

균일/비균일 이동국의 CDMA 용량 제어 및 분석

정회원 김 동 구*, 이 중 훈**

CDMA Capacity Control and Analysis in Uniform/Non-Uniform Traffic Environment

Dongku Kim*, Jong-Hun E** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 이동국들이 어느 한 셀에 밀집되어 있을 때, 그 셀에서 서비스를 받는 이동국들의 성능 저하 정도와, 기지국들의 수신 전력 값을 제어함에 따라 중심 기지국에 서비스를 받는 이동국의 통화 품질 개선 정도의 척도로 outage 확률을 수치적 해석 방법과 시뮬레이션을 통해 정량화 하였다. Outage 확률에 대한 계산은 [1]에서 제시된 방법에 기초를 두었으나, 서비스 품질을 측정하고자하는 셀에 서비스를 받는 이동국들에 의한 간섭인 내부셀 간섭의 계산 방식을 일부 수정한 결과 기존의 CDMA 용량보다 30%정도 줄어들음을 확인하였다. 또한 이동국이 서비스 기지국을 선택하는 방식의 수정에 의해 CDMA 용량이 [1]에서 제시한 값의 최대 47%까지 줄어들어 결과적으로 본 논문에서 제시한 방식에 의해 CDMA의 용량을 계산한 결과 기존의 다중 접속 방식에 비해 9.4배의 용량 증가가 이루어짐을 확인하였다.

ABSTRACT

The power control in DS-CDMA cellular system is important in increasing cell capacity. Conventionally, traffic control algorithm is not necessary when subscribers are uniformly distributed over cells, while traffic control algorithm is needed to increase system capacity when subscribers are concentrated in a particular cell. In this paper, we consider power control of the base stations to increase system capacity in a non-uniformly distributed environment. The outage probability is evaluated as a measure of the system capacity for a geographically uniformly distributed users model and non-uniformly distributed users model. The outage probability for non-uniform and uniform density was shown as a function of average users per cell. The improvement by power control on non-uniformly distributed environment was shown. Different methods are used in evaluating inner cell interference and selecting service base station from those in [1]. By the different evaluation method of inner cell interference, the CDMA capacity decreases 30% and it decreases up to 47% finally by the different serving base station selection method compared to that proposed in [1].

I. 서 론

본 논문에서는 다중셀 환경에서의 CDMA 용량을 분석한다. 논문 [1]에서는 이동국이 균일하게 분포된 다중셀 환경에서 CDMA 용량을 분석하였다. 그러나 실제 이동국들은 비균일하게 분포할 수 있으며, 이에 대

한 CDMA 용량의 재분석이 필요하다. 본 논문에서는 비균일한 이동국 모델로 혼합형 모델을 사용하고 있다. 이는 어느 한 기지국을 중심으로 이동국들이 밀집될 때를 가정한다. 이와 같은 이동국 분포 환경에서는 이동국이 몰려있는 기지국의 성능이 주변의 기지국에 비해 저하될 것이다. 이러한 불균일한 기지국

* 연세대학교 공과대학 기계·전자공학부: 정회원, ** 연세대학교 전파공학과: 정회원
논문번호 : 97469-1226, 접수일자 : 1997년 12월 26일

들의 성능은 원치않는 결과이므로, 이를 제어하기 위한 방법이 필요하다. 본 논문에서는 이동국이 비균일하게 분포하게 됨에 따라 나타나는 기지국의 불균일한 성능을 균일하게 되도록 제어하는 방법으로 기지국의 전력제어를 사용한다.[6] 이동국은 가장 적은 송신 전력을 요구하는 기지국을 서비스 기지국으로 선택하므로, 기지국이 이동국으로부터 수신되기 바라는 전력값의 제어로 기지국의 서비스 반경이 제어된다. 이러한 방법을 통해 밀집되어 있는 기지국의 반경을 줄여 줌으로써 비균일 분포 이동국 환경에서 기지국들의 서비스 성능을 균일하도록 하고 이때의 성능을 제시한다. 셀 전체의 성능 변화를 예측하기 위해 본 논문에는 중심 기지국의 성능뿐만 아니라 1-tier에 위치한 기지국에서의 성능 변화를 같이 분석한다.

또한 본 논문에서는 논문 [1]에서 사용한 CDMA 용량 분석 방법을 일부 수정하여 적용한다. 내부셀 간섭을 계산하는 방법의 수정과 이동국의 서비스 기지국 선택방법의 수정이 그것이다. 이들 두가지 수정에 따라 CDMA 용량은 논문 [1]에 비해 최대 47% 줄어들며 이는 기존의 AMPS와 같은 방식에 비해 CDMA 방식이 9.4배의 용량을 갖고 있음을 의미한다.

2장에서 본 논문에서 가정하는 채널 모델에 대해 설명하고, 3장에서는 이동국의 균일, 비균일 분포 모델에 관해 설명한다. 4장에서는 비균일 분포 환경하에서 용량을 증대할 수 있는 기지국의 전력 제어와 본 논문에서 제시된 이동국의 서비스 선택 방법에 관해 설명한다. 5장에서 CDMA 시스템의 용량을 [1]에서 사용한 방법을 기본으로 하여 이를 수정하며 새로이 계산하는 과정을 보인다. 마지막으로 6, 7장에서 결과와 결론으로 논문을 맺는다.

II. 채널 모델

본 논문에서 채널은 AWGN과 long-term fading을 고려한다. long-term fading은 거리에 의한 감쇠와 음영(shadowing)에 의한 요소로 분리할 수 있다. 식(1)은 long-term fading을 나타낸다.

$$r^{-n} 10^{\xi/10} \tag{1}$$

여기서 n 은 propagation exponent 이고, ξ 는 가우시안 랜덤 변수이다. 거리에 의한 감쇠지수 n 은 3.5~5.5정도의 값을 갖게 되며 이는 전파환경의 여러 장애물들에 의해 나타나는 통계적인 감쇠량의 평균치를

나타내기 위함이다. 음영은 데시벨 단위로 보았을 때 그 값은 ξ 가 되며 이는 정규분포를 갖게 된다. 논문에서 n 은 4로 가정한다.

그림 1은 CDMA 시스템에서 이동국의 전력제어를 하였을 경우, 각 short-term fading 채널 환경에서의 성능을 나타낸다.[2]

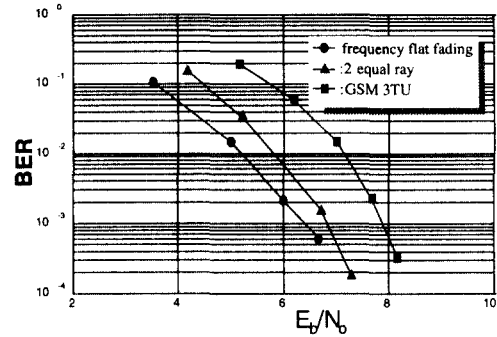


그림 1. BPSK 성능[2] (이동국 속도 : 8Km/h, 전력 제어 간격 : 0.5dB, 전력 제어 시간 간격 : 1.25ms)

그림 1에서와 같이 주파수 비선택적 환경에 비해 다중 경로 채널에서는 약 1~2dB의 E_b/N₀를 더 필요로 한다. 이와 같이 short-term fading만을 고려한 채널인 경우, 이동국의 전력제어에 의해 CDMA 시스템은 7dB 이상의 E_b/N₀가 만족되면 원하는 품질의 통화가 가능하다. 본 논문에서는 이와 같은 short-term fading을 고려하여 E_b/N₀가 7dB이하로 떨어져 BER (Bit Error Ratio)이 10⁻³ 이상이 되는 확률을 outage 확률로 정의한다.[1]

III. 이동국 분포 모델

논문 [1]에서는 균일한 이동국 분포의 CDMA 시스템에 대한 분석이 되어있다. 본 논문에서는 이러한 균일 분포 환경에 대한 재분석을 하고, 나아가 이를 토대로 이동국의 비균일한 분포 환경에 대해서 CDMA 시스템의 용량을 분석한다. 그림 2는 본 논문에서 사용하는 셀 환경으로 논문[1]의 19개 셀보다 하나의 tier가 확장된 37개의 셀 환경에서 분석을 하였으며, 이는 이동국이 비균일 분포인 경우 보다 정확한 CDMA 용량 분석을 위함이다.

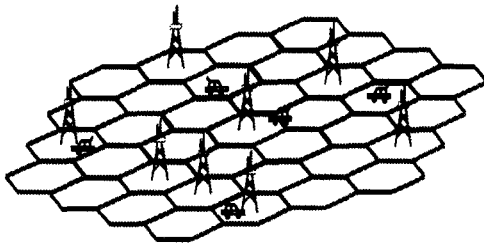


그림 2. 본 논문에 사용된 셀 환경(3-tier까지 모두 37개의 셀이 사용된다.)

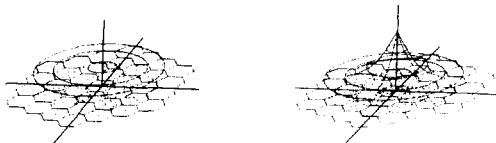
균일한 이동국 분포 모델은 각 기지국 내의 이동국이 균일한 분포로 위치되어있으며, 모든 셀 내에 있는 이동국의 수도 일정하다. 그림 3의 (a)는 균일한 이동국의 분포도를 나타낸다.

비균일한 이동국 분포 모델은 3-tier까지 모든 셀에 통틀어 지수함수의 분포와 균일한 분포가 반씩 섞인 그림 3의 (b)와 같은 형태이다. 지수함수의 분포는 식 (2)와 같고 균일한 분포는 앞서 설명한 방식을 취한다.

$$P_{r,\theta}(r, \theta) = k^2 r e^{-kr} \cdot \frac{\theta}{2\pi} \quad (2)$$

여기서 r 은 중심 기지국에서 이동국까지의 거리를 나타내며, θ 는 지평면상의 임의의 한 축을 기준으로 한 각도를 나타낸다. k 는 지수함수의 밀집도를 나타내며 그 값이 커짐에 따라 높은 밀집을 나타낸다.

이와 같은 방식의 비균일 분포 모델을 취한 것은 지수 함수 모델의 경우 k 가 큰 값일 때 3-tier에 이동국이 걸뺄되는 현상을 막기 위함이다.



(a) 균일 분포도 (b) 비균일 분포도

그림 3. 이동국 분포도

IV. 기지국의 전력제어 및 서비스 기지국 선택 방법

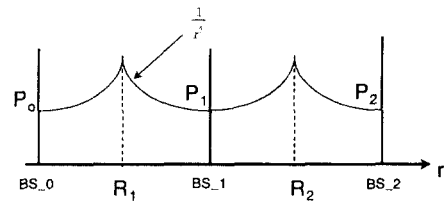
1. 기지국의 전력제어

이동국은 원칙적으로 가장 적은 송신 전력을 요구하는 기지국을 서비스 기지국으로 택한다. 이는 식(3)과 같이 표현된다.

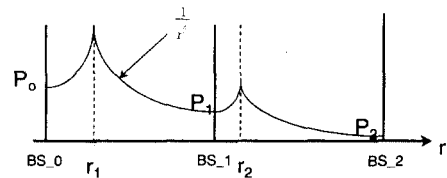
$$P_{\text{srv_BS}} \cdot \left(\frac{10^{\frac{\epsilon_{\text{srv_us}}/10}{r_{\text{srv_BS}}^n}} \right)^{-1} < P_{\text{other_BSs}} \cdot \left(\frac{10^{\frac{\epsilon_{\text{other_us}}/10}{r_{\text{other_BSs}}^n}} \right)^{-1} \quad (3)$$

, other_BSs ≠ srv_BS

srv_BS는 한 이동국의 서비스 기지국을 나타내고, other_BSs는 서비스 기지국을 제외한 모든 다른 기지국들을 나타내는 첨자이다. BS라는 기지국이 수신되기 원하는 전력을 P_{BS} 로 표시한다. 이 P_{BS} 가 기지국에 도달되기 위해 이동국은 long-term fading을 보상한 만큼의 전력을 송신해야하는 것이다. P_{BS} 의 값을 낮춤으로써 BS라는 기지국은 보다 쉽게 서비스 기지국으로 채택이 됨을 알 수 있고, 이와 같이 기지국의 수신 전력값을 제어함으로써 이동국의 서비스 기지국을 제어할 수 있게 된다.



(a) 균일 분포 상황에서의 기지국 수신요구전력 ($P_0 = P_1 = P_2$).



(b) 비균일 분포 상황에서의 기지국 수신요구전력 ($P_0 \neq P_1 \neq P_2$).

그림 4. 기지국의 전력제어 방법

본 논문에서는 이동국들이 어느 한 기지국을 중심으로 밀집되어 있다고 할 때, 모든 기지국이 동일한 수의 이동국을 서비스하도록 기지국의 전력을 제어하며, 이를 통해 셀 용량의 증대를 기대한다. 기지국의 전력제어 값은 시뮬레이션에 의해 이루어졌다. 거리에 의한 감쇠 성분만을 고려하여 그림 4와 같이 원하는 셀 경계의 조건에 맞게 기지국의 전력을 제어하게 된다. BS_i 는 i -tier의 기지국을 나타내고, R 은 각각 셀의 경계를 나타낸다. 그림 4의 (a)는 기지국의 전력 제어를 하지 않은 상황이므로 셀의 경계는 각 기지국에서 동일한 거리가 된다. 중심 셀에 이동국이 밀집되어 셀의 경계를 r_1 과 r_2 로 각각 줄이고자 한다면 기지국의 수신 전력값도 각각 그림 4(b)의 P_i 와 같이 제어가 되어야 한다. 이러한 값을 구하기 위해 본 논문에서는 시뮬레이션에 의해 각 기지국들이 동일한 수의 이동국을 수용하도록 기지국의 수신 전력값을 제어하였다.

2. 전력제어 값 시뮬레이션 과정

어느 한 기지국의 서비스 범위내에 동일한 수의 이동국이 분포하기 위해서, 이론적으로 이동국의 분포의 면적 적분을 통해서 구한다. 그러나, 이 계산은 매우 어려우므로 시뮬레이션을 통해 구하였다. 그 과정은 다음과 같다.

1. 많은 수(수십만)의 이동국을 37개의 셀에 균일 또는 비균일하게 분포시킨다.
2. 각 기지국의 원하는 전력 값을 기지국마다 조절한다.
3. 각 이동국들은 shadowing을 고려하지 않은 long-term fading 환경하에서 가장 적은 전력을 요구하는 기지국을 서비스 기지국으로 정한다.
4. 각 기지국에 속하는 이동국 수를 비교하여 같을 때까지 2~3과정 반복.

위의 과정을 통해 기지국의 전력제어가 이루어진다.

3. 서비스 기지국 선택 방법

앞서 말한 바와 같이 이동국은 가장 적은 송신 전력을 요구하는 기지국을 서비스 기지국으로 선택한다. 그러나 본 논문에서는 수식을 전개함에 있어 다음의 가정을 하였다. 각 이동국들은 서비스 기지국을 2개의 기지국 중에 선택하게 된다. 이는 수식을 전개함에 있어 사용되는 하나의 근사화 과정이다. 논문 [1]에서는 2개의 서비스 후보 기지국을 다음과 같이

정한다. 하나는 37개의 기지국중 outage 율을 측정하고자 하는 기지국이 되고, 다른 하나는 각 이동국에서 거리상으로 가장 가까운 기지국을 서비스 후보 기지국으로 삼는 방법이다.

본 논문에서는 다음과 같이 서비스 후보 기지국을 선택한다. 이동국은 식(3)과 같이 가장 적은 전력을 요구하는 기지국을 서비스 기지국으로 삼게 되므로 2개의 후보 기지국 $p_{srv_BS_1}$ 과 $p_{srv_BS_2}$ 를 식(4)와 같이 선택하면 이 두 기지국 $p_{srv_BS_1}$ 과 $p_{srv_BS_2}$ 이 음영(shadowing)까지 고려한 식(3)의 조건을 만족하게 될 확률이 높아진다.

$$P_{p_{srv_BS_1}} \cdot r_{p_{srv_BS_1}}^{-4} < P_{p_{srv_BS_2}} \cdot r_{p_{srv_BS_2}}^{-4} < P_{other_BSs} \cdot r_{other_BSs}^{-4} \tag{4}$$

$, other_BSs \neq p_{srv_BS_i}, i = 1, 2$

V. CDMA 용량 분석

Outage 율은 시스템의 성능이 일정한 기준 이하로 떨어지는 확률을 의미한다. 통상 채널의 BER 특성이 10^{-3} 이하로 될 때 음성 통화가 가능한 것으로 알려져 있다. 채널 특성이 랜덤하므로 비트 에너지 대 잡음 에너지 비 E_b/N_0 가 랜덤하게 되어 BER 역시 랜덤한 과정을 겪게 된다. 랜덤한 과정을 겪게 되는 BER이 원하는 값 10^{-3} 이상으로 나빠지게 될 경우가 있으며, 전체 채널 사용 시간중 이와 같이 특성이 나빠지는 확률을 outage 율이라 한다.

그림 1에서 short-term fading에 의한 성능 감쇠를 고려할 때, CDMA 시스템에서는 convolutional code와 RAKE 수신기를 사용하면 $E_b/N_0 \geq 5(7.0dB)$ 에서 $BER < 10^{-3}$ 의 성능을 기대할 수 있다. 즉, 통화 가능한 확률 $P = Pr(BER < 10^{-3}) = Pr(E_b/N_0 \geq 5)$ 와 같이 주어진다.

DS-SS-CDMA 시스템의 E_b/N_0 는 식(5)와 같이 표시되며,[1]

$$E_b/N_0 = \frac{WR}{\sum_{i=1}^{N-1} \chi_i + (I/S)_\infty + (\eta/S)} \tag{5}$$

여기서 W 는 신호의 대역폭을 R 은 신호의 전송률을 각각 나타낸다. S 는 기지국에 도달되는 신호의 전력으로 $(I/S)_\infty$ 은 외부셀에 의한 간섭을 나타내며, (η/S)

는 열 잡음에 의한 항으로 η 는 열잡음의 전력을 표시한다. 합의 형태로 나온 맨 첫 항이 내부셀에 의한 간섭을 나타내는 데 이와 같이 binomial 합의 형태로 나온 것은 완벽한 전력 제어가 가정되었기 때문이다. N 은 내가 서비스를 받고 있는 기지국(중심 기지국)에 서비스를 받고 있는 나를 포함한 모든 이동국의 숫자이며, x_i 는 내부셀 기지국에 의해 서비스를 받는 i 번째 이동국의 음성이 활성화되었을 때 완벽한 전력 제어 가정에 의해 1이라는 값($S/S=1$)으로 간섭을 주는 항을 나타내기 위함이다. 그러므로 음성활성도(voice activity)를 α 라 하면,

$$x_i = \begin{cases} 1, & \text{with probability } \alpha \\ 0, & \text{with probability } 1 - \alpha \end{cases} \quad (6)$$

이다. 따라서, outage을 $1 - P$ 는 다음 식과 같다.

$$\begin{aligned} 1 - P &= \Pr(\text{BER} > 10^{-3}) \\ &\equiv \Pr(E_b/N_o < 7 \text{ dB}) \\ &= \Pr\left(\frac{WR}{\sum_{i=1}^{N-1} x_i + (I/S)_{oc} + (\eta/S)} < 5\right) \\ &= \Pr\left(\sum_{i=1}^{N-1} x_i + (I/S)_{oc} > \frac{WR}{5} - \frac{\eta}{S}\right) \\ &= \Pr\left(\sum_{i=1}^{N-1} x_i + (I/S)_{oc} > \delta\right) \end{aligned} \quad (7)$$

이때,

$$\delta = \frac{WR}{E_b/N_o} - \frac{\eta}{S}, \quad E_b/N_o = 5 \quad (8)$$

이다. 전력제어에 의해 수신전력 S 의 값의 변화로 δ 값이 30~31.25로 변하며 [1], 이 값은 성능차이에 큰 영향을 주지 않을 것으로 기대되므로 이의 변화는 고려하지 않는다.

내부셀 간섭량은 완벽한 전력 제어 가정에 의해 binomial 랜덤 과정으로 모델링하였다. 외부셀 간섭의 경우 long-term fading의 영향에 의해 이와 같이 모델링할 수 없다. [1]에서 이 값을 가우시안 랜덤 과정으로 가정하였다. 이러한 가정하에 식(7)은 식(9)와 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} 1 - P &= \sum_{k=0}^{N-1} \Pr(I/S > \delta - k \mid \sum_i x_i = k) \cdot \Pr(\sum_i x_i = k) \\ &= \sum_{k=0}^{N-1} \binom{N-1}{k} p^k (1-p)^{N-1-k} \cdot Q\left(\frac{\delta - k - E(I/S)_{oc}}{\sqrt{\text{Var}(I/S)_{oc}}}\right) \end{aligned} \quad (9)$$

내부셀의 변수 N 과 p , 외부셀의 변수인 $(I/S)_{oc}$ 의 평균과 분산을 구하면 식(9)로부터 outage율이 얻어진다.

1. 내부셀 간섭량 계산

앞서 설명된 바와 같이 내부셀의 간섭은 binomial 랜덤과정을 겪게 된다. [1]에서는 이 binomial의 계수인 N 과 p 를 각각 셀 당 평균 이동국 수와 음성활성도 3/8로 정의하고 있다. 그러나, 본 논문에서는 binomial 계수 N 과 p 를 다음의 내부셀 간섭의 평균과 분산으로부터 유도를 하고 있다.

$$\begin{aligned} Np &= E[(I/S)_{ic}] \\ Np(1-p) &= \text{Var}[(I/S)_{ic}] \end{aligned} \quad (10)$$

이와 같은 수식이 나온 과정은 다음과 같다. 우선 내부셀 간섭은 완벽한 전력 제어의 가정에 의해 랜덤과정이 binomial의 형태를 지닌다는 것은 유지한다. 그러면 내부 기지국에 의해 서비스를 받는 이동국의 수는 long-term fading에 의해 일정하지 않고 변화할 것이다. 이것은 [1]에서 사용된 계수 설정에 방식과 맞지 않게 된다. 이를 보완하기 위해 나온 계산 방법이 식(10)인 본 논문에서 제시된 내부셀 간섭의 평균과 분산으로부터 binomial의 계수를 구하는 것이다.

먼저 앞으로 나올 식들에서 사용될 이동국의 기지국 선택함수 Φ 를 식(11)로 정의한다.

$$\Phi_m(b_1, b_2) = \begin{cases} 1, & \text{if } \frac{P_{b_1}}{P_{b_2}} (r_{b_1}/r_{b_2})^4 10^{(\epsilon_{b_1} - \epsilon_{b_2})/10} \\ & \leq 1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

이 식이 의미하는 것은 이동국 m 이, 어떠한 방법에 의해 선택된 2개의 기지국을 각각 b_1 과 b_2 라 할 때, shadowing을 고려한 long-term fading에 의해 보다 적은 송신 전력을 요구하는 기지국 b_1 을 서비스 기지국으로 선택하는 것을 나타낸다. P_x 는 x 기지국이 요구하는 수신 전력 값을 나타내며, r_x 와 $10^{\epsilon_x/10}$

는 각각 이동국에서 x 기지국까지의 거리와 어느 순간에 발생하는 음영(shadowing)을 가리킨다.

성능을 측정하고자 하는 이동국이 기지국에 도달하는 전력 S 로 정규화한 내부셀 간섭량 $(I/S)_{ic}$ 는

$$(I/S)_{ic} = \int_s \psi \cdot \Phi_\rho(b_0, b_n) \cdot \rho(r, \theta) dA \quad (12)$$

이다. ψ 는 음성 활성화도 α 의 확률로 1이 되는 음성의 활성화 여부를 나타내는 랜덤 변수이다. ρ 는 이동국의 지리적 분포 밀도를 나타내며 위의 함수는 전체 셀 면적 s 에 대해 적분함으로써 전체 이동국 중 내부셀(b_0)에 의해 서비스를 받는 이동국을 가려내어 자신의 전력 S 로 정규화된 내부셀 간섭량을 나타내고 있다. b_n 은 중심 기지국 b_0 를 제외한 이동국에서 가장 가까운 기지국을 의미한다. 이와 같이 내부셀 간섭을 일으키기 위해서는 이동국의 후보 서비스 기지국 중 하나는 중심 기지국이 되어야 한다.

식(12)에서 $(I/S)_{ic}$ 의 평균과 분산을 계산하면 식(10)과 식(9)에 의해 내부 간섭을 계산할 수 있다.[10]

2. 외부셀 간섭량 계산

외부셀에 의해 서비스를 받고 있는 이동국들에 의한 간섭량은 내부셀에 의해 서비스를 받고 있는 이동국들에 의한 간섭량과 통계적 분포 특성에 있어 차이가 있다. 내부셀에 의한 간섭은 앞 절에 상세히 설명된 바와 같이 binomial 랜덤 변수임에 대해 외부셀에 의한 간섭은 앞서 설명된 바와 같이 가우시안 분포로써 모델링이 된다. 이러한 가정하에 어느 한 이동국의 outage율을 구하기 식(9)로부터 정규화된 외부셀 간섭의 평균과 분산이 필요하다.

우선 자신의 신호전력 S 로써 정규화된 외부셀에 의한 간섭 $(I/S)_{oc}$ 는 식(13)과 같다.

$$\begin{aligned} (I/S)_{oc} = & \int_s \psi(\rho) \cdot \frac{P_b(\rho)}{P_b(\rho)} \left(\frac{r_b(\rho)}{r_b(\rho)} \right)^4 10^{(\xi_a(\rho) - \xi_b(\rho))/10} \\ & \cdot \Phi_\rho(b_1, b_2) \cdot \rho(r, \theta) dA \\ & + \int_s \psi(\rho) \cdot \frac{P_b(\rho)}{P_b(\rho)} \left(\frac{r_b(\rho)}{r_b(\rho)} \right)^4 10^{(\xi_a(\rho) - \xi_b(\rho))/10} \\ & \cdot \Phi_\rho(b_2, b_1) \cdot \rho(r, \theta) dA \\ & + \int_s \psi(\rho) \cdot \frac{P_b(\rho)}{P_b(\rho)} \left(\frac{r_b(\rho)}{r_b(\rho)} \right)^4 10^{(\xi_a(\rho) - \xi_b(\rho))/10} \\ & \cdot \Phi_\rho(b, b_0) \cdot \rho(r, \theta) dA \end{aligned} \quad (13)$$

내부셀의 경우와 같이 ψ 는 음성 활성화도 α 의 확률로 1이 되는 음성의 활성화 여부를 나타내는 랜덤 변수이다. ρ 는 이동국의 지리적 분포 밀도를 나타내며 위의 함수는 전체 셀 면적 s 에 대해 적분함으로써 전체 이동국 중 내부셀(b_0)에 의해 서비스를 받는 이동국을 가려내어 자신의 전력 S 로 정규화된 외부셀 간섭량을 나타내고 있다. 내부셀의 이동국에 의한 간섭량 식과 달리 외부셀에 의한 간섭식은 식(13)과 같이 3개의 항으로 구성된다. 앞의 두 항은 서비스 후보 기지국이 서비스의 질을 측정하고자하는 기지국이 아닌 경우이며, 마지막 항은 서비스 후보 기지국중 하나가 측정하고자하는 기지국일 경우이다. b_1 과 b_2 는 앞의 두 항에서 2개의 서비스 후보 기지국을 나타낸다. 첫째 항은 이들중 b_1 이 서비스 기지국으로 선정되는 경우이며, 두번째 항은 b_2 가 서비스 기지국으로 선정되는 경우이다. 마지막 항의 b_0 는 서비스 후보 기지국중의 하나로서 서비스 질을 측정하고자하는 기지국을 나타내며, b 는 나머지 하나의 서비스 후보 기지국을 나타낸다.

따라서 이동국이 중심 셀 우선 선택 방식으로 후보 기지국을 선정한다면 식(13)은 마지막 항만이 남게 된다.

윗 수식을 내부셀에 의한 간섭식 식(12)와 비교해보면, long-term fading에 의한 변수 r 과 ξ , 기지국이 원하는 수신 전력 P 가 첨가되었음을 비교해 볼 수 있다. 이러한 변수들이 내부셀 간섭의 통계적 특성과 달리 외부셀 간섭을 가우시안 분포로 모델링하게 만든다.

식(13)에서 $(I/S)_{oc}$ 의 평균과 분산을 수치적 방식과 시뮬레이션을 통해 계산하면 식(10)과 식(9)에 의해 외부 간섭을 계산할 수 있다.[10]

VI. 결 과

본 절에서는 내부셀 간섭 및 이동국의 기지국 선택 방법에 따른 중심 기지국의 용량의 변화를 비교 분석해 보고, 본 논문에서 제시된 방법에 의해 중심 기지국뿐만 아니라 1-tier 기지국에서의 용량을 함께 살펴봄으로써 기지국의 전력 제어에 따른 기지국들의 용량 변화를 분석한다.

1. 계산 방법에 따른 용량 비교

본 논문에서는 CDMA 용량을 분석함에 있어 논문

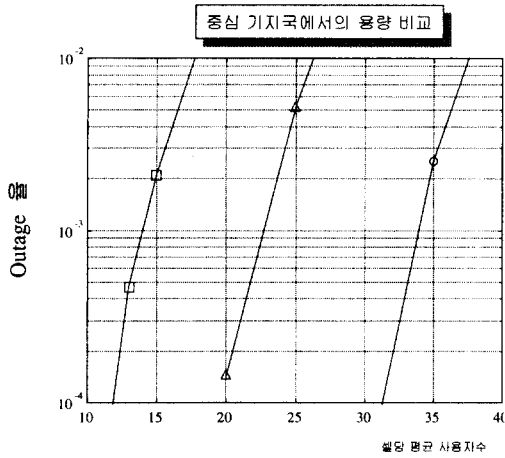


그림 5. 계산 방식에 따른 용량 비교

[1]의 계산방식에 기초를 두며 이를 수정하여 사용하였다. 그림 5는 이러한 계산 방식의 수정에 따른 용량의 변화를 나타낸 것이다.

o로 표시된 것이 논문 [1]에서 제시된 방법에 의한 결과이며, △로 표시된 것은 [1]에서 제시된 계산 방법에 내부셀 간섭식만을 식(10)과 같이 수정함에 따라 나타난 결과이다. 이는 한 셀내의 이동국 수가 평균적으로 같은 경우, 한 기지국에 서비스를 받는 이동국의 수가 일정한 경우[1]보다 변동이 있는 경우에 용량이 감소됨을 의미한다. □는 △의 결과와 같은 계산 방식을 적용하면서 IV장에서 제시된 이동국의 서비스 기지국 선택 방법을 적용함에 따라 나온 결과이다. 이와 같은 용량의 감쇠는 내부셀 간섭식 변화에 따른 결과와도 같은 것으로 분석할 수 있다. [1]의 경우 외부셀에 위치하는 이동국들은 자신에게서 가장 가까운 기지국에 서비스 받을 확률이 본 논문에서 적용된 방법보다 크기 때문이며, 이는 어느 한 기지국에 서비스를 받는 이동국 수의 분산이 적어짐을 의미한다. 따라서 본 논문에서 제시된 방법에 의한 용량은 [1]보다 적어지게 되는 것이다.

1% outage율에서 비교를 하면 [1]에서 계산한 방식에 비해 내부셀 간섭식을 수정한 결과 셀당 용량이 37명에서 26명으로 30% 줄어들음을 보인다. 또한 이동국이 서비스 기지국을 선택하는 방식을 수정한 결과 셀당 사용자수가 17명으로 [1]에서 제시된 용량의 47%만을 보인다. 가까운 두 기지국에서 서비스 기지국을 찾을 경우, 중심기지국이 반드시 서비스 기지국이 되지 않는다. 결국 1-tier 기지국 2개가 서비스 후보 기

지국이 될 수 있으며 이럴 경우 서비스 기지국까지의 거리감쇠와 중심기지국까지의 거리감쇠가 큰 차를 보이지 않는다. 이와 같은 이유로 선택도에 의해 중심 기지국은 외부셀 이동국의 서비스 기지국이 수신하는 전력보다 더 큰 전력을 받을 수 있게 되며, 이 영향이 용량의 감쇠를 일으킨다.

논문 [1]에서 CDMA의 용량이 기존의 다중 접속 방식에 비해 20배라는 주장은 본 논문의 가정에 의해 계산했을 때 9.4배 정도로 줄어들며 이 값은 실제 CDMA 용량에 가까운 값이다.

2. 중심 기지국의 용량

그림 7은 중심 기지국에서의 전력 제어에 따른 용량의 변화에 대한 결과이다. 혼합형 분포로 k 는 0.1과 0.3의 2가지를 사용하였다. 그래프의 검게 표시된 부분이 기지국의 전력 제어가 된 경우이고, 테두리로 표시된 부분이 전력 제어가 되지 않았을 때의 결과이다.

그림 7에서 비균일 분포 모델들에서 기지국의 전력 제어를 하였을 경우에 시스템 성능이 균일 분포 모델로 근접함을 알 수 있다. Outage율이 1%에서 비교를 해보면, $k = 0.3$ 일 경우 전력 제어에 의해 8명에서 13명으로 63%의 용량 증가가 이루어졌으며, $k = 0.1$ 일 경우 전력 제어에 의해 14명에서 18명으로 29%의 용량 증가가 이루어졌으며 이는 균일 분포와 같은 용량임을 그림 7을 통해 알 수 있다.

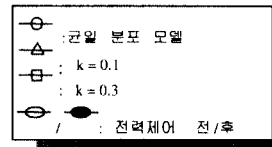


그림 6. 그림 7과 8의 기호 표시

3. 1-tier 기지국의 용량

그림 8은 1-tier에 위치하는 기지국에서의 전력 제어에 따른 용량의 변화에 대한 결과이다. 중심 기지국과 마찬가지로 혼합형 분포로 k 는 0.1과 0.3의 2가지를 사용하였다. 그래프의 검게 표시된 부분이 기지국의 전력 제어가 된 경우이고, 테두리로 표시된 부분이 전력 제어가 되지 않았을 때의 결과이다.

우선 균일한 분포에서 그림 7의 중심 기지국과 거의 동일한 용량을 보임을 알 수 있다. 이는 균일 분포이기 때문에 어느 기지국이나 동일한 성능을 나타

내기 때문이다.

다음으로 $k = 0.3$ 인 경우와 $k = 0.1$ 인 경우에 중심 기지국과의 용량 차이를 비교해 본다. $k = 0.3$ 일 경우 outage 1%에서 전력 제어 전에 중심 기지국의 용량이 8명인데 비해 1-tier에 위치한 기지국의 용량은 약 12명이고, $k = 0.1$ 일 경우 중심 기지국의 용량이 14명인데 비해 1-tier에 위치한 기지국의 용량은 16명임을 알 수 있다. 이와 같이 k 값이 적을 때 중심 기지국과 1-tier에 위치한 기지국의 용량차이가 적으며, 이는 k 값이 적을수록 중심 기지국과 주변 기지국의 이동국 분포 형태가 비슷하기 때문이다. 기지국의 전력 제어가 되었을 때 $k = 0.3$ 에서 중심 기지국과 1-tier

기지국의 용량은 각각 13명과 12명이고, $k = 0.1$ 에서 두 기지국 모두 18명의 용량을 나타내었다.

이와 같이 그림 7과 8의 결과에서, 기지국의 전력 제어에 의해 거의 모든 기지국이 동일한 수의 이동국을 서비스함을 알 수 있다.

VII. 결 론

본 논문에서는 중심 기지국에 이동국이 밀집되어 있을 경우, 중심 기지국과 1-tier 기지국에서의 성능 및 용량 감소와 기지국의 전력 제어를 통해 중심 기지국의 성능 및 용량 개선에 대해 연구하였다. 기지국의 용량은 [1]에서 제시된 방법을 토대로 수정하여 계산하였다.

기지국에 이동국이 밀집되어 있을 경우, 중심 기지국에 서비스를 받는 이동국들의 성능 저하를 정량화 하였고, 이를 각 기지국들의 수신 전력 값을 제어함에 따라 중심 기지국 주변의 기지국들로 이동국의 부하가 분산되어 중심 셀의 성능이 나아지는 결과를 얻었다. 이때, 중심 기지국에 이동국이 몰리는 분포 형태에 따라 전력 제어 값이 달라졌으나, 전반적으로 성능 및 용량의 증감 형태는 같음을 알 수 있었다. 또한 1-tier 기지국에서의 성능도 동시에 분석함으로써 셀 전체의 용량 변화 형태를 예측할 수 있었다.

또한 CDMA 시스템의 용량을 계산함에 있어 기존에 쓰이던 [1]의 방식을 일부 수정하여, [1]에서 제시된 CDMA 용량보다 53% 적은 용량을 구하였다. 이는 현재 CDMA 시스템의 용량이 [1]에서 제시된 것에 비해 적다는 것을 감안할 때, [1]의 계산 방식을 보완한 것이라고 할 수 있다.

보다 정확한 기지국의 용량 분석을 위해 이동국이 서비스 기지국을 2개의 기지국이 아닌 3개의 기지국 중에서 선택하는 계산 방식이 이루어져야 할 것이다. 또한 simulation을 통해 계산 값과의 비교도 의미가 클 것이다.

참 고 문 헌

1. K.S. Gilhousen et al, "On the Capacity of a Cellular CDMA System", IEEE Trans. on Vehicular Technology, Vol. VT-40 No.2, pp. 302-312, May 1991.
2. 김동구, 김선택, 박형일, 홍익표, "CDMA 이동통신용 순방향 역방향 모델 시뮬레이터 제작", ETRI 최

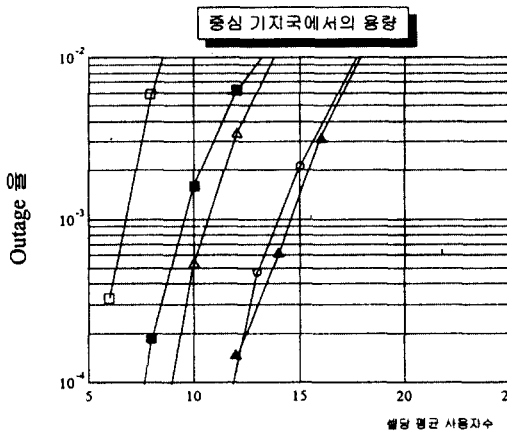


그림 7. 중심 기지국에서의 용량 비교

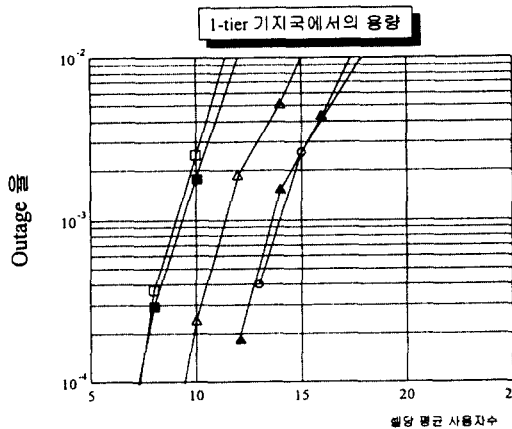


그림 8. 1-tier 기지국에서의 용량 비교

- 중연구보고서, 연세대학교 전파통신연구소, p. 36, Dec. 1994
3. A. J. Viterbi, "When not to Spread Spectrum-Signal", *IEEE Communications Mag.*, vol. 23, pp. 12-17, April 1985.
 4. P. T. Brady, "A statistical analysis of on-off patterns in 16 conversations", *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 47, pp. 78-91, Jan. 1968.
 5. Audrey M. Viterbi and Andrew J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System", *IEEE Journal on selected areas in comm.*, Vol. 11, No. 6, pp. 892-900, Aug. 1993.
 6. G. Falciasecca, "Impact of Non-uniform Spatial Traffic Distribution on Cellular CDMA Performance", *PIMRC '94*, pp. 65-70, Sept. 1994.
 7. S. M. Shin and D. K. Sung, "DS-CDMA reverse link channel assignment based on interference and measurements", *Electronics Letters*, vol. 31, No. 22, pp. 1897-1899, Oct. 1995.
 8. Dong-ku Kim, Jong-Hun E, Ji-Hwan Ahan, "Outage Probability of the DS-CDMA Cellular System in the Non-Uniform Traffic Distribution Environment", *Wireless 97*, pp. 619-626, July 1997.
 9. Dong-ku Kim, Jong-Hun E, "CDMA CAPACITY COMPARISON AND IMPROVEMENT IN UNIFORM/NON-UNIFORM TRAFFIC MODELS", *The 2nd CDMA International Conference(CIC)*, pp. 91-94, Oct. 1997.
 10. 이종훈, "균일/비균일 CDMA 이동국의 용량 제어 연구", 연세대학교 대학원 전파공학과, Dec. 1997.



김 동 구(Dong Ku Kim) 정회원
 1960년 4월 20일생
 1983년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 졸업(공학사)
 1985년 5월: University of Southern California 전기공학과 졸업(공학석사)
 1992년 5월: University of Southern California 전기공학과 졸업(공학박사)
 1992년 5월~1992년 9월: 미국 University of Southern California Post Doc. (연구원)
 1992년 9월~1994년 2월: 미국 Motorola cellular infrastructure group 연구소 연구원
 1994년 3월~현재: 연세대학교 공과대학 기계·전자공학부 조교수



이 종 훈(Jong-Hun E) 정회원
 1973년 3월 11일생
 1996년 2월: 연세대학교 전파공학과 졸업(공학사)
 1998년 2월: 연세대학교 전파공학과 졸업(공학석사)
 1998년 3월~현재: 연세대학교 전파공학과 박사과정