언더레이 주파수 공유를 이용한 인지무선 통신장치의 점대점 통신방법

정회원 이 혜 원*, 한 광 훈*, 준회원 황 영 우*, 종신회원 최 성 현*

Point-to-Point Communication of Cognitive Radios via Underlay Spectrum Sharing

Hyewon Lee*, Kwanghun Han* *Regular Members*,
Youngwoo Hwang* *Associate Member*, Sunghyun Choi* *Lifelong Member*

요 약

인지무선 통신장치(cognitive radio)는 일반적으로 일차 사용자(primary user)와의 간섭을 피하기 위해 어떠한 일차 사용자도 점유하고 있지 않은 주파수 자원을 활용한다. 그러나 비어있는 주파수 자원을 발견할 수 없을 경우, 인지무선 통신장치는 언더레이(underlay) 형태로 일차 사용자들과 주파수를 공유할 수 있으며, 이 때 스스로의 통신이 일차 사용자들에게 간섭을 미치지 않도록 전송 전력을 조절해야 한다. 본 논문은 셀룰라 네트워크의 상향 링크 주파수 자원을 사용하는 언더레이 주파수 공유 방법을 제안한다. 셀룰라 네트워크의 범위 안에 존재하는 한 쌍의 인지무선 통신장치들이 단방향 점대점(point-to-point) 통신 링크를 생성할 때 사용할 수 있는 전송 전력의 재한을 계산하고, 계산된 전송 전력을 적용할 수 있는 실용적인 상향 링크 공유 방안을 제시한다. 또한 시뮬레이션을 통해 제안된 상향 링크 공유 방안이 하향 링크 주파수 자원을 공유하는 것에 비해 인지무선 통신장치의 부담(overhead)을 줄일 뿐만 아니라 점대점 통신 링크의 수율(throughput) 성능을 향상시킬 수 있음을 보인다.

Key Words : Wireless Networking, Cognitive Radio, Dynamic Spectrum Access, Underlay Spectrum Sharing, Point-to-Point Communication

ABSTRACT

Cognitive radios are typically known to exploit vacant spectrum resources in order not to interfere with primary communication systems. However, cognitive radios may not be able to secure a clear spectrum band in a bustling spectrum band. Underlay spectrum sharing provides a way to cope with such a spectrum sharing problem. Cognitive radios share the same spectrum band with the spectrum licensees, i.e., primary users, by adjusting signal transmission power so as not to severely deteriorate the performance of the primary users. We propose an underlay spectrum sharing policy leveraging uplink spectrum resource to be used in a cellular network. A pair of end terminals attempts to establish a direct point-to-point link, and perform as cognitive radios in the sense that they share the uplink radio resource of other primary users. We formulate the transmit power constraints of the cognitive radios and propose a practical uplink band sharing framework. Our simulation results demonstrate that such an uplink sharing underlay direct link can enhance the throughput performance of point-to-point link with low overhead.

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT산업원천기술개발사업의 일환으로 수행하였음 (2007-F-038-03, 미래 인터넷 핵심기술 연구)

* 서울대학교 전기컴퓨터공학부 뉴미디어통신공동연구소 멀티미디어무선통신망연구실 ({hwlee, khhan, ywhwang}@mwnl.snu.ac.kr, schoi@snu.ac.kr).

논문번호 : KICS2009-06-231, 접수일자 : 2009년 6월 23일, 최종논문접수일자 : 2009년 9월 9일

Ⅰ. 서 론

오늘날 다양한 무선 접속 기술들이 보다 널리 보급되면서 주파수 자원은 점점 부족해지고 있는 추세이며, 이에 따라 주파수 자원의 이용 효율을 증진시키고자 하는 노력이 계속되어 왔다. 유연하고 적응적인 주파수 자원 이용 방안으로 제시된 동적 주파수 접속(dynamic spectrum access, DSA)과 소프트웨어 라디오(software defined radio, SDR)로 구현되는 인지무선 통신(cognitive radio)기술이 그 대표적인 예라 할 수 있다[1]-[3].

인지무선 통신장치는 주파수 자원을 기회적(opportunistic)으로 이용한다는 점에서 이차 사용자(secondary user)로도 불리며, 특정 주파수 자원에 대해 이용 권한(license)을 가지는 일차 사용자(primary user)와의 주파수 자원 공유 문제를 크게 두 가지 방법으로 해결한다. 1) 일차 사용자가 감지(detect)된 주파수 대역은 통신에 이용하지 않거나, 2) 이차 사용자의 주파수 자원 사용으로 인한 간섭이 일차 사용자의 통신 품질을 저하시키지 않도록 전송 전력을 낮춘다. 이 때 전자의 방법을 오버레이(overlay) 주파수 공유, 후자의 방법을 언더레이(underlay) 주파수 공유 방법이라 한다[4].

한편, 최근 애드 혹(ad hoc) 네트워크의 무선 점대점(point-to-point, p2p) 통신은 별도의 인프라(infrastructure)를 설치하지 않고도 VoIP (voice over IP)나 로컬 파일 공유와 같은 서비스를 저렴하게 제공할 수 있다는 점에서 각광받고 있다. 여기에 언더레이 인지무선 통신기술을 도입함으로써 이차 사용자들이 일차 사용자들의 주파수 자원을 기회적으로 공유하는 인지무선 애드 혹 (cognitive radio ad hoc) 네트워크를 구성하는 연구가 활발하게 이루어지고 있는 추세이다[5]-[10]. 그러나 현재까지 발표된 대부분의 언더레이 주파수 공유 기술 연구 결과들은 이차 사용자들이 모든 네트워크 링크의 채널 이득(gain) 정보를 알고 있다고 가정하고 있으며, 이러한 가정은 이차 사용자들의 실제 동작을 고려할 때 비현실적이다.

본 논문은 일차 사용자들이 셀룰라 네트워크를 구성하고 있는 환경에서 이차 사용자들의 점대점 통신을 위한 현실적인 주파수 자원 공유 방안을 제시한다. 한 쌍의 이차 사용자들은 점대점 통신을 위해 일차 사용자의 네트워크로부터 주파수 자원의 스케줄링 정보와 허용 간섭 마진(tolerable interference margin) 정보를 획득하고, 일차 사용자의 상향 링크(uplink) 주파수 자원을 공유하여 통신한다. 이와 같은 상향 링크 주파수 자원 공유는 이차 사용자들이 일차 사용자들에게 미치는 간섭을 제어해야 하는 대상의 영역을 줄여 주며, 따라서 이차 사용자들의 통신을 위한 부담을 덜어 준다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 본 논문이 다루고 있는 일차 및 이차 사용자들의 시스템 환경을 설명하고, 일차 사용자에게 적정 수준의 간섭을 미치는 이차 사용자의 전송 전력 제한(transmit power limit)을 계산한다. 이러한 전송 전력 제한을 유도하기 위한 이차 사용자의 동작 과정을 3장에서 설명하고, 4장은 간단한 시뮬레이션을 통해 제안된 상향 링크 주파수 자원 공유 방법의 성능을 검증한다. 끝으로 5장에서 결론과 함께 논문을 맺는다.

Ⅱ. 시스템 모델 및 전송 전력 계산

일차 사용자의 네트워크는 주파수 분할 송수신(frequency division duplex) 혹은 시 분할 송수신(time division duplex) 방식을 채용하며 기지국(base station, BS)이 셀 중심에 위치하는 셀룰라 네트워크라 가정한다. 하나의 셀 내에는 N 개의 통신 단말들이 존재하며, 이들을 각각 PU_i (i=1,2,…,N)로 표기한다. 기본적으로 N 개의 모든 통신 단말들은 일차 사용자로써 동작하며 서로 겹치지 않는 전용 주파수 자원(dedicated spectrum resource)를 할당받아 기지국과 통신한다고 가정한다. N 개의 통신 단말 중 두 개의 통신 단말이 상호간에 단방향(unidirectional) 점대점 통신 링크를 생성하려고 하는 수요가 생기게 되면, 두 개의 통신 단말은 이차 사용자로써, 나머지 N-2 개의 통신 단말은 일차 사용자로써 동작하며, 점대점 통신 링크의 전송자(transmitter)와 수신자(receiver)를 각각 CR_{tx}와 CR_{rx}로 표기한다. CR_{tx}는 N-2 개의 일차 사용자가 사용중인 주파수 자원 중 특정 조건을 만족하는 일부를 일차 사용자와 공유(band sharing)하여 점대점 통신 트래픽을 전송하며, 일차 사용자가 해당 주파수 자원을 상향 링크 트래픽을 전송하는데 사용하는지 하향 링크 트래픽을 수신하는데 사용하는지에 따라 상향 링크 주파수 공유(uplink band sharing, 그림 1)과 하향 링크 주파수 공유(downlink band sharing, 그림 2)로 구분한다. 또한 일차 사용자 들의 전송 전력은 고정되어 있으며, 이산 변복조 방식(discrete modulation and coding scheme)을 이용한다고 가정한다. 이와 같은 가정 아래 CR_{tx}가 일차 사용자의

신호 대 간섭 잡음 비율(signal-to-interference-noise-ratio, SINR) 요구치를 만족시킬 수 있는 전송 전력을 계산하면 다음과 같다.

먼저 함수 $f(\,)$를 정의한다. 함수 $f(\,)$는 무선 채널의 신호 대 간섭 잡음 비율(dB)을 정의역으로, 주어진 신호 대 간섭 잡음 비율과 이산 변복조 방식, 고정 전송 전력으로 달성할 수 있는 최대 채널 용량(link rate, bits/symbol)을 치역으로 가진다. 예를 들어 0.75dB ~ 3dB의 신호 대 간섭 잡음 비율에서 QPSK 변조방식과 1/12 부호화율(coding rate)의 변복조 방식을 사용할 수 있는 경우, $f(2\,dB)=1/6\,bits/symbol$이 된다. 또한 계산 과정에서 쓰이는 변수들은 표 1에 정리되어 있다.

그림 1과 그림 2는 각각 상향 링크 주파수 공유 방법과 하향 링크 주파수 공유 방법을 도시하고 있다. 먼저 상향 링크 주파수 공유 방법의 경우, 일차 사용자 PU_i의 통신 품질을 저하시키지 않는 한도 내에서 일차 사용자가 허용할 수 있는 간섭 마진(tolerable interference margin)은 식 (1)과 같이 주어진다.

$$I_i^{UL} = \max(\Delta I),\quad s.t., f\left(\frac{G_i P_i^{UL}}{N_0}\right) = f\left(\frac{G_i P_i^{UL}}{N_0 + \Delta I}\right). \tag{1}$$

여기서 N_0는 배경 잡음(background noise) 전력을 나타낸다. 따라서 CR_{tx}는 식(1)에서 주어진 간섭 마진보다 작은 전송 전력을 이용해야 일차 사용자 PU_i의 성능에 영향을 미치지 않게 된다. 결과적으로 CR_{tx}가 상향 링크 주파수 공유에서 사용할 수 있는 전송 전력은 간섭 마진보다 작고, 통신 링크의 최소 SINR을 만족하는 전송 전력보다 커야 한다. 다시 말해

$$P_{i,CRtx}^{UL} = \left\{ P \middle| P \geqq P_{CRtx,\min}^{UL}, P \leqq \frac{I_i^{UL}}{G_{CRtx}} \right\}, \tag{2}$$

로 주어지며, 이 때 $P_{CRtx,\min}^{UL}$는

$$P_{CRtx,\min}^{UL} = \min(P_{CRtx}),\quad s.t., \frac{G_{CRtx,rx} P_{CRtx}}{N_0 + G_{i,CRtx} P_i^{UL}} \geqq SINR_{\min}, \tag{3}$$

로 표현된다. 즉 식 (3)은 PU_i가 상향 링크로 전송중인 신호가 CR_{tx}의 통신에 간섭을 미칠 때, 이 간섭에도 불구하고 통신이 가능한 CR_{tx}의 최소 필요 전력을 의미한다.

표 1. 이차 사용자의 전송 전력 분석에 사용된 변수들

변수	의미
G_{CRtx}	셀룰라 기지국과 CRtx 사이의 채널 이득
G_{CRrx}	셀룰라 기지국과 CRrx 사이의 채널 이득
$G_{i,\,CRtx}$	PUi와 CRtx 사이의 채널 이득
$G_{i,\,CRrx}$	PUi와 CRrx 사이의 채널 이득
G_i	셀룰라 기지국과 PUi 사이의 채널 이득
$G_{CRtx,\,rx}$	CRtx와 CRrx 사이의 채널 이득
P_i^{UL}	PUi의 상향 링크 전송 전력
P_i^{DL}	PUi의 하향 링크 전송 전력
$P_{i,\,CRtx}^{UL}$	PUi의 상향 링크를 공유하는 CRtx의 전송전력
$P_{i,\,CRtx}^{DL}$	PUi의 하향 링크를 공유하는 CRtx의 전송전력
$SINR_{\min}$	통신이 가능한 최소한의 SINR

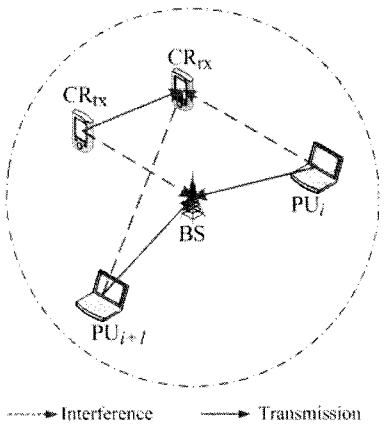


그림 1. 상향 링크 주파수 공유

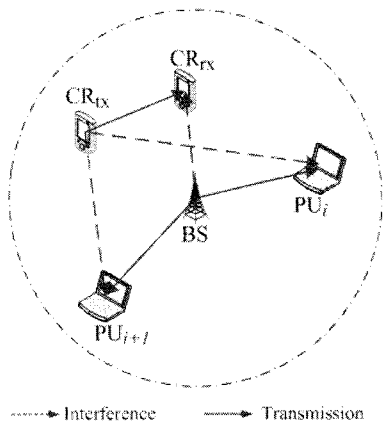


그림 2. 하향 링크 주파수 공유

이 때 식 (2)의 두 부등식에서 간섭 마진에 의해 결정된 CR_{tx}의 전송 전력 제한 I_i^{UL}/G_{CRtx}이 $P_{CRtx,\min}^{UL}$ 보다 작은 경우, 두 부등식의 교집합이 존재하지 않는다. 이는 일차 사용자가 CR_{tx}에 미치는 간섭 때문에, CR_{tx}에게 허용된 간섭 마진보다 큰 간섭을 미치지 않고서는 CR_{tx}의 통신이 불가능함을 의미한다. 이와 같은 경우 CR_{tx}의 전송 전력은 0으로 결정되어 PU_i의 상향 링크 주파수 자원을 공유할 수 없도록 한다.

마찬가지 방법으로 하향 링크 주파수 공유의 전송 전력 제한을 계산할 수 있다. 하향 링크 주파수 공유 방법에서 일차 사용자가 허용할 수 있는 간섭 마진을 식 (1)과 유사하게 표현하면

$$I_i^{DL} = \max(\Delta I),$$
$$s.t., f\left(\frac{G_i P_i^{DL}}{N_0}\right) = f\left(\frac{G_i P_i^{DL}}{N_0 + \Delta I}\right), \quad (4)$$

와 같다. 따라서 CR_{tx}가 하향 링크 주파수 공유에서 사용할 수 있는 전송 전력은

$$P_{i,CRtx}^{DL} = \left\{ P \middle| P \geq P_{CRtx,\min}^{DL}, P \leq \frac{I_i^{DL}}{G_{i,CRtx}} \right\}, \quad (5)$$

이며, 여기서 $P_{CRtx,\min}^{DL}$는

$$P_{CRtx,\min}^{DL} = \min(P_{CRtx}),$$
$$s.t., \frac{G_{CRtx,rx} P_{CRtx}}{N_0 + G_{i,CRtx} P_i^{DL}} \geq SINR_{\min}, \quad (6)$$

와 같이 계산된다. 식 (2)에서의 결과와 동일하게, 식 (5)에서도 두 부등식의 교집합이 존재하지 않는 경우에는 CR_{tx}의 전송 전력을 0으로 제한하고, CR_{tx}가 PU_i의 하향 링크 주파수 자원을 공유할 수 없도록 한다.

Ⅲ. 상향 링크 주파수 공유 방법

식 (2)와 식 (5)에서 주어지는 이차 사용자의 최대 전송 전력을 계산하기 위해, CR_{tx}는 일차 사용자 PU_i의 간섭 마진과 CR_{tx}에서 일차 사용자까지의 채널 이득 정보를 필요로 한다. 다시 말해, CR_{tx}는 채널 이득 정보를 통해 CR_{tx}가 사용하는 전송 전력이 일차 사용자에게 미칠 것으로 예측되는 간섭 수준을 계산할 수 있고, 결과적으로 예측 간섭 수준이 PU_i의 간섭 마진보다 작도록 이차 사용자의 전송 전력을 결정하게 된다.

하향 링크 주파수 공유의 경우 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 이차 사용자의 통신은 일차 사용자의 셀룰라 네트워크 내의 모든 통신 단말(end terminal)들에게 잠재적으로 간섭을 미치게 된다. 따라서 이차 사용자는 최대 전송 전력을 계산하기 위해 모든 일차 사용자 통신 단말들로 향하는 채널 정보를 필요로 하게 되며, 이는 이차 사용자에게 큰 부담이 될 수 있다. 그러나 그림 1에서 도시하고 있는 상향 링크 주파수 공유를 이용하면 셀룰라 네트워크의 기지국으로 향하는 간섭 수준만을 제어하면 되기 때문에, 채널 정보를 취득하기 위한 부담이 하향 링크 주파수 공유에 비해 현저히 낮아진다.

보다 구체적인 상향 링크 공유 방법은 다음과 같다. 시스템 모델에서 가정한 바와 같이 이차 사용자들은 기본적으로 일차 사용자의 셀룰라 네트워크에 포함되어 있기 때문에, 셀룰라 네트워크에서 상향 링크의 전송 전력을 결정하는데 일반적으로 이용되는 채널 탐지 과정(ranging process)을 이용 가능하다고 볼 수 있다. 따라서 배경 잡음 전력을 사전에 알고 있는 CR_{tx}는 채널 탐지 과정을 통해 CR_{tx}와 기지국 사이의 채널 이득을 추정할 수 있다. 한편 간섭 마진은 전적으로 각 PUi에 동작에 의해 결정되는 값이기 때문에 CR_{tx}에서 추정하는 것이 불가능하며, 따라서 CR_{tx}의 상향 링크 공유를 위한 기지국의 도움이 필요하다. 즉, 셀룰라 기지국은 각 PU_i가 사용 중인 변복조 방식과 신호 대 간섭 잡음 비율을 바탕으로 간섭 마진을 계산하고, 이를 CR_{tx}에게 전달함으로써 CR_{tx}의 동작을 지원한다. 기본적으로 각 일차 사용자들은 셀룰라 네트워크의 주파수 자원 활용에 대한 스케줄링(scheduling) 정보를 필요로 하기 때문에, 기지국은 스케줄링 정보에 간섭 마진 정보를 끼워 넣음으로써(piggyback) 간단하게 추가 제공할 수 있다. 따라서 셀룰라 기지국과의 통신이 가능한 이차 사용자들은 직접 셀룰라 기지국과 정보를 교환하거나, 일차 사용자의 스케줄링 정보를 도청(overhear)함으로써 간섭 마진 정보를 얻을 수 있다.

Ⅳ. 언더레이 주파수 공유 방법의 성능 평가

이 장에서는 시뮬레이션을 통하여 언더레이 주파수 공유 방법의 성능을 검증하기 위해 다음과 같은 시뮬레이션 환경을 고려한다. 일차 사용자의 셀룰라

표 2. 본 논문에서 고려하는 이산 변복조 방식

SINR 범위 (dB)	변조방식	부호화율	채널용량 (bits/symbol)
$-5.71 \leqq SINR < -3.82$	QPSK	1/12	0.167
$-3.82 \leqq SINR < -0.30$	QPSK	1/8	0.25
$-0.30 \leqq SINR < 2.80$	QPSK	1/4	0.5
$2.80 \leqq SINR < 5.60$	QPSK	1/2	1.0
$5.60 \leqq SINR < 8.50$	QPSK	3/4	1.5
$8.50 \leqq SINR < 12.00$	16QAM	1/2	2.0
$12.00 \leqq SINR < 13.00$	16QAM	3/4	3.0
$13.00 \leqq SINR < 15.95$	64QAM	1/2	3.0
$15.95 \leqq SINR < 17.30$	64QAM	2/3	4.0
$17.30 \leqq SINR < 18.32$	64QAM	3/4	4.5
$18.32 \leqq SINR$	64QAM	5/6	5.0

네트워크는 표 2에서 정리한 바와 같은 이산 변복조 방식을 사용한다고 가정한다. 표 2의 *채널 용량* 열은 각 변복조 방식에서 달성할 수 있는 물리 계층(physical layer)의 수율(throughput)성능을 bits/symbol 단위로 나타낸다. 일차 사용자의 전송 전력은 모두 200 mW (= 23 dBm)로 고정되어 있다고 가정하고, 배경 잡음은 0.2 pW (= −97 dBm)로 가정한다. 각 통신 링크의 채널 이득은 다음 식과 같이 10 dB 표준 편차를 가지는 섀도잉(shadowing) 효과를 고려한 거리 감쇄(pathloss) 채널 모델에 의해 결정된다고 가정 한다[11].

$$G(x) = 40\log_{10}\frac{x}{1000} + 30\log_{10} f + 49. \qquad (7)$$

여기서 x는 통신 링크의 길이를 m 단위로 나타내고, f는 중심 주파수 대역을 MHz 단위로 나타낸다. 본 논문에서는 2300 MHz의 중심 주파수를 가정한다.

일차 사용자의 셀룰라 네트워크는 시 분할 송수신 방식(time division multiple access, TDMA)을 사용하는 249.1 m 반경[1]의 원형 셀 하나를 고려하며, 중심에 기지국이 위치하고 셀 내부에 N-2 개의 일차 사용자들이 무작위로 분포하는 셀 구조를 가정한다.

N-2 개의 일차 사용자들은 1 단위 시간을 N-2 개의 시간 슬롯(time slot)으로 동등하게 나누어, 각각 1/(N-2)의 단위 시간만큼 임의의 순서대로 상향 링크 트래픽 또는 하향 링크 트래픽을 전송한다고 가정한다. 이 때 상향 링크 주파수 공유 방법과 하향 링크 주파수 공유 방법의 성능을 보다 정확하게 비교하기 위해, 상향 링크 주파수 공유 시나리오에서는 모든 일차 사용자들이 상향 링크 트래픽을, 하향 링크 주파수 공유 시나리오에서는 모든 일차 사용자들이 하향 링크 트래픽을 전송하는 환경을 고려한다.

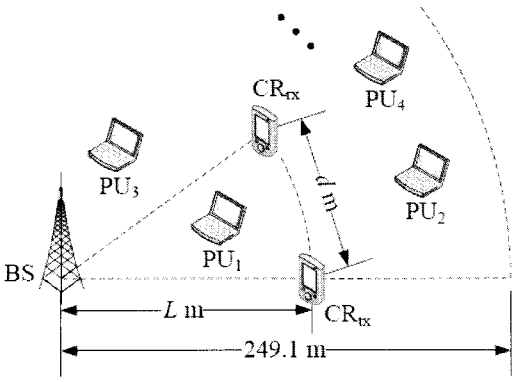


그림 3. 시뮬레이션에 이용된 네트워크의 구조

한편 CR_{tx}와 CR_{rx}는 셀 중심의 기지국으로부터 L m만큼 떨어진 동심원상에서 d m의 직선거리를 두고 위치한다. 또한 CR_{tx}는 일차 사용자들이 사용하고 있는 N-2 개의 시간 슬롯 중 식 (2) 혹은 식 (5)를 만족하는 시간 슬롯에서 일차 사용자와 상향 링크 혹은 하향 링크 주파수 자원을 공유한다. 구체적인 네트워크 구조는 그림 3에 도시되어 있다.

그림 4는 N=10인 경우 100,000 회의 시뮬레이션에 걸쳐 평균된 CR_{tx}의 수율 성능을 보여 준다. 먼저 점대점 링크의 길이가 짧아질수록, 그리고 이차 사용자들이 셀의 변두리에 위치할수록 이차 사용자의 수율 성능이 증가하는 것을 알 수 있다. 특히 상향 링크 주파수 공유와 하향 링크 주파수 공유를 비교해 보면, 이차 사용자들이 셀의 중심에 위치하는 경우 상향 링크 주파수 공유가 하향 링크 주파수 공유에 비해 다소 높은 수율 성능을 나타내지만, 이차 사용자들이 셀의 변두리로 옮겨 갈수록 수율 성능의 격차는 줄어든다. 이는 이차 사용자들이 셀룰라 기지국으로부터 받는 간섭의 변화에 기인한다. 다시 말해, 셀의 중심에서는 셀의 변두리에 이차 사용자들이 존재할 경우에 비해 CR_{rx}가 상대적으로 셀룰라 기지국에 가까워지므로, 일차 사용자(셀룰라

1) 이 셀 반경은 기지국에서 200 mW의 전송 전력을 이용할 때 표 2에서 최소 SINR인 −5.71 dB를 달성하는 거리이다.

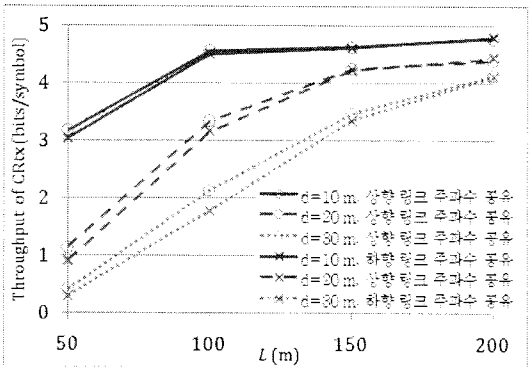


그림 4. CRtx의 수율 성능, N=10

기지국)의 하향 링크 트래픽 전송에 의해 이차 사용자의 통신이 높은 간섭을 받게 되기 때문이다. 그러나 이차 사용자들이 셀의 변두리에 위치하면 이러한 간섭이 줄어들게 되므로, 하향 링크 주파수 공유는 평균적으로 상향 링크 주파수 공유와 비슷한 성능을 보인다.

V. 결 론

본 논문은 셀룰라 네트워크 내부에 존재하는 이차 사용자들을 위한 언더레이 방식의 주파수 공유 방법을 제안하였다. 일차 사용자의 간섭 마진 정보와 일차-이차 사용자 사이의 채널 이득 정보를 이용하여 이차 사용자들의 전송 전력을 수식화 하였고, 실질적인 이차 사용자들의 동작을 위한 동작 방법을 제시하였다. 또한 간섭 링크에 대한 관찰을 통해, 셀룰라 네트워크의 상향 링크 주파수 자원을 공유하는 것이 하향 링크 주파수 자원을 공유하는 것에 비해 전송 전력 결정을 위한 정보 제공 차원에서 이차 사용자들의 동작을 보다 간단하게 할 수 있다는 점을 발견하였다. 나아가 시뮬레이션 결과를 통해 상향 링크 주파수 공유 방법이 셀의 중심부에서 일차 사용자들로부터 받는 간섭을 줄임으로써 보다 높은 수율 성능을 보이는 것을 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] J. Mitola and G. Q. Maguaire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," IEEE Personal Commun. Mag., Vol. 6, No. 4, pp. 13-18, Aug., 1999.

[2] J. Mitola, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio," Ph.D. dissertation, Royal Institute of Technology (KTH), Stockholm, Sweden, 2000.

[3] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 23, No. 2, pp. 201-220, Feb., 2005.

[4] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "NeXt Generation/Dynamic Spectrum Access/Cognitive Radio Wireless Networks: A Survey," Comput. Networks, Vol. 50, No. 13, pp. 2127-2159, May, 2006.

[5] O. Simeone, I. Stanojev, S. Savazzi, Y. Bar-Ness, U. Spagnolini, and R. Pickholz, "Spectrum Leasing to Cooperating Secondary Ad Hoc Networks," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 26, No. 1, pp. 203-213, Jan., 2008.

[6] Y. Chen, C. Yu, Z. Zhang, H. H. Chen, and P. Qiu, "On Cognitive Radio Networks with Opportunistic Power Control Strategies in Fading Channels," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 7, No. 7, pp. 2752-2761, July, 2008.

[7] M. H. Islam, Y. C. Liang, and A. T. Hoang, "Joint Power Control and Beamforming for Cognitive Radio Networks," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 7, No. 7, pp. 2415-2419, July, 2008.

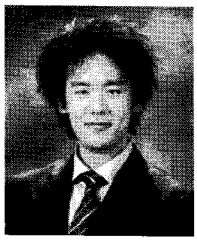
[8] R. Zhang and Y. C. Lian, "Exploiting Multi-Antennas for Opportunistic Spectrum Sharing in Cognitive Radio Networks," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 2, No. 1, pp. 88-102, Feb., 2008.

[9] D. I. Kim, L. B. Le, and E. Hossain, "Joint Rate and Power Allocation for Cognitive Radios in Dynamic Spectrum Access Environment," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 7, No. 12, pp. 5517-2419, Dec., 2008.

[10] L. B. Le and E. Hossain, "Resource Allocation for Spectrum Underlay in Cognitive Radio Networks," IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 7, No. 12, pp. 5206-5315, Dec., 2008.

[11] ITU-T Reccomendation M.1225, Guidelines for evaluation of radio transmission technologies for IMT-2000, Feb., 1997, Avaiable at: http://www.itu.int/rec/R-REC-M.1225/en.

이 혜 원 (Hyewon Lee) 정회원

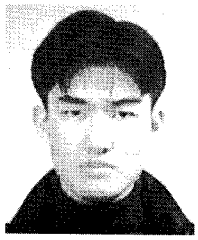


2005년 2월 서울대학교 전기공학부 학사

2005년 3월~현재 서울대학교 전기공학부 석박사통합과정

<관심분야> WLAN, CR 네트워크, 4G 네트워크

한 광 훈 (Kwanghun Han) 정회원

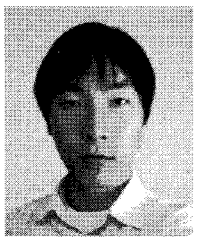


2004년 2월 서울대학교 전기공학부 학사

2004년 3월~현재 서울대학교 전기공학부 석박사통합과정

<관심분야> 4G 네트워크, 무선자원관리, CR 네트워크

황 영 우 (Youngwoo Hwang) 준회원



2007년 2월 고려대학교 전기전자전파공학부 학사

2008년 2월 서울대학교 전기공학부 석사

2008년 3월~현재 서울대학교 전기공학부 박사과정

<관심분야> CR 네트워크, 무선자원관리

최 성 현 (Sunghyun Choi) 종신회원

1992년 2월 한국과학기술원 전자공학부 학사

1992년 2월 한국과학기술원 전자공학부 석사

1999년 9월 미시건대학교 전자공학 박사

1999년 9월~2002년 8월 미국 필립스 연구센터 수석 연구원

2002년 9월~현재 서울대학교 전기공학부 교수

<관심분야> WLAN/WMAN/WPAN, 무선/이동 네트워크, 4G 네트워크, 메쉬 네트워크, CR 네트워크, 무선자원관리