

중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템에서의 트래픽 모델링 및 핸드오프 최소화를 위한 최적 마이크로/매크로셀 선택전략

정희원 강성민*, 김재훈**, 차동완**

A Handoff-Minimizing Call Connection Strategy in an Overlaid Macro-Micro CDMA Cellular System

Kang sung-min, Kim jae-hoon, Tcha dong-wan *Regular Member*

요 약

다가올 미래에는 증가하는 이동전화 가입자의 수요를 충족시키기 위해 마이크로/매크로셀 중첩구조 CDMA 셀룰라시스템이 도입될 것이다. 이 시스템에서는 시스템내의 전체 핸드오프수를 줄이기 위해 저속이동국을 마이크로셀이 담당하고 고속이동국을 매크로셀이 담당하게 된다. 시스템의 실제 운영을 위해서는 이동국 속도추정 및 저속/고속이동국을 구분하는 기준값 결정이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 두 가지 이동국 속도추정방법과 그에 근거한 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템의 호 운영방안을 제시한다. 또한, 시스템 운영시 마이크로셀 및 매크로셀에 부과되는 평균 트래픽을 모델링하여 분석하며, 저속/고속이동국 구분 기준값을 찾기 위한 최적화 모형은 QoS의 제약과 가중 총핸드오프수 최소화 관점에서 개발하고 그에 대한 해법을 구하였다.

ABSTRACT

In the future, to cope with the increasing demand for personal and mobile communications, a two-tier CDMA cellular system with microcells and overlaying macrocells is likely to be deployed. In this system, slow-moving mobile users are assigned to microcells and those who move fast are assigned to overlaying macrocells in order to minimize the total number of handoffs. With this consideration the problem is how to find the thresholds by which the system distinguishes fast-moving users from those who move slowly based on the estimated speed of users. In this paper, two methods for the mobile speed estimation are proposed and two operations schemes for micro-macro cellular CDMA system are suggested. Based on these, average traffic offered to microcells and macrocells is analyzed respectively. Optimization models to find the optimal thresholds for micro-macrocell selection, which are subject to the constraints of QoS, are developed in view of minimizing the weighted total number of handoffs. And then algorithms to find optimal solutions of the models are devised.

I. 서론

이동통신 수요의 급속한 확대에 의해 현재 상용화되어 있는 매크로셀 기반의 CDMA 셀룰라시스템

은 곧 용량면에서 한계를 보이게 될 것이다. 따라서, 제한된 주파수 자원 하에서 증가하는 가입자의 수요와 트래픽을 수용하고 양질의 서비스를 제공하기 위해서는 셀의 소형화가 필수적이다^[1,2]. 이러한 필요성에 의해 등장한 것이 반경 수 백 미터의 마

* 한국통신프리텔(주) 망관리팀(Smkang@mail.pcs016.co.kr)

** INFORMS 2000 SEOUL 조직위원장

논문번호 : 98247-0618, 접수일자 : 1998년 6월 18일

이크로셀이다. 셀의 소형화는 주파수 재사용 효율을 높여 시스템의 용량을 증가시킬 수 있고 단말기의 경량화 및 전력소모 감소를 기대할 수 있지만 셀이 소형화됨에 따라 빈번한 핸드오프가 발생하여 시스템에 과도한 부하를 주게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 하나의 매크로셀 내에 여러 개의 마이크로셀을 중첩하여 운영하는 중첩셀 구조 셀룰라시스템이 제안되고 있다.^[3,4,5,6,7,8]

이동국은 보행자와 차량 이용자의 두 그룹으로 구분할 수 있다. 차량 중심의 고속이동국은 매우 빈번한 핸드오프를 요구하게 되므로 매크로셀이 담당하고, 보행자 중심의 저속이동국을 마이크로셀이 담당하면 시스템 전체의 핸드오프 발생 빈도를 줄여 시스템의 성능 및 통신품질을 향상시킬 수 있다.

합리적인 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템의 호 운영은 저속이동국과 고속이동국의 구분에 기초하며 그 기준은 시스템의 성능 및 서비스 품질을 향상시킬 수 있는 최적의 값이어야 한다.

본 논문에서는 두 가지 이동국 속도추정방법과 그에 근거한 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템의 호 운영방안을 제시한다. 또한, 각각의 운영방법에 의한 시스템 운영시 마이크로/매크로셀에 부과되는 트래픽을 모델링하여 분석하고, 그에 근거하여 저속 이동국과 고속이동국을 구분하는 최적 기준값 결정을 위한 최적화모형을 개발하며 그에 대한 해법을 제시하고자 한다.

II. 이동국의 속도추정 방법 및 호 운영 방안

1. 이동국 속도추정 방법

이동국의 속도추정은 기지국이 이동국의 속도를 추정하는 방법과 이동국 스스로가 직접 자신의 속도를 추정하는 방법으로 대별된다. 기지국이 이동국의 속도를 추정하는 경우에는 기지국이 해당 셀 내 개별 이동국들의 속도에 대한 방대한 양의 데이터 베이스를 관리해야 하는 부담을 기지국에 주게 되므로 중첩셀 구조 셀룰라시스템에서는 이동국이 자신의 속도를 직접 추정(mobile determined speed estimation)하여 신규호 접속이나 핸드오프시 마이크로/매크로셀을 스스로 선택하는 방법이 바람직하다.

이동국 속도추정 방법으로는 직접이동국속도추정 방법^[16]과 간접이동국속도추정 방법^[14,15]이 제안되어 있다. 직접이동국속도추정(Direct Mobile Speed Estimation ; DMSE)은 이동국 속도의 실제값을 추정하는 것으로 다이버시티 수신기를 이용해 이동국

의 이동에 의한 도플러 주파수 측정을 통해 속도를 추정하게 된다. DMSE는 단말기가 다이버시티 수신기를 가지고 있어야 구현할 수 있는 데 반해, 간접 이동국속도추정(Indirect Mobile Speed Estimation ; IMSE)은 별도의 추가적인 하드웨어 없이 소프트웨어적으로 매우 쉽게 구현할 수 있는 방법이며 구체적인 속도의 실제값을 추정하는 것이 아니라 셀내 지체시간(cell sojourn time)을 측정해 이동국 자신의 속도가 고속인지 저속인지만을 판단한다. IMSE는 실제 구현 측면에서는 DMSE보다 상당히 용이하다. 그러나 실제로는 저속인 이동국을 고속의 이동국으로, 혹은 반대로 고속의 이동국을 저속의 이동국으로 오판하는 경우가 발생하여 DMSE 보다 속도추정의 신뢰도가 떨어진다.

2. 호 운영방안

(1) DMSE에 의한 호 운영방안

DMSE에 의한 시스템 운영시 저속/고속 이동국의 구분기준은 시스템에서 정한 속도경계값 V_0 이다. 기지국에서 호출채널을 통하여 전달한 V_0 를 기준으로 고속/저속 이동국을 판단하고 신규호 접속시 마이크로/매크로셀 선택을 한다. 핸드오프의 경우도 신규호 접속방법과 동일한 방법을 적용한다. 즉, 핸드오프를 요구하게 되는 이동국은 자신의 속도 V 가 V_0 보다 작으면 인접 마이크로셀로 핸드오프를 하게 되며, V 가 V_0 보다 크면 상위 계층셀인 매크로셀로 핸드오프 하게 된다.¹⁾ 매크로셀에서 통화중이던 호가 서비스편역을 벗어나 인접 매크로셀 영역으로 진입하게 되는 경우에는 속도에 관계없이 인접 매크로셀로 핸드오프하며 하위계층 셀인 마이크로셀로 핸드오프하지는 않는다.²⁾

(2) IMSE에 의한 호 운영방안

IMSE는 셀내지체시간 T_c 를 호출채널을 통해 각 이동국으로 전한 시간경계값 T_0 와 비교하여 자신의 속도를 간접적으로 추정하는 방법이므로 DMSE의 경우와는 달리 이동국이 휴지상태(on-hook)인 경우에는 적용할 수 없다. 따라서, 마이크로셀 영역 내에서 발생하는 신규호는 모두 초기에 해당 마이크로셀에 접속한다. 핸드오프를 요구하게 되는 이동

- 1) 마이크로셀에서 상위계층인 매크로셀로의 핸드오프를 핸드업(handup)이라고 한다.
- 2) 매크로셀에서 하위계층인 마이크로셀로의 핸드오프를 핸드다운(handdown)이라고 한다.

국은 T_0 를 기준으로 저속/고속 이동국을 판단하고 이에따라 인접 매크로 혹은 마이크로셀로 핸드오프 한다. 매크로셀에서 통화중이던 호가 서비스권역을 벗어나 인접 매크로셀 영역으로 진입하는 경우에는 T^c 에 관계없이 인접 매크로셀로 핸드오프한다.

III. 트래픽 분석

1. 분석을 위한 가정 및 호의 특성

분석의 대상이 되는 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라 시스템의 셀구성은 그림 1과 같다. 하나의 매크로셀은 N 개의 마이크로셀을 포함하며, 매크로셀의 반지름은 R_M , 마이크로셀의 반지름은 R_m 이다. 하나의 마이크로셀 영역에서 발생하는 신규호의 발생은 평균이 λ_n 인 포아송 분포를 따르며, 모든 서비스 지역 내에서 균등하게 발생한다고 가정한다. 호의 총통화지속시간(total call duration time) T_M 은 평균이 $1/\mu$ 인 지수분포를 따른다고 가정한다.

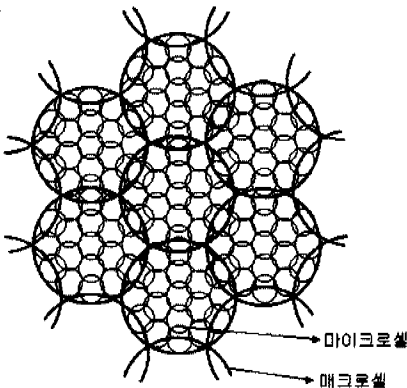


그림 1. 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템의 셀구성
Fig. 1 Cell Architecture of Hierarchical CDMA Cellular System

셀 내의 모든 이동국은 P_p 의 확률로 보행자, P_v 의 확률로 차량이용자의 두 그룹으로 구분된다. 각각의 이동속도 V^p, V^v 는 $[0, V^p_{max}], [0, V^v_{max}]$ 사이의 균일분포를 가정한다. 다중접속기술로는 CDMA를 사용하므로 시스템의 용량은 Soft Capacity를 가정한다.

CDMA에서는 동일한 주파수를 모든 셀에서 사용할 수 있기 때문에 소프트핸드오프 방식을 사용한다. 그러나 CDMA를 적용한 중첩셀 구조 셀룰라시스템에서는 매크로셀과 그 내부의 마이크로셀이 동

일한 주파수를 사용하게 되면 마이크로셀과 매크로셀 간의 상호간섭에 의해 통화가 거의 불가능하게 되므로 마이크로셀과 매크로셀은 서로 다른 주파수를 사용해야 한다. 따라서, 시스템 내에서는 다음과 같은 세가지 유형의 핸드오프가 발생하게 된다.

- ① 해당 마이크로셀에서 인접 마이크로셀로의 소프트핸드오프
- ② 해당 마이크로셀에서 상위계층 셀인 매크로셀로의 하드핸드오프
- ③ 해당 매크로셀에서 인접 매크로셀로의 소프트핸드오프

다음은 분석을 위한 기호이다.

- λ_{ijk} : 호도착율,
- T_{ijk}^c : 셀내지체시간,
- T_{ijk} : 셀내채널점유시간,
- P_{ijk}^H : 핸드오프확률

$i=p$ (보행자), v (차량) 이동국 구분
 $j=n$ (신규호), h (핸드오프호) 호의 종류
 $k=m$ (마이크로셀), M (매크로셀) 호의 위치

2. DMSE에 의한 시스템 운영 시의 트래픽 분석

DMSE에 의한 시스템 운영시 마이크로셀 및 매크로셀에 부과되는 트래픽의 흐름은 그림 2와 같다. $\lambda_{pm}, \lambda_{ph}, \lambda_{vm}, \lambda_{vm}$ 은 서로 독립적인 포아송분포의 모수이며, 각각에 해당하는 호들은 자신의 이동속도에 따라 호 접속 시 마이크로/매크로셀을 선택하게 된다. 트래픽 분석의 편의를 위하여 다음과 같은 기호를 사용한다.

$$P\{V^p < V_0\} = P_{ps}, \quad P\{V^p \geq V_0\} = P_{pf},$$

$$P\{V^v < V_0\} = P_{vs}, \quad P\{V^v \geq V_0\} = P_{vf}$$

하나의 마이크로셀에 평균적으로 부과되는 트래픽 λ_m 은 $\lambda_{pnm}, \lambda_{phm}, \lambda_{vnm}, \lambda_{vhm}$ 으로 구성되며, 이들 각각은 서로 독립적인 포아송분포의 모수이므로 λ_m 은 $\lambda_{pnm}, \lambda_{phm}, \lambda_{vnm}, \lambda_{vhm}$ 의 합으로 나타낼 수 있으며 $\lambda_{pnm}, \lambda_{phm}, \lambda_{vnm}, \lambda_{vhm}$ 는 표 1과 같이 계산된다. 매크로셀의 경우도 마이크로셀의 경우와 비슷하게 $\lambda_{pM}, \lambda_{vM}, \lambda_{hM}$ 을 계산할 수 있다. 다만 하나의 매크로셀에 N 개의 마이크로셀이 있으므로 각각은 표 1과 같이 계산된다.

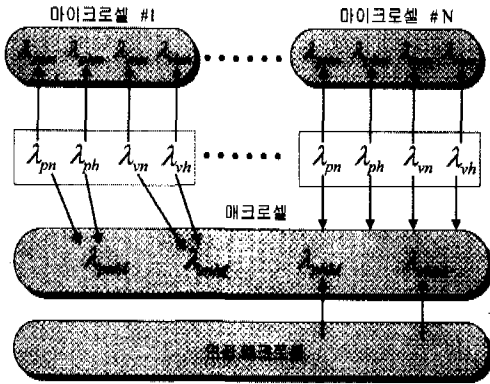


그림 2. DMSE에 의한 시스템 운영시의 트래픽 흐름도
Fig. 2 Flow Chart of Traffic in the system operation based on DMSE

표 1. DMSE에서의 트래픽 분석
Table 1. Traffic Analysis with DMSE

마이크로셀	매크로셀
$\lambda_{pnm} = \lambda_{pn} P_{ps} = P_p \lambda_n P_{ps}$	$\lambda_{pnm} = N(\lambda_{pn} P_{ps} + \lambda_{ph} P_{pf})$
$\lambda_{vnm} = \lambda_{vn} P_{vs} = P_v \lambda_n P_{vs}$	$\lambda_{vnm} = N(\lambda_{vn} P_{vs} + \lambda_{vh} P_{vf})$
$\lambda_{phm} = \frac{P_p \lambda_n P_{ps}^2 P_{pnm}^H}{1 - P_{pnm}^H P_{ps}}$	$\lambda_{phm} = \frac{N(\lambda_{pn} P_{ps} + \lambda_{ph} P_{pf}) P_{pnm}^H}{1 - P_{pnm}^H}$
$\lambda_{vhm} = \frac{P_v \lambda_n P_{vs}^2 P_{vnm}^H}{1 - P_{vnm}^H P_{vs}}$	$\lambda_{vhm} = \frac{N(\lambda_{vn} P_{vs} + \lambda_{vh} P_{vf}) P_{vnm}^H}{1 - P_{vnm}^H}$

여기서, $\lambda_{pn} = P_p \lambda_n$, $\lambda_{vn} = P_v \lambda_n$

$$\lambda_{ph} = \lambda_{pnm} P_{pnm}^H + \lambda_{phm} P_{phm}^H$$

$$= P_p \lambda_n P_{ps}^2 P_{pnm}^H + \frac{P_p \lambda_n P_{ps}^2 P_{pnm}^H}{1 - P_{pnm}^H P_{ps}} P_{phm}^H = \frac{P_p \lambda_n P_{ps}^2 P_{pnm}^H}{1 - P_{pnm}^H P_{ps}}$$

$$\lambda_{vh} = \lambda_{vnm} P_{vnm}^H + \lambda_{vhm} P_{vhm}^H$$

$$= P_v \lambda_n P_{vs}^2 P_{vnm}^H + \frac{P_v \lambda_n P_{vs}^2 P_{vnm}^H}{1 - P_{vnm}^H P_{vs}} P_{vhm}^H = \frac{P_v \lambda_n P_{vs}^2 P_{vnm}^H}{1 - P_{vnm}^H P_{vs}}$$

3. IMSE에 의한 시스템 운영 시의 트래픽 분석

IMSE에 의한 시스템 운영시 마이크로셀 및 매크로셀에 부과되는 트래픽의 흐름은 그림 3과 같다. DMSE와는 달리 IMSE에 의한 시스템 운영 시에는 호도착율 λ_{pn} 와 λ_{vn} 에 의한 신규호들이 모두 해당 마이크로셀에 접속하며, 호도착율 λ_{ph} , λ_{vh} 에 의한 핸드오프호들은 IMSE에 의해 자신의 속도를 추정하고 이에 따라 마이크로/매크로셀을 선택하게 된다.

트래픽 분석의 편의를 위하여 다음과 같은 기호를 사용한다.

$$P\{T_{pn}^c \geq T_0\} = P_{pns}, \quad P\{T_{ph}^c < T_0\} = P_{phf},$$

$$P\{T_{ph}^c \geq T_0\} = P_{phs}, \quad P\{T_{ph}^c < T_0\} = P_{phf}$$

$$P\{T_{vn}^c \geq T_0\} = P_{vns}, \quad P\{T_{vn}^c < T_0\} = P_{vnf},$$

$$P\{T_{vh}^c \geq T_0\} = P_{vhs}, \quad P\{T_{vh}^c < T_0\} = P_{vhf}$$

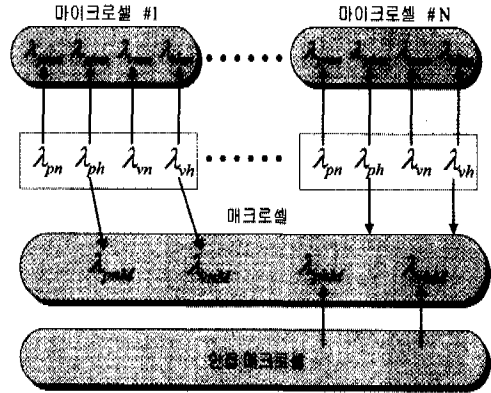


그림 3. IMSE에 의한 시스템 운영시의 트래픽 흐름도
Fig. 3 Flow Chart of Traffic in the system operation based on IMSE

DMSE와 비슷한 방식으로 표 2와 같이 λ_{pnm} , λ_{phm} , λ_{vnm} , λ_{vhm} , λ_{pnm} , λ_{vnm} , λ_{phm} , λ_{vhm} 를 구할 수 있다.

표 2. IMSE에서의 트래픽 분석
Table 2. Traffic Analysis with IMSE

마이크로 셀	매크로 셀
$\lambda_{pnm} = \lambda_{pn} = P_p \lambda_n$	$\lambda_{pnm} = \frac{NP_p \lambda_n P_{ps}^2 P_{pnf} [1 + P_{phm}^H (P_{pns} - P_{phs})]}{1 - P_{pnm}^H P_{ps}}$
$\lambda_{vnm} = \lambda_{vn} = P_v \lambda_n$	$\lambda_{vnm} = \frac{NP_v \lambda_n P_{vs}^2 P_{vnf} [1 + P_{vhm}^H (P_{vns} - P_{vhs})]}{1 - P_{vnm}^H P_{vs}}$
$\lambda_{phm} = \frac{P_p \lambda_n P_{ps}^2 P_{pnm}^H P_{phm}^H}{1 - P_{pnm}^H P_{ps}}$	$\lambda_{phm} = \frac{NP_p \lambda_n P_{ps}^2 P_{pnf} [1 + P_{phm}^H (P_{pns} - P_{phs})] P_{phm}^H}{(1 - P_{pnm}^H P_{ps})(1 - P_{phm}^H)}$
$\lambda_{vhm} = \frac{P_v \lambda_n P_{vs}^2 P_{vnm}^H P_{vhm}^H}{1 - P_{vnm}^H P_{vs}}$	$\lambda_{vhm} = \frac{NP_v \lambda_n P_{vs}^2 P_{vnf} [1 + P_{vhm}^H (P_{vns} - P_{vhs})] P_{vhm}^H}{(1 - P_{vnm}^H P_{vs})(1 - P_{vhm}^H)}$

4. 핸드오프수 및 아우티자확률 분석

핸드오프수 하나의 매크로셀 영역을 대상으로 한다. HN_{nm} , HN_{nm} , HN_{MM} 은 각각 III-1절의 ①, ②, ③ 경우의 핸드오프수를 나타낸다.

$$HN_{nm} = N(\lambda_{pnm} P_{pnm}^H P_{ps} + \lambda_{vnm} P_{vnm}^H P_{vs})$$

$$+ \lambda_{phm} P_{phm}^H P_{ps} + \lambda_{vhm} P_{vhm}^H P_{vs})$$

$$HN_{mm} = N (\lambda_{pmm} P_{pmm}^H P_{pf} + \lambda_{vmm} P_{vmm}^H P_{vf})$$

$$+ \lambda_{phm} P_{phm}^H P_{pf} + \lambda_{vhm} P_{vhm}^H P_{vf})$$

$$HN_{MM} = \lambda_{pM} P_{pM}^H + \lambda_{vM} P_{vM}^H + \lambda_{phM} P_{phM}^H + \lambda_{vhM} P_{vhM}^H$$

따라서, 반지름이 R_M 인 하나의 매크로셀 영역 내에서 평균적으로 발생하는 소프트핸드오프수 HN_{soft} 와 하드핸드오프수 HN_{hard} 는 다음과 같다.

$$HN_{soft} = HN_{mm} + HN_{MM}, \quad HN_{hard} = HN_{mM}$$

CDMA 시스템의 아우티지 확률 OP 는 Viterbi^[10] 의 계산에 따른다. 중첩셀 구조 셀룰라시스템 운영 시 하나의 마이크로셀의 평균 사용자수를 λ_m/μ_m , 하나의 매크로셀의 평균 사용자수를 λ_M/μ_M 이라 하면, λ_m/μ_m 과 λ_M/μ_M 각각은 다음과 같이 계산되며 이로부터 마이크로셀의 아우티지확률 OP_m 과 매크로셀의 아우티지확률 OP_M 을 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\lambda_m}{\mu_m} &= \lambda_{pmm} \bar{T}_{pmm} + \lambda_{phm} \bar{T}_{phm} \\ &+ \lambda_{vmm} \bar{T}_{vmm} + \lambda_{vhm} \bar{T}_{vhm} \\ \frac{\lambda_M}{\mu_M} &= \lambda_{pM} \bar{T}_{pM} + \lambda_{phM} \bar{T}_{phM} \\ &+ \lambda_{vM} \bar{T}_{vM} + \lambda_{vhM} \bar{T}_{vhM} \end{aligned}$$

IV. 저속/고속이동국 구분을 위한 최적화 모형 및 해법

중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템의 실제 운영을 위해서는 고속이동국과 저속이동국을 구분하는 기준이 되는 값의 결정이 반드시 필요하며, 그 값은 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 최적의 값이어야 한다. DMSE에 의한 시스템 운영 시 고속/저속이동국 구분기준은 속도경계값 V_0 이며, IMSE에 의한 시스템 운영의 경우는 시간경계값 T_0 이다. 시스템 운영시 고정된 하나의 V_0, T_0 값을 가지고 시스템을 운영하는 것보다는 시간(時刻)에 따른 셀 내의 트래픽 상황 변화에 따라 가변적인 최적의 V_0, T_0 값을 가지고 시스템을 운영하는 것이 시스템 성능

향상 차원에서 바람직하다.

1. V_0, T_0 결정을 위한 최적화 모형

중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템에서 발생하는 총핸드오프수와 마이크로셀 및 매크로셀의 아우티지 확률은 시스템 성능평가의 척도가 된다.

[Model A]

$Min_{V_0} \quad WTHN = HN_{soft} + W \cdot HN$

s. t

$OP_m \leq OP_m^{max}$

$OP_M \leq OP_M^{max}$

$|OP_m - OP_M| \leq OP_{diff}^{max}$

$0 \leq V_0 \leq V_{max}^v$

[Model B]

$Min_{T_0} \quad WTHN = HN_{soft} + W \cdot HN$

s. t

$OP_m \leq OP_m^{max}$

$OP_M \leq OP_M^{max}$

$|OP_m - OP_M| \leq OP_{diff}^{max}$

$0 \leq T_0$

시스템을 운영하는 운영자의 관점에서 시스템 내에서 발생하는 빈번한 핸드오프는 시스템에 많은 부하를 주게 되므로 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 시스템 내의 총핸드오프수를 최소화하여야 한다. 또한 마이크로셀과 매크로셀의 아우티지 확률은 QoS(Quality of Service)의 척도가 되므로, 이용자들에게 일정수준 이상의 QoS를 제공하기 위해서는 마이크로셀과 매크로셀의 아우티지 확률이 항상 일정 수준 이하로 유지되도록 시스템을 운영하여야 한다. 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템을 이용하는 이용자들의 요금체계가 이용자들의 이동속도와는 무관하다면, 즉 고속이동국과 저속이동국이 동일한 요금체계를 갖는다면 저속이동국을 담당하는 마이크로셀에서의 QoS 와 고속이동국을 담당하는 매크로셀에서의 QoS 간에 많은 차이가 있어서는 안 된다. 따라서, 요금체계에 따른 일정수준의 형평성 보장을 위해 시스템의 운영자는 마이크로셀과 매크로셀간

아우티지 확률의 차가 항상 허용 가능한 일정수준 이하가 되도록 시스템을 운영하여야 한다.

지금까지 언급한 고려사항들을 최적화의 관점으로 하여 DMSE에 의한 시스템 운영 시의 최적 V_0 값 결정을 위한 최적화 모형 [Model A]와 IMSE에 의한 시스템 운영 시의 최적 T_0 값 결정을 위한 최적화 모형 [Model B]를 다음과 같이 제안한다.

[Model A]와 [Model B]의 목적식은 N 개의 마이크로셀을 내부에 포함한 하나의 매크로셀 영역에서 평균적으로 발생하는 기중 총핸드오프수 $WTHN$ (Weighted Total Handoff Number)을 최소화하는 것이다. CDMA에서의 하드핸드오프는 소프트핸드오프보다 큰 호손실률을 갖기 때문에 기중치 W 를 두어 목적식을 구성한다. W 는 Viterbi^[17]의 계산결과에 근거해 소프트핸드오프하는 호와 하드핸드오프하는 호가 동일한 아우티지 확률을 갖게 하기 위한 값인 2.6이상으로 정한다.

아우티지확률 OP_m 과 OP_M 에 관한 제약은 일정수준이상의 통화품질보장을 위한 것이며 저속이동국과 고속이동국의 동일요금체계에 의해 OP_m 과 OP_M 의 차이 역시 기준치 OP_{diff}^{max} 보다 작아야 한다는 제약을 갖는다.

[Model A]와 [Model B] 각각의 $WTHN$, OP_m , OP_M 값은 앞서 행한 트래픽분석에 의해 계산될 수 있으며, OP_m^{max} , OP_M^{max} , OP_{diff}^{max} 각각은 시스템 운영자가 이용자들에게 보장해주어야 하는 QoS 수준에 근거하여 시스템에서 정하는 상수값이다.

2. 해 법

(1) Model A 의 해법

[Model A]가 갖는 비선형성으로 인해 이의 해법을 찾기 위해서는 제약식과 목적식이 갖는 성질에 대한 검토가 필요하다. [Model A]의 OP_m , OP_M 은 V_0 에 대한 일변량 함수이며 V_0 에 의해 마이크로 혹은 매크로 셀에 접속되는 트래픽 양이 결정되므로 다음과 같은 성질을 갖는다.

[Property 1] V_0

- A. OP_m 은 V_0 에 대한 증가함수이다.
- B. OP_M 은 V_0 에 대한 감소함수이다.
- C. $OP_m - OP_M$ 은 V_0 에 대한 증가함수이다.

하나의 매크로셀 영역에서 평균적으로 발생하는

기중총핸드오프수 $WTHN$ 은 기중치 W 의 영향에 의하여 V_0 에 대하여 단조증가 혹은 단조감소하는지 그 여부를 알 수 없다.

$WTHN$ 은 $V_0 = V_{max}^p = 10(km/h)$ 에서 그 변화를 달리하며 또한, $WTHN$ 은 $0 \leq V_0 \leq V_{max}^p$ 인 구간과 $V_{max}^p \leq V_0 \leq V_{max}^p$ 인 구간 각각에서 $W \geq 2.6$ 인 경우 위로 볼록한 형태임을 알 수 있다(그림 4). 이 사실과 [Property 1]에 근거하여 [Model A]의 최적해 V_0^{opt} 를 구하기 위한 해법을 다음과 같이 제시한다.

[Model A]의 해법³⁾

Step1) $OP_m = OP_m^{max}$ 의 해 V_1 을 찾는다.

(해가 존재하지 않으면 $V_1 = V_{max}^p$)

$$A = \{ V_0 ; V_0 \leq V_1 \}$$

Step2) $OP_M = OP_M^{max}$ 의 해 V_2 를 찾는다.

(해가 존재하지 않으면 $V_2 = 0$)

$$B = \{ V_0 ; V_2 \leq V_0 \}$$

Step3) $OP_m - OP_M = -OP_{diff}^{max}$ 의 해 V_3 를 찾는다.

(해가 존재하지 않으면 $V_3 = 0$)

$OP_m - OP_M = OP_{diff}^{max}$ 의 해 V_4 를 찾는다.

(해가 존재하지 않으면 $V_4 = V_{max}^p$)

$$C = \{ V_0 ; V_3 \leq V_0 \leq V_4 \}$$

Step4) $S_{V_0} = A \cap B \cap C = \{ V_0 ; V^L \leq V_0 \leq V^U \}$

Step5) $S_{V_0} = \phi$ 이면 V_0^{opt} 는 존재하지 않는다.

$S_{V_0} \neq \phi$, $V_{max}^p \in S_{V_0}$ 인 경우,

(단, $x = V^L, V^H, V_{max}^p$)

$Min [WTHN(x)] = WTHN(V^L)$ 이면 $V_0^{opt} = V^L$

$Min [WTHN(x)] = WTHN(V^H)$ 이면 $V_0^{opt} = V^H$

$Min [WTHN(x)] = WTHN(V_{max}^p)$ 이면 $V_0^{opt} = V_{max}^p$

$S_{V_0} \neq \phi$, $V_{max}^p \notin S_{V_0}$ 인 경우, (단, $x = V^L, V^H$)

$Min [WTHN(x)] = WTHN(V^L)$ 이면 $V_0^{opt} = V^L$

$Min [WTHN(x)] = WTHN(V^H)$ 이면 $V_0^{opt} = V^H$

3) Step1, 2, 3 에서 각각의 방정식의 해는 Newton Method를 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

(2) Model B 의 해법

[Model B] 역시 비선형성을 가지며 T_0 에 의해 매크로 혹은 마이크로 셀에 접속되는 트래픽 양이 결정되므로 다음과 같은 성질을 갖는다.

[Property 2]

- A. OP_m 은 T_0 에 대한 감소함수이다.
- B. OP_M 은 T_0 에 대한 증가함수이다.
- C. $OP_m - OP_M$ 은 T_0 에 대한 감소함수이다.

WTHN이 가중치의 영향에 의하여 T_0 가 증가할 수록 증가함을 알 수 있다(그림6). 이 사실과 [Property 2]에 근거하여 [Model B]의 최적해 T_0^{opt} 를 구하기 위한 해법을 다음과 같이 제시한다.

[Model B]의 해법 4)

Step1) $OP_m = OP_m^{max}$ 의 해 T_1 을 찾는다.
(해가 존재하지 않으면 $T_1 = 0$)

$$A' = \{T_0 ; T_1 \leq T_0\}$$

Step2) $OP_M = OP_M^{max}$ 의 해 T_2 를 찾는다.
(해가 존재하지 않으면 $T_2 = \infty$)

$$B' = \{T_0 ; T_0 \leq T_2\}$$

Step3) $OP_m - OP_M = -OP_{diff}^{max}$ 의 해 T_3 를 찾는다.
(해가 존재하지 않으면 $T_3 = 0$)

$OP_m - OP_M = OP_{diff}^{max}$ 의 해 T_4 를 찾는다.
(해가 존재하지 않으면 $T_4 = \infty$)

$$C' = \{T_0 ; T_3 \leq T_0 \leq T_4\}$$

Step4) $S_{T_0} = A' \cap B' \cap C' = \{T_0 ; T^L \leq T_0 \leq T^U\}$

Step5) $S_{T_0} = \phi$ 이면 T_0^{opt} 는 존재하지 않는다.

$$S_{T_0} \neq \phi \text{ 이면 } T_0^{opt} = T^L$$

V. 예제를 통한 분석

예제를 통하여 DMSE와 IMSE에 의한 시스템 운영 시 발생하는 평균 핸드오프수 및 아우터지 확률

4) Step 1, 2, 3 에서 각각의 방정식의 해는 Newton Method를 이용하여 쉽게 구할 수 있다.

에 대한 분석을 하고, [Model A]와 [Model B] 의 해법에 의하여 DMSE에 의한 시스템 운영 시의 최적 V_0 값과 IMSE에 의한 시스템 운영 시의 최적 T_0 값을 구하고 그 결과에 대한 분석을 한다. 사용한 입력변수들의 값은 다음과 같다.

$N=19, R_m=400m,$
 $R_M = (1 + 4 \frac{\sqrt{3}}{2})R_m = 1785.64 \approx 1786m,$
 $P_b=0.7, P_v=0.3, V_{max}^b = 10(km/h),$
 $V_{max}^v = 100(km/h), \frac{1}{\mu} = 2분,$
 $OP_m^{max} = OP_M^{max} = 2\%, OP_{diff}^{max} = 0.5\%,$
 $W=2.6, 3.1, 3.8, 4.5, R=9600 \text{ bps},$
 $\eta = N_0/I_0 = 0.1, \rho = 0.4, \beta = \ln 10/10,$
 $\alpha \approx 2.5(AR), \mu \approx 7(AR), SC=2.55, f=0.55$

표 3. 핸드오프확률 및 셀내체널점유시간의 평균
Table 3. Handoff Probability and Average Channel Holding Time in a Cell

P_{pmm}^H	P_{phm}^H	P_{vmm}^H	P_{vhm}^H
0.24	0.14	0.74	0.66
P_{pM}^H	P_{pM}^H	P_{vM}^H	P_{vM}^H
0.06	0.03	0.42	0.30
\bar{T}_{pmm}	\bar{T}_{phm}	\bar{T}_{vmm}	\bar{T}_{vhm}
1.52	1.72	0.52	0.69
\bar{T}_{pM}	\bar{T}_{pM}	\bar{T}_{vM}	\bar{T}_{vM}
1.88	1.94	1.16	1.40

마이크로셀과 매크로셀은 서로 다른 주파수를 사용하며 사용 주파수의 대역폭은 마이크로셀에서 1.25MHz, 매크로셀에서 5MHz를 가정하였다. 칩속도(Chip rate)는 마이크로셀에서 $W_m=1.2288$ Mchips/s⁵⁾, 매크로셀에서 $W_M=4.608$ Mchips/s⁶⁾를 가정하였다.

- 5) IS-95 표준안에 근거하였음
- 6) 광대역 CDMA에서 고려하는 주파수 대역폭은 1.25, 5, 10, 15, 20 MHz이며, 참고문헌 18에 근거하여 본 논문에서는 5MHz의 대역폭과 4.608 Mchips/s의 Chip rate를 매크로셀에서 고려하였다.

매크로셀에 마이크로셀보다 큰 주파수 대역폭을 둔 이유는 보다 많은 고속 이동국을 매크로셀이 담당하여 효과적으로 시스템 전체의 핸드오프수를 줄이기 위해서는 매크로셀이 마이크로셀 보다는 큰 용량을 가져야 하기 때문이다.

마이크로셀과 매크로셀이 담당하게 되는 각각의 호의 핸드오프률과 셀내체널점유시간의 평균(단위: 분)은 표 3과 같이 계산되어 진다.

1. DMSE에 의한 시스템 운영 시의 분석 결과
 그림 4는 DMSE에 의한 시스템 운영시 하나의 마이크로셀 영역에서의 분당 신규호 도착률 $\lambda_n = 25$ 일 때, 19개의 마이크로셀을 포함한 하나의 매크로셀 영역에서 발생하는 평균적인 핸드오프수를 나타낸 그림이다. 그림 4를 보면 평균 총핸드오프수 THN 이 V_0 가 증가함에 따라 단조증가함을 알 수 있다. $WTHN$ 은 $V_0=10$ 에서 그 변화를 달리하며 $0 \leq V_0 \leq 10$ 구간과 $10 \leq V_0 \leq 100$ 구간 각각에서 위로 불룩하며 전체적인 모습은 V_0 에 대하여 증가하는 모습을 한다.

마이크로셀간 평균 소프트핸드오프수 HN_{mm} 은 V_0 가 증가함에 따라 증가하게 된다. 이것은 V_0 가 증가함에 따라 마이크로셀이 담당하게 되는 트래픽의 양이 증가함과 동시에 호가 핸드오프시 마이크로셀을 선택할 확률 역시 증가하기 때문이다. 매크로셀간 평균 소프트핸드오프수 HN_{MM} 은 V_0 가 증가함에 따라 감소함을 알 수 있는데 이는 V_0 가 증가함에 따라 매크로셀이 담당하게 되는 트래픽의 양이 감소하기 때문이다. 마이크로셀에서 상위계층 셀인 매크로셀로의 평균 하드핸드오프수 HN_{mM} 은 V_0 가 증가함에 따라 어느 정도까지는 증가하다가 그 이후에는 감소함을 알 수 있다. 그 이유는 V_0 가 증가함에 따라 마이크로셀이 담당하게 되는 트래픽의 양은 증가하지만 호가 핸드오프시 매크로셀을 선택하게 되는 확률이 감소하기 때문이다. V_0 증가에 따른 HN_{mm} , HN_{MM} , HN_{mM} 각각의 변화는 10(Km/h)을 중심으로 하여 그 정도를 달리하는 데 이는 V_0^{opt} 를 10(Km/h)으로 가정하였기 때문이다.

그림 4를 보면 $WTHN$ 의 전체적인 모습이 V_0 에 대하여 증가하는 모습을 하므로, 일반적으로 마이크로셀로만 시스템을 운영하는 것 보다는 중첩셀 구조로 시스템을 운영하는 것이 핸드오프호에 의한 시스템의 성능저하를 줄일 수 있음을 알 수 있다.

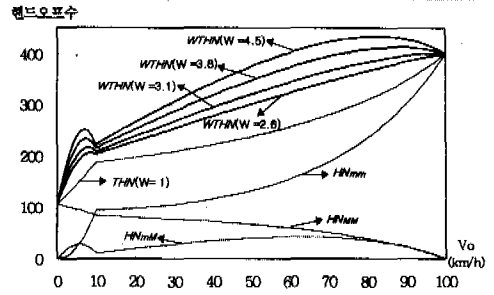


그림 4. $\lambda_n = 25$ 일 때의 평균 핸드오프수 ; DMSE
 Fig. 4 Average Number of Handoffs ($\lambda_n = 25$) ; DMSE

또한 V_0 가 증가함에 따라 마이크로셀의 아우티지 확률 OP_m 은 증가하고, 이의는 반대로 매크로셀의 아우티지 확률 OP_M 은 감소한다. 그림 5는 [Model A]의 해법을 적용하여 구한 V_0^{opt} 값을 λ_n 의 증가에 따라 시각적으로 표현한 것이다. 그림 5를 보면 마이크로셀 영역의 분당 호도착률 λ_n 이 증가함에 따라 V_0^{opt} 값이 단조증가함을 알 수 있다. $\lambda_n \leq 5$ 인 경우는 $V_0^{opt} = 0$ 이므로 보행자와 차량이용자를 모두 매크로셀로 서비스하는 것이 최적이며 $\lambda_n \geq 6$ 인 경우는 보행자와 차량이용자를 그들의 이동속도와 V_0^{opt} 에 근거하여 마이크로/매크로셀로 서비스하게 된다. 즉, 시스템 내의 트래픽의 양이 적어 매크로셀만으로도 일정수준 이상의 QoS를 제공할 수 있는 경우는 매크로셀만으로 모든 트래픽을 처리하며, 트래픽의 양이 증가하여 QoS에 기준한 매크로셀의 용량을 초과하게 되는 경우는 그 초과분을 마이크로셀이 담당하게 된다. 또한, 그 초과분이 점점 증가할수록 V_0^{opt} 가 증가하여 보다 많은 트래픽을 마이크로셀이 담당하게 된다.

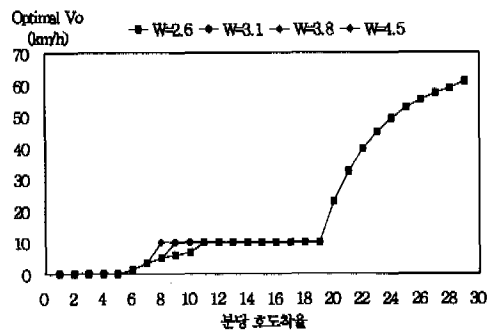


그림 5. λ_n 의 증가에 따른 최적 V_0 값의 변화 ; DMSE
 Fig. 5 Optimal V_0 ; DMSE

그림 5에서 V_{0}^{opt} 값은 보행자 이동속도의 최대값인 10Km/h 이하에서는 작은 쪽으로 완만하게 변화하지만 10Km/h 이상에서는 급격한 기울기를 가지고 큰 쪽으로 변화함을 볼 수 있다. 이는 보행자와 차량이용자의 비율 7 : 3 으로 가정하였기 때문이다.

2. IMSE에 의한 시스템 운영시의 분석결과

그림 6은 IMSE에 의한 시스템 운영 시 하나의 마이크로셀 영역에서의 분당(per minute) 신규호 도착을 $\lambda_n = 25$ 일 때의 19개의 마이크로셀을 포함한 하나의 매크로셀 영역에서 발생하는 평균적인 핸드오프수를 나타낸 그림이다.

그림 6을 보면 마이크로셀로만 시스템을 운영하는 것보다는 중첩셀 구조로 시스템을 운영하는 경우 THN 이 더 작음을 알 수 있다. 그러나, $WTHN$ 최소화 관점에서 보면 중첩셀 구조가 아닌 마이크로셀 단일 구조로 시스템을 운영하는 것이 보다 더 바람직함을 알 수 있다. 즉, FDMA나 TDMA를 사용한 중첩셀 구조 셀룰라시스템의 경우에는 하드핸드오프만이 존재하므로 IMSE에 의한 시스템 운영의 경우 중첩셀 구조로 시스템을 운영하는 것이 마이크로셀 단일구조보다 핸드오프수에 의한 시스템 성능저하를 감소시킬 수 있다. 그러나, CDMA의 경우에는 고속이동국을 매크로셀로 하드핸드오프시켜 얻는 전체 핸드오프수 감소효과보다 고속이동국을 매크로셀로 하드핸드오프시킬 때의 시스템 성능저하 효과가 더 크므로 중첩셀 구조보다는 마이크로셀 단일구조로 시스템을 운영하는 것이 더 효율적이다.

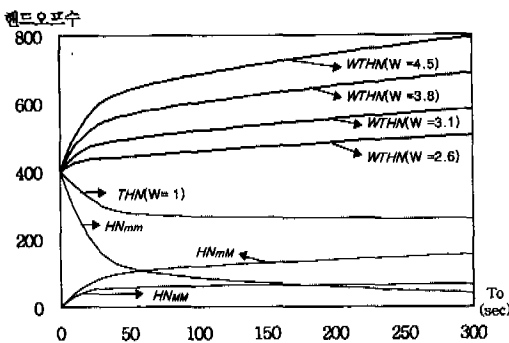


그림 6. $\lambda_n = 25$ 일 때의 평균 핸드오프수 ; IMSE
Fig. 6 Average Number of Handoffs ($\lambda_n = 25$) ; IMSE

또한 [Model B]의 제약식 모수인 아우터지확률은 T_0 가 증가함에 따라 OP_m 은 단조감소하고, OP_M 은 단조증가함을 알 수 있다.

그림 7은 [Model B]의 해법을 적용하여 구한 T_0^{opt} 값을 λ_n 의 증가에 따라 시각적으로 표현한 것이다. 그림 7을 보면 마이크로셀의 서비스권역을 벗어나는 핸드오프 트래픽이 QoS 제약에 근거한 마이크로셀의 용량을 초과하지 않으면 ($\lambda_n \leq 20$) 모든 핸드오프 트래픽을 인접 마이크로셀이 담당하고, 용량을 초과하면 ($\lambda_n \geq 21$) 그 초과분을 상위계층셀인 매크로셀이 담당하는 것이 IMSE의 경우 최적의 운영이 된다.

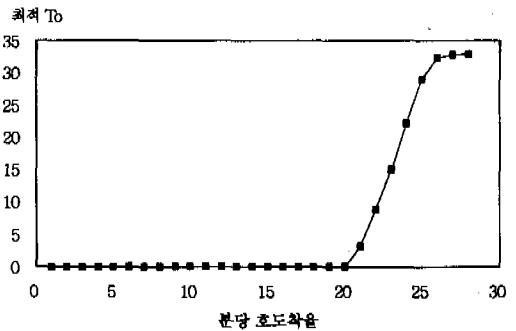


그림 7. λ_n 의 증가에 따른 최적 T_0 값의 변화 ; IMSE
Fig. 7 Optimal T_0 ; IMSE

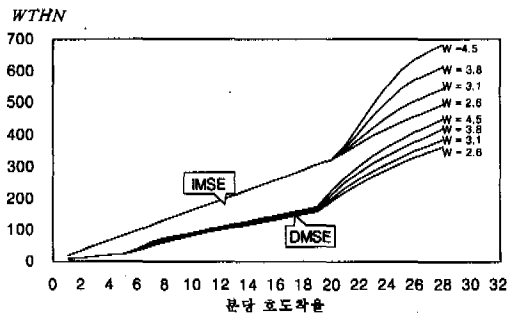


그림 8. 가중총핸드오프수 $WTHN$; DMSE vs IMSE
Fig. 8 Weighted Total Handoff Number ; DMSE vs IMSE

그림 8은 V_0^{opt} 에 근거한 DMSE에 의한 시스템 운영과 T_0^{opt} 에 근거한 IMSE에 의한 시스템 운영시의 $WTHN$ 을 비교한 그림이다. 그림 8을 보면 DMSE에 의한 시스템 운영이 IMSE에 의한 시스템 운영 보다 더 효율적임을 알 수 있다. 그 이유는 속도추정방법에 있어 DMSE가 IMSE 보다 더 정확하기 때문이며, DMSE와는 달리 IMSE에 의한 시스템 운영시에는 모든 신규호가 이동속도와 무관하게 해당 마이크로셀에 접속하므로 DMSE에 의한 시스

템 운영시보다 신규호에 의한 핸드오프 발생 빈도가 훨씬 많기 때문이다.

VI. 결론

본 논문에서는 중첩셀구조 CDMA 셀룰라시스템 운영 시 마이크로셀 및 매크로셀에 부과되는 트래픽을 모델링하여 분석하였으며, 시스템의 평균 핸드오프수 및 아우티지 확률에 대한 분석을 하였다. 또한, 이에 근거하여 일정수준 이상의 QoS를 만족시키면서 핸드오프에 의한 시스템의 성능저하를 최소화하는 저속/고속이동국의 구분기준값 결정을 위한 최적화 모형을 개발하고, 각각의 모형에 대하여 매우 빠른 해법을 개발하였다.

이동국의 핸드오프에 의한 시스템의 부하를 최소화하여 시스템의 성능을 향상시키기 위해서는 시스템 운영자가 이용자에게 보장해 주어야 하는 일정수준 이상의 QoS 한도 내에서 DMSE에 의한 시스템 운영의 경우에는 매크로셀이 IMSE에 의한 시스템 운영의 경우에는 마이크로셀이 되도록 많은 양의 트래픽을 담당하여야 최적이 된다.

IMSE에 의해 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템을 운영하는 경우에는 고속의 이동국을 매크로셀로 하드핸드오프시켜 얻는 전체 핸드오프의 감소효과보다 고속 이동국을 매크로셀로 하드핸드오프시킬 때의 시스템 성능저하 효과가 더 크므로 CDMA를 사용하는 경우 중첩셀 구조보다는 마이크로셀 단일 구조로 시스템을 운영하는 것이 보다 더 효율적이다. 또한, DMSE에 의한 시스템 운영시 시스템에서 평균적으로 발생하는 핸드오프수가 IMSE에 의한 시스템 운영시 보다 항상 작으므로, IMSE 보다는 DMSE에 의한 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템의 운영이 보다 더 효율적이다.

중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템을 대상으로 한 본 논문의 트래픽 모델링은 추후 중첩셀을 대상으로 하는 다른 연구에 도움이 될 수 있을 것이며, 또한 본 논문의 최적화 모델 및 해법은 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템이 상용화될 미래에 시스템 운영자가 실제로 시스템을 운영함에 있어 반드시 필요한 저속/고속이동국을 구분하는 기준수립에 대한 합리적 근거로 활용될 수 있으리라 기대한다.

참고 문헌

[1] M. Inoue, H. Morikawa and M. Mizumachi,

Performance Analysis of Microcellular Mobile Communication Systems, *IEEE VTC*, pp.135~139, 1994

[2] X. Lagrange and P. Godlewski, Teletraffic Analysis of Hierarchical Cellular Network, *IEEE VTC*, pp.882~886, 1995

[3] H. Asakura and T. Fujii. Combining Micro and Macro Cells in a Cellular System, *IEEE ICUPC*, pp.728~731, 1993

[4] S. S. Rappaport and L.-R. Hu, Microcellular Communication Systems with Hierarchical Macrocell Overlays : Traffic Performance Models and Analysis, *Proc. IEEE*, vol. 82, no. 9, pp.1383~1397, Sept. 1994.

[5] Long-Rong Hu and Stephen S. Rappaport, Personal Communication System Using Multiple Hierarchical Cellular Overlays, *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 13, No. 2, pp.406~415, Feb. 1995

[6] Jolley W., and Warfield R., Modeling and Analysis of Layered Cellular Mobile Networks, *Proc. of the 13th ITC, Copenhagen*, pp.161~166, June 1991

[7] Claudia M., Xavier L. and Djamel Z., Analysis of a Two-layer Cellular Mobile Communication System, *IEEE VTC*, pp.954~958, 1997

[8] Paul Fitzpatrick, Performance Analysis of a Layered Wireless Network Serving Different User Classes, *IEEE VTC*, pp.431~435, 1996,

[9] A. J. Viterbi, CDMA : Principles of Spread Spectrum Communication, *Addison Wesley*, 1995

[10] A. M. Viterbi and A. J. Viterbi, Erlang Capacity of a Power Controlled CDMA System, *IEEE J. Select. Areas Comm.*, vol. 11, No. 6, pp.892~900, Aug. 1993

[11] K. S. Gilhousen, I. M. Jacobs., R. Padovani, A. J. Viterbi, L. A. Weaver, Jr., and C. E. Wheatley, III, On the Capacity of a cellular CDMA system, *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. 40, no. 2, pp.303~312, May 1991.

[12] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi and E. Zehavi, Other-Cell Interference in Cellular Power-Controlled CDMA, *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. 42, no. 2/3/4, pp.1501~1504,

May 1991.

[13] D. H. Hong, S. S. Rappaport, Traffic Model and Performance Analysis for Cellular Mobile Radio Telephone Systems with Prioritized and Nonprioritized Handoff Procedures, *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. VT-35, No-3, pp.77~92, Aug. 1986

[14] K. L. Yeung and S. Nanda, Optimal Mobile-Determined Micro-Macro Cell Selection, *IEEE PIMRC 1995*, pp.294~299.

[15] C. W. Sung and W. S. Wong, User Speed Estimation and Dynamic Channel Allocation in Hierarchical Cellular System, *IEEE VTC*, pp.91~95, 1994

[16] K. Kawabata, T. Nakamura and Eisuke Fukuda, Estimating Velocity Using Diversity Reception, *IEEE VTC*, pp.371~374, 1994

[17] A. J. Viterbi, A. M. Viterbi, K.Gilhousen and E. Zehavi, Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increase Reverse Link Capacity, *IEEE JSAC*, pp.1281~1288, Oct. 1994.

[18] Y.-W. Park, E.-K. Hong, T.-y. Lee, Y.-D. Yang and S.-M. Ryu, Korea Mobile Telecom, Radio Characteristics of PCS Using CDMA, *IEEE VTC* , pp.1661~1664, 1996

차 동 완(Tcha dong-wan) 정회원
1975 : Northwestern University, Operation Research 박사
1976~현재 : 한국과학기술원 테크노경영대학원 교수
현재 : INFORMS 2000 SEOUL 조직위원장 한국과학기술원 테크노경영대학원 통신경영정책연구센터장
1987. 2~1987. 8 : Humboldt Fellow, School of Computer Science, University of Darmstadt (TH Darmstadt), W. Germany
1983. 6~1983. 9 : Visiting Scientist, IBM Japan Science Institute, Tokyo, Japan
1981. 9~1982. 9 : Visiting Scientist, IBM Thomas J. Watson Research Center, Yorktown Heights, New York, U.S.A.

강 성 민(Kang sung-min) 정회원
1996.2 : 고려대학교 통계학과 학사
1998.2 : 한국과학기술원 테크노경영대학원 석사
1998.3~현재 : 한국통신 프리텔(주) 망관리팀

김 재 훈(Kim jae-hoon) 정회원
1996.2 : 한국과학기술원 산업경영학과 학사
1998.2 : 한국과학기술원 테크노경영대학원 석사
1998.3~현재 : 한국과학기술원 테크노경영대학원 박사과정