

도심 MICROCELL의 CDMA 시스템 용량에 대한 기지국 배치 효과

정회원 민 승 욱*, 종신회원 최 진 규**

Effect of Cell Shape on Design of CDMA Systems for Urban Microcells

Seungwook Min* *Regular Member*, Gin-Kyu Choi** *Lifelong Member*

요 약

도심에서와 같이 주변 빌딩보다 낮은 높이의 안테나를 가진 낮은 출력의 기지국의 배치는 전파특성의 주변 환경에 대한 의존성을 높인다. 결과적으로 도심에서의 전파는 방향성을 가지며, 이는 기존의 셀룰러 시스템에서 사용된 원형 기지국 환경에 대한 가정이 더 이상 유효하지 않음을 의미한다. 원형 기지국 환경에 대한 가정은 시스템 설계를 보수적으로 하여 더 많은 기지국을 필요로 하게 된다. 이 연구는 비등방형 전파모델에 의한 기지국 배치가 시스템 용량에 끼치는 영향을 조사한다. 직교형 거리를 가진 지형에서 안테나 높이가 낮은 기지국에 대한 측정 데이터에 의한 전파모델이 서술되고 소프트 핸드오프에 대하여 분석이 이루어진다.

Key Words : Cell Planing, Microcells, CDMA System Design, System Capacity, Handoff, Non-isotropic Propagation Model, Cell Shape Factor

ABSTRACT

Placing antennas of low power base stations below surrounding buildings, as in urban microcells, makes propagation characteristics strongly dependent on the building environment. As a result, propagation in these urban microcells is non-isotropic, so that the assumption of circular cells used in planning of conventional cellular systems is no longer valid. Assuming circular cells leads to a more conservative system design, implying more base stations. This work investigates the effect of cell shape, due to non-isotropic propagation, on the out-of-cell interference and Erlang capacity of CDMA system. Propagation is described by measurement derived models for low antennas in a rectangular urban street grid. The analysis is done for soft handoff protocols.

I. 서 론

이동 가입자에 대한 서비스 요구의 증대로 인하여, 도시의 이동 통신 시스템은 용량 증대를 위하여 기지국 반경 (base station coverage 혹은 cell coverage)을 줄여왔다. 기지국 반경을 줄이는 방법

중의 하나가 안테나의 높이를 낮추는 것이다. 이런 경우, 전파의 전송은 제한되어, 빌딩 높이와 위치에 대한 영향을 받게 된다. CDMA (code division multiple access) 시스템의 용량은 기지국 내부 간섭 (in-cell interference)과 기지국 외부간섭 (out-of-cell interference)의 영향을 받으며, 이러한 간섭들은 주

※ 본 연구는 2006학년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 수행되었습니다.

* 상명대학교 소프트웨어대학 소프트웨어학부 (swmin@smu.ac.kr)

** 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 전자공학 전공 (gkchoi@hongik.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-10-442, 접수일자 : 2006년 10월 19일, 최종논문접수일자 : 2007년 1월 30일

변 환경에 따른 전파 특성에 좌우 된다^{[14][7]}.

CDMA 시스템의 설계는 등방형 전파모델을 사용하여왔고, 이는 기지국으로부터 방사형으로 같은 전파특성을 갖는다^{[2][4][9]}. 도시의 경우 직각 격자형 거리와 빌딩들로 이루어진 환경에 대하여 전파특정이 이루어졌고, 낮은 안테나 높이를 가진 기지국의 경우 전파의 감쇄특성은 거리 방향에 크게 의존한다^{[11][10][16]}. 특히, 전파 감쇄는 이동국 (mobile station)의 위치에 따라 즉, 기지국에 대하여 가지거리 (line of sight; LOS), 인접거리 경로 (lateral), 혹은 비가지거리 (non-line-of-sight; NLOS) 등의 위치에 따라 다르게 나타난다. 이전의 연구들^{[5][8]}에서와 같이 전파 전달의 특성을 등방형으로 모델링을 하면 표준편차가 2dB 이상 증가함을 보여준다^[14]. 표준편차가 클수록 시스템 설계시에 기지국 외부 간섭이 크게 예측되고, 이는 같은 트래픽 용량에 대하여 더 보수적인 설계를 하게된다. 반면에 정확한 전파모델의 사용은 기지국 외부간섭 평가시에 모델링에 의한 오차를 줄이고 효율적인 시스템 설계를 가능하게 한다.

전파예측 정확성과 시스템 설계의 관계를 정량적으로 보여주기 위하여, 주거지역에서의 2차원 기지국 반경을 가지는 비등방형의 전파모델을 고려한다. 이러한 경우, 기지국 커버리지 관점에서 전파전달은 기지국과 이동 단말의 상대적인 위치에 대하여 빌딩블록의 영향을 크게 받는다^{[13][14]}. 기지국의 배치에 따른 커버리지를 나타내는 모양을 셀 모양 (cell shape) 이라 하자. 등방형 전파모델의 경우는 셀 모양이 원형이며, 이를 겹치는 구간 없는 셀 배치 (tessellation)를 위해서는 정육각형이 이용되고 있다. 한편, 셀 모양은 이동 단말의 등록에 의해서 정의될 수 있고, 이때 셀 모양은 기지국의 배치와 관련이 있다. 본 논문에서는 기지국의 배치가 이동 단말의 등록에 의한 셀 모양에 어떤 영향을 끼치며, 이는 시스템 용량에 대한 어떤 효과를 나타내는지를 조사한다.

II. 경로감쇄 모델과 도심 소형기지국

주거 지역의 마이크로 셀은 그림 1에서와 같이 도시들에서 공통적으로 나타나는 평탄한 지면과 격자 모양의 거리로 구성된다. 거리를 나타내는 공간 격자거리 $2D$ 와 $2d$ 는 각각 수평거리와 수직거리를 나타낸다. 빌딩들은 그림 1에서와 같이 수평 길이와 수직 길이 B_h 와 B_v , 로 점유되고 있다.

참고문헌 [13]과 [14]는 측정 데이터로부터 구한 이동 단말에 대한 경로감쇄가 이동 단말의 위치에 따라 다른 형태로 분리될 수 있음을 보여주고 각각의 경로 감쇄 모델 형태들은 다음과 같다 : LOS-near와 LOS-far (기지국과 단말이 가지거리에 있고 임계거리인 R_b 를 사이로 안과 밖으로 구분) Lateral Route (LR) (LOS 구간과 수직되는 양쪽 첫번째 거리에 있는 지역) 그리고 NLOS (LOS와 LR을 제외한 전 지역).

그림 1에서 나타내는 바와 같이, 이동 단말은 등록 기지국에 대하여 한 가지 감쇄 모델의 전파 경로에 해당하고, 기준기 지국에 대하여는 다른 전파 경로가 적용될 수 있다. 그림1에서 이동 단말 X_1 과 X_2 가 중앙에 위치한 기지국에 등록되었다고 가정하면, X_1 에 대한 전파 전달 형태는 등록 기지국에 대하여 LOS (near-in)이고, 기준 기지국에 대하여는 NLOS 이다. X_2 에 대하여는 등록 기지국에 대하여 LR이고, 기준 기지국에 대하여는 NLOS이다.

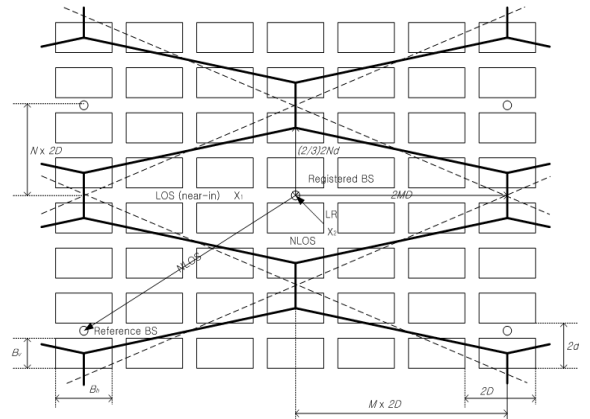


그림 1. 등록기지국과 기준기지국에 대한 전파전달 형태와 M과 N으로 정의되는 개념적 셀모양

각각의 경로감쇄에 대한 공식은 다음과 같이 표현된다.

$$P_L(r) = A + 10n \log_{10} r \quad (1)$$

이때 A 는 거리 $r = 1$ m에서의 수신전력, r 은 송수신기 사이의 거리, n 은 거리에 따른 감쇄 기울기 (slope index) 이다. A 와 n 값은 참고문헌 [13] - [15]에 보고되어있고 각 전파전달 형태에 따라 다른 값을 갖는다. 이러한 값들은, 혼합된 빌딩 높이를 가진 환경에서 단말기의 높이 $h_m = 1.6$ m 일때 구한 오를랜드에서 얻어진 표1에서 보여지는 바와

같이, 주파수 f_M (MHz), 기지국 안테나 높이 h_b (meters), 빌딩의 높이 h_{bd} (meters) 등에 의해 결정된다^[14]. LOS 지역도 $R_b = 4h_b h_m / l$ 로 표현되는 임계거리에 따라 2개의 지역 near-in LOS 와 far-out LOS로 나뉜다. 또한, 기지국 안테나 높이와 빌딩 높이의 차 $Dh = h_b - h_{bd}$ 는 빌딩에 대한 기지국 안테나의 상대적인 값이다. 논문에서 사용된 수치를 예를 들면, $f_M = 1800$ MHz, $2d = 100$ m, $2D = 200$ m, $h_b = 8$ m, $h_{bd} = 10$ m 와 $h_m = 1.6$ m로 가정하고, 이때 임계거리는 $R_b = 307.2$ m이다. 또한, 거리의 폭은 20 m 이고 빌딩블록은 직사각형으로 가로 $B_h = 180$ m, 세로 $B_v = 80$ m로 가정한다.

표 1. 다양한 전파전달 경로에 따른 변수 A 와 $10n$

Propagation Type	A	$10n$
LOS (near-in)	$39.401 \log_{10} f_M + 17.101 \log_{10} h_b - 84.46$	$15.80 - 5.761 \log_{10} h_b$
LCS (far-out)	$45.701 \log_{10} f_M + (25.34 - 13.9 \log_{10} R_b) \log_{10} h_b - (88.72 + 32.101 \log_{10} R_b)$	$32.10 + 13.901 \log_{10} h_b$
Lateral Route	$-110.72 + 42.131 \log_{10} f_M + (8.43 - 1.67 \log_{10} f_M) \text{sgn}(\Delta h) \log_{10}(1 + \Delta h)$	$33.67 - 2.81 \text{sgn}(\Delta h) \log_{10}(1 + \Delta h)$
Non-LOS	$-99.78 + 37.27 \log_{10} f_M + (10.70 - 2.201 \log_{10} f_M) \text{sgn}(\Delta h) \log_{10}(1 + \Delta h)$	$36.89 - 3.57 \text{sgn}(\Delta h) \log_{10}(1 + \Delta h)$

이때, h_b 는 기지국 안테나 높이이고, h_{bd} 는 평균 빌딩 높이이다. $Dh = h_b - h_{bd}$,

$$\text{sgn}(\Delta h) = \begin{cases} -1 & \Delta h < 0 \\ 1 & \Delta h \geq 0 \end{cases}$$

표 1에 정리된 결과를 사용할 때, 모든 기지국은 빌딩블록 중간에 위치하는 것으로 가정 한다 (그림 1참조). 기지국에 대한 단말기의 등록은 경로감쇄에 근거하기 때문에, 기지국간 거리가 중요하나 특정한 셀 모양의 선택에 영향을 받지 않는다. 그래서 그림 1에서 점선으로 표시한 것과 같은 다이아몬드 셀 모양이 될 수 있거나 직선으로 표시한 납작한 육각형으로 모델링할 수 있다. 기지국 간의 거리를 유지하기 위하여 셀 모양은 다이아몬드 셀 모양으로 $M \times N$ 으로 표현하고, 이때 M 과 N 은 인접 기지국 까지의 수평 및 수직 빌딩블록의 수이다. 기지국 외부 간섭과 기지국용량에 대한 기지국간의 간격의 영향을 조사하기 위하여, 기지국의 수평거리 단위 M 과 수직거리 단위 N 을 변화시킴으로서 다이아몬드 셀 모양을 변화시킬 수 있다. $MN=6$ 인 경우에, 네 가지 종류의 모양이 존재할 수 있다. $M \times N = 1 \times 6$; 2×3 ; 3×2 ; 과 6×1 . 어떤 모양에 대해서도, 기지국의

면적은 다이아몬드 $8MN Dd$, 여기서 D 와 d 는 그림 1에서 정의된다.

III. OUT-OF-CELL INTERFERENCE의 계산

Shadow fading은 다른 경로를 통하여 기지국 외부 간섭에 강한 영향을 끼친다. 예를 들면, 이동 단말이 전력제어를 위하여 연결된 기지국에 영향을 줄 수 있다. 어떤 단말 위치에서, M_k 를 k 번째 기지국에 대한 식 (1)에 의해 결정되는 평균 경로 감쇄라고 하고, x_k 를 shadow fading이라 하자. 이때, 표준편차는 dB 로 s (모의실험에서는 8 dB로 가정)를 갖는 정규분포로 가정한다. 소프트 핸드오프 프로토콜에서, 이동 단말은 최소 경로 감쇄를 갖는 소프트 핸드오프에 참여하는 N_c 개의 기지국에 동시에 연결될 수 있다.

Shadow fading은 또한 이동 단말이 등록되는 기지국에 의한 전력제어를 통하여 기지국 외부 간섭에 영향을 준다. 전력제어는 등록된 기지국에 대한 shadow fading을 보상하기 위하여 이루어지며, 이는 기준 기지국에 대한 shadow fading이 전력제어를 하는 기지국에 완전한 상관성을 갖지 (perfectly correlated) 않는다면 다른 기지국에 대한 간섭을 높이거나 낮출 수 있다. 본 연구에서는 이동 단말로부터 기지국들 간의 shadow fading은 참고문헌 [7]에서 논의된 바와 같은 부분적으로 상관성을 가지는 상관계수 (correlation coefficient) C 를 갖는 것으로 가정하고, 그 값은 일반적으로 통용되는 $C = 1/2$ 로 한다. 다중 경로 fading은 Rake 수신기의 사용과 interleaving 등을 통하여 부분적으로 약화될 수 있다^[6].

이동단말을 전력제어를 하는 기지국을 제외한 모든 기지국에 간섭을 준다. 결과적으로 기지국 외부 간섭은 아래 b.3에서 논의되는 바와 같이 신호수준이 이동단말이 소프트 핸드오프를 하도록 하는데 요구되는 다른 조건을 만족시키는지 여부에 관계없다. 다음에서는 소프트 핸드오프에 참여하는 기지국의 수가 $N_c=2, 3$ 인 경우의 시스템에 대하여 고려한다.

소프트 핸드오프에 참여하는 기지국의 구별은 $N_c=2$ 인 경우에 그림 2에서 보는 바와 같다. 유사한 방법으로 $N_c = 3$ 에 대해서도 구할 수 있다. 그림 2에서 기준기지국에 대한 평균 경로 감쇄가 최소인 지점들을 기호 '+'를 표시하고, 두번째로 작은 경로

감쇄를 갖는 지점들을 'x'로 표시하였다. 특정 기지국에 대하여 평균 경로 감쇄가 최소인 지점들의 집합을 셀 (cell)이라 하자. 기준기지국에서 기지국 외 부간섭을 계산할 때, 두 종류의 간섭을 생각할 수 있다. 하나는 \$S_0\$로 표시되는 지역에 있으나 인접한 기지국의 전력제어를 받는 부분으로부터 오는 간섭이다. 다른 하나는 \$S_0\$ 밖의 지역이고 다른 기지국의 전력제어를 받는 단말들로부터 오는 간섭이다. 이를 각각 \$I_{S_0}\$ 와 \$I_{\bar{S}_0}\$로 한다.

3.1 두 개의 기지국이 소프트 핸드오프에 참여하는 경우 (\$N_c = 2\$)

식 (1)에서와 같이 \$k\$번째 기지국으로부터 단말까지의 평균 경로 감쇄를 \$M_k\$ 라 하면, shadow fading을 포함한 경로 감쇄는 \$P_L = M_k + \xi_k\$로 표시되고, 이를 선형식으로 표시하면

$$P_L(r_k) = 10^{(A_k + \xi_k)/10} r_k^{-n_k} \quad (2)$$

다른 기지국에 대한 간섭은

$$I(r_o, r_m) = \left(\frac{10^{(A_k - A_o)/10}}{r_o^{n_o}} \right) \left(\frac{r_m^{n_m}}{10^{(A_k - A_o)/10} S} \right) = 10^{(A_k - A_o)/10} 10^{(A_o - A_k)/10} \frac{r_m^{n_m}}{r_o^{n_o}} S \quad (3)$$

이때, \$S\$는 완전한 전력제어하에서 하나의 단말로부터 수신된 전력이다.

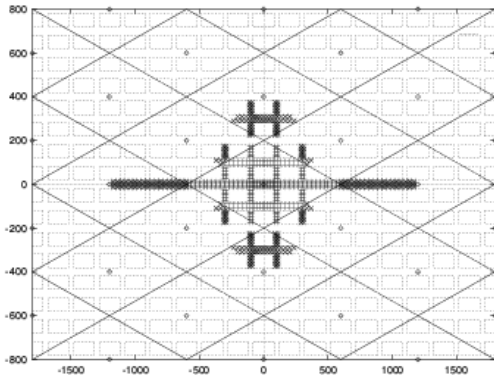


그림 2. 소프트 핸드오프 \$N_c = 2\$에 대한 기준기지국 영역 \$S_0\$

그림 2에서 기준 기지국 영역 \$S_0\$ 내에 위치한 평균 경로 감쇄 \$M_k\$로 정의되는 단말은 기준 기지국에 대한 경로감쇄 \$M_o + x_o\$ 가 소프트 핸드오프에 참여하는 인접 기지국에 대한 경로 감쇄 \$M_k + x_k\$ 보다 클 경우 기지국 외부 간섭을 일으킬 수 있다. 이러한 경우

기준 기지국에 대한 간섭은 다음 식과 같다.

$$I_{S_0} = \iint_{S_0} E[I(r_k, r_o); M_o + \xi_o > M_k + \xi_k] k \Delta x \Delta y \quad (4)$$

식 (2)에서 적분을 모의실험을 위한 미세영역 \$Dx_i Dy_i\$에 대한 합으로 변환하면

$$I_{S_0} = \sum_{(x_i, y_i) \in S_0} \left(10^{(A_k - A_o)/10} \frac{r_o^{n_o}}{r_k^{n_k}} S \right) E[10^{(\xi_k - \xi_o)/10}; M_o + \xi_o > M_k + \xi_k] k \Delta x_i \Delta y_j \quad (5)$$

여기서 \$k\$는 사용자 밀도 (=users in a cell/area of cell), \$E[\cdot]\$는 단말이 인접기지국의 전력제어를 받을 때, 즉 \$M_o + \xi_o > M_k + \xi_k\$ 혹은 \$\xi_k - \xi_o < M_o - M_k\$ 일때 shadow loss 항에 대한 조건부 기대값이다.

\$x_k\$ 와 \$x_o\$는 부분적으로 상관성이 있는 평균 0과 표준편차 \$s\$ 를 갖는 정규분포이므로 새로운 변수 \$z\$는 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$\zeta = (\xi_k - \xi_o) / b \quad (6)$$

이때, \$b = \sqrt{1-C}\$ 이고 \$z\$는 평균 0과 표준편차 \$\sqrt{2\sigma}\$인 정규분포를 갖는다.

수학적 과정을 거쳐 조건부 기대값은

$$E[10^{(\xi_k - \xi_o)/10}; \xi_k - \xi_o < M_o - M_k] = \int_{-\infty}^{(M_o - M_k)/b} e^{b\beta\zeta} \frac{e^{-\zeta^2/4\sigma^2}}{\sqrt{4\pi\sigma}} d\zeta = e^{\beta^2(\beta\sigma)^2} Q\left[\sqrt{2}b\beta\sigma + \frac{M_k - M_o}{\sqrt{2}b\sigma}\right] \quad (7)$$

여기서, \$\beta = (\ln 10)/10\$. 식 (7)에서

$$Q(u) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^u e^{-v^2/2} dv \quad (8)$$

식 (5)와 식 (7)로부터, 영역 \$S_0\$으로부터 기인한 기지국 외부간섭은 다음과 같이 표현된다.

$$I_{S_0} = e^{\beta^2(\beta\sigma)^2} \sum_{(x_i, y_i) \in S_0} \left(10^{(A_k - A_o)/10} \frac{r_o^{n_o}}{r_k^{n_k}} S \right) Q\left[\sqrt{2}b\beta\sigma + \frac{M_k - M_o}{\sqrt{2}b\sigma}\right] k \Delta x_i \Delta y_j \quad (9)$$

추가적인 간섭은 \$S_0\$ 밖의 영역에서 발생한다. 기지국 \$k\$에 대한 경로감쇄가 기지국 \$m\$에 대한 경로감쇄 보다 작은 경우를 가정하자. 기준기지국 밖에 있는 단말들로부터 오는 기지국 외부간섭 \$I_{\bar{S}_0}\$는 기지국 \$k\$에 대한 경로감쇄가 기지국 \$m\$보다 작은

경우인 $M_k + \xi_k < M_m + \xi_m$ 일 때, 즉 기지국 k 의 전력제어를 받는 경우를 나타내는 I_k 와 $M_m + \xi_m < M_k + \xi_k$ 라서 기지국 m 의 전력제어를 받는 경우인 I_m 으로 구성된다.

$$I_k + I_m = \sum_{(x_i, y_j) \in (S_k \cup S_m)} E[I(r_i, r_0); M_k + \xi_k < M_m + \xi_m] \kappa \Delta x_i \Delta y_j + \sum_{(x_i, y_j) \in (S_k \cup S_m)} E[I(r_m, r_0); M_k + \xi_k > M_m + \xi_m] \kappa \Delta x_i \Delta y_j \quad (10)$$

식 (10)의 조건부 기대값은 식 (7)을 구할 때의 과정을 거쳐서 다음과 같이 얻어진다.

$$I_k = e^{\beta^2 (\beta \sigma)^2} \sum_{(x_i, y_j) \in (S_k \cup S_m)} \left(10^{(A_s - A_k) / 10} \frac{r_{k,s}^{\alpha_s}}{r_{k,o}^{\alpha_s}} S \right) Q \left[\frac{b\beta\sigma}{\sqrt{2}} + \frac{M_k - M_m}{\sqrt{2}b\sigma} \right] \kappa \Delta x_i \Delta y_j \quad (11)$$

$$I_m = e^{\beta^2 (\beta \sigma)^2} \sum_{(x_i, y_j) \in (S_k \cup S_m)} \left(10^{(A_s - A_m) / 10} \frac{r_{m,s}^{\alpha_s}}{r_{m,o}^{\alpha_s}} S \right) Q \left[\frac{b\beta\sigma}{\sqrt{2}} + \frac{M_m - M_k}{\sqrt{2}b\sigma} \right] \kappa \Delta x_i \Delta y_j \quad (12)$$

식 (9), (11) 과 (12)로부터, $N_c=2$ 인 경우 기지국 내부 간섭에 대한 기지국 외부 간섭의 전력 비율인 f 는 다음과 같다.

$$f = \frac{I_{S_0} + \sum_{\substack{k=0 \\ m=0}} (I_k + I_m)}{S_{k_u}} \quad (13)$$

3.2 세 개이상의 기지국이 소프트 핸드오프에 참여하는 경우 $N_c \geq 3$

앞서의 $N_c=2$ 의 경우를 일반화시키면, $N_c \geq 3$ 인 경우에 대하여 기지국 외부간섭을 구할 수 있다. S_o 내에 위치한 단말들은 정의에 의해 기준 기지국 혹은 인접 기지국 중에 하나의 기지국에 의해서 전력제어를 받을 수 있다. S_o 밖의 단말들은 기준 기지국이 아닌 기지국에 의해 전력제어를 받는다. 아래첨자 o 는 기준 기지국을 나타내고 아래첨자 k 는 전력제어를 담당하는 기지국을 나타내기로 하자. 그러면 S_o 내의 단말들은 $M_k + \xi_k < M_o + \xi_o$ 즉, $M_k + \xi_k$ 가 소프트핸드오프에 참여하는 인접 기지국 중에서

최소인 $M_k + \xi_k < \text{Min}_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{N_c-1} (M_j + \xi_j)$ 일 때 인접기지국의 전력제어를 받는다. 따라서, S_o 내에서 발생하는 간섭은 식 (8)에서와 같은 방법으로 다음과 같이 표현된다.

$$I_{S_k} = e^{\beta^2 (\beta \sigma)^2} \left[\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^{N_c-1} \left(10^{(A_s - A_j) / 10} \frac{r_{j,s}^{\alpha_s}}{r_{j,o}^{\alpha_s}} S \right) \int_{-\infty}^{\frac{M_k - M_j}{b\sigma}} Q \left(z + \frac{M_k - M_j}{b\sigma} + 2b\beta\sigma \right) \prod_{j=1}^{N_c-1} Q \left(z + \frac{M_k - M_j}{b\sigma} + 2b\beta\sigma \right) dz \kappa \Delta x_i \Delta y_j \right] \quad (14)$$

$$I_{S_0} = e^{\beta^2 (\beta \sigma)^2} \left[\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq 0}}^{N_c-1} \left(10^{(A_s - A_j) / 10} \frac{r_{j,s}^{\alpha_s}}{r_{j,o}^{\alpha_s}} S \right) Q \left(z + \frac{M_0 - M_j}{b\sigma} + b\beta\sigma \right) dz \kappa \Delta x_i \Delta y_j \right] \quad (15)$$

식 (14)과 (15)로부터, $N_c \geq 3$ 인 경우에 기지국 내부 간섭에 대한 기지국 외부간섭의 전력비율 f 는 다음과 같다.

$$f = \frac{I_{S_0} + I_{S_k}}{S_{k_u}} \quad (16)$$

IV. 모의실험 결과

4.1 f 에 대한 셀 모양의 효과

여기에서 기지국 면적 $2dDMN$ 에 대하여 최적의 셀 모양이 존재하는지 조사하고, 셀모양과 면적은 f 에 어떤 영향을 끼치는지 조사한다. 식 (3), (14)-(16)을 이용하여, 평균 간섭비율은 수치적으로 $M \times N=10 \times 10$ 까지 계산된다. 계산결과는 표 2에 정리되어있다.

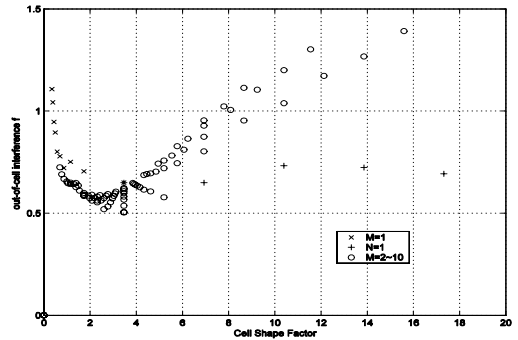


그림 3. 소프트핸드오프 $N_c=2$ 에 대한 셀모양지수(cell shape factor)와 기지국 외부간섭비율 f

표 2. 소프트핸드오프 ($N_c=2$)일 때 다양한 기지국 형태에 따른 기지국 외부간섭 비율 f

M/N	M=1	M=2	M=3	M=4	M=5	M=6	M=7	M=8	M=9	M=10
N=1	1.1009	0.6492	0.7323	0.7236	0.6921	0.7396	0.7815	0.8105	0.8565	0.9033
N=2	0.7051	0.5052	0.5775	0.8025	0.9535	1.0383	1.1721	1.2670	1.3914	1.5251
N=3	0.7510	0.5617	0.5031	0.6062	0.7443	0.8737	1.0051	1.1040	1.1998	1.3018
N=4	0.7209	0.5987	0.5194	0.5360	0.6148	0.7198	0.8104	0.9282	1.0224	1.1134
N=5	0.7783	0.6478	0.5612	0.5323	0.5662	0.6268	0.7033	0.7819	0.8641	0.9542
N=6	0.8008	0.6492	0.5672	0.5528	0.5528	0.5810	0.6348	0.6945	0.7573	0.8277
N=7	0.8949	0.6545	0.6351	0.5738	0.5616	0.5719	0.5982	0.6386	0.6913	0.7422
N=8	0.9461	0.6675	0.6426	0.5839	0.5742	0.5729	0.5843	0.6075	0.6432	0.6860
N=9	1.0420	0.6900	0.6426	0.6101	0.5858	0.5806	0.5854	0.5964	0.6169	0.6474
N=10	1.1074	0.7244	0.6462	0.6273	0.5905	0.5898	0.5883	0.5931	0.6051	0.6224

모든 기지국 면적에 대하여 같은 셀 모양을 구별하기 위하여 셀 모양 지수 (cell shape factor)를 정의한다. 정육각형에서, 경계에서 꼭지점 간의 거리는 중앙에서 꼭지점 까지의 거리와 같다. 그림1에서 그려진 육각형과 같이 수직면의 거리를 중앙에서 그 위의 꼭지점 까지의 거리로 놓는다. 결과적으로, 수직거리는 $2Nd$ 의 $2/3$ 이다. 이러한 조건에서 셀 모양 지수 (cell shape factor)는 다음과 같이 정의된다.

$$CSF = \frac{MD}{(2/3)Nd} \left(\frac{2}{\sqrt{3}} \right) = \sqrt{3} \left(\frac{MD}{Nd} \right) \quad (17)$$

상수 $(2/\sqrt{3})$ 는 정육각형의 셀 모양 지수를 $CSF=1$ 로 만들기 위한 숫자이다. CSF 는 기지국 면적과 관계없는 셀 모양에 대한 대표값이다. 셀 모양과 기지국 외부간섭 비율 f 사이의 관계를 규명하기 위하여, 표2에서 구한 기지국 외부간섭 비율은 그림3에 다양한 M, N 에 대하여 점으로 표시된다.

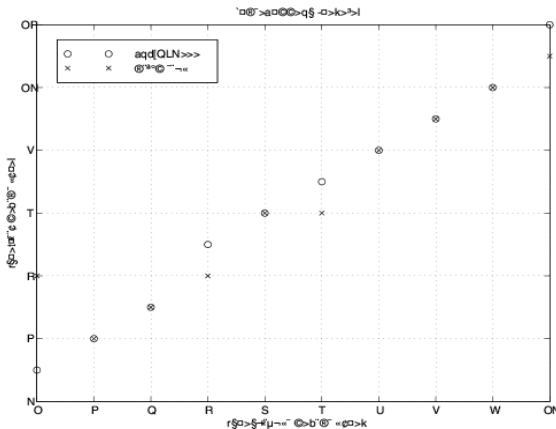


그림 4. 모의실험 결과와 셀모양지수 예측값의 최적 셀모양 비교

그림3에서 보는 바와 같이, f 는 셀 모양에 의존한다. 기지국 외부간섭 비율 f 가 최소값을 갖는 최적의 셀 모양이 존재한다. 최적의 셀 모양 지수를 3이라하면, 주어진 수평 거리 지수 M 에 대하여 가장 작은 f 를 갖는 N 의 값을 구할 수 있다. 그림4에 보이는 비교에서, 셀 모양에서 LOS 경로가 지배하는 $N=1$ 인 경우를 제외하고, N 은 M 혹은 $M+1$. 결과적으로, 기지국 외부 간섭은 셀 모양 지수에 의존하고 기지국 면적에 비례하는 MN 에는 거의 무관하다. 예외적으로 $N=1$ 에 대하여, 기지국 외부 간섭은 셀

모양과 기지국 면적에 무관하다. 그림3에서 $N_c=2$ 인 경우의 소프트 핸드오프 프로토콜은 셀 모양의 선택에 영향을 주지 않는다.

4.2 시스템 용량

기지국 외부간섭은 시스템 용량에 영향을 끼치기 때문에 중요하다. 셀 모양과 시스템 용량에 대한 관계를 연구하기 위하여 참고문헌 [8]에서 도입된 Erlang 용량을 사용한다. 이 공식은 표현에서 $(1 + f)$ 를 통해서 간섭 비율과 관계있다.

$$\lambda/\mu = \frac{(W/R)(1-\eta)F(B,\nu)}{(E_b/I_o)_{median}(1+f)\gamma} \quad (18)$$

여기에서, W/R 은 각 사용자의 부호율에 대한 대역폭 비율이고, h 는 허용할 수 있는 최대 간섭에 대한 잡음전력의 비율이고, E_b/I_o 는 간섭에 대한 비트 전력의 비율이고, g 는 음성 활성화 지수(voice activity factor)이다. 함수 $F(B,n)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$F(B,\nu) = \exp[-(\beta\nu)^2/2] \left\{ 1 + (B/2)\exp[3(\beta\nu)^2/2] \left(-\sqrt{1+4\exp[-3(\beta\nu)^2/2]/B} \right) \right\} \quad (19)$$

이때, $b = (\ln 10)/10$, n 는 불완전한 전력제어에 기인한 전력제어된 신호의 표준편차이고, B 는 다음과 같이 정의된다.

$$B = \frac{(E_b/I_o)_{median} [Q^{-1}(P_{block})]^2}{(W/R)(1-\eta)} \quad (20)$$

$Q^{-1}(\cdot)$ 는 식 (8)에서 정의된 함수의 역함수이고, P_{block} 는 통화시도가 거부되는 확률이다. 계산을 위하여 $W = 1.25$ MHz, 비트율 $R = 9600$ bps, 잡음전력 비율 $h = 0.1$, $(E_b/I_o)_{median} = 10^{0.7}$ (7 dB), 그리고 $g = 0.4$ ^[8]. 또한, 전력제어의 표준편차 $n = 10^{0.25}$ (2.5 dB), $P_{block} = 0.01$ 로 가정한다^[8].

표 3은 다른 기지국 면적과 셀 모양에 대한 기지국 용량을 보여준다. 기지국 용량은 기지국 외부 간섭 비율에 역비례하기 때문에 셀 모양 즉, 셀 모양 지수(CSF)에 의해 영향받고 기지국 면적에는 민감하지 않다. 표3으로부터 $N_c = 2$ 인 소프트 핸드오프 경우에 최대 용량은 16 Erlang/cell이다.

더 간단한 등방형 모델에 비하여 표 1의 비등방형 모델을 이용하여 얻어진 시스템 용량의 비교는

표 3. 소프트핸드오프 ($N_c=2$)일 때 다양한 기지국 형태에 따른 시스템 용량 (Erlang)

MM	M=1	M=2	M=3	M=4	M=5	M=6	M=7	M=8	M=9	M=10
N=1	12.57	16.01	15.24	15.32	15.60	15.17	14.82	14.58	14.22	13.87
N=2	15.48	17.54	16.73	14.65	13.51	12.95	12.15	11.65	11.04	10.46
N=3	15.08	16.90	17.56	16.43	15.13	14.09	13.17	12.55	12.00	11.47
N=4	15.34	16.51	17.37	17.19	16.35	15.35	14.58	13.69	13.05	12.49
N=5	14.84	16.02	16.91	17.23	16.85	16.23	15.50	14.81	14.16	13.51
N=6	14.66	16.01	16.63	17.00	17.00	16.70	16.15	15.58	15.02	14.44
N=7	13.93	15.95	16.14	16.77	16.90	16.79	16.52	16.11	15.61	15.15
N=8	13.57	15.83	16.07	16.67	16.77	16.78	16.66	16.42	16.06	15.66
N=9	12.93	15.62	16.07	16.39	16.65	16.70	16.65	16.54	16.33	16.02
N=10	12.53	15.31	16.04	16.22	16.60	16.60	16.62	16.57	16.45	16.27

식 (1)의 형태인 단일 거리의존성을 갖는 측정이 표 1의 비등방형 모델에 대한 차이에 대한 오차의 표준편차 s_M 가 5 - 6 dB 정도의 오차를 가진다는 점이다^{[14],[16]}. 등방형과 비등방형 모델의 차이는 기지국이 위치하는 거리 상의 LOS (line of sight) 조건에 의해서 강하게 영향을 받아서, 차이의 분포가 대칭적이지 않고 정규분포를 갖지 않는다. 그럼에도 불구하고, 등방형 모델로부터 구한 shadow fading을 포함하는 실제 국부적 평균경로감쇄는 비등방형보다 몇 dB 정도 큰 표준편차를 가질 것이다.

V. 결론

마이크로 셀룰러 환경에서 CDMA 시스템의 기지국 외부간섭 비율과 시스템 용량에 대한 셀 모양의 효과를 조사하였다. 이 연구는 측정에 기반을 둔 비등방형 경로감쇄 모델에 기반을 두고 있다. 소프트 핸드오프에 대한 기지국 외부간섭 비율의 분석이 수행되어졌다. 기지국 외부간섭 비율 f 는 LOS가 주된 기지국의 배치를 제외하고는 셀 모양에 의존하고 기지국의 커버리지 혹은 크기에는 거의 무관한 것으로 밝혀졌다. 이러한 분석에 근거하여 최적의 셀모양지수 3은 가장 낮은 f 를 갖는 셀 모양으로 찾아졌다. 기지국 외부간섭은 시스템 용량에 역비례하여 낮은 값의 f 를 갖는 셀모양의 선택은 큰 시스템 용량을 갖게 된다. 비등방형 모델에 비하여 등방형 모델은 측정에 비하여 예측 값의 표준편차를 증가시키는 오차를 가지고 있다. 그래서 대칭형의 셀모양인 셀 모양 지수 1을 가진 등방형 전파모델의 사용은 높은 f 를 가진 시스템을 설계하여 낮은 시스템 용량을 가진다.

참고 문헌

- [1] H.-S. Cho; M.Y. Chung, S.H. Kang, and D.K. Sung; "Performance analysis of cross- and cigar-shaped urban microcells considering user mobility characteristics," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, no. 1, pp. 105-116, Jan 2000.
- [2] C.S. Kang, H.-S. Cho, and D.K. Sung, "Capacity analysis of spectrally overlaid macro/microcellular CDMA systems supporting multiple types of traffic," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 52, no. 2, pp. 333-345, March 2003.
- [3] B.T. Ahmed, M.C. Ramon, and L.H. Ariet, Capacity and interference statistics of Highways W-CDMA Cigar-shaped microcells (Uplink analysis)," *IEEE Comm. Letters*, vol. 6, no. 5, pp. 172-174, May 2002.
- [4] D.H. Kim, D.D. Lee, H.J. Kim, and K.C. Whang, "Capacity analysis of macro/microcellular CDMA with power ratio control and tilted antenna" *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, no. 1, pp. 34-42, Jan. 2000.
- [5] K. S. Gilhousen *et al.*, "On the Capacity of a Cellular CDMA Systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [6] A. J. Viterbi, *CDMA Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison Wesley 1995..
- [7] A. J. Viterbi *et al.*, "Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increases Reverse Link Capacity," *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, Vol. 12, No. 8, pp.1281-1288 Oct., 1994.
- [8] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, Vol. 11, No. 6, pp.892-899, August 1993.
- [9] M. Chopra, K. Rohani and J. R. Reed, "Analysis of CDMA Range Extension due to Soft Handoff," 45th VTC, Chicago, IL, pp.917-921, July 1995.
- [10] D. Har, H. L. Bertoni, and S. Kim "Effect of Propagation Modeling on LOS Microcellular System Design" *IJWIN*, Vol.4, No.2, pp. 113-123, 1997.

[11] H. H. Xia, H. L. Bertoni, L. R. Maciel, A. L. Stewart and R. Rowe, "Radio Propagation Characteristics for LOS Microcellular Mobile and Personal Communications", *IEEE Trans. Antennas and Propagations*, Vol. 4, No. 10, Oct. 1993.

[12] H. L. Bertoni, W. Honcharenko, L. R. Maciel and H. H. Xia, "UHF Propagation Prediction for Wireless Personal Communications" *Proc. IEEE*, vol. 82, pp.1333-1359, 1994.

[13] D. Har, H.H. Xia, and H.L. Bertoni, "Path-loss prediction model for microcells," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 48, no. 5, pp. 1453-1462, Sept. 1999.

[14] D. Har, "Effect of Propagation Modeling on Microcellular System Design", Ph.D. Dissertation, Polytechnic University, May, 1997.

[15] D. Har and H.L. Bertoni, "Effect of anisotropic propagation modeling on microcellular system design," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 49, no. 3, pp. 1303-1313, May 2000.

민 승 욱 (Seungwook Min)

정회원



1987년 2월 : 서울대학교 제어계
측공학과 공학사
1990년 2월 : 한국과학기술원 전
기 및 전자과 공학 석사
1999년 6월 : Polytechnic
University 전자공학 박사
1999년 10월~2002년 2월 : 삼성

전자 통신연구소 수석연구원

2002년 6월~2003년 12월 : 텔슨전자 수석연구원

2004년 7월~2007년 2월 : 한국전자통신연구원 차세대
무선LAN연구팀 선임연구원

2007년 3월~현재 : 상명대학교 소프트웨어대학 소프트
웨어학부

<관심분야> 무선 통신, 시스템 설계, Propagation
Modeling

최 진 규 (Gin-Kyu Choi)

종신회원



1983년 2월 : 성균관대학교 전자
공학과 졸업

1990년 1월 : Polytechnic Univer-
sity 전자전기공학과 석사

1994년 6월 : Polytechnic Univer-
sity 전산과학과 석사

1996년 1월 : Polytechnic Univer-
sity 전자전기공학과 박사

1983년 8월~1986년 8월 LG 전자, Motorola Korea 연
구원

1996년 6월~2004년 8월 : 삼성전자 수석연구원

2004년 9월~현재 : 홍익대학교 과학기술대 전자전기공
학과 조교수

<관심분야> 차세대이동통신, 통신신호처리