

# DS-CDMA 셀룰라 시스템에서의 소프트 핸드오프율에 대한 분석

正會員 조 무 호\*, 김 광 식\*, 조 경 록\*\*

## Analysis of the Soft Handoff Rate in DS-CDMA Cellular Systems

Moo Ho Cho\*, Kwang Sik Kim\*, Kyoung Rok Cho\*\* *Regular Members*

### 요 약

DS-CDMA 셀룰라 시스템에서는 인접 셀에 동시에 동일 주파수 채널을 사용할 수 있으므로 인해 소프트 핸드 오프가 가능해진다. 소프트 핸드오프에서는 이동 가입자가 중첩된 영역에 있을 때에는 공간 다이버시티를 위해 다수 개의 무선 자원을 사용한다. 기존의 하드 핸드오프의 트래픽 모델은 중첩된 지역에서 무선 채널을 질체하기 때문에 소프트 핸드오프를 사용하는 시스템에 적용할 수 없다. 핸드오프율은 셀의 크기와 형태, 그 지역에 있는 이동 가입자의 속도와 호 밀도의 함수로 예측할 수 있다. 본 논문에서는 소프트 핸드오프율을 분석하기 위하여 이동 가입자의 이동성을 이용한 해석적인 트래픽 모델을 제안한다. 또한 실질적인 목적을 위해 중첩된 지역에서 두 개의 기지국만을 접속하는 two-way handoff scheme을 사용하는 모델에 대해 분석하였다. 제안한 소프트 핸드오프 모델의 정확도를 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 통해 해석적인 모델과 잘 일치되는 것을 확인 할 수 있었다.

### ABSTRACT

In DS-CDMA cellular systems, using the same frequency channel at the adjacent cells simultaneously makes soft handoff possible. In soft handoff, mobiles use multiple radio resources for the space diversity of signal in the overlapped region. The previous traffic models of hard handoff are not applicable to the system with soft handoff due to switching radio channels in that region. The handoff rate can be calculated by the mobility of mobiles, which is a function of the size and shape of a cell, and the speed and density of the mobiles. In this paper, we propose an analytical traffic model to study the soft handoff rate. We assume that the system uses a two-way handoff scheme for practical purposes, which connects only two cells to a mobile during soft handoff. We per-

\*한국전자통신연구원 이동통신 기술연구단

\*\*충북대학교 정보통신공학과 부교수

論文番號:96372-1127

接受日字:1996年 11月 27日

formed a computer simulation to confirm the accuracy of the proposed soft handoff model. The simulation results show good agreement with the analytical model.

## I. 서 론

셀룰라 이동전화 시스템에서 핸드오프는 중요한 사항이다. 특히 마이크로 셀룰라 시스템과 같이 셀의 크기가 작은 환경에서 셀간의 이동 트래픽이 증가할 때 핸드오프는 더욱 중요해진다. DS-CDMA 셀룰라 시스템에서는 인접 셀에 동시에 동일 주파수 채널을 사용할 수 있음으로 인해 소프트 핸드오프가 가능해진다. 기존 셀과 통화하는 채널을 절단한 후 새로운 셀의 채널을 접속하는 기존의 하드 핸드오프와는 다르게 소프트 핸드오프는 새로이 접근하는 셀의 채널을 먼저 접속하고 나중에 기존의 채널을 절단시킨다. 이러한 소프트 핸드오프 기능은 셀의 경계 지역에서 페이딩과 새도잉으로 인한 신호 세기의 변동이 심할 때에 이동국과 네트워크에 공간 다이버시티를 제공하여 시스템의 성능을 향상시킨다[1, 2]. 셀룰라 이동전화 시스템에서 핸드오프에 대해 해석적인 트래픽 모델 분석과 시뮬레이션에 대한 많은 연구가 진행되어 왔으며[3, 4, 5], 이러한 기존의 트래픽 모델들은 셀의 경계 지역에서 무선 채널을 절제시키는 하드 핸드오프를 바탕으로 하고 있다. 기존 하드 핸드오프를 사용하는 시스템에서도 빌딩의 간섭과 지형의 변화로 인해 실제적으로 어떤 특정 지역을 유영 지역 없이 완전히 서비스 하기 위해서는 30% 이상이 중첩되어야만 했다[6]. 소프트 핸드오프에서는 이동국이 경계 지역에 있을 때에는 공간 다이버시티를 통한 시스템 성능 향상을 위해 의도적으로 서비스 지역을 중첩시켜서 다수 개의 무선 자원을 사용할 수 있게 한다. 따라서 소프트 핸드오프의 트래픽 모델에서는 이에 대한 고려가 있어야 한다. 본 논문에서는 이러한 중첩된 지역을 고려한 소프트 핸드오프 트래픽 모델을 분석하기 위해 먼저 소프트 핸드오프 발생 빈도에 대해 연구하였다. 평균 핸드오프율의 계산은 소프트 핸드오프와 같이 중첩되어 복잡한 트래픽 모델에서는 해석적인 방법으로 구하는 것이 아주 난이하다. 평균 핸드오프율은 이동 가입자의 이동성에 의해서도 구할 수 있다[7, 8, 9]. 이는 이동 가입자가 특정 지역을

탈출하는 평균 탈출 빈도로서 그 영역의 크기와 모양, 그 영역에 있는 이동 가입자의 속도와 밀도의 함수에 의해 결정되어진다. 따라서 소프트 핸드오프와 같이 복잡한 트래픽 모델은 가입자의 평균 이동 속도, 가입자의 밀도와 그 영역의 둘레 길이로 근사적으로 핸드오프 빈도를 계산할 수 있는 이동 가입자 이동성에 의한 핸드오프율 계산 방법이 적합하다. 본 논문에서는 이 가입자 이동성을 이용하여 소프트 핸드오프율을 분석하기 위한 해석적인 트래픽 모델을 제안한다.

한 셀에서 사용되는 CDMA 주파수 채널 수는 트래픽 부하에 따라 결정되며, 트래픽 부하가 큰 셀에서는 다수 개의 CDMA 주파수 채널을 사용할 수 있다. 만약 한개 이상의 CDMA 주파수 채널이 사용되면 하드 핸드오프가 셀 내에서 또는 셀 간에 발생할 수 있게 된다. 분석을 위해서 CDMA 주파수 채널이 하나만 사용되고, 시스템 내의 모든 핸드오프는 소프트 핸드오프라고 가정한다. 또한 중첩된 지역에서 소프트 핸드오프 중 접속되는 기지국의 수는 중첩된 셀 수 만큼 접속시키는 것이 아니라, 신호의 크기에 따라 두개의 기지국만을 접속시키는 TWHO(Two-Way Handoff) 방법을 사용하는 시스템으로 가정한다. 이는 실질적으로 시스템에 사용되는 방법에 대한 트래픽 모델을 분석하기 위함이다.

## II. 이동 가입자 이동성 모델

트래픽 모델은 신규호가 서비스 지역에서 균등하게 발생한다고 가정한다. 이동 가입자의 속도와 방향은 서로 독립인 랜덤 변수이고, 한 호 동안에는 변하지 않는다고 가정한다. 이동 가입자의 속도는 구간이  $[0, V_{max}]$ 이고, 방향은 구간이  $[0, 2\pi]$ 인 균일 분포로 가정한다. 또한, 시스템내의 모든 셀들은 동일한 조건의 셀들로 구성되어 있어 모든 셀의 파라미터들이 통계적으로 동일하다고 가정하며, 확률과 파라미터들이 시간에 따라 변하지 않는 통계적으로 평형 상태에 있다고 가정한다. 상기 가정하에서는 한 셀로 유입하

는 평균 핸드오프율은 한 셀로부터 유출하는 평균 핸드오프율과 동일하다고 볼 수 있다[10].

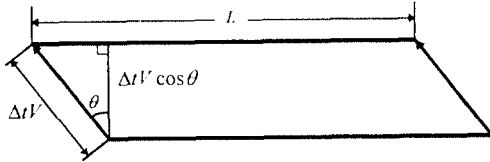


그림 1. 직선화된 미소 경계 구간  
Fig. 1 The boundaries of the small region as straight line

이런 특정 지역에서 단위 시간당 통화중인 상태에 서 탈출하는 이동 가입자의 수를  $M$ , 단위 면적당 통화중인 이동 가입자 밀도를  $\rho$ , 이동 가입자의 속도를  $V$  및 영역의 둘레의 길이를  $L$ 이라고 정의한다. 그림 1은 어떤 영역의 경계 지점에서 길이  $L$ 인 미소 직선 경계 구간과 인접 영역을 나타내었다. 여기에서 이동 가입자의 이동 방향과 미소 직선의 직각 방향 사이의 각도를  $\theta$ 라고 정의한다. 이동 가입자가 경계를 지나 가기 위해서는  $\theta$ 가  $-\pi/2$ 에서  $\pi/2$  사이에 있어야 한다.  $\Delta t$  시간 동안 가입자가 경계를 지나가는 미소 영역의 면적이  $L\Delta t V \cos\theta$ 이고, 이 미소 영역에서도 역시 통화중 이동 가입자의 밀도는  $\rho$ 로 균일하게 분포한다면, 미소 영역에서  $\Delta t$  시간 동안 미소 직선의 한쪽에서 다른 한쪽으로 넘어가는 통화중인 이동국의 평균 수를 계산하면

$$\Delta t \bar{M} = \Delta t \rho L \int_0^{\infty} \int_{-\pi/2}^{\pi/2} V f_v(V) \cos \theta f_\theta(\theta) d\theta dV \quad (1)$$

여기에서  $\bar{M}$ 은 통화중에 경계를 지나는 평균 이동 가입자수,  $V$ 는 이동 가입자의 평균 속도이고,  $f_\theta(\theta)$ 는 구간이  $[0, 2\pi]$ 인 균일 분포이다. 따라서 경계를 지나는 통화중인 평균 이동국의 수는

$$\bar{M} = \frac{\rho L \bar{V}}{\pi} \quad (2)$$

상기 식 2로부터 한 셀에서 통화중 유출하는 평균 이동국의 수는 그 지역에서 통화중인 이동 가입자의 밀도, 평균 속도와 그 영역의 둘레 길이에 의존함을 알 수 있다.

### III. 소프트 핸드오프 트래픽 모델

#### 1. 소프트 핸드오프 경계

모든 DS-CDMA 기지국은 파일럿 신호를 항상 송출하고 있다. 이동국은 이 파일럿 신호들을 연속적으로 추적하여, 수신 신호의 전력 레벨이 가장 큰 기지국으로 수신기를 동조시키고, 이 기지국으로부터 호 접속에 필요한 시스템에 대한 정보들을 수신한다. 따라서 DS-CDMA 시스템에서 셀 경계는 인접 기지국으로부터 이동국에 수신되는 파일럿 신호의 평균 전력 레벨에 의해 결정될 수 있다. 시스템을 구성하는 셀의 형태는 육각형 셀로 구성되어 있고, 각 셀의 안테나는 옴니 디렉션의 안테나로 구성되었다고 가정한다.

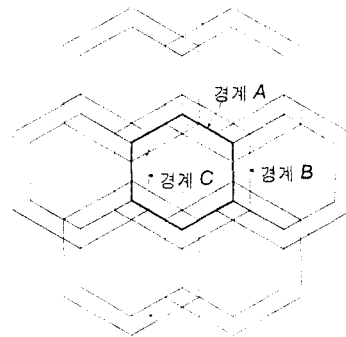


그림 2. 소프트 핸드오프 경계  
Fig. 2 The boundaries of soft handoff

그림 2는 6개의 인접셀에 둘러 싸여 있고, 셀 경계가 A인 육각형 셀을 나타낸다. 소프트 핸드오프를 제공하는 시스템에서는 중첩되는 영역으로 인해 두개의 경계가 더 존재한다. 경계 B는 이동국의 수신 전력 레벨이 수신기 한계 레벨 보다 큰 지점들로, 외부에서 유입되는 소프트 핸드오프호의 접속이 시작되고, 혹은 외부로 유출하는 소프트 핸드오프호의 접속이 종료되는 경계 지점들이다. 경계 C는 인접셀들의 경계 B에 의해 현재 셀 내에 만들어 지는 경계 지점들로, 셀 내부에서 외부로 유출되는 소프트 핸드오프호의 접속이 시작되는 지점이고, 외부에서 유입된 소프트 핸드오프호의 접속이 종료되는 지점이다. 따라서 본 트래픽 모델에서는 두개의 셀이 중첩되는 경계에서의 소프트 핸드오프 접속의 시작과 종료는 같은 지

점에서 이루어진다고 가정한다.

두개의 셀만 접속시키는 TWHO 방법에서 이동국이 세계의 셀에 의해 중첩된 지역을 이동할 때 채널의 절체를 수신신호의 세기에 따라 가장 큰 두개의 기지국으로 접속시키게 되면 셀의 가장자리인 중첩 지역에서는 수신 신호 세기의 변동이 심함으로 인해 채널의 절체가 빈번히 일어날 수 있다. 본 트래픽 모델에서는 이러한 현상의 방지와 분석의 용이함을 위해, 세계의 셀이 중첩될 때는 각 셀의 외부 경계  $B$ 를 벗어날 때까지는 절체시키지 않는 히스테리시스를 가진다고 가정한다.

### 2. 소프트 핸드오프 종류

TWHO 방법을 사용하는 시스템에서 소프트 핸드오프호는 세 종류로 구분된다. 첫번째는 두개의 셀에 의해 중첩되는 영역의 변으로 유입되는 핸드오프호들이고, 두번째는 세계의 셀에 의해 중첩되는 영역으로 유입되는 핸드오프호들이며, 세번째는 중첩된 지역에서 발생하는 핸드오프 호들이다.

첫번째 종류의 소프트 핸드오프호들은 외부 경계  $B$ 에서 두개의 셀에 의해 중첩되는 영역의 변으로 유입되며, 그림 3에서 예를들면 경계  $B$ 의 일부인 변  $DE$ 와 같은 6개의 변을 통해 유입되는 핸드오프호들이다. 변  $DE$ 의 길이는 변  $FG$ 의 길이와 동일하며, 경계  $B$ 에서 이러한 6개의 변을 합한 전체 길이는 경계  $C$ 의 길이와 동일하다. 중첩되는 영역이 커질 수록 이 경계의 길이는 작아진다.

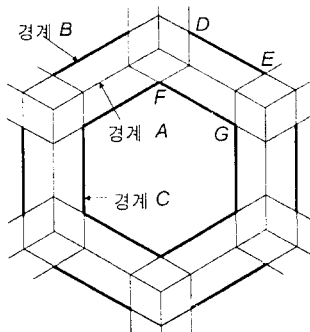


그림 3. 두개의 셀에 의해 중첩되는 영역의 변으로 유입되는 핸드오프호의 경계  
Fig. 3 The boundaries of soft handoff for incoming from the region overlapped by two cells

두번째 종류의 소프트 핸드오프호들은 세계의 셀에 의해 중첩되는 영역으로 유입되는 핸드오프호들이다. 이 호들은 인접 두 셀에 의해 이미 소프트 핸드오프 중인 호들로, 앞에서 설명한 것과 같이 평봉 현상을 방지하기 위해 히스테리시스를 가진다면 세계의 셀에 의해 중첩된 지역을 벗어날 때 즉, 인접 셀들의 소프트 핸드오프 경계  $B$ 를 벗어날 때 현재의 셀로 소프트 핸드오프되는 호들이다. 그림 4에서 6개 지역 중에서 하나의 지역의 예를 들면 이러한 호들은 현재 셀의 외부 경계  $B$ 의 변  $DEF$ 로 유입될 때 핸드오프를 발생시키지 않고, 인접셀의 경계  $B$ 의 변인  $FGH$  혹은  $DIH$ 를 지날 때 현재의 셀로 새로운 소프트 핸드오프를 발생시킨다. 따라서 이러한 호들에 의한 유입 경계는 그림 4와 같이 세계의 셀에 의해 중첩된 영역의 경계에 24개의 유입 경계면들이 형성된다.

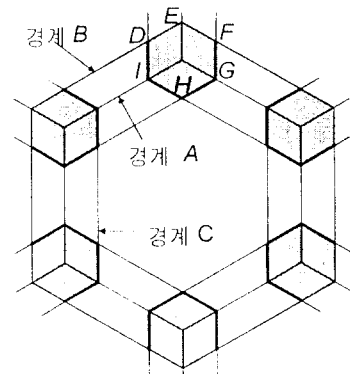


그림 4. 세계의 셀에 의해 중첩된 지역으로 유입되는 소프트 핸드오프 경계  
Fig. 4 The boundaries of soft handoff for incoming from the region overlapped by three cells

세번째 종류의 소프트 핸드오프호들은 경계  $A$ 와 경계  $B$  사이의 중첩된 지역에서 발생되며, 이 호들은 주변 셀 중의 한 셀에 신규호로 발생된 후에 즉시 현재 셀로 핸드오프를 요구하는 호들이다. 세계의 셀에 의해 중첩되는 지역에서는 TWHO 방법으로 인해 발생된 신규호 중에서 거리를 기준하면 반만이 현재 셀로 핸드오프를 요구하고, 나머지는 인접셀로 핸드오프를 요구하게 된다. 그림 5에서 보면 세계의 셀에 의해 중첩된 지역  $DEFGJI$  영역의 반은  $GHIJ$  영역에 해당한다. 또한 두개의 셀에 의해 중첩된 지역  $FKLG$

의 면적은  $GLMH$ 의 면적과 동일하다. 결과적으로 현 재 셀로 핸드오프를 발생시키는 지역의 면적은 경계  $A$ 와  $B$  사이 영역의 면적과 동일하게 된다.

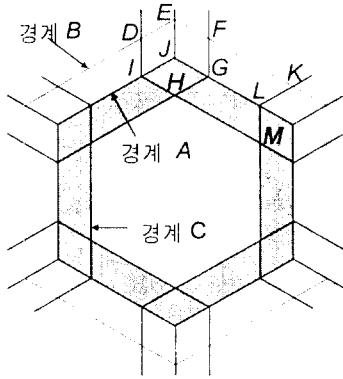


그림 5. 중첩된 지역에서 발생하는 소프트 핸드오프 영역  
Fig. 5 The overlapped region of generating soft handoff

육각형 셀보다는 전파 환경에 더 적합하고, 또한 트래픽 모델 해석의 용이를 위해, 단일 셀의 관점에서 육각형 셀을 동일 면적을 가진 원형 셀로 근사화시키면 그림 3과 4의 유입 경계와 그림 5의 핸드오프 지역은 그림 6과 같이 재 구성될 수 있다.

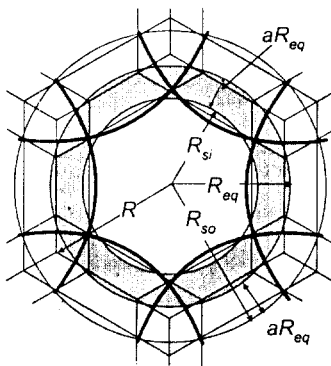


그림 6. 원형 셀로 재구성된 소프트 핸드오프 경계 및 영역  
Fig. 6 The reconfigured boundaries and region of soft handoff as a circular cell

육각 셀 경계  $A$ 의 반경이  $R$ 이면 원형 셀의 반경은  $R_{eq}$ 이다.

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

경계  $B$ 에 해당하는 원형셀의 반경은 아래와 같은  $R_{so}$ 가 되고, 경계  $C$ 에 해당하는 원형셀의 반경은  $R_{si}$ 가 된다.

$$R_{so} = (1 + a)R_{eq} \quad (4)$$

$$R_{si} = (1 - a)R_{eq} \quad (5)$$

여기에서  $a$ 는 구간  $[0.100, 0.905]$ 에 있는 중첩의 정도를 나타내는 지수이다.  $a$ 가 0.100일 때 부터 세개의 셀 사이에 공백이 없이 중첩이 시작되고,  $a$ 가 0.905일 때가 인접셀의 중심까지 중첩된 경우이다. 재구성된 원형셀 환경에서 소프트 핸드오프의 경계와 영역을 살펴보면, 첫번째 두개의 셀에 의해 중첩된 경계로 유입되는 핸드오프호의 경계는 인접셀들의 외부 경계 반경  $R_{so}$  원주의 일부에 의해서 반경  $R_{si}$  원 내부에 형성되는 6개의 현들이 된다. 두번째 세개의 셀이 중첩된 지역으로 유입되는 핸드오프호의 경계는 세개의 셀이 중첩된 지역의 경계에 인접 셀들의 외부 경계 반경  $R_{so}$  원주의 일부인 두개의 현으로 나타나 전체 여섯 지역에서 12개인 현들이 된다. 세번째 중첩된 지역에서 발생하는 핸드오프호의 영역은 반경이  $R_{si}$ 인 원과 반경이  $R_{eq}$ 인 원 사이의 영역에 해당한다.

### 3. 소프트 핸드오프율

신규호의 발생은 서비스 영역에 균등하다고 가정한다.  $\lambda_a$ 를 단위 면적당 평균 신규호 발생율이고, 호 지속 시간  $T_d$ 는 평균이  $1/\mu_d$ 인 지수분포라 가정한다. 따라서 외부에서 두개의 셀에 의해 중첩되는 경계로 유입되는 첫번째 종류의 핸드오프호 밀도  $\rho_{ic1}$ 는

$$\rho_{ic1} = \frac{\lambda_a}{\mu_d} (1 - P_b) \quad (6)$$

가 된다. 여기에서  $P_b$ 는 신규호의 블러킹율이다. 첫번째 종류의 핸드오프호 유입 경계는 반경이 내부 경계 반경  $R_{si}$  원 내부에 형성되는 6개의 현들에 해당하므로, 이 현들의 길이  $L_{ic1}$ 은 다음과 같다.

$$L_{ic1} = 12R_{so} \left( \frac{\pi}{3} - \cos^{-1} \left( \sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{1+a}} \right) \right) \quad (7)$$

이동 가입자의 평균 속도를  $V_m$ 이라 정의하면, 식 2로부터 첫번째 종류의 핸드오프호 평균 유입율  $\lambda_{ic1}$ 은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \lambda_{ic1} &= \frac{\rho_{ic1} \overline{V_m} L_{ic1}}{\pi} \\ &= 12 \frac{\lambda_a}{\mu_d} \overline{V_m} R_{so} \left( \frac{\pi}{3} - \cos^{-1} \left( \sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{1+a}} \right) \right) (1 - P_b) \end{aligned} \quad (8)$$

세계의 셀에 의해 중첩된 지역으로 유입되는 두번째 핸드오프호에 대한 밀도를 구하기 위해 다음과 같은 세가지 가정을 한다. 첫번째, TWHO 방법으로 인하여 세계의 셀에 의해 중첩된 지역에서는 유입 이동 가입자 중에서 현재의 셀에 속하지 않은 단지 삼분의 일만이 현재 셀에 핸드오프를 일으킬 수 있다. 두번째, 이 지역으로 유입되어 핸드오프를 유발하는 호의 방향은 항상 유입된다고 가정한다. 이는 전 방향을 고려한 핸드오프 반도의 두배가 된다. 세번째, 이 지역에서는 유입되는 호의 밀도는 균일하지가 않고, 유입 핸드오프 경계에 대해 지수분포를 따른다. 이는 TWHO 방법으로 인하여 현재 셀에 속하지 않고 인접 두 셀에 의해 소프트 핸드오프 중인 이동 가입자가 세계의 셀이 중첩된 지점을 통과하여 핸드오프 경계 지점으로 이동중에 호가 종료될 수 있기 때문이다. 이 지점에서 호가 종료된 후에 재발신된 신규호는 현재의 가까운 셀에 속하기 때문에 그전 셀에 속하지 않을 수도 있다. 따라서 전체 이동국의 분포는 균등하다고 가정해도 유입 핸드오프를 유발시키는 해당 셀에 대해서는 밀도가 균등해지지 않게 된다. 유입되는 이동국이 불균등 지역을 지나 소프트 핸드오프 경계에 도달할 시간  $T_{ic2}$ 를 중첩된 지역의 거리와 이동 가입자의 속도의 함수로 주어지는 평균이  $1/\mu_{ic2}$  가지는 지수분포라 가정한다.

$$\mu_{ic2} = \frac{\overline{V_m}}{aR} \quad (9)$$

$T_d$ 와  $T_{ic2}$ 의 관계를 가지고, 이동 가입자가 세계의 셀이 중첩된 중앙 지점을 지나 경계 지점에 도달할 확률  $P_{ic2}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{ic2} &= \Pr\{T_d > T_{ic2}\} \\ &= \int_0^\infty [1 - F_{T_d}(t)] f_{T_{ic2}}(t) dt \\ &= \int_0^\infty e^{-\mu_d t} \mu_{ic2} e^{-\mu_{ic2} t} dt \\ &= \frac{1}{\frac{aR}{V_m} \mu_d + 1} \end{aligned} \quad (10)$$

따라서 세계의 셀에 의해 중첩된 지역으로 유입되는 핸드오프호 밀도  $\rho_{ic2}$ 는

$$\begin{aligned} \rho_{ic2} &= \frac{2}{3} \frac{\lambda_a}{\mu_d} P_{ic2} (1 - P_b) \\ &= \frac{2}{3} \frac{\lambda_a}{\mu_d} \left( \frac{1}{\frac{aR}{V_m} \mu_d + 1} \right) (1 - P_b) \end{aligned} \quad (11)$$

또한 유입되는 핸드오프호의 경계는 세계의 셀에 의해 중첩된 지역의 경계에 형성되는 현들이 되며, 이 12개 현들의 길이  $L_{ic2}$ 는 다음과 같다.

$$L_{ic2} = 12R_{so} \left( 2 \cos^{-1} \left( \sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{1+a}} \right) - \frac{\pi}{3} \right) \quad (12)$$

식 2로부터 셀로 유입되는 두번째 종류의 핸드오프호 평균 유입율  $\lambda_{ic2}$ 는

$$\begin{aligned} \lambda_{ic2} &= \frac{\rho_{ic2} \overline{V_m} L_{ic2}}{\pi} \\ &= 8 \frac{\lambda_a R_{so} \left( \frac{\overline{V_m}}{\mu_d} \right)^2}{\pi \left( aR + \frac{\overline{V_m}}{\mu_d} \right)} \\ &\quad \left( 2 \cos^{-1} \left( \sqrt{\frac{\pi}{2\sqrt{3}} \frac{1}{1+a}} \right) - \frac{\pi}{3} \right) (1 - P_b) \end{aligned} \quad (13)$$

세번째 종류의 핸드오프호에 대해서는 경계  $R_{si}$ 와  $R_{eq}$  사이의 영역에서 발생하는 신규호 중에서 블러킹을 제외한 것이 핸드오프 발생 빈도에 해당한다. 중첩 지역에서 셀당 발생하는 평균 핸드오프율  $\lambda_{sr}$ 은

$$\lambda_{sr} = \pi \lambda_a (R_{eq}^2 - R_{si}^2 + 0.234a) (1 - P_b) \quad (14)$$

여기에서 0.234a는 육각셀이 원형으로 근사화됨에 따라 발생하는 중첩으로 인한 오차를 수정하기 위한 값이다.

4. 수치적 해석

Fig. 7은 중첩 지수  $a$ 가 변할 때 소프트 핸드오프 종류별 핸드오프 발생량의 변화를 알아보기 위해 각 종류별 핸드오프율을 수치적으로 나타내었다. 셀 반경  $R$ 은  $1\text{ Km}$ , 이동국 평균속도  $V_m$ 은  $30\text{ Km/Hr}$ , 평균 호 지속 시간  $1/\mu_d$ 는  $120\text{ Sec}$ ,  $\lambda_d$ 는  $0.1\text{ Calls/Sec/Km}^2$  이고,  $P_b$ 가  $0.01$ 일 때 핸드오프율을 중첩지수  $a$ 의 함수로 나타내었다. 중첩이 증가되면, 두개의 셀에 의한 경계로 유입되는 핸드오프호  $\lambda_{ic1}$ 는 감소하고, 세개의 셀에 의해 중첩된 지역으로 유입되는 핸드오프호  $\lambda_{ic2}$ 는 증가한다. 따라서 비록 TWHO 방법으로 인해  $\lambda_{ic2}$ 가 직선은 아니지만  $\lambda_{ic1}$ 와  $\lambda_{ic2}$ 의 합은 거의 일정하다. 반면에 중첩된 지역에서 발생하는 핸드오프호  $\lambda_{gr}$ 은 중첩된 면적에 비례하여 증가한다. 결과적으로 TWHO 방법하에서 중첩된 면적이 증가하면 핸드오프율은 주로 중첩된 지역에서 발생하는 핸드오프호  $\lambda_{gr}$ 에 의해 증가한다.

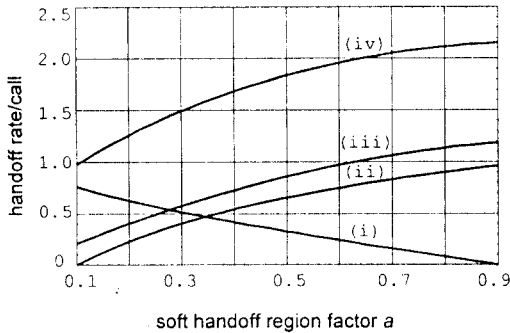


그림 7. 중첩지수  $a$ 의 함수로 주어질 소프트 핸드오프율  
Fig. 7 The soft handoff rates as a function of  $a$

- (i)  $\lambda_{ic1}$       (iii)  $\lambda_{gr}$
- (ii)  $\lambda_{ic2}$     (iv)  $\lambda_{ic1} + \lambda_{ic2} + \lambda_{gr}$

IV. 시뮬레이션

제한한 소프트 핸드오프 모델의 정확도를 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 단순화시키기 위해 단일 셀 시스템으로 시뮬레이션 하였다. 이동국의 속도와 방향은 서로 독립이고, 한 호 동안에는 변하지 않는다고 가정한다. 또한 각각의 구간이  $[0, V_{max}]$ 와  $[0, 2\pi]$ 인 균일 분포로 가정하

였다. 평균 호 지속 시간  $1/\mu_d$ 를  $120\text{ Sec}$ 와 신규호 블럭킹율  $P_b$ 가  $0.01$ 일 때 셀당 20개의 트래픽 무선 자원을 사용하는 것으로 가정하였다. 그림 8은 이동국 속도가 최대  $60\text{Km/Hr}$ 인 균등 분포이고, 원래의 셀 영역에서 확대 중첩되는 영역이 20%, 40% 및 60%일 때의 핸드오프율을 셀 반경의 함수로 나타내었다. 여기에

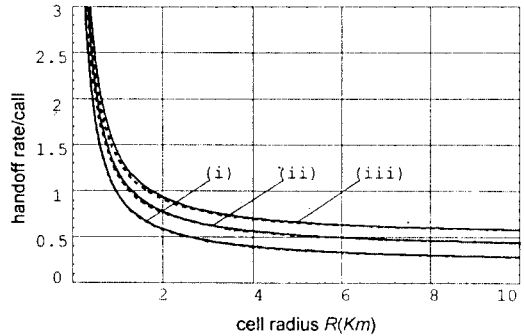


그림 8.  $V_{max}$ 가  $60\text{Km/Hr}$ 일 때  $R$ 의 함수로 주어질 소프트 핸드오프율

Fig. 8 The handoff rate as a function of  $R$  with  $V_{max} = 60\text{Km/Hr}$

— Analytic model,    - - - Simulation Result

- (i)  $a = 0.100$  (20% increased from the original cell)
- (ii)  $a = 0.183$  (40% increased from the original cell)
- (iii)  $a = 0.265$  (60% increased from the original cell)

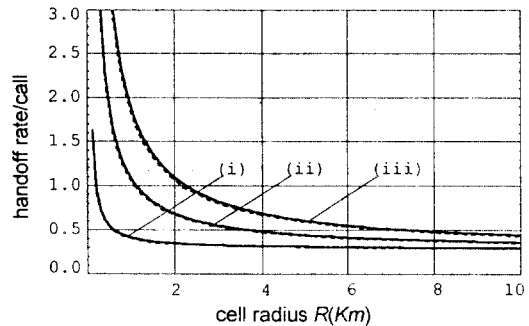


그림 9. 30% 확대 중첩된 셀에서  $V_{max}$ 의 함수로 주어질 소프트 핸드오프율

Fig. 9 The handoff rate as a function of  $V_{max}$  when 30% increased from the original cell

— Analytic model,    - - - Simulation Result

- (i)  $V_{max} = 10\text{Km/Hr}$       (ii)  $V_{max} = 60\text{Km/Hr}$
- (iii)  $V_{max} = 120\text{Km/Hr}$

서 실선은 해석적인 모델을, 점선은 시뮬레이션 결과를 나타내며, 전체적으로 잘 일치함을 알 수 있다. 그림 9는 확대 중첩되는 영역이 30%인 환경에서, 이동국의 속도가 최대 10Km/Hr, 60Km/Hr 및 120Km/Hr 인 균등 분포일 때의 핸드오프율을 나타내었다. 서로 다른 속도에서도 전반적으로 해석적인 모델과 시뮬레이션 결과가 잘 일치함을 보였다.

## V. 결 론

본 논문에서는 소프트 핸드오프 발생 빈도를 계산하기 위한 해석적인 트래픽 모델을 제시하고, 가입자의 이동성으로부터 소프트 핸드오프율을 계산하는 방법들을 제안했다. Two-way handoff 방법을 사용하는 시스템에서는 소프트 핸드오프호의 종류가 세 종류로 구분되는데, 두개의 셀에 의해 중첩되는 영역의 변으로 유입되는 핸드오프호, 세개의 셀에 의해 중첩되는 영역으로 유입되는 핸드오프호와 중첩된 지역에서 발생하는 핸드오프호 등으로 구분되었다. 또한 중첩된 지역이 증가함에 따라 두개의 셀에 의해 중첩되는 영역의 변으로 유입되는 핸드오프호는 감소하는 반면에 세개의 셀에 의해 중첩되는 영역으로 유입되는 핸드오프호가 증가하여 이들 외부에서 유입호의 합은 거의 일정하였다. 반면에 중첩된 지역에서 발생하는 핸드오프들이 면적에 비례하여 증가하여, 중첩된 지역이 증가할 때 핸드오프율 증가의 주된 요인이 되었다. 시뮬레이션에서는 그 결과가 해석적인 모델과 비교하여 중첩된 영역과 이동국의 속도가 변할 때 잘 일치함을 알 수 있었다. 추후 연구 과제로는 소프트 핸드오프의 전반적인 분석을 위해 소프트 핸드오프호의 채널 점유 시간에 대한 연구가 요구된다.

## 참 고 문 헌

1. A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K. S. Gilhousen and E. Zehavi, "Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increases Reverse Link Capacity," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 12, No. 8, pp. 1281-1288, Oct. 1994.
2. S. W. Wang and H. M. Chion, "Network simulations for IS-95 CDMA Systems," *Wireless Information Network Laboratory Workshop Record*, pp. 195-215, Apr. 1995.
3. D. H. Hong and S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedure," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. VT-35, pp. 77-91, Aug. 1986.
4. R. Guerin, "Channel occupancy time distribution in a cellular radio system," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, Vol. VT-35, pp. 89-99, Aug. 1987.
5. T. P. Chu and S. S. Rappaport, "Overlapping coverage and channel rearrangement in microcellular communication systems," *IEE Proceeding Communication*, Vol. 142, No. 5, Oct 1995.
6. P. Yum and K. L. Yeung, "Blocking and handoff performance analysis of directed retry in cellular mobile systems," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, vol. 44, No. 3, pp. 645-650, Aug. 1995.
7. R. Thomas, H. Gilbert, G. Mazziotto, "Influence of the moving of the mobile station on the performance of a radio cellular network," *Proc. of the 3rd Nordic Seminar on Digital Land Mobile Radio Communications*, Sept. 1988.
8. H. Xie and D. J. Goodman, "Mobility models and biased sampling problem," *1993 2nd IEEE International Conference on Universal Personal Communications Record*, Vol. 2, pp. 803-807, Oct. 1993.
9. G. Morales and M. Villen, "An approach to modeling subscriber mobility in cellular radio networks," *World Telecommunications Forum '87*, pp. 185-189, 1987.
10. S. S. Rappaport, "Models for call handoff schemes in cellular communication networks," *Third generation wireless information networks*, Kluwer academic publishers: Boston, pp. 163-185, 1992.





조 무 호(Moo Ho Cho) 정회원  
1980년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)  
1989년 8월: 청주대학교 전자공학과(공학석사)  
1993년 3월~현재: 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

1983년 3월~현재: 한국 전자통신 연구원 이동통신 기술연구단  
※주관심분야: 이동통신 시스템, 트래픽 제어 및 시뮬레이션, 핸드오프 모델링



조 경 록(Kyoung Rok Cho) 정회원  
1997년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)  
1989년: 일본 동경대학교 전자공학과(공학석사)  
1992년: 일본 동경대학교 전자공학과(공학박사)  
1979년~1986년: 금성사 근무

1993년~현재: 충북대학교 정보통신공학과 부교수  
※주관심분야: 논리합성, 고속회로설계, 마이크로프로세서 설계, 이동통신 시스템 설계



김 광 식(Kwang Sik Kim) 정회원  
1991년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)  
1997년 2월: 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)  
1991년 3월~현재: 한국 전자통신 연구원 이동통신 기술연구단

※주관심분야: 이동통신 시스템 성능분석, 전파 스펙트럼 엔지니어링 분야