

다중 전송률을 지원하는 VSG-CDMA 역방향 링크 성능 분석

Performance Analysis of VSG-CDMA Supporting Multi-Rate Data Service in the Reverse Link

이 영 호 · 김 항 래* · 김 남

Young-Ho Lee · Hang-Rae Kim* · Nam Kim

요 약

본 논문에서는 멀티미디어 서비스를 지원하는 VSG-CDMA 시스템의 역방향 링크 용량을 전력제어와 사용자 분포에 따라 두 모델로 가정하여 해석적으로 분석한다. 분석 모델 I은 완벽한 전력제어와 사용자의 균일 분포로 가정하여 블록킹 확률식을 계산하고 1%의 블록킹 확률에 일치하는 최대 음성과 데이터 사용자수를 산출한다. 분석 모델 II은 전력제어오차와 사용자의 비균일(셀 경계 부분에 위치)분포로 가정하여 분석한다. 모델 I의 분석 결과는 5 MHz의 광대역 VSG-CDMA 시스템 용량의 상한선(upper bound)이며 모델 II의 분석 결과는 시스템 용량의 하한선(lower bound)을 제시한다. 또한 모델 II에서 데이터 활동율과 E_b/N_0 값에 따른 사용자 용량을 분석하여 VSG-CDMA 시스템의 성능 개선 방안을 제안한다.

Abstract

In this paper, the capacity of VSG-CDMA system supporting multi-media service in the reverse link is analyzed by considering the two models according to the power control and user distribution. In analysis model I, assuming perfect power control and uniform distribution of users, the equation of blocking probability is calculated and the maximum number of voice and data user is derived in accordance with 1% blocking probability. In analysis model II, it is analyzed by assuming power control error and non-uniform distribution of users. The result of analysis model I means the upper bound of system capacity in the 5 MHz wideband VSG-CDMA system, and the result of analysis model II shows the lower bound of system capacity. Also, the improved plan of performance for VSG-CDMA system is suggested by the analyzed result according to data activity and the value of E_b/N_0 in model II.

Key words : VSG-CDMA, Power Control Error, User Distribution

I. 서 론

최근 개인 이동 통신의 발전과 인터넷의 보급으로 무선 통신 환경에서 멀티미디어 서비스 요구가 급속도로 증가하고 있다. CDMA 시스템을 기반으로 한 3세대 무선 시스템에서는 고속의 멀티미디어

서비스를 지원하기 위하여 VSG-CDMA(Variable Spreading Gain-Code Division Multiple Access) 시스템과 MC-CDMA(Multi Code-Code Division Multiple Access) 시스템을 사용할 것이다. VSG-CDMA 시스템은 고속의 데이터 서비스를 지원하기 위해 확산 이득(spreading gain)을 줄이는 방식으로 Chih-

충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer & Communication Eng., Chungbuk National Univ.)

*충북대학교 컴퓨터정보통신연구소(Research Institute for Computer & Information Communication, Chungbuk National Univ.)

· 논문 번호 : 20021018-138

· 수정완료일자 : 2002년 12월 23일

Lin이 제안하였다^[1]. 또 하나의 방법인 MC-CDMA 시스템은 한 사용자에게 여러 채널을 할당하여 고속의 데이터를 병렬로 처리하는 방식으로 각 채널은 코드를 사용하여 분리한다^[2]. 고정된 칩율에 대해서 데이터 전송률에 따른 확산 이득만을 변화시키는 VSG-CDMA 시스템은 기존의 시스템을 그대로 사용하여 멀티미디어 서비스를 지원할 수 있으므로 투자 비용면에서 상당한 장점을 갖는다. 따라서 기존의 시스템과 호환성이 뛰어난 VSG-CDMA 시스템의 용량 분석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

VSG-CDMA 시스템의 역방향 링크에 대한 용량 분석은 참고문헌 [3]에서 제시하였다. 전파음영(shadowing) 채널에서 완벽한 전력제어와 사용자의 균일 분포를 가정하여 사용자들간의 간섭량을 통계적 특성으로 계산하였으며 블록킹 확률에 따른 각 서비스 사용자에 대한 최대 용량을 산출하였다. 그러나, 고속의 데이터 사용자의 간섭은 균일 분포일 경우보다 셀 경계에 위치했을 때 더 큰 간섭으로 작용하며 전력제어오차에 의한 용량 감소도 무시할 수 없다. 전력제어오차를 고려한 용량 분석은 많은 논문에서 제시하고 있으며^{[4]-[6]}, 사용자의 비균일 분포를 고려한 Multi-Code CDMA 시스템에의 용량 분석은 참고문헌 [7]에서 제시하였다.

따라서, 본 논문에서는 VSG-CDMA 시스템의 역방향 링크 용량을 전력제어오차와 사용자 분포에 따라 두 모델로 가정하여 분석한다. 용량 분석은 규정된 비트에러율(bit error rate)에서 블록킹 확률에 일치하는 최대 사용자 수로 계산한다. 분석 모델 I은 완벽한 전력제어와 셀안에 균일한 사용자 분포를 가정하며 분석 모델 II은 전력제어오차와 사용자의 비균일 분포를 가정하여 용량 분석을 한다. 이러한 두 분석 모델을 기반으로 광대역 VSG-CDMA 시스템에서 지원할 수 있는 음성과 데이터 사용자 용량의 상한선과 하한선을 제시하며 시스템 용량 증가의 방법으로 데이터 활동율과 E_b/N_0 값에 따른 사용자 용량을 해석적으로 분석한다.

II. 시스템 분석 모델 I

분석 모델 I은 전파음영 채널에서 완벽한 전력제

어와 사용자의 균일 분포로 가정하여 VSG-CDMA 채널의 역방향 링크 용량을 분석한다. 시스템 용량은 기지국에서 수신되는 각 사용자의 E_b/N_0 값이 요구되는 임계값(threshold) 보다 클 확률에서 최대 음성 사용자와 데이터 사용자수로 정의한다. 따라서, 각 사용자의 수신 전력을 알아야 한다. 음성 사용자의 수신 전력이 S_v 이고 데이터 사용자의 수신 전력이 S_d 일 경우, 두 사용자의 수신 전력비는 각 사용자의 요구되는 E_b/N_0 의 값을 이용하여 유도할 수 있다^[3].

$$\alpha_v(N_v - 1)S_v + \alpha_d N_d S_d - \frac{S_v G_v}{\gamma_v} = \alpha_v N_v S_v + \alpha_d (N_d - 1)S_d - \frac{S_d G_d}{\gamma_d} \quad (1)$$

여기서, α 는 각 사용자의 활동율, G 는 확산 처리 이득, r 는 E_b/N_0 값이며 첨자 v 는 음성 사용자, d 는 데이터 사용자를 나타낸다. 위 식은 음성 사용자와 데이터 사용자의 전체 간섭을 이용하여 계산되며, 전력비로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{S_d}{S_v} = \frac{\alpha_v + \frac{G_v}{\gamma_v}}{\alpha_d + \frac{G_d}{\gamma_d}} \quad (2)$$

두 사용자의 전력비를 이용하여 외부셀 간섭량의 평균과 분산을 계산한다.

2.1 셀룰라 시스템 모델

셀룰라 시스템은 그림 1과 같은 육각 셀로 나타나며 기지국은 3섹터화를 위해 120° 의 지향성 안테나를 사용한다. 여기서 r_d 는 기준 기지국과 간섭셀에 있는 이동국 사이의 거리이며, r_m 은 간섭을 주는

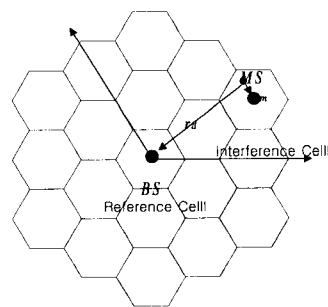


그림 1. 셀룰라 모델
Fig. 1. Cellular model.

이동국과 그 이동국이 통화하고 있는 기지국 사이의 거리이다. 셀안에 사용자 분포를 균일 분포로 가정하면, 단위 면적당 사용자 밀도는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{2N}{\sqrt{3}} \quad (3)$$

여기서, N 은 셀터당 사용자수이며, 음성 사용자에게 대해서는 N_v , 데이터 사용자에게 대해서는 N_d 로 나타낸다.

2-2 간섭 모델

셀룰라 시스템에서의 역방향 링크 간섭은 내부 셀 간섭과 외부 셀 간섭을 모두 고려해야 한다. 내부 셀 간섭은 셀내의 자신을 제외한 나머지 사용자들로부터 기지국에 수신되는 전력을 의미하며, 외부 셀 간섭은 셀외의 모든 사용자들로부터 수신되는 전력이다. 전파음영 채널에서 기지국에 수신되는 전력은 완벽한 전력제어로 인한 기지국과 이동국 사이의 거리에 대한 보상과 무선구간으로 인한 로그 로말 분포를 가지며 식 (4)와 같다.

$$P_r = P_t r^{-\beta} 10^{(\zeta/10)} \quad (4)$$

여기서 P_t 는 전송 신호 전력, r 은 이동국과 기지국 사이의 거리, β 는 경로손실지수($\beta=4$)이고 ζ 는 평균이 0이고 표준편차가 8 dB인 가우시안 랜덤변수이다. $r^{-\beta}$ 는 거리 감쇄를 나타내고 $10^{\zeta/10}$ 는 장구간 페이딩으로서 전파음영을 나타낸다. 간섭 셀의 한 사용자로부터 기준 기지국에 수신되는 간섭 전력은 다음과 같이 표현된다.

$$\frac{I(r_d, r_m)}{S} = (r_d^{-4} 10^{(\zeta_d/10)}) \left(\frac{1}{r_m^{-4} 10^{(\zeta_m/10)}} \right) \quad (5)$$

식 (5)의 우변 첫 번째 항은 그림 1과 같이 기준 기지국에서 거리가 r_d 만큼 떨어진 간섭 사용자의 거리에 의한 전파 손실이며, 두 번째 항은 그 사용자와 간섭 셀 기지국과의 거리 r_m 에 의한 전파 손실을 간섭 셀 기지국의 전력제어로 인한 보상을 의미한다.

2-3 성능 분석

성능 분석은 음성 사용자와 데이터 사용자가 혼합된 시스템을 가정하고 요구되는 QoS를 만족하는

최대 사용자수를 계산하여 시스템 용량을 분석한다. 본 논문에서 QoS는 BER을 나타내며 $BER=10^{-3}$ 은 $E_b/N_0 = 7$ dB에 상응한다. 음성과 데이터 사용자에게 대한 E_b/N_0 는 각각 다음과 같다.

$$\gamma_v = \frac{G_v S_v}{\sum_{j=1}^{N_v-1} \psi_{v,j} S_v + \sum_{j=1}^{N_d} \psi_{d,j} S_d + I_v + I_d + \eta} \quad (6)$$

$$\gamma_d = \frac{G_d S_d}{\sum_{j=1}^{N_v} \psi_{v,j} S_v + \sum_{j=1}^{N_d-1} \psi_{d,j} S_d + I_v + I_d + \eta} \quad (7)$$

여기서 ψ 는 이항분포를 갖는 랜덤 변수로서 각 사용자에게 대한 활동율을 나타낸다. 식 (6)에서 분자는 확산 처리 이득이며, 분모의 첫 항은 자신과 같은 서비스를 받는 사용자로부터의 내부 셀 간섭, 두 번째 항은 다른 서비스 사용자로부터의 내부 셀 간섭, 세 번째 항은 같은 서비스를 받는 사용자로부터의 외부 셀 간섭, 네 번째 항은 다른 서비스 사용자로부터의 외부 셀 간섭이고 마지막 항은 배경 잡음이다.

식 (6)과 (7)을 계산하기 위해 음성사용자와 데이터 사용자의 외부 셀 간섭 I_v 와 I_d 를 구해야 한다. 두 간섭량은 랜덤변수이므로 그것의 평균과 분산을 알아야 한다. 식 (2)를 이용하면 표 1과 같은 관계를 유도할 수 있다. 여기서, $m_{11} = E[I_v/S_v]$, $\sigma_{11}^2 = Var[I_v/S_v]$, $\sigma_{22}^2 = Var[I_d/S_d]$ 을 나타낸다.

식 (5)로부터, 각 사용자의 외부셀 간섭은 다음과 같다.

$$\frac{I_c}{S_c}(r_d, r_m) = \left(\frac{r_m}{r_d} \right)^4 10^{(\zeta_d - \zeta_m)/10} \quad (8)$$

여기서 ζ_d, ζ_m 은 평균이 0이고 표준편차가 σ (8 dB)인 가우시안 랜덤변수이고 서로 독립이다. 따라서 $\zeta_d - \zeta_m$ 은 평균이 0이고 분산이 $2\sigma^2$ 인 가우시안 랜덤변수이다.

표 1. 간섭 파라미터

Table 1. Interference parameter.

	평균	분산
I_v/S_v	m_{11}	σ_{11}^2
I_d/S_d	$(S_v/S_d)m_{11}$	$(S_v/S_d)^2 \sigma_{11}^2$
I_d/S_d	$(\alpha_d \rho_d \alpha_v \rho_v) m_{11}$	σ_{22}^2
I_d/S_v	$(S_d \alpha_d \rho_d / S_v \alpha_v \rho_v) m_{11}$	$(S_d/S_v)^2 \sigma_{22}^2$

시스템 용량은 요구되는 BER을 만족하는 최대 음성과 데이터 사용자수이며 요구되는 BER을 만족할 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Pr[(E_b/N_0)_{req}] = \Pr\left[\sum_{j=1}^{N_v-1} \psi_{1,v} + \sum_{j=1}^{N_d} \psi_{d,j} \frac{S_d}{S_v} + \frac{I_v}{S_v} + \frac{I_d}{S_v} \geq \delta_v\right] \quad (9)$$

$$\Pr[(E_b/N_0)_{req}] = \Pr\left[\sum_{j=1}^N \psi_{v,j} \frac{S_v}{S_d} + \sum_{j=1}^{N_d-1} \psi_{d,i} + \frac{I_v}{S_d} + \frac{I_d}{S_d} \geq \delta_d\right] \quad (10)$$

여기서,

$$\delta_c = \frac{G_c}{\gamma_c} - \frac{\eta}{S_c} \quad (11)$$

식 (9), (10)에서 I_c/S_c 은 가우시안 랜덤변수이고 $\psi_{c,j}$ 는 이항분포를 갖는 랜덤변수이다. 위 식을 조건부 확률을 사용하고 가우시안 랜덤 변수 I_c/S_c 을 Q 함수 표현하면 다음과 같다.

$$\Pr[(E_b/N_0)_{req}] = \sum_{k_v=0}^{N_v-1} \sum_{k_d=0}^{N_d} Q\left(\frac{\delta_v - \mu_v}{\sigma_v}\right) \binom{N_v-1}{k_v} \alpha_v^{k_v} (1-\alpha_v)^{N_v-1-k_v} \binom{N_d}{k_d} \alpha_d^{k_d} (1-\alpha_d)^{N_d-k_d} \quad (12)$$

$$\Pr[(E_b/N_0)_{req}] = \sum_{k_v=0}^{N_v} \sum_{k_d=0}^{N_d-1} Q\left(\frac{\delta_d - \mu_d}{\sigma_d}\right) \binom{N_v}{k_v} \alpha_v^{k_v} (1-\alpha_v)^{N_v-k_v} \binom{N_d-1}{k_d} \alpha_d^{k_d} (1-\alpha_d)^{N_d-1-k_d} \quad (13)$$

위에서 유도된 블록킹 확률식을 이용하여 균일 분포를 갖으며 완벽한 전력제어된 VSG-CDMA 시스템의 역방향 링크 성능 분석하여 시스템에서 지원할 수 있는 최대 음성 사용자수와 데이터 사용자수를 산출한다.

III. 시스템 분석 모델 II

위의 분석 모델 I은 사용자의 균일 분포와 완벽한 전력제어를 가정하였다. VSG-CDMA 시스템에서 고속 데이터 사용자의 위치는 간섭에 큰 영향을 미치며 전력제어오차에 의한 용량 감소는 무시할 수 없으므로 분석 모델 II에서는 사용자의 비균일 분포와 전력제어오차에 고려하여 VSG-CDMA 시스템의 역방향 링크를 분석한다.

3-1 간섭 모델 및 성능 분석

CDMA 시스템에서 전력 제어 오차에 의한 수신 전력은 로그 노말 랜덤 변수로 가정한다. S 가 한 사용자에 대해 요구되는 수신 전력이라면, 실제적인 수신 전력은 $S \times e^{BX}$ 이다. 여기서 $\beta = \ln(10)/10$ 이고 X 는 평균이 0이고 분산이 σ_X^2 인 가우시안 랜덤 변수이다. 한 사용자에 대한 블록킹 확률은 다음과 같이 표현된다^[7].

$$P_{block} = P\left[\frac{S e^{(\beta X)G}}{I_{in} + I_{out} + \eta} < \gamma\right] \quad (14)$$

여기서, G 는 확산차리이득, I_{in} 은 내부 셀 간섭, I_{out} 은 외부 셀 간섭, η 는 배경잡음이다. 가우시안 랜덤 변수 X 에 대해 정리하여 Q 함수로 표현하면 블록킹 확률은 다음과 같다.

$$P_{block} = P\left[X < \frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{\gamma}{SG}(I_{in} + I_{out} + \eta)\right)\right] \quad (15)$$

$$= 1 - \int_0^\infty Q\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{\gamma}{SG}(I_{in} + I_{out} + \eta)\right)}{\sqrt{\sigma_X^2}}\right] f_X(i) di$$

여기서, $f_X(i)$ 는 전체간섭 $I_{in} + I_{out} + \eta$ 의 확률밀도 함수이다. 위 식은 Q 함수에 랜덤 변수가 들어간 형태로서 참고문헌 [9]의 접근을 사용하여 다시 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{block} \approx 1 - \frac{2}{3} Q\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{\rho}{S} m_A\right)}{\sqrt{\sigma_X^2}}\right] - \frac{1}{6} Q\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{\rho}{S} (m_A + \sqrt{3}\sigma_A)\right)}{\sqrt{\sigma_X^2}}\right] - \frac{1}{6} Q\left[\frac{\frac{1}{\beta} \ln\left(\frac{\rho}{S} (m_A - \sqrt{3}\sigma_A)\right)}{\sqrt{\sigma_X^2}}\right] \quad (16)$$

여기서, 전체 간섭의 평균과 분산은 다음과 같이 나타낸다.

$$m_A = E[I_{in}] + E[I_{out}] + \eta \quad (17)$$

$$\sigma_A^2 = Var[I_{in}] + Var[I_{out}] \quad (18)$$

각 사용자에 대한 내부셀 간섭은 다음과 같이 유도된다.

$$I_{v, in} = \sum_{j=1}^{N_v-1} \psi_{v,j} S_v e^{\beta X_{v,j}} + \sum_{j=1}^{N_d} \psi_{d,j} S_d e^{\beta X_{d,j}} \quad (19)$$

$$I_{d, in} = \sum_{j=1}^{N_v} \psi_{v,j} S_v e^{\beta X_{v,j}} + \sum_{j=1}^{N_d-1} \psi_{d,i} S_d e^{\beta X_{d,i}} \quad (20)$$

음성 사용자와 데이터 사용자에 대한 외부 셀 간

섭은 다음과 같이 하나의 식으로 표현된다.

$$I_{out} = \sum_{j=1}^{N_v} \psi_{v,j} S_v e^{\beta Y_{v,j}} + \sum_{j=1}^{N_d} \psi_{d,j} S_d e^{\beta Y_{d,j}} \quad (21)$$

블록킹 확률을 계산하기 위해서는 내부 셀 간섭과 외부 셀 간섭의 평균과 분산을 구해야 한다. 내부 셀과 외부 셀에 대한 수신 전력을 표현한 랜덤 변수 X, Y 는 독립이며 동일 분포(independently identical distribution)로 가정한다. 로그 노말 랜덤 변수 $e^{\beta X}$ 의 평균을 m_1 , 분산을 σ_1^2 으로 가정하면 음성과 데이터 사용자에 대한 내부셀 간섭의 평균과 분산은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$E[I_{v,in}] = (N_v - 1)\alpha_v S_v m_1 + N_d \alpha_d S_d m_1 \quad (22)$$

$$E[I_{d,in}] = N_v \alpha_v S_v m_1 + (N_d - 1)\alpha_d S_d m_1 \quad (23)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[I_{v,in}] = & (N_v - 1)(\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_1^2 + m_1^2)S_v^2 \\ & - (N_v - 1)\alpha_v^2 S_v^2 m_1^2 - N_d \alpha_d^2 m_1^2 S_d^2 \\ & + N_d(\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2)(\sigma_1^2 + m_1^2)S_d^2 \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[I_{d,in}] = & N_v(\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_1^2 + m_1^2)S_v^2 \\ & - N_v \alpha_v^2 S_v^2 m_1^2 - (N_d - 1)\alpha_d^2 m_1^2 S_d^2 \\ & + (N_d - 1)(\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2)(\sigma_1^2 + m_1^2)S_d^2 \end{aligned} \quad (25)$$

외부 셀 간섭의 평균과 분산은 음성 사용자와 데이터 사용자가 모두 같으며 다음과 같이 계산된다.

$$E[I_{out}] = N_v \alpha_v S_v m_1 + N_d \alpha_d S_d m_1 \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \text{Var}[I_{out}] = & N_v(\alpha_v(1 - \alpha_v) + \alpha_v^2)(\sigma_1^2 + m_1^2)S_v^2 \\ & - N_v \alpha_v^2 S_v^2 m_1^2 - N_d \alpha_d^2 m_1^2 S_d^2 \\ & + N_d(\alpha_d(1 - \alpha_d) + \alpha_d^2)(\sigma_1^2 + m_1^2)S_d^2 \end{aligned} \quad (27)$$

위에서 계산한 내부 셀 간섭과 외부 셀 간섭의 평균과 분산을 블록킹 확률식에 대입하여 전력제어오차와 비균일 분포를 갖는 VSG-CDMA 시스템의 용량을 분석한다.

IV. 수치 해석

다중 전송률을 지원하는 VSG-CDMA 시스템의 역방향 링크를 전력제어와 사용자 분포에 따라 두 모델로 가정하여 분석하였다. 첫 번째 분석 모델은

전파음영 채널에서 완벽한 전력제어와 음성과 데이터 사용자의 균일한 분포로 가정하여 분석하며 두 번째 모델은 전력제어오차를 고려하고 음성과 데이터 사용자가 셀 경계부분에 위치한 비균일 분포를 가정하였다. 적용된 파라미터는 표 2와 같다.

그림 2는 완벽한 전력제어와 사용자의 균일 분포를 가정한 모델 I로 분석한 결과이다. 전파 음영 채널하에서 음성 활동율은 3/8, 데이터 활동율은 1, $E_b/N_0 = 7$ dB로 가정하고 음성 사용자의 전송률은 9.6 kbps, 데이터 사용자의 전송률은 음성 전송률의 4배, 8배, 16배를 고려하여 38.4 kbps, 76.8 kbps, 153.6 kbps으로 가정하였다. 수치적으로 해석한 결과, 5 MHz의 광대역에서 동시에 최대 지원할 수 있는 VSG-CDMA 시스템의 용량은 38.4 kbps 데이터 사용자는 13명, 76.8 kbps 데이터 사용자는 6명, 153.6 kbps 데이터 사용자는 3명이며 38.4 kbps 데

표 2. 적용된 파라미터
Table 2. Applied parameter.

파라미터	심볼	값
대역폭	W	5 MHz
음성 전송률	R_v	9.6 kbps
데이터 전송률	R_d	38.4 kbps
		76.8 kbps
		153.6 kbps
음성 E_b/N_0 기준값	γ_v	5, 6, 7 dB
데이터 E_b/N_0 기준값	γ_d	5, 6, 7 dB
음성 및 데이터 전력제어 오차	σ_x	0.5 dB
음성 활동계수	α_v	3/8
데이터 활동계수	α_d	0.4 0.6 0.8 1

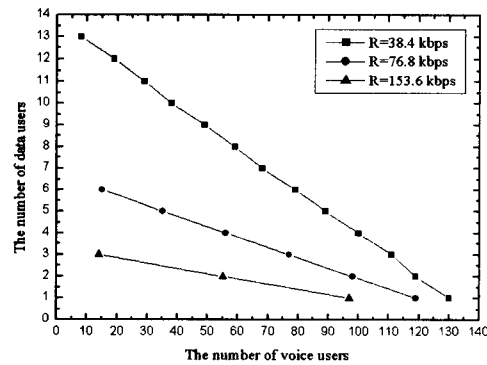


그림 2. 완벽한 전력제어와 균일 분포일 경우 음성과 데이터 사용자수

Fig. 2. Voice and data users for the perfect power control and uniform distribution.

이터가 1명일 때 음성 사용자는 최대 130명, 76.8 kbps 데이터 사용자가 1명일 경우에는 129명, 153.6 kbps 데이터 사용자가 1명일 경우에는 97명을 서비스할 수 있다. 데이터 전송률이 증가함에 따라 음성 사용자수의 심각한 용량 감소를 알 수 있다. 이 결과는 가장 좋은 조건인 완벽한 전력제어와 균일 분포를 가정했으므로 VSG-CDMA 시스템 용량의 상한선을 나타낸다.

그림 3은 불완전 전력제어와 비균일 분포를 가정하여 분석한 결과이다. 각 사용자의 전송율과 활동율은 분석 모델 I과 같으며 전력제어오차는 0.5 dB, 데이터 활동율은 1, $E_b/N_0 = 7$ dB로 고려하였다. 그림의 결과와 같이 동시에 지원할 수 있는 최대 사용자 수는 38.4 kbps 데이터 사용자는 10명, 76.8 kbps 데이터 사용자는 5명, 153 kbps 데이터 사용자는 2명이다. 분석 모델 II는 최악의 조건으로서 VSG-CDMA 시스템 용량의 하한선을 나타낸다. 완벽한 전력제어와 균일 분포로 가정한 분석 모델 I과 비교 분석하면, 38.4 kbps 데이터 사용자가 6명일 때 79명에서 39명으로 감소하고, 76.8 kbps 데이터 사용자 3명일 때 77명에서 41명으로 감소하며 153.6 kbps 데이터 사용자가 2명일 때 55명에서 26명으로 급격한 용량 감소를 보인다. 따라서, VSG-CDMA 시스템에서 사용자 용량을 증가시키기 위해서는 셀 경계 부분에 위치한 고속 데이터 사용자에게 대해서는 더 정확하고 빠른 전력제어 알고리즘을 적용하고 음성과 저속 데이터 사용자에게 대해서는

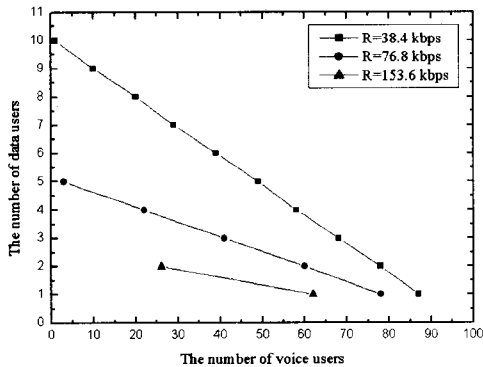


그림 3. 전력제어오차와 비균일 분포일 경우 음성과 데이터 사용자수

Fig. 3. Voice and data users for the power control error and non-uniform distribution.

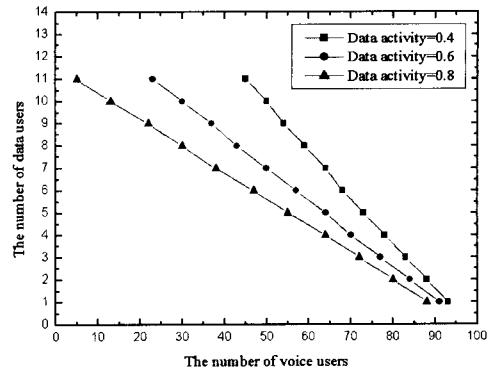


그림 4. 데이터 전송률이 38.4 kbps일 경우 데이터 활동율에 따른 음성과 데이터 사용자수

Fig. 4. Voice and data users as the data activity in $R_d = 38.4$ kbps.

기존의 전력제어 알고리즘을 적용하는 적응적 전력 제어 방법이 필요하다.

그림 4와 5는 데이터 활동율에 따른 용량 증가를 나타낸다. 불완전 전력제어와 비균일 분포를 가정하였으며 전력제어오차는 0.5 dB, 데이터 활동율은 1, $E_b/N_0 = 7$ dB를 고려하였다. 그림 4는 음성 사용자의 전송률은 9.6 kbps, 데이터 사용자의 전송률은 38.4 kbps일 경우이고 그림 5는 데이터 사용자의 전송률이 76.8 kbps일 경우이다. 데이터 활동율이 감소함에 따라 급격한 용량 증가를 확인할 수 있다. 데이터 활동율에 따른 용량 분석 결과, 비실시간 고속의 데이터 사용자에게 대해서는 데이터 활동율을 감소시킴으로서 VSG-CDMA 시스템의 용량을 증가

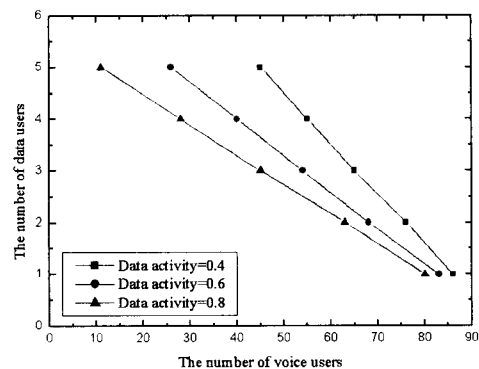


그림 5. 데이터 전송률이 76.8 kbps일 경우 데이터 활동율에 따른 음성과 데이터 사용자수

Fig. 5. Voice and data users as the data activity in $R_d = 76.8$ kbps.

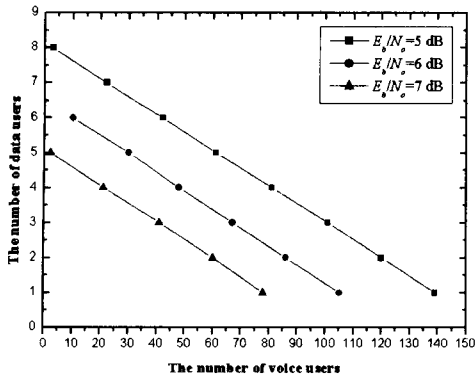


그림 6. E_b/N_0 값에 따른 음성과 데이터 사용자수
 Fig. 6. Voice and data users as the value of E_b/N_0 .

시킬 수 있으므로 서비스 제공자는 데이터 활동과 관련된 자원 할당 정책을 세워 VSG-CDMA 시스템의 용량 증가를 얻을 수 있다.

그림 6은 E_b/N_0 값에 따른 시스템 용량을 나타낸 것이다. 불완전 전력제어와 비균일 분포를 가정하였으며, 데이터 활동율은 1, 음성 사용자의 전송률은 9.6 kbps, 데이터 사용자의 전송률은 76.8 kbps, 전력제어오차는 0.5 dB를 고려하였다. E_b/N_0 값이 7 dB에서 6 dB로 감소하면 데이터 사용자가 2명일 때 음성 사용자수는 60명에서 86명으로 증가하며, E_b/N_0 값이 5 dB로 감소하면 음성 사용자수는 120명으로 2배의 용량증가를 알 수 있다. 따라서 용량 증가를 위해서는 적응 변조(adaptive modulation)와 코딩 기법 등을 사용함으로써 요구되는 E_b/N_0 값을 줄여야 한다.

V. 결 론

멀티미디어 서비스를 지원하는 VSG-CDMA 시스템의 역방향 링크에 대하여 성능을 분석하였다. 전력 제어와 사용자 분포에 따라 두 가지 모델로 가정하여 5 MHz의 광대역 CDMA 시스템에서 지원할 수 있는 최대의 음성과 데이터 사용자수를 산출하였다. 분석 모델 I은 완벽한 전력제어와 셀안에 균일한 사용자 분포를 가정하며 분석 모델 II은 전력제어오차와 사용자의 비균일 분포를 가정하여 용량 분석을 한다. 모델 I의 분석 결과는 VSG-CDMA 시스템 용량의 상한선을 나타내며 모델 II의 결과

는 최악의 조건으로 시스템 용량의 하한선을 제시한다. 전력 제어 오차와 사용자의 비균일 분포는 심각한 용량 감소의 원인이므로 적응적 전력제어 방법과 자원 할당 정책을 세워 서비스 제공자는 시스템 용량과의 절충점을 결정해야 하며 적응 변조와 코딩 기법 등을 사용하여 낮은 E_b/N_0 값에서도 요구되는 비트에러율을 만족하는 VSG-CDMA 시스템을 구현해야 한다.

이 연구결과는 3세대 통신에서 VSG-CDMA 시스템을 사용할 경우, 가입자 용량계산에 이론적 근거로 사용할 수 있으며, 정확한 전력 제어 알고리즘의 필요성과 자원 할당 정책의 중요성을 제시한다.

참 고 문 헌

- [1] I. Chih-Lin, K. K. Sabnani, "Variable spreading gain CDMA with adaptive power control for integrated traffic in wireless networks", in *Proc. IEEE Veh. Tech. Conf.*, pp. 794-798, 1995.
- [2] I. Chih-Lin, R. D. Gitlin, "Multi-code CDMA wireless personal communications networks", in *ICC'95 Conf. Rec.*, pp. 1060-1064, 1995.
- [3] R. Vannithamby, E. S. Sousa, "Performance of multi-rate data traffic using variable spreading gain in the reverse link under wideband CDMA", *IEEE Veh. Tech. Conf.*, vol. 2, pp. 1155-1159, 2000.
- [4] M. Viterbi, 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.
- [5] R. Cameron, B. Woerner, "Performance analysis of CDMA with imperfect power control", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 40, pp. 777-781, July 1996.
- [6] F. D. Priscoli, F. Sestini, "Effects of imperfect power control and user mobility on a CDMA cellular network", *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, vol. 14, pp. 1809-1817, Dec. 1996.
- [7] D. Ayyagari, A. Ephremides, "Cellular multicode CDMA capacity for integrated (voice and data) services", *IEEE J. on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 5, pp. 928-938, May

1999.
[8] K. S. Gilhousen, et. al., "On the capacity of a cellular CDMA system", *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.

[9] J. M. Holtzman, "A simple, accurate method to calculate spread spectrum error probabilities", *IEEE Trans. on Commun.*, vol. 40, pp. 461-464, Mar. 1992.

이 영 호



2000년: 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
2002년: 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선통신 시스템

김 남



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

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템, 전자파 해석, EMR/EMC, Diffractive Optics, WDM Optical Filter & DEMUX Optical Memory, Holography Application

김 향 래



1995년: 청주대학교 전자공학과 (공학사)
1997년: 청주대학교 전자공학과 (공학석사)
1997년~1997년: 한국전자통신연구원 위촉연구원
2003년: 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템