

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

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

강성민

한국통신프리텔(주) 망관리팀

김재훈, 차동완

한국과학기술원 테크노경영대학원

Abstract

In the two-tier CDMA cellular system with microcells and overlaying macrocells, 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, 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. 서 론

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 마이크로셀로 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 과다한 부하를 주게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 하나의 매크로셀 내에 여러 개의 마이크로셀을 중첩하여 운영하는 중첩셀 구조 셀룰라시스템이 제안되고 있다.

자랑 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 호운영은 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.

II. 이동국의 속도추정 방법 및 호 운영 방안

1. 이동국 속도추정 방법

이동국 속도추정 방법으로는 직접이동국속도 추정 방법과 간접이동국속도추정 방법이 제안되어 있다. 직접이동국속도추정(Direct Mobile Speed Estimation ; DMSE)은 이동국 속도의 실제값을 추정하는 것으로 다이버시티 수신기를 이용해 이동국의 이동에 의한 도플러 주파수 측정을 통해 속도를 추정하게 된다. DMSE는 단말기가 다이버시티 수신기를 가지고 있어야 구현할 수 있는 데 반해, 간접이동국속도추정(Indirect Mobile Speed Estimation ; IMSE)은 별도의 추가적인 하드웨어 없이 소프트웨어적으로 매우 쉽게 구현할 수 있는 방법이며 구체적인 속도의 실제값을 추정하는 것이 아니라 셀내지체시간(cell sojourn time)을 측정해 이동국 자신의 속도가 고속인지 저속인지만을 판단한다. IMSE는 실제 구현 측면에서는 DMSE 보다 상당히 용이하지만 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 저속/고속 이동국을 판단하고 신규호 접속시 마이크로/매크로셀 선택을 한다. 핸드오프호의 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. 매크로셀에서 통화중이던 호가 서비스권역을 벗어나 인접 매크로셀 영역으로 진입하게 되는 경우에는 속도에 관계없이 인접 매크로셀로 핸드오프하며 하위계층 셀인 마이크로셀로 핸드오프하지는 않는다.

(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 이동국은 T_0 를 기준으로 저속/고속 이동국을 판단하고 이에 따라 인접 매크로 혹은 마이크로셀로 핸드오프한다. 매크로셀에서 통화중이 된 호가 서비스권역을 벗어나 인접 매크로셀 영역으로 진입하는 경우에는 T^c 에 관계없이 인접 매크로셀로 핸드오프한다.

III. 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 시각(時刻)에 따른 셀 내의 트래픽 상황 변화에 따라 가변적인 최적의 V_0, T_0 값을 가지고 시스템을 운영하는 것이 시스템 성능향상 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.

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 고속이동국을 담당하는 마이크로셀에서의 QoS와 고속이동국을 담당하는 매크로셀에서의 QoS 간에 많은 차이가 있어서는 안 된다. 따라서, 요금체계에 따른 일정수준의 형평성 보장을 위해 시스템의 운영자는 마이크로셀과 매크로셀간 아우티지 확률의 자가 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]

$$\text{Min}_{V_0} \quad WTHN = HN_{soft} + W \cdot HN_{hard}$$

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]

$$\text{Min}_{T_0} \quad WTHN = HN_{soft} + W \cdot HN_{hard}$$

s. t

$$OP_m \leq OP_m^{max}$$

$$OP_M \leq OP_M^{max}$$

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

$$0 \leq T_0$$

[Model A]와 [Model B]의 목적식은 N 개의 마이크로셀을 내부에 포함한 하나의 매크로셀 영역에서 평균적으로 발생하는 가중 총핸드오프수 $WTHN$ (Weighted Total Handoff Number)을 최소화하는 것이다. CDMA에서의 하드핸드오프는 소프트핸드오프보다 큰 호손실률을 갖기 때문에 가중치 W 를 두어 목적식을 구성한다. W 는 Viterbi[3]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 일정 수준이상의 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. 해법

(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]

- 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 가중총핸드오프수 $WTHN$ 은 가중치 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 $V_{max}^p \leq V_0 \leq V_{max}^v$ 인 구간 각각에서 $W \geq 2.6$ 인 경우 위로 볼록한 형태임을 알 수 있다(그림 1). 이 사실과 [Property. 1]에 근거하여 [Model A]의 최적해 V_0^{opt} 를 구하기 위한 해법을 다음과 같이 제시한다.

[Model A]의 해법1)

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

(해가 존재하지 않으면 $V_1 = V_{max}^v$)

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

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 $V_4 = V_{max}^v$)

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

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,

$$x = V^L, V^H, V_{max}^p)$$

$$\text{Min} [WTHN(x)] = WTHN(V^L)$$

이면 $V_0^{opt} = V^L$

$$\text{Min} [WTHN(x)] = WTHN(V^H)$$

이면 $V_0^{opt} = V^H$

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

$$V_0^{opt} = V_{max}^p$$

$S_{V_0} \neq \phi$, $V_{max}^p \notin S_{V_0}$ 인 경우, (단,

$$x = V^L, V^H)$$

$$\text{Min} [WTHN(x)] = WTHN(V^L)$$

이면 $V_0^{opt} = V^L$

$$\text{Min} [WTHN(x)] = WTHN(V^H)$$

이면 $V_0^{opt} = V^H$

(2) Model B의 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.

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

[Model B]의 해법 2)

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.

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

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

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

IV. 예제를 통한 분석

예제를 통하여 DMSE와 IMSE에 의한 시스템 운영 시 발생하는 평균 핸드오프수 및 아우티지 확률에 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.

$$N=19, R_m=400m$$

$$R_M=(1+4\frac{\sqrt{3}}{2})R_m=1785.64 \approx 1786m$$

$$P_p=0.7, P_v=0.3, V_{max}^p=10(km/h),$$

$$V_{max}^v=100(km/h), \frac{1}{\mu}=2분,$$

$$OP_m^{max}=OP_M^{max}=2\%, OP_{diff}^{max}=0.5\%, W=2.6, 3.1, 3.8, 4.5, R=9600 \text{ bps},$$

$$\eta=N_0/I_0=0.1, \rho=0.4, \beta=\ln 10/10,$$

$$\sigma \approx 2.5(dB), m \approx 7(dB), SG=2.55, f=0.55$$

다음은 분석결과를 종합한 그림들이다

핸드오프수

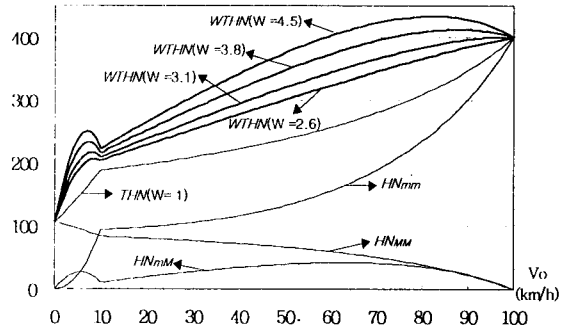


그림1. $\lambda_n = 25$ 일때의 평균핸드오프수 DMSE

핸드오프수

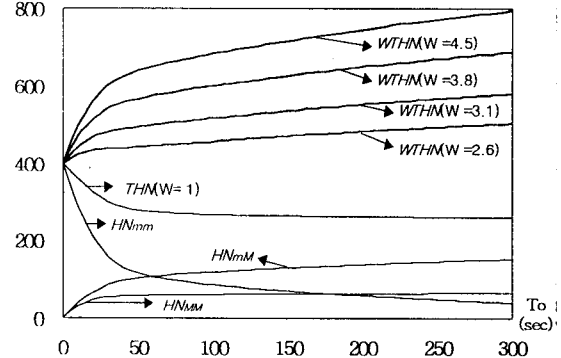


그림2. $\lambda_n = 25$ 일때의 평균핸드오프수 ; IMSE

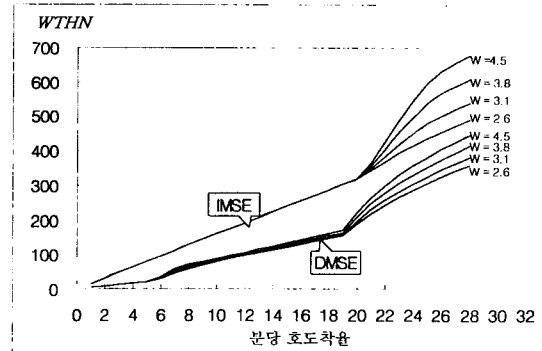


그림3. 가중중핸드오프수 WTHN ; DMSE vs IMSE

V. 결론

본 논문에서는 중첩셀구조 CDMA 셀룰라시스템 운영 시 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 일정 수준 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 감소효과 보다 고속 이동국을 매크로셀로 하드핸드오프시킬 때의 시스템 성능저하 효과가 더 크므로 CDMA를 사용하는 경우 중첩셀 구조보다는 마이크로셀 단일구조로 시스템을 운영하는 것이 보다 더 효율적이다. 또한, DMSE에 의한 시스템 운영 시 시스템에서 평균적으로 발생하는 핸드오프수가 IMSE에 의한 시스템 운영시 보다 항상 작으므로, IMSE 보다는 DMSE에 의한 중첩셀 구조 CDMA 셀룰라시스템의 운영이 보다 더 효율적이다.

<참고문헌>

1. M. Inoue et al. Performance Analysis of Microcellular Mobile Communication Systems, *IEEE VTC*, pp.135~139, 1994
2. X. Lagrange et al. Teletraffic Analysis of Hierarchical Cellular Network, *IEEE VTC*, pp.882~886, 1995
3. A. J. Viterbi et al. Soft Handoff Extends CDMA Cell Coverage and Increase Reverse Link Capacity, *IEEE JSAC*, pp.1281~1288, Oct. 1994.