

멀티 셀 환경에서 주파수 분할 재사용 기반 셀룰러 시스템의 성능 분석

준회원 김승연*, 명광식***, 종신회원 류승완***, 조충호**, 정회원 이형우*

Performance Analysis of Reuse-Partitioning-Based Cellular System in Multicell Environment

Seung-Yeon Kim*, Kwang-Sik Myung*** *Associate Members*,
Seung-Wan Ryu***, Choong-Ho Cho** *Lifelong Members*, Hyong-Woo Lee* *Regular Member*

요약

주파수 분할 재사용 기법은 셀룰러 시스템의 성능을 향상시키기 위한 기술이다. 주파수 분할 재사용 기반시스템에 대한 기존 연구에서는 호의 발생과 채널 선택 과정을 설명하고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 단말의 채널 선택 과정을 설명하고 주파수 분할 재사용 기반 시스템의 성능을 분석한다. 성능은 채널 사용률과 호 차단 확률로 나타낸다. 본 논문의 결과는 차후 주파수 분할 재사용 기반 시스템의 성능 분석에 추가되어 실제적인 시스템의 성능 분석을 가능하게 할 것이다.

Key Words : Cochannel interference (CCI), reuse partitioning (RUP), channel utilization, call blocking probability

ABSTRACT

Reuse-partitioning is a simple technique that can be used to improve the capacity of a cellular system. In the previous researches, authors do not explain how a channel is selected and what happens when there is no channel available when a call arrives. Therefore, in this paper, we describe a simple channel selection procedure and analyze the performance of a system. The performance is presented in terms of the channel utilization and call blocking probability by varying offered load per cell. Our analytical results may be added in a realistic performance analysis of reuse-partitioning-based system.

1. 서론

셀룰러 시스템에서 대용량 서비스에 대한 요구가 증대됨에 따라 시스템 전송량의 증대는 중요한 문제로 떠오르고 있다. 주파수의 재사용은 시스템 전송량을 증대시키기 위한 하나의 해결책이다^[1]. 그러나 셀룰러 시스템에서 주파수를 재사용으로 인접

셀 간 동일 채널 간섭은 줄지만 가용 대역이 줄어들어 시스템의 효율이 떨어지는 문제점이 발생하게 된다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 주파수 할당에 기초한 방법으로 동일 채널 간섭을 줄이기 위한 연구가 진행되었다^[2-4]. 그런데 주파수 할당을 위한 방식의 복잡도가 크다. 따라서 이를 보완하여 주파수를 부분적으로 재사용 구간을 사용하는 주파

※ 본 연구는 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2007-521-D00315)

* 고려대학교 전자및정보공학과 B-ISDN 연구실 (kimsy8011, hwlee@korea.ac.kr),

** 고려대학교 컴퓨터정보학과 BCN 연구실 (chcho@korea.ac.kr)

*** 중앙대학교 정보시스템학과 (MKS45, ryu@cau.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2009-02-064, 접수일자 : 2009년 2월 16일, 최종논문접수일자 : 2009년 8월 26일

수 분할 재사용 방법이 연구되었다. 주파수 분할 재사용 방법은 인접 셀로부터의 동일 채널 간섭을 주파수 재사용 구간을 사용하여 조절함으로써 동일 채널 간섭으로 인한 전송량 감소를 억제할 수 있다. 논문 [5], [6]에서는 각각 비슷한 방법으로 코드 분할 다중 접속 방식(CDMA: Code-Division Multiple Access)과 직교 채널을 갖는 시스템에서 고정된 채널 할당 방식으로 시스템의 전송량이 향상되었음을 보였다. 그리고 논문 [7], [8]에서는 주파수 분할 재사용 구간을 통한 성능 향상을 위해 동적 채널 할당을 함께 고려하여 시간 분할 다중 접속 방식(TDMA: Time-Division Multiple Access)이나 주파수 분할 다중 접속 방식(FDMA: Frequency-Division Multiple Access)과 같은 직교 채널을 갖는 셀룰러 시스템에서 주파수 분할 재사용 구간을 적용하여 시스템 전송량을 최대화 하는 연구를 수행하였다. 그러나 기존의 연구에서는 주파수 분할 재사용 기반 시스템의 성능 분석에서 단말의 수신 신호와 간섭의 세기를 통한 시스템의 outage 분석만 고려하였을 뿐 주파수 분할 재사용에 의한 inner zone(안쪽 영역)과 outer zone(바깥쪽 영역)에 할당된 채널을 단말이 선택하는 과정에서 발생하는 호 차단(call blocking)은 고려되지 않았다. 주파수 재사용에 의한 채널 선택 과정은 사용 가능한 채널의 수가 제한되므로 호 차단을 발생시켜 시스템의 성능 저하를 야기하기 때문에 시스템의 최적 설계를 위해서는 채널 선택을 위한 호 차단 성능 평가가 필수적이다.

따라서 본 논문에서는 주파수 분할 재사용 기반 셀룰러 시스템의 최적 설계를 위해 호의 채널 선택 과정을 고려하여 시스템의 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구로 주파수 재사용 기반 시스템에 대해 살펴본다. 그리고 3장에서는 호의 채널 선택 과정을 고려한 주파수 분할 재사용 기반 시스템의 성능 모델을 정립하고, 4장에서는 분석 결과를 보인다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구에 대해 논의 한다.

II. 주파수 분할 재사용(Reuse Partitioning)

셀룰러 시스템에서 그림 1-(a)와 같이 주파수 재사용도가 1에 가까워지면 셀 내에서 가용할 수 있는 대역이 증가하고 이에 따라 대역 효율성이 증대되는 반면, 셀 경계 등에서 동일 채널에 의한 셀 간 간섭이 높아져서 단말의 outage가 증가하게 된다.

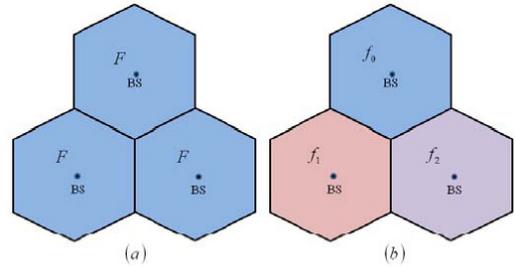


그림 1. 주파수 재사용의 예
 ((a): 주파수 재사용도 1, (b): 주파수 재사용도 3; $(F = \{f_0, f_1, f_2\}, f_0 \cap f_1 = \emptyset, f_1 \cap f_2 = \emptyset, f_2 \cap f_0 = \emptyset)$)

그리고 그림 1-(b)와 같이 시스템의 주파수 재사용도가 높을 경우 셀 간 동일 채널에 의한 간섭은 줄어들지만 가용 대역이 작아져서 대역 효율성이 떨어지게 된다. (본 논문에서는 주파수 재사용도가 1인 경우를 One-셀 시스템으로, 주파수 재사용도가 3인 경우 Three-셀 시스템으로 정의한다.)

한편, 부분 주파수 재사용 기법은 셀 내의 커버리지를 분할하여 다른 주파수 재사용 도를 사용함으로써 셀 간 간섭을 완화하면서 대역 효율성을 향상시킬 수 있게 된다. 이 경우에는 셀 내의 특정 커버리지에서 특정 주파수를 사용하지 않도록 하며, 이때 인접 셀 간의 간섭을 고려한 주파수 배치가 이루어져야 한다⁹⁾.

부분 주파수 재사용 기법의 하나로 연구되는 주파수 분할 재사용 기법은 멀티 셀 환경에서 시스템의 처리량(throughput)을 향상 시키는 방법으로 셀 내에서 기지국과 단말의 위치에 따라 채널 할당을 다르게 하는 방법이다. 셀을 두 개의 동심원 지역으로 나누고 각각의 지역은 다른 재사용 율을 사용한다. 기지국에 가까이 위치한 단말은 재사용 율이 낮은 채널을 할당 받고, 반대로 기지국에서 먼 곳에 위치한 단말은 재사용 율이 큰 채널을 할당 받게 된다.

예를 들어, 기지국은 셀 중심에 위치하고 기지국이 서비스하는 지역은 동일한 크기의 육각 셀로 나뉜다. 모든 셀에서 동일한 채널이 재사용되는데 One-셀 모델에서는 각각의 단말기가 전체 채널을 사용하고 Three-셀 모델에서는 각각의 단말기가 전체 채널 중에서 1/3을 사용하게 된다. 그림 2와 같이 각각의 셀은 주파수 분할 재사용을 하게 되는데 inner zone은 One-셀 모델로 전체 주파수 F 를 사용하고, outer zone은 Three-셀 모델로 셀마다 f_0, f_1, f_2 를 서로 이웃하지 않게 사용한다.

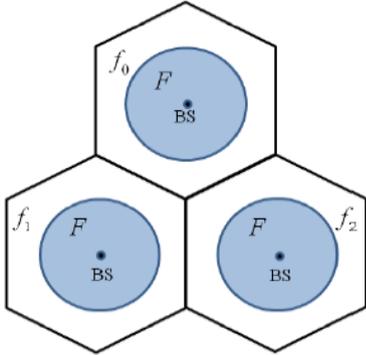


그림 2. 주파수 분할 재사용의 예
 $(F = \{f_0, f_1, f_2\}, f_0 \cap f_1 = \phi, f_1 \cap f_2 = \phi, f_2 \cap f_0 = \phi)$

본 논문에서는 상기의 시스템 환경에서 해석적 모델을 통해 주파수 분할 재사용 모델의 성능을 호 차단 확률과 채널 사용률의 관점에서 분석 한다.

III. 주파수 분할 재사용 시스템의 성능 분석

3.1 용어 및 시스템 모델

성능 분석의 편의를 위해 하나의 셀 모양을 육각 셀로 가정하고, 기지국으로부터 가까운 곳인 inner zone은 원으로 가정한다. 모든 셀이 동일한 구조를 가지게 되므로 single cell의 분석을 통해 해석적 모델링으로 주파수 분할 재사용 기반 시스템의 성능을 분석한다.

분석을 위한 용어와 시스템을 모델링은 다음과 같다.

1. λ : 셀에서 호의 발생률(call arrival rate).
2. μ : 셀에서 서비스율(service rate).
3. r : 육각 셀의 반경, 셀의 중심으로부터 각 꼭지점까지의 거리. (그림 3)
4. r_0 : 육각 셀의 넓이와 같게 하는 원형 셀의 반경,

$$r_0 = \sqrt{\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}} r.$$

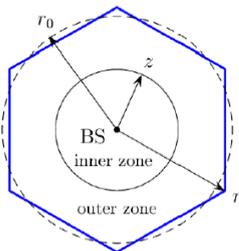


그림 3. 육각 셀 반경과 원형 셀 반경의 근사화

5. $F = \{f_0, f_1, f_2\}$, F 는 시스템에서 사용 가능한 채널 집합으로 재사용 율을 3으로 가정할 경우 각 채널 집합 요소(partition of F)들은 각각 전체 채널의 1/3을 사용.
6. C : 전체 채널의 수. $C_0 (=C/3)$: 각 채널 집합 요소의 채널 수.
7. z : 기지국 inner zone의 반경으로 단말은 F 채널 집합 중에서 하나의 채널을 선택하여 사용. 기지국 outer zone(z 반경 이상의 영역)에 있는 단말은 채널 집합 요소 중에서 할당된 채널 요소에서 채널을 선택하여 사용.
8. α : 하나의 셀 영역에서 inner zone이 차지하는 양. $\alpha = (z/r_0)^2 = 2\pi z^2 / (3\sqrt{3}r^2)$.
9. 단말은 셀 내에 균일하게 분포.

3.2 트래픽 분석

1장에서 언급한 것과 같이 주파수 분할 재사용 방법을 제안한 선행 연구 [5~8]에서는 셀에서 호가 발생하는 지역에 따라 (inner zone 혹은 outer zone) 단말이 선택할 수 있는 채널의 집합이 달라지는 것으로 제안되었다. 그러나 호가 발생한 단말의 signal to interference and noise ratio가 고려되었을 뿐 발생한 호에 대한 채널 선택 과정은 설명되어 있지 않다. 따라서 본 장에서는 단말의 채널 선택 과정을 통한 호 차단 확률(call blocking probability)과 채널 사용률(channel utilization)을 분석한다. 셀에서 새로 발생한 호의 차단 확률은 해석적 모델링을 통해 분석할 수 있으며, 이러한 해석적 모델 정립을 위한 가정들은 논문[8]을 참고하여 동일하게 다음과 같이 나타낸다.

- 통합 호 발생 프로세스(aggregated call arrival process)는 셀 당 rate λ 를 갖는 포아송 분포(Poisson distribution)를 따른다. λ_m 은 한 단말의 호 발생 프로세스를 나타내고 λ 는 $\lambda_m \times$ 셀 안의 단말 수와 같다.
- 호 지속 시간(call duration)은 평균 $1/\mu$ 초를 갖는 지수 분포(exponential distribution)를 따른다.
- 호가 발생하게 되면, 단말은 채널을 요청하게 되는데,
 - Inner zone에서 발생한 호일 경우, F 채널 집합 중에서 할당되지 않은 채널을 랜덤하게 선택 받게 된다.
 - 반대로 outer zone에서 발생한 호일 경우,

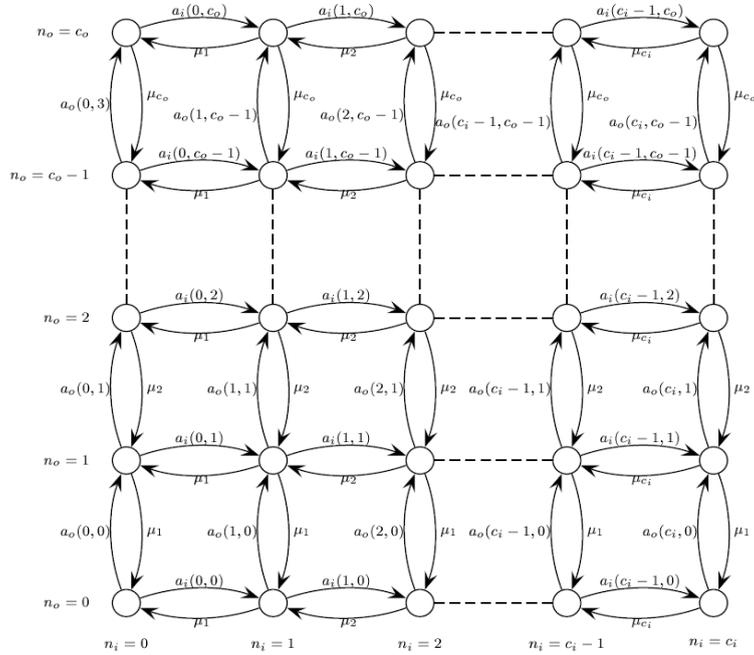


그림 4. (\$N_i, N_o\$)의 rate diagram

outer zone 채널 집합 요소 중(예를 들어, 그림 2의 \$f_0\$ 집합 요소)에서 할당되지 않은 채널을 선택 받게 된다.

- 할당 받을 채널이 없을 경우, 그 호는 차단 된다.

호 차단 확률을 찾기 위해 inner zone에서 발생한 호에 대한 차단 확률, \$P_{Bi}\$, 과 outer zone에서 발생한 호에 대한 차단 확률, \$P_{Bo}\$,을 정의하고 \$t\$ 시간 동안 할당된 inner 채널과 outer 채널의 개수, \$N_i, N_o\$, 를 각각 고려하기 위해 랜덤 벡터 (\$N_i, N_o\$)를 정의한다. 호의 발생 시간 간격과 지속 시간은 지수 분포를 따르기 때문에 랜덤 벡터는 2 차원 마코프 체인(two dimensional Markov chain)으로 표현할 수 있다. Inner zone과 outer zone에서 호의 발생율을 각각 \$\lambda_i\$과 \$\lambda_o\$로 정의하면 포아송 분포의 분할 성질(decomposition)에 의해 \$\lambda_i = \alpha\lambda\$, \$\lambda_o = (1-\alpha)\lambda\$와 각각 같다. 또한, 이 때 inner zone과 outer zone에서 발생하는 호의 발생률 (call arrival rate)인 \$a_i(n_i, n_o)\$, \$a_o(n_i, n_o)\$ 그리고 호의 지속 시간, \$\mu_k\$, 은 다음과 같다.

$$a_i(n_i, n_o) = \begin{cases} \lambda_i \left(\frac{c_i - n_i}{c - n_i - n_o} \right), & n_i + n_o \leq c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$a_o(n_i, n_o) = \begin{cases} \lambda_o + \lambda_i \left(\frac{c_o - n_o}{c - n_i - n_o} \right), & n_o \leq c_o \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

그리고

$$\mu_k = \begin{cases} k\mu, & k < c \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

랜덤 벡터 (\$N_i, N_o\$)의 steady state probability mass function을 \$p(n_i, n_o) \cong \Pr[N_i = n_i, N_o = n_o]\$과 같이 정의하면, \$0 \leq n_i \leq c_i\$과 \$0 \leq n_o \leq c_o\$의 범위에서 다음과 같은 balance equation을 만족한다.

$$\begin{aligned} p(n_i, n_o) & [a_i(n_i, n_o) + a_o(n_i, n_o) + \mu_{n_i} + \mu_{n_o}] \\ & = p(n_i - 1, n_o) a_i(n_i - 1, n_o) \\ & + p(n_i, n_o - 1) a_o(n_i, n_o - 1) \\ & + p(n_i + 1, n_o) \mu_{n_i + 1} + p(n_i, n_o + 1) \mu_{n_o + 1} \end{aligned} \tag{1}$$

그리고 \$0 \leq n_i \leq c_i\$과 \$0 \leq n_o \leq c_o\$의 범위 이외에서는 \$p(n_i, n_o) = 0\$가 된다.

따라서 본 연구에서 제안하는 주파수 분할 재사용에서 대한 호 차단 확률을 구하기 위한 2차원 마

코프(Markov) 모델은 그림 4와 같이 수립될 수 있다. 그리고 정규화 조건(Normalization condition),

$$\sum_{n_i} \sum_{n_o} p(n_i, n_o) = 1 \text{ 과 balance equation을 사용하여}$$

여 steady state probability mass function을 풀 수 있다. 마지막으로 다음과 같은 성능 지표를 구할 수 있다^[10].

1. inner zone에서 발생한 호에 대한 차단 확률, $P_{Bi} = p(c_i, c_o)$.

2. outer zone에서 발생한 호에 대한 차단 확률,

$$P_{Bo} = \sum_{n_i=0}^{c_i} p(n_i, c_o).$$

3. 단말이 사용한 inner, outer 채널의 평균수는

$$\bar{N}_u = E[N_u] = \sum_{n_i} \sum_{n_o} n_u p(n_i, n_o),$$

u=i (inner 채널), o (outer 채널).

4. Inner, outer 채널의 사용률은 $\rho_u = \frac{\bar{N}_u}{c_u}$, u=i

(inner 채널), o (outer 채널).

5. 전체 채널 사용률은 $\rho = \frac{\bar{N}_i + \bar{N}_o}{c}$.

IV. 분석 결과

본 장에서는 앞 장의 분석 모델을 통해 성능 분석을 하였다. Inner zone에서 사용할 수 있는 전체 채널의 개수 C는 18, outer zone에서 사용할 수 있는 채널의 개수 c_o는 6으로 가정하였다. 또한 호의 서비스 율(μ)은 1로 단순화하여 결과 분석에 있어서 파라미터에 의한 영향을 줄였다. 분석에서 셀의 inner zone과 outer zone의 경계를 나타내는 z값은 셀의 최대 반경을 1로 나타냈을 때, 셀 중심에서 셀 반경의 상대적인 거리로 그 값이 0과 같으면 주파수 분할 재사용 시스템은 Three-셀 시스템과 동일하고 z값이 셀의 반경과 같아지는 1이면 시스템은 One-셀 시스템과 동일하게 된다. 그래프에서 ρ, ρ_i, ρ_o는 각각 시스템 전체의 채널 사용률, inner 채널 사용률 그리고 outer 채널 사용률을 나타낸다. 그리고 P, P_i, P_o는 각각 시스템 전체의 호 차단 확률, inner zone의 호 차단 확률 그리고 outer zone의 호 차단 확률을 나타낸다.

그림 5와 그림 6은 z값이 0으로 Three-셀 시스템의 셀 당 offered load에 따른 채널 사용률과 호 차

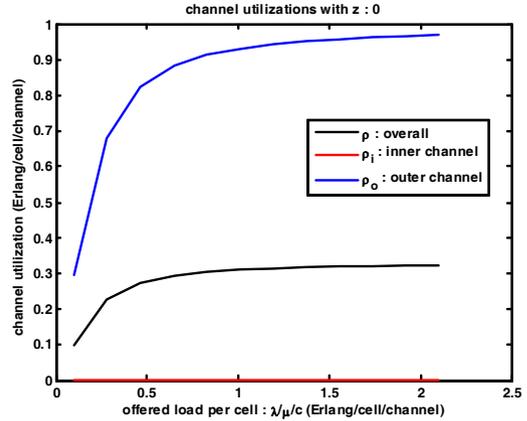


그림 5. 셀 당 offered load에 따른 채널 사용률 (z=0)

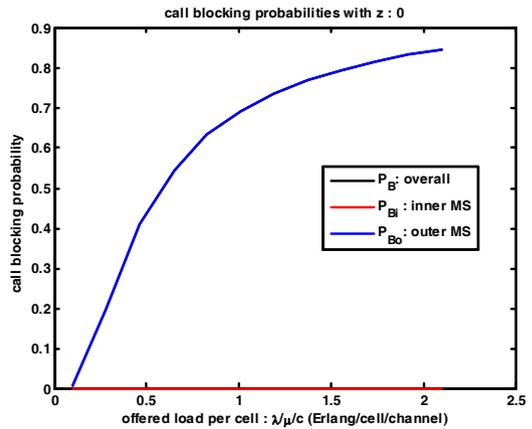


그림 6. 셀 당 offered load에 따른 호 차단 확률 (z=0)

단 확률을 나타낸다. 셀 당 offered load가 증가함에 따라 채널의 사용률과 호 차단 확률이 모두 증가한다. z값이 0으로 inner zone에서 발생하는 호가 거의 없기 때문에 사용되는 채널의 수도 매우 적고 (채널 사용률이 적고) 그만큼 호 차단 확률도 작게 된다. 반면에 outer zone의 경우, 발생하는 호에 비해 사용할 수 있는 채널이 적기 때문에 셀 당 offered load가 증가함에 따라 채널 사용률과 호 차단 확률이 증가한다. 또한 outer 채널의 경우 전체 채널 개수의 1/3을 사용하기 때문에 전체 채널 사용률이 약 33%가 된다. 호 차단의 경우 inner 채널에 대한 호 차단이 없어 전체 호 차단 확률과 outer zone 호 차단 확률이 동일하게 된다.

그림 7과 그림 8은 z값이 1로 One-셀 시스템의 채널 사용률과 호 차단 확률을 나타낸다. 셀 당

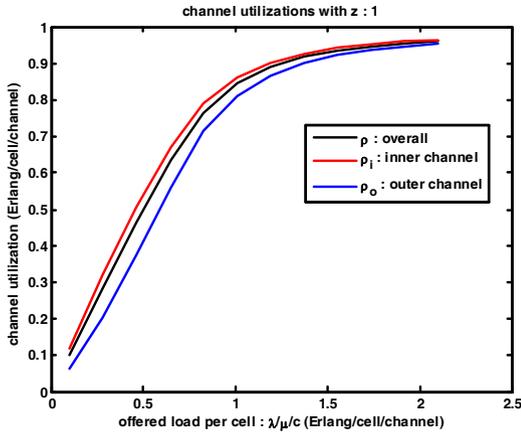


그림 7. 셀 당 offered load에 따른 채널 사용률 (z=1)

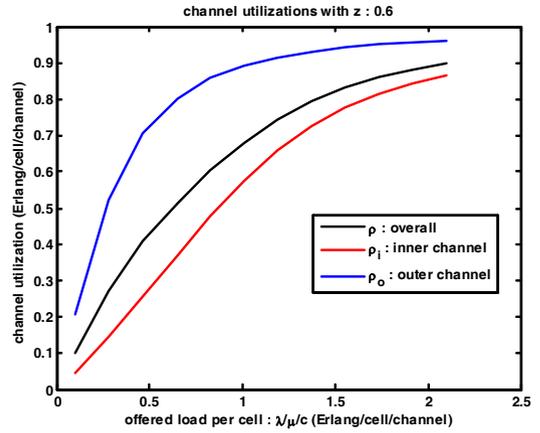


그림 9. 셀 당 offered load에 따른 채널 사용률 (z=0.6)

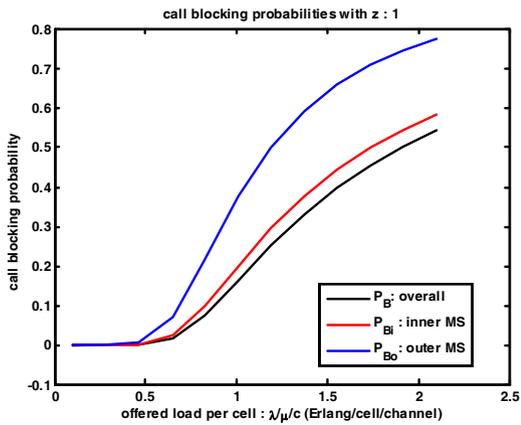


그림 8. 셀 당 offered load에 따른 호 차단 확률 (z=1)

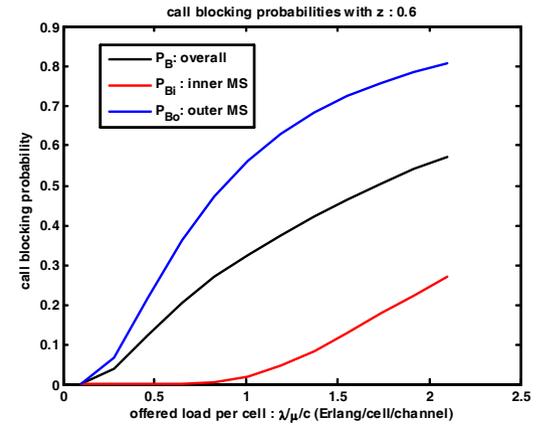


그림 10. 셀 당 offered load에 따른 호 차단 확률 (z=0.6)

offered load가 증가함에 따라 전체, inner, outer 채널 사용률이 증가한다. 그리고 사용률이 증가함에 따라 각각의 호 차단 확률도 증가한다. 그러나 One-셀 시스템과 다르게 inner zone에서 발생하는 호가 대부분이기 때문에 전체 채널의 대부분을 inner zone에 있는 단말이 할당 받게 되고, 실제 outer zone에서 사용된 채널은 없으나 inner 채널은 outer 채널도 포함하기 때문에 outer zone의 호 차단 확률도 증가하게 된다.

그림 9와 그림 10은 z값이 0.6으로 주파수 분할 재사용 기반 시스템의 성능을 나타낸다^[8]. 셀 당 offered load가 증가함에 따라 전체, inner zone, outer zone의 채널 사용률 그리고 각각의 호 차단 확률이 증가한다. 또한 셀 당 offered load가 증가함에 따라 채널의 사용률에서 inner zone 사용률과

outer zone 사용률의 차이가 나타남을 알 수 있다. 특히 호 차단 확률의 경우 inner zone 호 차단 확률과 outer zone 호 차단 확률의 차이가 더 크게 되는데 이것은 시스템에서 inner 채널 사용자와 outer 채널 사용자간의 불균형을 초래하게 된다.

그림 11과 그림 12는 z값이 0에서 1까지 변화할 때, 셀 당 offered load에 따른 전체 채널 사용률과 전체 호 차단 확률 값을 나타낸다. 그림 11의 채널 사용률의 경우, z값이 증가함에 따라 채널의 사용률이 증가하게 되는데 이것은 z값이 커질수록 One-셀 시스템에 가까워져서 셀 내에서 전체 채널을 모두 사용할 수 있기 때문이다. 또한 호 차단 확률의 경우, 그림 12에서 z값이 증가함에 따라 호 차단 확률도 감소함을 알 수 있다.

시스템 설계에서 z값을 통한 동일 채널 간 간섭

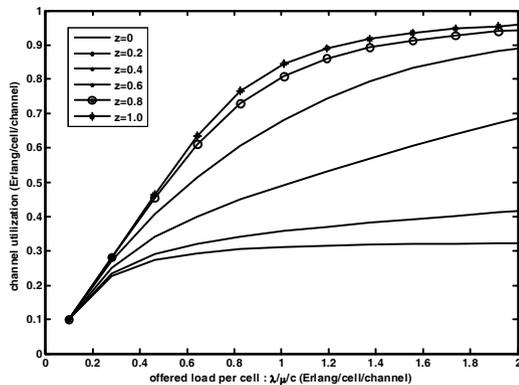


그림 11. z의 변화에 따른 전체 채널 사용률

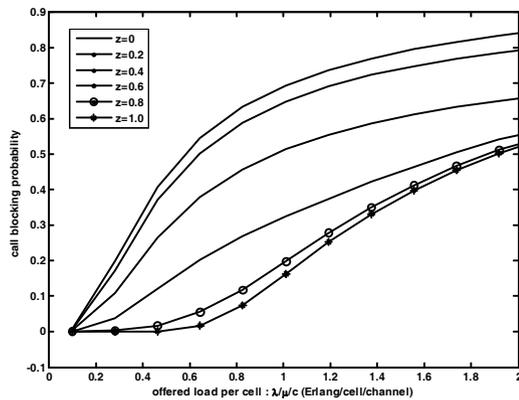


그림 12. z의 변화에 따른 전체 호 차단 확률

을 줄이는 효과가 있지만 그에 따른 inner zone과 outer zone의 채널 사용률과 호 차단 확률의 성능에서 차이가 발생할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 셀룰러 시스템의 성능 향상을 위한 주파수 분할 재사용 기법의 성능을 분석하였다. 기존 논문의 경우 주파수 분할 재사용 기법을 사용하였을 때, signal to interference and noise ratio를 사용하여 outage 분석을 통해 시스템의 성능이 향상되었음을 보였다. 그러나 분석 방법에서 부분적인 채널의 재사용에서 inner 채널을 선택하는 단말과 outer 채널을 선택하는 단말간의 채널 선택 과정은 고려되지 않아 현실적인 분석이 이루어지지 않았다.

따라서 본 논문에서는 주파수 분할 재사용 기반

시스템의 성능 분석에서 채널 선택 과정을 고려하여 성능을 분석하였다. 분석 결과를 통해 inner zone과 outer zone 간의 채널 사용률과 호 차단 확률 차이가 커져 시스템에서 각 zone 간의 불균형이 발생함을 보였다. 본 논문의 결과는 차후 시스템의 outage 분석에 추가되어 더욱 실제적인 시스템의 성능 분석을 가능하게 할 것이다.

참고 문헌

- [1] T. S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1996.
- [2] J. Chuang and N. Sollenberger, "Beyond 3G: Wideband wireless data access based on OFDM and dynamic packet assignment," *IEEE Commun. Mag.*, Vol. 38, No. 7, pp. 78-87, Jul. 2000.
- [3] R. Jayaparvathy, S. Anand, and S. Srikanth, "Performance analysis of dynamic packet assignment in cellular systems with OFDMA," *Proc. Inst. Electr. Eng.—Communications*, Vol. 152, No. 1, pp. 45-52, Feb. 2005.
- [4] M. Einhaus, O. Klein, and M. Lott, "Interference averaging and avoidance in the downlink of an OFDMA system," in *Proc. IEEE Pers., Indoor, Mobile Radio Commun.*, Sep. 2005, Vol. 2, pp. 905-910.
- [5] Ghasemi, E. Sousa, "Distributed intercell coordination through time reuse partitioning in downlink CDMA", in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf.*, Vol. 4, pp. 1992-1997, Mar. 2004.
- [6] C. Tai-Po, S. R. Rappaport, "Overlapping coverage with reuse partitioning in cellular communication systems", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 46, pp. 41-54, Feb. 1997.
- [7] 김정수, "멀티미디어 이동 통신에서 Hybrid Joint 주파수 재사용 구간을 이용한 동일 채널 간섭 억제 및 시스템 전송량 최대화 방법", *한국전자과학회, 한국전자과학회논문지 제18권 제5호*, 2007. 5.
- [8] Eunsung Oh, et al, "Performance Analysis of Reuse-Partitioning-Based Subchannelized OFDMA Uplink Systems in Multicell Environments" *IEEE TRANSACTIONS ON VEHICULAR*

