

CDMA 셀룰라 시스템 시뮬레이션을 위한 효과적인 셀 모델에 관한 연구

윤상흠*, 권용석**

A Study on Effective Cell Model for CDMA Cellular System Simulation

Sang-Hum Yoon*, Yong-Seok Kwon**

Abstract

In this paper, we propose a cell model based on the wraparound method to simulate the hierarchical CDMA cellular system in an effective and efficient manner. The model uses the minimal number of cells by considering only one tier but compensates the interference by other cells in the higher tiers sufficiently. Various numerical tests demonstrate that the proposed model can be used to simulate the complex and large-sized hierarchical cellular system effectively. Especially, the interference compensation can reduce the required simulation time to 1/100 for 10 tiers cellular system.

Keywords: Simulation, CDMA, Wraparound Cell Model

1. 서 론

1세대 아날로그 시스템으로부터 2세대 디지털 그리고 3세대 IMT-2000에 이르기까지 셀룰라 이동통신 시스템은 수용용량의 증대와 데이터 전송 품질의 개선을 위해 계속해서 진화되어 왔으며 이를 위한 셀 구조도 분화되고 복잡해졌다. 특히 IMT-2000과 미래의 4세대 시스템에서는 가입자의 다양한 이동특성을 반영하기 위해 셀의 크기를 고정하지 않고 매크로와 마이크로 및 피코 셀의 서로 다른 크기의 셀이 공존하는 다계층 셀 구조의 도입이 필수적이다[Tekinay et al., 2000; Ortigoza-Guerrero & Aghvami, 2000].

이와 같이 전체적인 셀 구조의 복잡도가 커짐에 따라 분석적 방법에 의한 각종 성능분석뿐만 아니라 시뮬레이션도구를 활용한 분석에도 어려움이 가중되고 있다. 특히, 특정셀을 둘러싼 주변셀들의 환경(부하, 전송 전력, 채널의 수, 불균일한 처리 방식 등)을 함께 고려해야 하는 전력제어, 핸드오버, 호 수락 제어, 다중간섭제거, 셀 탐색 등과 관련한 새로운 알고리즘의 성능을 검증해야 할 경우 실제 시스템과 같이 수천 개의 셀을 모델링하고 이를 시뮬레이션하는 것은 엄청난 연산시간과 비용측면에서 비현실적이다. 따라서, 다계층 구조를 갖는 미래의 CDMA 셀룰라 시스템에 대한 효율적인 시뮬레이션을 위해서는 최소 규모로 한정된 셀을 사용하면서도 셀간의 간섭 특성을 충분히 고려할 수 있는 셀 모델이 필요하다.

하지만, 이렇게 한정된 수의 셀을 이용한 모델을 사용할 경우에는 중앙에 위치한 셀들만 실제 환경과 유사하고 모델 외곽에 위치한 셀들에 대해서는 충분한 주변 셀이 존재하지 않는 문제점을 해결해야 한다. 이를 해결하기 위해 측정 대상인 중심 셀을 먼저 구성하고 측정을 하지

않는 주변 셀들을 다수 배치하는 방법이 제시되어 왔으며[Ortigoza-Guerrero & Aghvami, 1999; Ortigoza-Guerrero & Aghvami, 1998], 흔히 2계층 또는 3계층 간섭셀까지를 고려한 19셀 구성 및 49셀 모델을 사용하였다[Liu & Zarki, 1994; Kim & Sung, 2001]. 이때 주변 셀들은 통계에 포함되지는 않으나 중심 셀에 미치는 간섭을 고려하기 위해서는 중심 셀과 동일하게 셀 운영상의 처리는 해주어야 한다. 따라서 이러한 모델의 경우 시뮬레이션 결과가 실제 시스템에서 얻을 수 있는 결과에 상응할 만큼 셀 수가 포함되어야 하며 모델링한 셀의 수가 많아지면 시뮬레이션 시간이 너무 길어지는 단점이 존재하게 된다. 또한 모델 외곽에 위치한 셀은 충분한 이웃 셀이 존재하지 않아 간섭이 적은 것으로 평가되는 경계효과(boundary effect)가 나타나 부정확한 모델이 될 수 있다.

다른 방법으로 한정된 셀만을 고려하면서도 마치 모든 셀이 주변 셀의 중심에 있으며 충분한 주변 셀이 존재하는 것과 같은 효과를 내기 위해 wraparound방식을 사용할 수 있다[Zander & Kim, 2001; Maucher & Kunz, 2002]. 이 방식을 사용하여 경계효과를 제거한 셀 모델이 사용되었다[Kazmi et al., 2000; Sousa Jr. et al., 2001; Kostic et al., 2001]. 여기서 사용된 시뮬레이션은 19셀을 사용하여 규모가 고정된 단순 구성 방법이었다. IMT-2000 표준연구단체인 3GPP, 3GPP2에서는 이와 같은 방식을 시스템 성능평가를 위한 시뮬레이션에 사용하기도 하였다[Yoon & Duan, 2002; 3GPP TR25.942]. 또한, 7, 19, 37 셀로 규모를 변화시키면서 성능의 차이를 비교한 연구도 있었으나 이 역시 셀 수가 고정된 고정구조를 대상으로 하고 있다[Nawrocky & Wieckowski, 2002]. 셀 규모를 49 셀 이상으로 충분히 크게 하여 충분한 간섭이 고려될 수 있도록 하며 모든 셀에서 통계를

취할 수 있는 장점을 가진 구성도 연구되었다 [Soong & Zhou, 2002; Kostic et al., 2000; Ghorashi et al., 2001]. 그러나 이 또한 확장성이 없는 고정형 시뮬레이션 모델이며 시스템 환경에 따라 적정 규모로 모델링이 되었는지 검증이 되지 않았고 셀 규모가 큰 편이어서 계산 요구량이 크다는 한계를 가지고 있다.

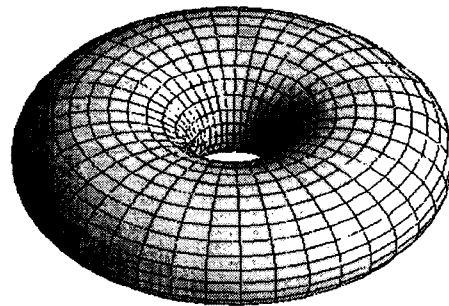
이러한 기존연구에 대한 고찰을 바탕으로 본 연구에서는 다계층 구조를 갖는 미래의 CDMA 셀룰라 시스템에 대한 시뮬레이션에 필수 불가결하다고 할 수 있는 wraparound 방식의 특성과 효율을 고찰하기 위해 임의의 크기로 확장이 가능한 범용 wraparound 구성 셀룰러 시스템 시뮬레이터를 개발하고 이를 활용하여 다양한 구성에서의 간섭계산의 차이를 살펴보고자 한다. 또한, 최소 규모의 셀 구성으로 최대의 시간 절약 효율을 올릴 수 있는 방안을 찾아보고 그 성과를 검증하고자 한다.

본 연구의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어 2장에서는 wraparound 방식의 셀 모델의 이론적 해석이 전개되고 3장에서는 시뮬레이션 환경과 방식 그리고 실험결과를 기술하였다. 마지막으로 4장에서 결론을 정리하였다.

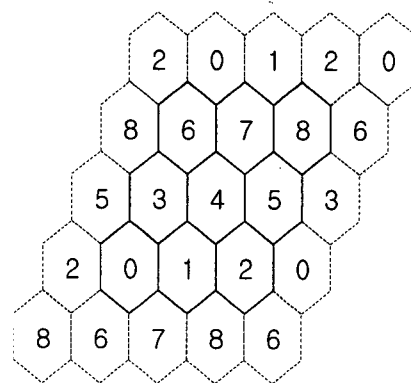
2. Wraparound방식의 셀 모델

한정된 개수의 셀만으로 충분한 이웃 셀이 있는 것처럼 구성할 수 있는 것이 wraparound 셀 모델의 장점이다. 이는 (그림 1)과 같이 도넛형 입체 구조를 갖게 되며 이해를 돕기 위해 펼쳐진 그림으로 표현하면 (그림 2)와 같다. (그림 2)에서와 같이 실선으로 표시된 연구대상인 실존셀들을 마름모 형태로 배치하고 위쪽 끝 셀들이 아래쪽 끝 셀들과 맞닿도록 말아서 있고 왼쪽 끝 셀들을 오른쪽 끝 셀들과 맞닿도록 하면 (그림 1)과 같이 도넛형 또는 타이어 튜브형

(torus) 입체표면에 셀들이 존재하는 형태가 된다. 이렇게 함으로써 모든 셀들이 모든 방향으로 주변 셀을 갖고 있는 것처럼 표현할 수 있다. (그림 2)에서 셀 중심의 숫자는 셀 구별자이다. 그림에서 점선으로 표시된 셀들은 단순히 마름모의 경계쪽에 위치한 셀들의 주변셀을 표시하기 위한 것이다. 예를 들어 tours모양에서 셀5를 둘러싼 다음 계층에는 셀2, 셀4, 셀7, 셀8 뿐 아니라 셀0과 셀3이 위치하게 되며 셀3의 바로 다음 상위계층에는 셀0, 셀1, 셀4, 셀6과 셀5, 셀8이 위치하게 된다. (그림 2)는 모든 실존셀의 주위에 한 개 계층(6개)이 존재하는 총 2계층 셀룰라 모델을 표현한 것이다.

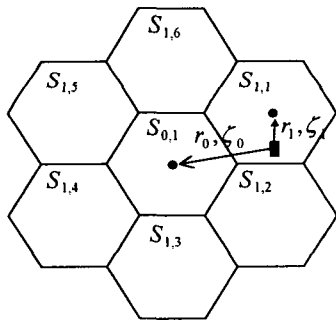


(그림 1) torus 입체 모양



(그림 2) torus를 펼친 모양의 셀 구성

CDMA 셀룰라 시스템은 기지국(Base Station)에서 단말 방향으로의 간섭인 순방향 간섭과 단말로부터 기지국 방향으로의 간섭인 역방향 간섭이 존재한다. 순방향 간섭은 단말의 위치에 따라 간섭량이 달라 셀 구성에 따른 효과를 정확히 평가하기 어려우므로 본 연구에서는 역방향 간섭량을 평가 기준으로 사용한다. (그림 3)은 셀 $S_{1,1}$ 에 위치한 단말에 의한 이웃한 셀 $S_{0,1}$ 과 $S_{1,1}$ 에 미치는 역방향 간섭을 표현한 것이다. 본 연구에서 $S_{i,k}$ 는 $S_{0,1}$ 을 중심으로 t 계층에 있는 k 번째 셀을 나타내는 구별자로 활용된다. (그림 3)은 $S_{0,1}$ 주위에 상위 1계층만을 표현한 것으로 이를 확장하면 2계층에는 12개의 셀이 둘러싸고 있으며, 일반적으로 t 계층에는 $6 \times t$ 개의 셀이 존재하게 된다.



(그림 3) 역방향 간섭 모델

일반적으로 기지국에서 거리 r 만큼 떨어진 단말의 신호감쇄 L 은 다음과 같이 표현될 수 있다[Viterbi, 1995].

$$L(r, \zeta) = r^a 10^{-\frac{\zeta}{10}} \quad (1)$$

여기서 a 는 전파감쇄 지수이며, ζ 는 쇠도우잉에 의한 데시벨 감쇄로서 평균이 0이고 표준편차가 σ 이다. 이 식을 데시벨 단위의 감쇄식으로 다시 쓰면 다음과 같다.

$$10 \log L(r, \zeta) = 10a \log r + \zeta \quad (2)$$

이때 자기 셀 $S_{0,1}$ 내의 단말로부터 수신되는

신호의 합을 자기셀 간섭량(I_{own})이라 하며 주변의 셀에 존재하는 단말들로부터 수신되는 신호의 합을 주변셀 간섭량(I_{other})이라 할때 총 간섭량(I_{all})은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$I_{all} = I_{own} + I_{other} = I_{0,1} + \lim_{T \rightarrow \infty} \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{K_t} I_{t,k} \quad (3)$$

여기서 $I_{t,k}$ 는 셀 $S_{0,1}$ 을 둘러싼 t 계층의 k 번째 주변셀 $S_{t,k}$ 에 존재하는 단말로부터의 간섭량을 나타낸다. T 는 총 계층의 수이며 K_t 는 t 계층에 속한 총 주변셀의 수를 나타내며 일반적으로 $K_t = 6 \times t$ 의 관계가 있다. 또한 주변셀 $S_{t,k}$ 에 총 N 개의 단말이 존재한다고 할 때 중심 셀 $S_{0,1}$ 로 미치는 간섭량 $I_{t,k}$ 는 다음과 같다.

$$I_{t,k} = \sum_{n=1}^N \frac{(r_n)^a 10^{-\zeta_n/10}}{(r_{0,n})^a 10^{-\zeta_{0,n}/10}} \quad (4)$$

여기서 r_n 과 ζ_n 은 각각 단말과 접속된 주변셀 기지국과의 거리 및 쇠도우잉 감쇄이고 $r_{0,n}$ 과 $\zeta_{0,n}$ 은 그 단말로부터 $S_{0,1}$ 과의 거리 및 쇠도우잉 감쇄를 나타낸다. 식(4)를 활용하는 T 계층까지의 간섭의 합 $I(T)$ 를 다시 정리하면 다음과 같다.

$$I(T) = \begin{cases} I_{0,1} & T=0 \\ I_{0,1} + \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^{K_t} I_{t,k} & T \geq 1 \end{cases} \quad (5)$$

이때, 최대 크기의 셀 구조를 고려할 경우에는 $I_{all} = I(\infty)$ 이다.

이를 활용하여 주변셀 간섭계수 f 를 구하면 다음과 같다.

$$f = \frac{I(\infty) - I(0)}{I(0)} \quad (6)$$

주변셀 간섭계수 f 는 자기셀 간섭에 대한 모든 주변셀로부터의 간섭효과의 상대적인 크기를 나타내며 단지 한개의 셀만을 고려하여 시뮬레이션 할 때 주변셀의 간섭효과를 보정하기 위한 방법으로 흔히 사용하는 계수로서 감쇄 지수

와 쇠도우잉에 따라 값의 변화가 다양하나 일반적으로 0.6 정도로 가정하여 사용된다.

하지만, 여러 개의 셀에서 상호 작용하는 알고리즘을 검증하기 위해서는 다계층 셀 모델을 사용해야 하며 모델에서 고려한 유한한 계층까지의 간섭량과 누락된 나머지 계층에서의 간섭량을 새로이 정의함으로써 주변셀의 효과를 정확히 보정할 수 있다. 이를 위해 T 계층 셀까지의 간섭량에 대한 $T+1$ 계층 이상의 나머지 셀에 의한 간섭 계수 f_T 를 다음과 같이 정의한다.

$$f_T = \frac{I(\infty) - I(T)}{I(T)} \quad (7)$$

이 계수를 사용하면 단일 셀을 포함한 임의의 계층셀 모델에서 전체 간섭량 I_{all} 를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$I_{all} = (f_T + 1) \times I(T) \quad (8)$$

식(8)을 이용하면 임의의 수(적은 수)의 계층을 주변셀로 구성하더라도 무한 개수의 셀구성시의 총 간섭량을 추정할 수 있다.

본 연구에서는 다계층 CDMA 셀룰라 시스템을 모델링하기 위해 (그림 2)의 셀 모델을 일반화하여 T_P 개 계층의 실존 셀(이하 물리 셀이라 함)을 구성하고 간섭에 기여하는 T_L 개 계층의 가상 셀(이하 논리 셀이라 함)을 물리 셀 외곽에 배열하여 총 $T_P + T_L$ 개 계층으로 셀모델을 구성한다. T_P 개의 계층은 총 $(T_P + 1)^2$ 개의 물리셀로 구성되며, 논리셀을 합하여 총 $(T_P + T_L + 1)^2$ 개의 셀이 존재하게 된다. 모든 물리셀과 논리셀은 펼친 torus 평면상에 임의의 반경 R 크기로 중심셀 $S_{0,1}$ 에 대한 상대 좌표 (x, y) 위치에 놓이도록 하며 물리셀에만 단말이 존재하고 논리셀은 물리셀 중 하나를 대응시켜 그 셀의 정보를 사용한다. 논리셀의 기지국 좌표는 물리셀의 것을 사용하지 않고 논리 셀 고

유 좌표를 사용하여 중심셀과의 거리 계산을 한다. 모든 물리 셀에는 N 개의 단말이 존재하며 주변 셀 중 전파 감쇄가 가장 적은 기지국을 선택하여 접속하도록 하고 그 기지국과 전력 제어가 완료된 상태에서 각 기지국에 미치는 간섭량을 계산한다.

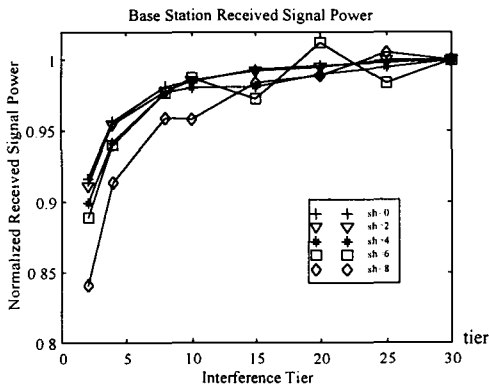
3. 시뮬레이션 및 결과

시뮬레이터는 C++ 언어를 사용한 객체지향 기법으로 개발되었으며 Intel 1.5GHz PC(메모리 256MB)와 윈도우 환경에서 수행된다. 일반적인 Monte-Carlo 시뮬레이션 방법을 사용하였으며 1000회의 snap-shop을 통한 통계를 추출하였다. 시뮬레이터는 물리셀의 개수와 이웃 셀의 겹 수를 임의로 설정할 수 있으며 쇠도우잉 지수, 경로감쇄 지수, 셀의 반경, 단말의 개수, 서비스타임, QoS지수, 단말 송신전력 등의 시스템 파라미터를 조절할 수 있다. 본 연구에서는 모든 셀은 반경 1Km의 정육각형 셀이며 전방향 안테나를 사용하고 완벽한 전력제어가 이루어진다고 가정하였다. 또한, 모든 셀에는 동일한 수의 단말이 존재하는 균일 부하이며 단말의 위치는 셀 전역에 균일하게 분포한다고 가정하였다.

최대 몇 계층까지의 셀을 사용해서 역방향 간섭량을 측정해야 실제 시스템에 근사한지를 알아보기 위해 계층 수를 증가시키면서 간섭량을 계산해 보았다. 이때 쇠도우잉에 의한 영향도 함께 알아보기 위해 ξ 값을 0 dB에서 8 dB까지 2 dB씩 증가시키면서 얻은 결과는 (그림 4)와 같다. 각 그래프의 결과는 최대 30계층까지의 간섭량으로 정규화한 값이다.

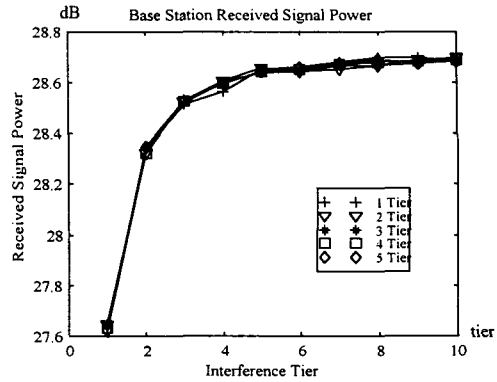
이웃 셀의 계층 수에 따른 간섭의 수렴 정도가 일정한 경향을 보이고 있으며 거리에 따른 감쇄보다 쇠도우잉의 영향이 커진 8 dB의 경우

는 수렴정도가 상대적으로 낮은 결과가 나왔다. 이 경우까지를 고려하면 쇄도우잉 값에 상관 없이 10계층까지만 간섭셀로 고려하면 최대치의 96% 이상을 포함하므로 그 이상의 셀을 고려할 필요가 없음을 알 수 있다. 하지만 10계층의 셀도 시뮬레이션 시간에 부담이 될 수 있으므로 더 적은 수의 계층만을 고려하되 부족한 간섭량을 보정하는 방법을 사용하면 최소 계층으로 상당히 정확한 시뮬레이션을 할 수 있다.



(그림 4) 셀 구성과 정규화된 역방향 간섭량

(그림 5)는 물리셀 계층수를 달리 하면서 각 물리셀에 미치는 간섭 계산을 위해 고려하는 주변셀의 계층수를 1에서 5까지 변화시켰을 때 간섭량의 변화를 나타낸 그림이다. 물리셀의 계층수에는 상관없이 주변셀의 계층수에 따라 간섭량의 차이가 나타남을 알 수 있다. 이를 통해 물리셀을 최소 개수로 구성해도 무방함을 알 수 있다.

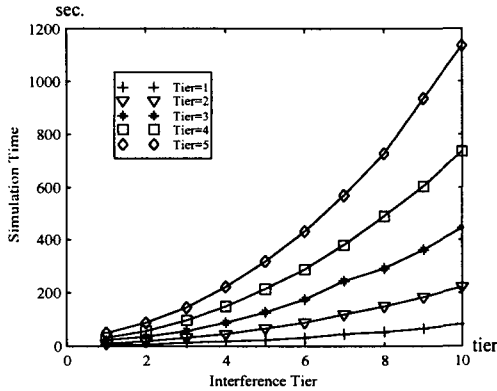


(그림 5) 물리셀과 이웃셀 계층수에 따른 간섭량

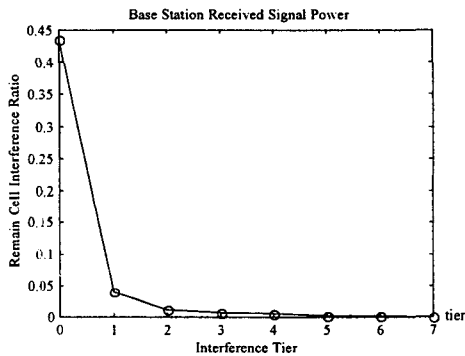
(그림 6)은 물리셀의 계층수를 달리 하면서 간섭 계산에 포함하는 이웃셀의 계층수를 변화시켰을 때 소요되는 시뮬레이션 시간을 나타낸 것이다. 시간측정은 PC 운영체제에서 제공하는 시스템 시간 함수를 사용하여 초단위로 측정하였으며 PC의 사양에 따라 소요시간이 달라질 수 있으므로 동일 환경과 동일 부하 조건에서 프로그램을 시행하였다. 일반적으로 간섭량에 고려되는 이웃셀의 계층수가 늘어남에 따라 지수적 증가를 보이며 물리셀 계층수에는 선형적인 증가경향이 있음을 알 수 있다. 물리셀 계층수를 2이하로 구성하고 이웃셀 계층수를 3이하로 하면 의미 있는 간섭 계층수인 10계층 시의 시뮬레이션 시간보다 약 1/100로 시뮬레이션 소요시간이 단축되는 효과를 얻을 수 있다.

(그림 7)은 물리셀 계층수를 2로 하고 간섭 계산에 고려하는 이웃셀의 계층수를 1에서 7까지 정했을 경우 나머지셀 간섭 계수 f_T 의 변화를 보인 것이다. 이웃셀 계층수가 3이하 라도 계층수 보정에 의해 정확한 간섭량이 계산됨을 알 수 있다.

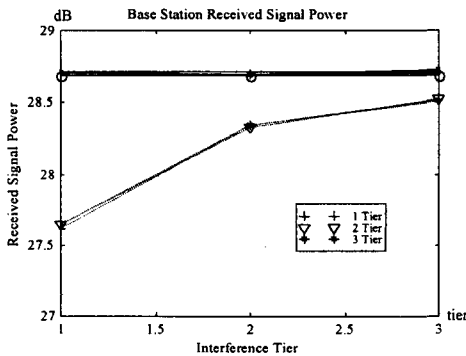
(그림 8)의 점선은 보정하기 전의 간섭량이고 실선은 보정 후의 간섭량으로 이상적인 최대 개수의 셀구성시 간섭량과 동일함을 알 수 있다.



(그림 6) 물리셀과 이웃셀 계층수에 따른 시뮬레이션 시간



(그림 7) 나머지셀 간섭계수



(그림 8) 나머지셀 간섭비 보정 효과

4.결론

본 연구에서는 다계층 구조를 갖는 미래의 셀

룰라 시스템을 시뮬레이션 하기 위해 최소한의 물리셀(실존셀)을 가지고 여러 계층의 이웃셀이 있는 것처럼 처리할 수 있는 wraparound 셀 구성 방식의 특성과 효용을 살펴보았다. 이때 임의의 크기로 확장 가능한 범용 wraparound 구성 셀룰라 시스템 시뮬레이터를 개발하여 다양한 구성에서의 간섭계산의 차이를 살펴보았다. 또한, 기존의 타 간섭 비율 f 를 일반화한 나머지셀 간섭비 f_T 를 정의하고 이를 이용하여 간섭량을 보정하는 방식을 제안하였다. 제안된 범용 wraparound 셀구성과 간섭보정방식을 사용하면 중심 셀과 이웃한 한개 계층만 사용하더라도 간섭 보정에 의해 최대 셀 구성 시의 시뮬레이션 결과와 동일한 결과를 얻을 수 있으며 시뮬레이션 시간을 극소화 할 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다. 향후에는 전력제어, 핸드오프, 호수락제어 등의 알고리즘을 시뮬레이션에 적용했을 때 개선되는 수행시간 단축효과를 알아보는 것과 결과값이 이상적인 시뮬레이션 결과와 어느 정도 오차가 발생하는지에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] Ghorashi, S. A., Homayounvala, E. Said, F., & Aghvami, A. H., "Dynamic simulator for studying wcdma based hierarchical cell structures", 12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications 2001, September 2001, San Diego, USA.
- [2] Kazmi, M., Dinan, E., Godlewski, P., & Jabbari, B., "Scheduling algorithms for soft handoff in cellular packet CDMA", IMRC 2000, September 2000, London.
- [3] Kim, D. K., & Sung, D. K., "Capacity

- estimation for a multicode CDMA system with SIR-based power control", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 50, No. 3, 2001, pp. 701-711.
- [4] Kostic, Z., Maric, I., & Wang, X., "Fundamentals of dynamic frequency hopping in cellular systems", *IEEE Transactions on Selected Area in Communications*, Vol. 19, No. 11, 2001, pp. 2254-2266.
- [5] Kostic, Z., Qiu, X., & Chang, L. F., "Impact of TCP/IP header compression on the performance of a cellular system", *IEEE Wireless Communications and Networks Conference 2000*, September 2000.
- [6] Liu, Z., & Zarki, M. E., "SIR-based call admission control for DS-CDMA cellular systems", *IEEE Transactions on Selected Area in Communications*, 1994, pp. 638-644.
- [7] Maucher, J., & Kunz, G., "UMTS EASYCOPE: a tool for UMTS network and algorithm evaluation", *International Zurich Seminar on Broadband Communications*, February 2002. Zurich, Switzerland.
- [8] Nawrocki, M. J., & Wieckowski, T. W., "Advanced wireless systems engineering methods for 3G network planning", *Institute of Telecommunications and Acoustics Report*, Wroclaw University of Technology, Wroclaw, Poland, 2002.
- [9] Ortigoza-Guerrero, L., & Aghvami, A. H., "A distributed dynamic resource allocation for a hybrid TDMA/CDMA system", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 47, No. 4, 1998, pp. 1162-1178.
- [10] Ortigoza-Guerrero, L., & Aghvami, A. H., "A prioritized handoff dynamic channel allocation strategy for PCS", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 48, No. 4, 1999, pp. 1203-1215.
- [11] Ortigoza-Guerrero, L., & Aghvami, A. H., *Resource allocation in hierarchical cellular systems*, Artech House Publishers, 2000.
- [12] Soong, A. C. K., & Frank Zhou, F., "Wrap around system simulation description for 1xEV-DV reverse link", *3GPP2 WG3 report*, C30-20020909-028, September 2002.
- [13] Sousa Jr. W. M., Cavalcanti, F. R. P., Silva, Y. C. B., & Maciel, T. F., "System-level performance evaluation of different scheduling strategies in EGPRS", *WPMC'01*, September 2001, Aalborg, Denmark.
- [14] Tekinay, S., Sunay, M. O., & Pickholtz, R. L., "Guest editorial- telecommunications at the start of the new millennium", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 38, No. 1, 2000, pp. 36-38.
- [15] Viterbi, A. J., *CDMA principle of spread spectrum communication*, New York: Addison-Wesley, 1995.
- [16] Yoon, Y., & Duan, L., "Basic operation of the wrap-around technique for system-level simulation", *3GPP2 WG3 report*, C30-20020708-030, July 2002.
- [17] Zander, J., & Kim, S. L., *Radio resource management for wireless networks*, Artech House Publishers, 2001.
- [18] www.3gpp.org 3GPP TR25.942 v.6.0.0 "RF system scenarios".

■ 저자소개



윤 상 흠

Sang-Hum Yoon is an Assistant Professor of Information System Track at School of Information Technology and Computer Engineering, Jeonju University. He received B.S. in Industrial Engineering (IE) from Sung Kyun Kwan University in 1990. He received M.S. and Ph. D. in IE from KAIST in 1992 and 1997, respectively. His research interests include modeling and analysis of information and communication systems.



권 용 석

Yong-Seok Kwon is an Assistant Professor of Urban System Track at School of Engineering, Jeonju University. He received B.S., M.S. and Ph. D in Civil Engineering from Seoul National University in 1989, 1991, 1999, respectively. His research interests include modeling and analysis of Transportation systems.

◆ 이 논문은 2003년 8월 25일 접수하여 2차 수정을 거쳐 2003년 11월 8일 게재확정 되었습니다.