

셀룰러 CDMA 시스템에서 커버리지와 무선자원의 결합형 관리 기법

염 동 화, 김 민 조, 강 창 순
 창원대학교 대학원 정보통신공학과

Joint Coverage and Radio Resource Management Scheme for Cellular CDMA Systems

Dong Hwa Youm, Min Jo Kim, and Chang Soon Kang
 Dept. of Information & Communication Eng., Changwon National University
 e-mail : diebad@changwon.ac.kr, cskang@sarim.changwon.ac.kr

Abstract

An abrupt increase of traffic-load in cellular CDMA systems can cause overload and degrade the quality of service (QoS) due to the insufficient radio resources. In this paper, we propose a joint coverage and resource management (JCRM) scheme which can improve the QoS degradation and spectrum utilization. The JCRM scheme hands over overloaded traffic to the neighboring cells by virtually reducing a heavily loaded cell coverage and allocates radio resources based on the necessary handover probability. The proposed scheme can be applied to the existing cellular CDMA systems as well as adaptive coverage management schemes for next generation mobile communication systems.

I. 서 론

최근 이동통신 사용자의 급격한 증가로 인하여 통화품질 개선과 함께 한정된 무선자원의 효율적 활용 방안에 대한 필요성이 증대하고 있다. 한편 셀룰러 CDMA 시스템에서 불필요한 소프트 핸드오버는 무선자원 낭비를 초래할 뿐만 아니라 특정 셀 영역 (커버리지)에 트래픽 부하가 급증할 경우 기지국에서 할당할 수 있는 무선자원 부족으로 인하여 통화품질이 급격하게 저하되는 문제가 발생한다. 그러므로 불필요한 핸드오버를 줄이고 트래픽 부하가 급증할 경우에도 적절한 통화품질을 유지할 수 있는 소프트 핸드오버 제어 기술이 필요하다.

핸드오버 제어를 위한 기존 연구들로는 핸드오버 파라미터를 가변하여 커버리지를 제어함으로써 과부하 셀 내의 트래픽 일부를 트래픽 밀도가 낮은 인접 셀로 핸드오버 시키는 기법이 있다[1][2]. 또한 현재 IS-95B와 cdma2000 시스템에서 불필요한 핸드오버를 줄이기 위하여 동적문턱값 방식의 핸드오버 제어 기법이 사용되고 있다[3]. 그러나 선행 연구에서 전자의 방법은 갑작스러운 이동국 증가로 인한 트래픽 불균형을 완화 시킬 수는 있지만, 필요 핸드오버뿐만 아니라 불필요 핸드오버까지 포함하여 소프트 핸드오버를 수행함으로써 무선자원 낭비를 초래할 수 있다. 후자의 방식에서는 동적 문턱값을 정하는데 있어 이동통신 환경의 채널상태전파 전파 특성 등을 고려하지 않아 문제로 지적된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점들을 개선하기 위하여 기지

국이 관리하는 순방향 전력 할당 상태에 기초하여 소프트 핸드오버 영역과 순방향 할당 전력을 동시에 관리하는 커버리지와 무선자원의 결합형 관리 (Joint Coverage and Radio Resource Management: JCRM) 기법을 제안한다. 제안하는 방안은 셀룰러 CDMA 시스템에서 셀의 과부하가 발생할 경우 핸드오버 발생 확률에 기반하여 무선자원을 할당하고, 동시에 셀 커버리지를 가상으로 줄여 (핸드오버 영역을 가상으로 확장) 인접 셀로 트래픽을 핸드오버 시킨다. 제안하는 JCRM 기법을 셀룰러 CDMA 시스템에 적용할 경우 불필요한 핸드오버 발생을 낮춰 무선자원의 효율적 활용을 증대시킬 수 있을 뿐만 아니라, 통화품질을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 셀룰러 CDMA 시스템의 거리에 따른 파일럿 신호 세기, 전력 할당 방법 및 셀 커버리지에 대해 살펴보고, 3장에서는 JCRM 기법에 대해 기술한다. 4장에서는 시뮬레이션 및 결과를 고찰하며, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

그림 1은 IS-95기반 셀룰러 CDMA 시스템에서 거리에 따른 파일럿 신호 세기 (파일럿 신호), 전력 할당 방법 및 셀 커버리지를 나타낸다. 이와 같이 주어졌던 시스템에서 소프트 핸드오버는 순방향 링크의 파일럿 세기와 미리 설정된 핸드오버 파라미터 (T_ADD , T_DROP)를 비교하여 결정한다. 그림 1(a)는 이동국에서 수신하는 거리에 따른 파일럿 세기를 보여준다. 그림에서 홈 셀은 이동국이 현재 서비스 받고 있는 셀을 말하고, 인접 셀은 홈 셀 주변의 기지국으로부터 수신되는 파일럿 세기가 가장 큰 셀을 말한다. 셀룰러 CDMA 시스템에서 소프트 핸드오버는 이동국이 수신하는 파일럿 세기에 의해 결정된다. 이동국은 항상 인접 셀 파일럿 세기를 감시하며 새로운 기지국에서 수신한 파일럿 세기가 T_ADD 값 보다 크면 기지국에게 핸드오버를 요청한다. 또한 이동국이 속한 홈 셀의 파일럿 세기가 T_DROP 이하로 낮아지면 타이머가 동작하여 그 값이 T_DROP 에 이르르면 홈 셀과 연결을 단절하고 핸드오버가 종료된다.

그림 1(b)는 셀룰러 CDMA 시스템의 순방향 링크 전력 할당 상태와 셀 커버리지를 나타낸다. 순방향 링크는 파일럿 채널, 동기 채널, 호출 채널, 트래픽 채널로 구성되며 기지국에서는 채널의 정보가 각 이동국에게 적절한 품질로 도

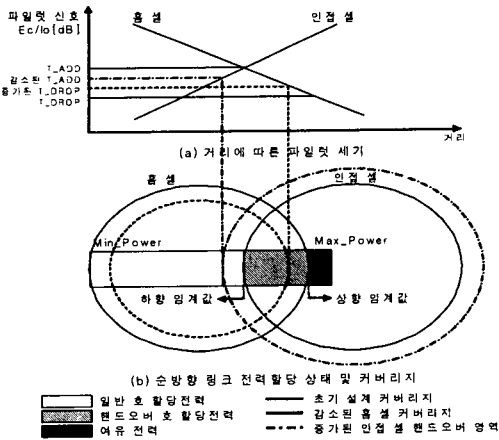


그림 1 셀룰러 CDMA 시스템의 커버리지 및 무선자원 관리 모델

달할 수 있도록 필요한 전력을 할당한다. 이와 같은 채널 중에서 트래픽 채널용 전력은 이동통신 채널 상태, 통화량, 간섭 특성 등의 변화에 따라 할당 전력이 가변적이다. 따라서 셀 내에 트래픽이 없을 경우 할당되는 전력 상태를 그림 1(b)에서는 Min_Power라 하고, 트래픽 채널에 할당 할 수 있는 최대 전력 상태를 Max_Power라 한다. 하향 임계값과 상향 임계값은 셀룰러 CDMA 시스템의 순방향 과부하 제어에 사용되는 전력 할당 상태 파라미터를 나타낸다. 하향 임계값은 핸드오버 호 단절을 줄이기 위한 신규 호에 대한 수락 거부 임계치를 나타내고, 상향 임계값은 과부하가 발생했음을 알리는 임계치를 나타낸다.

III. 커버리지와 무선자원의 결합형 관리 기법

순방향 링크 셀 커버리지는 이동국이 수신하는 파일럿 세기에 따라 결정되기 때문에 핸드오버 파라미터 변경을 통하여 커버리지 조정이 가능하다. 그림 1과 같은 셀룰러 시스템에서 특정 셀 내에 트래픽 부하가 급증할 경우 트래픽 채널에 할당 가능한 무선자원 부족으로 인하여 통화품질이 급격하게 저하되는 문제가 발생한다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 셀 내의 트래픽 상태에 따라 셀 커버리지를 가변하는 방안이 있다.

트래픽 급증으로 인하여 발생하는 통화품질 저하를 해결하기 위한 기존의 트래픽 과부하 제어 기법은 핸드오버 파라미터를 변경함으로써 소프트 핸드오버 영역을 확장시켜 트래픽 부하를 분산시켰다. 그러나 기존의 방안에서는 소프트 핸드오버 영역 확장으로 트래픽 부하를 분산 시키는 효과는 있으나, 불필요 핸드오버와 필요 핸드오버 구분 없이 핸드오버를 수행함으로써 무선자원 낭비를 초래하였다. 특히 이동국들이 홈 셀로부터 수신하는 파일럿 세기가 충분함에도 불구하고 인접 셀로 핸드오버 됨에 따라 무선자원 낭비를 기증시킬 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 커버리지와 무선자원의 결합형 관리(JCRM) 기법을 제안한다.

그림 2에서와 같이 기지국은 주기적으로 순방향 전력 할당 상태를 체크하여 여유 할당 전력이 있을 경우 트래픽 채널을 할당하게 된다. 만약 홈 셀에서 통화량 증가 등으로 인하여 할당 전력이 상향 임계값을 초과하게 되면 기지국은 셀 내의 모든 이동국들에게 핸드오버 파라미터 변경을 요구

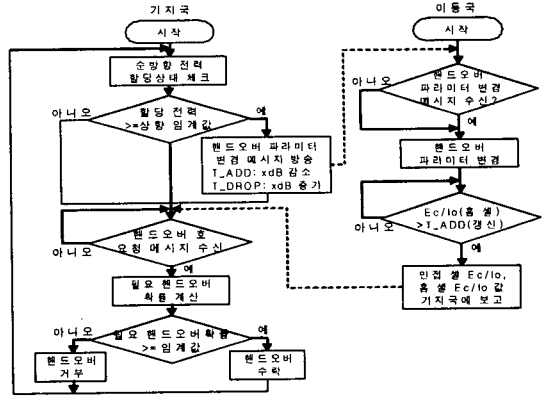


그림 2 커버리지와 무선자원의 결합형 관리 기법

한다. 파라미터 변경 요구 메시지를 수신한 이동국은 그림 1(a)에서와 같이 미리 설정되어 있는 핸드오버 파라미터 중 T_ADD값을 xdB 낮추고 T_DROP값을 ydB 높이는 절차를 수행한다.

파라미터 변경을 완료한 후 이동국은 인접 셀로부터 수신된 파일럿 세기가 변경된 T_ADD 값을 초과할 경우 홈 셀 기지국에게 홈 셀과 인접 셀에서 수신한 파일럿 세기를 보고한다. 기지국에서는 이동국이 수신하여 보고한 홈 셀 및 인접 셀의 파일럿 세기와 변경된 홈 셀 핸드오버 파라미터를 이용하여 필요 핸드오버 확률을 계산한다. 계산 결과 값이 규정된 값을 초과하면 핸드오버를 수락하고 트래픽 채널용 전력을 할당한다. 반면 필요 핸드오버 확률이 임계값 미만일 경우 핸드오버 요청을 거부하게 된다. 이와 같은 알고리즘을 셀룰러 CDMA 시스템에 적용할 경우 특정 셀 내에 급증하는 트래픽에 대해 적용적으로 커버리지를 조절할 뿐만 아니라, 불필요한 핸드오버를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

IV. 시스템 성능 평가

제안하는 JCRM 기법을 시스템 모델(그림 1)에 적용하여 성능을 평가하기 위하여 핸드오버 확률을 정의하고 시뮬레이션 환경을 설명한다. 무선자원 사용 효율을 나타내는 불필요 핸드오버 확률과 통화품질의 척도로 서비스 불가 확률(outage probability)을 이용하여 기존의 소프트 핸드오버 기법[3] 및 트래픽 과부하 제어 방식[1]과 JCRM의 성능을 비교한다. 본 논문에서는 이동국이 수신한 파일럿 세기가 T_min 이하이거나, 하나의 트래픽 채널에 할당 가능한 전력이 초과되었을 경우 발생하는 핸드오버율을 서비스 불가 확률로 정의한다.

4.1 핸드오버 확률

이동국이 각 기지국으로부터 수신한 전력을 무선 전파 환경에서 사용하는 전파모델을 이용하여 예측하면 다음과 같이 표현된다[4].

$$R = \frac{k}{r^\mu} 10^{10/\zeta} \rho \quad (1)$$

여기서 k는 기지국이 전송하는 전력과 관련된 전파 상수이며, r은 각 기지국과 이동국간의 거리를 나타낸다. 그리고 μ 와 ρ 는 각각 경로손실과 다중경로에 의한 손실을 나타낸

다. 식 (1)을 i 번째 셀에서 이동국이 수신한 전력에 대하여 dB단위로 나타내면 다음과 같다.

$$R_i = K - 10\mu \log r_i + \zeta_i \text{ [dB]} \quad (2)$$

식 (2)에서는 다중경로에 의한 손실은 무시한다. 이동국이 해당 위치에서 홈 셀과 인접 셀로부터 수신한 전력은 각각 R_0 와 R_i 이다. 대규모 페이딩 환경에서 음영손실에 의한 dB 감소는 ζ 로 나타내며 평균 0, 표준편차 σ 를 가지는 가우스 분포를 따른다고 가정한다. 두 개 이상의 기지국 또는 이동국간의 전파손실은 결합 가우스 확률 밀도로 가정한다. 이와 같은 dB 손실은 임의의 구성요소로 표현할 수 있으며 핸드오버의 통계적 해석을 위하여 순방향 링크 전파환경에 페이딩 효과로 적용한다. 따라서 i 번째 기지국으로부터 수신되는 신호의 손실 요소 중 음영손실을 정의하면 다음과 같다.

$$\zeta_i = a\zeta + b\zeta_j, \quad a^2 + b^2 = 1 \quad (3)$$

이때,

$$E(\zeta_i) = E(\zeta) = E(\zeta_j) = 0, \quad \text{Var}(\zeta_i) = \text{Var}(\zeta) = \text{Var}(\zeta_j) = \sigma^2 \text{ for all } i, \\ E(\zeta_i \zeta_j) = 0 \text{ for } i, \quad E(\zeta_i \zeta_j) = 0 \text{ for } i \text{ and } j, i \neq j.$$

이다.

그리고 두 개의 기지국 i 와 j 에서 겪는 음영손실의 정규화된 상관계수는 다음과 같다.

$$\frac{E(\zeta_i \zeta_j)}{\sigma^2} = a^2 = 1 - b^2, \quad a^2 = b^2 = \frac{1}{2} \quad (4)$$

(1) 소프트 핸드오버 확률

핸드오버 발생은 이동국에서 수신한 인접 셀의 파일럿 세기에 의존하므로 핸드오버 발생 확률은 전파 모델과 셀 모델을 이용하여 이동국이 수신하는 파일럿 세기와 핸드오버 파라미터로 나타낼 수 있다[5]. 이를 식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\text{Pr} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2/2} \left\{ Q \left[\frac{T_{add} - \Delta x - K + 10\mu \log r_i - a\alpha x}{b\sigma} \right] \right\} dx \quad (5)$$

여기서

$$Q(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_y^{\infty} e^{-x^2/2} dx = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{-y} e^{-x^2/2} dx, \quad \zeta_0 = \zeta_i = \Lambda \zeta_i,$$

Δx 는 T_ADD 변화량, Δy 는 T_DROP 변화량을 각각 나타낸다.

(2) 필요 소프트 핸드오버 확률

홈 셀의 파일럿 세기가 T_DROP 이하이고 인접 셀 파일럿 세기가 T_ADD이상일 경우 발생하는 핸드오버를 필요 핸드오버로 정의하며, 이를 확률로 나타내면 다음과 같다.

$$\text{Pr} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2/2} \left\{ \left(Q \left[\frac{T_{add} - \Delta x - K + 10\mu \log r_i - a\alpha x}{b\sigma} \right] \right) \cdot \left(1 - Q \left[\frac{T_{drop} + \Delta y - K + 10\mu \log r_0 - a\alpha x}{b\sigma} \right] \right) \right\} dx \quad (6)$$

4.2 시뮬레이션 및 성능 평가

(1) 시뮬레이션 환경

시뮬레이션에는 그림 3과 같이 2000미터의 동일한 반경을 가지는 9개의 2차원 셀 토폴로지를 사용한다. 각 셀 중심에 위치하는 기지국에서 전송하는 신호 세기는 모든 셀에서 동일한 것으로 간주한다.

이러한 셀 환경에서 발생하는 신규 호는 각 셀마다 정해진 도착률 λ (call/h/cell)를 갖는 포아송분포를 따르고, 전체 셀에서 이동국 초기 위치는 균일분포를 따른다고 가정한다. 생성된 호가 종료되기까지의 호 지속 시간은 시간에 따라 지수적으로 변하는 값으로 결정되며 평균 호 지속 시간은 180초이다. 생성된 이동국의 속도는 최소 10km/h에서 최대 50km/h 사이에서 임의로 선택되며, 임의 시간 이후 방향이 바뀐다.

채널 할당은 고정 채널 할당 방식을 따른다. 하나의 기지국에서 할당 가능한 전체 트래픽 채널의 전력은 10W이며, 각 트래픽 채널에 할당 할 수 있는 최대 전력은 1W로 가정한다. 그리고 하나의 음성 호에 할당되는 최소 (초기 할당) 전력은 0.3W로 둔다. 따라서 셀 내에서 하나의 기지국이 수용할 수 있는 최대 이동국 수는 30명이며 그 이상일 경우 과부하가 발생한 것으로 본다.

(2) 성능 평가

표 1. 시스템 파라미터

파라미터 설명	값
셀 반경 (km)	2
이동국 이동속도 최소값, 최대값 (km/h)	[10, 50]
평균 호 지속시간 (s)	180
기지국 트래픽채널 최대 전력 (W)	10
음영손실 표준편차 (dB)	6
경로감쇄 상수 (μ)	4
T_ADD (dB)	-14
T_DROP (dB)	-16
T_TDROP (s)	5
T_min (dBm)	-105
필요 핸드오버 확률 임계값 (η)	0.9

성능 평가에 사용하는 시스템 파라미터는 (표 1)과 같다. 성능 평가는 핸드오버 파라미터인 Δx , Δy 를 각각 (0, -2, -4), (0, 2, 4)로 변경하여 수행한다. Δx 는 T_ADD 변화량을 나타내고 Δy 는 T_DROP의 변화량을 나타낸다.

그림 3은 9개의 셀로 구성되는 셀룰러 CDMA 시스템에서 셀 당 이동국 수에 따른 핸드오버 발생 확률을 보여준다. ($\Delta x=0$, $\Delta y=0$)은 IS-95기반 핸드오버 방식을 나타내고, Conv 1, 2는 기존 트래픽 과부하 제어 방식을 나타낸다[1]. 그리고 JCRM 1, 2는 본 논문에서 제안하는 과부하 제어 방식을 의미한다. 2장에서 살펴본 시스템 모델 (그림 1)에서 보듯이 핸드오버 파라미터 중 Δx 감소, Δy 증가는 핸드오버 영역을 확장시켜 핸드오버 발생 확률을 높인다. 그림에서 이동국 수가 30일 때 Δx 를 (-2, -4), Δy 를 (2,4)로 변경 하면, 기존 과부하 제어 방식의 경우 IS-95 기반 핸드오버 방식에 비해 핸드오버 발생 확률이 각각 12%, 24%씩 증가하였다. 또한 JCRM 기법을 적용한 경우 발생하는 핸드오버는 IS-95 방식에 비해 각각 7%, 10%씩 증가함을 보였다. 그림 4는 셀 당 이동국 수에 따른 불필요 핸드오버 발생 확률을 보여준다. 이동국 수가 증가할수록 불필요 한

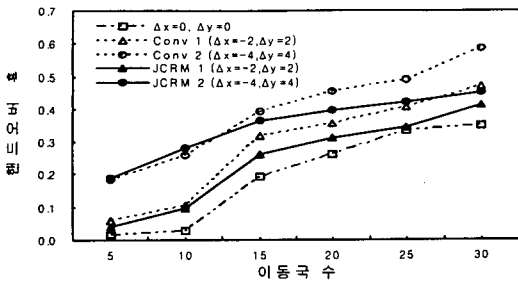


그림 3. 셀 별 이동국 수에 따른 핸드오버 확률

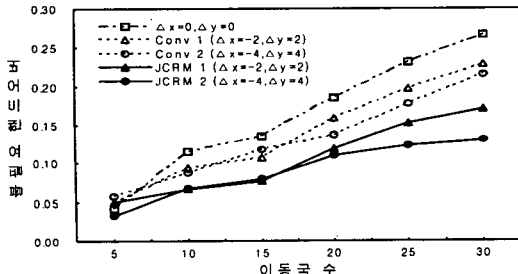


그림 4. 셀 별 이동국 수에 따른 불필요 핸드오버 확률

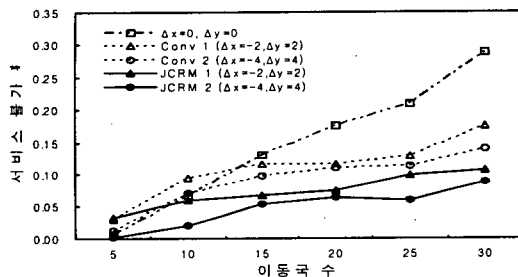


그림 5. 셀 별 이동국 수에 따른 서비스 불가 확률

드오버 발생 확률이 높아지며, 제안하는 JCRM 기법의 경우 다른 방식과 비교해 볼 때 성능이 크게 개선되는 것을 알 수 있다. 예를 들면, 이동국 수가 30일 때 (과부하 상태에 근접) 불필요 핸드오버 발생 확률이 IS-95 기반 핸드오버 방식일 경우 27%로 나타났다. 이것은 이동국 수가 30일 때 약 8명의 사용자에게 불필요 핸드오버가 발생함을 의미한다. 핸드오버 파라미터를 ($\Delta x=-4, \Delta y=4$)로 조정할 경우 불필요 핸드오버 확률은 기존 알고리즘에서 22%인 반면, JCRM 기법에서는 13%로 나타났다. 따라서 JCRM 기법을 적용할 경우 IS-95 기반 핸드오버 방식에 비해서는 14%, 기존 알고리즘에 비해서는 9% 정도 성능이 개선되어 무선 자원 사용 효율이 높아졌음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 JCRM 기법에서는 셀 내에 트래픽 과부하 발생시 필요 핸드오버 확률을 고려해 핸드오버를 수행하였기 때문이다.

그림 5는 셀 당 이동국 수에 따른 서비스 불가 확률을 나타낸다. 제안하는 JCRM 기법의 경우 서비스 불가 확률이 다른 방식과 비교해 볼 때 현저히 낮아지는 것을 알 수 있다. 특히 이동국 수가 30일 경우 서비스 불가 확률은 IS-95 기반 핸드오버 방식에서 29%로 나타났다. 이것은 이동국 수가 30일 경우 약 9명의 통화품질이 악화된다는 것을 의미한다. 또한 핸드오버 파라미터를 ($\Delta x=-2, \Delta y=2$)로 조정할 경우 기존 알고리즘에서 서비스 불가 확률은 18%인 반면 JCRM 기법을 적용하였을 경우 10%이하를 보여준다.

이러한 결과를 통해 볼 때 IS-95 기반 핸드오버 방식에 비해서는 최대 20%, 기존 알고리즘에 비해서는 8% 정도 통화품질이 개선되었음을 알 수 있다. 이는 그림 4에서 보는 바와 같이 불필요 핸드오버에 사용되는 무선자원을 과부하 셀 내의 이동국들에게 할당함으로써, 이동국 급증에 따른 무선자원 부족 문제에 적절히 대응하였음을 나타낸다.

V. 결론

셀룰러 CDMA 시스템에서 특정 셀 영역에 무선 트래픽이 급증할 경우 통화품질이 급격하게 저하될 뿐만 아니라 불필요한 핸드오버 증가로 무선자원 낭비를 초래하게 된다. 본 논문에서는 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 새로운 형태의 트래픽 부하제어 방식인 커버리지와 무선자원의 결합형 관리기법을 제안하였다. 제안하는 방안에 대한 시스템 성능 평가는 두 가지 측면의 성능지수를 분석하였다. 평가 척도는 무선자원 사용효율을 나타내는 불필요 핸드오버 발생 확률과 통화품질 개선 지표로 서비스 불가 확률을 각각 사용하였다.

분석 결과 시스템 성능이 기존의 트래픽 부하제어 방식에 비하여 각각의 성능 척도에서 모두 개선되었음을 알 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 기법은 불필요한 핸드오버에 따른 무선자원 낭비와 무선자원 부족으로 인한 통화품질 저하를 동시에 개선하는 방안으로 특히, 셀 내의 트래픽이 과부하 상태에 근접할수록 성능이 크게 향상되는 결과를 보였다. 이와 같은 관리기법을 IS-95기반 CDMA 시스템뿐만 아니라 WCDMA 시스템을 포함한 차세대 이동통신 시스템에서 요구하는 적응형 무선 커버리지 관리방안을 설계하는데 직접 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

Reference

- [1] Xinjie Yang, Shahram Ghaheri-Niri, and Rahim Tafazolli, "Enhanced Soft Handover Algorithms for UMTS System," in *Proc. IEEE Vehicular Technology Conf. (VTC'2000)*, vol. 4, Boston, MA, Sept. 2000, pp. 1539-1543.
- [2] Won-Ik Kim and Chang Soon Kang, "An adaptive soft handover algorithm for traffic-load shedding in the WCDMA mobile communication system," in *Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conf. (WCNC)*, vol. 2, New Orleans, LA, Mar. 2003, pp. 1213-1217.
- [3] Seon-Ho Hwang et al., "Soft handoff algorithm with variable thresholds in CDMA cellular systems," *Electron. Lett.*, vol. 33, no. 19, pp. 1602-1603, Sept. 1997.
- [4] A. J. Viterbi et al., "Soft handoff extends CDMA coverage and increases reverse link capacity," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 12, pp. 1281-1288, Oct 1994.
- [5] C. S. Kang, K. S. Kim, and M. J. Kim, "The Effects of Path Loss, Shadowing and Handoff Parameters on Handoff Statistics in CDMA cellular Systems," in *Proc. Wireless'95, Calgary, Canada*, July 1995, pp. 521-530.