

자가구성 펌토셀의 동적 셀간간섭 회피 기법

정회원 박 상 규*, 종신회원 박 세 응*

Dynamic Inter-Cell Interference Avoidance in Self-Organizing Femtocell Networks

Sangkyu Park* *Regular Member*, Saewoong Bahk* *Lifelong Member*

요 약

펌토셀은 미래 네트워크에서 보다 좋은 링크 품질과 주파수의 공간적 재사용을 통해 시스템 용량을 증가시킬 수 있는 대안으로 주목받고 있다. 하지만 펌토셀의 큰 잠재력에도 불구하고, 많은 비중의 사용자가 셀간간섭에 노출됨에 따라, 시스템 용량은 네트워크의 밀도에 크게 영향을 받게 된다. 본 논문에서는 조밀하게 분포되어있는 펌토셀 환경에서의 동적인 간섭 회피 기법을 제안한다. 제안하는 DDIA (Distributed Dynamic ICI Avoidance) 기법은 완전히 분산적으로 동작할 뿐 아니라 사용자들의 간섭링크를 민첩하게 제어하므로 자가구성네트워크(SON) 환경에 적합하다. DDIA 기법을 제안하는 과정에서 셀간간섭링크와 2-단 스케줄링의 개념을 소개한다. 제안하는 기법은 중앙의 개체 없이 셀간간섭을 피하기 위하여 모든 기지국들과 사용자 단말들이 적응적으로 조화를 이루게 한다. 모의실험을 통하여, 제안하는 기법을 사용하였을 때, 전체 네트워크 용량을 유지 또는 증가시키면서도 셀간간섭에 노출되어있는 사용자들의 평균 전송량이 주파수 재사용률 1 기법과 비교하여 최소 2배 이상 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 제안하는 기법은 네트워크의 밀도와 토폴로지 변화에 상관없이 잘 동작함을 알 수 있었다.

Key Words : femtocell, inter-cell interference, interference avoidance, self-organizing

ABSTRACT

Femtocells are expected as the surest way to increase the system capacity with higher-quality links and more spatial reuse in future networks. In spite of their great potential, the system capacity is highly susceptible to network density because a large portion of users are exposed to inter-cell interference (ICI). In this work, we proposed a dynamic interference avoidance scheme in densely deployed cell environments. Our proposed DDIA (Distributed Dynamic ICI Avoidance) scheme not only works in a fully distributed manner, but also controls interference link connectivity of users with high agility so that it is suited for self-organizing networks (SONs). We introduced the concept of ICI-link and two-tier scheduling in designing the DDIA scheme. To avoid ICI without any central entity, our scheme tries to harmonize all base stations (BSs) with users adaptively. Through extensive simulations, it was shown that our proposed scheme improves the throughput of users by more than twice on average compared to the frequency reuse factor 1 scheme, who are exposed to ICI while maintaining or even improving overall network performance. Our scheme operates well regardless of network density and topology.

* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2010-(C1090-1011-0004))

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부, 뉴미디어통신공동연구소 (skpark@netlab.snu.ac.kr, sbahk@snu.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-10-499, 접수일자 : 2010년 10월 19일, 최종논문접수일자 : 2011년 1월 28일

I. 서 론

빠르게 증가하고 있는 무선통신의 양에 따라, 높은 전송률에 대한 요구가 보다 증가하고 있다. 최근 몇 년간, 펨토셀은 무선 네트워크 환경에서 주파수 자원의 재사용성을 증가시키고 시스템의 용량을 증가시킬 수 있는 대안으로 큰 관심을 받고 있다^[1]. 이동통신 사업자에 의해 정교하게 배치되는 매크로 기지국과 달리 펨토기지국은 사용자들에 의해 배치 또는 이동되기 때문에 불특정하고 조밀하게 분포하기 쉽다. 조밀하고 불특정한 펨토기지국의 분포는 셀 커버리지 경계에 있는 사용자들 뿐 아니라 심지어 자신의 펨토기지국에 가까이 있는 단말들도 셀간간섭에 의해 링크 품질이 손상되고, 많은 비중의 사용자가 셀간간섭에 노출되게 된다.

또한 펨토기지국은 기본적으로 CSG (Closed Subscriber Group)에 속해 있는 단말들에게만 액세스를 허용^[4]하기 때문에 단말들이 핸드오버를 통해 보다 좋은 링크 품질을 제공하는 기지국으로부터 서비스를 받기 어렵고, 이는 펨토셀환경에서의 간섭에 따른 링크 품질 저하를 증대시킨다. 따라서 펨토셀 환경에서의 셀간 간섭 관리는 매크로셀 환경에서 보다 더욱 중요하다.

셀간간섭에 의한 성능열화는 전체 네트워크의 토폴로지 상태 (펨토기지국과 단말들의 위치정보) 관리를 관리하고 각 펨토기지국의 스케줄링을 제어하는 중앙의 개체를 통해서 극복될 수 있을 것이다. 하지만, 중앙집중적인 방식은 시그널링 지연, 중앙 개체 운용과 추가적인 백홀 자원사용 등의 비용을 수반할 뿐만 아니라 확장성에서도 한계를 가지고 있다. 따라서 자가 구성은 펨토셀환경에서 시스템의 성능 향상을 위해 매우 중요하고, 펨토기지국들은 네트워크의 성능을 최적화 시키기 위해 동적으로 주변환경을 고려하여 자원할당을 해야 한다^[2].

다중셀 환경에서 셀간 간섭 제어에 관한 여러 연구들이 진행되었다. [7]에서는 중앙집중방식의 PFR (Partial Frequency Reuse)에 기반한 셀간간섭 회피기법이 제안되었다. 하지만 인접하는 셀간의 협력을 통한 성능향상에도 불구하고, 정교한 기지국들의 배치와 주파수 분할, 중앙집중적인 방식의 제한된 확장성은 펨토셀환경에 적합하지 않다.

분산된 방식을 사용하는 기법에 대한 연구들도 있었다. [10]에서는 펨토셀간 간섭 회피를 위해 해싱 매커니즘을 이용한 분산적 랜덤 액세스 방법이 제시되었다. [8]은 각 기지국들이 보다 점차 나은 상태로 가

기위해 각 sub-band의 전송전력을 적응적으로 조절해 가는 SFFR (Soft Fractional Frequency Reuse) 방법을 다루고 있다. [9]에서는 조밀하게 분포되어 있는 펨토셀 환경에서 기지국 경쟁기반 채널예약을 통해 셀간 간섭을 회피하는 방법이 제안되었다. 기지국 경쟁기반 채널예약기법은 단말의 도움을 받아 어떤 상태의 기지국과 단말들의 분포에 대하여도, 중앙의 개체가 없이 적응적으로 간섭을 회피한다. 하지만, 이러한 분산된 방식을 사용하는 기법 중 어떠한 기법도 각 기지국의 개별적인 스케줄링 정책과 실시간 스케줄링 상태에 따른 셀간 간섭 상황을 고려하지 않았다.

본 논문에서는 펨토셀간의 Co-layer 간섭^[2]을 피하기 위하여 각 펨토기지국이 동적으로 주변환경에 적절히 대응하며 주파수 자원을 단말에게 할당하는 분산적 기법을 제안한다. 제안하는 기법을 통해 기지국들은 실시간 스케줄링 상태를 고려하면서 단말들에게 높은 신호 대 간섭 및 노이즈 (이하 *SINR*) 비율을 보장하기 위해 서로 협력한다. 모의실험을 통하여 제안하는 기법이 셀간 간섭에 노출된 단말들의 성능을 향상시킬 뿐 아니라 전체 네트워크의 용량 또한 증가시킴을 확인하였다.

우리가 아는 한, 본 연구는 조밀하게 분포되어있는 기지국 환경에서, 기지국들이 각자의 정책에 따라 단말을 스케줄링하며 셀간간섭을 회피하면서도 주파수 자원의 재사용성을 극대화시키기 위한 첫 시도이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 본 논문에서 고려하는 시스템 모델을 설명한다. III장에서는 제안하는 동적 셀간 간섭회피 기법을 설명한다. IV장에서는 다양한 환경에서의 성능을 평가하며, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 링크 모델

네트워크 상의 기지국의 집합은 N 으로, 각 기지국 n 에 연결되어 있는 단말의 집합은 K_n 으로 표현된다. 각각의 K_n 에 연결되어 있는 단말 k 가 슬롯 t 동안 부채널 m 으로부터 받게 되는 신호의 *SINR*은 다음과 같다.

$$SINR_{n,k}^m(t) = \frac{g_{n,k}^m(t)P_n^m(t)I_{n,k}^m(t)}{\sum_{a \neq n} g_{a,k}^m(t)P_a^m(t)I_a^m(t) + N_0^m} \quad (1)$$

여기서 $g_{n,k}^m$ 와 p_n^m 은 각각 부채널 m 에서의 기지국 n 과 단말 k 와의 채널 이득과 기지국 n 의 전송 전력을 나타낸다. $I_{n,k}^m(t)$ 는 할당 지시자를 나타내는데, 슬롯 t 동안 기지국 n 이 부채널 m 을 단말 k 에게 할당하면 1을 그렇지 않으면 0을 갖는다. 주어진 p_n^m 과 $I_{n,k}^m(t)$ 에 대하여 결정되는 순간적인 가능전송률은 아래와 같이 주어진다.

$$R_{n,k}^m(t) = W^m \log_2 (1 + SINR_{n,k}^m(t)) \quad (2)$$

여기서 W^m 은 부채널 m 의 대역폭이다. 간단한 설명을 위하여, 본 논문에서는 $g_{n,k}^m$ 와 N_0^m 가 모든 부채널에 대하여 일정하다고 가정한다. 본 논문의 목적은 각 자원할당 시간동안 단말들의 $SINR$ 임계치를 보장하면서도 주파수의 공간적 재사용을 극대화시키고자 각각의 기지국이 분산된 방식으로 $I_{n,k}^m(t)$ 를 결정하는 매체 접근 기법을 설계하는 것이다.

2.2 셀간간섭링크

많은 비중의 단말이 셀간 간섭에 노출되어있는 조밀하게 분포되어 있는 기지국 환경에서 각 단말과 기지국의 상태를 나타내기 위하여 몇 가지 용어를 설명한다.

정의 1 : 단말 k 의 $SINR$ 이 이웃 기지국의 자원 할당에 따라 $SINR$ 임계치보다 낮아질 수 있다면, 단말 k 는 ‘셀간간섭-노출상태’에 있다.

그리고 셀간간섭에 노출된 단말의 존재여부에 따라 기지국들 간의 관계 ‘잠재적 셀간간섭링크’가 결정된다.

정의 2 : 만약 어떤 단말의 기지국과 이웃 기지국이 같은 채널에 동시에 자원을 단말에 할당하여 그 단말이 얻게 되는 $SINR$ 이 임계치보다 낮게 된다면, 그 두 기지국은 ‘잠재적 셀간간섭링크’로 연결되어 있다.

그림 1은 주어진 펠토기지국과 단말들의 위치에 대하여 펠토 기지국들 간의 잠재적 셀간간섭링크의 모습을 나타내고 있다. 어떤 단말이 주위의 여러 기지국으로부터 셀간간섭에 노출되어 있다면, 이 단말에 의하여 다수의 셀간간섭링크가 생성될 수도 있다.

하지만, 실제적인 셀간간섭링크는 각 기지국의 단말 스케줄링 상태에 따라 결정된다. 예를 들어, 그림 2.(a)에서 단말 A-1, B-2, C-2, D-1, E-2 는 주어진 자원할당기간 동안 각각의 기지국으로부터 스케줄링 되

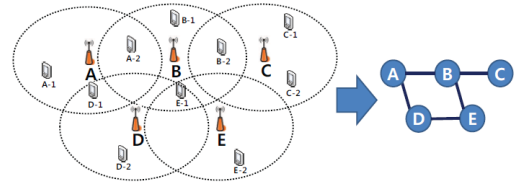


그림 1. 잠재적 셀간간섭링크의 예

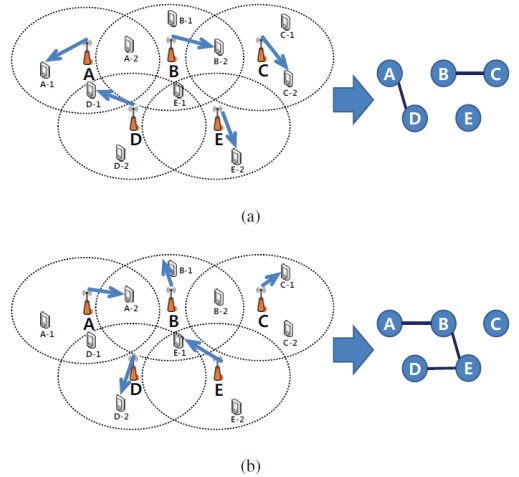


그림 2. 기지국의 스케줄링에 따른 실제적 셀간간섭링크의 예

었다. 이 단말들 중 B-2는 기지국 C로부터의 간섭, D-1은 기지국 A로부터의 간섭에 노출되어 있다. 따라서 이번 자원할당기간 동안에는 기지국 A와 D, B와 C가 실제적인 셀간간섭링크를 갖는다.

정의 3: 기지국들의 단말 스케줄링이 결정된 상태에서, 기지국으로부터 자원을 할당 받은 단말의 $SINR$ 이 이웃 기지국으로부터의 간섭신호 신호로 인해 임계치보다 낮게 된다면, 두 기지국은 ‘셀간간섭링크’로 연결되어 있다. 요약하자면, ‘잠재적 셀간간섭링크’는 펠토기지국들과 단말들의 배치상태에 따라 결정되고, 실제적 ‘셀간간섭링크’는 ‘잠재적 셀간간섭링크’ 위에서 각 기지국의 스케줄링 상태에 따라 결정된다고 볼 수 있다.

III. 제안하는 셀간간섭 회피 기법

3.1 경쟁기반 채널예약

앞 장에서 정의된 셀간간섭링크 모델에 따르면, 두 펠토기지국이 셀간간섭링크로 연결되어 있을 때는 둘 중 하나의 기지국만이 자신의 단말에게 채널 자원을 할당할 수 있다. 그렇지 않으면, 셀간간섭에 노출된

단말은 낮은 SINR 때문에 아주 적은 전송률로 데이터를 전송받거나 심지어 어떤 데이터도 받지 못하게 된다. 그림 1.과 그림 2.에서 A-2가 펠토기지국 B로부터의 간섭신호에 노출되어 있는 한 낮은 SINR 때문에 기지국 A로부터 낮은 전송률을 얻게 된다. 따라서 단말의 요구전송률이 고려되지 않고 같은 양의 채널자원이 A-1과 A-2에게 분배된다고 가정하면 A-2는 A-1보다 매우 낮은 전송률로 데이터를 받게 된다. 만약 단말의 요구전송률이 고려되어 자원이 분배되고 A-1과 A-2의 요구전송률이 같다고 가정하면, 더욱 많은 비중의 채널 자원이 A-2에게 할당될 것이고 이는 곧 전체 셀 용량을 감소시키게 된다. 이러한 셀간간섭에 따른 성능열화 현상을 피하기 위하여, 셀간간섭링크로 연결된 펠토 기지국들은 서로 협력하여야 한다.

셀간간섭에 노출된 단말에게 보장된 SINR로 전송하기 위해, 주어진 자원할당기간 동안 셀간간섭링크로 연결된 기지국들 중 오직 하나의 기지국만이 채널자원을 사용하여야 한다. 본 연구에서는 이를 위해 기지국 간 경쟁기반 채널예약 기법^[9]을 사용한다 (802.11 기반 MAC에서 사용되는 단말간 경쟁이 아닌). 기지국 경쟁 기반 기법^[9]의 동작을 간단하게 설명하면 다음과 같다.

- (1) 각 기지국은 경쟁 윈도우 안에서 랜덤한 숫자를 선택하고, 선택된 숫자를 커버리지 내에 있는 모든 단말이 들을 수 있도록 브로드캐스트한다.
- (2) 각 단말은 자신이 연결되어 있는 기지국과 이웃 기지국들로부터 브로드캐스트된 랜덤 숫자를 듣고, 가장 높은 랜덤 숫자보다 작은 랜덤 숫자를 보낸 주위의 모든 기지국들에게 loser-시그널을 보낸다.
- (3) 가장 큰 경쟁 숫자를 선택한 기지국은 다음 자원할당기간 동안 독점적으로 채널을 점유하여 사용한다.

이런 메커니즘은 다음과 같은 장점을 갖는다.

- 만약 둘이상의 기지국의 커버리지가 중복되는 영역에 단말이 있다면, 그 중 오직 하나의 기지국만이 채널자원을 사용하도록 허용된다. 따라서 셀간간섭을 분산된 방식을 통해 회피할 수 있다.
- 경쟁에 참여하는 기지국들은 채널자원을 시간적으로 공평하게 나눠 갖는다.

[9]에서 제안된 기법은 기지국들이 단말의 스케줄링 상태를 고려하지 않고 경쟁하는 반면(잠재적 셀간간섭링크만을 고려하여 경쟁하는 것과 유사), 본 논문에서 제안하는 기법에서는 각 기지국들이 단말의 스케줄링 상태에 따른 실제적 셀간간섭링크를 기반으로

경쟁한다. 실제적 셀간간섭링크 기반의 기지국간 경쟁은 각각의 경쟁단계에서 보다 셀간간섭링크의 숫자가 줄기 때문에 주파수의 공간적 재사용성이 증가된다. 또한 제안하는 기법은 단말이 자신의 타겟 SINR를 기준으로 최소한의 기지국을 간섭기지국을 설정하고 ([9]는 기지국의 커버리지 기준으로 간섭기지국 설정), 경쟁결과인 loser-시그널을 간섭 기지국들에게 선택적으로 전송함으로써 주파수의 재사용성을 증대시킨다.

3.2 2-단 스케줄링

제안하는 기법에서 주파수 자원 스케줄링 과정은 경쟁 스케줄링과 자원할당 두 단계로 나뉜다. 그림 3은 2-단 스케줄링의 과정을 나타내고 있다.

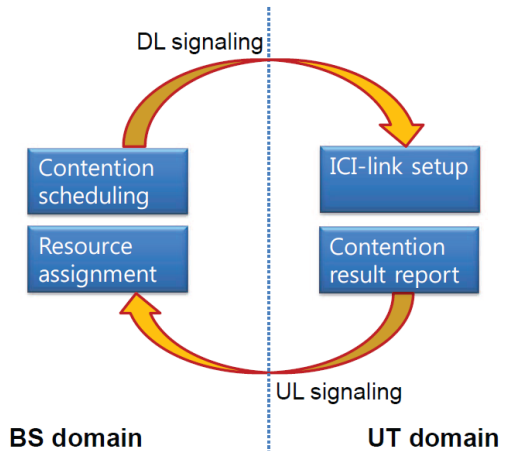


그림 3. 2-단 스케줄링의 메커니즘

3.2.1 경쟁 스케줄링 (Contention scheduling)

이 단계에서 펠토 기지국들은 단말 선택과 경쟁 숫자 선택 두 가지 결정을 내린다. 각 기지국은 자신의 스케줄링 정책에 따라 하나의 단말을 선택하여 다음 자원할당 기간에 채널 자원을 그 단말에게 할당하기 위해 다른 기지국들과 경쟁한다. 즉, 실제적인 셀간간섭링크는 각 펠토기지국의 단말 선택에 따라 결정된다.

만약 어떤 펠토기지국이 다른 펠토기지국과 셀간간섭링크로 연결되어 있고 경쟁에서 지게 된다면, 그 펠토기지국은 다음 자원할당기간 동안 채널을 다른 기지국에게 양보해야하므로 경쟁 스케줄링 단말에게 채널 자원을 할당할 수 없다. 따라서 경쟁 스케줄링 단계에서 각 기지국들은 선택된 단말들에게 다음 자원할당기간에 채널을 할당할 수 있을지는 알 수 없다.

기지국들은 다음 자원할당기간 동안 채널을 할당할

단말 선택과 동시에 셀간간섭링크로 연결된 기지국들과의 경쟁에 사용될 경쟁 숫자를 선택한다. 셀간간섭링크로 연결되어 있는 기지국들은 선택된 경쟁 숫자에 따라서 경쟁결과가 결정된다. 각 펠토기지국들은 각 기지국의 자원할당 정책에 따라 트래픽 부하, 트래픽의 종류, 경쟁 스케줄링된 단말의 QoS요구 레벨 등을 고려하여 경쟁숫자 (또는 경쟁 윈도우 크기)를 선택한다.

3.2.2 단말기반 셀간간섭링크 설정(ICI-link setup)

각 단말은 잠재적인 간섭 기지국(자신의 기지국과 잠재적 셀간간섭 링크로 연결되어 있는 기지국)들의 리스트를 가지고 있고, 이를 주기적(매 수백밀리 초마다)으로 업데이트하여 펠토기지국 또는 단말의 위치 변화에 적응한다. 리스트 업데이트 주기마다, 만약 이웃 기지국으로부터 수신된 프리앰블의 전력세기가 간섭 임계치보다 높으면, 단말은 그 기지국을 잠재적 간섭 기지국으로 설정한다.

기지국간의 실제적인 셀간간섭링크는 경쟁 스케줄링된 단말들에 의하여 결정된다. 만약 어떤 단말이 자신의 기지국으로부터 경쟁 스케줄링 된다면, 그 단말에 의해 생성된 잠재적 셀간간섭링크는 실제적 셀간간섭링크가 되고, 경쟁 스케줄링된 단말들만이 자신의 기지국과 간섭기지국들에게 경쟁결과를 보고한다.

3.2.3 경쟁결과보고(Contention result report)

경쟁 스케줄링된 단말들은 자신의 기지국이 생성한 경쟁숫자와 간섭 기지국들이 생성한 경쟁숫자들과 비교한다. 만약 자신의 기지국이 생성한 경쟁

숫자가 가장 크다면, 모든 간섭 기지국들에게 loser-신호를 보내 간섭기지국들이 채널을 사용하는 것을 막는다. 반면에 간섭 기지국 중 자신의 기지국이 생성한 경쟁숫자보다 높은 경쟁숫자를 생성한 기지국이 있다면, 단말은 loser-신호를 자신의 기지국에게 보내어 해당채널을 다른 기지국에게 양보해야함을 알리고, 이때는 자신이 속한 기지국보다 낮은 경쟁숫자를 선택한 간섭기지국들에게 loser-신호를 보내지 않음으로써 채널자원의 공간적 재사용성을 향상시킨다.

3.2.4 자원할당 (Resource assignment)

주위의 단말들로부터 경쟁결과보고를 받은 후, 기지국은 각각의 셀간간섭링크에서의 경쟁결과를 알게 된다. 만약 어떤 기지국이 loser-신호를 하나라도 받았다면, 그 기지국은 다음 자원할당 기간의 채널사용 권리를 이긴 기지국에게 양보한다. 반대로 loser-신호를

하나도 받지 않았다면, 그 기지국은 모든 셀간간섭링크로 연결된 기지국들보다 높은 경쟁 숫자를 선택하였고, 경쟁에서 이겼다는 것을 뜻한다. 따라서 loser-신호를 받지 않은 기지국들은 그들이 경쟁 스케줄링 단계에서 선택한 단말들에게 채널자원을 할당할 권리를 갖게 된다. 경쟁결과는 경쟁 스케줄링된 단말들에 의해 설정되는 실제적 셀간간섭링크에 의한 결과이므로, 기지국은 경쟁에서 이겼더라도 오직 경쟁 스케줄링된 단말들에게 자원을 할당해야한다. 이를 위한 시그널링 과정의 예와 프레임 구조는 각각 그림 4와 그림 5에 나타나있다.

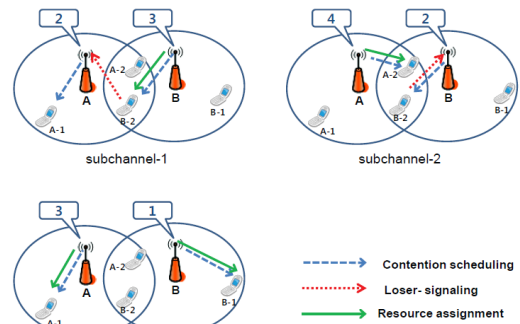


그림 4. 여러 부채널에서의 2-단 스케줄링 동작 예.

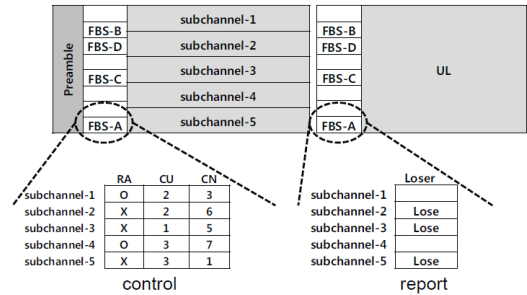


그림 5. 프레임 구조

3.3 프레임 구조

그림 5는 2-단 스케줄링 자원할당기법을 위한 프레임 구조를 보여준다. 각 기지국은 필수적인 제어정보를 단말들에게 신뢰적으로 전달하기 위해 각각의 전용 제어(control) 채널을 사용한다. 펠토기지국들은 커지는 순간 다른 펠토기지국들의 제어채널과 충돌되지 않는 빈 제어채널을 자신의 전용채널로 사용한다. 펠토기지국들의 제어 정보는 자원할당 정보와 경쟁스케줄링 정보로 이루어져있다. RA (Resource Assinged)

필드는 이전 단계에서 경쟁 스케줄링된 단말에게 이번 자원할당기간 동안 해당하는 부채널을 할당할 것인지 아닌지를 가리킨다. 그림 5에서, 기지국 A는 부채널 1을 이전 자원할당 단계에서 부채널 1에 대하여 경쟁 스케줄링한 단말에게 할당하고 있음을 보인다. 마찬가지로 부채널 4는 부채널 4에 대하여 경쟁 스케줄링한 단말에게 자원을 할당하고 있다. 이는 이전 자원할당기간의 경쟁결과보고에서 부채널 1과 4에서 단말들로부터 loser-신호를 받지 않았기 때문이다. 반면에 부채널 2, 3, 5에서는 이전 자원할당기간에서의 경쟁결과에 따라 단말들에게 자원을 할당하지 않고 경쟁에서 이긴 기지국에게 양보한다. CU (Contention scheduled User) 필드는 다음 경쟁을 위해 선택된 단말의 인덱스를 가리키고, CN (Contention Number) 필드는 다음 경쟁에 사용될 경쟁 숫자를 가리킨다.

경쟁결과보고(report) 채널은 상향링크 채널의 앞에 위치하고, 각각의 펠토기지국은 제어 채널과 마찬가지로 전용 경쟁결과보고 채널을 가진다. 단말들은 자신에 의해 생성된 셀간간섭링크의 경쟁결과를 해당하는 펠토기지국의 전용 경쟁결과보고채널을 통해 loser-신호를 통해 보고한다.

3.4 기존 시스템에의 적용

3GPP LTE (Long Term Evolution) 시스템에서, MIB(Master Information Block)에는 하향링크 시스템 대역폭, PHICH 구조, 그리고 SFN의 정보(16비트)가 담겨 10개의 스페어 비트와 함께 셀 가장 자리에서도 안정적으로 디코딩이 가능한 PBCH (Physical Broadcast CHannel)를 통해 전송된다⁶⁾. 경쟁을 위한 별도의 경쟁제어 채널을 만들지 않으면서 경쟁정보를 최대한 신뢰성 있게 전달하기 위하여, PBCH를 사용한다. 각 기지국은 MIB의 스페어 10비트 중 일부분을 사용하여 RA(1비트), CU(3비트 이하) CN(3비트 이하) 정보를 전송한다. 단말은 자신의 기지국과 주위 간섭기지국들의 PCI (Physical Cell ID)를 이용하여 각 스크램블링¹¹⁾된 기지국의 PBCH를 디코딩하여 경쟁정보를 추출하고, 경쟁결과를 PRACH (Physical Random Access CHannel)을 통해 간단한 경쟁결과를 보고함으로써 본 논문에서 제시한 2-단 스케줄링 기법에 따라 동작이 가능하다.

IV. 모의실험

4.1 모의실험 설정

모의실험에 사용된 파라미터는 3GPP LTE 시스템

^[3-5]을 고려하여 설정하였고 그 값들은 표 1에 나타나 있다. 모의실험은 500m x 500m 범위에서 펠토기지국의 숫자를 10에서 100까지 변화시켜가면서 수행하였으며, 각각의 상황에 대하여 펠토기지국의 위치를 랜덤하게 배치시켜 100회의 모의실험이 수행되었다. CSG (Closed Subscriber Group) 펠토셀 환경과 OSG (Open Subscriber Group) 펠토셀 환경을 모두 고려하였다.

- (1) CSG 환경: 각 펠토기지국은 30m반경 안에서 랜덤하게 1~5 개의 단말을 가지고 있고, 따라서 1개의 펠토기지국에는 평균적으로 3개의 단말이 연결되었다.
- (2) OSG 환경: CSG환경과 동일한 단말배치 상황에서 단말은 각 기지국으로부터의 최상의 수신전력 (best signal strength)을 제공하는 기지국에 연결된다.

그림 6은 펠토기지국의 숫자와 펠토셀의 타입에 따라 주어진 토폴로지에서 평균적인 전체 단말의 숫자 대비 셀간간섭에 노출된 단말의 숫자의 비율을 나타낸다. 수신전력 기반으로 기지국을 선택하는 OSG환경보다 CSG환경에의 단말들이 보다 빈번하게 셀간간

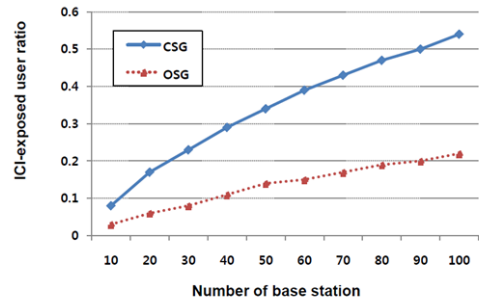


그림 6. 비율: 셀간간섭에 노출된 단말의 숫자 / 전체 단말의 숫자

표 1. 시뮬레이션 파라미터

System bandwidth	20MHz
Transmit power	20dBm
Lognormal shadowing	10dB
Penetration loss	20dB
Noise power density	-174dBm/Hz
Pathloss	$L=127+30\log_{10} R$ R in [km]
Number of subchannels	5 (4MHz/subchannel)
Cell radius	30m

섭에 노출되어 있음을 확인할 수 있다. 공평한 비교를 위하여 각 기지국의 자원할당은 라운드-로빈 정책을 따르는 것으로 가정하였고, 따라서 각 기지국에 속해 있는 단말은 동등하게 채널을 사용할 수 있는(또는 채널 사용을 시도할 수 있는) 기회를 갖는다.

4.2 모의실험 결과

모의실험을 통해 제안하는 기법(DDIA)과 주파수 재사용률 1 기법(Reuse=1), 그리고 기지국 경쟁기반 기법(BS-contention)^[9]의 성능을 비교하였다. 그림 7, 8, 그리고 9는 각각 고려되는 세가지 기법들에 대한 주파수 사용률, 셀간간섭에 노출된 단말들의 평균 전송률, 그리고 평균 전체 네트워크용량을 보여준다.

그림 7은 기지국 경쟁 기법에 비하여 제안하는 DDIA 기법이 높은 주파수 사용률을 가짐을 보여준다. 이러한 주파수 사용률의 증가는 실제적인 셀간 간섭링크에 기반한 기지국들의 경쟁에서 온다. 즉, 단말들은 오직 자신들이 경쟁 스케줄링 되었을 때에만 셀간간섭링크를 설정하므로, 전체 경쟁의 숫자는 확률적으로 감소하게 되고, 주파수의 공간적 재사용성이 향상된다. 네트워크의 밀도가 증가함에 따라 주파수 재사용률이 감소하는 이유는 전체 단말대비 셀간간섭에

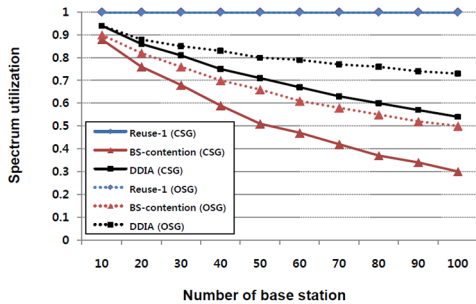


그림 7. 각 펠토기지국의 평균 주파수 사용률

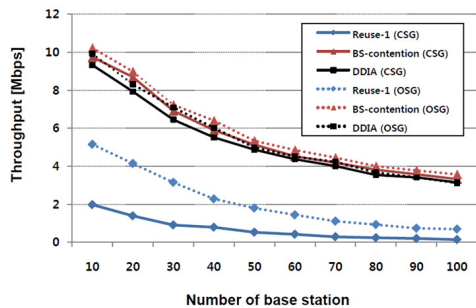


그림 8. 셀간간섭에 노출된 단말의 평균전송률

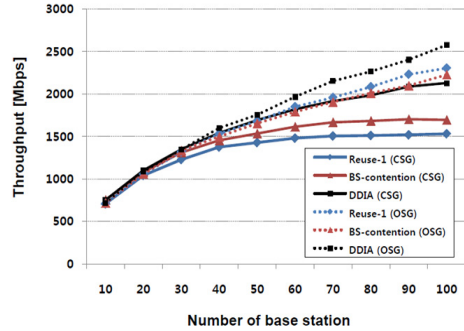


그림 9. 전체 네트워크 용량

노출된 단말의 비율이 증가함에 따라 경쟁 후 채널을 양보하는 경우가 많아지기 때문이다.

그림 8에서는 제안하는 기법에서의 셀간간섭에 노출된 단말들의 전송률이 높은 SINR이 보장됨에 따라 주파수 재사용률 1 기법 (셀간간섭 회피를 위한 협력이 없는 기법)에 비해 향상됨을 확인할 수 있다. 더욱이 주파수 재사용률 1 기법의 경우 많은 비중의 단말의 매우 강한 간섭신호로 인해 데이터를 전혀 수신할 수 없었다.

그림 9에 나타난 평균 네트워크 용량으로부터 제안하는 기법이 펠토기지국의 밀도가 증가함에 따라 네트워크 용량을 더욱 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다. 주파수 재사용률 1 자원할당에 비하여 기지국간의 협력을 위하여 주파수 사용률이 낮아짐에도 불구하고, 단말들이 높은 SINR을 보장받음에 따라 네트워크용량이 증가함을 확인하였다. 더욱이, 펠토기지국들이 자신에게 속한 단말들에게 동등하게 채널 자원을 할당(라운드-로빈방식처럼)하지 않고, 단말의 요구전송률이나 전송률의 공평성을 고려하여 채널자원을 할당한다면, 주파수 재사용률 1에서의 대부분의 채널자원은 SINR이 낮은 단말들에게 할당될 것이기 때문에 제안하는 기법과의 성능차이는 더욱 커질 것임을 예상할 수 있다. 제안하는 기법과 기지국 경쟁기반 기법의 네트워크 용량차이는 주파수 사용률의 차이에 따른 것이다. 그림 7의 주파수 사용률의 향상에 비하여 그림 9에서 네트워크 용량의 향상이 약간 작은 이유는 간섭 임계치를 넘는 셀간간섭은 피하더라도, 주파수의 공간적 재사용이 증가함에 따라 셀간간섭링크로 연결되어 있지 않은 기지국들로부터의 간섭이 증가하기 때문이다. 또한 단말이 수신전력을 기준으로 기지국을 선택할 수 있는 OSG환경에 비해, CSG환경에서 재사용률 1 자원할당 기법의 성능이 더욱 감소하였고, 이는 일반적인

일 것으로 예상되는 CSG 펌토셀환경에서 기지국간 협력이 더욱 중요함을 보여준다.

이와 같이, 모의실험 결과를 통해 제안하는 기법은 기지국들이 조밀하게 분포되어 있는 환경에서 전체적인 네트워크 용량을 향상시키면서도 셀간간섭에 노출된 단말의 성능을 크게 개선시킴을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는, 조밀하게 분포한 기지국 환경에서 동적인 셀간간섭 회피 기법인 DDIA를 제안하였다. 제안된 기법은 기지국 경쟁과 단말 스케줄링을 동시에 다룸으로써, 랜덤한 토폴로지에 대하여 셀간간섭을 민감하게 제어하므로 자기구성네트워크에 적합하다고 볼 수 있다. DDIA 를 설계하는 과정에서 2-단 스케줄링과 셀간간섭 링크의 개념이 소개되었으며, 모의실험을 통하여 제안하는 기법이 주파수 재사용률 1 기법에 비하여 셀간간섭에 노출된 단말들의 성능을 최소 100%이상 향상시키는 동시에 전체 네트워크의 성능을 평균 최대 40%까지 향상시킴을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] Vikram Chandrasekhar and Jeffrey G. Andrews, "Femtocell Networks: A Survey," IEEE Communications Magazine, Vol.46, No. 9, pp.59-67, Sep. 2008.

[2] David Lopez-Perez, Alvaro Valcarce, Guillaume de la Roche, Jie Zhang, "OFDMA Femtocells: A Roadmap on Interference Avoidance," IEEE Communications Magazine, Vol.47, No.9, pp.41-48, Sep. 2009.

[3] 3GPP TR 36.942 v10.1.0 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Frequency (RF) system scenarios," Sep. 2010.

[4] 3GPP TR 36.814 v9.0.0 "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Further advancements for E-UTRA physical layer aspects," Mar.2010.

[5] 3GPP TR 25.820 v8.2.0, "3G Home NodeB (HNB) study item Technical Report," Sep. 2008.

[6] 3GPP TS 36.331 v9.4.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol speci-

fication," Sep. 2010.

[7] M. Rahman and H. Yanikomeroglu, "Enhancing Cell-Edge Performance: A Downlink Dynamic Interference Avoidance Scheme with Inter-Cell Coordination," Wireless Communications, IEEE Transactions on, Vol.9, No.4, pp.1414-1425, 2010.

[8] Alexander L. Stolyar and Harish Viswanathan, "Self-organizing Dynamic Fractional Frequency Reuse for Best-Effort Traffic Through Distributed Inter-cell Coordination," in Proceedings of IEEE INFOCOM, pp.1287-1295, Apr. 2009.

[9] J. Yoon, "Contention based distributed access control for wireless networks," PhD dissertation, Seoul National University, Aug. 2008.

[10] K. Sundaresan and S. Rangarajan, "Efficient Resource Management in OFDMA Femto Cells," in Proceedings of ACM MobiHoc, pp.33-42, May. 2009.

[11] 3GPP TS 36.211 v9.1.0, "Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation," Mar. 2010.

박 상 규 (Sangkyu Park)

정회원



2009년 연세대학교 전기전자공학부 학사
2009년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석박사 통합과정 <관심분야> 차세대 무선 네트워크

박 세 응 (Saewoong Bahk)

종신회원



1984년 서울대학교 전기공학과 학사
1986년 서울대학교 전기공학과 석사
1991년 Univ. of Pennsylvania 박사
1991년~1994년 AT&T Bell Lab.
1994년~현재 서울대학교 전기컴퓨터공학부 교수 <관심분야> 차세대 무선 네트워크, 네트워크 보안