

論文97-34S-8-1

# 다중 주파수 채널을 사용하는 CDMA 셀룰러 이동통신시스템에서 핸드오프호를 위한 예약자원 할당 방법

## (Resource Reservation Scheme for Handoff Calls in the CDMA Cellular System using Multiple Frequency Channels)

權 洙 根 \* , 全 炯 九 \* , 趙 慶 祿 \*\*

(Kwon Soo Kun, Jeon Hyung Gu, and Cho Kyung Rok)

### 요 약

CDMA(Code Division Multiple Access) 방식에서 제공되는 소프트 핸드오프(Soft Handoff)는 하드 핸드오프에 비해 개선된 서비스 품질, 이동국 간섭의 조절, 서비스 단절 확률의 감소 등 많은 장점을 가진다. 본 논문에서는 다중 주파수 채널을 사용하는 CDMA 방식의 셀룰러 이동통신 시스템에서 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률을 높이기 위해 인접 셀에서 사용중인 주파수 채널에 따라 각 주파수 채널별로 차등적으로 핸드오프를 위한 예약 자원을 할당하는 방식을 제안하였다. 성능 분석 결과 핸드오프를 위한 예약 채널을 인접 셀의 사용 주파수 채널에 적응적으로 할당하는 경우가 인접 셀의 사용 주파수 채널에 무관하게 할당하는 방식에 비해 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생 확률이 높았다. 또한 소프트 핸드오프 발생 확률을 높이기 위해서는 인접 셀에서 서비스되는 모든 주파수 채널 각각에 대해 최소한 하나 이상의 예약 채널을 할당하는 것이 필요한 것으로 분석되었다.

### Abstract

Soft handoff provided in CDMA cellular system has much advantage such as better service quality, interference control and low call dropping probability. In this paper, we propose an optimum resource reservation scheme for handoff calls in the CDMA cellular system to increase the soft handoff probability in handoff. In the proposed scheme, resources of each frequency channel are reserved for handoff according to the number of its neighbor cells serving the same frequency channel. A performance analysis shows that the soft handoff probability of the proposed scheme is higher than that of conventional scheme disregarding the condition of frequency assignment of neighbor cells, and that every frequency channel served by neighbor cells should reserve more than one traffic channel for handoff to get good performance.

\* 正會員, 韓國電子通信研究院

(Electronics and Telecommunications Research Institute)

\*\* 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科

(ChungPook National University)

接受日子: 1997年2月24日, 수정완료일: 1997年7月23日

### I. 서 론

주파수의 효율성을 높여 증가하는 이동통신 서비스 요구를 수용하기 위해 셀룰러 방식이 도입되었으며 근래에 들어 셀의 서비스 반경이 점점 줄어 마이크로 셀, 피코 셀 등이 등장하였다<sup>[1]</sup>. 이와 같이 셀의 서비스 반경 감소에 따라 직면하는 가장 큰 문제점은 서

비스중인 호에 대한 빈번한 핸드오프의 발생이다<sup>[2]</sup>. 일반적으로 서비스중인 호의 중단을 초래하는 핸드오프호의 절단은 신규호의 차단에 비해 훨씬 심각한 서비스 품질의 저하를 초래하는 것으로 간주된다. 신규호보다 핸드오프호에 우선권을 주어 서비스중인 호의 절단률을 줄이기 위해서 무선자원의 일부를 핸드오프호만을 위해 예약하는 방식이 사용되고 있다<sup>[3]</sup>.

Frequency Division Multiple Access (FDMA) 방식 및 Time Division Multiple Access (TDMA) 방식의 셀룰러 이동통신 시스템에서는 간섭 때문에 인접 셀간에는 동일한 주파수를 사용할 수 없으며 일정 거리 이상 떨어진 셀에서만 동일 주파수를 사용할 수 있다. 따라서, FDMA 방식 및 TDMA 방식에서는 핸드오프시 하드 핸드오프만 가능하다. 반면 CDMA 방식에서 각 신호는 본질적으로 간섭 배제의 특성을 가지므로 인접 셀간에 동일 주파수 사용이 허용되며 이는 소프트 핸드오프를 가능하게 한다. CDMA 방식에서만 제공되는 소프트 핸드오프는 하드 핸드오프에 비해 개선된 서비스 품질, 이동국 간섭의 조절, 서비스 단절 확률의 감소 등 많은 장점을 가진다<sup>[4] [5] [6]</sup>.

CDMA 셀룰러 이동통신 시스템에서는 할당된 주파수 대역을 여러개의 광대역 주파수 채널로 분할하여 사용하며 각 주파수 채널을 여러 가입자가 동시에 사용한다. CDMA 방식에서도 다른 주파수 채널간에 핸드오프가 발생하는 경우에는 TDMA나 FDMA에서와 마찬가지로 소프트 핸드오프는 불가능하며 하드 핸드오프가 발생한다. 따라서, 다수의 주파수 채널을 사용하는 CDMA 방식에서는 채널 할당 방법에 따라 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률이 달라질 수 있다.

본 논문에서는 다수의 주파수 채널을 사용하는 CDMA 방식의 셀룰러 이동통신 시스템에서 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률을 증대시키기 위해 주파수 채널별로 해당 주파수 채널을 서비스하는 인접 셀의 수에 따라 핸드오프를 위한 예약 자원을 차등적으로 할당하는 방식을 제안하고 해석적인 방법으로 제안된 방식의 성능을 분석한다.

## II. 핸드오프를 위한 예약자원 할당방법

### 1. 주파수 채널 할당 및 소프트 핸드오프

CDMA 방식의 셀룰러 이동통신 시스템에서는 할당

된 전체 주파수 대역을 여러 개의 주파수 대역으로 나누어 사용하며 각 대역을 주파수 채널 또는 CDMA 채널이라고 부른다. 주파수 채널의 대역은 협대역 CDMA에서는 1.25MHz를 사용하며<sup>[6]</sup>, 높은 전송률을 포함한 멀티미디어 서비스를 제공해야 하는 FPLMTS (Future Public Land Mobile Telecommunication System)등에서는 더 넓은 대역폭을 필요로 한다. 각 주파수 채널이 서비스 되기 위해서는 독립적인 고주파 처리부 및 채널 엘리먼트 등의 디지털 처리부가 추가되어야 한다. 도시와 농촌 그리고 도심 지역과 변두리 지역 등 다양한 트래픽 부하를 가지는 실제 환경에서 모든 셀에서 동일하게 전체 주파수 채널을 서비스 하는 것은 상당한 낭비를 초래한다. 따라서 각 셀은 그림 1에서 보는 바와 같이 셀의 트래픽 환경에 따라 필요한 수 만큼의 주파수 채널을 서비스 하게 될 것이다. 이와 같은 CDMA 셀 환경에서 셀간 핸드오프시 현재 호가 사용중인 주파수 채널이 인접 셀에서 서비스되지 않거나 해당 주파수 채널에 가용 트래픽 채널이 없는 경우에는 주파수간 하드 핸드오프가 발생한다<sup>[6]</sup>.

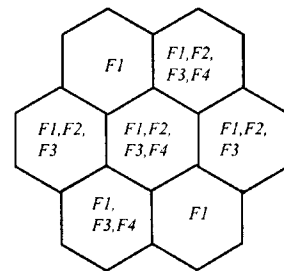


그림 1. 다수의 주파수 채널을 사용하는 셀구성 예  
Fig. 1. Frequency channel assignment example.

그림 2의 셀 A에서 셀 B로 이동국이 서비스 상태에서 이동하는 경우 이동국이 사용중인 주파수 채널과 동일 주파수 채널의 트래픽 채널을 셀 B에서 제공할 수 있는 경우 소프트 핸드오프가 발생한다. 소프트 핸드오프시 이동국이 셀 B 영역으로 이동하여 인접 셀의 소프트 핸드오프 시작(Add) 영역인  $R_{in}$ 에 접근하면 셀 B와도 통신로가 설정되어 셀 A와의 접속이 종료되는 셀프 셀의 소프트 핸드오프 해제(Drop) 영역인  $R_{out}$ 까지는 두 셀과 동시에 통신로가 설정된다. 이때 이동국과 기지국 셀렉터는 양 통신로로 수신한 데이터

중 보다 양호한 데이터를 사용하여 원래 신호를 복원한다. 반면 이동국이 셀 A에서 셀 B로 이동시 셀 B에서 현재 이동국이 사용중인 주파수 채널로 서비스 제공이 불가능한 경우  $R_{eq}$  지점까지는 셀 A와만 통신이 수행되고  $R_{eq}$  지점에서 셀 A와의 접속이 절단되면서 셀 B와 재 연결되는 하드 핸드오프가 발생한다.

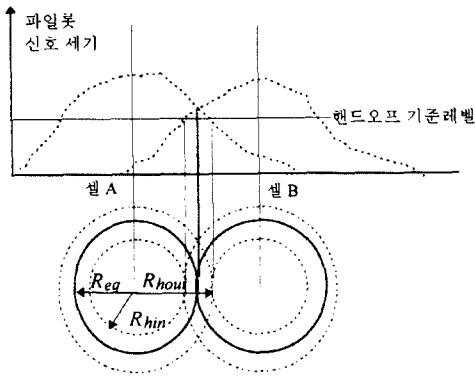


그림 2. 파일럿 신호 세기와 핸드오프 영역  
Fig. 2. Pilot Strength and Cell Area.

위에서 살펴본 바와 같이 소프트 핸드오프는 전송 특성이 열악한 핸드오프 영역에서 두개 이상의 기지국과 동시에 송수신이 가능하며 이에 따라 수신 데이터 중 페이딩의 영향이 적은 양질의 데이터를 선택함으로써 하드 핸드오프에 비하여 무선 구간에서의 전송 에러를 크게 줄일 수 있다. 또한, 하드 핸드 오프에서는 접속 전 단절(Break\_Before\_Make) 특성에 따라 무선 링크의 일시적인 단절이 발생하나, 소프트 핸드오프에서는 단절 전 접속(Make\_Before\_Break) 특성에 따라 핸드오프시에도 무선 링크의 연속성이 유지되어 높은 서비스 품질을 제공한다. 이동국이 셀의 경계에 있는 경우 송신 전력이 최대가 되며 이에 따라 타 가입자에 대한 간섭이 최대가 된다. 소프트 핸드오프는 다수의 수신 프레임중 양호한 프레임을 기준으로 전력 제어가 수행됨에 따라 간섭 신호를 줄일 수 있다. 따라서, 소프트 핸드오프는 간섭량에 의해 용량이 제한되는 CDMA 방식에서 기지국 전체의 용량을 개선시킬 수 있다<sup>[5]</sup>. 마지막으로 빠르게 움직이는 이동국에 대한 느린 핸드오프 처리는 이동국이 서비스중인 기지국의 순방향 채널을 복조할 수 없는 경우가 발생하여 서비스의 단절을 가져 올 수 있으나 소프트 핸드오프는 이러한 문제를 해결해 줄 수 있다.

## 2. 인접 셀 환경에 적응한 예약자원 할당 방법

CDMA 방식에서 핸드오프 요청을 수신한 기지국은 상태에 따라 다음과 같은 세가지의 처리가 가능하다. 첫째, 핸드오프호가 사용중인 주파수 채널의 트래픽 채널 할당이 가능하여 소프트 핸드오프를 제공하는 경우, 둘째, 핸드오프호가 사용중인 주파수 채널에는 가용한 채널은 없으나 다른 주파수 채널에 가용 트래픽 채널이 있어 주파수간 하드 핸드오프를 제공하는 경우, 셋째 기지국 전체에 가용 자원이 없어 호를 차단하는 경우이다. 일반적으로 핸드오프호의 절단은 신규호의 차단에 비해 훨씬 큰 영향을 주는 것으로 간주되므로 핸드오프만을 위해 일정 트래픽 채널을 예약하는 방식이 사용된다. 예약 채널의 운용은 핸드오프호에 대한 차단 확률을 줄이는 효과는 있으나 채널의 사용 효율을 저하시키므로 예약 채널은 최소한으로 제한된다. 다수의 주파수 채널을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템에서는 핸드오프를 위해 동일한 양의 예약 자원을 사용하는 경우 핸드오프호의 차단율은 동일하나 각 주파수 채널별로 예약 자원을 할당하는 비율에 따라 소프트 핸드오프의 발생 확률은 크게 달라질 수 있다. 그림 1에서와 같이 인접 셀에서 사용하는 주파수 채널의 수가 다른 경우 각 주파수 채널별로 유입되는 핸드오프 발생률이 달라질 것이다. 각 주파수 채널별로 유입되는 핸드오프 발생률이 다른 경우 핸드오프 발생률에 비례하여 예약 채널을 할당하여 소프트 핸드오프의 발생 확률을 높일 수 있다. 그림 1에서 F1의 경우 6개의 인접 셀에서 서비스되며 F2의 경우는 3개의 인접 셀에서 서비스 된다. 따라서 F1을 사용하는 호의 핸드오프 발생률과 F2를 사용하는 호의 핸드오프 발생률의 비는 2:1의 비율을 가질 것으로 볼 수 있으며 F1과 F2 주파수 채널의 핸드오프를 위한 예약 채널의 비를 이에 적응시키는 경우 기지국 전체의 소프트 핸드오프 비율은 증가될 것이다.

## III. 트래픽 모델

### 1. 호 발생률 (Calling Rate)

셀은 한번이 R인 정육각형 셀과 면적이 동일한 반경이  $R_{eq}$  인 원으로 가정하며  $R_{out}$  은 조사 대상인 셀의 핸드오프 시작(Add)되거나 종료(Drop)되는 경계이고  $R_{in}$  은 인접 셀의 핸드오프가 시작(Add) 또는 종료(Drop) 되는 경계이다. 호발생은 포아송 과정을 따

르며, 호는 셀내에 균일하게 분포되어 있다고 가정한다. 호는 발생 위치에 따라 세 종류로 분류된다. 첫째, 셀내( $R_{eq}$ 내)에서 발생하는 신규호이고, 둘째, 소프트 핸드오프 영역 ( $R_{hout}$ 와  $R_{eq}$ 사이)에서 발생하는 핸드오프호로 소프트 핸드오프 영역에서 발생하는 호는 인접 셀에서 신규호가 성공하는 즉시 조사 대상 셀의 핸드오프호로 발생한다. 세번째 호는 셀 외부에서 발생하여 이동국의 이동에 따라 핸드오프되는 유입호이다. 신규호의 발생에 따른 각 주파수 채널에 주어지는 부하는 동일하다고 가정한다.

○ 신규호

반지름  $R_{eq}$ 인 셀 내에서 단위 시간당 하나의 주파수 채널당 신규호 발생률이  $\lambda_n$  이고 신규호가 성공될 확률이  $P_n$  인 경우 호가 성공적으로 수행되어 해당 주파수 채널을 점유하는 호의 발생 빈도  $\lambda_{nc}$  은 식 (1)과 같다.

$$\lambda_{nc} = \lambda_n \cdot P_n \tag{1}$$

○ 소프트 핸드오프 영역에서의 발생호

$R_{eq}$  와  $R_{hout}$  사이에서 주파수 채널당 발생하는 핸드오프호는 인접셀에서 신규호로 설정됨과 동시에 핸드오프호로 발생된다. 소프트 핸드오프 영역에서 발생하는 호는 인접 셀에서 신규호가 성공하는 경우에만 조사대상 셀에서 핸드오프호가 발생한다. 따라서  $R_{eq}$  와  $R_{hout}$  사이에서 발생하는 단위 주파수 채널당 신규호 발생률이  $\lambda_n$ , 신규호가 서비스될 확률이  $P_n$ , 전체 인접셀의 수가  $F_N$ , 임의의 주파수 채널을 사용하는 인접셀수가  $f_n$  인 경우 조사대상 셀의 단위 주파수 채널에 부하로 주어지는 핸드오프호 발생률  $\lambda_{hc}$ 은 아래식과 같다.

$$\lambda_{hc} = \left( \frac{R_{hout}^2 - R_{eq}^2}{R_{eq}^2} \right) \cdot \lambda_n \cdot P_n \cdot \frac{f_n}{F_N} \tag{2}$$

$\lambda_{hc}$ 중 핸드오프 절차가 성공적으로 수행되어 해당 주파수 채널을 점유하는 호발생률  $\lambda_{hlc}$ 은 신규호에서와 동일하게 핸드오프호 발생률  $\lambda_{hc}$ 과 핸드오프호가 성공할 확률  $P_h$ 의 곱으로 표시된다.

$$\lambda_{hlc} = \lambda_{hc} \cdot P_h = \left( \frac{R_{hout}^2 - R_{eq}^2}{R_{eq}^2} \right) \cdot \lambda_n \cdot P_n \cdot \frac{f_n}{F_N} \cdot P_h \tag{3}$$

○ 셀 외부에서 유입되는 호

서비스 영역 내에서의 신규호 발생률이 전체 영역에 균일하게 분포하였다고 가정하면 특정 셀에서 유입되

는 호와 그 셀에서 방출되는 호는 흐름 보존 법칙 (flow conservative law)에 따라 동일하다고 볼 수 있다. 따라서,  $R_{hout}$  로 유입되는 소프트 핸드오프호  $\lambda_{h2}$ 는  $R_{hout}$  에서 방출되는 호와 동일하다<sup>[7,8]</sup>. 단위 면적당, 단위주파수 채널당 호 밀도가  $\rho$ , 셀의 둘레가  $L$ , 이동국의 평균속도가  $V_{mean}$  인 경우  $R_{hout}$  에서 방출되는 소프트 핸드오프 호  $\lambda_{h2}$ 는 아래식과 같다.

$$\lambda_{h2} = \frac{\rho \cdot V_{mean} \cdot L}{\pi} \cdot \frac{f_n}{F_N} = 2 \rho \cdot V_{mean} \cdot R_{hout} \cdot \frac{f_n}{F_N} \tag{4}$$

주파수 채널 당 유입되는 핸드오프호가  $\lambda_{h2}$  이고 핸드오프호가 서비스될 확률이 인 경우 소프트 핸드오프 호가 성공적으로 수행되어 해당 주파수 채널을 점유하는 호의 발생률  $\lambda_{h2c}$  은 식(5)와 같다.

$$\lambda_{h2c} \lambda_{h2} \cdot P_h = 2 \rho \cdot V_{mean} \cdot R_{hout} \cdot \frac{f_n}{F_N} \cdot P_h \tag{5}$$

2. 채널 점유 시간 (Channel Holding Time)

셀룰러 시스템에서 이동국이 채널을 점유하기 위해서는 호 발생 후 해당 셀 내에 머물러야 하고 또한 호가 지속되어야 하는 조건을 동시에 만족해야 한다. 따라서 채널 점유 시간은 신규 호 또는 핸드오프에 의한 호 발생 후 이동국이 셀 내에 머무는 시간과 통화가 지속될 시간중 적은 값이 된다. 이동국의 셀 내 체류 시간은 호 발생 영역에 따라 신규호, 소프트 핸드오프 영역에서 발생한 핸드오프호 및 유입되는 핸드오프호 등 세 종류로 나누어 구할수 있다. 이중 신규호 영역과 소프트 핸드오프 영역에서 발생한 호의 셀 내 체류 시간은 셀 내 체류시간 관점에서 보면 구별이 불필요하므로 동일하게 취급할 수 있다. 따라서 기존의 하드 핸드오프 모델<sup>[3]</sup>에서 사용하는 방식과 동일하게 소프트 핸드오프 영역  $R_{hout}$ 를 기준으로 내부에서 발생하는호와 영역외에서 발생하여 유입되는 호 등 두 종류로 분류하여 계산 할 수 있다. 소프트 핸드오프 영역내에서 발생한 신규호와 핸드오프호가 핸드오프를 포함한 셀 영역 내 체류 시간을 확률 변수  $T_{in}$  이라 하고 유입되는 호의 셀 내 체류 시간을 확률 변수  $T_{out}$  라고 하면 각각의 누적분포함수(cdf)는 아래식과 같다<sup>[3]</sup>.

$$FTin(t) = \frac{2}{\pi} \arcsin\left(\frac{V_{max} t}{2R_{hout}}\right) - \frac{4}{3\pi} \tan\left[\frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{V_{max} t}{2R_{hout}}\right)\right] + \frac{1}{3\pi} \sin\left[2 \arcsin\left(\frac{V_{max} t}{2R_{hout}}\right)\right] \text{ for } 0 \leq t \leq \frac{2P_{out}}{V_{max}}$$

$$= 1 - \frac{8Put}{3\pi v_{\max} t}, \text{ for } t \geq \frac{2Put}{V_{\max}} \quad (6)$$

$$F_{T_{out}}(t) = \frac{2}{\pi} \arcsin\left(\frac{V_{\max} t}{2R_{\text{hout}}}\right) - \frac{2}{\pi} \tan\left[\frac{1}{2} \arcsin\left(\frac{V_{\max} t}{2R_{\text{hout}}}\right)\right]$$

for  $0 \leq t \leq \frac{2Put}{V_{\max}}$

$$= 1 - \frac{4Put}{\pi v_{\max} t}, \text{ for } t \geq \frac{2Put}{V_{\max}} \quad (7)$$

호 지속시간을  $T_M$ 이라고  $T_M$ 의 분포가 평균이  $1/\mu_M$ 인 지수 분포라 하면, 신규호와 소프트 핸드오프 영역 내에서 발생한 핸드오프호의 채널 점유시간  $T_{Hin}$ , 유입되는 호의 채널 점유 시간  $T_{Hout}$ 은 각각  $T_M$ 과  $T_{in}$  및  $T_M$ 과  $T_{out}$  중 적은 값이 되며  $T_{Hin}$ 와  $T_{Hout}$ 의 cdf는

$$F_{T_{Hin}}(t) = F_{T_M}(t) + F_{T_{in}}(t)(1 - F_{T_M}(t)) \quad (8)$$

$$F_{T_{Hout}}(t) = F_{T_M}(t) + F_{T_{out}}(t)(1 - F_{T_M}(t))$$

이 된다<sup>[3]</sup>. 위 식으로부터 전체 호의 채널 점유 시간  $T_H$ 의 cdf 는 식 (9)과 같다<sup>[3]</sup>.

$$F_{T_H}(t) = \frac{\lambda_{nc} + \lambda_{hc}}{\lambda_{nc} + \lambda_{hc} + \lambda_{hc}} F_{T_{Hin}}(t) + \frac{\lambda_{hc}}{\lambda_{nc} + \lambda_{hc} + \lambda_{hc}} F_{T_{Hout}}(t) \quad (9)$$

식(9)에 식(8)를 적용하면 식(10)가 된다.

$$F_{T_H}(t) = 1 - e^{-\mu t} + e^{-\mu t} \left[ \frac{\lambda_{nc} + \lambda_{hc}}{\lambda_{nc} + \lambda_{hc} + \lambda_{hc}} F_{T_{Hin}}(t) + \frac{\lambda_{hc}}{\lambda_{nc} + \lambda_{hc} + \lambda_{hc}} F_{T_{Hout}}(t) \right] \quad (10)$$

$T_H$  는 대략 지수분포를 가지며 지수분포는 평균에 의해 표시되므로 평균 채널 점유시간  $\bar{T}_H (= 1/\mu_H)$  는 아래의 식을 만족하는  $\mu_H$ 의 역으로 구할 수 있다<sup>[3]</sup>.

$$\int_0^{\infty} (F^C_{T_H}(t) - e^{-\mu_H t}) dt = 0 \quad (11)$$

여기서,  $F^C_{T_H}(t) = 1 - F_{T_H}(t)$ 이다.

#### IV. 성능 분석

##### 1. 핸드오프시 소프트핸드오프 발생 확률

본 분석에서는 그림 1과 같이 조사대상인 셀이 인접 셀에서 서비스되는 모든 주파수 채널을 서비스한다고 가정하며 이 경우 인접 셀에서 유입되는 핸드오프호에 대한 소프트 핸드오프의 발생 확률을 구하여 성능을 비교한다. 소프트 핸드오프가 발생하기 위해서는

핸드오프 요청호가 사용중인 주파수 채널과 동일한 주파수 채널의 트래픽 채널에 할당 되어야 한다. 따라서 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률은 핸드오프호가 사용중인 주파수 채널과 동일한 주파수 채널의 트래픽 채널에 할당될 확률과 같다. 기지국 전체의 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생 확률을 구하기 위해 먼저 하나의 주파수 채널에 대해 소프트 핸드오프 발생 확률을 계산하고 각 주파수 채널별로 해당 주파수 채널을 서비스하는 인접 셀의 수에 따라 가중치를 주어 전체 확률을 구한다.

하나의 주파수 채널에서 가용한 트래픽 채널 수가  $n$  개이고 트래픽 채널중  $r$ 개는 핸드오프호만을 위해 사용한다. 사용 트래픽 채널 수가  $n-r$  개 이하이면 신규 및 핸드오프호에 의해 공유되고 가용 트래픽 채널이  $r$  개 이하이면 핸드오프호만 할당한다. 신규호와 핸드오프호의 발생율은 평균이  $\lambda_n, \lambda_h$  ( $\lambda_{n1} + \lambda_{h2}$ )인 포아송 과정이고, 채널 점유시간  $T_H$ 는  $1/\mu_H$  평균이인 지수분포로 가정한다. 임의의 주파수 채널의 트래픽 채널 사용 갯수가  $i$  개이고 셀이  $E_i$  에 머무를 안정 상태를  $P_i$  라고하면  $P_i$  는 일반적인 birth-death process에 의해 다음식과 같이 표현된다<sup>[3]</sup>.

$$P_i \frac{(\lambda_n + \lambda_h)}{\mu_H} P_{i-1}, \text{ for } i = 1, 2, \dots, n-r \quad (12)$$

$$P_i \frac{\lambda_h}{\mu_H} P_{i-1}, \text{ for } i = n-r+1, \dots, n-r$$

$P_i$  의 전체 합은 1 이 되어야 하며 이에 따라 각 상태의 확률은 아래 식과 같이 구할 수 있다.

$$P_0 = \left[ \sum_{i=0}^{n-r} \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^i}{i! \mu_H^i} + \sum_{i=n-r+1}^n \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^{n-r} \lambda_h^{i-(n-r)}}{i! \mu_H^i} \right]^{-1} \quad (13)$$

$$P_i \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^i}{i! \mu_H^i} P_0 \text{ for } i = 1, 2, \dots, n-r$$

$$P_i \frac{(\lambda_n + \lambda_h)^{n-r} \lambda_h^{i-(n-r)}}{i! \mu_H^i} P_0, \text{ for } i = n-r+1, \dots, n \quad (14)$$

최종적으로  $j$  번째 주파수 채널로 요청된 핸드오프 호가 소프트 핸드오프로 성공할 확률  $P_{sj}$  는 아래와 같다.

$$P_{sj} = \sum_{i=0}^{n-r} P_i \quad (15)$$

조사 대상 셀의 서비스 주파수가  $f_{n(\text{self})}$  개인 경우 셀 전체의 핸드오프시 소프트 핸드오프가 발생할 확률  $P_S$

는  $j$ 번째 주파수 채널의 소프트 핸드오프 확률  $P_{sj}$ 와  $j$ 번째 주파수 채널에 대한 해당 주파수 채널을 서비스하는 인접 셀의 수  $f_{nj}$ 에 따른 가중치를 곱한 값의 합으로 구할 수 있다.

$$P_S = \frac{\sum_{j=1}^{f_{total}} P_{sj} \cdot f_{nj}}{\sum_{j=1}^{f_{total}} f_{nj}} \quad (16)$$

2. 성능 특성

제안된 채널 할당 방식의 특성을 분석하기 위해 셀의 주파수 채널의 할당 상태, 호 발생률, 핸드오프를 위한 예약 채널 할당 방식에 따른 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률을 구하였다. 성능 특성에 적용된 파라미터로는 셀 반경  $R$ 은  $3.2km$ , 이동국의 최대 속도는  $90 km/hour$ ,  $R_{eq}/R_{hour} = 0.8$ , 주파수 채널당 통화 채널수  $n$ 은 30개로 가정하였다. 그리고 호지속시간은 평균  $\bar{T}_M(1/\mu_M)$ 이 120초인 지수 분포로 가정 하였으며 셀의 모델링에 사용되는 육각 셀을 기준으로 하여 인접 셀의 수  $F_N$ 은 6 개를 가정하였다.

그림 3은 조사 대상인 셀의 기지국이  $F1, F2$  두개의 주파수 채널을 서비스하며  $F1$ 은 모든 인접 셀에서 서비스되고  $F2$ 를 서비스하는 인접 셀이 1~6개로 변화하는 조건에서 핸드오프를 위한 셀의 전체 예약 채널을  $F1, F2$ 에 분배하는 비율에 따른 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률이다. 단위 주파수 채널당 신규호의 발생률  $\lambda_n$ 은 1 call/sec로 하였다. 예약 채널의 분배 방법은 셀의 전체 예약 채널을 4개로 가정하고 첫째  $F1$ 에 4개를 모두 할당하는 방법, 둘째  $F1$ 에 3개,  $F2$ 에 하나를 할당하는 방법, 셋째  $F1, F2$ 에 동일하게 2개씩 할당하는 방법에 대하여 조사했다. 모든 조건에서  $F1$ 에만 예약 채널을 두고  $F2$ 에 예약 채널을 두지 않는 방식이 가장 낮은 소프트 핸드오프 발생 확률을 가지며  $F1$ 과  $F2$ 에 예약채널을 분배하는 경우  $F2$ 를 사용하는 인접 셀 수가 1~2개인 경우는 2번째의 경우가 우수하며 3개인 경우 방식2와 방식3이 동일하며 4개 이상인 경우 방식3이 우수하였다 위의 결과는 핸드오프를 위한 예약 채널 할당시 인접 셀에서 서비스되는 주파수 채널을 고려하는 경우 소프트 핸드오프 발생 확률을 높일 수 있다는 것을 보여준다. 인접 셀에서 서비스되는 주파수 채널 수와 요구되는 예약 채널의 수가 정확하게 비례하지 않는 이유는 그림 4에서 보는 바와 같이 핸드오프시 소프트

핸드오프 발생 확률의 증가율이 예약 채널의 수가 증가함에 따라 감소하는 것에 기인하는 것으로 판단된다.

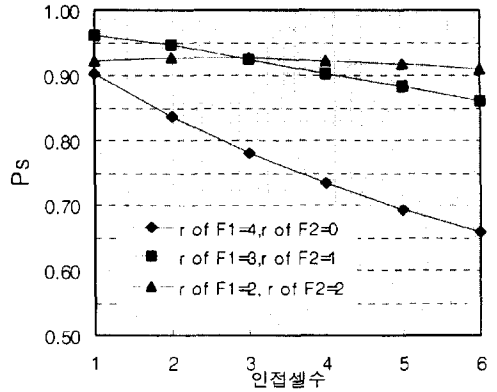


그림 3. 동일주파수 채널을 사용하는 인접 셀 수에 따른 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생확률  
Fig. 3. Probability of soft handoff of a cell according to allocating reserved channels and number of neighbors using  $F_2$ .

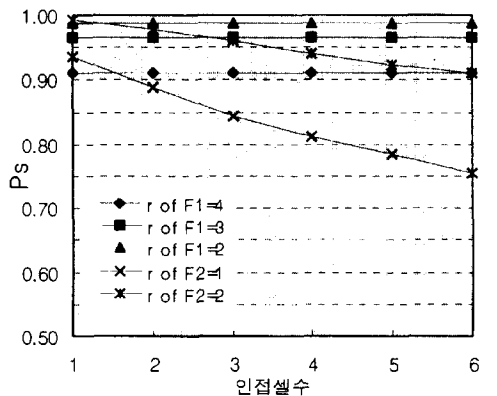


그림 4. 동일주파수 채널을 사용하는 인접 셀 수에 따른 주파수 채널별 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생 확률  
Fig. 4. Probability of soft handoff of each frequency channel according to allocating reserved channels and number of neighbors using  $F_2$ .

그림 4는 각 주파수 채널에 대한 예약 채널 및 인접 셀 환경에 따른 소프트 핸드오프의 발생 확률 변화이다.  $F1$ 의 경우는 모든 인접 셀에서 서비스되고  $F2$ 의 경우 서비스되는 인접 셀을 1개에서 6개로 변화시켰다.  $F2$ 를 사용하는 인접 셀이 증가함에 따라  $F2$ 에서 핸드오프시에 소프트 핸드오프 확률이 감소하였다. 감소 정도는 예약 채널이 두개인 경우 하나인 경우에 비하여 훨씬 적으며 이는 그림 3에서  $F2$ 를 사용하는 인

접 셀의 수가 증가하는 경우 방식3이 방식2 보다 우수한 것에 대한 설명이 된다.

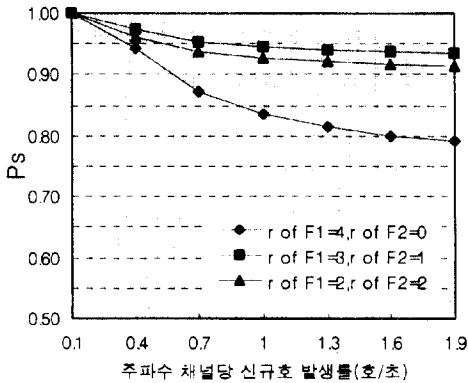


그림 5. 신규호 발생률에 따른 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생확률  
 Fig. 5. Probability of soft handoff of a cell according to allocating reserved channels and new call arrival rate.

그림 5는 단위 주파수 채널 당 신규호 발생률 변화에 따른 각 자원 할당 방식별 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률이다. F1은 모든 인접 셀에서 서비스되며 F2는 2개의 인접 셀에서 서비스된다고 가정하였다. 위에서와 동일하게 셀의 전체 예약 채널은 4개이며 방식 1의 경우는 F1에만 4개 채널을 할당하고 방식 2는 F1에 3개 F2에 1개를 할당하며 방식 3의 경우는 F1, F2에 각각 2개의 예약 채널을 할당하였다. 방식 2가 모든 부하 조건에서 가장 우수한 특성을 가지며 부하가 증가 할수록 타 방식과의 성능 차이가 증가한다. 특히 F2에 예약 채널을 전혀 두지 않는 방식 3의 경우 부하가 증가함에 따라 성능이 급격히 저하한다.

그림 6은 F2에 할당되는 예약 채널 수의 변화에 따른 F2에서의 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생률을 나타낸다. 단위 주파수 채널당 신규호의 발생률은 1 call/sec로 하였다 예약 채널의 증가에 따른 소프트 핸드오프의 발생률은 지속적으로 증가하나 증가율은 선형적이지 않으며 예약 채널의 수가 적은 경우에는 증가율이 크며 예약 채널이 증가할수록 증가율이 감소한다. 이는 위의 결과에서 살펴본 바와 같이 모든 주파수 채널에 대해 최소한 하나 이상의 예약 채널이 할당되는 경우에 셀 전체의 소프트 핸드오프 발생 확률이 증가하는 이유를 설명해준다. F2를 사용 중인 인접 셀 수를 1개에서 6개까지 변화시킨 경우 즉, F2에

대한 핸드오프 부하가 증가되는 경우 당연한 결과로 소프트 핸드오프의 발생 확률은 감소하나 전체적으로 예약 채널에 대한 소프트 핸드오프의 발생률 변화 형태는 동일한 특성을 유지하였다.

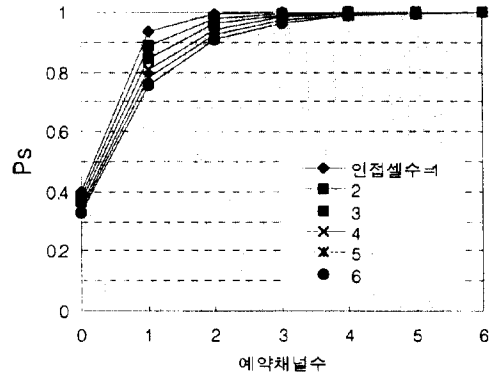


그림 6. 예약채널수의 변화에 따른 소프트 핸드오프 발생 확률  
 Fig. 6. Probability of soft handoff of a cell according to the number of neighbors using F2 and reserved channels.

표1은 신규호의 성공률과 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생 확률을 종합적으로 고려한 호처리 성능을 보여준다. 핸드오프호의 실패율도 호처리 성능의 주요한 변수이나, 본 성능 분석에서는 셀의 전체의 예약 채널은 4개로 일정하다고 가정하였으므로 F1, F2의 예약 채널 수 비율에 상관 없이 셀 전체의 핸드오프호 실패율은 동일하므로 고려하지 않았다. 종합 호처리 성능 T<sub>cp</sub>은 식(17)과 같이 구하였다.

$$T_{cp} = \frac{P_n \cdot W_{ns} + P_s \cdot W_{hs}}{W_{ns} + W_{hs}} \quad (17)$$

여기서 P<sub>n</sub>는 셀 전체의 신규호의 성공률, P<sub>s</sub>는 셀 전체의 핸드오프시 소프트 핸드오프로 성공할 확률, W<sub>ns</sub> 신규호 성공에 대한 가중치, W<sub>hs</sub>는 핸드오프시 소프트 핸드오프로 성공시의 가중치를 나타낸다. 단위 주파수 채널 당 신규호의 발생률 λ<sub>n</sub>은 0.5 calls/sec로 하였다. 종합 호처리 성능은 대부분의 조건에서 F1에만 예약 채널을 두고 F2에 예약 채널을 두지 않는 방식이 가장 낮은 값을 가지며 예약 채널을 분배하는 경우 F2를 사용하는 인접 셀 수가 1~3개인 경우는 F1에 3개, F2에 1개를 할당하는 방식이 F2를 사용하는 인접 셀 수가 4~6개인 경우는 F1에 2개, F2에 2개를 할당하는 방식이 가장 우수하였다.

표 1. 신규호의 성공률과 핸드오프시 소프트 핸드오프 발생 확률을 종합적으로 고려한 호처리 성능

Table 1. Total call processing performance considering new call success probability and soft handoff probability.

F2를 사용하는 인접셀수 (개)	F1의 예약 채널수 (개)	F2의 예약 채널수 (개)	신규호 성공률 P <sub>b</sub> (%)	소프트 핸드오프 발생 확률 P <sub>s</sub> (%)	종합 호처리 성능 P <sub>cp</sub>			
					W <sub>ns</sub> =1	W <sub>ns</sub> =1	W <sub>ns</sub> =2	W <sub>ns</sub> =3
					W <sub>ts</sub> =2	W <sub>ts</sub> =2	W <sub>ts</sub> =1	W <sub>ts</sub> =1
1	4	0	67.3	95.3	85.9	81.3	76.6	74.3
	3	1	66.25	97.5	87.2	81.9	76.7	74.1
	2	2	66.2	94.4	85	80.3	75.6	73.2
2	4	0	61.65	91.2	81.3	76.4	71.5	69.0
	3	1	59.75	96.6	84.4	78.2	72.2	69.1
	2	2	59.5	94.9	83.1	77.2	71.3	68.3
3	4	0	57.05	87.3	77.2	72.1	67.1	64.6
	3	1	54.45	95.3	81.7	74.9	68.1	64.7
	2	2	54	94.6	81.0	74.3	67.5	64.1
4	4	0	52.8	83.7	73.4	68.2	63.1	60.5
	3	1	50.35	93.8	79.3	72.1	64.9	61.3
	2	2	49.9	94.7	79.8	72.3	64.9	61.1
5	4	0	50.05	80.1	70.0	65.0	60.0	57.5
	3	1	46.75	92.2	77.0	69.4	61.9	58.1
	2	2	46.1	94.3	78.3	70.2	62.2	58.2
6	4	0	47.45	77	67.1	62.2	57.3	54.8
	3	1	43.75	90.6	74.9	67.2	59.3	55.4
	2	2	43	93.7	76.8	68.4	59.9	55.7

V. 결 론

CDMA 방식에서 각 신호는 본질적으로 간섭 배제의 특성을 가지므로 인접 셀간에 동일 주파수 사용이 허용되며 이는 소프트 핸드오프를 가능하게 한다. 소프트 핸드오프는 하드 핸드오프에 비해 개선된 서비스 품질, 이동국 간섭의 조절, 서비스 단절 확률의 감소 등 많은 장점을 가진다. 그러나 CDMA에서도 동일 주파수 채널간에만 소프트 핸드오프가 가능하며 다른 주파수 채널간에는 주파수간 하드 핸드오프가 발생한다.

다수의 주파수 채널을 사용하는 CDMA 셀룰러 시스템에서는 인접 셀에서 사용하는 주파수 채널에 따라 각 주파수 채널별로 유입되는 핸드오프 발생률 또한 달라질 것이다. 본 논문에서는 다수의 주파수 채널을 사용하는 CDMA 방식의 셀룰러 이동통신 시스템에서 핸드오프시 소프트 핸드오프의 발생 확률을 증대 시키기 위해 각 주파수 채널별로 인접 셀에서 사용중인 주파수 채널수에 따라 차등적으로 핸드오프를 위한 예약 자원을 할당하는 방식을 제안하였다.

성능 분석 결과 인접 셀의 사용 주파수 채널에 적층적으로 핸드오프를 위한 예약 트래픽 채널을 할당하

는 경우가 인접 셀의 사용 주파수 채널에 상관없이 예약 트래픽 채널을 할당하는 방식에 비해 우수한 성능 특성을 보였다. 또한 인접 셀에서 서비스되는 모든 주파수 채널에 대해 최소한 하나 이상의 예약 채널을 할당하는 것이 필요한 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

- [1] Joseph Shapira, "Microcell Engineering in CDMA Cellular Networks", IEEE Trans. on Veh. Technol., Vol. VT-43, No. 4. pp. 817-825 November 1994.
- [2] Snanjiv Nanda, "Teletraffic Models for Urban and Suburban Microcells: Cell size and Handoff Rates", IEEE Trans. on Veh. Technol., Vol. VT-42, No. 4. pp. 673-682, November 1993.
- [3] D. Hong and S.S. Rappaport, "Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone System with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures.", IEEE Trans. on Veh. Technol., Vol. VT-35, No. 3. pp. 77-91, August 1986 .
- [4] Audrey M. Viterbi and Andrew J. Viterbi, "Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System", IEEE Journal on Selected Area in Commun., Vol. 11, No. 6, August 1993.
- [5] V.J. Viterbi, A.M. Viterbi, K.S. Gilhousen, "Soft handoff extends CDMA cell coverage and increases reverse link capacity", IEEE Journal on Selected Areas in Commun., Vol.12, No. 8 pp. 1281-1288, Oct. 1994.
- [6] TIA/EIA/IS-95, Mobile Station-Base Station Compatibility Standard for Dual Mode Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System, July 1993.
- [7] Hai Xie and David J. Goodman, "Mobility Models and Biased Sampling Problem", Proc. of ICUPC/938. Thomas, H. Gilbert, G. Mazziotto, "Influence of the Movement of the Mobile Station on the Performance of a Radio Cellular Network", Proc. 3rd Nordic Seminar, Paper 9.4, Copenhagen, September 1988.



저 자 소 개



權 洙 根(正會員)

1958년 12월 10일생. 1982년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사). 1984년 2월 : 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)1984년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단. 관심분야 : 이동통신

시스템, 핸드오프, 채널할당 알고리즘



全 炯 九(正會員)

1961년 12월 27일생. 1987년 2월 : 인하대학교 전자공학과 (공학사). 1992년 2월 : 연세대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)1996년 9월 ~ 현재 : 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정1987년 3월 ~ 현

재 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단. 관심분야 : 이동통신시스템, 핸드오프, 채널할당 알고리즘



趙 慶 祿(正會員)

1977년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사). 1989년 2월 : 일본동경대학교 전자공학과 (공학석사). 1992년 2월 : 일본동경대학교 전자공학과 (공학박사). 1979년 ~ 1986년 : 금성사 TV 연구 센터

근무. 1993 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수. 관심분야 : 고속회로설계, 마이크로프로세서, 이동통신시스템설계