

전파음영 채널에서 근사방법에 따른 IS-95 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 일량 용량

박 영[†] · 김 항 래^{††}

요 약

IS-95 셀룰라 시스템에서는 다른 역방향 사용자들의 통화로 인한 간섭 레벨(level)이 이미 정해져 있는 레벨 이상이 되었을 때 통화 블럭킹(blocking)이 일어난다. 본 논문에서는 이동 무선채널을 전파음영(shadowing) 채널로 가정하고 불완전 전력제어된 IS-95 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 일량용량(Erlang capacity)을 산출한다. 블럭킹 확률(blocking probability)은 로그노말 근사(lognormal approximation)를 사용하여 유도하고 가우시안 근사와 로그노말 근사의 결과들을 서로 비교 분석한다. 데이터율 $R_b = 9.6\text{kbps}$ 와 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에서 1% 블럭킹 확률을 가정하면, 로그노말 근사를 사용한 일량용량은 각각 1368 일량과 7.08 일량으로 가우시안 근사가 약 24.4%와 40.4%의 근사화 오차를 발생시킨다는 것을 알 수 있다. 또한 전력제어가 완벽하게 된다면 일량용량은 전력제어 오차가 2.5 dB인 불완전 전력제어보다 6.99 일량과 4.21 일량 증가하고, 음성활동율을 40%로 긴주하면 음성활동율을 고려하지 않은 경우보다 8.21 일량과 4.25 일량이 각각 증가함을 알 수 있다.

Erlang Capacity for the Reverse Link of a IS-95 Cellular System According to Approximation Method in Shadowing Channel

Young Park[†] · Hang-Rae Kim^{††}

ABSTRACT

In a IS-95 cellular system, blocking will occur when the reverse link user interference power reaches a predetermined level which is set to maintain acceptable signal quality. In this paper, it is assumed that a mobile radio channel is a shadowing channel and Erlang capacity is calculated for the reverse link of an imperfect power controlled IS-95 cellular system. The blocking probability is derived using lognormal approximation and the results according to gaussian and lognormal approximation method are compared and analyzed, respectively. Assuming that blocking probability is 1% at the data rate of $R_b = 9.6\text{kbps}$ and $R_b = 14.4\text{kbps}$, it is shown that Erlang capacity using lognormal approximation is 1368 Erlang and 7.08 Erlang and then the approximation error is occurred about 24.4% and 40.4% in the gaussian approximation, respectively. It is also observed that if the power control becomes perfect, the Erlang capacity is increased more 6.99 and 4.21 Erlang than that of the imperfect power control that the power control error is 2.5 dB, and if voice activity is considered as 40%, the Erlang capacity is increased more 8.21 and 4.25 Erlang than that using non voice activity, respectively.

† 상 회 원 충북도립 충북과학대학 정보통신과 교수
†† 준 회 원 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

1. 서 론

이동통신 가입자의 급증과 함께 아날로그 시스템의 용량 한계는 새로운 디지털 이동통신 방식의 도입을 가속하였다[1, 2]. IS-95 셀룰라 시스템 방식의 최대 잠입인 가입자 용량에 관한 이론적 용량 분석에 관한 연구는 Pursley와 Turin에 의하여 시작된 이래로[3, 4], 1991년 Padobani가 음성 활동율(voice activity)과 다중 섹터(sector) 안테나를 이용한 공간 격리를 통해 간섭을 줄이므로서 이에 비례하는 용량 증가를 얻을 수 있음을 입증하였다[5]. 1992년 Holtzman이 가우시안 근사법(gaussian approximation)을 적용하여 용량 계산식을 유도하였고[6], 1993년 Viterbi가 교환시스템에서 일반적으로 사용하는 열량을 이동통신에 적용하여 용량을 구하였다[7]. 이동통신 용량을 계산하는데 대기이론(queueing theory)을 적용하는 것은 실제의 시스템에 더욱 가깝게 근사화 할 수 있고 보다 정확한 용량을 얻을 수 있다는 점에서 높게 평가된다.

Jansen과 Viterbi의 근사는 개념에서는 유사하지만, 이 두 근사들은 몇몇 중요한 항목들에서는 다르다는 것을 알 수 있다. 예를들어, Jansen은 전체 SNR이 로그노말 랜덤 변수들의 합이 되고, 이를 로그노말 변수로 근사화하여 채널용량을 구한 반면에, Viterbi와 Lee는 전체 SNR을 중앙 극한 성리(central limit theorem)를 사용하여 가우시안 변수로 근사화하고 열량용량을 구하였다[7-9]. 또한 Viterbi와 Lee의 근사는 모두 가우시안 근사를 사용하여 열량용량을 구했지만 블록킹 확률의 유도와 간섭보정계수의 계산에 있어 다르다는 것을 알 수 있다[7, 9]. 즉, 중간값의 이용유무에 있다. 이 근사에서 로그노말 랜덤변수들의 합을 가우시안 랜덤변수로 근사화한다는 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[10]. 실제 수신전력의 표준편차를 측정할 결과는 4 dB 미만이다[7]. 따라서 가우시안 근사가 아닌 로그노말 근사로 블록킹 확률을 구해야만 정확한 열량용량을 얻을 수 있게 된다.

본 논문에서는 IS-95 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 열량용량을 계산함에 있어 전파음영 채널을

가정하고 Viterbi가 제안한 블록킹 확률식을 확장하여 로그노말 근사를 사용하는 블록킹 확률식을 유도한 다음, 이 블록킹 확률이 1%와 2%될 때의 열량용량을 해석적으로 분석하고, 이를 가우시안 근사의 경우와 비교 분석한다.

2. 블록킹 확률

K 명의 역방향 링크 사용자들을 갖는 단일 셀을 고려하면, $K+1$ 번째 사용자에게는 K 명 사용자들의 동화로 인한 전체 전력 P_{Total} 이 간섭전력이 된다.

$$P_{Total} = v_1 P_1 + v_2 P_2 + \dots + v_K P_K + N_0 W = I_0 W \quad (1)$$

여기서

W = CDMA 확산 스펙트럼 대역폭

v_i = 음성 활동율(voice activity)

E_b = 비트 에너지

N_0, I_0 = 각각 잡음과 간섭 밀도 함수

P_i = i 번째 사용자에게 대한 랜덤 신호 전력

각 사용자의 전력이 랜덤 변수가 되므로, 식 (1)을 다음과 같이 $I_0 R_b$ 로 정규화시킬 수 있다.

$$\frac{P_{Total}}{I_0 R_b} = v_1 \frac{E_{b(1)}}{I_0} + v_2 \frac{E_{b(2)}}{I_0} + \dots + v_K \frac{E_{b(K)}}{I_0} + \frac{N_0}{I_0} \frac{W}{R_b} = \frac{W}{R_b} \quad (2)$$

여기서 R_b 는 비트율(bit rate)을 나타낸다. Z_K 를 다음과 같이 정의하자.

$$Z_K \equiv v_1 \frac{E_{b(1)}}{I_0} + v_2 \frac{E_{b(2)}}{I_0} + \dots + v_K \frac{E_{b(K)}}{I_0} \quad (3)$$

따라서 식 (2)는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{P_{Total}}{I_0 R_b} = Z_K + \frac{N_0}{I_0} \frac{W}{R_b} = \frac{W}{R_b} \quad (4)$$

그러므로, 식 (4)를 Z_K 에 대해서 정리하면 다음과 같다[7, 9]

$$Z_K = \sum_{i=1}^K \epsilon_i / I_0 = \frac{W}{R_b} (1 - \eta) \quad (5)$$

여기서 $\epsilon_i = E_{k,i} / I_0$ 이고 $\eta = N_0 / I_0$ 이며, W/R_b 는 확산 스펙트럼 처리이득(processing gain)이다.

1.1 가우시안 근사

Z_K 가 랜덤변수들의 합이기 때문에, 블럭킹 확률 P_B 의 값을 계산하기 위하여 중앙 극한 정리를 사용할 수 있다[7, 9].

$$P_B = \Pr\{Z_K > Z_c\} = Q\left(\frac{Z_c - E\{Z_K\}}{\sqrt{Var\{Z_K}\}}\right) \quad (6)$$

여기서 $Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty \exp(-x^2/2) dx$ 이고 Z_c 은 Z_K 의 임계값이며 $E\{Z_K\}$ 와 $Var\{Z_K\}$ 는 각각 Z_K 의 평균과 분산을 나타낸다. $K+1$ 번째 사용자가 사용할 수 있는 채널의 질은 랜덤변수 Z_K 의 분포에 의해 결정되고, 이때 Z_K 가 임계(threshold)값을 초과하면, 그 채널은 $K+1$ 번째 사용자를 블럭킹할 것이다. 즉 $K+1$ 번째 CDMA 사용자가 블럭킹될 확률은 Z_K 가 임계값을 초과하는 확률이 된다. Padovani는 $\eta < 0.1$ 일 때 시스템이 과부하(overload)되었다고 산주하였다[5] 따라서 우선 η 값이 주어지면, $K+1$ 번째 사용자가 사용할 수 있는 채널의 질은 랜덤변수 Z_K 의 분포에 의해 결정된다.

$\epsilon_i = E_{k,i} / I_0$ 측정값은 전력제어를 한 경우, dB값으로 평균 m 이 7dB이고 표준편차 σ 가 2.5dB인 로그노말 분포로 나타난다[7]. 그러므로 ϵ_i 의 평균과 제곱 평균값은 다음과 같다.

$$E\{\epsilon_i\} = E\{\exp[\beta \cdot (m + \sigma \cdot G)]\} = \exp\left[\beta m + \frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2\right] \quad (7)$$

$$E\{\epsilon_i^2\} = E\{\exp[2\beta \cdot (m + \sigma \cdot G)]\} = \exp[2\beta m + 2\beta^2 \sigma^2] \quad (8)$$

여기서 $\beta = \ln 10 / 10$ 이고 G 는 평균이 0이고 단위 분산을 갖는 가우시안 랜덤변수이며 m 과 σ 는 각각 가우시안 분포의 평균과 분산을 나타낸다.

다음으로 블럭킹 확률을 계산하기 위하여 Z_K 의 평

균과 분산을 계산해야만 한다. 그러나 ϵ_i 의 평균과 제곱평균값에는 상수값인 $\exp(\beta m)$ 이 존재한다. 따라서 랜덤변수 Z_K 를 다른 랜덤변수 $Z = Z_K / \exp(\beta m)$ 로 바꾸어 쓰던 블럭킹 확률 P_B 는 다음과 같이 쓸 수 있다[7, 9].

$$P_B = Q\left(\frac{Z_{critical} - E\{Z\}}{\sqrt{Var\{Z\}}}\right) \quad (9)$$

여기서 $Z_{critical} = Z_c / \exp(\beta m)$ 이고 $E\{Z\}$ 와 $Var\{Z\}$ 는 각각 랜덤변수 Z 의 평균과 분산을 나타낸다.

K 가 포아송(poisso) 변수이기 때문에 평균과 분산이 같게 된다는 점과 식 (7) 및 식 (8)을 이용하면 랜덤변수 Z 의 평균과 분산을 다중셀에 대하여 다음과 같이 구할 수 있다[7].

$$E\{Z\} = E\{K\}E\{v_i\}E\{\rho_i\} \cdot (1+f) \quad (10)$$

$$= \bar{K} \cdot \bar{v}_i \cdot (1+f) \cdot \exp\left[-\frac{1}{2} \beta^2 \sigma^2\right]$$

$$Var\{Z\} = \{E\{K\}Var\{v_i, \rho_i\} + Var\{K\}[E\{v_i, \rho_i\}]^2\} (1+f)$$

$$= \bar{K} \cdot (1+f) \cdot E\{v_i^2, \rho_i^2\} \quad (11)$$

$$= \bar{K} \cdot \bar{v}_i \cdot (1+f) \cdot \exp[2\beta^2 \sigma^2]$$

여기서 $\rho_i = \epsilon_i / \exp(\beta m)$ 이고 f 는 간섭보정계수이다[7, 11].

1.2 로그노말 근사

가우시안 근사보다 더욱 정확한 방법은 로그노말 랜덤변수 ρ_i 의 합인 Z 를 로그노말로 근사화하는 것이다. 각각의 사용자는 기지국으로부터 독립적으로 전력제어를 받고 있으므로, K 명의 사용자로부터 수신한 수신전력의 확률밀도함수도 또한 로그노말 분포를 하게 된다. 표준편차가 비교적 작은 4dB 이내에는 Fenton이 제시한 방법으로 계산할 수 있고, 상대적으로 큰 4~12dB 사이의 값을 갖는 경우에는 Schwartz와 Tech가 제시한 방법으로 계산할 수 있다[10, 12]. 실제 수신전력의 표준편차를 측정된 결과가 4dB 미만이므로 본 논문에서는 Fenton이 제시한 방법을 사용한다.

로그노말 근사에 의한 블럭킹 P_B 는 다음과 같이 계산된다

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

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

랜덤변수 X 가 로그노말 분포라면, 가우시안 랜덤변수 Y 의 평균과 분산은 $Y=\ln X$ 의 관계로부터 다음과 같이 유도될 수 있다[13].

$$E\{Y\} = \ln E\{X\} - \frac{1}{2} Var\{Y\} \quad (13)$$

$$Var\{Y\} = \ln \left[\frac{Var\{X\}}{[E\{X\}]^2} + 1 \right] \quad (14)$$

그러므로 $E\{Z\}$ 와 $Var\{Z\}$ 는 식 (13)과 식 (14)의 관계를 사용하여 구할 수 있으며, 또한 부록에 나타낸 것과 같은 방법으로도 구할 수 있다. 따라서 랜덤변수 Z' 에 대한 평균과 분산은 다음과 같이 된다.

$$Var\{Z'\} = \ln \left[\frac{\exp(\beta^2 \rho^2)}{\bar{K} \cdot \bar{v}_i \cdot (1+f)} + 1 \right] \quad (15)$$

$$E\{Z'\} = \ln [\bar{K} \cdot \bar{v}_i \cdot (1+f)] + \frac{1}{2} [\beta^2 \rho^2 - Var\{Z'\}] \quad (16)$$

3. 열량용량 분석

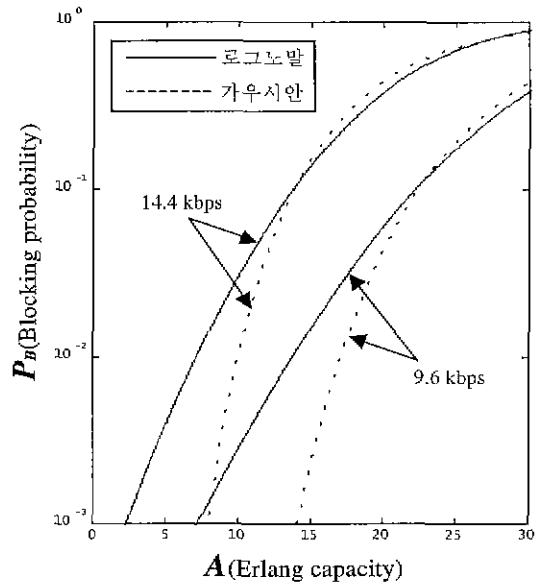
가우시안 근사와 로그노말 근사로부터 구한 열량용량과 등가채널수를 데이터율 $R_b=9.6\text{kbps}$ 와 $R_b=14.4\text{kbps}$ 에 대하여 서로 비교분석한다. 이 비교분석을 위해 사용한 파라미터는 다음과 같다.

<표 1> 열량용량을 구하기 위한 파라미터

항목	심볼	수치
대역폭	W	12288MHz
데이터율	R_b	9.6Kbps 14.4Kbps
SIR의 평균	M	7dB
SIR의 표준편차	σ	2.5dB
음성활동율	v_i	0.3, 0.4, 0.6, 0.8, 1
간섭보정계수	f	0.55
블록킹 임계값	η	0.1

(그림 1)은 데이터율 $R_b=9.6\text{kbps}$ 와 $R_b=14.4\text{kbps}$ 일 경우, 근사방법에 따른 열량용량을 나타낸 것으로서 새로측은 블록킹 확률을, 가로축은 서비스할 수 있는 열량용량을 나타낸다 가우시안 근사는 로그노말 랜덤변수들의 합을 가우시안 분포로, 로그노말 근사는 로그노말 분포로 근사화하는 것이다. 그러나 로그노말

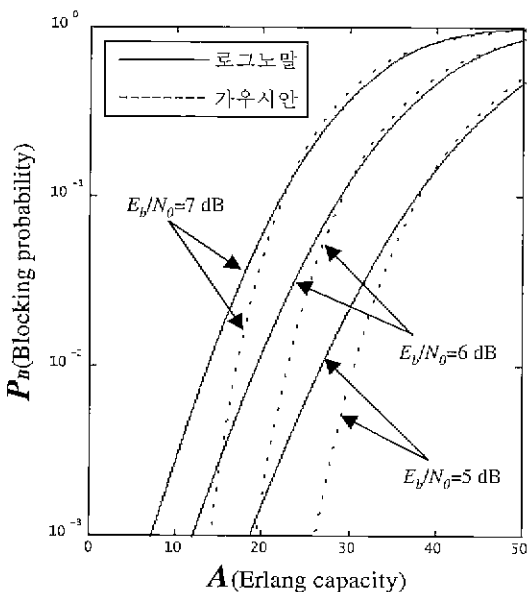
랜덤변수들의 합은 또한 로그노말 분포를 하게 된다. 따라서 사용자의 수가 무한히 많다는 가정아래 가우시안으로 근사화하는 것은 근사화 오차를 발생시키게 된다. 즉, 1% 블록킹 확률을 가정할 경우, 데이터율 $R_b=9.6\text{kbps}$ 에서의 열량용량은 가우시안 근사인 경우에는 17.02 열량, 로그노말 근사인 경우에는 13.68 열량으로 약 24.4%의 근사화 오차가 발생하게 된다. 2% 블록킹 확률에서도 마찬가지로 18.26 열량에서 15.91 열량으로 약 14.8%의 근사화 오차가 발생한다. 또한 데이터율 $R_b=14.4\text{kbps}$ 에서의 열량용량은 가우시안 근사인 경우에는 9.94 열량, 로그노말 근사인 경우에는 7.08 열량으로 약 40.4%의 근사화 오차가 발생하고, 2% 블록킹 확률에서는 10.81 열량에서 8.81 열량으로 약 22.7%의 근사화 오차가 발생한다. 그러므로 블록킹 확률이 작아질수록 가우시안 근사로 구한 열량용량은 더욱 큰 근사화 오차를 발생시킨다는 것을 알 수 있다. 즉, 블록킹 확률이 작아질수록 로그노말 근사에 의한 열량용량은 가우시안 근사보다 급격히 감소한다.



(그림 1) 근사방법과 데이터율에 따른 열량용량

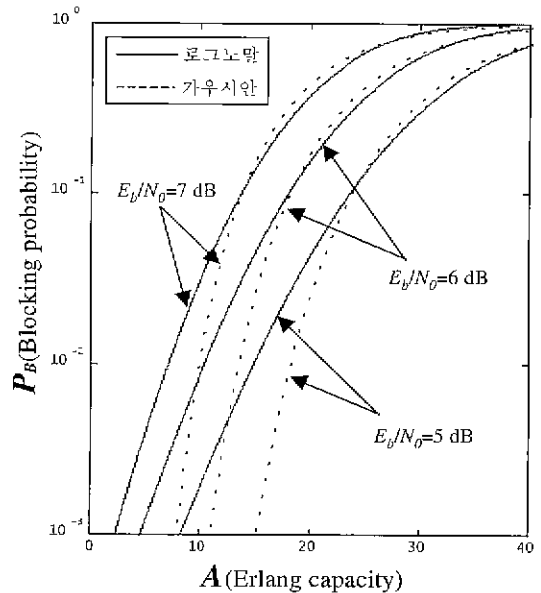
(그림 2)와 (그림 3)은 요구되는 E_b/N_0 가 5dB, 6dB, 7dB일 경우에 따른 열량용량을 각각 근사방법과 데이터율 $R_b=9.6\text{kbps}$ 와 $R_b=14.4\text{kbps}$ 에 대하여 나타낸 것이다. 데이터율 $R_b=9.6\text{kbps}$ 에서 로그노말 근사를

사용할 경우에 1% 블록킹 확률을 가정하면, $E_b/N_0 = 5\text{dB}$ 에서는 26.78 일량, $E_b/N_0 = 6\text{dB}$ 에서는 19.3 일량으로 $E_b/N_0 = 7\text{dB}$ 보다 각각 약 95.8%(131 일량)와 41.1%(5.62 일량)의 용량 증가를 알 수 있다 마찬가지로 2% 블록킹 확률을 가정하면, $E_b/N_0 = 5\text{dB}$ 에서는 29.63 일량, $E_b/N_0 = 6\text{dB}$ 에서는 21.83 일량으로 $E_b/N_0 = 7\text{dB}$ 보다 각각 약 86.2%(13.72 일량)와 37.2%(5.92 일량)의 용량 증가를 알 수 있다. 또한 데이터율 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에서 로그노발 근사를 사용할 경우에 1% 블록킹 확률을 가정하면, $E_b/N_0 = 5\text{dB}$ 에서는 14.87 일량, $E_b/N_0 = 6\text{dB}$ 에서는 10.37 일량으로 $E_b/N_0 = 7\text{dB}$ 보다 각각 약 110%(7.79 일량)와 79.4%(5.62 일량)의 용량이 증가함을 알 수 있다. 마찬가지로 2% 블록킹 확률을 가정하면, $E_b/N_0 = 5\text{dB}$ 에서는 17.17 일량, $E_b/N_0 = 6\text{dB}$ 에서는 12.38 일량으로 $E_b/N_0 = 7\text{dB}$ 보다 각각 약 94.9%(8.36 일량)와 40.5%(3.57 일량)의 용량이 증가함을 알 수 있다 이것은 요구되는 E_b/N_0 가 작아지면, 간섭량이 또한 작아지게 되어 보다 많은 사용자를 서비스할 수 있게 된다는 것을 의미한다. 데이터율 $R_b = 9.6\text{kbps}$ 보다 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에 대한 일량용량이 작은 것은 처리이득의 감소로 인한 것이다. 그러나 요구되는 E_b/N_0 를 감소시킨다면 $R_b = 9.6\text{kbps}$



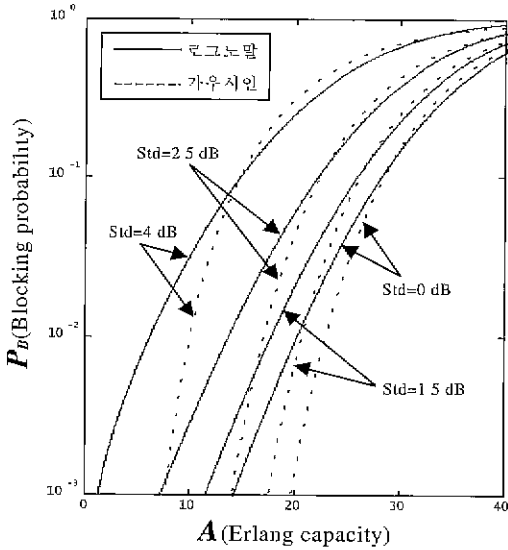
(그림 2) 데이터율이 9.6kbps일 경우, 요구되는 E_b/N_0 에 따른 일량용량

에 비하여 더욱 큰 용량증가를 얻을 수 있다는 것을 알 수 있다.

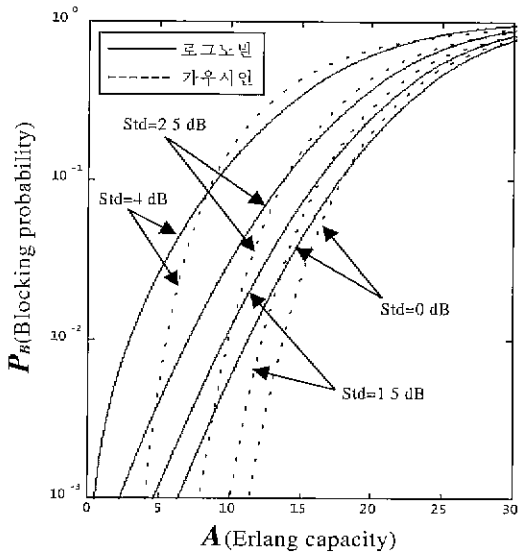


(그림 3) 데이터율이 14.4kbps일 경우, 요구되는 E_b/N_0 에 따른 일량용량

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 IS-95 셀룰라 시스템에서 사용되고 있는 전력제어는 개루프 전력제어와 폐루프 전력제어이다. 개루프 전력제어는 수신 신호강도를 기준으로하는 단순한 전력제어를 하고, 폐루프 전력제어는 1.25ms마다 전력제어비트를 사용하여 보다 세밀한 전력제어를 한다. 그러나 이러한 전력제어에도 불구하고 실제 측정값은 전파음영에 의한 영향을 받고 있다. (그림 4)와 (그림 5)는 데이터율 $R_b = 9.6\text{kbps}$ 와 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에 대하여 전력제어오차(power control error)에 따른 용량의 변화를 근사방법에 따라 나타내었다. Viterbi의 필드 실험에서는 2.5 dB의 표준편차를 갖는 것으로 측정되었다[7]. (그림 4)와 (그림 5)에서는 완벽한 전력제어에서부터 과도한 전력제어 오차까지의 용량 변화를 보인다.



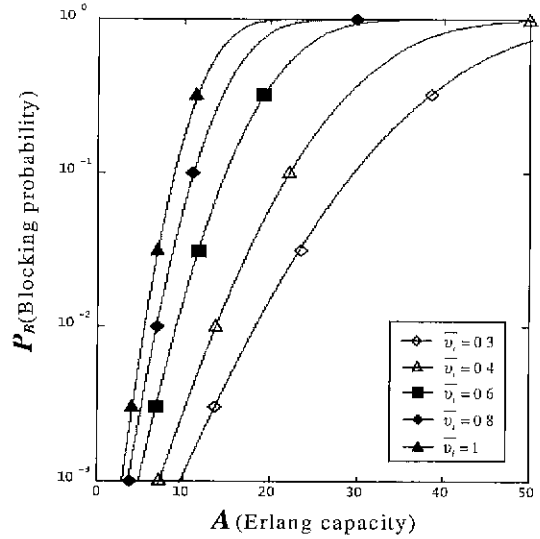
(그림 4) 데이터율이 9.6kbps일 경우, 전력제어 오차에 따른 얼랑용량



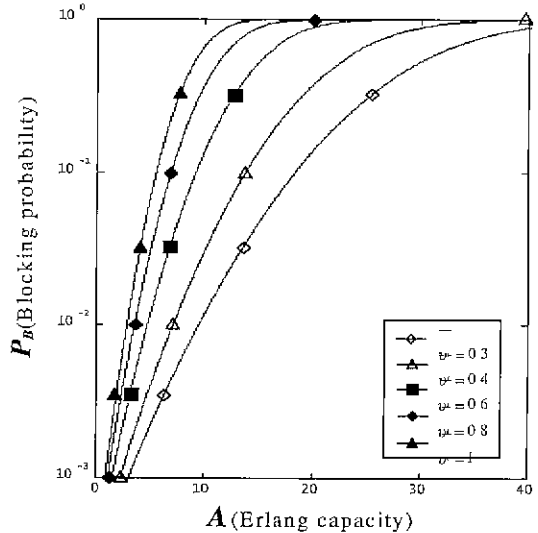
(그림 5) 데이터율이 14.4kbps일 경우, 전력제어 오차에 따른 얼랑용량

IS-95 셀룰라 시스템에서는 가변율부호화(variable rate vocoder)를 사용하므로 트래픽 채널 데이터율이 1.2kbps, 2.4kbps, 4.8kbps, 9.6kbps 중의 하나로 수시로 변환다. 이 가변데이터율, 즉 음성활동율을 평균해보면 9.6kbps를 기준으로 하였을 경우 약 40% 정도의 값을 갖는다.

그러므로 데이터율이 낮을 때는 간섭이 감소하게 되어 시스템의 용량을 증가시키는 요인이 된다. 음성활동율이 얼랑용량에 미치는 효과를 로그노말 근사를 사용할 경우에 데이터율 $R_b = 9.6\text{kbps}$ 와 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에 대하여 각각 (그림 6)과 (그림 7)에 나타내었다. 여기에서 음성활동율이 100%인 경우는 데이터 서비스로 생각할 수 있다.



(그림 6) 데이터율이 9.6kbps일 경우, 음성활동율에 따른 얼랑용량



(그림 7) 데이터율이 14.4kbps일 경우, 음성활동율에 따른 얼랑용량

4. 결 론

이 논문에서는 가우시안 근사를 사용하여 일량용량을 구한 Viterbi의 이론을 확장하여 가우시안 근사보다 정확한 로그노말 근사로 IS-95 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대한 블록킹 확률을 유도하였고 이 블록킹 확률이 1%와 2%가 될 경우의 일량용량을 근사방법에 따라 산출하였다.

먼저 근사방법에 따른 일량용량은 시스템 접속 성공률을 높이면 높일수록 큰 차이를 나타내었다. 현재 사용중인 IS-95 셀룰라 시스템의 역방향 링크에 대하여, 1% 블록킹 확률을 가정할 경우, 데이터를 $R_b = 9.6\text{kbps}$ 에서의 일량용량은 13.68 일량이고 데이터를 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에서의 일량용량은 7.08 일량으로 가우시안 근사보다 각각 19.6%(3.34 일량)와 28.8%(2.86 일량)의 용량이 감소되어 나타났다. 이것은 근사화 오차에 따른 것이다. 더불어 빠른 페루프 전력제어를 통하여 완벽한 전력제어나 거의 완벽한 전력제어에 가까운 전력제어가 가능하게 된다면, 1% 블록킹 확률일 경우에 대하여, 데이터를 $R_b = 9.6\text{kbps}$ 와 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에서의 일량용량을 각각 약 151%(20.67 일량)와 약 160%(11.29일량)까지 증가시킬 수 있음을 알 수 있었다. 또한 1% 블록킹 확률일 경우에 $R_b = 9.6\text{kbps}$ 와 $R_b = 14.4\text{kbps}$ 에 대하여, 음성활동율을 이용하지 않을 경우의 일량용량은 각각 5.47 일량과 2.83 일량이다. 데이터율을 가변하는, 즉 40%의 음성활동율을 가정한다면 13.68 일량과 7.08일량으로 음성활동율을 이용하지 않은 경우보다 각각 약 2.5배와 약 3.5배의 용량이 증가함을 알 수 있었다

이 연구결과는 IS-95 셀룰라 시스템 설치시 전파음 영향 불완전 전력제어에 의한 가입자 용량계산에 이론적인 근거로 사용할 수 있다. 향후에는 다중경로 페이딩과 다이버시티의 영향을 고려하여 좀더 현실에 근접한 연구를 병행할 계획이다.

부 록

식 (15)와 식 (16)을 유도하기 위해서는 우선 랜덤변수 Z 가 Fenton이 제시한 근사방법을 사용하여 로그노말 랜덤변수로 근사화될 수 있다는 사실이 있다. 이것은 동일한 로그노말 분포를 갖는 랜덤변수들의 합에 대한 평균과 분산값이 단일 로그노말 랜덤변수의 평균

과 분산값과 같다고 놓을 수 있다는 것이다. 즉, 각각의 로그노말 신호 전력을 다음과 같이 놓을 수 있다.

$$X_i = \exp[\beta(m_k + \sigma_k \cdot G_i)] \stackrel{set}{=} \exp[m + \sigma \cdot G_i] \quad (17)$$

이 랜덤변수의 평균과 분산값은 각각 다음과 같다.

$$E\{X_i\} = \exp\left[m + \frac{\sigma^2}{2}\right] \quad (18)$$

$$Var\{X_i\} = \exp[2m + \sigma^2] \cdot \{\exp[\sigma^2] - 1\} \quad (19)$$

그러던 로그노말 랜덤변수들의 합에 대한 평균과 분산값은 다음과 같이 계산된다.

$$E\left\{\sum_{i=1}^b X_i\right\} = K \cdot \exp\left[m + \frac{\sigma^2}{2}\right] \stackrel{set}{=} \exp\left[m_C + \frac{\sigma_C^2}{2}\right] \quad (20)$$

$$Var\left\{\sum_{i=1}^b X_i\right\} = K \cdot \exp[2m + \sigma^2] \cdot \{\exp[\sigma^2] - 1\} \stackrel{set}{=} \exp[2m_C + \sigma_C^2] \cdot \{\exp[\sigma_C^2] - 1\} \quad (21)$$

다음의 두 방정식을 같다고 놓으면, m_C 와 σ_C^2 에 대하여 다음과 같이 계산할 수 있다. 여기에서 랜덤변수 Z 에 대한 평균과 분산값은 식 (10)과 식 (11)에서 주어졌다. 그러므로, 이 두 방정식을 풀면, m_C 와 σ_C^2 를 구할 수 있다.

$$\exp\left[m_C + \frac{\sigma_C^2}{2}\right] = E\{Z\} \quad (22)$$

$$\exp[2m_C + \sigma_C^2] \cdot \{\exp[\sigma_C^2] - 1\} = Var\{Z\} \quad (23)$$

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. Pursley, "Performance evaluation for phase-coded spread-spectrum multiple-access commu-

nication-Part I : System analysis." *IEEE Trans. on Commun.*, Vol.Com-25, No.8, pp.795-803, Aug. 1977.

[4] G. Turin, "The effect of multipath and fading on the performance of direct-sequence CDMA systems." *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, Vol.sac-2, No 4, pp 597-603, July 1984.

[5] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padoban, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, Jr., and C. E. Wheatley, III, "On the capacity of a cellular CDMA system," *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, Vol.40, May 1991.

[6] J. Holtzman, "A simple, accurate method to calculate spread-spectrum multiple-access error probabilities," *IEEE Trans. On Commun.*, Vol 40, No.3, pp.461-464, March 1992.

[7] M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang capacity of a power controlled CDMA system," *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, Vol 11, No.6, pp.892-900, Aug 1993

[8] 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

[9] Lee, J. S. and L. E. Miller, "On the Erlang Capacity of CDMA cellular systems," *In Proc of GLOBECOM95*, pp.1877-1883, Singapore, Nov. 13-17, 1995

[10] 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.

[11] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, and E. Zehavi, "Other-cell interference in cellular power-controlled

CDMA," *IEEE Trans. On Commun.*, Vol.42, No. 2/3/4, pp.1501-1504, February /March/April 1994.

[12] J. Limartz, *Narrowband land-mobile radio networks*, Artech House, Inc., 1993.

[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.



박 영

e-mail py@ctech.ac.kr
 1990년 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1994년 청주대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1997년 청주대학교 전자공학과 박사수료

1999년~현재 충북도립 충북과학대학 정보통신과 전임강사

관심분야 : 영상통신, 이동통신, 멀티미디어 시스템



김 항 래

e-mail . hrkim@osp chungbuk.ac.kr
 1995년 청주대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1997년 청주대학교 전자공학과 졸업(공학석사)
 1999년~현재 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

관심분야 . 영상통신, 이동통신, 멀티미디어 시스템