

Cell loading이 DS-CDMA 셀룰러 시스템의 소프트 핸드오프에 미치는 영향

정희원 김경민*, 김남수**

Effect of a cell loading on the soft handoff of a DS-CDMA cellular system

Kyung-min Kim*, Nam-soo Kim** *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 수신된 신호의 세기를 기준으로 핸드오프를 수행하는 기존의 방식에서 야기되는 단점 - 통화 품질의 저하, 시스템의 용량 감소, 불필요한 전력소모 등 - 을 보완하고, 보다 효율적으로 핸드오프를 수행하기 위해 파일럿 채널의 신호 대 간섭 비, 즉 칩 에너지 대 간섭 전력 비를 기준으로 핸드오프 수행 여부를 결정하는 방식을 제안하였다. 또한, 통화가 이루어질 수 있는 최소 임계치, 사용중인 통화 채널의 수와 전체 통화 채널 수의 비로 나타나는 셀 로딩, 그리고 DS-CDMA 시스템의 순방향 링크 네 개 채널 중 파일럿 채널에 할당된 전력 비등을 변화시켰을 때 히스테리시스 레벨에 따라 이동체가 한 기지국에서 다른 기지국으로 이동하는 동안 발생하는 평균 핸드오프 수를 분석하였다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed a handoff decision method based on signal-to-interference ratio(SIR) of the pilot channel in order to perform a handoff more effectively and to complement disadvantages - deterioration quality of a call, decreasing capacity of the system, and wasting power of the mobile station - which is caused when handoff is performed by the classical method that execute a handoff based on received signal strength. Moreover, when we change that the minimum threshold, the cell loading which is defined active traffic channels to total traffic channels ratio, and the fraction of the transmit power from base station allocated to the pilot channel on the forward link of a DS-CDMA system, we analyzed mean numbers of handoff depending on hysteresis level during the mobile station moving from one base station to another base station.

I. 서 론

이동통신의 품질을 개선하거나 유지하기 위한 방법으로 이동 중에 수신 감도가 떨어진다거나 통화가 끊기지 않도록 하는 핸드오프는 이동통신 서비스의 필수적인 요소이다. 하지만 지금까지 제안된

핸드오프 방식들은 이동체에서 수신한 수신 신호의 세기를 기준으로 LCR(Level Crossing Rate), 히스테리시스 레벨과 통화가 이루어질 수 있는 최소 임계치 사이의 조건부 확률 또는 이동체의 진행방향 등을 조건으로 하여 핸드오프 수행 여부를 결정하였다^[1].

실제로 이동체에서 수신되는 신호에는 우리가 원

* (주) Nexipilot (kmkim@nexpilot.com)

** 청주대학교 첨단공학부(nskim@chongju.ac.kr)

논문번호 : 99412-1011, 접수일자 : 1999년 10월 11일

하는 신호뿐만 아니라 타 시스템이나 사용자로부터의 간섭과 시스템내의 잡음의 영향 또한 무시할 수 없는 부분으로 작용한다. 이러한 상황에서 수신된 신호의 세기만으로 핸드오프를 결정하게 되면, 시스템의 잡음의 영향은 무시한다 할지라도, 수신되는 간섭의 세기가 큰 경우, 특조한 신호의 품질은 매우 나쁨에도 불구하고 수신된 신호의 세기가 크다고 판단하여 핸드오프를 하지 않게 된다. 또는 반대의 경우, 즉 수신되는 신호의 세기가 비록 작은 경우라 할지라도 간섭파의 세기가 우리가 원하는 신호의 세기에 비해 매우 작을 경우에는 통화가 계속 유지될 수 있는데 반해 핸드오프를 수행하게 된다. 전자의 경우는 실제 핸드오프가 이루어져야 하는데 핸드오프를 하지 않는 경우로 통화품질의 저하를 초래하며, 후자의 경우는 불필요한 핸드오프의 발생으로 시스템 측면에서 용량의 저하를, 또한 단말기 측면에서는 그 만큼 불필요한 전력의 소모를 야기시킨다. 이것은 다시 말해, 수신 신호의 세기만으로 핸드오프를 결정하는 방식은 시스템 전체적으로 매우 비효율적임을 말하는 것이다.

따라서, 본 논문에서는 파일럿 채널의 신호 대 간섭 비(signal-to-interference ratio)를 핸드오프 수행 여부를 결정하는 기준으로 삼음으로써 원하는 신호 이외에 이동체에서 수신하게 되는 간섭의 영향을 고려하였다. 또한, 사용중인 통화채널의 수와 전체 통화채널 수의 비로 나타나는 셀 로딩(cell loading), 그리고 DS-CDMA 시스템의 순방향 링크 중 파일럿 채널에 할당되는 전력 비등을 변화시켰을 때 이동체가 한 기지국에서 다른 기지국으로 이동하는 동안 발생하는 평균 핸드오프 수를 분석하였다. 그리고, 이동체가 기지국의 통화영역에 있을 확률이 0.5이하로 떨어지는 지점으로 정의되는 crossover point^[1]의 변화를 분석하였으며, 평균 핸드오프 수와 crossover point 사이의 관계를 해석하였다. 이와 더불어 위의 결과를 바탕으로 셀 로딩과 파일럿 채널에 할당된 전력비가 DS-CDMA 시스템의 소프트 핸드오프에 어떠한 영향을 미치는지 분석하였다.

II절에서는 두 개의 기지국으로 이루어진 시스템 모델을 가정하였으며, III절에서는 가정한 시스템 모델을 바탕으로 이동체가 각각의 기지국으로부터 수신하는 파일럿 채널의 신호 대 간섭 비에 대한 평균과 분산을 구하였고, IV절에서는 III절에서 구해진 평균과 분산을 토대로 핸드오프 확률과 발생하는 핸드오프 수를 구하였다. 그리고, V절에서는 그에 따른 수치해석 결과를 그래프와 함께 설명하였으며,

마지막으로 VI절에서 본 논문의 결론을 내렸다.

II. 시스템 모델

N개의 기지국으로 이루어진 DS-CDMA 시스템의 순방향 링크가 통화채널과 파일럿 채널로만 이루어졌다고 가정^[2]하였을 때, 이동체가 i번째 기지국으로부터 수신하는 파일럿 채널의 SIR (Signal-to-interference ratio)은 다음과 같이 주어진다^[5-7].

$$\left(\frac{E_c}{I_0}\right)_i = \frac{\beta P_i}{(1-\beta) x_i P_i + \sum_{j=0, j \neq i}^{N-1} \{\beta + (1-\beta) x_j\} P_j} \quad (1)$$

여기서 $i=0, 1, \dots, N-1$, β 는 파일럿 채널에 할당된 전력 비이고 x_i 는 i번째 기지국내에서 사용중인 통화채널과 전체 통화채널 수의 비로 정의되는 셀 로딩이다. 그리고, $P_i = 10^{P_i[\text{dB}]/10}$ 은 i번째 기지국으로부터 수신한 전력으로 대수-정규(log-normal) 확률 분포를 하고, 여기서 $P_i[\text{dB}]$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$P_i[\text{dB}] = P_{\text{min}} - \gamma \cdot 10 \log(d) + u(d) \quad (2)$$

여기서, P_{min} 은 기지국의 송신전력[dB]이고, γ 는 경로손실 지수, d 는 기지국과 이동체 사이의 거리를 나타낸다. $u(d)$ 는 대수-정규 페이딩(fading)의 영향을 나타낸 것으로 서로 독립이고, 평균이 0이며 표준편차가 σ 인 Gaussian 확률 분포를 갖고, 이들의 자기상관(auto-correlation)은 지수함수 형태로 가정한다^[4].

$$E[u(d_1)u(d_2)] = \sigma^2 \exp(-|d_1 - d_2|/d_0) \quad (3)$$

여기서, d_0 는 거리에 따라 지수함수가 얼마나 빨리 감소하는지를 결정하는 상관거리(correlation distance)이다.

이때, 두 개의 기지국으로 이루어진 시스템을 가정하고, 이동체가 기지국 A에서 기지국 B로 이동한다고 하면, 두 기지국으로부터 수신하는 파일럿 채널의 SIR, E_c/I_0 ,은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\left(\frac{E_c}{I_0}\right)_0 = \frac{\beta P_0}{(1-\beta) x_0 P_0 + \{\beta + (1-\beta) x_1\} P_1} \quad (4)$$

$$\left(\frac{E_c}{I_0}\right)_1 = \frac{\beta P_1}{(1-\beta) x_1 P_1 + \{\beta + (1-\beta) x_0\} P_0} \quad (5)$$

여기서, $(E_c/I_0)_0$ 는 기지국 A로부터 수신한 SIR이고, $(E_c/I_0)_1$ 은 기지국 B로부터 수신한 SIR이다. 그리고, P_0 와 P_1 은 각각 기지국 A, B로부터 수신된 전력, x_0 와 x_1 또한 각각 기지국 A 및 B의 셀 로딩이다.

III. 파일럿 채널의 SIR에 대한 평균과 분산

각각 대수정규 확률분포를 하는 두 개의 확률변수의 비율 또한 대수정규 확률분포를 하는 새로운 확률변수가 된다^[9-10]. 즉, 식 (4)와 (5)에서 분자항을 우리가 원하는 신호 전력으로 분모항을 간접 신호 전력으로 생각하면, 이들은 대수정규 확률분포를 하고, 이것의 비율 즉, E_c/I_0 또한 대수정규 확률분포를 한다. 따라서, 원하는 신호 전력의 평균과 표준편차를 m_d, σ_d 그리고, 간접파의 평균과 표준편차를 m_i, σ_i 라고 하고, 두 기지국 A와 B로부터 수신한 파일럿 채널의 SIR에 대한 평균과 표준편차를 $m_a, \sigma_a, m_b, \sigma_b$ 라고 하면, 다음과 같이 두 기지국으로부터 수신한 E_c/I_0 의 평균과 분산을 구할 수 있다^[6]. 먼저, 이동체가 기지국 A로부터 수신한 파일럿 채널의 SIR에 대한 평균과 분산은

$$m_a = E\left[\left(\frac{E_c}{I_0}\right)_0\right] = m_d - m_i \quad (6)$$

$$\sigma_a^2 = \text{Var}\left[\left(\frac{E_c}{I_0}\right)_0\right] = \sigma_d^2 + \sigma_i^2 \quad (7)$$

이고, 이때 분자항에 대한 평균(m_d)과 분산(σ_d^2)은 정규 분포와 대수정규 분포사이의 관계에 의해 다음과 같이 주어지고, 단위는 모두 네퍼(neper)이다.

$$m_d = E[\beta P_0] = \ln(\beta) + \alpha E[P_{0,av}] \quad (8)$$

$$\sigma_d^2 = \text{Var}[\beta P_0] = \alpha^2 \text{Var}[P_{0,av}] \quad (9)$$

여기서 $\alpha = \ln(10)/10$ 으로 데시벨과 네퍼 단위 사이의 관계이다.

다음, 분모항의 평균(m_i)과 분산(σ_i^2)은 서로 독립이고, 각각 대수정규 확률분포를 갖는 두 개의 확률 변수의 합에 대한 평균과 분산으로 생각할 수 있다. 그리고, 일반적으로 대수정규 페이딩의 표준편차는 4~12dB 정도의 값을 갖는다. 따라서 Schwartz와 Yeh가 제안한 방법^[7]을 사용하여 식 (10)과 (11)로 평균과 분산을 나타낼 수 있다.

$$m_i = m_{y1} + G_1(m_w, \sigma_w) \quad (10)$$

$$\sigma_i^2 = \sigma_{y1}^2 - G_1^2(m_w, \sigma_w) - 2\sigma_{y1}^2 G_3(m_w, \sigma_w) + G_2(m_w, \sigma_w) \quad (11)$$

여기서 $m_w = m_{y2} - m_{y1}$, $\sigma_w^2 = \sigma_{y1}^2 + \sigma_{y2}^2$ 이고, $m_{y1}, m_{y2}, \sigma_{y1}^2, \sigma_{y2}^2$ 은 각각 식 (12)~(15)와 같이 쓸 수 있으며, 식 (8)과 (9)를 구한 방법으로 구할 수 있다.

$$m_{y1} = E[(1-\beta)x_0 P_0] \quad (12)$$

$$m_{y2} = E\{\beta + (1-\beta)x_1\} P_1 \quad (13)$$

$$\sigma_{y1}^2 = \text{Var}[(1-\beta)x_0 P_0] \quad (14)$$

$$\sigma_{y2}^2 = \text{Var}\{\beta + (1-\beta)x_1\} P_1 \quad (15)$$

다음, 이동체가 기지국 B로부터 수신한 파일럿 채널의 SIR에 대한 평균(m_b)과 표준편차(σ_b)도 동일한 방법을 사용하여 구할 수 있다.

이렇게 구해진 평균과 분산을 갖는 각각의 E_c/I_0 에 대해, 다중 경로 페이딩의 영향을 없애기 위해 다음과 같은 임펄스 응답(impulse response)을 갖는 저역 통과 여파기를 통과 시킨다.

$$h(d) = \frac{1}{d_{av}} \exp\left(-\frac{d}{d_{av}}\right) \quad (16)$$

여기서, d_{av} 는 거리에 따라 이 여파기의 응답이 얼마나 빨리 감소하는지를 결정하는 평균 거리(averaging distance)이다. 그리고, 두 기지국으로부터 수신한 E_c/I_0 를 이 여파기에 통과시킨 후의 결과를 각각 $\overline{SIR}_0, \overline{SIR}_1$ 이라고 하면, 이것은 각각의 기지국으로부터 수신한 파일럿 채널의 SIR과 식 (16)의 임펄스 응답의 중첩적분(convolution)으로 표현할 수 있으며 식 (17), (18)과 같이 쓸 수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{SIR}_0 &= h(d) * \left(\frac{E_c}{I_0}\right)_0 \\ &= \frac{1}{d_{av}} \int_0^\infty \exp(-x/d_{av}) \left(\frac{E_c}{I_0}\right)_0 dx \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \overline{SIR}_1 &= h(d) * \left(\frac{E_c}{I_0}\right)_1 \\ &= \frac{1}{d_{av}} \int_0^\infty \exp(-x/d_{av}) \left(\frac{E_c}{I_0}\right)_1 dx \end{aligned} \quad (18)$$

이때, 어떤 시스템의 출력 $y(d)$ 가 입력 $x(d)$ 와 시

시스템의 임펄스 응답 $h(d)$ 의 중첩지분으로 주어질 때, 출력 $y(d)$ 의 평균과 분산은 다음과 같은 관계에 의해서 구할 수 있다^[5].

$$\begin{aligned} E[y(d)] &= E[h(d) * x(d)] \\ &= E\left[\int_{-\infty}^{\infty} h(\xi)x(d-\xi)d\xi\right] \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\xi)E[x(d-\xi)]d\xi \\ &= \bar{X} \int_{-\infty}^{\infty} h(\xi)d\xi \end{aligned} \quad (19)$$

$$Var[y(d)] = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (20)$$

여기서, $S(\omega) = X(\omega) \cdot |H(\omega)|^2$ 이고, $X(\omega)$ 와 $H(\omega)$ 는 각각 입력 $x(d)$ 의 자기상관과 임펄스 응답 $h(d)$ 를 푸리에 변환(fourier transform) 함으로써 얻을 수 있다.

따라서, 식 (19)와 (20)에 식 (17)과 (18)의 \overline{SIR}_0 , \overline{SIR}_1 을 각각 대입하여 정리하면, 이들의 평균($m_{\overline{SIR}_0}$, $m_{\overline{SIR}_1}$)과 분산($\sigma_{\overline{SIR}_0}^2$, $\sigma_{\overline{SIR}_1}^2$)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$m_{\overline{SIR}_0} = m_a \quad (21)$$

$$m_{\overline{SIR}_1} = m_b \quad (22)$$

$$\sigma_{\overline{SIR}_0}^2 = \frac{\sigma_a^2 d_0}{d_0 + d_{av}} \quad (23)$$

$$\sigma_{\overline{SIR}_1}^2 = \frac{\sigma_b^2 d_0}{d_0 + d_{av}} \quad (24)$$

두 기지국으로부터 수신한 파이프 채널의 평균 신호 대 간섭 비의 차를 아래 식 (25)로 정의하면,

$$x(d) = \overline{SIR}_0 - \overline{SIR}_1 \quad (25)$$

이것에 대한 평균과 분산은 아래 식 (26)과 (27)로 나타낼 수 있다.

$$m_x = E[x(d)] = m_{\overline{SIR}_0} - m_{\overline{SIR}_1} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} \sigma_x^2 = Var[x(d)] &= \sigma_{\overline{SIR}_0}^2 + \sigma_{\overline{SIR}_1}^2 \\ &= \frac{(\sigma_a^2 + \sigma_b^2) d_0}{d_0 + d_{av}} \end{aligned} \quad (27)$$

그리고, 위에서 설명한 \overline{SIR}_0 , \overline{SIR}_1 , $x(d)$ 는 모두 Gaussian 확률 밀도 함수(probability density function)를 갖는다.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (28)$$

IV. 핸드오프 확률

Zhang과 Holtzman의 논문에서는 수신된 신호의 세기를 기준으로 핸드오프를 하였다^[2]. 본 논문에서는 신호 대 간섭 비를 사용하여 [2]의 핸드오프 조건을 다음과 같이 변형하여 정의하자.

- $d_{k,1}$ 인 순간에 이동체가 속한 기지국이 A인 경우, $\overline{SIR}_0 < T$ 이고 $x(d) < -k$ 일 때
- $d_{k,1}$ 인 순간에 이동체가 속한 기지국이 B인 경우, $\overline{SIR}_1 < T$ 이고 $x(d) > k$ 일 때

즉, 기지국 A에서 B로 핸드오프를 하기 위해서는 기지국 A로부터 수신한 평균 SIR이 특정 임계치(통화 품질이 보장되는 최소 값) 보다 작아야 하고, 또한 기지국 B로부터 수신한 평균 SIR이 기지국 A로부터 수신한 평균 SIR에 임의의 히스테리시스 레벨을 더한 값보다 커야만 한다. 이때 히스테리시스 레벨은 셀 경계지역에서 불필요한 핸드오프를 줄이기 위해 설정하는 값이다. 기지국 B에서 A로 핸드오프를 하는 반대의 경우도 동일하게 생각할 수 있다. 따라서 이런 조건들에 의해 핸드오프 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{ho}(k) = P_A(k-1) P_{BA}(k) + P_B(k-1) P_{AB}(k) \quad (29)$$

이때, $P_A(k)$ 와 $P_B(k)$ 는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$P_A(k) = \frac{P_A(k-1)(1 - P_{BA}(k))}{1 + P_B(k-1) P_{AB}(k)} \quad (30)$$

$$P_B(k) = \frac{P_B(k-1)(1 - P_{AB}(k))}{1 + P_A(k-1) P_{BA}(k)} \quad (31)$$

여기서 $k=1, 2, \dots, D/d_s$ 이고, d_s 는 샘플링 거리(sampling distance)이다. $P_A(0)=1$, $P_B(0)=0$ 의 초기 조건을 가지며, 이때 $P_A(k)$ 는 d_k 인 순간에 이동체가 속한 기지국이 A일 확률이고, 반대로 $P_B(k)$ 는 이동체가 속한 기지국이 B일 확률이다. 그리고, $P_{BA}(k) = P_1(k)P_2(k)$, $P_{AB}(k) = P_3(k)P_4(k)$ 로, 각각 d_k 인 순간에 기지국 A에서 B로 또는 기지국 B에서 A로 핸드오프 할 확률을 나타내고, 여기서 $P_1(k)$, $P_2(k)$, $P_3(k)$, $P_4(k)$ 는 각각 [2]에 정의되어 있다.

V. 수치해석 결과

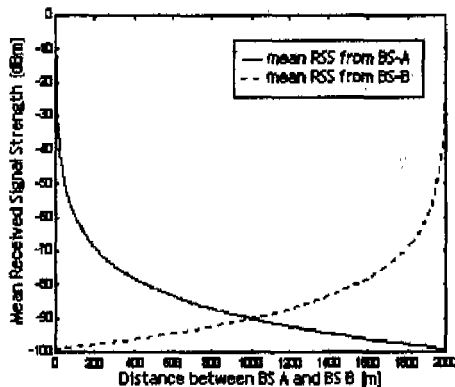
이 장에서는 핸드오프의 예를 들기 위하여 표 1에 정의된 파라미터 값을 사용하여 수치해석을 하였다.

표 1. 수치해석에 사용된 파라미터

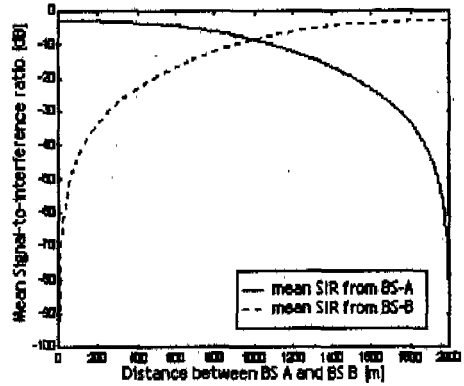
파라미터	값
기지국 송신전력, P_{init}	0 dBm
두 기지국 사이의 거리, D	2000 m
샘플링 거리, d_s	1 m
상관 거리, d_o	20 m
평균 거리, d_{av}	30 m
경로손실 지수, γ	3
대수 정규 페이딩의 표준편차, σ_s	6 dB

그림 1은 이동체가 기지국 A에서 B로 이동함에 따라 두 기지국으로부터 수신한 평균 수신 신호 세기(a)와 신호 대 간섭 비(b)를 나타낸 것이다. 이때 파일럿 채널에 할당된 전력 비 β 는 0.2, cell loading factor x_0 와 x_1 은 모두 0.5로 가정하였다. 그림에서 보듯이 수신 신호의 세기는 이동체가 속한 기지국 근처에서, 평균 SIR은 인접 기지국 근처에서 급격하게 감소함을 알 수 있다. 또한, 이러한 특성으로 인해 두 가지 경우에 대해 각각 적절한 임계치가 설정되어야 함을 알 수 있다.

본 논문에서는 RSS(Received Signal Strength)를 기준으로 한 기존의 방식에 대해서는 -94dB^[2], SIR을 기준으로 한 본 논문에서 제안한 방식에서는



(a)



(b)

그림 1. (a) 두 기지국사이의 거리에 따른 평균 수신 신호 세기 (b) 파일럿 채널의 평균 신호 대 간섭 비($\beta=0.2, x_0=x_1=0.5$)

-16dB^[7,12]를 최소한의 통화품질을 보장받을 수 있는 임계치로 설정하였다. 이 값을 기준으로 히스테리시스 레벨을 변화시켰을 때 발생하는 평균 핸드오프 수를 그림 2에 나타내었다. 이 경우도 마찬가지로 송신전력 중 20%가 파일럿 채널에 할당되고, 통화채널은 두 기지국에 대해 모두 50%가 사용된다고 가정하였다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 히스테리시스 레벨이 약 6.9dB 보다 작은 경우에는 SIR을 기준으로 한 경우가 RSS를 기준으로 한 경우보다 평균 핸드오프의 수가 적다. 그러나, 히스테리시스 레벨이 6.9dB 이상일 때에는 반대로 RSS를 기준으로 한 경우에 SIR을 기준으로 한 경우보다 평균 핸드오프의 수가 적다.

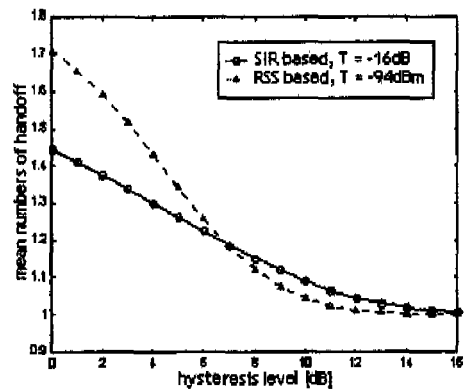


그림 2. 히스테리시스 레벨에 따른 평균 핸드오프 수, ($\beta=0.2, x_0=x_1=0.5$)

그림 3은 SIR을 기준으로 한 핸드오프의 경우,

통화가 이루어질 수 있는 최소 임계치, 즉 요구되는 최소 E_b/N_0 를 -16, -15, -12dB로 변화시켰을 때 발생하는 평균 핸드오프 수를 나타낸 것이다. 그럼에서 볼 수 있듯이, 기준 임계치가 증가할수록 보다 많은 핸드오프가 발생한다. 이것은 히스테리시스 레벨이 작은 경우에 많은 핸드오프가 발생하는 현상과 더불어 셀 경계지역에서 핑퐁 현상이 심하게 발생하기 때문이다. 그러므로, 임계치와 히스테리시스 레벨 두 가지의 파라미터를 적절히 선택함으로써 불필요한 핸드오프를 줄일 수 있음을 알 수 있다. RSS를 기준으로 한 경우와 비교했을 때, SIR을 기준으로 핸드오프를 수행하는 경우 임계치를 -15dB 이상으로 설정하게 되면, 오히려 RSS를 기준으로 했을 때 보다 많은 핸드오프가 발생한다. 그러므로, 수신된 평균 SIR을 기준으로 핸드오프를 수행할 때 좋은 결과를 얻기 위해서는 임계치를 -16dB이하로 설정해야 한다. 그러나, 불필요한 핸드오프를 줄이고자 임계치를 너무 작게 설정하게 되면 통화 품질이 나빠지게 된다.

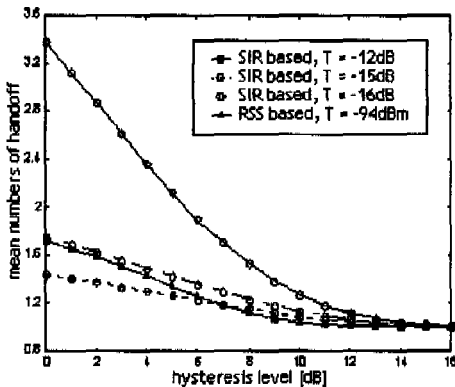


그림 3. 히스테리시스 레벨에 따른 평균 핸드오프 수, ($\beta = 0.2, x_0 = x_1 = 0.5$)

그림 4는 SIR을 기준으로 핸드오프를 수행하는 경우에 대해 셀 로딩을 0.3, 0.5, 0.8로 증가시켰을 때 발생하는 평균 핸드오프 수를 비교한 결과이다. 여기서, 셀 로딩이 증가한다는 것은 그만큼 사용자 수가 증가한다는 것을 말하고, 이로 인해 간섭의 영향이 커지게 된다. 따라서 그림에서 보는 것과 같이 핸드오프 수가 전체적으로 증가함을 알 수 있다. 이때 사용중인 통화채널이 전체 통화채널의 30% 이하가 되면, 즉 $x_0(x_1) < 0.3$ 을 만족하면 SIR을 기준으로 한 평균 핸드오프 수는 히스테리시스 레벨과 무관하게 RSS를 기준으로 한 평균 핸드오프 수보다 항상 적음을 알 수 있다. 그리고, 이 경우 이

동체가 기지국 A에서 기지국 B로 이동하는 동안 발생하는 핸드오프 수는 1회에 근접한다.

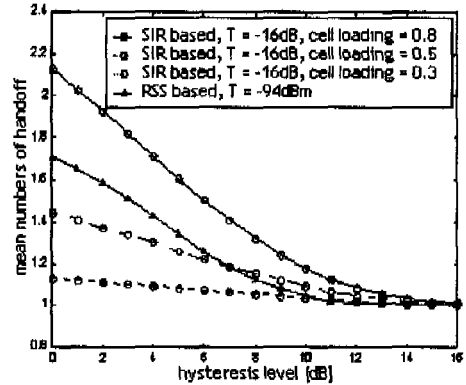


그림 4. 히스테리시스 레벨에 따른 평균 핸드오프 수, ($\beta = 0.2$)

그림 5는 히스테리시스 레벨에 따른 crossover point를 나타낸 그래프이다. RSS를 기준으로 한 기존의 방식에서는 crossover point가 핸드오프 지연(handoff delay)으로 설명되지만, SIR을 기준으로 한 소프트 핸드오프에서는 셀 반경의 축소 또는 확대로 생각할 수 있다. 이상적인 경우 핸드오프는 셀 경계 지역에서 정확히 한번만 이루어져야 한다. 이런 경우 본 논문에서는 $D=1000m$ 인 지점이 핸드오프가 발생하는 지점이 된다. 하지만, 위에서 언급한 셀 로딩이나 파일럿 채널에 할당된 전력비등의 영향으로 인해 이동체가 기지국 A에서 B로 이동하는 동안 실제로 $D > 1000m$ 인 지점에서 처음으로 핸드오프가 발생한 것을 그래프를 통해 알 수 있다. 이것은 그만큼 셀 반경이 확장된 것을 의미한다. 즉, 같은 송신전력으로도 셀 로딩에 의해 기지국의 통화

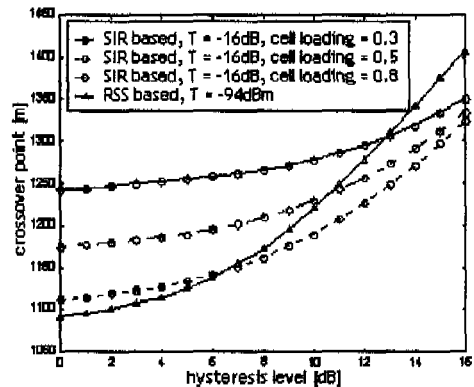


그림 5. 히스테리시스 레벨에 따른 Crossover points, ($\beta = 0.2$)

영역(coverage)이 넓어졌음을 말하는 것이다. 그리고, 셀 로딩이 작은 경우에 crossover point가 더 멀어지는 것은 간섭의 영향이 줄어들었기 때문이며, 이 경우 셀 반경은 더욱 확장된다.

그림 6은 SIR을 기준으로 한 핸드오프에 대해 전체 송신전력 중 파일럿 채널에 할당된 전력 비율 0.1, 0.2, 0.3으로 변화시켰을 때 발생하는 평균 핸드오프 수와 RSS를 기준으로 했을 때의 결과를 나타냈다. 먼저 SIR을 기준으로 한 경우만을 살펴보면, 상대적으로 큰 전력이 파일럿 채널에 할당된다는 것은 그만큼 파일럿 채널의 신호 대 간섭 비, E_p/I_0 가 커진다는 것을 의미하고 이것은 같은 조건에서 이동체가 보다 좋은 신호를 수신할 수 있음을 말하는 것이다. 따라서 그림에서 보인바와 같이 파일럿 채널에 할당된 전력 비가 증가함에 따라 발생하는 평균 핸드오프 수가 감소함을 알 수 있다. 다음, RSS를 기준으로 한 경우와 비교해 보면, 30% 이상의 송신전력이 파일럿 채널에 할당되게 되면, 즉 $\beta > 0.3$ 를 만족하게 되면 히스테리시스 레벨과 무관하게 SIR을 기준으로 한 평균 핸드오프 수가 RSS를 기준으로 한 평균 핸드오프 수보다 항상 적음을 알 수 있다.

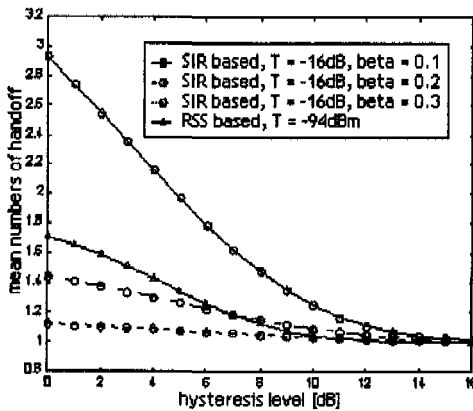


그림 6. 히스테리시스 레벨에 따른 평균 핸드오프 수, ($x_0=x_1=0.5$)

마지막으로 그림 7에서는 두 기지국의 셀 로딩이 50%일 때, 그림 2에 나타난 히스테리시스 레벨에 따른 평균 핸드오프 수와 그림 5의 crossover point 사이의 관계를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 히스테리시스 레벨이 증가함에 따라 평균 핸드오프 수는 감소하고, crossover point는 커짐을 알 수 있다. 이때 히스테리시스 레벨이 0dB인 경우를 보면, RSS를 기준으로 한 경우는 crossover point가 약

1080m, SIR을 기준으로 한 경우는 약 1170m 정도가 된다. 이것은 동일한 히스테리시스 레벨을 주었을 때, SIR을 기준으로 핸드오프를 수행한 경우에 기지국의 통화영역이 더 넓음을 의미하는 것이다.

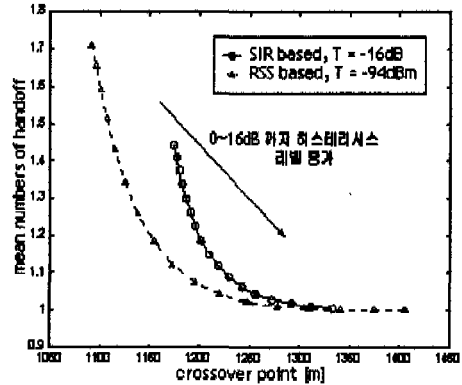


그림 7. 평균 핸드오프 수와 crossover points사이의 관계, ($\beta=0.2, x_0=x_1=0.5$)

VI. 결론

본 논문에서는 앞서 언급했던 바와 같이 수신된 신호의 세기를 기준으로 핸드오프를 수행하는 기존의 방식에서 야기되는 단점을 보완하고 보다 효율적으로 핸드오프를 수행하기 위해 이동체에서 수신된 파일럿 채널의 평균 신호 대 간섭 비를 이용한 핸드오프 알고리즘을 제안하였다. 그리고, 제안한 방식을 평균 핸드오프 수와 crossover point의 관점에서 수신 신호의 세기를 기준으로 핸드오프를 수행하는 기존의 방식과 비교하였다. 이때, 통화 품질이 보장되는 최소 임계치를 SIR을 기준으로 한 경우는 $T=-16dB$, RSS를 기준으로 한 경우에는 $T=-94dBm$ 으로 설정하였다.

본 논문에서 제안한 방식으로 핸드오프를 수행하였을 때, RSS를 기준으로 핸드오프를 수행하는 경우에 비해 적은 히스테리시스 레벨로도 셀 경계지역에서 발생하는 핑퐁 현상을 극복할 수 있었으며, 전체 통화채널 중 30% 이하의 통화채널이 사용되었을 때에는 히스테리시스 레벨과 무관하게 SIR을 기준으로 한 평균 핸드오프 수가 RSS를 기준으로 한 평균 핸드오프 수보다 항상 적음을 알 수 있었다. 또한, 전체 송신전력 중 30% 이상이 파일럿 채널에 할당되었을 때에도 마찬가지로 히스테리시스 레벨과 무관하게 SIR을 기준으로 한 평균 핸드오프 수가 RSS를 기준으로 한 평균 핸드오프 수보다 항

