

소프트 핸드오프를 갖는 CDMA 계층구조 셀룰러 시스템의 Erlang 용량과 호 차단확률

論 文

49D-8-10

Erlang Capacity and Call Blocking Probability of CDMA Hierarchical Cellular Systems with Soft Handoff

成 鳳 勳* · 吳 玄 錫** · 韓 在 忠***

(Bong-Hoon Seung · Hyun-Seok Oh · Jea-choong Han)

Abstract - This paper analyzes interference power, Erlang capacity, the number of handoff occurrences, and call blocking probability with respect to the cell radius, the soft handoff region, and the mobile's velocity in a CDMA hierarchical cellular system. The microcell cellular system has the higher Erlang capacity than the macrocell cellular system. However, The microcell system, which has a high system capacity through frequency reuse has the call blocking probability higher than macrocell cellular system. Also the interference power and the call blocking probability are decreased with the operation of soft handoff. Therefore, This paper presents the optimization of soft handoff region so as to maximize system's Erlang capacity with the low the call blocking probability according to mobile's velocity in the CDMA hierarchical cellular system.

Key Words : Erlang Capacity, Call Blocking Probability, Interference Power, Hierarchical Cellular System, Soft Handoff

1. 서 론

최근 전자기술의 발달에 의한 고도정보사회의 진전에 따라 정보교환의 역할이 증대되고 있다. 특히 복잡, 다양화되는 사회 속에서 인간의 이동성이 높아지고 그 결과 이동중인 단말기들 사이의 정보 교류를 가능하게 하는 이동통신 분야의 중요성이 증대되고 있다. 따라서 오늘날 이동전화 가입자 수는 폭발적으로 증가하고 있다.

이동통신 시스템에서 가입자 수(Erlang 용량)를 늘리는 방법 중의 하나로 기존 셀의 크기를 줄여 주파수 재사용 효율을 증가시키는 방법이 제안되고 있다[1]. 즉 기존의 매크로 셀에 비해 크기가 작은 마이크로 셀은 매크로 셀에 생기는 음영지역 문제를 해소하고 단위 면적당 수용 가능한 사용자 수를 증가시켜 시스템 용량의 증가를 가져오게 한다. 그러나 셀 크기가 소형화되어지면서 발생하는 문제는 셀 내에 있는 이동 가입자가 통화중에 셀의 경계를 넘어설 확률이 높아져 핸드오프 호가 증가하게 되는 것이다. 핸드오프 호가 많이 발생할수록 핸드오프 호의 차단 확률은 높아지게 된다. 따라서 이 문제를 해결하기 위해서 현재까지 핸드오프 호를 효

율적으로 수용하여 호의 차단 확률을 낮출 수 있는 많은 방법들이 제시되어 왔다[2][3][4].

그러나 지금까지 연구해온 방식과는 달리 용량 증대를 위한 셀 크기의 소형화로 인해 빈번하게 발생하는 핸드오프 호 차단 문제는 마이크로 셀에 매크로 셀을 두는 이른바 계층구조 셀룰러 시스템으로 상당히 줄일 수 있는데 이는 저속 사용자는 마이크로 셀 기지국과 고속 사용자는 매크로 셀 기지국과 통신을 하게 시스템을 구성함으로써 가능하게 된다. 국내에서 서비스중인 CDMA 셀룰러 이동통신 시스템 역시 가입자 수가 수용 가능한 용량의 한계에 이르면 기존의 매크로 셀에 마이크로 셀이 추가될 것이며 이 방식은 현재 차세대 이동통신 IMT-2000에서 제시되어지고 있다. 이에 발맞추어 현재 CDMA 계층구조 셀룰러 시스템의 성능평가를 위한 연구가 이루어지고 있으나[5][6] 소프트 핸드오프 영역에 따른 성능 평가는 아직 이루어지지 않고 있다.

소프트 핸드오프는 전력제어 성능을 향상시키고 역방향링크 간섭을 줄여 시스템 용량을 증가시키는 이점이 있다. 또한 하드 핸드오프시 음성 품질의 전송이 잠시 끊기는 현상을 제거하여 양질의 통화 품질을 제공하고 핸드오프로 인한 시간 지연을 줄여 호 차단 확률을 줄인다[7].

따라서 본 논문에서는 계층구조 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오프 영역에 따른 시스템 성능을 간섭전력과 Erlang 용량, 그리고 호 차단확률 관점에서 분석하고, 우수한 시스템 성능을 유지하기 위한 최적의 소프트 핸드오프 영역을 제시하고자 한다. 앞으로 IMT-2000 환경에서 계층구조셀룰

* 準 會 員 : 明知大 情報通信工學科 博士課程

** 準 會 員 : Interdigital Communication Corp. 先任研究員

*** 準 會 員 : 明知大 情報通信工學科 副教授 · 工博

接受日字 : 2000年 3月 2日

最終完了 : 2000年 7月 24日

러시스템이 적용되어질 것으로 예상되는데, 본 논문은 계층 구조셀룰러시스템을 cell planning 하는 시스템 디자이너(system designer)들에게 많은 도움이 될 것으로 예상된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 CDMA 계층구조 셀룰러시스템 모델과 전파모델을 설명하고 역방향링크 관점에서 기준셀 기지국에 미치는 간섭전력을 계산한다. 3장에서는 마이크로, 매크로 그리고 계층구조 셀룰러시스템 각각에 대해서 Erlang 용량을 계산한다. 4장에서는 마이크로, 매크로 그리고 계층구조 셀룰러 시스템 각각에 대해서 호차단 확률을 계산한다. 5장에서는 그에 따른 수치해석 결과를 분석하고 검토한다. 끝으로 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 셀룰러 시스템의 다중접속간섭

2.1 CDMA 계층구조 셀룰러 시스템 모델

시스템의 용량을 증가시키기 위해서 전 통신 영역을 주파수 재사용 효율이 높은 마이크로 셀로 구성시켰다. 그러나 고속 사용자인 경우 빈번한 핸드오프 문제가 발생하게되고 이를 해결하기 위해서 마이크로 셀에 매크로 셀을 고려한 이른바 계층구조 셀룰러 시스템을 본 논문에서 제시한다. 따라서 보행자에게는 마이크로 셀 기지국에 있는 통신 채널을 할당해 주고 고속 사용자에게는 매크로 셀 기지국에 있는 통신 채널을 할당해 주게된다. 계층구조 셀룰러시스템에 대한 구조는 그림 1과 같다.

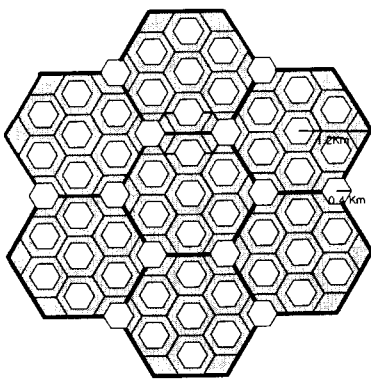
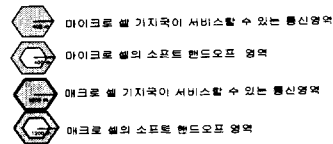


그림 1 계층구조 셀룰러 시스템
Fig. 1 Hierarchical cellular system

계층구조 셀룰러시스템에서 매크로 셀과 마이크로 셀 각각에 대해서 자세히 나타내면 그림 2, 그림 3과 같다.

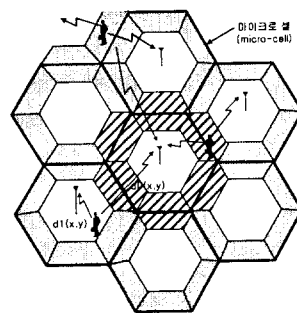
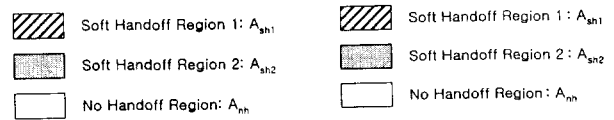


그림 2 보행자와 마이크로 셀 기지국간의 통신
Fig. 2 Communication between pedestrian and micro-cell base station

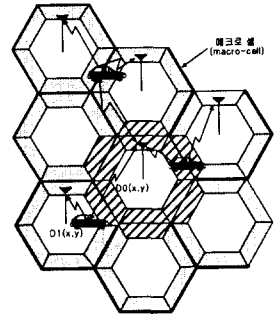


그림 3 고속 사용자와 매크로 셀 기지국간의 통신
Fig. 3 Communication between fast mobile and macro-cell base station

2.2 전파 모델

이동 통신 환경에서 전파 손실은 경로 손실과 웨도잉 현상으로 인한 장기간 페이딩(long-term fading) 그리고 다중 경로로 인한 단기간 페이딩(short-term fading)으로 구성된다. 일반적으로 도심환경에서의 경로 손실은 기지국에 수신되는 신호 전력이 거리의 4제곱에 반비례하는 것을 말하며 웨도잉 현상은 자연이나 인위적인 장애물에 의해서 전파가 전파할 때 방해받는 것으로서 기지국에 수신된 신호 전력의 분포는 로그-노말 분포(log-normal distribution)를 가지게된다. CDMA 시스템에서 레이크 수신기(Rake receiver)와 오류정정부호, 인터리빙(interleaving)을 통하여 단기간 페이딩으로 인한 성능 저하를 크게 완화할 수 있으므로^[8] 본 논문에서는 단기간 페이딩으로 인한 영향은 고려하지 않고 장기간 페이딩으로 인한 기지국 수신 신호전력의 변화만을 고려한다. 따라서 경로손실과 웨도잉 현상을 고려할 때 하나의 이동국으로부터 각 기지국에 수신되는 신호의 전파감쇄 α_k 는 식 (1)과 같다[9].

$$\alpha_k = r_k^\mu 10^{\delta_k/10}, \quad k = 1, 2, 3 \dots \quad (1)$$

여기서 r_k 는 이동국으로부터 기지국 k 까지의 거리이고, μ 는 경로손실지수이며, δ_k 는 이동국으로부터 기지국 k 에 수신되는 신호의 로그-노말 웨도잉 정규분포 성분으로 평균이 0이고 표준편차가 σ 인 가우시안 랜덤 변수이다. 따라서 완전 전력제어를 가정할 때 주변셀 기지국 j 로부터 전력제

여 받는 이동국 i 가 주변셀 기지국 j 에 미치는 간섭전력 P 는 식 (2)와 같다.

$$P = \frac{S_{ij}}{r_{ij}^\mu 10^{\delta_j/10}} \quad (2)$$

여기서 S_{ij} : 주변셀 기지국 j 에 의해서 전력 제어되었던 이동국 i 의 송신전력
 r_{ij} : 이동국 i 와 주변셀 기지국 j 사이의 거리
 δ_j : 주변셀 기지국 j 에 수신되는 송신전력의 로그-노말 섀도잉 정규분포 성분

또한 이동국 i 가 주변셀 기지국 j 에 의해서 전력제어 되어 질 때 이동국 i 가 기준셀 기지국 0에 미치는 간섭전력 P_{i0} 는 식 (3)과 같다.

$$P_{i0} = \frac{S_{ij}}{r_{i0}^\mu 10^{\delta_0/10}} \quad (3)$$

여기서 r_{i0} : 이동국 i 와 기준셀 기지국 0 사이의 거리
 δ_0 : 기준셀 기지국 0에 수신되는 송신 전력의 로그-노말 섀도잉 정규분포 성분

2.3 주변셀 간섭전력 비

본 논문에서는 7개의 매크로 셀과 63개의 마이크로 셀로 이루어져 있는 계층구조 셀룰러 시스템을 고려한다. 또한 계층구조 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오프는 IS-95 소프트 핸드오프 방식을 따르며[10] 소프트 핸드오프시 두 개의 기지국만 고려한다. 하나의 매크로 셀에는 J 명이 하나의 마이크로 셀에는 K 명이 균일하게 분포되어 있다고 가정한다. 그리고 매크로 셀의 반경은 $R^{(M)}$ 으로, 마이크로 셀의 반경은 $R^{(m)}$ 으로 가정한다. 이러한 가정으로부터 매크로 셀과 마이크로 셀의 단위면적 당 이동국 밀도는 식 (4), (5)로 주어진다.

$$\rho_{macro} = \frac{2J}{3\sqrt{3} \cdot R^{(M)}} \quad (4)$$

$$\rho_{micro} = \frac{2K}{3\sqrt{3} \cdot R^{(m)}} \quad (5)$$

식 (1)에서 하나의 이동국으로부터 기지국 k 에 수신되는 신호의 로그-노말 섀도잉 정규분포 성분 δ_k 는 식 (6)으로 주어진다.

$$\delta_k = a\xi + b\xi_k, \quad k = 1, 2, 3, \dots \quad (6)$$

여기서 ξ 는 각 기지국마다 공통적으로 가지고 있는 전파환경에 의해 형성되어진 로그-노말 섀도잉의 전파감쇄 성분이며, ξ_k 는 기지국 k 만 가지고 있는 전파환경에 의해 형성되어진 로그-노말 섀도잉의 전파감쇄 성분이다. 그리고 a 와 b 는 로그-노말 섀도잉의 정규분포 성분 계수로서 이동국의 위치에 따라 값이 달라지며 $a^2 + b^2 = 1$ 이다. 또한 δ_k, ξ 그리고 ξ_k 는 각각 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 랜덤 변수이며 모든 k 에 대하여 $E(\xi\xi_k) = 0$ 이고 $i \neq j (i, j \in k)$ 인 경우 i 와 j 에 대하여 $E(\xi_i\xi_j) = 0$ 이다. 따라서 δ_i 와 δ_j 의 상관관계는 식 (7)로 주어진다.

$$\frac{E(\delta_i\delta_j)}{\sigma^2} = a^2 = 1 - b^2 \quad (7)$$

그림 1의 계층구조 셀룰러 시스템에서 한 가운데 있는 매크로 셀과 마이크로 셀을 기준 셀이라 할 때, 이동국들의 모든 송신전력에 의해서 기준 매크로 셀 기지국과 기준 마이크로 셀 기지국에 각각 수신되는 총 간섭 전력량은 식 (8), (9)와 같다.

$$I^{(M)} = \sum_{i=2}^J \nu_i P_{(M)i} + \sum_{m=1}^6 \sum_{i=1}^K \nu_i^{(M)} P_i^{(M)} + N_0 W \quad (8)$$

$$I^{(m)} = \sum_{i=2}^K \nu_i P_{(m)i} + \sum_{m=1}^7 \sum_{i=1}^J \nu_i^{(m)} P_i^{(m)} + \sum_{m=1}^{62} \sum_{i=1}^K \nu_i^{(m)} P_i^{(m)} + N_0 W \quad (9)$$

식 (8), (9)에서 $P_{(M)i}$ 와 $P_{(m)i}$ 는 기준 매크로 셀과 기준 마이크로 셀에 있는 i 번째 이동국의 송신전력에 의해서 기준셀 기지국에 수신되는 전력이고, $P_i^{(M)}$ 은 M 번째 매크로 셀에 있는 i 번째 이동국의 송신전력에 의해서 기준셀 기지국에 수신되는 전력이며, $P_i^{(m)}$ 은 m 번째 마이크로 셀에 있는 i 번째 이동국의 송신전력에 의해서 기준셀 기지국에 수신되는 전력이다. 그리고 $\nu_i, \nu_i^{(M)}, \nu_i^{(m)}$ 은 기준셀과 M 번째 매크로 셀 그리고 m 번째 마이크로 셀에 있는 i 번째 이동국들의 음성 활동율이며 상호 독립이다. 또한 N_0 는 단측 배경잡음 전력스펙트럼 밀도이고 W 는 시스템 대역폭을 나타낸다. 음성활동율 ν_i 는 모든 셀에서 같고 모든 i 에 대해서 $\nu_i = \nu$ 이며 완전한 전력제어를 가정할 때 전력제어를 받는 이동국이 전력제어를 하는 기지국에 미치는 간섭 전력량은

모든 i 에 대해서 $P_{(M)i} = P_{(m)i} = P$ 이다. 본 논문에서는 $i = 1$ 에서의 신호전력을 통신 신호전력으로 보고 그 외는 모두 간섭 신호 전력으로 가정한다. 또한 매크로 셀 내에 있는 이동국 수 J 와 마이크로 셀 내에 있는 이동국 수 K 는 매우 크다고 가정한다. 소프트 핸드오프를 적용한 계층구조 셀룰러 시스템에서 하나의 이동국에 의해서 발생하는 기준 셀 간섭전력량과 주변셀 간섭전력량의 비를 모든 이동국들에 대해서 합하고 이를 평균한 것을 평균 주변셀 간섭전력 비 I_{mean} 이라 할 때, 이는 식 (10)과 같다.

$$I_{\text{mean}} = I_{\text{all } A_{nh}}^{(M)} + I_{\text{all } A_{ni}}^{(M)} + I_{\text{all } A_{ne}}^{(M)} + I_{\text{all } A_{nh}}^{(m)} + I_{\text{all } A_{ni}}^{(m)} + I_{\text{all } A_{ne}}^{(m)} \quad (10)$$

여기서, $I_{\text{all } A_{nh}}^{(M)}$ 와 $I_{\text{all } A_{nh}}^{(m)}$ 은 매크로 셀과 마이크로 셀에서 각각 영역 A_{nh} 와 같은 조건에 해당하는 모든 영역에서의 평균 간섭전력 비이며 $I_{\text{all } A_{ni}}^{(M)}$ 와 $I_{\text{all } A_{ni}}^{(m)}$ 은 매크로 셀과 마이크로 셀에서 각각 영역 A_{ni} 와 같은 조건에 해당하는 모든 영역에서의 평균 간섭전력 비이다. 그리고 $I_{\text{all } A_{ne}}^{(M)}$ 와 $I_{\text{all } A_{ne}}^{(m)}$ 은 매크로 셀과 마이크로 셀에서 각각 영역 A_{ne} 와 같은 조건에 해당하는 모든 영역에서의 평균 간섭전력 비이다.

식 (10)에서의 평균 간섭전력 비 $I_{\text{all } A_{nh}}^{(M)}$, $I_{\text{all } A_{ni}}^{(M)}$, $I_{\text{all } A_{ne}}^{(M)}$, $I_{\text{all } A_{nh}}^{(m)}$, $I_{\text{all } A_{ni}}^{(m)}$, $I_{\text{all } A_{ne}}^{(m)}$ 는 각각 다음과 같다[9].

$$I_{\text{all } A_{nh}}^{(M)} = \frac{2J}{3\sqrt{3}R^{(M)}} \cdot e^{b^2(\beta\sigma)^2} \int_{\text{all } A_{nh}} \int H_1^\mu(x, y) dA(x, y) \quad (11)$$

여기서 $\beta = \ln(10)/10$, $H_1(x, y) = D_1(x, y)/D_0(x, y)$

$$I_{\text{all } A_{nh}}^{(m)} = \frac{2K}{3\sqrt{3}R^{(m)}} \cdot e^{b^2(\beta\sigma)^2} \int_{\text{all } A_{nh}} \int L_1^\mu(x, y) dA(x, y) \quad (12)$$

여기서 $L_1(x, y) = d_1(x, y)/d_0(x, y)$

$$I_{\text{all } A_{ni}}^{(M)} = e^{b^2(\beta\sigma)^2} \int_{\text{all } A_{ni}} \int \sum_{j=1}^{N-1} H_j^\mu \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi\sigma}} Q\left(z + \frac{M_j - M_0}{b\sigma} + 2b\beta\sigma\right) \times \prod_{i=1}^{N-1} Q\left(z + \frac{M_j - M_0}{b\sigma} + b\beta\sigma\right) dz \right] \rho_{\text{macro}} dA(x, y) \quad (13)$$

여기서

$$Q(a) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_a^{\infty} e^{-x^2/2} dx \quad M_j = 10\mu \log D_j(x, y) \quad (j = 0, 1)$$

식 (13)에서 N 은 매크로 셀에서 소프트 핸드오프 할 때 고려되어지는 기지국 수를 나타낸다.

$$I_{\text{all } A_{ni}}^{(m)} = e^{b^2(\beta\sigma)^2} \int_{\text{all } A_{ni}} \int \sum_{j=1}^{N-1} h_j^\mu \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi\sigma}} Q\left(z + \frac{m_j - m_0}{b\sigma} + 2b\beta\sigma\right) \times \prod_{i=1}^{N-1} Q\left(z + \frac{m_j - m_0}{b\sigma} + b\beta\sigma\right) dz \right] \rho_{\text{micro}} dA(x, y) \quad (14)$$

여기서 $m_j = 10\mu \log d_j(x, y) \quad (j = 0, 1)$

식 (14)에서 n 은 마이크로 셀에서 소프트 핸드오프를 할 때 고려되어지는 기지국 수를 나타낸다.

$$I_{\text{all } A_{ne}}^{(M)} = N e^{b^2(\beta\sigma)^2} \int_{\text{all } A_{ne}} \int H_1^\mu \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} \prod_{i=2}^N Q\left(z + b\beta\sigma + \frac{M_1 - M_i}{b\sigma}\right) dz \right] \rho_{\text{macro}} dA(x, y) \quad (15)$$

$$I_{\text{all } A_{ne}}^{(m)} = n e^{b^2(\beta\sigma)^2} \int_{\text{all } A_{ne}} \int L_1^\mu \left[\int_{-\infty}^{\infty} \frac{e^{-z^2/2}}{\sqrt{2\pi}} \prod_{i=2}^n Q\left(z + b\beta\sigma + \frac{m_1 - m_i}{b\sigma}\right) dz \right] \rho_{\text{micro}} dA(x, y) \quad (16)$$

식 (10)의 I_{mean} 을 기준셀에 있는 이동국 수로 나눈 것을 정규화된 평균 주변셀 간섭전력 비 f 라 한다. 계층구조 셀룰러 시스템에서 기준 매크로 셀 기지국이 받는 정규화된 평균 주변셀 간섭전력 비 $f_H^{(M)}$ 과 기준 마이크로 셀 기지국이 받는 정규화된 평균 주변셀 간섭전력 비 $f_H^{(m)}$ 은 각각 식 (17), (18)과 같다.

$$f_H^{(M)} = \frac{I_{\text{mean}}^{(HM)}}{J} \quad (17)$$

$$f_H^{(m)} = \frac{I_{\text{mean}}^{(Hm)}}{K} \quad (18)$$

식 (17), (18)에서 $I_{\text{mean}}^{(HM)}$ 은 계층구조 셀룰러 시스템에서 기준 매크로 셀 기지국이 받는 평균 주변셀 간섭전력 비이고 $I_{\text{mean}}^{(Hm)}$ 은 계층구조 셀룰러 시스템에서 기준 마이크로 셀 기지국이 받는 평균 주변셀 간섭전력 비이다. 따라서 계층구조 셀룰러 시스템에서 기준 기지국이 받는 정규화된 평균 주변셀 간섭전력 비, f_{HI} 는 식 (19)와 같다.

$$f_{HI} = \Gamma_H f_H^{(M)} + \Gamma_L f_H^{(m)} \quad (19)$$

식 (19)에서 Γ_H 는 매크로 셀 기지국과 통신하는 고속 사용자 수의 비이고 Γ_L 는 마이크로 셀 기지국과 통신하는 저

속 사용자 수의 비이다.

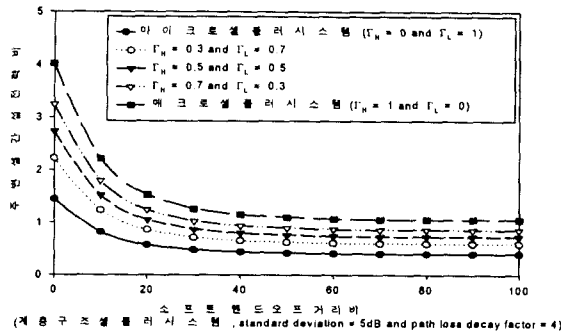


그림 4 소프트 핸드오프 거리 비에 따른 주변셀 간섭전력 비 ($\sigma=5dB, \mu=4$)
 Fig. 4 The ratio of other cell interference power for the ratio of soft handoff distance ($\sigma=5dB, \mu=4$)

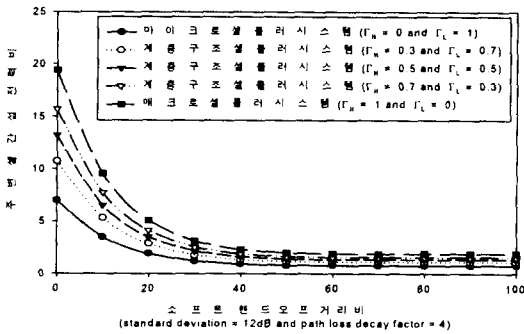


그림 5 소프트 핸드오프 거리 비에 따른 주변셀 간섭전력 비 ($\sigma=5dB, \mu=4$)
 Fig. 5 The ratio of other cell interference power for the ratio of soft handoff distance ($\sigma=5dB, \mu=4$)

3. 셀룰러 시스템의 Erlang 용량

본 논문에서는 새로운 이동국들에 대하여 수신 처리능력의 부족으로 인한 통화 차단 확률은 무시할 수 있을 만큼 충분한 수신 처리가 있고 완전한 전력제어가 이루어지는 것으로 가정한다. 매크로 셀과 마이크로 셀 영역에서 이동국이 기지국에 통화를 요청하는 수는 각각 평균과 분산이 (λ/μ) , (γ/μ) 인 포아송 분포를 따르는 랜덤변수이다. λ , γ 는 이동국이 매크로 셀과 마이크로 셀 기지국에 각각 초당 통화를 요청하는 평균 수(calls/sec)이다. 또한 $1/\mu$ 은 호당 평균통화 시간을 나타낸다. 매크로 셀과 마이크로 셀에 있는 이동국들은 같은 포아송 채널 점유 분포와 음성활동을 가진다고 가정한다. 소프트 핸드오프를 적용한 계층구조 셀룰러 시스템에서 기준 매크로 셀 기지국과 기준 마이크로 셀 기지국에 각각 수신되는 총 간섭 전력량 $P_I^{(M)}$, $P_I^{(m)}$ 은 기지

국이 허용할 수 있는 최대 간섭전력보다는 작거나 같아야 한다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_I^{(M)} = \sum_{i=2}^L \nu_i P_{(M)i} + \sum_{M=1}^6 \sum_{i=1}^L \nu_i^{(M)} P_i^{(M)} + \sum_{m=1}^{63} \sum_{i=1}^K \nu_i^{(m)} P_i^{(m)} + N_0 W \leq I_T^{(M)} \cdot W \quad (20)$$

$$P_I^{(m)} = \sum_{i=2}^K \nu_i P_{(m)i} + \sum_{M=1}^7 \sum_{i=1}^L \nu_i^{(M)} P_i^{(M)} + \sum_{m=1}^{63} \sum_{i=1}^K \nu_i^{(m)} P_i^{(m)} + N_0 W \leq I_T^{(m)} \cdot W \quad (21)$$

식 (20), (21)에서 음성활동을 ν_i , $\nu_i^{(M)}$, $\nu_i^{(m)}$ 는 이동국들에 대해서 서로 독립이고 0과 1의 값을 가지는 이진랜덤변수로서 $q = \Pr(\nu_i=1) = \Pr(\nu_i^{(M)}=1) = \Pr(\nu_i^{(m)}=1) = 1 - \Pr(\nu_i=0) = 1 - \Pr(\nu_i^{(M)}=0) = 1 - \Pr(\nu_i^{(m)}=0)$ 이다. 또한 $I_T^{(M)}$, $I_T^{(m)}$ 는 각각 매크로 셀과 마이크로 셀 기지국 최대 허용 간섭 전력 밀도이다. 모든 셀에 있는 이동국들로부터 기준셀 기지국에 수신되는 간섭전력이 기지국 최대 허용 간섭전력보다 높을 확률을 outage 확률, $\Pr(outage)$, 이라 정의한다. 계층구조 셀룰러 시스템에서 기준 매크로 셀 기지국과 기준 마이크로 셀 기지국의 outage 확률은 식 (22)와 같다.

$$\Pr(outage) = \Pr[P_I^{(k)} > I_T^{(k)} W] \approx \Pr[Z^{(k)} > K_0^{(k)}], \quad k = M, m \quad (22)$$

여기서

$$Z^{(M)} = \left(\sum_{i=1}^L \nu_i P_{i(M)} + \sum_{M=1}^6 \sum_{i=1}^L \nu_i P_i^{(M)} + \sum_{m=1}^{63} \sum_{i=1}^K \nu_i P_i^{(m)} \right) / I_T^{(M)}$$

$$Z^{(m)} = \left(\sum_{i=1}^K \nu_i P_{i(m)} + \sum_{M=1}^7 \sum_{i=1}^L \nu_i P_i^{(M)} + \sum_{m=1}^{63} \sum_{i=1}^K \nu_i P_i^{(m)} \right) / I_T^{(m)}$$

$$K_0^{(k)} = W(1 - \eta^{(k)})$$

$$\eta^{(k)} = N_0 / I_T^{(k)}$$

$Z^{(M)}$ 과 $Z^{(m)}$ 의 분포를 중심 극한의 정리를 이용하여 가우시안 분포로 근사화하면 $Z^{(M)}$ 의 평균과 분산은 각각 다음과 같다[9].

$$E(Z^{(M)}) = (\lambda/\mu)(1 + f_{(M)}) \quad (23)$$

$$Var(Z^{(M)}) = (\lambda/\mu)(1 + f_{(M)}) \quad (24)$$

또한 $Z^{(m)}$ 의 평균과 분산은 각각 다음과 같다[9].

$$E(Z^{(m)}) = (\gamma/\mu)(1+f_{(m)}) \quad (25)$$

$$Var(Z^{(m)}) = (\gamma/\mu)(1+f_{(m)}) \quad (26)$$

식 (22)에서 outage 확률값이 주어질 때 이동국들의 초당 평균 통화요청 수, λ/μ ,을 하나의 기지국에 의해서 이동국들에게 제공할 수 있는 초당 평균 통화서비스 수, $(\lambda/\mu)^*$, 이라 할 때 이를 Erlang 용량으로 정의한다. 따라서 계층구조 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오프시 기준 매크로 셀 기지국의 $\Pr(outage)^{(M)}$ 은 식 (22)로부터 식 (27)과 같이 된다.^[8]

$$\Pr(outage)^{(M)} \approx Q \left[\frac{K_0^{(M)} - (1+f_{(m)})(\lambda/\mu)^* q}{\sqrt{(1+f_{(m)})(\lambda/\mu)^* q}} \right] \quad (27)$$

이때 $(\lambda/\mu)^*$ 는 식 (27)로부터 식 (28)이 된다.

$$(\lambda/\mu)^* = \frac{K_0^{(M)} F(B^{(M)})}{(1+f_{(m)})q} \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \text{여기서 } F(B^{(M)}) &= \left[1 + \frac{B^{(M)}}{2} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4}{B^{(M)}}} \right) \right] \\ B^{(M)} &= \frac{\{Q^{-1}[\Pr(outage)^{(M)}]\}^2}{K_0^{(M)}} \end{aligned}$$

식 (28)에서 구한 것과 마찬가지로 계층구조 셀룰러 시스템에서 소프트 핸드오프시 기준 마이크로 셀 기지국의 $\Pr(outage)^{(m)}$ 은 식 (22)로부터 식 (29)와 같이 된다.

$$\Pr(outage)^{(m)} \approx Q \left[\frac{K_0^{(m)} - (1+f_{(m)})(\gamma/\mu)^* q}{\sqrt{(1+f_{(m)})(\gamma/\mu)^* q}} \right] \quad (29)$$

이때 $(\gamma/\mu)^*$ 는 식 (29)로부터 식 (30)이 된다.

$$(\gamma/\mu)^* = \frac{K_0^{(m)} f(B^{(m)})}{(1+f_{(m)})q} \quad (30)$$

여기서 $f(B^{(m)}) = \left[1 + \frac{B^{(m)}}{2} \left(1 - \sqrt{1 + \frac{4}{B^{(m)}}} \right) \right]$ 이고 $B^{(m)} = \frac{\{Q^{-1}[\Pr(outage)^{(m)}]\}^2}{K_0^{(m)}}$ 이다. 따라서 계층구조 셀룰러 시스템에서 구한 Erlang 용량, $(\theta/\mu)_{(HD)}$ 은 식 (31)과 같다.

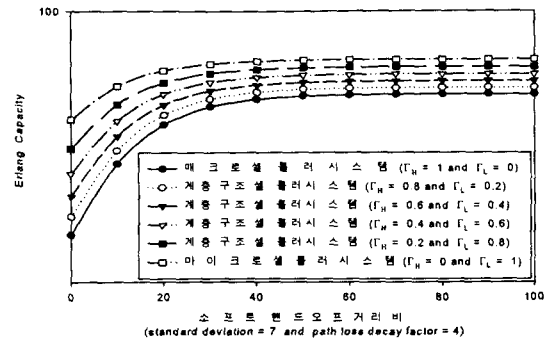


그림 6 소프트 핸드오프 영역 비에 따른 Erlang 용량
Fig. 6 Erlang capacity for the ratio of soft handoff region,

$$(\theta/\mu)_{(HD)} = \Gamma_H(\lambda/\mu)^* + \Gamma_L(\gamma/\mu)^* \quad (31)$$

4. 호 차단확률

이동가입자당 통화시간은 평균이 $1/\mu$ 인 지수분포를 따른다. 본 논문에서는 셀의 모양을 반지름이 R_H 인 정육각형과 면적이 동일한 반지름이 R 인 원으로 가정하며 이를 기초로 모든 해석을 수행한다. 즉 R 과 R_H 는 식 (32)와 같은 관계식을 가진다.

$$R = \sqrt{\frac{3\sqrt{3}}{2\pi}} R_H \approx 0.91 R_H \quad (32)$$

이동통신서비스영역 내에서 새로운 호의 발생률은 전체 서비스영역 내에서 균일하게 분포하고 단위면적 당 새로운 호의 발생률을 λ_a 라고 할 때 단위시간 동안에 반지름이 R_H 인 정육각형 내에서 발생하는 새로운 호의 트래픽량, λ_N 은 식(33)과 같다.

$$\lambda_N = \frac{3\sqrt{3}}{2} R_H^2 \lambda_a \quad (33)$$

임의의 셀 내에서 발생한 새로운 호가 통화시간 안에 인접셀로 넘어갈 경우 이 호를 핸드오프 호라 한다. 이 핸드오프 호의 트래픽량 λ_H 를 구하면 식 (34)와 같다[11].

$$\lambda_H = \frac{\lambda_N(1-P_{BN})P_N}{1-(1-P_{BH})P_H} \quad (34)$$

여기서 P_{BN} 은 새로운 호의 차단확률이고 P_{BH} 는 핸드오프 호의 차단확률이다. 그리고 P_N 은 새로운 호가 핸드오프 할 확률이며 P_H 는 핸드오프 호가 다시 핸드오프 할 확률이다. 식 (34)의 P_N , P_H 는 각각 식 (35), (36)과 같다[11].

$$P_N = \frac{2v}{\pi R^2} \int_0^{\frac{2R}{v}} e^{-\mu t} \sqrt{R^2 - \left(\frac{vt}{2}\right)^2} dt \quad (35)$$

$$P_H = \frac{v}{\pi} \int_0^{\frac{2R}{v}} \frac{e^{-\mu t}}{\sqrt{R^2 - \left(\frac{vt}{2}\right)^2}} dt \quad (36)$$

한 셀로부터 나가는 이동국 수와 들어오는 이동국 수가 같다고 할 때, 한 셀에서 발생하는 초당 평균 호 트래픽량 λ 는 식 (37)과 같다.

$$\lambda = \lambda_N \quad (37)$$

한 셀 내에서 발생하는 호당 평균 핸드오프 횟수는 식 (38)과 같다[11].

$$\hat{K} = \frac{P_N(1 - P_{BH})}{1 - P_H(1 - P_{BH})} \quad (38)$$

따라서 계층구조 셀룰러시스템에서의 호당 평균 핸드오프 횟수 \hat{K}_H 는 식 (39)와 같다.

$$\hat{K}_H = \Gamma_L \hat{K}_\mu + \Gamma_H \hat{K}_M \quad (39)$$

여기서 \hat{K}_μ , \hat{K}_M 는 각각 계층구조 셀룰러시스템에서 마이크로셀과 매크로셀에서의 호당 평균 핸드오프 횟수이다.

한 셀 내에서 호의 평균 채널점유시간 T_{CH} ($= 1/\mu_{CH}$)는 식 (40)과 같다[11].

$$\hat{T}_{CH} = \frac{(1 + \hat{K}) - P_N - \hat{K}P_H}{\mu(1 + \hat{K})} \quad (40)$$

소프트 핸드오프 영역에서 호의 평균 채널점유시간 $T_{HO}(R^{(S)})$ 는 식 (41)과 같다.

$$\hat{T}_{HO}(R^{(S)}) = \hat{T}_{CH} \cdot \frac{R^2 - (R - R^{(S)})^2}{R^2} \quad (41)$$

여기서 $R^{(S)}$ 는 셀 경계에서부터 셀 중심방향으로 소프트 핸드오프 영역까지의 대각선 거리이다. 한 셀내에있는 이동국으로부터 기지국에 통화를 요청하는 총 평균 트래픽량 A 는 식 (42)와 같다.

$$A = \lambda/\mu \quad (42)$$

호 차단확률은 기지국이 가지고 있는 채널 수와 기지국에게 통화를 요청하는 평균 트래픽량 사이에 Erlang-B 공식을 적용하여 구할 수 있다[11]. 셀 경계에서부터 셀 중심으로 점차적으로 소프트 핸드오프를 적용할 때 소프트 핸드오프 영역에 따른 호 차단확률 $P_B^{(S)}$ 는 식 (43)과 같다.

$$P_B^{(S)} = \frac{A^{N_{CH}}}{N_{CH}!} \cdot \frac{A_{ns}(R^{(S)})}{A_{total}} + \left(\frac{A^{N_{CH}}}{N_{CH}!} \right)^2 \cdot \frac{A_s(R^{(S)})}{A_{total}} \quad (43)$$

여기서 $A_{total} = \lambda \hat{T}_{CH}$

$$A_s(R^{(S)}) = \lambda \hat{T}_{HO}(R^{(S)}) \cdot \frac{R^2 - (R - R^{(S)})^2}{R^2}$$

$$A_{ns}(R^{(S)}) = A_{total} - A_s(R^{(S)})$$

식 (43)에서 N_{CH} 는 기지국 채널 수이며 R 은 셀 반경이다. 따라서 소프트 핸드오프 영역을 고려할 때 계층구조 셀룰러 시스템에서의 호 차단확률, $P_B^{(S)}$ 는 식 (44)와 같다.

$$P_{B_H}^{(S)} = \Gamma_L P_{B_\mu}^{(S)} + \Gamma_H P_{B_M}^{(S)} \quad (44)$$

여기서 $P_{B_\mu}^{(S)}$, $P_{B_M}^{(S)}$ 는 각각 계층구조 셀룰러 시스템에서 마이크로 셀과 매크로 셀에서의 호 차단확률이다.

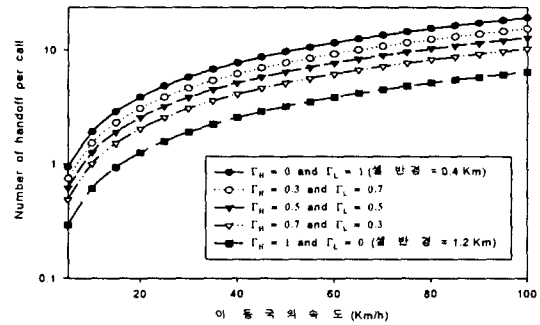


그림 7 이동국의 속도에 따른 호당 평균 핸드오프 횟수
Fig. 7 the number of average handoff per call for the velocity of mobile

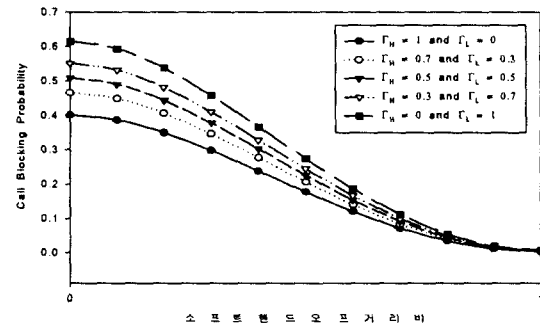


그림 8 소프트 핸드오프 거리 비에 따른 호 차단 확률 (이동국 속도 = 10 Km/h)
Fig. 8 Call blocking probability for the ratio of soft handoff distance (mobile speed = 10 Km/h)

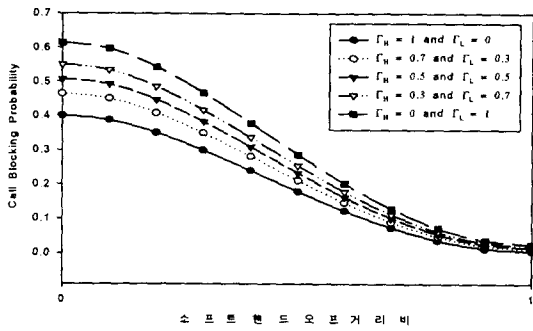


그림 9 소프트 핸드오프 거리 비에 따른 호 차단 확률 (이동국 속도 = 100 Km/h)

Fig. 9 Call blocking probability for the ratio of soft handoff distance (mobile speed = 100 Km/h)

5. 수치해석

5.1 주변셀 간섭 전력비에 대한 수치해석 결과

2장에서 제시한 소프트 핸드오프 영역에 따른 기준셀 기지국이 받는 간섭전력량에 대한 수학적 모델을 수치해석 프로그램인 MATHCADE를 통해서 수치해석 결과를 분석한다. 그림 4, 5를 위한 식 (19)에 필요한 파라미터로서 ξ_i 의 계수 b 는 $\sqrt{0.5}$, 경로손실 지수 μ 는 4이며 셀 반경 $R^{(M)} = 1200(m)$, $R^{(m)} = 400(m)$ 이다. 또한 로그-노말 쉼도잉 정규분포 성분 δ 의 표준편차 σ 는 5, 12 dB이다. 그림 4, 5는 계층구조 셀룰러시스템 내에 70명의 사용자가 기준셀 기지국에 통신을 요구할 때 매크로셀 기지국과 통신을 하는 사용자와 마이크로셀 기지국과 통신을 하는 사용자의 비에 따라 기준셀 기지국이 받는 정규화된 평균 주변셀 간섭전력비를 나타낸다. 매크로셀 기지국과 통신을 하는 이동국의 송신전력은 마이크로셀 기지국과 통신하는 이동국의 송신전력보다 수배의 전력 세기를 가지기 때문에 매크로셀 기지국과 통신을 하는 사용자가 많을수록 기준셀 기지국이 받는 간섭전력량은 증가한다. 그러나 그림 4, 5에서 알 수 있듯이, 소프트 핸드오프 영역이 증가할 때 기준셀 기지국이 받는 간섭전력량은 상당히 줄어들게 된다.

또한 소프트 핸드오프 영역의 증가는 그림 4 보다 통신 환경이 더욱 나쁜 그림 5에 더 많은 이득을 가져다준다. 그림 5에서, 하드 핸드오프 지점(소프트 핸드오프 영역비 0% 지점)에서는 매크로 셀 기지국과 통신을 하는 사용자와 마이크로 셀 기지국과 통신을 하는 사용자의 비에 따른 주변셀 간섭전력 비가 상당한 차이를 보이지만 소프트 핸드오프 영역비가 100(%)인 지점에서는 차이가 상당히 줄어든다.

계층구조 셀룰러 시스템에서 기준셀 기지국이 받는 간섭전력량은 마이크로 셀룰러시스템의 기준셀 기지국이 받는 간섭전력량보다는 크고 매크로 셀룰러시스템의 기준셀 기지국이 받는 간섭전력량보다는 적다. 또한 소프트 핸드오프 영역이 증가할수록 간섭 전력량은 마이크로 셀룰러시스템의 기준셀 기지국이 받는 정도로 상당히 줄어든다. 그러나 순방

향링크 관점에서 소프트 핸드오프 영역이 증가하면, 이동국이 받는 간섭전력량은 증가한다. 또한 소프트 핸드오프 영역에서는 하나의 이동국이 두 기지국의 통화채널을 사용하므로 소프트 핸드오프 영역이 증가할수록 자원(통화채널)이 줄어들게 된다. 그림 4, 5에서 소프트 핸드오프 영역비가 40% 이상에서는 간섭전력량에 있어 큰 성능향상이 없으므로, 소프트 핸드오프 영역 비는 40% 이내로 잡는 것이 적합하다.

5.2 셀룰러 시스템의 Erlang 용량에 대한 수치해석결과

3장에서 제시한 소프트 핸드오프 영역에 따른 기준셀 기지국이 갖는 Erlang 용량에 대한 수학적 모델을 수치해석 프로그램인 MATHCADE를 통해서 수치해석 결과를 분석한다. 그림 6을 위한 식 (31)에 필요한 파라미터로서 매크로셀과 마이크로 셀 기지국의 서비스 중단 확률, $Pr(outage)$ 은 둘 다 0.1이다. 그리고 음성 활동을 ν_i 가 1이 될 확률 q 는 0.4이고 시스템 대역폭 W 는 1.2288MHz 이다. 또한 기지국 최대 허용 간섭전력밀도에 대한 단축 배경잡음 전력 스펙트럼 밀도 비 η 는 0.1이고 β 는 0.2303이다.

그림 6은 로그-노말 쉼도잉 정규분포 성분의 표준편차 $\sigma = 7dB$ 와 경로감쇄 지수 $\mu = 4$ 가 주어질 때 소프트 핸드오프 영역비에 따른 매크로셀 셀룰러시스템과 계층구조 셀룰러시스템 그리고 마이크로셀 셀룰러시스템에서의 Erlang 용량을 나타낸다. 매크로셀 기지국과 통신을 하는 이동국은 높은 송신전력을 보내야 한다. 따라서 매크로셀 기지국과 통신을 하는 이동국 수가 많을수록 기지국은 많은 간섭을 받게되고 따라서 Erlang 용량은 감소하게 된다. Erlang 용량은 마이크로 셀룰러시스템이 제일 높고 매크로 셀룰러시스템이 제일 낮다. 그리고 계층구조 셀룰러 시스템은 매크로셀 기지국과 통신을 하는 사용자가 많을수록 매크로 셀룰러 시스템과 거의 비슷한 Erlang 용량을 가지며 마이크로 셀 기지국과 통신을 하는 사용자가 많을수록 마이크로 셀룰러 시스템과 비슷한 Erlang 용량을 가진다. 또한 소프트 핸드오프 영역의 증가로 각 시스템 모두 Erlang 용량이 상당히 증가하였으며 각 셀룰러시스템이 갖는 Erlang 용량의 차이는 상당히 줄어들었다.

그림 6에서 알 수 있듯이 소프트 핸드오프 영역이 40% 이상에서는 Erlang 용량이 거의 증가하지 않는다. 순방향 링크에서 소프트 핸드오프 영역의 증가는 이동국에 많은 간섭을 주게되므로, 시스템 전체로 볼 때 소프트 핸드오프 영역이 40% 이상 증가하는 것은 오히려 성능 저하를 가져오게 함으로 Erlang 용량 측면에서도 소프트 핸드오프 영역은 전체 셀 영역의 40% 이내로 하는 것이 적합하다.

5.3 호 차단확률에 대한 수치해석 결과

4장에서 제시한 소프트 핸드오프 영역과 이동국의 속도에 따른 핸드오프 발생 횟수와 호 차단확률에 대한 수학적 모델을 수치해석 프로그램인 MATHCADE를 통해서 수치해석 결과를 분석한다.

그림 7를 위한 식 (39)에 필요한 파라미터로서 매크로셀 반경은 1.2 Km이고 마이크로셀 반경은 0.4 Km이다. 그리고

$P_{BN} = 0.01$, $P_{BH} = 0.001$, $\mu = 0.01$ 이다. 그림 7로부터 알 수 있듯이 이동국의 평균 속도가 증가할수록 그리고 마이크로셀 기지국과 통신을 하는 이동국 수가 많을수록 호당 평균 핸드오프 발생 횟수는 증가한다.

그림 8, 9를 위한 식 (44)에 필요한 파라메타들은 다음과 같다. 매크로 셀 반경은 1200 m이고 마이크로 셀 반경은 400 m이다. 매크로 셀의 채널 수는 50이고 마이크로 셀의 채널 수는 4이다. 또한 $P_{BN} = 0.01$, $P_{BH} = 0.001$, $\mu = 0.01$, $\lambda_a = 2.165 \cdot 10^{-7}$ 이다. 그림 8, 9로부터 알 수 있듯이 같은 이동국의 속도에서 호 차단확률은 마이크로, 계층구조, 매크로 셀룰러시스템 순으로 높다. 또한 이동국의 속도가 증가하면 모든 시스템의 호 차단확률은 증가하며 마이크로, 계층구조, 매크로 셀룰러시스템 순으로 속도에 더 민감한 성능저하를 가진다. 그리고 계층구조 셀룰러시스템은 매크로셀 기지국과 통신을 하는 사용자가 많을수록 매크로 셀룰러시스템과 거의 비슷한 호 차단확률을 가지며 마이크로 셀 기지국과 통신을 하는 사용자가 많을수록 마이크로 셀룰러시스템과 거의 비슷한 호 차단확률을 가진다. 그러나 소프트 핸드오프 영역이 증가할수록 각 시스템 모두 호 차단 확률은 상당히 감소하였으며 각 셀룰러시스템이 갖는 호 차단확률의 차이 또한 매우 줄어들었다.

6. 결 론

본 논문에서는 매크로셀로만 구성된 셀룰러시스템과 마이크로셀로만 구성된 셀룰러시스템 그리고 매크로셀과 마이크로셀이 동시에 존재하는 계층구조 셀룰러시스템에 대해서 성능을 분석하였다. 매크로셀 셀룰러시스템보다 마이크로셀 셀룰러시스템이 용량 면에서 더욱 많이 이동국을 수용할 수 있지만 고속 사용자가 많이 존재하는 경우 핸드오프 호가 상당히 많이 발생하게 되어 호 차단확률이 증가하는 문제점이 있다. 그러나 계층구조 셀룰러시스템은 호 차단확률을 넘지 않는 범위 내에서 가입자를 마이크로셀 기지국과 통신을 하게 함으로 Erlang 용량을 증가시키면서 고속 사용자는 매크로 셀 기지국과 통신을 하여 빈번한 핸드오프 발생으로 인한 호 차단확률을 상당히 감소시킨다.

또한 본 논문에서 제시한 범위(셀 전체 영역에서 40%)내에서 소프트 핸드오프 영역을 증가시킴으로써, 계층구조 셀룰러 시스템에서 기지국이 받는 간섭전력량과 호 차단 확률은 더욱 줄어든다. 따라서 소프트 핸드오프 영역을 적용하였을 때, 계층구조 셀룰러시스템의 Erlang 용량은 마이크로셀 셀룰러시스템의 Erlang 용량과 비슷할 정도로 증가하면서 핸드오프 호 발생에 의한 호 차단 확률은 매크로셀 셀룰러 시스템과 비슷할 정도로 감소한다. 그러므로 소프트 핸드오프 영역의 증가(전체 셀 면적에 40% 이내)는 계층구조 셀룰러 시스템에 Erlang 용량과 호 차단확률 면에서 많은 성능향상을 가져다준다.

감사의 글

본 연구는 정보통신 우수학교 사업에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

- [1] K. Takeo, "Improvement of Coverage Probability by Subband Scheme in CDMA Macro-micro Cellular Systemance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procem," *IEEE Personal, Indoor and Mobile Radio Communication*, Vol. 1, pp. 93-97, Oct. 1996.
- [2] D. Hong and S.S. Rappaport, "Traffic Model and Perfurdures," *IEEE Trans. on Veh. Technol.*, Vol. VT-35, No. 3, pp. 77-92, Aug. 1986.
- [3] R. Guerin, "Queueing-blocking system with two arrival streams and guard channels," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 36, No. 2, Feb. 1988.
- [4] S.Tekinay and B.Jabbari, "A Measurement-Based Prioritization Scheme for Handover in Mobile Cellular Networks," *IEEE Comm. Mag.*, Vol 29, No. 11, Nov. 1991.
- [5] Lon-Rong Hu, Stephen S. Rappaport "Personal Communication System Using Multiple Hierarchical Cellular Overlays" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 13, No. 2, pp. 406-415, Feb., 1995.
- [6] Bijan Jabbari and Woldemar F. Fuhrmann "Teletraffic Modeling and Analysis of Flexible Hierarchical Cellular Networks with Speed-Sensitive Handoff Strategy" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 8, pp. 1539-1548, Oct., 1997.
- [7] Daniel Wong and Teng Joon Lim "Soft Handoffs in CDMA Mobile Systems" *IEEE Personal Communications*, Vol. 4, pp. 6-17, Dec., 1997.
- [8] A. M. Viterbi, A. J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 11, pp. 892-899, Aug. 1993.
- [9] Andrew J. Viterbi, CDMA : *Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995.
- [10] TIA/EIA Interim Standard, *Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual-Mode Wideband Spread Spectrum Cellular System*, July 1993.
- [11] Seog Ku Lim, Hee-Seon Jang, Jea Hoon Yoo, Yoon-Ju Lee, "Traffic Modeling in Cellular Mobile Communications" *한국통신학회 논문지*, 제 20권, 제 6호, pp 1495-1505, 6월 1995.

저 자 소 개



성 봉 훈 (成 鳳 勳)

1998년 명지대 전자공학과 졸업 (학사).
2000년 한양대 전자통신공학과 졸업(석사).
현재 명지대정보통신공학과 박사과정
Tel : 011-9521-3743, Fax : 02-558-4616
E-mail : sbh@moriatech.com

오 현 석 (吳 玄 錫)

1989년 성균관대 전자공학과 졸업 (학사). 1992년 polytechnic University 전기공학부 졸업(석사). 2000년 Polytechnic University 졸업 (공학). 2000년 4월 현재 Interdigital Communication Corp. 선임 연구원 <관심분야> 무선통신, 음성신호 처리, 레이더, 어레이신호처리, 검출 추정



한 재 충 (韓 在 忠)

1988년 서울대 제어계측공학과(학사). 1990년 Texas A&M University 통신전공(석사). 1994년 Texas A&M University 통신전공 (공학). 1994년~1995년 LG전자기술원 선임연구원. 1995년~현재 : 명지대 전자·정보통신공학부 부교수 <관심분야> : 이동통신, 디지털모뎀, 추정이론
Tel : 031-330-6486, Fax : 031-321-0271
E-mail : jhan@wh.myongji.ac.kr