드는 절단된 중형분포를 이용하여 성능을 분석하였다.

본 논문에서는 캡취효과를 이용한 패킷무선망의 트래픽 및 송·수신 모델을 제시하고 경쟁영역에서의 채널처리용량을 구한다. 또한 하이브리드 DS/FH 확산 대역 방식을 이용한 데이터 영역에서 선형상관 수신기와 hard-limiting 상관 수신기를 이용하여 채널처리용량을 구한 후 서로 비교 분석한다. 마지막으로 기준 셀과 주변 6개의 셀을 고려한 셀룰러환경에서 채널처리용량을 구하고 이에 대한 결론을 내린다.

II. Packet 무선망 모델

2.1 캡취를 갖는 ALOHA 시스템

패킷 충돌은 두 명 이상의 사용자가 동시에 전송을 하면 발생하는데 기존의 접속 프로토콜은 이러한 충돌을 겪은 패킷은 모두 손실된다고 가정하였다⁽⁷⁾. 그러나 각 이동국은 기지국으로부터 다른 거리에 있고 또한 페이딩에 의한 영향으로 인해 각각 수신신호의 전력도 다르게 된다. 따라서 간섭자의 전력 레벨이 기준사용자 패킷의 전력 레벨보다 작은 경우가 발생하게 된다. 동시전송으로 인한 패킷 충돌이 발생하는 경우 어느 한 패킷이 다른 사용자의 패킷 전력보다 크다면 그 패킷은 옮겨 수신될 수 있다. 이런 현상을 캡취효과(capture effect)라 한다. 캡취효과를 이용함으로써 패킷 무선망에서의 채널처리용량이 증대될 수 있다.

K명이 동시에 패킷을 전송하는 경우 i번째 기준 사용자의 패킷이 캡취될 수 있는 캡취확률은 식(2.1)과 같다.⁽⁷⁾⁽⁹⁾

$$P_{cap} = \text{Prob} \left\{ \frac{P_S}{\sum_{k=i}^K I_k} \geq \gamma \right\} \quad (2.1)$$

여기서 P_S 는 i번째 기준사용자 패킷의 전력, I_k 는 k번째 사용자 패킷의 간섭전력이며 γ 는 캡취비(capture ratio)로서 변조방식과 코딩기법에 따라 다른 값을 갖는다.

2.2 트래픽 모델

각 이동국은 기지국과 다른 거리에 존재하고 또한

레이레이 페이딩 현상으로 인하여 각각의 패킷은 다른 전력레벨을 가지면서 수신기에 도달하게 된다. 이때 도달되는 순시 전력의 국부평균전력은 지수함수적으로 감소한다.^[7]

이동국과 기지국간의 거리를 셀 반경으로 정규화했을 때의 거리를 r 이라 하면 수신 신호의 국부평균전력은 식(2.2)와 같다.

$$\bar{p} = \frac{1}{r^4} \tag{2.2}$$

본 논문에서는 트래픽 모델로서 실제 이동통신 환경에 알맞은 셀룰러 환경을 적용하기 위해 truncated 종형분포를 고려하였다. 이 경우 셀 반경을 1로 정규화하고 기준셀에서의 총 트래픽을 G 라 하여 계산한다. 기준셀에서의 트래픽 밀도, 거리에 대한 확률밀도함수는 각각 식(2.3), 식(2.4)와 같다.

$$G(r) = \frac{1}{1-2Q(\sqrt{\pi/2})} \frac{G}{\pi} e^{-\frac{\pi}{4}r^4}, \quad 0 \leq r \leq 1 \tag{2.3}$$

$$f_R(r) = \frac{2r}{1-2Q(\sqrt{\pi/2})} e^{-\frac{\pi}{4}r^4}, \quad 0 \leq r \leq 1 \tag{2.4}$$

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

기준셀 이외의 인접셀에서 기준셀에 영향을 미치는 트래픽 밀도, 거리에 대한 확률밀도함수는 각각 식(2.5), 식(2.6)과 같다.

$$G(r) = \frac{1}{2Q(\sqrt{\pi/2})} \frac{G_a}{\pi} e^{-\frac{\pi}{4}r^4}, \quad r \geq 1 \tag{2.5}$$

$$f_R(r) = \frac{2r}{2Q(\sqrt{\pi/2})} e^{-\frac{\pi}{4}r^4}, \quad r \geq 1 \tag{2.6}$$

여기서, G_a 는 기준셀 이외의 셀에서 오는 총 트래픽 성분이다.

2.3 패킷구조

동시에 신호를 전송하는 모든 사용자들은 채널을 할당받기 위하여 경쟁영역에서 서로 경쟁하게 되는데 이 경쟁에서 이기면 접속을 획득하게 되고 이 때 수신기는 접속획득에 성공한 사용자의 확산부호를 곱하기 위하여 데이터 영역으로의 빠른 스위칭을 하게 된다. 기지국은 사용자 확산부호로 역확산됨으로써 사용자의 모든 정보를 파악하게 되어 모든 수신

이 옮겨 되었음을 알린다.

2.4 경쟁영역에서의 송·수신 모델

경쟁영역은 서론에서 공통 DS로 확산되는 부분으로 정의를 내렸다. 접속하기 전이므로 사용자에 대한 아무런 정보도 기지국이 갖고 있지 않기 때문에 사용자는 공통부호를 갖는 짧은 길이의 패킷을 전송하여 사용자 정보가 있는 데이터 영역을 기지국에 접속할 수 있게 한다. K 명이 동시에 신호를 송신하는 경우 공통확산부호를 갖는 DS 시스템의 송신기 모델은 그림 2.1과 같다

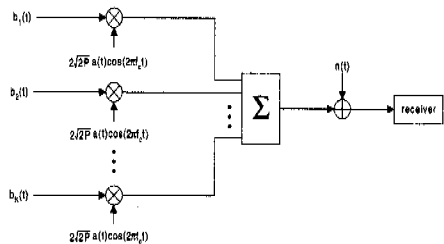


그림 2.1 경쟁 영역의 송신기

$b_k(t)$ 는 k 번째 사용자의 데이터 신호로서 식(2.7)과 같다.

$$b_k(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} b_m^{(k)} P_{T_b}(t - mT_b) \tag{2.7}$$

여기서 $b_m^{(k)}$ 는 k 번째 사용자 데이터 신호의 m 번째 비트진폭으로서 다른 m 값에 대해서는 상호 독립이고 +1과 -1의 값을 가질 확률은 각각 1/2이다.

$P_{T_b}(t)$ 는 지속시간이 T_b 인 직각펄스이다. 이 데이터 신호는 BPSK 변조된 후 모든 사용자에게 동일한 공통확산부호 $a(t)$ 와 곱해진다. k 번째 사용자의 송신 신호는 식(2.8)과 같다.

$$s_k(t) = 2\sqrt{P} b_k(t) a(t) \cos(2\pi f_c t) \tag{2.8}$$

여기서 P 는 송신신호의 전력이다.

i 번째 사용자를 기준 사용자로 했을 때 DS 확산대역 시스템의 수신기 모델은 그림 2.2와 같고 채널을 통과한 후 수신기에 도달하는 수신 신호는 식(2.9)와 같다.

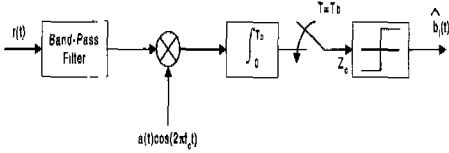


그림 2.2 경쟁 영역의 수신기

$$r(t) = \sum_{k=1}^K a_k s_k(t - \tau_k) + n(t) \quad (2.9)$$

여기서 a_k 는 k 번째 사용자의 페이딩 감쇄지수, τ_k 는 k 번째 사용자의 지연시간, $n(t)$ 는 양측전력스펙트럼밀도가 $N_0/2$ 인 가산적 백색 가우시안 잡음이다. i 번째 사용자를 기준사용자로 가정하면 지연시간 $\tau_i=0$ 이고 i 번째 선형 상관수신기의 결정변수는 식(2.10)과 같다.

$$Z_c = \int_0^{T_b} r(t) \cdot a(t) \cos(2\pi f_c t) dt \quad (2.10)$$

$$= a_i \sqrt{2P} b_i T_b + \sqrt{2P} T_b \sum_{k \neq i}^K J_{k,c} + \eta$$

여기서 $\eta = \int_0^{T_b} n(t) \cdot a(t) \cos(2\pi f_c t) dt$ 이다.

2.5 데이터 영역의 송·수신모델

2.5.1 송신기모델

K 명이 동시에 신호를 송신하는 경우 하이브리드 DS/FH 확산대역 시스템의 송신기 모델은 그림 2.3과 같다.

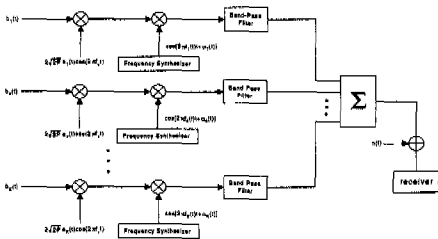


그림 2.3 데이터 영역의 송신기

그림 2.3에서 k 번째 사용자의 정보신호 $b_k(t)$ 는 BPSK 변조된 후 각 사용자에게 고유한 확산부호가 곱해진다. 이 신호는 주파수 합성기의 출력 주파수

도약패턴 $f_k(t)$ 에 따라 반송주파수가 변하여 송신되며 $b_k(t)$ 는 식(2.7), $f_k(t)$ 는 식(2.11)과 같이 각각 표현된다.

$$f_k(t) = f_j^{(k)}, \quad jT_h \leq t < (j+1)T_h \quad (2.11)$$

여기서 $\{f_j^{(k)}\}$ 는 구간 $[jT_h, (j+1)T_h]$ 에서 k 번째 사용자의 송신신호의 도약주파수로서 q 개의 일련의 주파수들의 집합 $\{f_1, f_2, \dots, f_q\}$ 에서 선택되어지고 한 개의 비트구간동안 한 번 도약하는 시스템을 가정하므로 도약 지속시간 T_h 는 T_b 와 같다. 그리고 한 개의 패킷은 L 개의 비트들로 구성된다. 주파수 도약기를 통과하고 대역통과필터를 거친 후의 k 번째 사용자의 송신 신호는 식(2.12)와 같다.

$$s_k(t) = \sqrt{2P} b_k(t) a_k(t) \cos[2\pi(f_c + f_k(t))t + \phi_k(t)] \quad (2.12)$$

여기서 $\phi_k(t)$ 는 주파수 도약기에 의해 생긴 위상편이로서 $[jT_h, (j+1)T_h]$ 동안 일정한 상수값 $\phi_j^{(k)}$ 를 갖는다. 송신 신호의 대역폭 확산은 한 비트당 칩 개수인 N 과 도약주파수의 개수 q 와의 곱 $N \cdot q$ 가 된다.

2.5.2 선형상관수신기를 이용한 수신기 모델

i 번째 사용자를 기준 사용자로 했을 때 하이브리드 DS/FH 확산대역 시스템의 선형 상관수신기 모델은 그림 2.4와 같다.

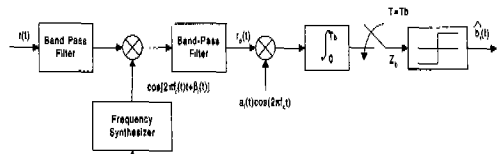


그림 2.4 데이터 영역의 선형 상관수신기

채널을 통과한 후 수신기에 도달하는 수신신호로부터 그림 2.4에 있는 결정변수 Z_c 는 식(2.13)과 같이 구할 수 있다.^[10]

$$Z_c = \int_0^{T_b} r_d(t) \cdot a(t) \cos(2\pi f_c t) dt \quad (2.13)$$

$$= a_i \sqrt{\frac{P}{8}} b_i T_b + \sqrt{\frac{P}{8}} T_b \sum_{k \neq i}^K J_{k,b} + \sqrt{\frac{P}{8}} T_b \sum_{k=1}^K F_{i,b} + \eta$$

여기서 $r_d(t)$ 는 그림 2.4에서 역도약기와 대역통과 필터를 통과한 후의 출력신호, $\eta = \int_0^{T_c} \hat{n}(t) \cdot a_i(t) \cos(2\pi f_c t) dt$ 이고, $\hat{n}(t)$ 는 양측전력스펙트럼밀도가 $N_0/8$ 인 가산적 가우시안 잡음이다.

2.5.3 Hard-limiting 상관수신기

이용한 수신기 모델

i 번째 사용자를 기준 사용자로 했을 때 하이브리드 DS/FH 확산대역 시스템의 hard-limiting 상관수신기 모델은 그림 2.5와 같다.

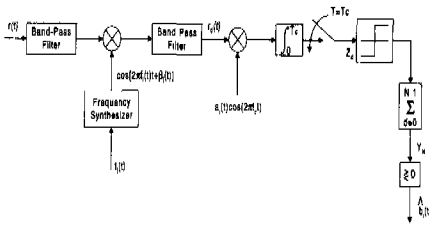


그림 2.5 데이터 영역의 hard-limiting 상관수신기

기준셀에 K_r , 인접셀에 K_a 명이 존재할 때 i 번째 기준 사용자의 hard-limiting 상관수신기 결정변수는 식(2.14)와 같다.

$$Z_d = \int_0^{T_c} r_d(t) \cdot a_i(t) \cos(2\pi f_c t) dt$$

$$= a_i \sqrt{\frac{P}{8}} b_i T_c + \sqrt{\frac{P}{8}} T_c \sum_{k=1}^{K_r} I_{k,d} + \sqrt{\frac{P}{8}} T_c \sum_{k=1}^{K_a} F_{k,d} + \eta \tag{2.14}$$

여기서 $\eta = \int_0^{T_c} \hat{n}(t) \cdot a_i(t) \cos(2\pi f_c t) dt$ 이다.

이 결정변수를 이용하여 칩단위로 +1인지 혹은 -1인지를 판단하고 한 비트구간동안 N 번 이런 과정을 수행한 후에 모두 더한 것이 누적결정변수 Y_N 이 된다.

III. 셀룰러 환경에서 경쟁영역의 채널처리용량

여러 사용자가 동시에 접속할 경우 접속을 획득하기 위하여 서로 경쟁을 하게 되는데 이 때 어느 한 사용자가 접속을 획득할 수 있는 가능성에 대한 척도로서 경쟁영역에서의 채널처리용량을 구하는 것이 필요하다. 이를 구함으로써 한 기준 사용자가 다른

간섭자와 동시에 접속을 하는 경우 어느 정도의 접속률을 갖고 있는지 파악할 수 있게 된다.

기준 사용자의 패킷전력을 P_s 라 하고 기준셀에서의 간섭패킷의 전력과 인접 6개의 셀에서의 간섭패킷의 전력의 모든 합을 I 라 할 때 기준셀에서 K_r 명, 인접셀에서 K_a 명의 간섭자가 존재하는 셀룰러 환경 하에서의 캡처확률은 신호대 간섭비가 임계값 γ 보다 클 확률로서 식 (3.1)과 같다.

$$P_{cap}(K_r, K_a) = \text{Prob}\left\{\frac{P_s}{I} \geq \gamma\right\}$$

$$= \text{Prob}(P_s \geq \gamma I) = F_r^{K_r} \cdot F_a^{K_a} \tag{3.1}$$

여기서

$$F_r = A \cdot \frac{4}{\pi} \left[\frac{\pi}{4(1+\sqrt{\gamma})} - e^{-\frac{\pi}{4}} \{f_{[0,1]}(\gamma) + g_{[1,\infty]}(\gamma)\} \right]$$

$$F_a = B \cdot \frac{4}{\pi} e^{-\frac{\pi}{4}} [f_{[0,1]}(\gamma) - g_{[0,1]}(\gamma)]$$

$$A = \frac{1}{(1 - 2Q(\sqrt{\pi/2}))^2}$$

$$B = \frac{1}{2Q(\sqrt{\pi/2})(1 - 2Q(\sqrt{\pi/2}))}$$

$$f_{[0,1]}(\gamma) = \int_0^1 \frac{1}{z^4 \gamma + 1} \frac{z}{z^4 + 1} e^{-\frac{\pi}{4} z^4} dz$$

$$g_{[0,1]}(\gamma) = \int_0^1 \frac{1}{z^4 \gamma + 1} \frac{z}{z^4 + 1} e^{-\frac{\pi}{4} \frac{1}{z^4}} dz$$

$$g_{[1,\infty]}(\gamma) = \int_1^\infty \frac{1}{z^4 \gamma + 1} \frac{z}{z^4 + 1} e^{-\frac{\pi}{4} \frac{1}{z^4}} dz$$

기준셀에 K_r 명, 인접 6개 셀에 K_a 명의 간섭패킷이 존재할 때 채널처리용량은 식(3.2)와 같다.

$$S = G \sum_{K_r=0}^{\infty} \frac{e^{-2G}(2G)^{K_r}}{K_r!} \sum_{K_a=0}^{\infty} \frac{e^{-2G_a}(2G_a)^{K_a}}{K_a!}$$

$$\cdot P_{cap}(K_r, K_a) = G e^{-2G(1-F_r)} \cdot e^{-2G_a(1-F_a)} \tag{3.2}$$

여기서 $G_a = G \frac{2Q(\sqrt{\pi/2})}{1 - 2Q(\sqrt{\pi/2})}$ 이다.

만약 캡처비 γ 가 무한대가 되면 F_r 과 F_a 는 0이 되므로 채널처리용량은 식(3.3)이 된다.

$$S = G e^{-2(G+G_a)} = G e^{-\frac{2G}{1 - 2Q(\sqrt{\pi/2})}} \tag{3.3}$$

이것은 셀룰러 환경 하에서 캡처효과를 고려하지 않은 경우로 충돌이 발생하면 모든 패킷을 잃어버리는 순수 ALOHA가 된다.

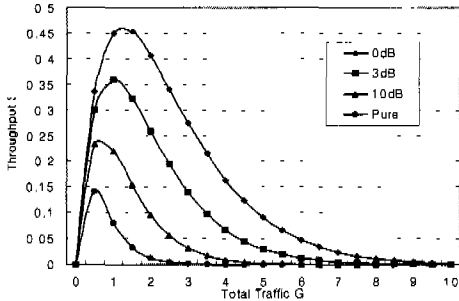


그림 3.1 경쟁 영역의 채널처리용량

그림 3.1은 트래픽에 따른 ALOHA 시스템의 채널 처리용량을 캡처비를 변화시키면서 나타낸 것이다. 트래픽이 증가하면서 채널처리용량은 증가하지만 어느 시점부터는 트래픽이 증가하면서 채널처리용량은 급격히 감소하게 된다. 캡처를 고려하지 않은 순수 ALOHA인 경우 트래픽이 0.5일 때 채널처리용량은 최대값을 갖는다. 캡처를 고려함으로써 채널처리용량은 증가하고 또한 채널처리용량이 최대가 될 때의 트래픽도 증가하게 된다. 캡처비가 0dB인 경우 트래픽이 1.5부근에서 채널처리용량의 최대값은 약 0.46이 된다. 이는 캡처를 고려하지 않은 순수 ALOHA의 채널처리용량의 약 3배가 된다. 따라서 캡처를 고려하면 접속을 획득할 수 있는 가능성을 증가시키므로 ALOHA 방식을 이용한 패킷 무선망의 성능을 개선시킬 수 있다.

IV. 셀룰러 환경에서 데이터 영역의 채널처리용량

본 논문에서는 트래픽 모델은 중형분포, 기준셀 이외에서 기준사용자에게 미치는 간섭자의 성분은 인접 6개의 셀에서만 영향을 미친다고 가정하였다.

기준 사용자와 기준셀에 K_r 명, 인접 6개셀에 K_a 명의 간섭자가 동시에 신호를 전송하는 하이브리드 DS/FH 방식에서의 평균비트오류확률^[11]을 P_e 라 하고, 패킷성공확률을 $P_{s,ph}$ 라 두면, 기준 사용자의 패킷이 성공적으로 수신될 조건부 확률은 캡처확률과 위에서 구한 패킷성공확률의 곱이 된다. 따라서 셀룰러 환경 하에서 하이브리드 DS/FH 확산대역 시스템

의 채널처리용량은 식(4.1)이 된다.

$$\begin{aligned}
 S &= GP_s = G \sum_{K_r=0}^{\infty} P(K_r) \sum_{K_a=0}^{\infty} P(K_a) \cdot P_{suc}(K_r, K_a) \\
 &= G \sum_{K_r=0}^{\infty} \frac{e^{-2G}(2G)^{K_r}}{K_r!} \sum_{K_a=0}^{\infty} \frac{e^{-2G_a}(2G_a)^{K_a}}{K_a!} \\
 &\quad \cdot F_r^{K_r} F_a^{K_a} \cdot (1 - \bar{P}_e)^L
 \end{aligned} \tag{4.1}$$

4.1 선형상관수신기를 이용하는 시스템

기준셀에서 h_r 명, 인접 6개 셀에서 h_a 명으로부터 충돌이 발생했을 때 셀룰러 환경에서의 조건부 비트 오류확률^[10]을 $P_e(h_r, h_a)$ 라 하면, 이를 이용한 선형상관수신기에서의 조건부 평균비트오류확률은 식(4.2)가 된다.

$$\begin{aligned}
 \bar{P}_e(h_r, h_a) &= E[P_e(h_r, h_a)] \\
 &= \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} P_e(h_r, h_a) f_z(z) f_w(w) dz dw
 \end{aligned} \tag{4.2}$$

여기서 $f_z(z)$ 는 기준 사용자와 간섭자의 거리에 대한 비를 랜덤변수로 놓았을 때의 확률밀도함수이고, 식(4.3)과 같다.

$$\begin{aligned}
 f_z(z) &= A \cdot \left\{ I_{(0,1)}(z) \frac{4}{\pi} \frac{z}{1+z^2} \left(1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4}(1+z^4)\right) \right) \right. \\
 &\quad \left. + I_{(1,\infty)}(z) \frac{4}{\pi} \frac{z}{1+z^2} \left(1 - \exp\left(-\frac{\pi}{4}\left(1+\frac{1}{z^4}\right)\right) \right) \right\}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

여기서 $I_{(0,1)}, I_{(1,\infty)}$ 은 지시함수(indicator function)이다. 즉 각각 0과 1, 1과 ∞ 사이에서만 1의 값을 가지는 함수이다. 또한 $f_w(w)$ 는 기준 사용자와 인접 셀에 존재하는 간섭자의 거리에 대한 비를 랜덤변수로 놓았을 때의 확률밀도함수이고, 식(4.4)와 같다.

$$\begin{aligned}
 f_w(w) &= I_{(0,1)}(w) \frac{4}{\pi} \frac{w}{1+w^2} \\
 &\quad \cdot \left[\exp\left\{-\frac{\pi}{4}(1+w^4)\right\} - \exp\left\{-\frac{\pi}{4}\left(1+\frac{1}{w^4}\right)\right\} \right]
 \end{aligned} \tag{4.4}$$

기준셀에서 h_r 명, 인접 6개 셀에서 h_a 명으로부터 충돌이 발생했을 때 원근효과를 고려한 조건부 평균비트오류확률은 랜덤변수 z 와 w 에 관하여 평균을 취하면 구할 수 있다. 그러므로 평균비트오류확률은

식(4.5)와 같다.

$$\overline{P_e} = \sum_{h_r=0}^{K_r} \sum_{h_a=0}^{K_a} \overline{P_e}(h_r, h_a) P_h(h_r, h_a) \quad (4.5)$$

4.2 Hard-limiting 상관수신기를 이용하는 시스템

기준셀에서 h_r 명, 인접 6개 셀에서 h_a 명으로부터 충돌이 발생했을 때 셀룰러 환경에서의 평균 칩 오류확률^[11]을 $P_c(h_r, h_a)$ 라 하면, 이를 이용한 hard-limiting 상관수신기에서의 평균 칩오류확률은 식(4.6)과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_c}(h_r, h_a) &= E[P_c(h_r, h_a)] \\ &= \int_0^\infty \int_0^\infty P_c(h_r, h_a) f_Z(z) f_W(w) dz dw \end{aligned} \quad (4.6)$$

여기서 $f_Z(z)$ 와 $f_W(w)$ 는 식(4.3), (4.4)와 같다.

조건부 평균비트오류확률^[11] $P_e(h_r, h_a)$ 는 -1을 보냈다고 가정했을 때 누적결정변수가 양수일 확률이 되므로 식(4.7)과 같다.

$$\begin{aligned} \overline{P_e}(h_r, h_a) &= P(Y_N > 0 | b_i = -1) \\ &= \begin{cases} \sum_{j=-(N+1)/2}^N \binom{N}{j} [\overline{P_c}(h_r, h_a)]^j [1 - \overline{P_c}(h_r, h_a)]^{N-j} & N: \text{홀수} \\ \sum_{j=-(N/2-1)}^N \binom{N}{j} [\overline{P_c}(h_r, h_a)]^j [1 - \overline{P_c}(h_r, h_a)]^{N-j} \\ \quad + \frac{1}{2} \binom{N}{N/2} \{\overline{P_c}(h_r, h_a)[1 - \overline{P_c}(h_r, h_a)]\}^{N/2} & N: \text{짝수} \end{cases} \end{aligned} \quad (4.7)$$

식(4.7)을 식(4.5)에 대입하면 hard-limiting 상관수신기를 이용한 시스템의 평균비트오류확률을 구할 수 있다.

그림 4.1은 간섭전력비에 따라 $N=1, q=200$ 일 때의 순수 FH, $N=200, q=1$ 일 때의 순수 DS 그리고 N 과 q 의 값을 변화시켰을 때 하이브리드 DS/FH 시스템의 채널처리용량을 보여주고 있다. 순수 FH인 경우 간섭전력비의 증가에 관계없이 일정한 성능을 나타내지만 간섭전력비가 낮은 경우에는 성능이 매우 나쁘다. 순수 DS인 경우 간섭전력비가 낮은 경우에는 성능이 매우 높으나, 간섭전력비가 큰 경우에는 성능이 매우 낮다. $N=5, q=40$ 혹은 $N=10, q=20$ 인 하이브리드 시스템인 경우 간섭전력비의 영향을 받지 않으면서 고른 성능을 나타낸다. 따라서 간섭전력비의

변화가 심한 경우에는 하이브리드 방식이 전체적으로 좋은 성능을 나타내게 된다.

그림 4.2와 그림 4.3은 트래픽에 따라 일 때의 순수 FH, 일 때의 순수 DS 그리고 비트당 칩 개수 N 과 도약주파수의 수 q 값을 변화시키면서 하이브리드 DS/FH 시스템의 채널 처리용량을 보여준다. 경쟁영역에서 성공한 패킷만이 자신의 부호로 데이터 영역이 복호되므로 충돌로 인한 간섭이 줄어들게 된다. 따라서 선형 상관 수신기와 hard-limiting 상관 수신기를 사용한 경우 모두 순수한 ALOHA기법을 사용했을 때의 채널 처리용량 0.18보다 매우 높은 채널 처리용량을 보여 주고 있다. 순수 ALOHA기법은 트래픽이 0.5일 때 최대 채널 처리용량을 보여주지만 선형상관 수신기와 hard-limiting 상관수신기는 트래픽이 1.5에서 최대 채널 처리용량을 갖게 되므로 채널 처리용량 뿐 아니라 트래픽이 높은 경우에도 우수한 성능을 얻을 수 있다.

전체적으로 hard-limiting 상관수신기가 선형 상관수신기에 비하여 매우 높은 성능을 나타낸다. 선형 상관수신기를 사용하는 경우 순수 DS와 $N=10, q=20$ 그리고 $N=20, q=10$ 일 때는 성능의 차이가 그다지 크지 않지만 순수 FH는 이보다 더 높은 채널처리용량을 갖는다. Hard-limiting 상관수신기를 사용하는 경우 순수 FH가 성능이 가장 낮고 N 값이 커질수록 채널처리용량이 점점 커져 순수 DS일 때는 가장 성능이 높게 나타난다. Hard-limiting 상관수신기는 칩단위로 신호를 추정하므로 칩개수가 증가하면 비트오류가 발생할 확률이 감소하므로 채널처리용량이 증가하게 된다. 레일레이와 같은 페이딩 현상이 심한 경우에는 hard-limiting 상관수신기가 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다.

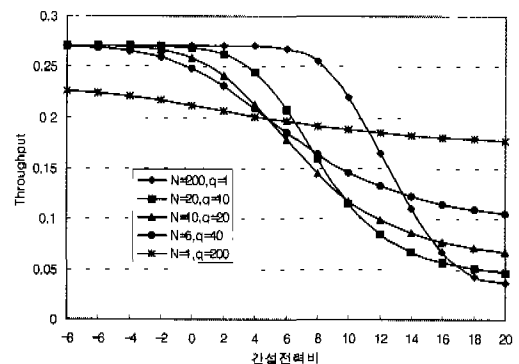


그림 4.1 간섭전력비에 따른 채널처리용량

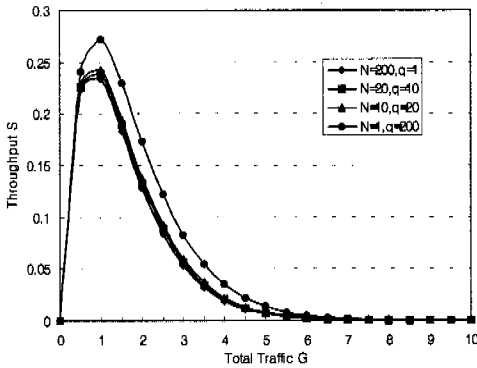


그림 4.2 데이터 영역의 채널처리용량 (선형 상관수신기)

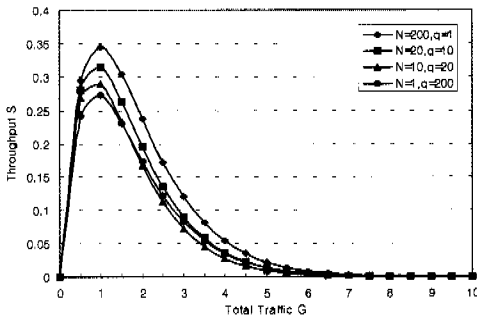


그림 4.3 데이터 영역의 채널처리용량(Hard-limiting 상관수신기)

VI. 결론

본 논문에서는 캡처를 갖는 ALOHA 방식을 이용한 패킷 무선망의 성능을 분석하였다. 경쟁 방식인 ALOHA 방식에서 캡처효과를 이용함으로써 채널처리용량의 증가와 더 높은 접속률을 갖게 된다.

접속을 획득하기 위하여 전체 패킷을 사용하는 방식과는 달리 짧은 길이의 경쟁영역만을 접속획득으로 사용하므로써 오류가 발생할 확률이 줄어들고 캡처를 고려하므로써 충돌과 페이딩, 간섭으로 인한 오류가 줄어들어 높은 접속획득률을 얻을 수 있다. 하이브리드 DS/FH 방식은 간섭성분의 변화에 큰 영향을 받지 않으므로 간섭전력의 변화가 심한 환경에 적합하다. 또한 레일레이 페이딩 채널에서 선형 상관수신기보다 hard-limiting 상관수신기를 사용함으로써 채널처리용량이 증가하게 된다.

따라서 접속획득방법으로 캡처효과를 이용하고 수

신기 모델로서 hard-limiting 상관수신기를 이용하면 레일레이 페이딩과 같은 페이딩 현상이 심한 경우에 좋은 패킷 무선망의 성능을 갖는다. 그리고 하이브리드 DS/FH 방식에서 적절한 N 과 q 값을 정하면 간섭전력에 큰 영향을 받지 않아 간섭전력의 변화가 심한 환경에도 적합한 시스템의 성능을 얻을 수 있다.

본 연구는 1996년도 한국과학재단 핵심연구
지원에 의해 이루어졌음
(과제번호 : KOSEF 961-0923-128-2)

참고 문헌

- [1] M. Georgiopoulos, "Packet Error Probabilities in Direct- Sequence Spread-Spectrum Packet Radio Networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 38, No. 9, pp. 1599-1606, Sep. 1990.
- [2] D. J. Goodman, A. A. M. Saleh, "Near-Far Effects in Land Mobile Random Access Networks with Narrow-Band Rayleigh Fading Channels," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, No. 1, pp. 77-90, Feb. 1992.
- [3] C. T. Lau, C. Leung, "Capture Models for Mobile Packet Radio Networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, No. 5, pp. 917-925, May. 1992.
- [4] A. U. H. Sheikh, Yu-Dong Yao, Xiaoping Wu, "The ALOHA Systems in Shadowed Mobile Radio Channels with Slow or Fast Fading," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 39, No. 4, pp. 289-298, Nov. 1990.
- [5] V. Wong, C. Leung, "Capture Probability in a Mobile Packet Radio System," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 40, No. 10, pp. 1577-1580, Oct. 1992.
- [6] M. Zorzi, "Capture Probabilities in Random-Access Mobile Communications in the Presence of Rician Fading," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 46, No. 1, pp. 96-101, Feb. 1997.

[7] J. C. Ambak, W. Blitterswijk, "Capacity of Slotted ALOHA in Rayleigh-Fading Channels," *IEEE J. Select. Areas. Commun.*, vol. SAC-5, No. 2, pp. 261-269, Feb. 1987.

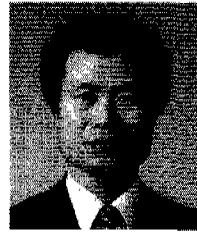
[8] J. W. Gluck, E. Geraniotis, "Throughput and Packet Error Probability of Cellular Frequency-Hopped Spread-Spectrum Radio Networks," *IEEE J. Select. Areas. Commun.*, vol. 7, No. 1, pp. 148-160, Jan. 1989.

[9] I. Widipangestu, A. J. Jong, R. Prasad, "Capture Probability and Throughput Analysis of Slotted ALOHA and Unslotted np-ISMA in a Rician/Rayleigh Environment," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, No. 3, pp. 457-465, Aug. 1994.

[10] Sang Kyu Park, Jin Tae Kim, "Hybrid DS/SFH Spread-spectrum Multiple-Access Communications over Nonselective Fading Channels", *IEEE VTC*, No.44, pp.70-72, 1994

[11] Sang Kyu Park, Hyun Wook Cho, Su Han Choi, "Performance of Digital Cellular Hybrid SSMA Systems", *APCC*, No.2, pp.3.D.4.1-3. D.4.4, 1995

박 상 규 (Sang Kyu Park) 정 회원



1974년 2월 : 서울대학교 전기공학(공학사)

1980년 5월 : Duke University 통신공학(공학석사)

1987년 5월 : University of Michigan 통신공학(공학박사)

1976년 7월~1978년 10월 : 국방과학연구소

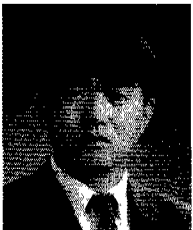
1990년 8월~1991년 8월 : University of Southern California 객원교수

1987년 3월~현재 : 한양대학교 공과대학 전자전기공학부 교수

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, 부호이론, PCS, IMT-2000

e-mail:skpark@email.hanyang.ac.kr

조 현 옥 (Hyun Wook Cho) 정 회원



1987년 2월 : 제주대학교 공과대학통신공학과(공학사)

1990년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공과(공학석사)

1996년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정 수료

<주관심 분야> 디지털통신, 확산대역통신, PCS, IMT-2000