

판별 방법과 채널에 따른 불완전 전력제어된 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 일량용량

정회원 김 항 래*, 김 남*

Erlang Capacity for the Reverse Link of an Imperfect Power Controlled DS/CDMA Cellular System according to Decision Method and Channel

Hang Rae Kim*, Nam Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 전파음영(shadowing)과 레일리 분포된 다중경로 페이딩(Rayleigh fading) 채널에서 가우시안 판별과 로그노말 판별(lognormal decision)을 각각 적용한 확장된 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 블럭킹 확률식(blocking probability formula)을 유도한다. 또한 판별 방법과 채널에 따른 일량용량과 등가채널수를 각각 비교 분석한다. 1%의 블럭킹 확률을 가정하면, 전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 로그노말 판별로 구한 일량용량과 등가채널수는 데이터율 $R_b=9.6$ kbps에 대해 각각 8.56 일량과 15 채널로 전파음영 채널에서 가우시안 판별을 사용한 경우보다 각각 8.47 일량과 11 채널이 감소하고 데이터율 $R_b=14.4$ kbps에 대해서는 각각 5.85 일량과 8 채널이 감소함을 알 수 있다. 또한 다중경로 페이딩의 영향을 무시해서는 안된다는 것을 보이며 DS/CDMA 셀룰라 시스템이 지원할 수 있는 정확한 일량용량과 등가채널수를 제공한다.

ABSTRACT

In this paper, an extended DS/CDMA blocking probability formula using Gaussian and lognormal decision is derived in shadowing and Rayleigh distributed multipath fading channel, respectively. Also, Erlang capacity and equivalent channel number according to decision method and channel are analyzed and compared, respectively. Assuming that the blocking probability set 1%, it is observed that the Erlang capacity and equivalent channel number using lognormal decision in multipath fading channel are 8.56 Erlang and 15 channels at the data rate $R_b=9.6$ kbps and then less 8.47 Erlang and 11 channels than those using Gaussian decision in shadowing channel, respectively. At the data rate $R_b=14.4$ kbps, it is observed that the Erlang capacity and equivalent channel number are less 5.85 Erlang and 8 channels, respectively. It is also shown that the effect of multipath fading must not be ignored and then the exact Erlang capacity and equivalent channel numbers that could be supported by the DS/CDMA cellular system are provided.

I. 서 론

현재 DS/CDMA 통신방식은 음성, 데이터, 비디오 및 인터넷과 같은 다양한 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있는 진보된 다중접속 기술로 자리잡고

있다. 또한, 제 3세대 이동통신 시스템인 IMT-2000에서도 표준화와 개발에 박차를 가하고 있으며, 앞으로의 무선통신 시장에서 중요한 기술로 대두되고 있다^[1,2].

DS/CDMA 시스템은 모든 사용자들이 동일한 대

* 충북대학교 정보통신공학과
논문번호: 00371-0927, 접수일자: 2000년 9월 27일

역을 사용하여 동시에 정보를 전송하기 때문에, 사용자들은 서로 간섭을 일으키게 된다. 즉, DS/CDMA 시스템의 용량은 다른 사용자의 간섭량에 의해서 결정되므로 간섭량을 감소시키면 DS/CDMA 시스템의 용량은 증가하게 된다. 현재 간섭량을 감소시키기 위해 사용되는 방법으로는 섹터화, 음성활동율 감시 및 전력제어가 있다.

Jansen과 Viterbi의 근사는 개념에서는 유사하지만, 이 두 근사들은 몇몇 중요한 항목들에서는 다르다는 것을 알 수 있다^[3,4]. Jansen은 전체 SNR을 로그노말 랜덤 변수들의 합으로 놓고, 이를 로그노말 변수로 근사화하여 채널용량을 구한 반면에, Viterbi와 Lee는 전체 SNR을 중앙 극한 정리(central limit theorem)를 사용하여 가우시안 변수로 근사화하고 열량용량을 구하였다^[3,4,5]. 또한, Viterbi와 Lee의 근사는 모두 가우시안 근사를 사용하여 열량용량을 구했지만 블록킹 확률의 유도에 있어 다르다는 것을 알 수 있다. 즉, E_{k0}/I_0 의 평균값을 사용하는가, 중간값을 사용하는가 하는 점이다. Viterbi와 Lee의 근사에서 로그노말 랜덤변수들의 합을 가우시안 랜덤변수로 근사화하여 가우시안 판별을 한다는 것은 사용자가 무한대라는 가정하에서만 가능하다. 만약 그렇지 않다면 근사화 오차가 커지게 된다. Fenton은 로그노말 분포의 표준편차가 비교적 작은 4 dB 이내에서는 로그노말 랜덤변수의 합 역시 로그노말 랜덤변수가 된다는 것을 증명하였다^[6]. 실제 수신전력의 측정결과, 표준편차는 4 dB 미만이었다^[4,7]. 따라서 가우시안이 아닌 로그노말로 근사화하여 로그노말 판별을 사용하는 블록킹 확률을 구해야만 정확한 열량용량을 구할 수 있게 된다.

DS/CDMA 셀룰라 시스템의 용량을 계산함에 있어 기지국과 이동국 사이에 완벽한 전력제어를 전제로하여 기지국에 도달하는 이동국들의 수신전력이 모두 동일하다고 가정하였으나 실제 실험결과 완벽한 전력제어는 기지국과 이동국 사이의 불안정한 이동 무선채널로 인하여 불가능한 것으로 보고되었다^[4,8]. 따라서, 불완전 전력제어에 의한 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 용량저하를 고려해야만 한다. 또한 완벽한 전력제어가 되지 않는다면, 전파음영과 더불어 다중경로 페이딩의 특징이 여전히 존재하게 되어 수신 신호전력을 단순히 로그노말 분포로 가정할 수 없게 된다^[9,10,11]. 그러므로 불완전 전력제어 환경에서는 전파음영만을 고려하는 기존의 용량 계산과는 달리, 이 두 효과를 모두 고려하여야만 정확한 용량을 산출할 수 있게 된다.

본 논문에서는 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 블록킹 확률을 계산하기 위하여, 레일레이 분포된 다중경로 페이딩 환경을 가정하고 가우시안 판별과 로그노말 판별을 사용한 블록킹 확률 P_B 및 그에 일치하는 열량용량과 등가채널수를 전파음영과 다중경로 페이딩을 모두 고려하여 해석적으로 분석한다.

II. 채널 모델

신호가 레일레이 분포된 다중경로 페이딩 채널을 통과한다고 가정하고 역방향 이동 무선채널을 단구간(short-term)에서 관찰하면, 기지국에 수신되는 신호는 폐루프 전력제어(CI-PC: closed-loop power control)에도 불구하고 여전히 레일레이 분포를 하게 된다^[9,10]. 장구간(long-term)에서 관찰하면, 레일레이 분포된 수신신호의 평균 전력은 로그노말 분포로 나타난다^[9].

역방향 이동 무선채널에서 다중경로 전파로 인하여 i 번째 사용자의 신호가 L 가지의 경로들로 나눠진다고 가정하면, i 번째 사용자에게 의해 j 번째 경로로 기지국에 수신된 신호의 비트 에너지 $E_{k(i,j)}$ ($j=1, 2, \dots, L$)는 i 번째 사용자의 비트에너지와 MIP(Multipath Intensity Profile)로 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E_{k(i,j)} = E_{k(i)} \cdot f_j \tag{1}$$

여기에서 $E_{k(i)}$ 는 i 번째 사용자의 수신 신호에너지이고, f_j 는 다음과 같은 정규화된 MIP이다^[12].

$$\sum_{j=1}^L f_j = 1$$

수신신호의 포락선이 레일레이 분포를 하므로 수신신호 에너지는 chi-square 분포가 된다. i 번째 사용자의 신호가 j 번째 경로로 수신될 때의 비트 에너지를 $E_{k(i,j)}$ 라고 할 때 $E_{k(i,j)}$ 에 대한 평균과 계 곱평균은 chi-square 분포의 특성으로 인하여 다음과 같이 된다^[12].

$$E_{short}(E_{k(i,j)}) = f_j \cdot E_{short}(E_{k(i)}) = f_j \cdot \epsilon_i \tag{2}$$

$$E_{short}(E_{k(i,j)}^2) = 2 \cdot f_j^2 \cdot [E_{short}(E_{k(i)})]^2 = 2 \cdot f_j^2 \cdot \epsilon_i^2 \tag{3}$$

여기에서 $E_{short}(E_{k(i)}) = \epsilon_i$ 이다.

단구간 페이딩을 고려할 때, L 가지의 다중경로 채널이 각각의 경로들에 대해 독립적인 페이딩을 받는다고 가정하면, i 번째 사용자의 수신에너지 $E_{k(i)}$ 의 평균과 제곱평균은 다음과 같이 나타낼 수 있다^[12].

$$E_{short}(E_{k(i)}) = \sum_{j=1}^L f_j \cdot \varepsilon_i = \varepsilon_i \quad (4)$$

$$E_{short}(E_{k(i)}^2) = \sum_{j=1}^L 2 \cdot f_j^2 \cdot \varepsilon_i^2 = \delta \cdot \varepsilon_i^2 \quad (5)$$

여기에서 $\delta = \sum_{j=1}^L 2 \cdot f_j^2$ 이고 $E_{short}()$ 는 단구간 페이딩에 대한 평균을 의미한다.

단구간에 대하여 총체적 평균(ensemble average)한 ε_i 는 그 자신이 수신된 평균 신호 에너지의 느린 변화로 인한 랜덤변수이다. 이 변화는 로그노말 분포의 전파음영과 페루프 전력제어의 오차와 지연의 결과로 나타난다. 랜덤변수 ε_i 는 다음과 같이 로그노말 분포로 근사화될 수 있다^[5].

$$\varepsilon_i = 10^{x/10}$$

여기에서 x 는 가우시안 랜덤변수이다.

장구간에서, 관측 인터벌 동안 평균함으로써 구해지는 수신된 신호 에너지 ε_i 의 중간, 평균 및 제곱평균값은 다음과 같다^[5].

$$Median(\varepsilon_i) = \varepsilon_{Med} = \exp(\beta m) \quad (6)$$

$$\begin{aligned} E_{long}(\varepsilon_i) &= E_{long}\{\exp[\beta \cdot (m + \sigma G)]\} \\ &= \varepsilon_{Med} \cdot \exp\left(\frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2\right) \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} E_{long}(\delta \cdot \varepsilon_i^2) &= E_{long}\{\delta \cdot \exp[2\beta \cdot (m + \sigma G)]\} \\ &= \delta \cdot \varepsilon_{Med}^2 \cdot \exp(2\beta^2 \sigma^2) \end{aligned} \quad (8)$$

여기에서 m 과 σ 는 각각 가우시안 분포의 평균과 분산이고 $E_{long}()$ 는 장구간 페이딩에 대한 평균, $\beta = \ln 10/10$ 이고 G 는 평균이 0이고 단위 분산을 갖는 가우시안 랜덤변수를 나타낸다.

III. 블러킹 확률 계산

각각의 셀마다 K 명의 역방향 링크 사용자들이 존재한다고 가정하면, $K+1$ 번째 사용자에게는 다음과 같은 P_{Total} 이 간섭전력이 된다.

$$P_{Total} = \sum_{i=1}^K \nu_i P_i + \sum_j^{other\ cells} \sum_{i=1}^K \nu_{j,i} P_{j,i} + N_0 W = I_0 W \quad (10)$$

여기에서 ν_i 와 P_i 는 기준셀에서의 i 번째 사용자에 대한 음성 활동을(voice activity)과 랜덤 신호전력을 나타내고 $\nu_{j,i}$ 와 $P_{j,i}$ 는 j 번째 셀에서의 i 번째 사용자에 음성활동율과 랜덤 신호전력을 나타낸다. W 는 CDMA 확산 스펙트럼 대역폭이고 N_0 는 잡음 밀도 함수이며 I_0 는 간섭 밀도함수이다.

식 (10)을 $I_0 R_b$ 로 정규화하고, Z_K 를 다음과 같이 정의하면, 식 (11)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} Z_K &= \sum_{i=1}^K \nu_i \frac{E_{k(i)}}{I_0} + \sum_j^{other\ cells} \sum_{i=1}^K \nu_{j,i} \frac{E_{k(j,i)}}{I_0} \\ Z_K &= \sum_{i=1}^K \nu_i \rho_i + \sum_j^{other\ cells} \sum_{i=1}^K \nu_{j,i} \rho_{j,i} = \frac{W}{R_b} (1 - \eta) \end{aligned} \quad (11)$$

여기에서 R_b 는 비트율(bit rate), $\rho_i = E_{k(i)}/I_0$ 이고 $\rho_{j,i} = E_{k(j,i)}/I_0$ 이며 $\eta = N_0/I_0$ 는 CDMA 시스템의 부하(load)를 나타내는 파라메타이고, WR_b 는 확산 스펙트럼 처리이득(processing gain)이다. 우선 η 값이 주어지면, $K+1$ 번째 사용자가 사용할 수 있는 채널의 질은 랜덤변수 Z_K 의 분포에 의해 결정된다. 이때 Z_K 가 임계값을 초과하면, 그 채널은 $K+1$ 번째 사용자를 블러킹할 것이다. 즉, $K+1$ 번째 CDMA 사용자가 블러킹될 확률은 Z_K 가 임계값을 초과하는 확률이 된다. Padovani는 $\eta < 0.1$ 일때 시스템이 과부하(overload)되었다고 간주하였다^[7].

3.1 가우시안 판별

Z_K 가 랜덤변수들의 합이기 때문에 중앙극한정리를 사용하여, 블러킹 확률 P_B 를 가우시안 판별할 수 있다^[4,5].

$$P_B = \Pr\{Z_K > Z_{critical}\} = Q\left(\frac{Z_{critical} - E(Z_K)}{\sqrt{Var(Z_K)}}\right) \quad (12)$$

여기에서 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) dx$ 이고 $Z_{critical}$ 은 Z_K 의 임계값이며 $E(Z_K)$ 와 $Var(Z_K)$ 는 각각 Z_K 의 평균과 분산을 나타낸다.

랜덤변수 K 가 포이송 변수이기 때문에 평균과 분산이 같게 된다는 점과 식 (7) 및 식 (8)을 이용하면, 전파음영과 레이레이 페이딩을 모두 고려한 랜덤변수 Z_K 의 평균과 분산은 각각 다음과 같이

구할 수 있다.

$$E\{Z_K\} = \frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f) \cdot \rho_{Med} \cdot \exp\left\{\frac{1}{2} \beta^2 \sigma_{dB}^2\right\} \quad (13)$$

$$Var\{Z_K\} = \delta \cdot \frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f) \cdot \rho_{Med}^2 \cdot \exp(2\beta^2 \sigma_{dB}^2) \quad (14)$$

여기에서 m_{dB} 와 σ_{dB} 는 각각 $m_{dB} = m/I_0$ 과 $\sigma_{dB} = \sigma/I_0$ 이고 $\rho_{Med} = \exp(\beta\sigma_{dB})$ 이며 $\rho_{Med}^2 = \exp(2\beta m_{dB})$ 이고 f 는 간섭전력에 대한 간섭 보정계수이다. [4]에서는 E_b/I_0 의 중간값이 상수가 되기 때문에, 랜덤변수 Z_K 를 E_b/I_0 의 중간값으로 나눈 새로운 랜덤변수를 사용하여 계산을 하였다.

그러므로 다중경로 페이딩과 전파음영을 모두 고려하고 가우시안 판별한 블록킹 확률 P_B 는 다음과 같이 유도된다.

$$P_B = Q\left(\frac{Z_{critical} - \frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f) \cdot \rho_{Med} \cdot \exp\left\{\frac{1}{2} \beta^2 \sigma_{dB}^2\right\}}{\sqrt{\delta \cdot \frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f) \cdot \rho_{Med}^2 \cdot \exp(2\beta^2 \sigma_{dB}^2)}}\right) \quad (15)$$

3.2 로그노말 판별

표준편차가 비교적 작은 4 dB 이내의 로그노말 랜덤변수들의 합 또한 로그노말 랜덤변수가 된다는 것을 Fenton이 증명하였다^[6]. 더불어, 상대적으로 큰 4~12 dB 사이의 표준편차를 갖는 경우에는 Schwartz와 Yeh가 제시한 방법으로 계산할 수 있다^[6,13]. 실제 수신전력의 표준편차를 측정된 결과가 4 dB 미만이므로, 로그노말 랜덤변수 ρ_i 들의 합인 Z_K 는 로그노말 랜덤변수가 된다. 따라서, 본 논문에서는 Fenton이 제시한 방법을 사용하여 로그노말 판별을 한다.

로그노말 판별에 의한 블록킹 확률 P_B 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_B = \Pr\{Z_K > \ln Z_{critical}\} = Q\left(\frac{\ln Z_{critical} - E\{Z_K\}}{\sqrt{Var\{Z_K\}}}\right) \quad (16)$$

여기에서 $E\{Z_K\}$ 와 $Var\{Z_K\}$ 는 각각 랜덤변수 Z_K 의 가우시안 평균과 분산을 나타낸다.

랜덤변수 X 가 로그노말 랜덤변수일 경우, 가우시안 랜덤변수 Y 의 평균과 분산은 $Y = \ln X$ 의 관계로부터 Fenton이 제시한 방법을 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다^[6,13].

$$E\{Y\} = \ln E\{X\} - \frac{1}{2} Var\{Y\} \quad (17)$$

$$Var\{Y\} = \ln\left[\frac{Var\{X\}}{[E\{X\}]^2} + 1\right] \quad (18)$$

따라서, $E\{Z_K\}$ 와 $Var\{Z_K\}$ 는 식 (17)와 식 (18)의 관계를 사용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$Var\{Z_K\} = \ln\left[\frac{\delta \cdot \exp(\beta^2 \sigma_{dB}^2)}{\frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f)} + 1\right] \quad (19)$$

$$E\{Z_K\} = \ln\left[\frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f)\right] + \frac{1}{2} [\beta^2 \sigma_{dB}^2 - Var\{Z_K\}] \quad (20)$$

그러므로, 다중경로 페이딩과 전파음영을 모두 고려하고 로그노말 판별한 블록킹 확률 P_B 는 다음과 같이 유도된다.

$$P_B = Q\left(\frac{\ln Z_{critical} - \ln\left[\frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f)\right] - \beta m_{dB} - \frac{1}{2} [\beta^2 \sigma_{dB}^2 - \ln\left(\frac{\delta \cdot \exp(\beta^2 \sigma_{dB}^2)}{\frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f)} + 1\right)]}{\sqrt{\ln\left[\frac{\delta \cdot \exp(\beta^2 \sigma_{dB}^2)}{\frac{\lambda}{\mu} \cdot \bar{\nu} \cdot (1+f)} + 1\right]}}\right) \quad (21)$$

IV. 열량용량 분석

전파음영과 다중경로 페이딩 채널에서 가우시안 판별과 로그노말 판별로 구한 열량용량과 등가채널 수를 데이터율 $R_b = 9.6$ kbps와 $R_b = 14.4$ kbps에 대하여 다음과 같은 경우에 대하여 서로 비교분석한다. 이 비교분석을 하기 위해 사용되는 파라미터는 표 1과 같다.

- (1) 전파음영 채널, 가우시안 판별
- (2) 전파음영 채널, 로그노말 판별
- (3) 전파음영과 레일리 페이딩 채널, 가우시안 판별
- (4) 전파음영과 레일리 페이딩 채널, 로그노말 판별

표 1. 열량분석에 사용되는 파라미터

파라미터	심볼	값
대역폭	W	1.2288 MHz
데이터율	R_b	9.6 kbps
		14.4 kbps
SIR 평균	m_{dB}	7 dB
SIR 표준편차	σ_{dB}	2.5 dB
음성활동률 평균	$\bar{\nu}$	0.4
간섭보정계수	f	0.55
소프트 블록킹 임계값	η	0.1

Viterbi는 완벽한 전력제어를 가정하고 전파음영 채널에서 가우시안 판별을 사용하여 열량용량을 계산하였다⁵⁾. 그림 1은 다중경로 페이딩을 고려하지 않은 경우, 즉 (1)과 (2)의 경우에 대한 열량용량을 데이터율 $R_b=9.6$ kbps일 때, 다중셀과 단일셀에 대하여 나타낸 것이다. 그림의 세로축은 블럭킹 확률을 대수로 표시한 것이고 가로축은 열량용량을 나타낸다. 가우시안 판별은 로그노말 랜덤변수들의 합을 가우시안으로, 로그노말 판별은 로그노말로 근사화하는 것이다. 그러나, 로그노말 랜덤변수들의 합을 가우시안으로 근사화한다는 것은 사용자가 무한히 많다는 가정아래에서만 성립하게되기 때문에, 가우시안으로 근사화하는 것은 근사화 오차를 발생시키게 된다. 즉 1% 블럭킹 확률을 가정할 경우, 데이터율 $R_b=9.6$ kbps에서 가우시안 판별을 사용하면 Viterbi의 결과와 동일한 열량용량으로 단일셀에서는 26.39 열량, 다중셀에서는 17.03 열량이 된다. 다중셀에서의 열량용량 감소는 주변셀들에 있는 이동국들의 간섭으로 인한 것이다. 즉, 주변셀들에 있는 이동국들로부터의 간섭을 줄이면 역방향 링크의 용량을 증가시킬 수 있다는 것을 알 수 있다. 반면에, 로그노말 판별을 사용하면 단일셀에서는 21.21 열량, 다중셀에서는 13.68 열량으로 각각 19.6%와 24.4%의 근사화 오차가 발생하게 된다. 2% 블럭킹 확률에서도 마찬가지로 단일셀에서는 28.3 열량에서 24.66 열량으로, 다중셀에서는 18.26 열량에서 15.91 열량으로 12.9%의 동일한 근사화 오차가 발생하게 된다. 그러므로 블럭킹 확률이 작아질수록 가우시안 판별로 구한 열량용량은 더욱 큰 근사화 오차를 발생시킨다는 것을 알 수 있다. 즉, 블럭킹 확률이 작아질수록 로그노말 판별에 의한 열량용량은 가우시안 판별보다 급격히 감소하게 된다.

그림 2와 그림 3은 전파음영과 다중경로 페이딩 환경하에서, 로그노말 판별과 가우시안 판별에 따른 열량용량을 각각 데이터율에 따라 다중셀에 대하여 나타내었다. $R_b=9.6$ kbps일 경우, 1% 블럭킹 확률을 가정하면, (1)의 경우는 17.03 열량, (2)의 경우는 13.68 열량, (3)의 경우는 13.38 열량, (4)의 경우는 8.56 열량이 된다. 또한, 2% 블럭킹 확률을 가정하면 각각 18.26 열량, 15.91 열량, 14.71 열량, 11.33 열량이 된다. 다중경로 페이딩을 고려하고 가우시안 판별을 하면, 열량용량은 전파음영만을 고려한 경우보다 21.4%의 용량이 감소하는 것을 알 수 있으며 로그노말 판별을 사용하면, 37.4%의 용량이 감소하는 것을 알 수 있다. 이것은 불완전 전력제어

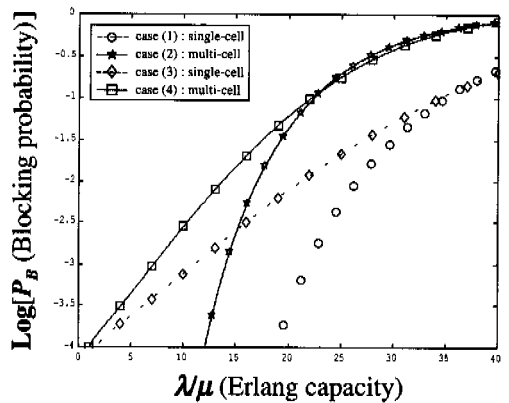


그림 1. 단일셀과 다중셀에서 데이터율 $R_b=9.6$ kbps일 경우, 판별 방법에 따른 열량용량

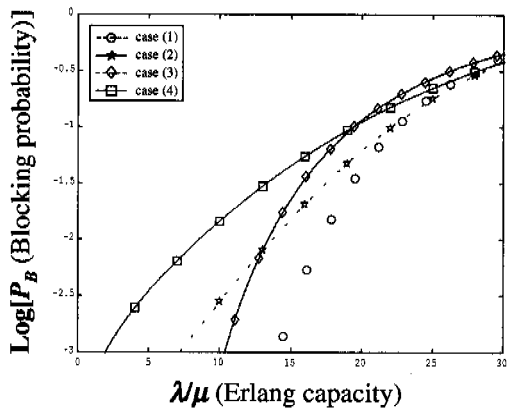


그림 2. 데이터율 $R_b=9.6$ kbps일 경우, 채널 특성과 판별 방법에 따른 열량용량

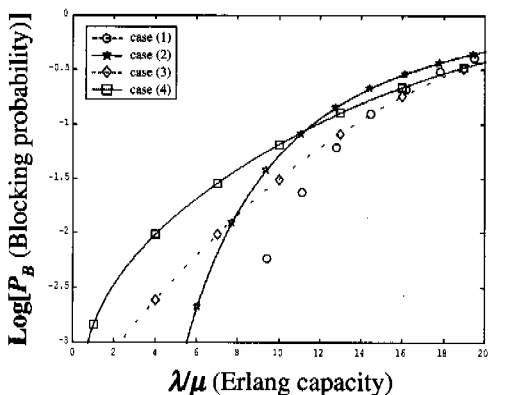


그림 3. 데이터율 $R_b=14.4$ kbps일 경우, 채널 특성과 판별 방법에 따른 열량용량

로 인하여 신호가 다중경로 페이딩을 겪기 때문이다. 또한 데이터율 $R_b=14.4$ kbps일 경우도 마찬가지로 1%의 블럭킹 확률을 가정하면, 각각 9.95 열량, 7.09 열량, 7.47 열량, 4.1 열량이 되며, 2% 블럭킹 확률을 가정하면, 각각 10.82 열량, 8.82 열량, 8.36 열량, 5.94 열량이 된다.

그림 4와 5는 요구되는 E_b/N_0 가 5 dB, 6 dB, 7 dB일 때, 열량용량을 (2)와 (4)의 경우에 대하여 데이터율 $R_b=9.6$ kbps와 $R_b=14.4$ kbps에 따라 나타낸 것이다. 데이터율 $R_b=9.6$ kbps에서 1%의 블럭킹 확률을 가정하면 (2)의 경우, $E_b/N_0=5$ dB에 일치하는 열량용량은 26.78 열량이 되고 $E_b/N_0=6$ dB에서는 19.31 열량이 되어 $E_b/N_0=7$ dB보다 각각 95.8%와 41.2%의 용량 증가를 알 수 있다. (4)의 경우에도 마찬가지로, $E_b/N_0=5$ dB에서는 18.93 열량, $E_b/N_0=6$ dB에서는 12.85 열량으로 $E_b/N_0=7$ dB보다 각각 121.1%와 50.1%의 더욱 큰 용량 증가를 알 수 있다. 이것은 요구되는 E_b/N_0 가 작게 되면, 간섭량 또한 작아지게 되어 보다 많은 사용자에게 서비스할 수 있게 된다는 것을 의미한다. 데이터율 $R_b=14.4$ kbps에서 1%의 블럭킹 확률을 가정할 경우, (2)에서는 E_b/N_0 가 5 dB, 6 dB, 7 dB에 대해 각각 14.88 열량, 10.39 열량, 7.09 열량이 되며, (4)에서는 각각 9.45 열량, 6.23 열량, 4.1 열량이 된다. 데이터율 $R_b=9.6$ kbps보다 $R_b=14.4$ kbps에 대한 열량용량이 작은 것은 처리이득의 감소로 인한 것이다. 그러나 요구되는 E_b/N_0 를 감소시킨다면 $R_b=9.6$ kbps에 비하여 더욱 큰 용량 증가를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

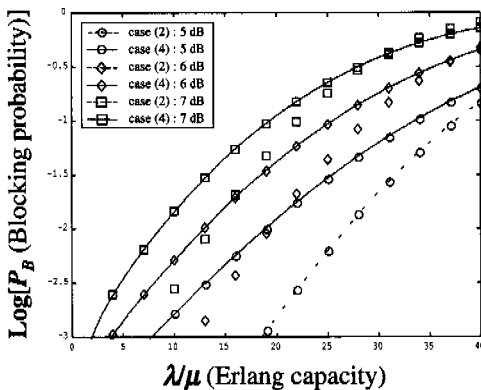


그림 4. 데이터율 $R_b=9.6$ kbps일 경우, 요구되는 E_b/N_0 에 따른 열량용량

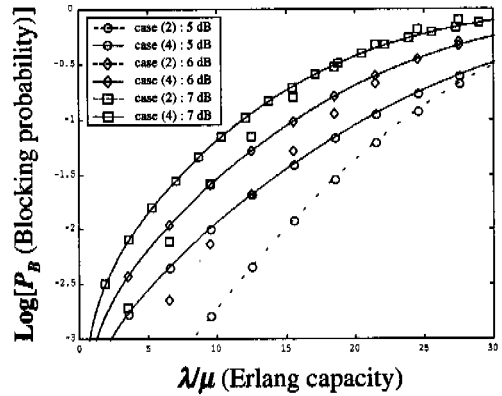


그림 5. 데이터율 $R_b=14.4$ kbps일 경우, 요구되는 E_b/N_0 에 따른 열량용량

실제 셀룰라 무선통신 시스템이나 개인 통신 시스템에서, 모든 이동국이 전송하는 전력레벨은 서비스를 하는 기지국에 의해 제어된다. 이것은 각각의 이동국이 역방향 채널에서 양질의 링크를 유지하는데 필요로 하는 최소한의 전력을 송신하도록 하는 것이다. 현재 DS/CDMA 셀룰라 시스템에서 사용되고 있는 전력제어는 개루프 전력제어와 페루프 전력제어이다. 개루프 전력제어는 수신 신호강도를 기준으로 하는 단순한 전력제어를 하고, 페루프 전력제어는 1.25ms마다 전력제어비트를 사용하여 보다 세밀한 전력제어를 한다. 그러나 이러한 전력제어에도 불구하고 실제 측정값은 전파음영과 다중경로 페이딩에 의한 영향을 같이 받고 있다. 그림 6과 그림 7은 데이터율 $R_b=9.6$ kbps와 $R_b=14.4$ kbps에 대하여 전력제어오차(power control error)에 따른 용량 변화를 (2)와 (4)의 경우에 대해 완벽한 전력제어에서부터 과도한 전력제어오차까지 나타낸다.

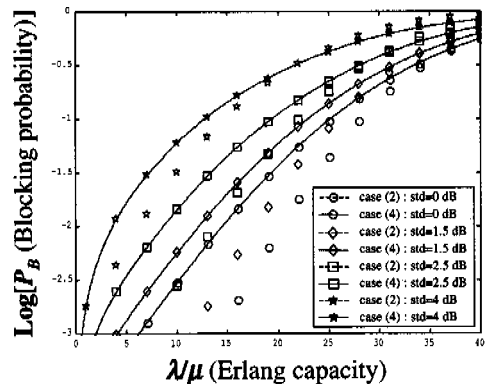


그림 6. 데이터율 $R_b=9.6$ kbps일 경우, 전력제어오차에 따른 열량용량

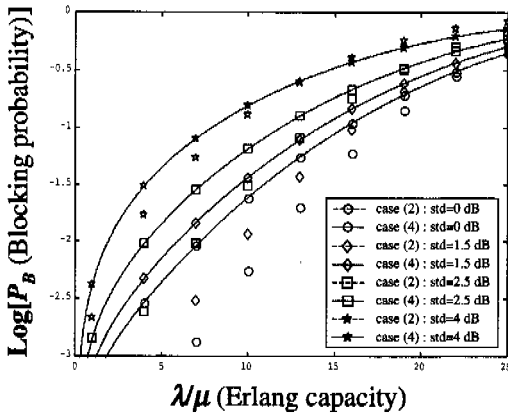


그림 7. 데이터율 $R_b = 14.4$ kbps일 경우, 전력제어오차에 따른 얼랑용량

현재 DS/CDMA 셀룰라 시스템에서는 가변율 보코더(variable rate vocoder)를 사용하여 트래픽 채널 데이터율을 1.2 kbps, 2.4 kbps, 4.8 kbps, 9.6 kbps 중의 하나로 수시로 변화시킨다. 이 가변 데이터율, 즉 음성활동율을 평균해 보면 9.6 kbps를 기준으로 하였을 경우, 약 40% 정도의 값을 갖는다. 그러므로, 데이터율이 낮을 때는 간섭이 감소하게 되어 시스템의 용량을 증가시키는 요인이 된다. 음성활동율이 얼랑용량에 미치는 효과를 (4)의 경우에 대하여 데이터율 $R_b = 9.6$ kbps와 $R_b = 14.4$ kbps에 따라 각각 그림 8과 그림 9에 나타내었다. 여기에서 음성활동율이 100%인 경우는 데이터 서비스를 의미한다. 1%의 블럭킹 확률과 데이터율 $R_b = 9.6$ kbps를 가정하면, 음성 활동율이 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1일 때의 얼랑용량은 각각 17.12 얼랑,

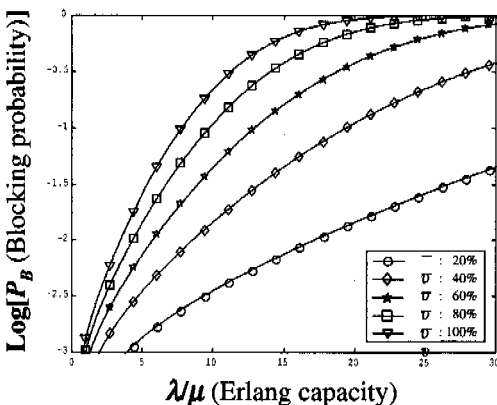


그림 8. 데이터율 $R_b = 9.6$ kbps일 경우, 음성활동율에 따른 얼랑용량

8.56 얼랑, 5.71 얼랑, 4.28 얼랑, 3.42 얼랑이 되며 데이터율 $R_b = 14.4$ kbps에 대해서는 8.19 얼랑 4.1 얼랑, 2.73 얼랑, 2.05 얼랑, 1.64 얼랑이 된다. 따라서, DS/CDMA 셀룰라 시스템에서 데이터만을 서비스한다고 가정할 경우, 데이터율 $R_b = 9.6$ kbps와 $R_b = 14.4$ kbps에서의 얼랑용량은 각각 음성 서비스의 40%와 20% 밖에 되지 않는다는 것을 알 수 있다.

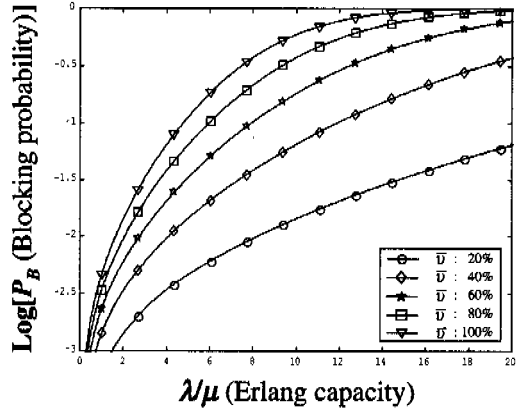


그림 9. 데이터율 $R_b = 14.4$ kbps일 경우, 음성활동율에 따른 얼랑용량

표 2는 1%와 2%의 블럭킹 확률에 대하여 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 역방향 링크의 얼랑용량과 그에 상응하는 등가 채널수를 각각의 경우에 따라 나타내었다.

V. 결론

다중경로 페이딩 채널을 고려할 경우의 얼랑용량과 등가 채널수를 다중경로 페이딩 채널을 고려하지 않았을 경우 및 판별 방법에 따라 비교 분석하였다. 통화 블럭킹은 전체 간섭이 배경 잡음보다 10 dB 초과할 때로 가정하고 얼랑용량은 블럭킹 확률이 1%와 2%일 때 해당하는 통화량 부하(load)로 정의하였다. 호 도착률은 포아송분포, 호 서비스시간은 지수분포로 모델링하고, 대기 이론에서 M/M/∞인 충분한 수의 서버를 가정하였다. 또한 레일레이 다중경로 채널을 가정하고, 음성 활동율은 40%, 각 사용자의 수신에너지 대 간섭밀도비를 로그노말 분포로 근사화하였으며 평균이 0이고 단위 분산을 갖는 가우시안 랜덤 변수를 사용하였다. 더불어, 유선 시스템에서 널리 사용되며 현재 상용중인 디지털

표 2. 각각의 경우에 일치하는 열량용량과 등가 채널수

블록킹 확률	데이터율 (kbps)	(1)		(2)		(3)		(4)		비 고
		열량 용량	등가 채널수	열량 용량	등가 채널수	열량 용량	등가 채널수	열량 용량	등가 채널수	
1%	9.6	17.03	26	13.68	22	13.38	21	8.56	15	
	14.4	9.95	17	7.09	13	7.47	14	4.1	9	
2%	9.6	18.26	26	15.91	23	14.71	21	11.33	17	
	14.4	10.82	17	8.19	13	8.36	14	5.94	11	

털 시스템의 특성을 잘 나타낼 수 있는 열량-B 공식을 사용하여 전파음영과 다중경로 페이딩을 모두 고려한 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 열량용량과 등가 채널수를 판별 방법에 따라 구하였다.

그 결과 DS/CDMA 셀룰라 시스템의 보다 정확한 열량용량을 계산하기 위해서는 로그노말 판별을 해야된다는 것과 다중경로 페이딩의 영향을 무시해서는 안된다는 것을 알 수 있었다. 또한 수신신호에 남아 있는 다중경로 페이딩의 영향을 감소시키기 위해서는 빠른 페루프 전력제어가 필요할 것이고 다중경로를 이용하는 다이버시티 기법을 병행해야만 할 것이다.

이 연구결과는 DS/CDMA 시스템 설치시 전파음영과 다중경로 페이딩의 영향 및 불완전 전력제어에 의한 가입자 용량계산에 이론적인 근거로 사용할 수 있다. 향후에는 빠른 페루프 전력제어 및 다이버시티와 합성 방식 등을 고려하여 좀더 현실에 근접한 연구를 병행할 계획이다.

참 고 문 헌

[1] EIA/TIA, *IS-95 Mobile station-base station compatibility standard for dual-mode wideband spread spectrum cellular system*, Feb. 1993.
 [2] ANSI J-STD-008, *Personal station-base station compatibility requirement for 1.8 to 2.0 GHz CDMA personal communication systems*, Mar. 1995.
 [3] M. G. Jansen and R. Prasad, "Capacity, throughput, and delay analysis of a cellular DS CDMA system with imperfect power control and imperfect sectorization," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 44, no. 1, pp. 67-75, Feb. 1995.

[4] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE J. on Selected Areas in Commun.*, vol. 11, no. 6, pp. 892-900, Aug. 1993.
 [5] J. S. Lee and L. E. Miller, "On the Erlang capacity of CDMA cellular system," in *GLOBECOM'95 Conf.*, Singapore. pp. 1877-1883, November 13-17, 1995.
 [6] L. F. Fenton, The sum of log-normal probability distributions in scatter transmission systems, *IRE Trans. on Commun. Systems*, vol. C5-8, pp. 57-67, March 1960.
 [7] R. Padovani, "Reverse link performance of IS-95 based cellular systems" *IEEE Personal Commun. Mag.*, pp. 28-34, Third Quarter 1994.
 [8] S. Ariyavitakul and L. Chang, "Signal and interference statistics of a CDMA system with feedback power control," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 41, no. 11, pp. 1626-1634, Nov. 1993.
 [9] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi and E. Zehavi, "Performance of power-controlled wideband terrestrial digital communication," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 41, no. 4, pp. 559-569, April 1993.
 [10] L. F. Chang, F. Ling, D. D. Falconer and N. R. Sollenberger, "Comparison of two conventional orthogonal coding techniques for CDMA radio communications systems," *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 43, no. 6, pp. 2028-2037, June 1995.
 [11] G. E. Corazza, G. De Maio and F. Vatalaro, "CDMA Cellular Systems Performance with Fading, Shadowing and Imperfect Power

Control," *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 47, no. 2, pp. 450-459, May 1998.

[12] J. G. Proakis, *Digital Communications*, McGraw-Hill, 3rd ed., 1989.

[13] S. C. Schwartz and Y. S. Yeh, On the distribution function and moments of power sums with lognormal components, *The Bell System Technical Journal*, vol. 61, no. 7, pp. 1441-1462, September 1982.

김 항 래(Hang Rae Kim)



1995년: 청주대학교 전자공학과
(공학사)

1997년: 청주대학교 전자공학과
(공학석사)

1997년~1997년: 한국전자통신
연구원 위촉연구원

1999년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정
<주관심 분야> 디지털 이동통신, 무선시스템

김 남(Nam Kim)



1981년: 연세대학교 전자공학과
(공학사)

1983년: 연세대학교 전자공학과
(공학석사)

1988년: 연세대학교 전자공학과
(공학박사)

1992년~1993년: 미 Stanford 대학 방문교수

2000년~2001년: 미 California Technology Institute
(Caltech) 방문교수

1989~현재: 충북대학교 정보통신공학과 교수

<주관심 분야> 디지털 이동통신, 무선시스템, 전자
파 해석, EMR/EMC, Diffractive Optics,
WDM Optical Filter & DEMUX Optical
Memory, Holography Application