DBpia

논문 14-39A-01-07

한국통신학회논문지(J-KICS) '14-01 Vol.39A No.01
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2014.39A.1.50

폐쇄형 접속 방식의 소형셀 네트워크를 위한 동적 채널 할당 알고리즘

문 철◆, 조 한 신°

Dynamic Channel Allocation in Closed-Access Small Cell Networks

Cheol Mun◆, Han-Shin Jo°

요 약

기존 매크로셀 내에 소형셀을 추가하여 전체 시스템의 용량을 개선하는 연구에 대한 관심이 높다. 소형셀에 허가된 사용자만 접속할 수 있는 폐쇄형 접속 방식의 경우, (동일한 주파수 채널을 사용하는) 인접한 매크로셀 사용자의 성능저하가 불가피 하다. 본 논문에서는 빌딩 내에 다수의 소형셀 기지국이 분포하는 환경에서, 해당 빌딩에 인접한 매크로셀 사용자의 성능저하를 우선적으로 최소화하며, 다음으로 빌딩 내 소형셀 기지국 간의 간섭전력을 최소화하는 동적 주파수 채널 할당 알고리즘을 제안한다. 매크로셀 내 빌딩(소형셀)의 위치에 따라 인접한 매크로셀 사용자가 겪는 간섭전력이 변한다. 제안하는 알고리즘을 통해 소형셀은 이러한 위치에 따른 간섭영향의 변화에 적응적으로 스스로 주파수 채널을 선택할 수 있다. 소형셀이 시간에 따른 주변 간섭환경의 변화에 따라 최적의 주파수 채널을 할당할 수 있는 간단하고 실용적인 방법을 제안했다는 것이 본 연구의 가장 큰 기술적 기여이다. 모의실험을 통해 제안한 채널 할당 기법은 매크로셀의 성능개선에 효과적이며, 소형셀은 달성 가능한 최대 처리용량 대비 최대 81%를 제공할 수 있음을 확인하였다.

Key Words : Dynamic channel allocation, Small cell networks, Closed access, Self-configuration

ABSTRACT

Operating small cell with existing macro cell is of interest in wireless communication technology to enhance network capacity. Closed-access small cell allows the access of users registered in it and causes severe interference to nearby users connected to macrocell. We propose a dynamic channel allocation for small cells in the same building that first aim to minimize call-drop of the nearby macrocell users, and then want to reduce interferences between the small cells. Since the interference effect of small cells on the nearby macrocell users mainly depends on the small cells' position, the proposed algorithm includes a self-configuration to flexibly allocate frequency channels according to the variation of downlink quality of the macrocell users. Furthermore the algorithm is very simple and practical, which is main contribution of this paper. We observe that the proposed algorithm provides 82-94% of maximum achievable throughput.

※ 본 연구는 2012년도 한밭대학교 신임교수연구비의 지원 및 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 (No. 2013R1A1A1005731) 지원으로 수행되었습니다.
※ 본 연구는 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2012R1A1A4A010073 19)지원으로 수행되었습니다.
◆ First Author : 한국교통대학교 정보통신공학과, chmun@ut.ac.kr, 정회원
° Corresponding Author : 한밭대학교 전자·제어공학과, hsjo@hanbat.ac.kr, 정회원
논문번호 : KICS2013-10-430, 접수일자 : 2013년 10월 4일, 심사일자 : 2013년 10월 24일, 최종논문접수일자 : 2013년 12월 16일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

통신 시장의 경쟁 심화와 수익성 저하, 소비자 요구의 다양화와 통신비 부담 증가, 그리고 유무선 통신 기술 발달은 유무선 융합 서비스 출현 및 발전을 촉진하고 있으며, 이러한 배경에서 유무선 융합 서비스 제공 기술인 소형셀 (small cells)에 관한 연구가 활발히 진행되어왔다 [1-4]. 기존 매크로셀 대비 낮은 송출전력을 갖는 소형화된 피코셀(picocell) 기지국, 펨토셀(femtocell) 기지국은 서비스 영역이 좁은 소형셀을 형성한다. 이러한 소형셀은 기존의 매크로셀내에 위치하여 네크워크 전체의 용량의 증가, 트래픽량이 집중되는 좁은 영역의 서비스 개선, 매크로셀 내 음영지역의 서비스를 향상 시킬 수 있는 장점을 갖는다[1]. 소형셀의 한 형태인 펨토셀은 가정이나 사무실 등 실내에서 사용되는 초소형 이동 통신용 기지국으로, 이동전화와 인터넷을 연결하여 저렴한 비용으로 유무선 융합 서비스를 제공하며, 실내 커버리지를 확대하고 통화 품질을 향상시키며 다양한 유무선 융합 서비스를 효율적으로 제공할 수 있는 장점을 지닌다. 아울러 펨토셀은 LTE, LTE-Advanced 서비스의 실내 커버리지 확보 방안으로 활용될 수 있다[4]. 미국 스프린트 넥스텔과 버라이존은 삼성전자가 자체 개발한 유비셀을 이용한펨토셀 상용 서비스를 출시한바 있다[5].

펨토셀과 같은 소형셀 기지국의 성공적인 개발 및 운용을 위해서 해결해야 할 기술적인 선결 과제로는 매크로셀 기지국과 소형셀 기지국간에 발생하는 동일 채널 간섭을 억제하는 것이있다. 사업자에 의해 설치되는 고출력의 기지국과 달리, 사용자가 직접 설치하는 소형셀 기지국의 경우 빌딩 내 여러 층에 복수 개의 기지국이 설치되어, 매크로셀에 추가적인 간섭으로 작용하게 된다. 이러한 추가적인 간섭으로 인해 소형셀 기지국 인근의 매크로셀 기지국 사용자의 서비스 품질이 저하될 뿐만 아니라 송신 전력 값에 따라 통화 중 절단되는 (call drop) 현상까지 일으킨다. 따라서 기존 매크로셀에 대한 간섭 영향을 최소화 시키면서 건물 내 사용자에게 우수한 품질의 서비스를 제공해야 한다.

보다 구체적으로, 매크로셀 내에 소형셀이 중첩될 경우, 소형셀 기지국으로부터 소형셀 사용자에게 도달하는 하향 링크 신호가 인접한 매크로셀 사용자에게는 하향링크 간섭으로 작용하게 된다. 따라서, 소형셀 기지국에 의해 발생하는 하향 링크 간섭을 최소화 하면서, 소형셀의 하향 링크 성능 또한 보장할 수 있는 간섭제어기법에 관한 연구가 필수적이다. 소형셀과 매크로셀 간의 간섭을 제어하기 위해 폐쇄형 접속 네크워크를 가정할 경우 전력제어[6-10], 주파수채널 할당[11-14], 스펙트럼 센싱[15,16], 다중안테나[17] 등을 이용하는 방법이 제안되었다. 또한 개방형 접속방식을 이용하여 앞에 제시된 방법 없이도 간단히 간섭전력을 감소하는 방법이 제안되었다[18]. 폐쇄형 접속 네트워크는 개인, 상점, 사무실 등에서 개인 또는 특정 구성원만이 독점적으로 소형셀에 접속하는 형태로서 매우 전형적인 소형셀 서비스라고 생각할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 폐쇄형 접속 네트워크를 가정하였고, 이러한 환경에서 효과적인 간섭제어를 위한 동적 주파수 채널 할당 알고리즘를 제안하였다.

본 연구에서 제안하는 주파수 채널 할당알고리즘의 차별성은 다음과 같다. 가용 채널 집합 중 임의로 채널을 할당하는 방식은 가장 기본적이고 간단한 형태이지만, 간섭상황을 전혀 고려하지 않기 때문에 셀의 용량은 비교적 낮다. 이와는 반대로, 모든 셀의 선택 가능한 채널 조합에 대해 셀의 용량의 합을 계산하여 최대 용량을 제공하는 채널을 할당하는 방식은 가장 우수한 성능을 제공하는 반면, 할당 채널을 결정하기 위해 각 셀의 사용채널 및 간섭전력 (또는 신호대 간섭 및 잡음비) 정보를 모두 수집해야 하고 계산량 또한 매우 많은 단점이 있다. 또한 이러한 중앙처리방식은 각 소형셀이 스스로 주파수를 결정해야 하는 분산처리형태의 알고리즘이 요구되는 환경에는 적합하지 않다. 따라서 제안하는 알고리즘은 이러한 환경에 적합하도록 비교적 간단한 정보만을 이용한다. 즉, 각 소형셀 기지국은 주변의 매크로셀로부터 수신전력을 측정하고, 이 정보만을 이용하여 후보채널들을 결정한다. 후보채널의 결정 과정을 통해 해당 소형기지국이 선택할 수 있는 채널의 수는 감소한다. 예를 들어 소형셀 기지국의 수는 M, 총 채널의 수는 L일 때, m번째 소형셀 기지국의 후보채널의 수 K_m은 항상 $K_m \le L \text{ for } m = 1,2,\cdots,M$ 을 만족한다. 각 소형셀 기지국의 후보채널의 조합 중 간섭전력의 합이 최소가 조합을 최종적으로 사용하게 된다. 제안하는 알고리즘에서 계산하는 채널 조합의 수는 $\sum_{m=1}^{M} K_m$ 이고, 이는 모든 채널의 조합을 고려하는

경우 계산해야 할 채널 조합의 수인 L^M 보다 작아 계산량 측면에서도 장점을 갖는다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 매크로셀, 소형셀의 시스템 및 채널 모델을 기술한다. 3장에서 제안하는 동적 주파수 채널 알고리즘에 대해 기술한

www.dbpia.co.kr

뒤, 4장에서 모의실험을 통해 해당 알고리즘의 성능을 분석한다. 끝으로 결론을 맺는다.

Ⅱ. 시스템 모델

본 연구에서 고려하는 소형셀 네트워크는 기존의 매크로 셀 내에 소형의 피코셀 또는 펨토셀 기지국이 분포하는 형태를 갖는다. 매크로 셀은 그림 1에 묘사된 것과 같이 2-tier형태로 분포하며 총 19개의 각 셀은 3개의 섹터로 구성되어 있다. 각 셀의 중심에는 매크로셀 기지국이 위치한다. 한편, 총 57개의 섹터 중 중심셀에 위치한 섹터0가 시스템의 성능을 평가하는 평가대상섹터이다. 본 연구는 가정용이 아닌 기업형 펨토셀 네트워크를 대상으로 하기 때문에 펨토셀이 한 빌딩내에 밀집하여 분포하는 것을 가정하였다. 따라서 그림 2에서 볼 수 있듯이 평가대상섹터 내에 빌딩이 위치하고, 빌딩의 각 층의 중심에는 소형셀 기지국이 위치한다. 이 위치는 매크로셀 기지국과 소형셀 간의 거리 R과 매크로 기지국 안테나의 메인루브 방향을 기준으로 한 각도 S로 결정된다. 실제로 대부분의 펨토셀 기지국은 실내에 위치하므로 소형셀 기지국은 건물 내에 위치한다고 가정하였다. 그리고 빌딩의 각 층에는 소형셀 사용자가 균일하게 분포하며, 빌딩을 둘러싸고 있는 거리에는 매크로셀 사용자가 분포한다. 실제로 사용자는 매크로셀 내 어디나 분포할 수 있으나, 본 연구의 대상은 소형셀 사용자와 소형셀에 인접한 매크로셀 사용자의 성능평가를 목적으로 하기 때문에 빌딩에서 멀리 떨어져있는 매크로셀 사용자는 고려하지 않는다. 매크로셀 소형셀 모두 개의 주파수 채널을 갖는다고 가정하였다. 매크로셀은 시스

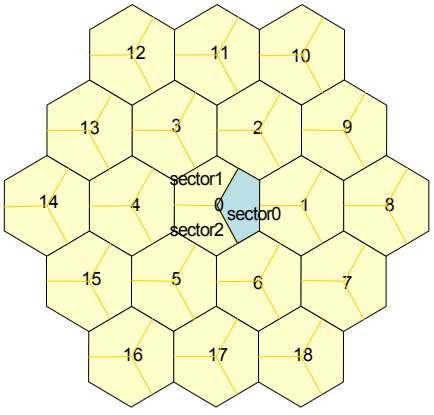


그림 1. 2단 매크로셀 구조
Fig. 1. 2-tier macrocell deployment

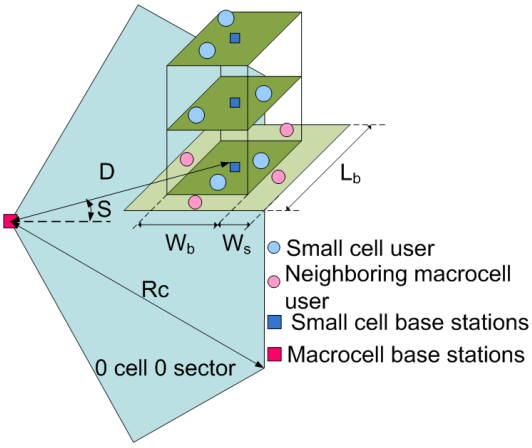


그림 2. 성능분석 대상 섹터내의 소형셀 기지국 및 사용자의 분포
Fig. 2. Small base station and user deployment in target sector

템 운영사업자에 의해 미리 결정된 주파수 채널을 사용하며, 소형셀은 본 논문에서 제안하는 동적 채널 할당 알고리즘을 이용하여 선택된 주파수 채널을 사용한다.

매크로셀 기지국의 안테나는 다음의 수식으로 표현되는 섹터 안테나 패턴을 고려하고, 최대 안테나 이득은 14dBi를 사용한다[19].

$$A(\theta) = G - \min\left[12\left(\frac{\theta}{\theta_{3dB}}\right)^2, A_m\right], \quad -180^\circ \le \theta \le 180 \tag{1}$$

위 식에서은 20dB,는 70도이다. 소형셀 기지국과 사용자의 안테나는 무지향성을 가정한다.

매크로셀 기지국, 소형셀 기지국, 매크로셀 사용자, 소형셀 사용자 간에 형성되는 링크는 송수신기의 실내/외 위치에 구분에 따라 실외, 실내-외, 실내 링크로 분류될 수 있다. 모든 링크에 대한 경로손실 모델로 ITU 모델[20]을 적용하였다. 실외 링크는 매크로셀 기지국과 매크로셀 사용자 간에 형성되며 경로손실은 다음과 같이 표현된다.

$$PL = 40\log_{10}(d/1000) + 30\log_{10}(f) + 49 + Q \tag{2}$$

위 식에서 d는 매크로셀 기지국과 사용자 사이의 거리(m)이고, f(MHz)는 매크로셀 사용 채널의 중심주파수를 의미한다. Q는 동일 거리에서 경로손실의 느린 편차를 반영하는 새도잉 값이며, 표준편차가 10dB고

www.dbpia.co.kr

평균이 0인 가우시안 랜덤분포를 가정한다.

실내-외 링크는 매크로셀 기지국과 소형셀 사용자 사이, 매크로셀 기지국과 소형셀 기지국 사이, 그리고 소형셀 기지국과 매크로셀 사용자 사이에서 형성되며 해당링크의 경로손실은 다음과 같다.

$$PL = 40\log_{10}(d/1000) + 30\log_{10}(f) + 49 + L_{p,dB} + Q \quad (3)$$

위 식에서 새도잉의 표준편차는 10dB이고 $L_{p,dB}$ 는 dB 단위의 벽투과 손실을 의미하며 각 실험환경에 적합하게 고정된 값을 사용하였다. 실내 링크는 소형셀 기지국과 소형셀 사용자 사이 또는 소형셀 기지국들 사이에 형성되며 경로손실은 다음과 같다.

$$PL = 37 + 30\log_{10}(d) + 18.3n^{((n+2)/(n+1)-0.46)} + Q \quad (4)$$

위 식에서 n은 투과하는 층수를 의미하여 동일 층에서 $n = 0$이다. 새도잉의 표준편차는 12dB이다.

Ⅲ. 동적 채널 할당 알고리즘

본 장에서는 본 논문의 핵심 내용인 동적 채널 할당 알고리즘에 대하여 기술한다. 동일 건물 내에 위치하는 채널 할당 관리 시스템은 각 소형셀 기지국들로부터 전달된 무선환경 정보를 기반으로, 동적 채널 할당 알고리즘을 이용하여 기지국과 셀 내 사용자간의 무선통신에 사용될 주파수 채널(대역)을 선택한다. 각 주파수 채널의 대역은 이미 고정되어 있다고 가정한다. 즉, 각 채널은 서로 중첩되지 않는다. 기존에 제안된 많은 동적 채널 할당알고리즘은 고유의 목적을 달성하도록 설계되었다. 본 알고리즘 또한 다음과 같은 두 가지 목적을 위해 설계되었다. 1) 소형셀로 인한 근접 매크로 셀 사용자의 성능저하를 최소화한다. 2) 소형셀 사용자가 겪는 타 기지국으로부터 간섭을 최소화한다.

3.1 알고리즘 동작과정

이러한 목적을 달성하기 위해 동적 채널 할당 알고리즘은 각 소형셀의 가용 채널 집합을 설정을 수행한 뒤, 가용채널 집합으로부터 최종적으로 사용 채널을 설정하는 2단계 방식으로 동작한다. 1단계 과정은 위의 첫 번째 목적을 달성하기 위함이며, 2단계 과정은 두 번째 목적을 달성하기 위함이다. 1단계 과정의 결과로부터 2단계 과정을 수행하므로 본 알고리즘은 위의 두가지 목적 중 첫번째 목적의 달성을 우선함을 알 수 있다. 이와 같은 우선 순위의 도입은 새로운 소형셀의 설치로 인한 기존 매크로셀 사용자의 성능 열화를 방지하는 것이 가장 우선시 되어야 하기 때문이다. 주파수 선택과정 동안 소형셀 기지국은 기지국이 아닌 사용자 단말기 모드로 동작하여 셀 탐색 및 수신전력 측정을 수행한다.

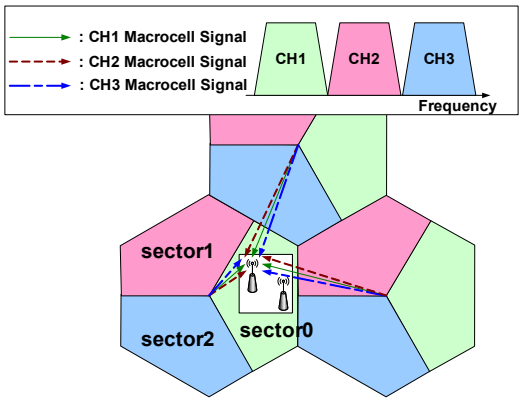


그림 3. 단계 1-1) 각 채널 별 매크로 셀로 부터의 수신전력 측정
Fig. 3. Step 1-1) small cell measuring power from macro cell for each channel

1단계 과정인 소형셀의 가용 채널 집합을 결정하는 동작은 다음의 순서를 따른다.

1-1) 그림 3에서 볼 수 있듯이 각 소형셀 기지국은 주변 매크로 셀의 수신 전력을 측정하여 채널 별로 최대 수신 전력을 갖는 매크로셀을 찾는다.

1-2) 각 채널 별 최대수신전력 중 수신 전력이 보다 작은 채널만을 소형셀의 가용 채널 집합으로 저장한다.

1-3) 가용 채널집합으로 저장된 채널이 없는 소형셀의 경우, 채널 별 최대 수신 전력 중 최소값을 갖는 채널을 선택하여 가용 채널집합으로 저장한다.

과정 1-1의 수행을 위해 기지국은 단말기 모드로 동작하여 각 채널 별 인접기지국 목록 (neighbor list)을 바탕으로 매크로 셀 탐색을 수행하고 이를 바탕으로 해당 매크로 셀로부터의 수신전력을 측정한다. 일반적으로 LTE 매크로셀 환경에서의 셀 탐색은 primary synchronization channel (PSC) 과 secondary synchronization channel (SSC)을 통해 이루어지며[21], 소형셀이 공존하는 경우 보다 진보된 형태의 방법이

www.dbpia.co.kr

연구되었다[22,23].

각 소형셀의 가용 채널 집합이 설정되면 채널 할당 관리 시스템은 다음의 2단계 과정을 통해 최종적으로 사용 채널을 결정한다.

2-1) 각 소형셀의 가용 채널 집합 중 임의의 한 채널을 사용 채널로 선택한다.
2-2) 동일 채널을 사용하는 소형 기지국으로부터의 수신 전력을 더하여 채널 별 수신 전력을 구한 뒤, 이 정보를 채널 할당 관리 시스템으로 전송한다.
2-3) 각 소형셀로부터 전송된 수신 전력 정보를 모두 더하여 총 수신 전력을 계산한다.
2-4) 각 소형셀의 가용 채널 집합 내에서 채널을 변경하여 얻은 새로운 채널 조합에 대해2-2) 부터 2-4) 까지의 과정을 반복하여 각 채널 조합별 총 수신 전력을 구한다.
2-5) 각 채널 조합 별 총 수신 전력 중 최소값을 갖는 채널 조합을 최종 사용 채널로 결정한다.

예를 들어 그림 3에서 묘사된 것처럼 2개의 소형기지국이 3개의 채널 중 사용채널을 선택하는 상황을 고려해보자. 1단계과정을 통해 2개의 소형기지국의 가용 채널 집합은 동일하게 {2,3}이라고 가정한다. 이 때 소형기지국이 사용 채널 조합은 (소형기지국 1의 채널 인덱스, 소형기지국 2의 채널 인덱스) = (2,2), (2,3), (3,2), (3,3) 총 4가지이다. 각 4가지 경우에 대해 소형기지국은 해당 채널의 간섭전력 (매크로셀전력+소형셀전력)을 채널 할당 관리 시스템에 전송한다. 여기서 i번째 소형기지국이 k 번째 채널에 대해 측정한 간섭전력을 Pi(j)로 표기하자. 채널 할당 관리 시스템은 과정 2-5)에서 4가지 사용 채널 조합에 대한 두 기지국의 간섭전력의 합 {P1(2)+P2(2), P1(2)+P2(3), P1(3)+P2(2), P1(3)+P2(3)} 중 최소값을 갖는 채널 조합을 최종 사용 채널로 결정한다. 즉, P1(3)+P2(2)가 최소값일 경우 소형기지국 1은 채널 3을, 소형기지국 2는 채널 2를 사용하게 된다.

본 알고리즘은 FA별로 측정된 매크로 셀로부터의 최대 수신 전력이 보다 작은 경우 해당 FA를 가용 FA로 선택하게 된다. 따라서 상술된 알고리즘의 성능은 을 결정하는 방식에 의해 좌우된다. 1단계 과정에서 기지국 스스로 자신의 가용 채널 집합을 결정하고, 2단계 과정의 수행을 위해 각 소형셀들은 채널 할당 관리기로 채널 별 수신전력 및 가용 채널 집합 정보를 전송하며, 이러한 정보를 종합하여 최종 사용 채널이 결정된다. 따라서 제안한 방식은 기지국이 스스로 채널을 선택하는 분산처리 방식과 중앙 관리기가 전적으로 채널을 선택하는 중앙집중 방식의 중간형태로 볼 수 있다. 본 연구는 가정용이 아닌 한 기업이 빌딩 내에 여러 펨토셀을 설치하여 운용하는 기업형 펨토셀 네트워크를 가정하였으며, 이는 별도의 채널 할당 관리기를 활용하기 적합한 환경이다.

3.2 결정과정

실내 기지국으로부터 발생하는 간섭신호에 의한 실외 기지국의 하향링크 성능 저하를 최소화 하기 위해, 소형셀은 주변에 위치하는 매크로셀 사용자의 통신정지(outage) 채널을 재사용하는 것을 목표로 한다. 따라서 을 구하기 위한 기본 식은 다음과 같이 정의된다.

$$SINR_k = T \tag{5}$$

위 식에서 SINR은 소형셀에 인접한 매크로셀 사용자가 채널 k를 사용하는 경우 소형셀을 제외하고 매크로기지국 만의 고려한 하향링크 신호 대 간섭 및 잡음 비를 의미하며, T는 통신정지가 발생하는 최대 신호 대 간섭 및 잡음 비를 의미한다. 이후의 모든 식의 수신전력 및 잡음전력은 채널 k에 대한 것이므로 간략한 수식 표기를 위해 채널 표식 k는 생략한다. 식 (5)의 SINR은 다음과 같다.

$$SINR = \frac{R_{M,j}}{\sum_{i \neq j} R_{M,i} + N} \tag{6}$$

위 식에서 $R_{M,i}$는 소형셀에 인접한 매크로셀 사용자에서 수신되는 i번째 매크로셀 기지국 신호전력을 의미한다. $R_{M,j} = \max_i R_{M,i}$로서 매크로셀 기지국으로부터 수신전력 중 최대값을 의미한다. N은 잡음전력을 의미한다.

식 (6)을 식 (5)에 대입하면 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$R_{M,j} \leq T\left(\sum_{i \neq j} R_{M,i} + N\right) \tag{7}$$

본 과정의 대상인 매크로셀 사용자는 소형셀 주위에 분포하기 때문에, 매크로셀 사용자에서의 수신전력 $R_{M,i}$는 소형셀 기지국에서 측정된 매크로셀 기지국으로부터의 수신전력 $R_{M-S,i}$을 통해 다음과 같이 근사화 될 수 있다.

www.dbpia.co.kr

$$R_{M,i} \approx R_{M-S,i} L_p \frac{G_m}{G_S}, \quad R_{M,j} \approx R_{M-S,j} L_p \frac{G_m}{G_S} \tag{8}$$

위 식에서 G_m, G_S는 각각 매크로셀 사용자와 소형셀 기지국의 안테나 이득을 의미한다. 식(8)을 이용하여 식 (7)은 다음과 같이 변형된다.

$$R_{M-S,j} \le \frac{T\left(\sum_{i \neq j} R_{M-S,i} L_p G_m / G_S + N\right)}{L_p G_m / G_S} \tag{9}$$

위 식에서 $R_{M-S,j}$의 최종 상한값을 계산할 수 있으며, 이 값을 Γ로 결정하여 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Gamma = \frac{T\left(\sum_{i \neq j} R_{M-S,i} L_p G_m / G_S + N\right)}{L_p G_m / G_S} \tag{10}$$

결론적으로 소형셀 기지국에서 측정된 매크로셀 기지국으로부터의 최대수신전력 $R_{M-S,j}$가 Γ보다 작을 경우 해당 소형셀에 인접한 매크로셀 사용자는 통신정지 가능성이 매우 높으며 이는 해당 매크로셀 사용자는 채널 k를 이용하여 서비스될 확률이 매우 낮음을 의미한다. 따라서 소형셀은 이러한 채널 k를 재사용하여 소형셀과 매크로셀간의 상호간섭을 완화하여 전체 네크워크의 용량을 증가시킨다.

Ⅳ. 성능분석

4.1 성능지표

제안된 채널 할당 알고리즘의 성능분석 척도로 최대용량 달성률을 정의하였다. 이 값은 모든 가능한 채널 조합에 대한 용량비교를 통해 얻을 수 있는 최대용량 대비 동적 채널할당 알고리즘을 통해 결정된 채널 조합을 이용하여 얻은 용량을 의미하며 다음 식으로 정의할 수 있다.

$$\Phi = \frac{T_{DCA}}{T_{MAX}} \tag{11}$$

위 식에서 T_{DCA}는 각 소형셀이 동적 채널 할당 알고리즘을 통해 결정된 채널을 사용할 때 소형셀의 하향링크 처리용량(throughput)을 의미한다. T_{MAX}는 각 소형셀이 선택할 수 있는 모든 채널조합에 대한 하향링크 처리용량 값 중 최대값을 의미한다. 따라서 Φ는 0과 1사이의 값이며 1에 가까울수록 채널 할당 알고리즘의 성능이 우수함을 의미한다. 최대용량 달성률 계산 시 주변 매크로 기지국의 사용 채널과 전송전력은 일정하며, 소형기지국은 최대전송전력을 사용하는 것으로 가정한다.

4.2 시뮬레이션 과정

채널 할당 알고리즘의 성능분석을 위해 최대용량 달성률을 계산하기 위한 시뮬레이션 과정은 다음과 같다. 시뮬레이션에 이용하는 건물은 총 3층으로 각 층 마다 소형셀 사용자가 균일하게 분포하며 건물중심에는 소형셀 기지국이 한 개씩 위치한다. 동일 층에 위치한 사용자는 동일 층의 소형기지국에 접속한다고 가정한다. 인접 매크로셀 사용자는 그림 4와 같이 배치한다. 각 송수신기 간 형성되는 링크 별 경로손실 모델과 새도잉 및 빌딩 외벽 투과손실 발생과정 또한 2장에 기술한 모델을 적용한다. 구체적인 시뮬레이션 환경변수는 표 1에 정리하였다. 매

크로셀, 소형셀 모두 총 3개의 채널을 사용할 수 있으며, 각 매크로셀은 그림 3과 같이 동일 셀 내의 다른 섹터간에는 다른 주파수 채널을 사용하도록 설정하였다. 이 경우 주파수 재사용률은 1/3이 된다.

본 모의실험에서 고려한 사용가능 채널 수는 총 3개이므로 3개의 소형기지국이 선택할 수 있는 채널 조합은 총 27가지이다. 따라서 식(12)의 T_{MAX}를 얻

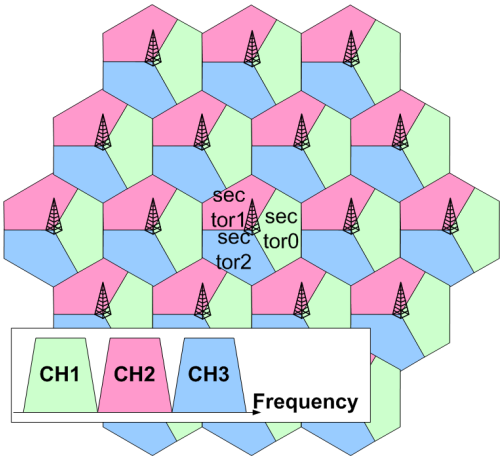


그림 4. 모의실험에 이용된 주파수 재사용률 1/3인 매크로셀의 사용 주파수 채널
Fig 4. Frequency channels of macrocell with the frequency reuse ratio of 1/3

www.dbpia.co.kr

표 1. 모의실험 변수
Table 1. Simulation parameters

Parameters	Values
Macrocell layout	19(hexagonal grid,2-ring, 3-sector system)
Cell radius (Rc)	1 km
Building width (Wb)	50 m
Building length (Lb)	50 m
Street width (Ws)	30 m
Building stories	3
Number of small cell per story	1
Number of small cell users	5
Number of macro cell users	8
Antenna pattern	70 deg(-3dB) with 20dB front-to-back ratio
Antenna gain	Macrocell base station: 14 dBi Small-cell base station: 2 dBi, User (macrocell, small-cell) : -1 dBi
Noise figure	Base station (macrocell, small-cell): 4 dB User (macrocell, small-cell): 7 dB
Noise power density	-174 dBm/Hz
Carrier frequency	2.3 GHz
Bandwidth	10 MHz
Maximum transmit power	Macrocell base station: 20 W (43 dBm), Small-cell base station: 0.2W (23 dBm)
Fast fading	Rayleigh fading
Frequency reuse ratio(macrocell)	1/3
Number of channels	3
D	100, 200, 300, 400, 500, 600, 700m
S	0 deg

기 위해 27가지 채널 조합에 대해 소형셀의 하향링크 처리용량을 다음과 같이 계산한다.

$$T_{MAX} = \max_k T_{k_{k=1,2,\cdots,27}} = \max_k \sum_{s=1}^{N_f} \sum_{h=1}^{N_h} \log_2(1+SINR_{s,h}^{(k)}) \quad (12)$$

위 식에서 $SINR_{s,h}^{(k)}$ 은 k번째 채널조합을 사용할 때 s층의 소형기지국으로부터 s층에 위치하는 h번째 소형셀 사용자에 수신되는 신호의 신호대 간섭 및 잡음비를 의미한다. N_f과 N_h는 빌딩의 층수와 각 층당 분포되어 있는 소형셀 사용자수를 의미하며 본 연구에서는 각각 3과 5로 설정하였다. 한편 채널 할당 알고리즘을 이용했을 때 소형셀의 하향링크 처리용량인 T_{DCA}는 다음과 같이 계산한다.

$$T_{DCA} = \sum_{s=1}^{N_f} \sum_{h=1}^{N_h} \log_2(1+SINR_{s,h}^{(\hat{k})}) \quad (13)$$

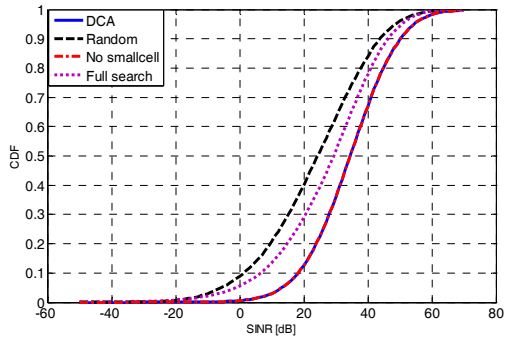
위 식에서 $SINR_{s,h}^{(\hat{k})}$는 27개의 모든 조합 중 채널 할당 알고리즘을 통해 선택된 $\hat{k}$번째 채널 조합을 사용할 때, s층에 위치하는 소형기지국으로부터 s층에 위치하는 h번째 소형셀 사용자에 수신되는 신호의 신호 대 간섭 및 잡음비를 의미한다.

4.3 결과 분석

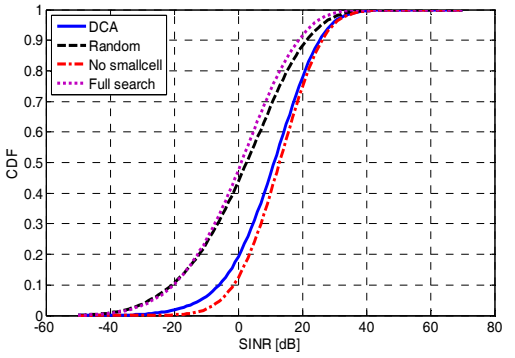
본 절에서는 제안한 동적 채널 할당 알고리즘의 모의실험 성능을 분석한다. 이를 위해 소형셀 사용자와 소형셀에 인접한 매크로셀 사용자의 SINR과 대표 성능지표인 최대용량 달성률을 평가한다. 그림 5는 매크로셀 기지국과 소형셀 기지국 간의 거리 D의 변화에 따른 매크로셀 사용자의 SINR 분포를 나타낸다. 각 결과에서 "Random"은 동일한 확률로 임의로 채널을 선택하는 방법을 의미하여, "Full search"는 소형셀의 전송용량을 최대로 하는 채널조합을 선택하는 방법을 의미한다. "DCA"는 제안한 동적 채널 알고리즘을 이용하는 경우이다. 또한 "No smallcell"은 소형셀이 없이 매크로셀 만 존재하는 경우를 의미한다. 따라서 "No smallcell" 은 항상 매크로셀 사용자의 최대성능을 제공한다.

D=100m 일 때 "No smallcell"과 "DCA"가 동일한 결과를 보인다. 소형셀 기지국이 매크로셀 기지국에 인접한 경우 소형기지국에서 측정되는 채널 1을 사용하는 매크로셀 기지국으로부터의 전력이 식(10)에서 계산된 Γ보다 항상 크게 되어 채널1은 소형기지국의 가용 채널 집합에서 항상 제외된다. 따라서 채널 할당 알고리즘이 적용될 경우 모든 소형셀은 채널1을 할당받지 못하게 된다. 따라서 이는 소형셀이 존재하지 않는 경우와 동일한 결과를 보이게 된다. 이와는 달리 "DCA" 경우 D=350, 600m으로 증가함에 따라 소형셀이 채널1을 사용하는 경우가 증가하므로, 소형셀로부터의 간섭전력의 증가로 인해 SINR 성능이 저하된다. 그러나 주목할만한 결과는 "Full search"및 "Random"와 비교하여 "DCA" 는 여전히 높은 SINR

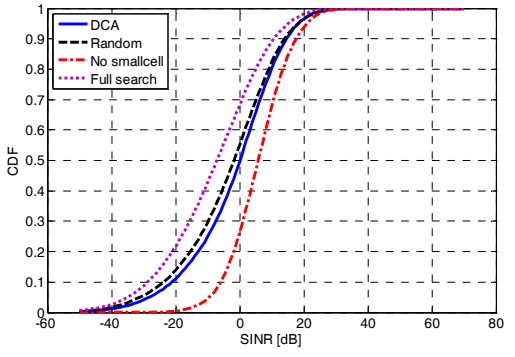
www.dbpia.co.kr



(a)

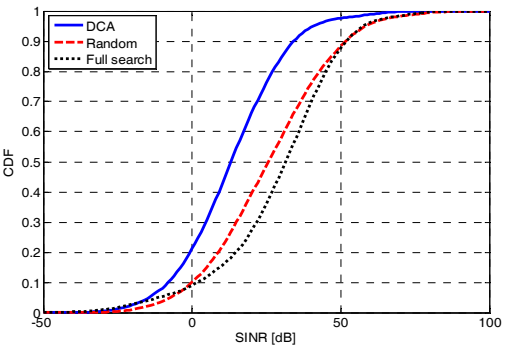


(b)

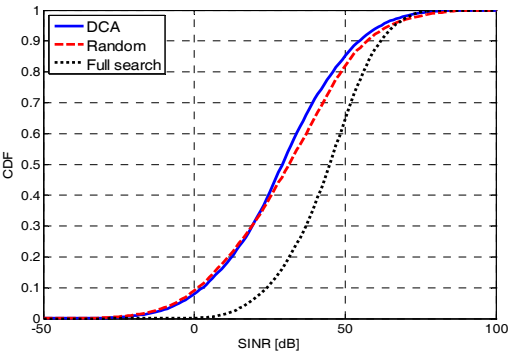


(c)

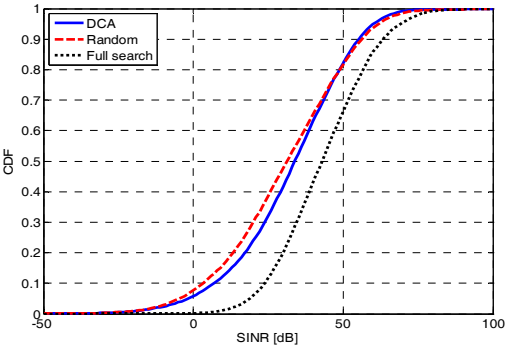
그림 5. 소형셀에 인접한 매크로셀 사용자의 SINR 분포 (a) D=100m, (b) D=400m, (c) D=700 m
Fig. 5. SINR distribution of macrocell users around small cell (a) D=100m, (b) D=400m, (c) D=700 m



(a)



(b)



(c)

그림 6. 소형셀 사용자의 SINR 분포(a) D=100m, (b) D=400m, (c) D=700 m
Fig. 6. SINR distribution of small-cell users (a) D=100m, (b) D=400m, (c) D=700 m

을 제공할 수 있다는 것이다.

그림 6은 모든 채널에 대한 소형셀 사용자의 SINR 분포를 보여준다. 당연히 “Full search”는 항상 최대 SINR을 제공함을 확인할 수 있다. 또한 제안한 DCA는 매크로셀 중심에 위치하는 소형셀의 경우 “Random”보다 낮은 SINR을 제공하는 반면, 셀 중심이나 외각에서는 비슷하거나 더 높은 SINR을 제공한다. 그림 5와 6의 결과를 종합할 때, 매크로셀 사용자의 성능을 지나치게 감소시키는 임의 채널 선택 (random selection) 방법 또는 “Full search” 방법과 비교하여 제안한 DCA는 소형셀 네트워크에 보다 적합함을 확인할 수 있다.

표 2, 3은 R의 변화에 따른 최대용량 달성률 뿐만 아니라 총 100번의 반복실험 중 동적 채널 알고리즘

www.dbpia.co.kr

을 통해 선택된 각 채널 조합의 누적횟수와 최대 처리용량을 만족하는 채널 조합의 누적 횟수를 나타낸다. 예를 들어 집합 {1,2,3}은 3개의 기지국이 각각 채널 1, 2, 3을 사용하는 경우를 의미하며, 집합 {1,2,2}는 3개의 기지국 중 한 개의 기지국이 채널1을 사용하고 2개의 기지국이 채널2를 사용하는 경우를 의미한다. 해당결과로부터 통해 소형기지국이 매크로셀의 경계 지역으로 갈수록 최대용량 달성률이 증가함을 확인할 수 있다. 이러한 현상의 원인은 표 2의 채널 선택 횟수의 분포를 분석하여 설명할 수 있다. 표 2의 결과를 분석해 보면 D가 증가함에 따라 동적 채널 할당을 통해 {1,2,3}이 선택되는 횟수가 증가하고, 이 증가한 수만큼 {2,2,3} 또는 {2,3,3}이 선택되는 횟수는 감소하게 되는 현상을 발견할 수 있다. 동일 채널을 사용하는 소형셀 기지국간의 간섭은 D에 관계없이 일정하지만, 채널1을 사용하는 매크로셀 기지국에 의한 간섭량은 D가 증가함에 따라 감소하게 된다. 따라서 셀 경계로 갈 수록 채널1을 사용하는 매크로 기지국에 의한 간섭량이 작기 때문에 {1,2,3}을 더 자주 사용하여 얻게 되는 처리용량의 이득이 {2,2,2}를 덜 사용하여 발생하는 처리용량의 감소보다 크다. 이에 따라 R이 증가할수록 최대용량 달성률은 증가하게 된다.

한편, 표 2에서 셀 경계로 갈수록 최대 처리용량을 만족하는 채널집합이 {1,2,3}이 될 확률이 커지는 현상을 발견할 수 있다. 이와 같은 현상이 발생하는 원인은 셀의 경계로 갈수록 {1,2,3}을 이용하는 매크로셀 기지국에 의한 간섭전력들 간의 차이가 감소하게 되기 때문이다. 이렇게 다른 채널간 간섭 전력의 차가 감소하게 될 경우, 하나의 채널을 두 개이상의 소형기지국이 동시에 사용할 경우(즉, {2,2,2,}, {2,2,3} 또는 {2,3,3}), 소형기지국간 동일 채널에 의한 간섭에 의해 처리용량이 감소한다. 따라서 최대 처리용량을 얻기 위해서는 하나의 채널을 재사용 하는 것보다, 세 개의 채널을 골고루 사용해야 한다.

또한, 표 2에서 D=100m인 경우 채널{1,2,3}을 사용하여 최대 처리용량을 달성하는 횟수가 총 100번

표 2. 최대 처리용량 달성률 및 각 채널조합 별 선택횟수
Table 2. Throughput achievement rate (TAR) and the number of choosing channel sets

D	TAR	the number of choosing channel sets (100-times repetition each for MAX and DCA)																			
		{1,1,2}		{1,1,3}		{1,2,2}		{1,3,3}		{1,1,1}		{1,2,3}		{2,2,2}		{3,3,3}		{2,2,3}		{2,3,3}	
		MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA
100	0.5		0				0		0			48	0		92		0	27	8	25	0
200	0.56		0				0		0			75	2		62		0	16	34	16	4
300	0.67		0				0		0			85	14		22		2	9	50	6	21
400	0.71	0	0	0	0	0	7	0	7	0	0	93	5	0	9	0	2	2	47	5	29
500	0.73		1				4		4			98	14		8		2	1	42	1	26
600	0.76		1				6		6			99	23		5		3	1	32	0	28
700	0.81		3				15		15			100	39		3		0	0	24	0	11

표 3. 섀도잉과 벽 투과손실 크기의 영향 (D=100m)
Table 3. The effct of shadowing and wall-penetration loss on TAR

Standard deviation		TAR	the number of choosing channel sets (100-times repetition each for MAX and DCA)											
Wall penetraton loss	shadowing		{1,1,2} {1,1,3} {1,2,2} {1,3,3} {1,1,1}		{1,2,3}		{2,2,2}		{3,3,3}		{2,2,3}		{2,3,3}	
			MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA
8	10	0.5			48			92			27	8	25	0
1	10	0.53	0	0	34	0	0	92	0	0	37	8	29	0
8	1	0.52			12			100			58	0	30	0
1	1	0.52			2			100			54	0	44	0

www.dbpia.co.kr

표 4. 에 의한 효과
Table 4. effect on TAR

D	Γ	TAR	the number of choosing channel sets (100-times repetition each for MAX and DCA)																			
			{1,1,2}		{1,1,3}		{1,2,2}		{1,3,3}		{1,1,1}		{1,2,3}		{2,2,2}		{3,3,3}		{2,2,3}		{2,3,3}	
			MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA	MAX	DCA
100	Eq. (10)+ 12 dB	0.64	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	32	1	0	60	0	0	35	38	33	1
200		0.84		0				0		0			80	13		5		0	7	58	13	24
300		0.89		0				0		0			91	40		0		0	7	49	2	11
400		0.91		0				0		0			97	70		0		0	1	27	2	3
500		0.93		0				0		0			98	80		0		0	1	17	1	3
600		0.96		0				0		0			100	95		0		0	0	4	0	1
700		0.97		0				1		0			100	97		0		0	0	2	0	0

중 48번임을 확인할 수 있다. 그러나 이는 매크로셀 기지국과 소형셀 기지국간의 거리가 가깝기 때문에 채널1을 이용하는 매크로 기지국으로부터 발생하는 간섭전력이 강하여 채널1을 선택될 확률이 적을 것이라는 결과예측에 비해 매우 큰 값이다. 이러한 결과가 발생하는 원인은 새도잉과 투과손실이 고정된 값이 아닌 랜덤변수이기 때문이다. 표 3의 결과는 이러한 추론을 뒷받침한다. 표 3은 R=100일 때, 새도잉의 표준편차와 투과손실의 표준편차의 변화에 따른 각 채널조합의 선택 횟수를 나타낸다. 표 3의 결과로부터 투과손실과 새도잉의 표준편차가 감소할수록 최대 처리용량을 제공하는 채널집합에 채널1이 포함되는 횟수가 급격히 감소되고 있음을 확인할 수 있다. 결과적으로 투과손실과 새도잉의 표준편차가 감소할수록 (즉, 수신전력이 매크로셀 기지국과 소형셀 기지국으로부터 거리에만 좌우된다면), 채널1으로부터 간섭전력이 증가하여 채널1이 선택되는 확률이 감소된다.

표 4는 Γ의 변화에 따른 최대용량 달성률 결과가 정리되어 있다. Γ를 기존 값 보다 12 dB 증가시킬 때 최대용량 달성률이 증가함을 확인할 수 있다. 이는 Γ가 증가할 경우 채널 1이 가용 셋으로 선택될 확률이 증가하여 결과적으로 채널집합 {1,2,3}이 선택 될 확률이 증가하기 때문이다. 따라서 Γ를 더욱 증가시켜 DCA {1,2,3}의 횟수를 Max {1,2,3}와 비슷하게 유지하면 최대 용량 달성률은 향상되겠지만, 이 경우 인접한 매크로셀 사용자의 SINR이 감소하게 되는 단점이 발생하므로, 해당 매크로셀 사용자의 처리용량 감소 정도를 표현하기 위한 새로운 성능지표의 도입이 필요할 것으로 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 실외 매크로셀 내에 실내 소형셀이 존재하는 환경에 적합한 동적 주파수 채널 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘을 통해 소형기지국은 매크로 기지국 및 타 소형기지국으로부터 발생하는 간섭전력의 변화에 적응적으로 주파수 채널을 선택한다. 제안한 방식의 장점은 기존의 매크로 기지국과는 달리 소형기지국이 스스로 주변 간섭환경을 인지하는 절차와 이를 바탕으로 능동적으로 사용 주파수를 선택하는 일련의 과정을 제안한 점이다. 매크로셀 사용자를 소형셀로부터 최대한 보호하기 위해 매크로 사용자가 통신정지되어 사용하지 않을 것으로 예측되는 채널을 재사용하도록 가용 채널 집합을 결정한 후, 채널 집합 가운데 인접한 소형셀 간의 누적 간섭전력이 최소화 되도록 최종 채널을 결정한다. 모의실험을 통해 제안한 채널 할당 기법은 달성 가능한 최대 처리용량 대비 최대 81%를 제공할 수 있음을 확인하였다. 본 연구와 전력제어를 동시에 고려하여 보다 효과적으로 간섭전력을 제어하여 처리용량을 개선하는 연구가 중요할 것으로 사료된다.

References

[1] V. Chandrasekhar, J. G. Andrews, and A. Gatherer, “Femtocell networks: a survey,” *IEEE Commun. Mag*., vol.46, no.9, pp. 59-67, Sept. 2008.

[2] A. Ghosh et al., “Heterogeneous Cellular Networks: From Theory to Practice,” *IEEE Commun. Mag*., vol. 50, no. 6, pp. 54-64, Jun. 2012.

[3] T. Q. S. Quek, G. de la Roche, and I. Güvenç, *Small cell networks: Deployment, PHY techniques, and resource management*, Cambridge University Press, Jun. 2013.

www.dbpia.co.kr

[4] H.-S. Jo, Y. J. Sang, P. Xia, and J. G. Andrews, "Heterogeneous cellular networks with flexible cell association: a comprehensive downlink SINR analysis," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol.11, no.10, pp. 3484-3495, Oct. 2012.

[5] T-Macro, "*Verizon Wireless soon will launch Samsung Ubicell*," Oct. 2008. from http://www.cellphonesignal.com/verizon-wireless-soon-will-launch-samsung-ubicell/

[6] H.-S. Jo, C. Mun, J. Moon, and J.-G. Yook, "Interference mitigation using uplink power control for Two-Tier femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 8, No. 10, pp. 4906-4910, Oct. 2009.

[7] H.-S. Jo, C. Mun, J. Moon, and J.-G. Yook, "Self-optimized coverage coordination in femtocell networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 9, no. 10, pp. 2977-2982, Oct. 2010.

[8] V. Chandrasekhar, M. Kountouris, and J. G. Andrews, "Coverage in multi-antenna two-tier networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.,* vol. 8, no. 10, pp. 5314-5327, Oct. 2009.

[9] H. Jung and J. Lee, "Downlink power allocation of the OFDMA femtocell for inter-cell interference mitigation," *J. KICS*, vol. 35, no. 8, pp. 743-751, Aug. 2010.

[10]. S.-J. Lee, S.-Y. Kim, H.-W. Lee, S.-W. Ryu, and C.-H. Cho, "Adaptive power control schemes for interference mitigation in LTE femtocell networks," *J. KICS*, vol. 37, no. 8, pp. 648-660, Aug. 2012.

[11] I. Güvenç, M.R. Jeong, F. Watanabe, and H. Inamura, "A hybrid frequency assignment for femtocells and coverage area analysis for co-channel operation," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 12, no. 12, pp. 880-882, Dec. 2008.

[12] D. Lopez-Perez, A. Ladanyi, A. Juttner, and J. Zhang, "OFDMA femtocells: A self-organizing approach for frequency assignment ," in *Proc. IEEE 20th Int'l Symp. on Personal, Indoor and Mobile Radio Commun.*, pp. 2202-2207, Sep. 2009.

[13] V. Chandrasekhar and J. G. Andrews, "Spectrum allocation in two-tier networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 57, no. 10, pp. 3059-3068, Oct. 2009.

[14] S.-J. Kim, I. Cho, Y.-K. Kim, and C.-H. Cho, "Dynamic channel assignment scheme using graph coloring in femtocell networks," *J. KICS*, vol. 38, no. 4, pp. 257-265, Apr. 2013.

[15] JPM Torregoza, R. Enkhbat, and W. J. Hwang, "Joint power control, base station assignment, and channel assignment in cognitive femtocell networks," *EURASIP J. Wirelless Commun. Netw.*, vol. 2010, pp. 1-12, Jan. 2010.

[16] S. Al-Rubaye, A. Al-Dulaimi, and J. Cosmas, "Cognitive femtocell," *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 6, no. 1, pp. 44-51, Mar. 2011.

[17] H.-S. Jo, "Codebook-based precoding for SDMA-OFDMA with spectrum sharing," *J. ETRI*, vol. 33, no. 6, pp. 831-840, Nov. 2011.

[18] H.-S. Jo, P. Xia, and J. G. Andrews, "Open, closed, and shared access femtocells in the downlink," *EURASIP J. Wireless Commun. and Netw.*, 2012:363, Dec. 2012.

[19] 3GPP-3GPP2 Spatial Channel Model Ad-Hoc Group, "Spatial Channel Model Text, in SCM-134," Apr. 2003.

[20] ITU-R Rec M.1225: "Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000," Feb. 1997.

[21] K.-C. Shin, S.-B. Im, K.-M. Ok, and H.-J. Choi, "A design of initial cell searcher for 3GPP LTE downlink system," *J. KICS*, vol. 36, no. 1, pp. 21-28, Jan. 2013.

[22] J.-I. Choi, J.-K. Nam, W.-K. Seo, and Y.-Z. Cho, "An efficient femto-cell scanning scheme using network assistance in ieee 802.16e system," *J. KICS*, vol. 33, no. 7, pp. 733-742, July 2013.

[23] Y. J. Kim and Y. S. Cho, "Femtocell searching technique using synchronization signals for next-generation mobile communication systems," *J. KICS*, vol. 38A, no. 1, pp. 44-57, Jan. 2013.

www.dbpia.co.kr

문 철 (Cheol Mun)

1995년 2월 : 연세대학교 전자공학과 학사
1997년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
2001년 2월 : 연세대학교 전자공학과 박사
2001년 3월~2002년 2월 : 삼성전자네트웍사업부선임연구원
2003년 8월~현재 : 한국교통대학교 정보통신공학과 교수
<관심분야> MIMO 시스템, 채널 모델링, ITS 시스템 등

조 한 신 (Han-Shin Jo)

2001년 8월 : 연세대학교 전자공학과 학사
2004년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
2009년 8월 : 연세대학교 전자공학과 박사
2009년 10월~2011년 10월 : University of Texas at Austin, Postdoctoral Fellow
2011년 11월~2012년 2월 : 삼성전자 네트웍사업부책임연구원
2012년 3월~현재 : 한밭대학교 전자·제어공학과 조교수
<관심분야> MIMO 시스템, 펨토셀 및 소형셀 네트워크, 학률기하이론 등

www.dbpia.co.kr