

전파음영 채널 환경에서 소프트 핸드오프 기법이 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향

Effect of Soft Handoff Technique on CDMA Cell Coverage in a Lognormally Shadowed Channel

오현규 · 김항래 · 김 남

Hyon-Kyu Oh · Hang-Rae Kim · Nam Kim

요 약

본 논문에서는 로그노말(log-normal) 분포된 전파음영(shadowing) 채널 환경에서 소프트 핸드오프 기법이 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향을 Hata 전파 모델을 사용하여 분석한다. 또한 전파음영에 따른 하드 핸드오프 마진과 소프트 핸드오프 마진을 계산하여 셀 커버리지 증가율을 산출한다. 전파음영 채널 환경에서 차단 확률(outage probability)이 0.02이고, 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB이면 셀 경계 부근에 위치한 이동국의 송신 전력은 5.13 dB의 하드 핸드오프 마진과 3.68 dB의 소프트 핸드오프 마진만큼 증가한다. 따라서 소프트 핸드오프 기법을 사용함으로써 얻을 수 있는 셀 커버리지 증가율은 1.39가 된다. $(E_b/N_0)_{req}$ 값을 7 dB로 가정하면, 도심지역에서 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지는 주파수가 850 MHz 일 때 3.33 km이고, 1900 MHz일 때 1.36 km가 된다는 것을 알 수 있다. 또한 소프트 핸드오프 기법을 사용한 CDMA 셀룰러 시스템에서 기지국이 서비스 할 수 있는 정확한 셀 커버리지를 제공한다.

Abstract

In this paper, the effect of soft handoff technique on CDMA cell coverage is analyzed in a lognormally shadowed channel, which uses the Hata propagation model. Also, the rate of increase for the cell coverage is analyzed by calculating the hard and soft handoff margin. When the outage probability is 0.02 and the standard deviation of the received signal is 2.5 dB in a lognormally shadowed channel, the transmit power of the mobile station which is located in the cell boundary is increased by the hard handoff margin of 5.13 dB and by the soft handoff margin of 3.68 dB, respectively. So, the rate of increase for the cell coverage is 1.39 in case of using the soft handoff technique. It is shown that if the $(E_b/N_0)_{req}$ value is 7 dB, the cell coverage of the CDMA cellular system with soft handoff technique in city area is 3.33 km in case of the 850 MHz frequency and 1.36 km in case of the 1900 MHz frequency. Also, the accurate cell coverage with soft handoff technique is supported that could be serviced by the base-station in CDMA cellular system.

I. 서 론

최근 정보화 사회가 가속화됨에 따라 무선 채널

을 통한 고속 및 양질의 음성, 데이터, 영상을 동시에 수용할 수 있는 멀티미디어 서비스에 대한 요구가 급속히 확대되고 있다. 이러한 요구에 부응하여

충북대학교 정보통신공학과(Dept. of Computer and Communication Engineering, Chungbuk National University)

· 논문 번호 : 20010508-063

· 수정완료일자 : 2001년 9월 12일

CDMA 방식을 토대로 전송속도를 향상시키고, WAP(Wireless Application Protocol)를 이용하여 음성 위주에서 점차 데이터 위주의 서비스로 변화되어가고 있다. CDMA 시스템의 성능 향상과 용량 증가 측면에서 두 가지 중요한 기술로는 전력제어와 소프트 핸드오프 기법이 있다. 역방향 링크에서 만족할 만한 성능을 얻기 위해서는 전력제어가 필수적이며, 소프트 핸드오프 기법을 사용하여 통화 품질을 향상시킨다^{[1],[2]}.

CDMA 셀룰러 시스템에서 모든 이동국은 역방향 링크 통화 채널을 유지하기 위한 최소 전력만을 송신하도록 해당 기지국에 의해 전력제어 된다. 그러나 이러한 전력제어에도 불구하고 불안정한 채널 환경이나 이동국의 빠른 이동으로 인해 이동국으로부터 기지국에 수신되는 신호 전력은 로그노말 분포를 하게 된다.

소프트 핸드오프 기법은 셀 경계 지역에 있는 이동국이 서비스를 받고 있는 기지국과 접속을 계속 유지하면서 새로 할당된 기지국과 접속을 하여 두 개 이상의 기지국으로부터 동시에 서비스를 받는 방식이다. 소프트 핸드오프 기법의 적용으로 기존의 하드 핸드오프를 수행할 때 나타나는 통화의 일시적 중단이 없게 되고, 핑퐁(ping pong) 현상이 해결되어 핸드오프 실패율을 줄일 수 있다. 또한 하드 핸드오프 기법을 적용한 경우보다 전파음영에 따른 핸드오프 마진이 작게 되어 역방향 링크 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지와 용량이 증가한다. 일반적으로 셀 커버리지는 기지국으로부터 일정한 거리만큼 떨어진 사용자가 임계값 이상의 신호세기로 기지국과 통화를 하는 최대 거리로 정의된다. 셀 커버리지를 정확히 예측하는 것은 CDMA 네트워크 디자인의 가장 기본이 되기 때문에 매우 중요하며, 셀 커버리지를 정확히 예측하기 위해서는 전력제어와 소프트 핸드오프 기법을 고려해야만 한다. IS-95의 역방향 링크처럼 단일 사용자 검출기법을 사용하고, 사용자 신호가 서로 간섭을 일으키는 CDMA 셀룰러 시스템에서, 셀 커버리지는 셀 내의 사용자 용량과 반비례한다^[3].

기존의 CDMA 셀 커버리지에 대한 연구는 단순히 전파음영 환경에서 하드 핸드오프 및 소프트 핸드오프 기법을 사용했을 때 기지국에 수신되는 이

동국의 신호 전력을 일정 기준치와 비교하여 그 이하로 떨어지는 확률로 계산하였다^{[4],[5]}. 셀 반경을 정규화 시켰을 때 소프트 핸드오프 기법을 사용하게 되면 하드 핸드오프 기법을 사용했을 때에 비해 더 작은 전력을 사용하므로 셀 커버리지를 더 확장시키는 것으로 분석되었다. 그러나 시스템이 로드(load) 되었을 때의 셀 커버리지는 섹터당 사용자 용량 및 특정 지형에 대한 사용자 분포에 의존한다. 따라서 실제 환경에 맞는 정확한 셀 커버리지를 분석하기 위해서는 전파음영에 따른 핸드오프 마진을 분석해야 하고, 실제 지형을 바탕으로 모델링한 전파모델을 사용하여 기지국에 수신되는 이동국의 신호 전력을 셀 커버리지에 대해 분석해야 한다.

본 논문은 전파음영 채널 환경에서 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템의 정확한 셀 커버리지를 계산한다. 먼저 전파음영 채널 환경에서 소프트 핸드오프 기법이 CDMA 셀 커버리지에 미치는 영향을 분석하기 위해 수신신호 전력의 표준편차와 차단 확률에 따른 하드 핸드오프 마진과 소프트 핸드오프 마진을 산출하고, 차단 확률에 따른 셀 커버리지 증가율을 계산한다. 또한 전파 모델로 Hata 모델을 사용하여 도심지역, 교외지역, 개방지역에서의 전파손실을 셀 커버리지에 따라 분석하고, 기지국에 수신되는 이동국의 신호 전력을 이용하여, 도심지역에서 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지를 (E_b/N_0)_{req}, 차단 확률 및 수신신호 전력의 표준편차에 따라 해석적으로 분석한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 핸드오프 기법에 의한 셀 커버리지 확장을 살펴보고, 3장에서 Hata 모델을 사용하여 소프트 핸드오프 기법이 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향을 분석한다. 4장에서 수치해석 결과를 제시하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. 핸드오프 기법에 의한 셀 커버리지 확장

일반적으로 하드 핸드오프 기법에 비해 소프트 핸드오프 기법을 사용하면 상대적으로 셀 커버리지가 확장된다. 이러한 소프트 핸드오프 기법의 이점

전파음영 채널 환경에서 소프트 핸드오프 기법이 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향

을 로그노말 분포된 전파음영 환경에서 거리에 따른 전력의 법칙으로 표현되는 전파감쇠 모델을 사용하여 분석한다.

전파 감쇠는 일반적으로 거리에 따른 전력의 법칙으로 표현되는 경로 손실과 전파 음영에 의한 감쇠를 나타내는 로그노말 성분의 곱으로 모델링 된다. 따라서 기지국으로부터 거리가 r 만큼 떨어진 사용자의 전파 감쇠는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[6].

$$\alpha(r, \zeta) = r^{-\mu} 10^{\zeta/10} \quad (1)$$

여기서 r 은 기지국과 이동국 사이의 거리를 나타내고, ζ 는 평균이 0이고 표준편차 $\sigma = 8$ dB 인 가우시안 랜덤변수이고, μ 는 경로 손실 지수를 나타내며, 일반적으로 2~5사이의 값을 가진다.

이동국이 소프트 핸드오프시에는 인접한 두 기지국의 신호를 서로 비교하여 더 양호한 신호를 선택한다. 이동국 주위의 전파음영 성분은 두 기지국에 대해 동일하지만, 두 기지국 주위의 전파음영 성분은 서로 독립적이다. 그러므로 i 번째 기지국에 대한 전파음영 성분 ξ_i 는 이동국 주위의 전파음영 성분 $a\xi$ 와 기지국 주위의 전파음영 성분 $b\xi_j$ 의 합으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\zeta_i = a\xi + b\xi_j, \quad a^2 + b^2 = 1 \quad (2)$$

여기서 기지국 주위 환경과 이동국 주위 환경이 동일하다고 가정하면 $a=b=1/\sqrt{2}$ 로 놓을 수 있다. 또한 ξ_j 가 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 랜덤변수이므로, ξ 와 ξ_j 또한 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 랜덤변수이다. 따라서 i 와 j 번째 기지국에 대한 전파음영 성분 ξ_i 와 ξ_j 에 대한 상관계수는 다음과 같다.

$$\rho = \frac{E(\xi_i \xi_j)}{\sigma_{\xi_i} \sigma_{\xi_j}} = a^2 = 1 - b^2, \quad -1 \leq \rho \leq 1 \quad (3)$$

2-1 하드 및 소프트 핸드오프

본 논문에서 사용하는 차단 확률은 기지국에 수신되는 이동국 신호의 채널 감쇠가 기준 값 이상일

될 확률로 P_{out} 으로 표현하였다. 하드 핸드오프가 정확히 육각형 셀의 가장 자리에서 발생하고, 셀 경계에 위치한 이동국으로부터 기지국까지의 거리를 r_i 라고 했을 때 기지국에 수신되는 이동국 신호의 전파 감쇠에 대한 차단 확률은 다음과 같이 표현할 수 있다^[7].

$$\begin{aligned} P_{out} &= \Pr(10\mu \log r_i + \zeta_i > M) \\ &= \int_{M-10\mu \log r_i}^{\infty} P(\zeta_i) d\zeta_i = Q\left(\frac{M-10\mu \log r_i}{\sigma}\right) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 M 은 셀룰러 시스템에서 셀 경계부근에 위치한 이동국이 더 전송해야 하는 전력의 크기(dB)이다. 또한 $Q(\cdot)$ 는 다음과 같이 정의된 함수이다.

$$Q(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] dx \quad (5)$$

또한, 소프트 핸드오프는 인접한 두 셀이 중첩되어있는 셀 경계 부근에서 발생하며, 소프트 핸드오프 시에는 선택 다이버시티 기법이 이용된다. 따라서 두 셀 사이에서 소프트 핸드오프가 일어나는 경우의 차단 확률은 두 기지국으로부터 수신되는 신호의 채널 감쇠중 가장 작은 것이 기준값 보다 크게 될 확률로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= \Pr(\text{Min}[10\mu \log r_i + \zeta_i, 10\mu \log r_j + \zeta_j] > M) \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp\left[-\frac{x^2}{2}\right] \cdot \left(Q\left(\frac{M-aax}{b\sigma}\right)\right)^2 dx \end{aligned} \quad (6)$$

III. 소프트 핸드오프 기법을 고려한 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지

3-1 거리에 따른 전파손실 및 Hata 전파모델

일반적으로 전파 손실 값이 최대가 되는 지점은 셀 경계 부분 ($d_{km} = R_{km}$)으로 링크의 거리가 셀 반경이 되며 R_{km} 로 표시한다. 즉, 최대 전파손실을 셀 반경의 값으로 표현할 수 있다. 주파수, 안테나 높이 등과 같은 특정한 파라미터들이 주어졌을 때 거리에 따른 전파손실은 다음과 같다^[8].

$$L(d_{km}) = L_{f_{min}} + 10\mu \log_{10}(d_{km}) \quad (7)$$

여기서 d_{km} 는 전파 도달 거리, $L(d_{km})$ 는 거리에 따른 전파 손실, $L_{f_{min}}$ 는 전파 모델, μ 는 경로 손실 지수를 나타낸다. 따라서 거리에 따른 전파 손실은 전파 모델에 따라 각각 다른 형태로 감쇠 됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 도심 지역의 경로손실을 모델링하기 위해 Hata 모델을 사용했으며, 주파수 범위가 150~1,500 MHz에 적합한 모델이다. 그러나 1,900 MHz 대역에서 동작하는 시스템은 기존의 Hata 모델을 직접 적용하기보다는 전파 전파의 특성을 고려한 COST-231 Hata 모델을 적용하는 것이 바람직하다. 따라서 Hata 모델을 사용했을 경우, 셀 반경에 따른 전파손실은 다음과 같다^{[9],[10]}.

$$R_{f_{min,1}} \text{ km} = \exp\left(\frac{2.3026}{44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)}\right) [L_{\max} - 68.75 - (27.72 - (1.1h_m)) \log_{10}(f_{MHz,1}) + 13.82 \log_{10}(h_b) - (0.7h_m) - K] \quad (8)$$

$$R_{f_{min,2}} \text{ km} = \exp\left(\frac{2.3026}{44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)}\right) [L_{\max} - 45.5 - (35.46 - (1.1h_m)) \log_{10}(f_{MHz,2}) + 13.82 \log_{10}(h_b) - (0.7h_m) - K] \quad (9)$$

여기서 $f_{MHz,1}$ 과 $f_{MHz,2}$ 는 각각 850 MHz, 1,900 MHz의 주파수를 나타내고, h_b 는 기지국 안테나 높이로 30 m, h_m 은 이동국 안테나 높이로 1.5 m로 가정한다. 또한 K 는 교외 지역이나 개방 지역의 무선 전파 환경을 보정해 주는 계수로 도심 지역에서는 0, 교외 지역에서는 $(2[\log_{10}(f_{MHz}/28)]^2 + 5.4)$, 개방 지역에서는 $(4.78(\log_{10}(f_{MHz}))^2 - 18.33 \log_{10}(f_{MHz}) + 40.94)$ 이다. 이동국의 안테나 높이 보정계수 $a(h_m) = (1.1 \log_{10}(f_{MHz}) - 0.7)(h_m) - (1.56 \log_{10}(f_{MHz}) - 0.8)$ 이고, 경로 손실 지수는 $10\mu = (44.9 - 6.55 \log_{10}(h_b)) \log_{10}(d_{km})$ 이다. 따라서 Hata 모델을 사용했을 경우, 셀 반경에 따른 전파손실은 다음과 같다.

여기에 각 환경에 맞는 K 값을 대입하면 도심 지역, 교외 지역, 개방 지역에서의 전파 손실을 거리에 따라 구할 수 있다.

3-2 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지

이동국과 기지국의 선로손실, 안테나 이득, 이동국이 빌딩 내에 있을 경우 등 추가적인 신호 감쇠를 고려하여 신호 전력을 셀 반경에 대한 식으로 바꾸어 셀 커버리지와 사용자 용량과의 관계를 분석한다. 간섭이 존재하지 않을 때 기지국 수신기에 수신되는 단일 CDMA 사용자의 최소 신호전력을 P_s , 간섭이 존재할 때 기지국 수신기에 수신되는 신호 전력을 P_s 라 할 때 P_s 와 P_s' 은 다음과 같은 관계를 가진다.

$$\frac{P_s}{\sigma^2 + I_T} = \frac{P_s'}{\sigma^2} \quad \text{또는} \quad \frac{P_s}{P_s'} = \frac{\sigma^2 + I_T}{\sigma^2} \quad (10)$$

여기서 σ^2 은 잡음 전력, I_T 는 동일 셀 내에서의 다중접속 간섭과 주변셀로부터 받는 다중접속 간섭을 더한 전체 간섭 전력을 나타낸다. 따라서 P_s' (dBm)은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s' \text{ (dBm)} = \left(\frac{E_b}{N_0}\right)_{req} \text{ (dB)} + N_0 \text{ (dBm/Hz)} + W \text{ (dBHz)} - PG \text{ (dB)} - G_{SH} \text{ (dB)} \quad (11)$$

여기서 N_0 (dBm/Hz)는 배경잡음 전력, W (dBHz)는 확산 대역폭, PG (dB)는 처리이득을 나타내며, 일반적으로 기지국 수신기에서의 잡음 전력은 -169.0 dBm/Hz이다. G_{SH} (dB)는 소프트 핸드오프 이득을 나타낸다. 그리고 링크의 신뢰도를 높였을 때 기지국 수신기에 수신되는 P_s (dBm)은 차단 확률 및 수신신호 전력의 표준편차에 따라 $(E_b/N_0)_{req}$ 에 소프트 핸드오프 마진을 더해 주어 다음과 같이 나타낼 수 있다^[4].

$$P_s \text{ (dBm)} = P_s' \text{ (dBm)} + M_{SH} \text{ (dB)} - 10 \log_{10}\left(1 - \frac{N}{N_{\max}}\right) \quad (12)$$

여기서 N_{\max} 는 섹터당 최대 사용자 용량을 의미한다. 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 IS-95 CDMA

전파음영 채널 환경에서 소프트 핸드오프 기법이 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향

셀룰러 시스템에서 통화 용량에 영향을 미치는 대표적인 요소들로는 처리이득, 음성 활동을, 주변셀 간섭, 수신신호 전력의 표준편차 등이 있으며, 이러한 요소들을 고려했을 때의 역방향 링크 용량은 다음과 같이 나타낼 수 있다^{[11],[12]}.

$$N_{\max} = \frac{(W/R)}{(E_b/N_0)_{\text{req}}(1+f)\alpha} \cdot \frac{1}{\exp[\beta M_{SH}(\text{dB})]} \quad (13)$$

여기서 f 는 간섭보정 계수로 두 셀 사이에서 소프트 핸드오프가 발생할 때 주변셀 전체 수신신호 전력을 동일 셀 전체 수신신호 전력으로 나눈 값이며, 본 논문에서는 [13]에서와 같이 $\mu=4$ 이고, 수신신호 전력의 표준편차가 8 dB인 로그노말 분포된 전파음영 환경으로 가정하여 $f=0.77$ 로 가정한다. 그리고 $\beta = \ln 10/10$ 이다. α 는 역방향 링크 평균 음성 활동을이고, CDMA 셀룰러 시스템은 9개의 FA를 사용한다. 또한 링크의 신뢰도를 높이기 위해서 $(E_b/N_0)_{\text{req}}$ 값에 차단 확률 및 수신신호 전력의 표준편차에 따른 소프트 핸드오프 마진을 더해 최대 통화 사용자 수를 산출한다^[14]. 또한 기지국에 수신되는 이동국의 신호 전력은 표 1의 역방향 링크 전력 버짓 파라미터를 사용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Ps(\text{dBm}) = P_R(\text{dBm})|_{\text{no loss}} - L_{\max} \quad (14)$$

여기서 $P_R(\text{dBm})|_{\text{no loss}}$ 는 전파손실이 없을 때 기지국에 수신되는 이동국의 송신전력을 의미하며, 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$P_R(\text{dBm})|_{\text{no loss}} = P_m - L_m + G_m - L_p - L_b + G_c - L_c \quad (15)$$

그러므로 역방향 링크 최대 전파손실 L_{\max} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$L_{\max} = P_R(\text{dBm})|_{\text{no loss}} - \left[Ps'(\text{dBm}) + M_{SH}(\text{dB}) - 10 \log_{10} \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right) \right] \quad (16)$$

이러한 역방향 링크 최대 전파손실을 셀 반경에

표 1. CDMA 역방향 링크에 대한 전력 버짓 파라미터

Table 1. Power budget parameter for CDMA reverse link.

파라미터	심볼	값
이동국 송신기 전력	P_m	23 dBm
이동국 선로 손실	L_m	0 dB
이동국 안테나 이득	G_m	2.1 dBi
이동국안테나 방위손실	L_p	3 dB
빌딩투과 손실	L_b	10 dB
기지국 안테나 이득	G_c	14.1 dBi
기지국 선로 손실	L_c	2 dB

대한 식으로 변환하면 다음과 같다.

$$R(\text{dB}_{\text{km}}) = 10 \log_{10}(R_{\text{km}}) = \frac{L_{\max} - L_{f_{\text{min}}}}{\mu} = \frac{1}{\mu} \left[P_R(\text{dBm})|_{\text{no loss}} - Ps'(\text{dBm}) - M_{SH}(\text{dB}) + 10 \log_{10} \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right) - L_{f_{\text{min}}} \right] \quad (17)$$

전파 손실이 없을 때 기지국에 수신되는 이동국의 신호전력은 표 1로부터 구할 수 있으므로, 도심 환경에서 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지는 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 각각 850 MHz 및 1,900 MHz일 때 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{f_{\text{min}1}}(\text{km}) = 6.09 \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right)^{0.284} \cdot \left[10^{\frac{1}{10} \cdot \left(\left(\frac{E_s}{N_0} \right) + M_{SH} - G_{SH} \right)} \right]^{-0.284} \quad (18)$$

$$R_{f_{\text{min}2}}(\text{km}) = 2.50 \left(1 - \frac{N}{N_{\max}} \right)^{0.284} \cdot \left[10^{\frac{1}{10} \cdot \left(\left(\frac{E_s}{N_0} \right) + M_{SH} - G_{SH} \right)} \right]^{-0.284} \quad (19)$$

IV. 수치 해석

본 논문은 소프트 핸드오프 기법에 의한 셀 커버리지 확장을 기지국에 수신되는 이동국의 신호 전력을 바탕으로 분석하였다. 실제 환경에 맞는 셀 커

표 2. 수신신호 전력의 표준편차와 차단 확률에 따른 핸드오프 마진값

Table 2. Handoff margin by standard deviation of the received signal and outage probability.

P_{out}	하드 핸드오프 마진 (M_{HH} (dB))		소프트 핸드오프 마진 (M_{SH} (dB))		소프트 핸드오프 이득 (G_{SH} (dB))		셀 커버리지 증가율
	$\sigma = 8$	$\sigma = 2.5$	$\sigma = 8$	$\sigma = 2.5$	$\sigma = 8$	$\sigma = 2.5$	
0.1	10.25	3.20	6.16	1.93	4.09	1.27	1.66
0.05	13.16	4.11	8.96	2.80	4.20	1.31	1.46
0.02	16.43	5.13	11.76	3.68	4.67	1.45	1.39

버리지를 분석하기 위해 도심지역의 경로 손실을 모델링한 Hata 모델을 사용하여 신호 전력을 셀 커버리지에 대해 계산하였고, 링크의 신뢰도를 높이기 위해 차단 확률 및 수신신호 전력의 표준편차에 따라 $(E_b/N_0)_{req}$ 에 소프트 핸드오프 마진을 더해 주었다. 또한 기지국에 수신되는 이동국의 신호 전력은 CDMA 역방향 링크 전력 버짓 파라미터를 사용하여 계산하였다.

표 2는 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템에서 셀 경계에 위치한 이동국이 특정 차단 확률을 만족하기 위해 더 전송해야 하는 전력의 크기를 하드 핸드오프 기법을 사용했을 경우와 비교하여 보여주고 있다. 하드 및 소프트 핸드오프 마진은 차단 확률을 이용하여 기지국에 수신된 이동국의 신호 세기를 일정 기준치와 비교하여 그 이하로 떨어지는 확률로 계산하였다. 로그노말 분포된 전파음영 환경에서 차단 확률이 0.02이고, 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB이면, 하드 핸드오프 마진은 5.13 dB, 소프트 핸드오프 마진은 3.68 dB가 된다. 따라서 동일한 크기의 셀에서 하드 핸드오프 기법에 비해 소프트 핸드오프 기법을 사용하게 되면 상대적으로 더 작은 전력이 요구됨을 알 수 있다. 또한 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때의 소프트 핸드오프 이득은 1.27~1.45 dB이고, 수신신호 전력의 표준편차가 8 dB일 때의 소프트 핸드오프 이득은 4.09~4.67 dB가 되어 수신신호 전력의 표준편차가 8 dB일 때의 소프트 핸드오프 이득이 2.82~3.22 dB 만큼 더 크게 됨을 알 수 있다. 그리고 차단 확률이 0.1일 때의 셀 커버리지 증가율은 1.66이고, 차단 확률이 0.02 일 때의 셀 커버리지 증가율은 1.39가 되어 차단 확률이 0.1에서 0.02로 작

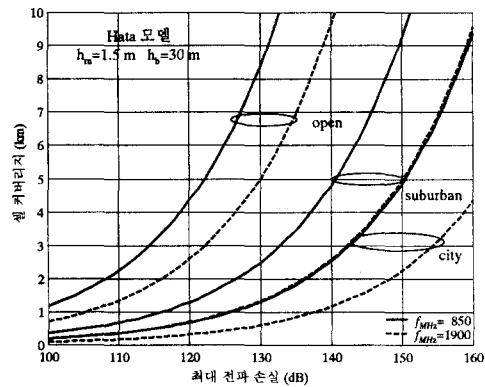


그림 1. 도심 지역, 교외 지역, 개방 지역에서 850 MHz 주파수와 1,900 MHz 주파수에 대한 셀 커버리지 대 최대 전파손실

Fig. 1. Cell coverage versus maximum propagation loss for 850 MHz and 1,900 MHz, with city, suburban and open area.

아짐에 따라 셀 커버리지 증가율이 0.27 만큼 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 1은 Hata 모델을 사용했을 때 도심 지역, 교외 지역, 개방 지역에서의 전파 손실을 셀 커버리지에 따라 나타내고 있다. 이때 셀룰러 대역폭의 중심 주파수는 각각 850 MHz 와 1,900 MHz를 사용하였다. 이동국과 기지국의 안테나 높이를 각각 1.5 m, 30 m라고 가정할 때 도심 지역에서의 전파손실이 제일 크고, 교외 지역, 개방 지역의 순서로 전파 손실이 크게 된다. 또한 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 850 MHz일 때 도심 지역에서의 전파손실과 1,900 MHz일 때 교외 지역에서의 전파손실은 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 그리고 주파수에 따른 셀 커버리지를 살펴보면, 셀룰러 대역폭의 중심 주

전파음영 채널 환경에서 소프트 핸드오프 기법이 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향

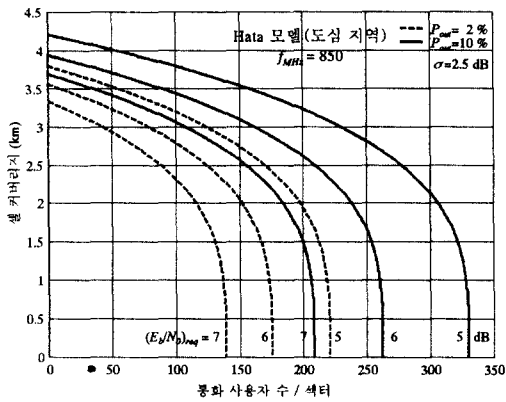


그림 2. $(E_b/N_o)_{req}$ 에 따른 CDMA 셀 커버리지 대 섹터당 통화 사용자 수 ($f_{MHz} = 850$)
 Fig. 2. CDMA cell coverage versus the number of active users, as a function of $(E_b/N_o)_{req}$. ($f_{MHz} = 850$).

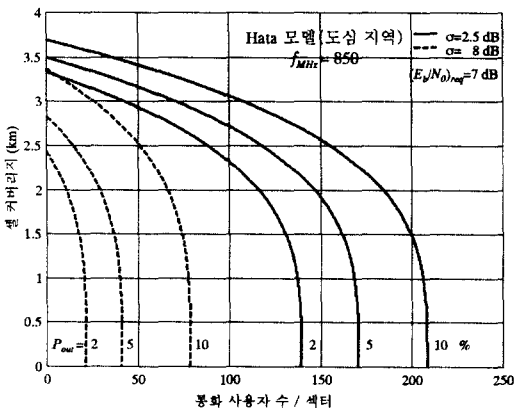


그림 3. 차단 확률에 따른 CDMA 셀 커버리지 대 섹터당 통화 사용자 수 ($f_{MHz} = 850$)
 Fig. 3. CDMA cell coverage versus the number of active users, as a function of outage probability. ($f_{MHz} = 850$)

파수가 1,900 MHz인 경우에 비해 850 MHz일 때의 전파손실이 작으므로, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 850 MHz일 때 셀 커버리지가 더 크게 되는 것을 알 수 있다.

그림 2와 그림 3은 소프트 핸드오프 기법이 9.6 kbps의 음성 부호화 율로 850 MHz 대역에서 동작하는 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치

는 영향을 나타내고 있다.

CDMA 셀룰러 시스템에서, 모든 이동국은 역방향 링크 통화 채널을 유지하기 위한 최소 전력만을 송신하도록 해당 기지국에 의해 전력제어 된다. 전력제어 방법으로는 개루프 전력제어와 폐루프 전력제어가 있으며, 폐루프 전력제어는 순방향 링크와 역방향 링크의 경로손실이 같다는 가정 하에서 이루어지는 개루프 전력제어 방식의 부정확성을 개선하기 위해 기지국이 수신한 이동국의 신호 세기를 1.25 ms 마다 이동국에게 알려 기지국에 도달하는 신호의 세기가 일정하도록 이동국의 출력을 제어하는 방식이다. 그러나 이러한 전력제어에도 불구하고 불안정한 채널 환경이나 이동국의 빠른 이동으로 인해 전력제어 오차가 발생하게 되고, 이동국으로부터 기지국에 수신되는 신호 전력은 로그노말 분포를 하게 된다. 여기서 전력제어 오차는 로그노말 분포를 하는 신호의 표준편차를 의미한다. 따라서 셀 커버리지를 분석함에 있어서 불완전한 전력제어로 인한 전력제어 오차를 고려해야만 한다.

그림 2는 도심지역에서 Hata 모델을 사용하고, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 850 MHz 일 때 $(E_b/N_o)_{req}$ 값에 따른 셀 커버리지와 섹터당 통화 사용자 수를 나타내고 있다. 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB 일 때 차단 확률이 0.1인 경우와 0.02인 경우로 나누어 나타내었다. $(E_b/N_o)_{req} = 7$ dB일 때 차단 확률이 0.1이면 셀 커버리지는 3.69 km가 되고, 차단 확률이 0.02이면 셀 커버리지는 3.33 km가 된다. 따라서 차단 확률이 0.1일 때 셀 경계부근에서 더 전송해야 하는 전력이 작으므로 셀 커버리지는 0.36 km 만큼 증가한다. 또한 차단 확률이 0.02일 때 $(E_b/N_o)_{req} = 7$ dB이면 셀 커버리지는 3.33 km, $(E_b/N_o)_{req} = 6$ dB이면 3.55 km, $(E_b/N_o)_{req} = 5$ dB이면 3.79 km가 되어 $(E_b/N_o)_{req}$ 값이 7 dB에서 6 dB, 5 dB로 감소함에 따라 셀 커버리지는 각각 0.22 km, 0.46 km 만큼 감소하는 것을 알 수 있다.

그림 3은 도심지역에서 Hata 모델을 사용하고, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 850 MHz 일 때 차단 확률에 따른 CDMA 셀 커버리지와 섹터당 통화 사용자 수를 나타내고 있다. $(E_b/N_o)_{req} = 7$ dB일 때 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB인 경우와 8

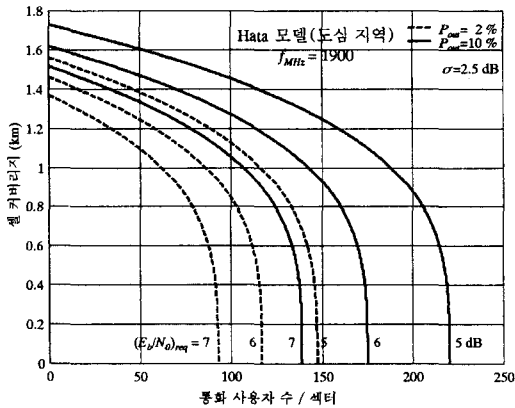


그림 4. $(E_b/N_o)_{req}$ 에 따른 CDMA 셀 커버리지 대 섹터당 통화 사용자 수 ($f_{MHz} = 1900$)

Fig. 4. CDMA cell coverage versus the number of active users, as a function of $(E_b/N_o)_{req}$. ($f_{MHz} = 1900$).

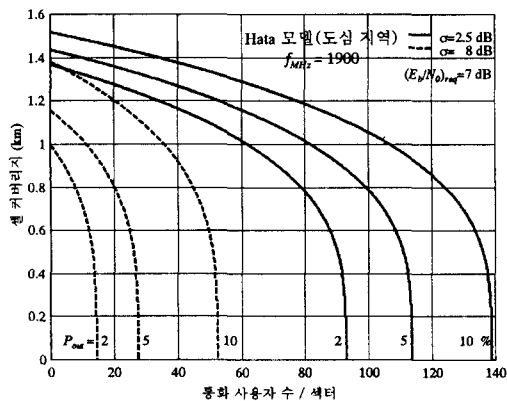


그림 5. 차단 확률에 따른 CDMA 셀 커버리지 대 섹터당 통화 사용자 수 ($f_{MHz} = 1900$)

Fig. 5. CDMA cell coverage versus the number of active users, as a function of outage probability. ($f_{MHz} = 1900$)

dB인 경우로 나누어 나타내었다. 차단 확률이 0.02일 때 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB이면 셀 커버리지는 3.33 km가 되고, 수신신호 전력의 표준편차가 8 dB이면 셀 커버리지는 2.42 km가 된다. 따라서 차단 확률이 0.02이고 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때 셀 경계부근에서 더 전송해야

하는 전력이 작으므로 셀 커버리지는 0.91 km 만큼 증가한다. 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때 차단 확률이 0.1이면 셀 커버리지는 3.69 km, 차단 확률이 0.05이면 3.49 km, 차단 확률이 0.02이면 3.33 km가 되어 차단 확률이 0.1에서 0.05, 0.02로 작아짐에 따라 셀 커버리지는 각각 0.2 km, 0.36 km 만큼 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 소프트 핸드오프 이득으로 인해 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때 차단 확률에 따른 셀 커버리지 변화를 보다 수신신호 전력의 표준편차가 8 dB일 때 차단 확률에 따른 셀 커버리지 변화율이 더 크게 된다. 따라서 수신신호 전력의 표준편차가 클수록 차단 확률에 따라 셀 커버리지가 심하게 변하는 것을 알 수 있다.

그림 4와 그림 5는 소프트 핸드오프 기법이 14.4 kbps의 음성 부호화율로 1,900 MHz 대역에서 동작하는 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향을 나타내고 있다.

그림 4는 도심지역에서 Hata 모델을 사용하고, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 1,900 MHz 일 때 $(E_b/N_o)_{req}$ 값에 따른 셀 커버리지와 섹터당 통화 사용자 수를 나타내고 있다. 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB 일 때 차단 확률이 0.1인 경우와 0.02인 경우로 나누어 나타내었다. $(E_b/N_o)_{req} = 7$ dB일 때 차단 확률이 0.1이면 셀 커버리지는 1.51 km이고, 차단 확률이 0.02이면 셀 커버리지는 1.36 km가 되어 차단 확률이 0.1일 때 셀 경계부근에서 더 전송해야 하는 전력이 작으므로 셀 커버리지는 0.15 km 만큼 증가한다. 또한 차단 확률이 0.1이고 $(E_b/N_o)_{req} = 7$ dB이면, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 1,900 MHz일 때의 셀 커버리지가 1.51 km가 되어, 850 MHz일 때의 셀 커버리지는 3.69 km인 것에 비해 2.18 km 만큼 셀 커버리지가 감소하게 된다. 차단 확률이 0.02일 때 $(E_b/N_o)_{req} = 7$ dB이면 셀 커버리지는 1.36 km, $(E_b/N_o)_{req} = 6$ dB이면 1.46 km, $(E_b/N_o)_{req} = 5$ dB이면 1.55 km가 되어 $(E_b/N_o)_{req}$ 값이 1 dB 증가함에 따라 셀 커버리지는 약 0.1 km만큼씩 감소함을 알 수 있다.

그림 5는 도심지역에서 Hata 모델을 사용하고, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 1,900 MHz 일 때 차단 확률에 따른 CDMA 셀 커버리지와 섹터당 통

화 사용자 수를 나타내고 있다. $(E_b/N_0)_{req} = 7$ dB 일 때 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB인 경우와 8 dB인 경우로 나누어 나타내었다. 차단 확률이 0.02일 때 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB이면 셀 커버리지는 1.36 km가 되고, 수신신호 전력의 표준편차가 8 dB이면 셀 커버리지는 0.99 km가 된다. 따라서 차단 확률이 0.02이고 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때 셀 경계부근에서 더 전송해야 하는 전력이 작으므로 셀 커버리지는 0.37 km 만큼 증가한다. 그러므로 차단 확률이 0.02인 경우, 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB이고 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 850 MHz일 때의 셀 커버리지가 3.33 km인 것에 비해 1,900 MHz일 때의 셀 커버리지는 1.36 km가 되어 1.97 km 만큼 셀 커버리지가 감소하게 된다. 또한 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때 차단 확률이 0.1이면 셀 커버리지는 1.51 km, 차단 확률이 0.05이면 1.43 km, 차단 확률이 0.02이면 1.36 km가 되어 차단 확률이 0.1에서 0.05, 0.02로 작아짐에 따라 셀 커버리지는 각각 0.08 km, 0.015 km 만큼 감소하므로, 차단 확률에 따른 셀 커버리지는 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

V. 결 론

셀룰러 시스템에서 기지국의 커버리지는 이동국이 기지국과 통화를 할 때 기지국 수신기에서 요구하는 신호 레벨을 만족하는 지역적인 영역을 말하며, 각 셀룰러 기지국의 커버리지에 따라 특정 지역에서 서비스를 제공하기 위해서 얼마나 많은 기지국이 필요한지를 결정할 수 있다.

본 논문은 도심지역의 경로 손실을 모델링한 Hata 모델을 사용하여 소프트 핸드오프 기법이 9.6 kbps 및 14.4 kbps의 음성 부호화율로 850 MHz 및 1,900 MHz 대역에서 동작하는 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 미치는 영향을 분석하였다. 보다 정확한 분석을 위해 850 MHz 대역에서 동작하는 CDMA 셀룰러 시스템에 대해서는 기존의 Hata 모델을 직접 적용했고, 1,900 MHz 대역에서 동작하는 시스템에 대해서는 COST-231 Hata 모델을 적용했다.

도심지역에서 소프트 핸드오프 기법을 사용하는

CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지를 분석한 결과, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 850 MHz 이고 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB, 차단 확률이 2%일 때 $(E_b/N_0)_{req}$ 값이 7 dB, 6 dB, 5 dB로 감소함에 따라 셀 커버리지는 각각 3.33 km, 3.55 km, 3.79 km로 증가하고, 같은 조건에서 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 1,900 MHz 이면 $(E_b/N_0)_{req}$ 값에 따른 셀 커버리지는 각각 1.36 km, 1.46km, 1.55 km가 되어, 1.97~2.24 km 만큼 셀 커버리지가 감소하는 것을 알 수 있었다. 수신신호 전력의 표준편차에 따른 셀 커버리지를 살펴보면, 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 850 MHz이고 $(E_b/N_0)_{req}$ 값이 7 dB, 차단 확률이 2%이면 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때의 셀 커버리지는 3.33 km이고, 8 dB일 때의 2.42 km가 되어 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때 0.91 km 만큼 셀 커버리지가 증가하는 것을 알 수 있었다. 동일한 조건에서 셀룰러 대역폭의 중심 주파수가 1,900 MHz이면, 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때의 셀 커버리지는 1.36 km이고, 8 dB일 때의 셀 커버리지는 0.99 km가 되어 수신신호 전력의 표준편차가 2.5 dB일 때 0.37 km 만큼 셀 커버리지가 증가하는 것을 알 수 있었다.

본 연구 결과는 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템의 기지국 설계시 최적의 셀을 설계하기 위한 이론적인 근거로 사용할 수 있으며, 향후 계층 셀 환경하에서 소프트 핸드오프 기법을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템의 셀 커버리지에 대한 연구를 계속 할 예정이다.

참 고 문 헌

- [1] F. Ling, R. Love, M. M. Wang, T. Brown, P. Fleming, and Hua Xu, "Behavior and performance of power controlled IS-95 reverse-link under soft handoff", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 49, no. 5, pp. 1697-1704, September 2000.
- [2] V. V. Veeravalli and A. Sendonaris, "The coverage-capacity tradeoff in cellular CDMA

- systems”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 48, no. 5, pp. 1443-1450, September 1999.
- [3] M. Chopra, K. Rohani, and J. D. Reed, “Analysis of CDMA range extensions due to soft handoff”, *IEEE 44th Vehicular Technology Conference*, vol. 2, pp. 917-921, July 1995.
- [4] C. Wheatley, “Trading coverage for capacity in cellular systems: A systems perspective”, *Microwave Journal*, vol. 38, no. 7, pp. 62-76, July 1995.
- [5] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen, and E. Zehavi, “Soft handoff extends CDMA cell coverage and increase reverse link capacity”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 12, no. 8, pp. 1281-1288, October 1994.
- [6] W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications Systems*, McGraw-Hill, Second Edition, 1995.
- [7] M. Abramowitz and I. A. Stegun, editors, *Handbook of Mathematical Functions, National Bureau of Standards Applied Mathematics Series 55*, Government Printing Office, Washington, 1982.
- [8] S. R. Saunders, *Antennas and Propagation for Wireless Communication Systems*, John Wiley & Sons, 1999.
- [9] M. Hata, “Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 29, no. 3, pp. 317-325, August 1980.
- [10] ANSI J-STD-008, Personal Station-Base Station Compatibility Requirements for 1.8 to 2.0 GHz Code Division Multiple Access(CDMA) Personal Communications Systems, 1995.
- [11] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs, R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, and C. A. Wheatley, “On the capacity of a cellular CDMA system”, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 40, no. 2, pp. 303-312, May 1991.
- [12] R. Padovani, “Reverse link performance of IS-95 based cellular systems”, *IEEE Personal Communications*, vol. 1, pp. 28-34, 3rd quarter 1994.
- [13] A. J. Viterbi and A. M. Viterbi, “Other-cell interference in cellular power-controlled CDMA”, *IEEE Transactions on Communications*, vol. 42, no. 2, pp. 1501-1504, February 1994.
- [14] B. Sklar, *Digital Communications Fundamentals and Applications*, Prentice Hall, Second Edition, 2001.

오 현 규



1999년: 충주대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 2001년: 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
 [주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템

김 항 래



1995년: 청주대학교 전자공학과(공학사)
 1997년: 청주대학교 전자공학과(공학석사)
 1997년~1997년: 한국전자통신연구원 위촉연구원
 1999년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사수료

[주 관심분야] 디지털 이동통신, 무선시스템

김 남



1981년: 연세대학교 전자공학과

(공학사)

1983년: 연세대학교 전자공학과 (공

학석사)

1988년: 연세대학교 전자공학과

(공학박사)

1992년~1993년: 미 Stanford 대학

방문교수

2000년~2001년: 미 California Technology Institute (Caltech)

방문교수

1989년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 교수

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