

# 전송 스케줄 및 사용자 위치 정보를 이용한 무선 인지 네트워크의 동일 주파수 대역 공존 방안

정회원 이규호\*, 최재각\*, 종신회원 유상조\*

## The Coexistence Solution using Transmission Schedule and User's Position Information in Cognitive Radio Networks

Kyu-Ho Lee\*, Jae-Kark Choi\* *Regular Members*, Sang-Jo Yoo\* *Lifelong Member*

### 요 약

CR 네트워크에서 비인가 사용자는 인가 사용자에게 간섭 영향을 주지 않기 위해 주기적인 센싱 결과를 기반으로 유휴 채널에 기회적으로 접근한다. 하지만 비인가 송신기의 간섭 범위 내에 숨겨진 인가 수신기들이 존재할 수 있기 때문에 지역적인 센싱만으로는 인가 사용자들에 대한 완전한 보호를 보장할 수 없게 된다. 또한 유휴 채널이 존재하지 않을 경우 비인가 시스템의 지속적인 서비스 수행이 불가능해진다. 따라서 동일 채널에서의 인가 시스템들을 보호함과 동시에 비인가 사용자들의 채널 이용률을 최대화하기 위해서 다양한 네트워크 시나리오를 염두에 두고 적절한 공존 방안을 도출할 필요가 있다. 본 논문에서는 uplink/downlink 스케줄과 사용자 위치 정보를 사용하여 인가 사용자에게 간섭을 주지 않는 비인가 사용자의 공존 조건을 제안한다. 비인가 기지국으로 주어지는 스케줄 정보와 인가 및 비인가 사용자의 위치 정보 획득 가능 여부에 따라 네 가지 시나리오로 분류하였고, 각 시나리오 별로 인가 사용자 및 비인가 사용자의 uplink/downlink 스케줄 조합을 고려하여 공존 상황에서의 비인가 사용자의 최대 가능한 처리량을 분석하였다. 컴퓨터 모의실험 결과는 비인가 장치들의 통신 가능성을 향상시키기 위해서 제안된 방식이 실제 무선 인지 시스템에 적용될 수 있음을 다양한 상황 하에서 보여준다.

**Key Words** : Coexistence, Cognitive Radio, Geo-location database, Uplink/Downlink, Interference-free

### ABSTRACT

In cognitive radio networks, a secondary user opportunistically accesses an empty channel based on periodic sensing results for avoiding possible interference to the primary users. However, local sensing does not guarantee the full protection of the primary users because hidden primary receivers may exist within the interference range of the secondary transmitter. To protect primary systems and simultaneously to maximize utilization of the secondary users, we need to derive carefully designed coexistence solutions for various network scenarios. In this paper, we propose coexistence conditions without any harmful interference in accordance with the uplink/downlink schedule and user position. We have classified the coexistence conditions into four different scenario cases depending on the provided information to the secondary network basestations. Computer simulation results demonstrated that the proposed method can be applied to the real cognitive radio system to improve the communication probability of CR devices.

※ 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초사업연구임(No.2011-0021152).

\* 인하대학교 정보통신대학원(ghlee1980@gmail.com, jkc@inha.edu, sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2011-10-004, 접수일자 : 2011년 10월 17일, 최종논문접수일자 : 2012년 3월 16일

## I. 서 론

최근 미국 FCC (Federal Communications Commission)의 보고에 따르면, 인가 (primary) 시스템에게 할당된 주파수가 대부분의 시간동안 사용되지 않고 있으며<sup>[1]</sup>, 이는 한정된 무선자원이 효율적으로 활용되지 않고 있다는 사실을 반증한다. 무선 인지 (CR; Cognitive Radio) 기술은 이러한 주파수 부족 문제를 해결하고 무선 자원의 효율성을 높이기 위한 대안으로서, Joseph Mitola III에 의하여 처음으로 제안되었다<sup>[2]</sup>. CR은 기존 시스템에 간섭을 주지 않으며, 시간 및 공간적으로 사용되지 않고 있는 주파수 자원을 사용할 수 있게 해준다. 무선 인지 기술과 관련하여, 현재 미국에서는 FCC에 의해 승인된 IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Networks) 워킹 그룹을 통하여 미국 내 TV 대역에 대한 세계 최초의 CR 기술 상용 표준이 진행되고 있으며<sup>[3]</sup>, 전 세계적으로 스펙트럼 센싱, 결정, 공유 및 이동 기술 등 다양한 분야에서 CR 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[4-6]</sup>.

기존의 CR 연구들은 주로 비인가 (secondary) 시스템이 인가 시스템에게 간섭을 주지 않기 위해 사용되지 않는 유휴 채널을 찾는 지역적 센싱 (local sensing) 방식에 초점을 맞추고 있다<sup>[7]</sup>. 하지만, 잘못된 경고 (false alarm) 확률 혹은 잘못된 탐지 (mis-detection) 확률과 같은 센싱 오류로 인하여 올바르게 판단을 내릴 가능성이 있다<sup>[8]</sup>. 또한 TV 수신기와 같이 수신만 하는 인가 장치의 경우 비인가 송신기 주위에는 숨겨진 인가 수신기들 (hidden primary receiver problem)이 존재할 가능성이 있다. 이는 곧, 지역적인 센싱 기술만으로는 완벽히 주위의 채널 상황을 인지할 수 없음을 의미하고, 그로 인해 비인가 시스템이 인가 시스템에게 간섭을 주거나 자신이 전송할 수 있는 전송기회를 놓치게 되는 상황이 발생할 수 있음을 시사한다. 기존 CR 연구에 있어 고려되지 않았던 또 다른 사항은 비인가 시스템이 주위 환경을 완전히 인지할 수 있게 되더라도, 비인가 시스템이 사용할 수 있는 유휴 채널이 존재하지 않을 경우에 대한 대책이 없다는 것이다. 이는 비인가 시스템으로 하여금 가능한 유휴 채널이 발견될 때 까지 계속해서 채널을 센싱하게 할 뿐만 아니라 센싱 수행시간 동안 통신을 하지 못하여 끊임없는 서비스를 보장할 수 없게 한다.

FCC의 유휴 채널 사용 정책에 관한 최근 수정사

항 중 하나는 특정 장치의 사용에 있어서 스펙트럼 센싱 요구사항을 제거하는 것이다<sup>[9]</sup>. 이는 저전력 무선 마이크로폰과 같은 비인가 장치들이 이미 기존 스펙트럼 내에서 운영 중이기 때문에 어떠한 신기술보다도 장치 사용의 우선권을 가져야 한다는 취지이다. 따라서 FCC는 센싱에 관한 요구사항을 버릴 필요가 있다고 보고 비인가 장치가 브로드캐스팅할 때 서로의 간섭으로부터 장치를 보호하도록 주기적 업데이트가 이루어지는 위치 (Geo-location) 기반 데이터베이스의 사용을 권고하고 있다<sup>[10,11]</sup>. 이 데이터베이스는 인가 시스템들의 전송 스케줄 정보와 위치 정보<sup>[12-14]</sup> 등을 포함하고 있으며, 이러한 정보들을 이용하여 인가 시스템과 비인가 시스템 사이의 공존 가능성이 강화되리라 예상하고 있다.

본 논문에서는 uplink/downlink (TDD) 스케줄 정보와 사용자들의 위치 정보를 이용하여 비인가 시스템이 인가 시스템에 간섭을 주지 않는 동일 채널에서의 공존 조건을 제시하고자 한다. 이를 위해, 스케줄 정보와 인가 및 비인가 사용자의 위치 정보 획득 가능여부에 따라 네 가지 시나리오로 공존 상황을 분류하였고, 각각의 시나리오에서 인가 및 비인가 사용자의 uplink/downlink 조합을 고려하여 비인가 사용자들의 최대 가능한 처리량을 분석하였다. 특히, 본 논문에서는 지역적 센싱에 의한 정보뿐만 아니라 위치 인식 데이터베이스로부터 공유되는 정보들을 이용하여 간섭을 주지 않는 비인가 네트워크의 통신 범위를 최대화하는 조건을 제시하며, 유휴 채널이 존재하지 않는 상황 하에서도 지속적으로 통신할 수 있는 채널 공존 방법을 제안한다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같은 구성을 갖는다. II장에서는 기존의 CR 시스템과 같이 지역적 센싱만으로 채널을 선택하는 방식이 갖는 문제점과 유휴 채널이 존재하지 않는 상황에서의 공존 채널 선택 방법을 기술한다. III장에서는 본 논문에서 제안하는 동일 채널에서의 공존 방법과 이를 위한 비인가 사용자의 통신 조건을 제시한다. 모의실험 결과는 IV장에서 제시되고, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 채널선택과 서비스 방식에 따른 공존 문제

이번 장은 기존의 CR 네트워크에서 채널을 선택하는 방법과 그에 따른 서비스를 제공하는 방식에서의 문제점을 기술한다. 지역적 센싱에 의한 채널 선택 방식은 완벽히 채널 상황을 인지할 수 없기

때문에 불완전하게 인가 시스템을 보호할 수밖에 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 이웃 인가 시스템들로부터 실제 사용하고 있는 채널정보를 공유받아 사용할 채널을 선택하도록 한다. 하지만 비어있는 채널이 존재하지 않는다면 비인가 시스템이 계속 기다려야 하는 문제가 발생한다. 따라서 비인가 시스템의 서비스가 지속되기 위해 인가 시스템이 사용하는 채널 중 하나를 공유해서 사용하는 방법을 고려할 필요가 있다. 본 논문에서 제안한 시스템은 비어있지 않은 채널을 공존하여 사용할 것이고, 서비스의 중단없이 비인가 사용자들에게 지속적인 서비스를 제공하게 될 것이다.

### 2.1 지역적 센싱에 의한 채널 선택

비인가 시스템은 사용할 채널을 찾기 위해 채널 센싱을 시작하고 임의의 채널에서 주어진 시간 내에 신호가 검출되면 현재 사용 중인 채널로 간주하고, 신호가 검출되지 않으면 미사용 채널로 분류하여 모든 채널에서 인가 시스템의 존재 유무를 판별하게 된다<sup>[15]</sup>. 비인가 시스템이 위치 인식 데이터베이스를 이용하지 않고 자신의 지역적 센싱에만 의존하여 동작하는 경우, 각각의 채널들은 인가 시스템의 채널 사용 여부에 따라 식 (1)과 같은 채널맵 ( $CH_{map}$ )을 형성하게 된다.

$$CH_{map} = CH_{occupied} + CH_{nonoccupied} \quad (1)$$

$CH_{occupied}$ 와  $CH_{nonoccupied}$ 는 각각 현재 인가 시스템에 의해 사용되는 채널 집합과 사용되지 않는 채널 집합을 의미한다. 비인가 시스템은  $CH_{nonoccupied}$ 에서 하나의 채널을 선택하여 서비스를 시작할 수 있지만, 실제로는 식 (2)와 같이  $CH_{nonoccupied}$ 를 완전히 이용가능한 채널 집합으로 판단할 수 없다.

$$CH_{nonoccupied} = CH_{nonuse} + CH_{nonact} + CH_{nonsensed} \quad (2)$$

$CH_{nonuse}$ 는 비인가 시스템 주위에 위치한 인가 시스템들이 실제로 사용하지 않는 채널 집합을,  $CH_{nonact}$ 는 인가 시스템들이 비인가 시스템 주위에 위치하고 있으나 센싱 시간동안 서비스를 수행하지 않아서 비인가 시스템이 신호를 탐지하지 못한 채널 집합을,  $CH_{nonsensed}$ 는 인가 시스템의 신호가 비인가 시스템의 센싱 범위 내에 도달하지 못하는 채널 집합을 각각 의미한다.  $CH_{nonuse}$ 는 완전한 이용 가능 채널 집합이라 할 수 있으며, 비인가 시스템은

이들을 언제든지 사용할 수 있다.  $CH_{nonact}$ 는 인가 시스템이 언제든지 서비스를 수행할 가능성이 있기 때문에 완전한 이용가능채널로 보기 어렵다. 또한  $CH_{nonsensed}$  역시 비인가 시스템의 송신 신호로 인해 숨겨진 인가 수신기 문제가 발생할 수 있기 때문에 완전한 이용가능채널로 보기 어렵다.

결과적으로 지역적 채널 센싱에 의해서는 비인가 시스템의 센싱 범위 내에 위치하고, 채널 센싱 시간 동안 인가 사용자들이 사용 중이어야만 채널 사용 유무를 판단할 수 있기 때문에 모든 상황을 완전히 인지하기 어렵다. 따라서 지역적 센싱 방식은 완벽히 이용가능 채널을 분류해 내는데 한계를 갖는다.

### 2.2 데이터베이스 정보 공유에 의한 채널 선택

앞서 언급한 지역적 센싱의 한계를 극복하기 위하여, 본 절에서는 데이터베이스를 이용한 완전한 이용가능 채널의 분류 방법 및 최적의 공존 채널 선택 방법을 기술한다. 비인가 시스템은 데이터베이스를 통하여 주기적으로 주위에 위치한 인가 시스템들의 실제 사용 채널을 공유받는 것으로 센싱 효과를 대체한다. 실제 이웃하고 있는 인가 시스템들이 사용하는 채널 집합을  $CH_{nbr}$ 이라 하면, 실제 사용할 수 있는 후보 채널 집합( $CH_{candi}$ )은 식 (3)과 같이 표현될 수 있다.

$$CH_{candi} = CH_{map} - CH_{nbr} \quad (3)$$

이렇게 만들어진 후보 채널 집합에서 이용가능 채널이 존재한다면 비인가 시스템은 이중에서 최적의 조건을 갖는 채널(예를 들어, SINR이 가장 좋은 채널)을 선택하여 사용하게 된다. 그러나 만일  $CH_{candi} = \emptyset$ 이라면, 비인가 시스템은 이용 가능한 채널이 갱신될 때까지 서비스를 수행하지 못하게 된다. 이러한 서비스 끊김 현상을 방지하기 위해 비인가 시스템은 인가 시스템에게 간섭을 주지 않는 조건하에, 인가 시스템과 공존이 가능한 최적의 공존 채널을 선택할 수 있어야 한다.

비인가 시스템이 데이터베이스로부터 이웃 인가 시스템들의 채널 정보와 위치 및 전송 범위 정보를 제공받을 수 있다면, 비인가 시스템은 인가 시스템과 공존이 가능하면서도 자신의 서비스를 최대화할 수 있는 최적의 공존 채널을 선택할 수 있다. 그림 1은 두 개의 이웃 인가 시스템( $P_1, P_2$ )이 존재하는 경우 비인가 시스템( $S_i$ )이 이 인가 시스템들

에게 간섭을 주지 않고 자신의 통신 범위를 최대화할 수 있는 최적의 공존 채널을 찾는 방법의 예시를 보여준다.

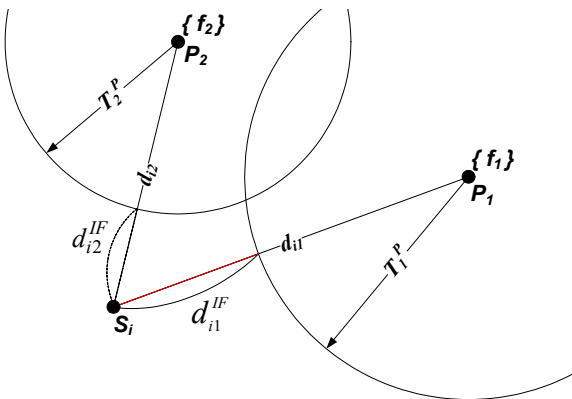


그림 1. 간섭없는 최적의 공존 채널 선택 예시  
Fig. 1. Example of selection interference-free channel.

식별 번호  $j$ 를 갖는 이웃 인가 시스템인  $P_j$ 가 사용하는 채널을  $f_j$ 라고 한다.  $d_{ij}$ 는 식별 번호  $i$ 를 갖는 비인가 시스템  $S_i$ 와 인가 시스템  $P_j$  사이의 거리를,  $T_j^P$ 는  $P_j$ 의 전송 범위 (transmission range)를 각각 의미한다.  $d_{ij}^{IF}$ 는  $S_i$ 가  $P_j$ 의 채널  $f_j$ 를 이용하는 경우  $P_j$ 의 전송 범위 내에 간섭을 주지 않는 최대 거리 (maximum interference-free distance)를 의미한다. 따라서  $d_{ij}^{IF}$ 의 값이 클수록,  $S_i$ 가 송신할 수 있는 범위는 증가하게 된다.  $d_{ij}^{IF}$ 는 식 (4)와 같이 표현될 수 있으며,  $S_i$ 가 선택하게 되는 최적의 공존 채널은 식 (5)와 같이, 인가 시스템에게 간섭을 주지 않는 동시에 자신의 서비스 반경을 최대화할 수 있는 채널이 된다.

$$d_{ij}^{IF} = d_{ij} - T_j^P \quad (4)$$

$$f_j^* = \underset{j}{\operatorname{argmax}}(d_{ij} - T_j^P) = \underset{j}{\operatorname{argmax}}(d_{ij}^{IF}) \quad (5)$$

즉, 비인가 시스템은 인가 시스템들이 이용하는 채널들 중 간섭을 주지 않는 거리가 가장 큰 인가 시스템의 채널을 최적의 공존 채널로 선택하게 될 것이다.

하지만 위와 같은 동일 채널에서의 공존 방식은 인가 시스템에게 미치는 간섭을 최소화하는 데에만 초점이 맞추어져 있고, 비인가 네트워크의 요구사항에 따른 적합한 스케줄링 및 서비스 반경의 변화 등은 고려하지 못하였다. III장에서는 이러한 동일 채널 공존 상황에서 인가 시스템에게 영향을 최소

화하면서 비인가 네트워크의 서비스가 최대화될 수 있는 방법을 제안한다.

### III. 동일 채널에서의 공존 방법과 통신 조건

본 장에서는 제안되는 시스템 모델과 가정을 기술하고, 비인가 네트워크가 데이터베이스로부터 제공받을 수 있는 정보의 종류를 기술한다. 또한 인가 네트워크와 비인가 네트워크가 공존하는 시나리오를 데이터베이스로부터 제공받는 정보 옵션에 따라 층 네 가지로 분류하여, 각각의 시나리오에 대한 공존 조건을 제안한다.

#### 3.1 시스템 모델

본 논문에서는 하나의 인가 네트워크와 하나의 비인가 네트워크가 공존하는 상황을 고려하고 있으며, 이들 두 네트워크 모두 하나의 기지국과 여러 사용자들로 구성된 Infrastructure 기반의 시스템 모델을 대상으로 한다. 비인가 기지국은 위치 인식 데이터베이스와 백본으로 연결되어 있으며, 이를 통하여 인가 기지국의 위치, 전송 범위 및 인가 네트워크의 uplink/downlink 스케줄 정보를 기본적으로 제공받는 것을 전제로 한다. 또한, FDD인 경우는 네트워크의 uplink/downlink 주파수 대역이 고정되기 때문에 비인가 네트워크가 TDD에 비해 인가 네트워크의 스케줄에 유연성있게 대처하지 못하는 한계를 갖는다. 따라서 제안된 시스템의 다양한 효과를 위해 인가 및 비인가 네트워크는 downlink 구간과 uplink 구간으로 구성된 Superframe을 기반으로 한 TDD 형태로 동작하는 것을 가정한다. 비인가 네트워크의 경우에는 인가 네트워크와 동일한 길이의 Superframe을 기반으로 동작하며 uplink-downlink 혹은 downlink-uplink 순서로 구성될 수 있다. 그러나 이 구간들의 길이는 순서에 상관없이 인가 네트워크의 downlink 및 uplink 구간 길이와 각각 동일한 것으로 간주한다. 또한, 비인가 네트워크는 인가 네트워크와 동일 채널에서 동작하는 상황을 전제하며 (2.2절에서  $CH_{candi} = \emptyset$ 인 상황), 이 경우, 해당 공존 채널은 그림 1의  $S_i$ 가 비인가 기지국이고  $P_j$ 가 인가 기지국인 경우에 대해 식 (5)를 통해 선택된 것으로 간주한다. 또한 각 네트워크의 소속된 사용자들은 네트워크 내에서 이동은 가능하나 다른 네트워크로의 핸드오버 영향은 고려되지 않았다. 실험 상 단순화를 위해 고정된 노드들로 가정한다.

그림 2는 인가 네트워크와 비인가 네트워크가 공

존하는 토폴로지 예이다. 비인가 네트워크는 식별 번호가  $i$ 인 비인가 기지국  $SB_i$ 와 해당 기지국에 속하는 식별 번호  $s$ 인 비인가 사용자들  $SU_{i,s}$ 로 구성되어 있으며, 최대 전송 범위는  $T_i^s$ , 이에 따른 간섭 범위는  $I_i^s$ 로 표현한다. 여기서 전송 범위와 간섭 범위의 관계는 간섭 범위는 전송 범위의 일정한 비율로 곱해져서 표현된다고 가정한다. 즉  $I = \alpha \cdot T$  ( $\alpha$ 는 간섭비율)로 구해진다. 마찬가지로 인가 네트워크는 식별 번호가  $j$ 인 인가 기지국  $PB_j$ 와 해당 기지국에 속하는 식별 번호  $p$ 인 인가 사용자들  $PU_{j,p}$ 로 구성되어 있으며, 최대 전송 범위는  $T_j^p$ , 이에 따른 간섭 범위는  $I_j^p$ 로 표시한다.  $d(a,b)$ 는 두 노드  $a$ 와  $b$  사이의 거리를 의미한다.

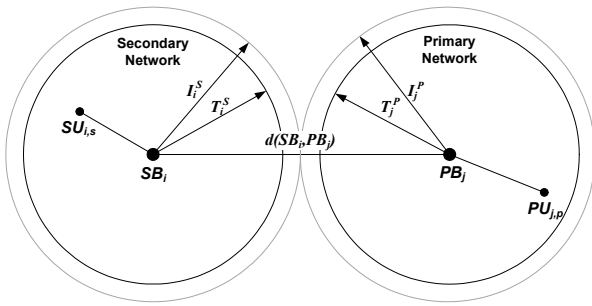


그림 2. 시스템 모델과 파라미터  
Fig. 2. System model and parameters.

비록 그림 2는 두 네트워크 모두 downlink인 경우에 대해 간섭 범위들이 상호 접해있는 토폴로지 (즉,  $d(SB_i, PB_j) = I_i^s + I_j^p$ )를 예로써 보이고 있지만, 이들 두 네트워크는  $I_i^s$ 의 값과 기지국 간 거리  $d(SB_i, PB_j)$ 의 값에 따라 통신 셀 영역들이 일부 겹쳐져 있거나 완전히 분리된 경우일 수도 있다. 본 장의 이하에서는 편의상 그림 2와 같이  $d(SB_i, PB_j) = I_i^s + I_j^p$ 와  $I_i^s = I_j^p$ 를 동시에 만족하는 네트워크 토폴로지를 예로 들어 기술할 것이나, 4장의 모의실험에서는  $d(SB_i, PB_j) \neq I_i^s + I_j^p$  및  $I_i^s \neq I_j^p$ 인 상황을 모두 고려하는 결과를 제시할 것이다. 인가

및 비인가 네트워크에 있는 모든 노드들은 통신을 수행하고 있는 대상 간의 통신 범위를 적절하게 조정할 수 있는 전송 전력 제어 (power control)를 할 수 있는 것으로 간주한다.

### 3.2 데이터베이스에 의해 공유되는 정보

인가 네트워크의 uplink/downlink 스케줄 정보는 데이터베이스를 통해 기본적으로 제공되는 것을 전제로 하며, 인가 및 비인가 네트워크에서 동작하는 사용자들의 위치 정보는 데이터베이스를 통해서 선택적으로 제공되는 것으로 간주한다.

#### 3.2.1. Primary Uplink/Downlink 전송 스케줄 정보

인가 네트워크의 uplink/downlink 전송 스케줄 정보는 인가 시스템이 언제 송수신할 지를 알려준다. 또한 누가 송신자가 되고 누가 수신자가 될지에 대한 정보를 제공하여 송신된 신호에 의한 간섭 가능성을 판단할 수 있게 한다. 이 정보를 이용하여 비인가 시스템은 자신의 uplink/downlink 스케줄 정보와 조합하여 서로에 대한 간섭 조건을 인지할 수 있다. 표 1은 인가 및 비인가 네트워크의 스케줄 정보에 따른 네 가지 조합 (a)-(d)과, 각각의 조합에서 비인가 네트워크에서 송신이 이루어 질 때 (i) 혹은 인가 네트워크에서 송신이 이루어 질 때 (ii), 해당 송신자와 이로 인해 간섭을 받을 가능성이 있는 수신자 정보를 나타낸다.

CR의 기본은 비인가 노드의 송신 신호가 수신중인 인가 노드에게 간섭을 주지 않는 것이다. 표 1의 (i)에서 수신자들은 곧, 비인가 노드의 송신에 의해 간섭받지 않아야 할 인가 노드를 의미하며, 이에 따라 비인가 노드는 자신의 송신으로 인해 간섭이 가해지지 않도록 송신 거리를 조절할 수 있어야 한다. 또한, 표 1의 (ii)에서, 수신자는 인가 노드의 송신에 의해 간섭 영향에 있는 비인가 노드를 의미하며, 간섭으로부터 자유로운 비인가 노드들만이 통신 가능한 노드임을 인지할 수 있다. 이와 같이 적절한

표 1. uplink/downlink 스케줄 조합에 의한 간섭 대상 정보  
Table 1. Interference pairs by uplink/downlink schedule combinations.

	Primary schedule	Secondary schedule	(i) Interference pair when secondary basestation/user transmits		(ii) Interference pair when primary basestation/user transmits	
			transmission by	interference to	transmission by	interference to
(a)	Downlink	Downlink	$SB_i$	$PU_{j,p}$	$PB_j$	$SU_{i,s}$
(b)	Downlink	Uplink	$SU_{i,s}$	$PU_{j,p}$	$PB_j$	$SB_i$
(c)	Uplink	Downlink	$SB_i$	$PB_j$	$PU_{j,p}$	$SU_{i,s}$
(d)	Uplink	Uplink	$SU_{i,s}$	$PB_j$	$PU_{j,p}$	$SB_i$

통신 범위의 조절은 실제 인가 및 비인가 사용자의 위치 정보가 추가로 제공되는 경우, 보다 효과적으로 수행될 수 있다.

3.2.2. 사용자 위치 정보

사용자 위치 정보는 데이터베이스로부터 선택적으로 제공되며, 비인가 기지국이 인가 및 비인가 사용자의 정확한 위치를 알 수 있게 한다. 사용자 위치 정보의 제공 유무에 따라 비인가 기지국은 추가적인 거리 정보를 이용할 수 있다.

비인가 사용자들의 위치 정보가 제공되지 않는 경우, 비인가 기지국은 자신과 비인가 사용자 사이의 대략적인 거리 정보만을 알 수 있다 (이는 일반적인 무선 통신에서 기지국이 수신 신호의 세기에 의해 송신자와의 대략적인 거리만을 판별하는 것과 동일하다). 그러나 비인가 사용자들의 위치 정보가 제공된다면, 비인가 기지국은 자신과 비인가 사용자 사이의 실제 거리  $d(SB_i, SU_{i,s})$ 는 물론, 인가 기지국과 비인가 사용자 사이의 실제 거리  $d(PB_j, SU_{i,s})$ 를 추가로 알 수 있게 된다.

이와 유사하게, 비인가 기지국이 인가 사용자의 위치 정보를 인지하지 못한다면, 비인가 기지국은 인가 사용자들이 인가 기지국의 경계에 위치하고 있다고 가정해야만 한다. 반면, 비인가 기지국이 인가 사용자의 정확한 위치 정보를 공유 받는다면, 인가 기지국과 인가 사용자 사이의 실제 거리  $d(PB_j, PU_{j,p})$  뿐만 아니라 비인가 기지국과 인가 사용자 사이의 실제 거리  $d(SB_i, PU_{j,p})$ 를 추가로 알 수 있다.

마지막으로 비인가 사용자와 인가 사용자 모두의 위치를 인지한다면, 비인가 기지국은  $d(SB_i, SU_{i,s})$ ,  $d(PB_j, SU_{i,s})$ ,  $d(PB_j, PU_{j,p})$ ,  $d(SB_i, PU_{j,p})$  외에도 각각의 인가 및 비인가 사용자 사이의 실제 거리  $d(SU_{i,s}, PU_{j,p})$ 를 알 수 있어 비인가 네트워크가 여러 공존 상황을 극복할 수 있게 하는 중요한 정보로 이용할 수 있다.

3.3 제안된 공존 솔루션

본 논문에서는 위치 인식 데이터베이스에 의해 선택적으로 제공되는 인가 및 비인가 사용자의 위치 정보에 따라 사용자 위치 정보가 전혀 제공되지 않는 시나리오 (case I), 비인가 사용자 위치 정보만이 제공되는 시나리오 (case II), 인가 사용자 위치 정보만이 제공되는 시나리오 (case III), 인가 및 비인가 사용자 위치 정보 모두가 제공되는 시나리오 (case IV) 등의 네 가지 시나리오로 분류하였다. 이하에서는 각 시나리오에 대한 공존 솔루션으로서, 인가 및 비인가 네트워크의 uplink/downlink 전송 스케줄 조합 별로 비인가 사용자들의 통신가능 조건들을 기술한다.

3.3.1. case I: Uplink/Downlink 정보만 인지한 시나리오

case I은 기본적인 시스템 모델을 기본으로 하여 데이터베이스로부터 인가 네트워크의 uplink/downlink의 전송 스케줄 정보만을 공유 받았을 경우의 시나리오이다. 이 경우 비인가 기지국은 비인가 사용자들의 정확한 위치를 인지하지 못하고, 단순히 거리 정보만을 인지할 수 있다. 이것은 비인가 기지국과 비인가 사용자의 거리 정보  $d(SB_i, SU_{i,s})$ 만을 알게 하고, 비인가 사용자의 위치는 인가 네트워크와 가장 가까운 위치에 있다고 가정하게 한다 (즉, 그림 3에서 실제  $SU_s$ 는 검은 점의 위치이나 가정에 의해 빈 점의 위치로 가정해야 한다). 또한 정확한 인가 사용자들의 위치를 인지하지 못하므로 인가 사용자들의 위치는 항상 인가 네트워크의 경계에 위치한다고 가정해야 한다. 따라서 통신조건을 알아내기 위한 파라미터로 비인가 기지국의 전송 범위( $I_i^S$ ), 간섭 범위( $I_i^P$ )와 인가 기지국의 전송 범위( $I_j^P$ ), 간섭 범위( $I_j^S$ ), 비인가 기지국과 인가 기지국 간의 거리( $d(SB_i, PB_j)$ ), 그리고 비인가 기지국과 비인가 사용자 간의 거리( $d(SB_i, SU_{i,s})$ ) 및 이 거리에 위치한 비인가 사용자들의 전송에 따른 간섭 범위( $I_{i,s}$ )

표 2. 비인가 네트워크의 통신 조건 (case I)  
Table 2. Communication conditions in secondary network (case I).

	Primary schedule	Secondary schedule	Condition (i)	Condition (ii)
(a)	Downlink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PB_j) - T_j^P$	$d(SB_i, SU_{i,s}) < d(SB_i, PB_j) - I_j^P$
(b)	Downlink	Uplink	$d(SB_i, SU_{i,s}) + I_{i,s} < d(SB_i, PB_j) - T_j^P$	$d(SB_i, PB_j) > I_j^P$
(c)	Uplink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PB_j)$	$d(SB_i, SU_{i,s}) < d(SB_i, PB_j) - (T_j^P + I_j^P)$
(d)	Uplink	Uplink	$d(SB_i, SU_{i,s}) + I_{i,s} < d(SB_i, PB_j)$	$d(SB_i, PB_j) > T_j^P + I_j^P$

를 이용하게 된다. 비인가 네트워크와 인가 네트워크의 uplink/downlink 스케줄 조합은 표 2의 (a)-(d)와 같이 네 가지로 구성될 수 있다. 조건(i)는 비인가 네트워크가 인가 네트워크에게 간섭을 주지 않기 위한 조건을 의미하고, 조건(ii)는 인가 네트워크로부터 간섭받지 않는 비인가 네트워크의 통신 가능 조건을 의미한다. 즉, (i)는 필수조건이고, (ii)는 통신을 위한 필요조건이다. 이 두 가지 조건은 이후에 설명하게 될 모든 시나리오에 적용된다. 비인가 네트워크의 통신은 조건 (i)과 (ii)를 동시에 만족하는 경우에만 성립될 수 있다. 예를 들어, 인가 및 비인가 네트워크가 모두 downlink인 경우 (표 2의 (a))를 보자. 조건(i)를 만족하기 위해선 비인가의 송신기는 downlink의 경우 비인가 기지국이 되므로, 비인가 기지국의 간섭 범위  $I_i^S$ 가 현재 수신중인 가능성 있는 인가 사용자에게 영향을 미치지 않을 정도로만 송신을 수행하여야 한다. case I에서는 이러한 영향을 받는 대상인 인가 사용자의 위치를 알 수 없기 때문에 가장 최악의 상황인 인가 네트워크의 가장 자리에 있다는 가정을 해야한다. 즉, 비인가 송신기(비인가 기지국)로부터 떨어진 인가 사용자의 거리는  $d(SB_i, PB_j) - T_j^P$ 가 된다. 따라서 간섭을 주지 않는 간섭 범위는  $I_i^S < d(SB_i, PB_j) - T_j^P$  조건을 반드시 만족하도록 자신의 전송 범위를 조절하여야 한다. 조건(ii)는 조건(i)를 만족할 경우 인가 송신기에 의해 간섭을 받지 않고 통신이 가능한 비인가 사용자의 위치 조건이 된다. downlink의 경우 인가 송신기는 인가 기지국이 되므로, 인가 기지국의 간섭 범위  $I_j^P$ 가 비인가 네트워크의 미치는 영역인  $d(SB_i, PB_j) - I_j^P$  내에 비인가 사용자들이 위치해야 한다. 따라서 통신 가능한 비인가 사용자의 위치 조건은  $d(SB_i, SU_{i,s}) < d(SB_i, PB_j) - I_j^P$  이 된다. 마찬가지로 표 2의 (b), (c), (d)의 경우도 위와 같은 방식으로 조건이 구해진다.

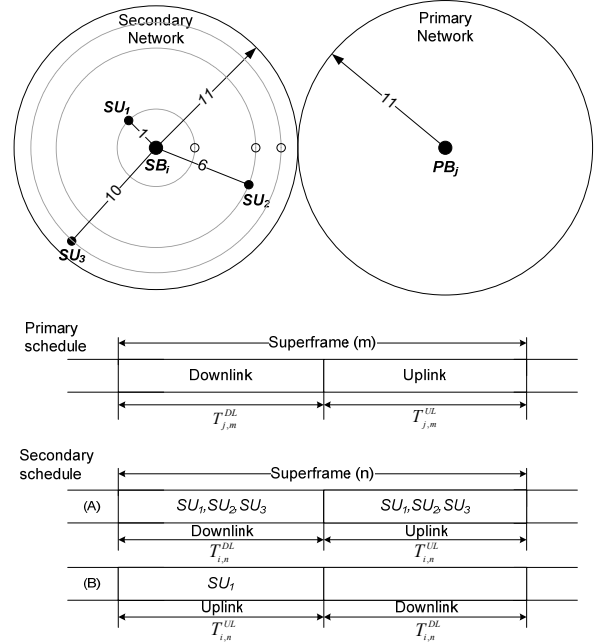


그림 3. case I의 TDMA 예시  
Fig. 3. Example of TDMA in case I.

그림 3은 case I의 TDMA 예시이다. 그림에서 두 기지국의 간섭범위는 11 (즉, 전송 반경이 10, 간섭비율이 1.1)로 동일하며, 비인가 기지국과 비인가 사용자들 간의 거리는 각각 1, 6, 10이다. 인가 기지국  $PB_j$ 의  $m$ 번째 Superframe에서, downlink 구간과 uplink 구간의 길이는 각각  $T_{j,m}^{DL}$ 과  $T_{j,m}^{UL}$ 로 표시하였다. 이에 대응하는 비인가 기지국  $SB_i$ 의  $n$ 번째 Superframe 구조는 (A) downlink - uplink 순서인 경우 ( $T_{j,m}^{DL} = T_{i,n}^{DL}$ ,  $T_{j,m}^{UL} = T_{i,n}^{UL}$ ), 혹은 (B) uplink - downlink 순서인 경우 ( $T_{j,m}^{DL} = T_{i,n}^{UL}$ ,  $T_{j,m}^{UL} = T_{i,n}^{DL}$ )가 될 수 있다. (A)의 downlink 구간에서 비인가 기지국은 표 2-(a)의 조건에 의해, 비인가 사용자  $SU_1, SU_2, SU_3$ 에게 송신할 수 있으며, uplink 구간에서는 표 2-(d)의 조건에 의해, 모든 비인가 사용자  $SU_1, SU_2, SU_3$ 가 송신할 수 있다. 반면 (B)의 경우에는 uplink 구간에서 표 2-(b)의 조건에 의해, 비인가 사용자  $SU_1$ 만이 uplink 할 수 있으며,

표 3. 비인가 네트워크의 통신 조건 (case II)  
Table 3. Communication conditions in secondary network (case II).

	Primary schedule	Secondary schedule	Condition (i)	Condition (ii)
(a)	Downlink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PB_j) - T_j^P$	$d(PB_j, SU_{i,s}) > I_j^P$
(b)	Downlink	Uplink	$d(PB_j, SU_{i,s}) - I_{i,s} > T_j^P$	$d(SB_i, PB_j) > I_j^P$
(c)	Uplink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PB_j)$	$d(PB_j, SU_{i,s}) > T_j^P + I_j^P$
(d)	Uplink	Uplink	$d(PB_j, SU_{i,s}) > I_{i,s}$	$d(SB_i, PB_j) > T_j^P + I_j^P$

downlink 구간에서 표 2-(c)의 조건에 의해, 비인가 기지국의 downlink 신호를 비인가 사용자 모두 수신할 수 없다. 따라서 case I의 비인가 네트워크는 (A)와 같이 시간을 스케줄하는 것이 (B)의 경우보다 좋은 선택이 된다.

3.3.2. case II: Uplink/Downlink 정보와 비인가 사용자 위치 정보를 인지한 시나리오

case II는 case I에서 인지 가능한 인가 네트워크의 uplink/downlink 스케줄 정보뿐만 아니라 비인가 사용자들의 정확한 위치 정보를 추가적으로 제공받았을 경우의 시나리오이다. 이 경우에도 비록 비인가 사용자의 위치는 인지가 가능하지만 인가 사용자의 거리 혹은 위치 정보를 인지하지 못하기 때문에 case I과 같이 최악의 상황을 가정할 필요가 있다 (즉, 인가 사용자들이 인가 네트워크의 가장자리에 위치한다고 가정). 하지만 비인가 사용자와 인가 기지국 간의 거리 정보  $d(PB_j, SU_{i,s})$ 가 추가적으로 이용될 수 있으므로, case I처럼 스케줄 정보만을 공유 받았던 경우보다 효율적인 공존 솔루션을 제공할 수 있다. case I에서의 마찬가지로 스케줄 정보 조합에 따른 비인가 네트워크의 통신 조건을 표 3과 같이 나타낼 수 있다. 비인가 네트워크가 downlink인 (a)와 (c)의 경우에서의 조건 (i)과 비인가 네트워크가 uplink인 (b)와 (d)의 경우에서의 조건 (ii)는 case I과 동일하다. 다만 case II는 비인가 사용자의 정확한 위치인지를 인하여, case I에서와 같이 항상 비인가 사용자가 인가 네트워크와 가장 근접한 위치에 있다는 가정이 불필요하게 된다.

그림 4는 case II에 대한 TDMA 예시를 보여준다. (A)의 경우, downlink 구간에서 비인가 기지국은 표 3-(a)의 조건들을 만족하는 비인가 사용자  $SU_1, SU_2, SU_3$ 에게 시간 자원을 스케줄할 수 있다. uplink 구간에서는 표 3-(d)의 조건들을 만족하는 비인가 사용자  $SU_1, SU_2, SU_3$ 에게 해당 시간 자원을 스케줄할 수 있다. 반면, (B)에서는, uplink 일

경우 표 3-(b)의 조건들에 의해 비인가 사용자들  $SU_1, SU_3$ 만이 해당 시간 자원을 활용할 수 있고, downlink 일 경우 표 3-(c)의 조건들에 의해 비인가 사용자들  $SU_1, SU_3$ 이 해당 시간 자원을 사용할 수 있다. case I과 유사하게 case II의 경우에도, (A)가 (B)보다 더 많은 서비스를 가능케 한다. 그러나 case II는 case I에 비해서 (B)의 경우 uplink 구간에서  $SU_1$ 만 가능하였던 것에 비해 uplink, downlink에서 가능한 통신 사용자가  $SU_1, SU_3$ 으로 늘어나게 된다.

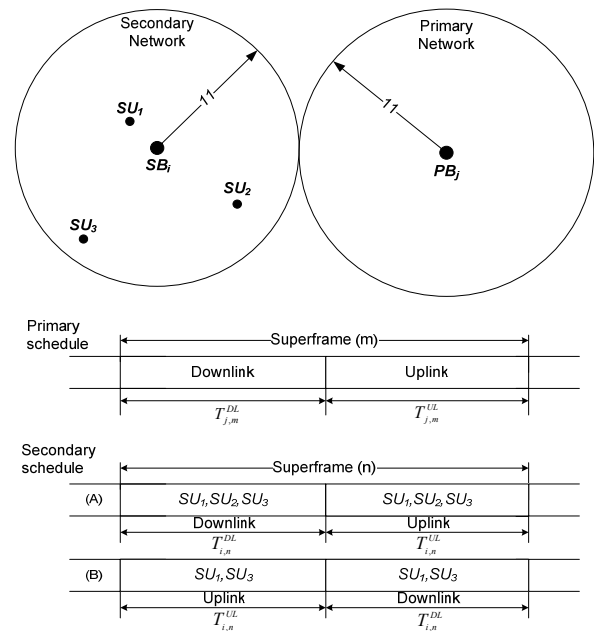


그림 4. case II의 TDMA 예시  
Fig. 4. Example of TDMA in case II.

3.3.3. case III: Uplink/Downlink 정보와 인가 사용자 위치 정보를 인지한 시나리오

case III은 case II의 경우와 반대로 인가 사용자의 정확한 위치 정보가 제공되는 경우이다. 하지만 비인가 사용자의 정확한 위치를 인지하지 못하기 때문에 역시 인가 사용자의 안정성 보장을 위해서 그에 따른 최악의 경우 (즉, 인가 및 비인가 사용자

표 4. 비인가 네트워크의 통신 조건 (case III)  
Table 4. Communication conditions in secondary network (case III).

	Primary schedule	Secondary schedule	Condition (i)	Condition (ii)
(a)	Downlink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PB_j) - T_j^P$	$d(PB_j, SU_{i,s}) > I_j^P$
(b)	Downlink	Uplink	$d(PB_j, SU_{i,s}) - I_{i,s} > T_j^P$	$d(SB_i, PB_j) > I_j^P$
(c)	Uplink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PB_j)$	$d(PB_j, SU_{i,s}) > T_j^P + I_j^P$
(d)	Uplink	Uplink	$d(PB_j, SU_{i,s}) > I_{i,s}$	$d(SB_i, PB_j) > T_j^P + I_j^P$



그리고 비인가 기지국이 일직선상에 위치한다)를 가정할 필요가 있다. case I에 비해 비인가 기지국과 인가 사용자 사이의 거리 정보  $d(SB_i, PU_{j,p})$ 와 인가 기지국과 인가 사용자 사이의 거리 정보  $d(PB_j, PU_{j,p})$  및 이 거리에 위치한 인가 사용자들의 전송에 따른 간섭 범위( $I_{j,p}$ )라는 새로운 파라미터를 통신 조건에 이용할 수 있다. 앞에서 설명된 시나리오들과 마찬가지로 네 가지 스케줄 조합에 따른 통신 조건들을 표 4에 나타내었다.

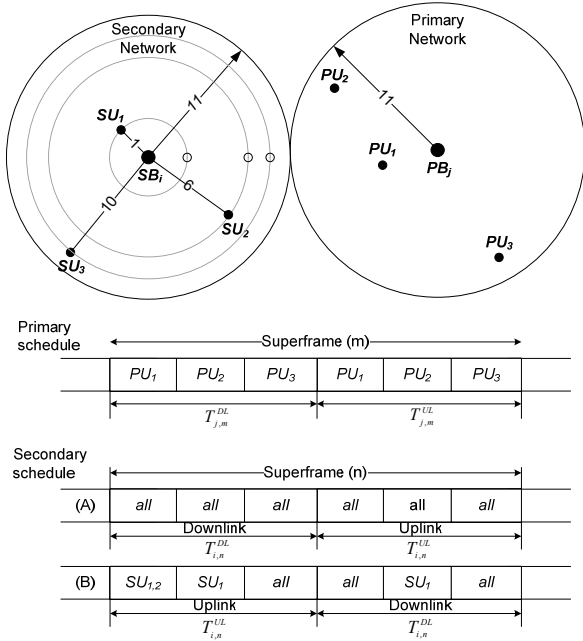


그림 5. case III의 TDMA 예시  
Fig. 5. Example of TDMA in case III.

그림 5는 case III의 TDMA 예시를 보여준다. case III에서는 인가 네트워크의 누가( $PU_{j,p}$ ), 언제 uplink와 downlink를 수행할 지 알 수 있다. 따라서 비인가 기지국은 인가 사용자들의 해당 스케줄 정보에 따라 그 시간 구간에서 통신이 가능한 비인가 사용자들에게 해당 시간 자원을 할당할 수 있다. 여기서 all은 모든 비인가 사용자들이 통신 가능함을

의미한다. (A)에서 downlink, uplink 구간 모두 모든 시간 구간에서 모든 비인가 사용자에게 시간 자원을 할당 가능하다. (B)에서  $PU_1$ 이 downlink 하는 구간에서는  $SU_3$ 만이 시간 자원을 할당받지 못하고,  $PU_2$ 가 downlink 하는 구간에서는  $SU_1$ 만이 시간 자원을 할당받을 수 있으며,  $PU_3$ 가 downlink 구간에서는 모든 비인가 사용자가 통신가능하다. 또한  $PU_2$ 의 uplink 구간에서는  $SU_1$ 만이 시간 자원을 할당받을 수 있고 그 외 구간에서는 모든 비인가 사용자가 통신가능하다. 이러한 구간들에서 비인가 기지국은 통신 가능한 사용자에게만 시간 자원을 배분할 수 있도록 조정해야 한다. 또한 case III는 case I, II와 비교해서 통신 가능한 사용자 비율이 더 높아짐을 알 수 있다.

3.3.4. case IV: Uplink/Downlink 정보와 모든 사용자 위치 정보를 인지한 시나리오

case IV는 앞서 언급하였던 스케줄 정보뿐만 아니라 비인가 및 인가 사용자의 위치 정보 모두를 공유했을 경우의 시나리오를 나타낸다. 또 다른 변수인 인가 사용자와 비인가 사용자 사이의 거리 정보  $d(SU_{i,s}, PU_{j,p})$ 라는 새로운 파라미터를 추가적으로 이용할 수 있다. 앞서의 시나리오들과 마찬가지로 네 가지 스케줄 조합에 따른 통신 조건을 표 5에 나타내었다.

그림 6은 case IV의 TDMA 예시를 보여준다. case IV에서는 앞서의 시나리오들과는 다르게, 양측 사용자의 위치를 모두 인지할 수 있기 때문에 최악의 상황을 가정할 필요가 없다. 본 예에서는 인가 사용자들의 모든 시간 구간에서 비인가 사용자 모두가 통신 자원을 할당받을 수 있다. 따라서 비인가 기지국은 (A)와 (B) 둘 중 어떤 시간 스케줄을 선택하더라도 100% 통신 가능성을 유지할 수 있고, case III에 비해 자원 할당을 보다 자유롭게 할 수 있게 된다.

표 5. 비인가 네트워크의 통신 조건 (case IV)  
Table 5. Communication conditions in secondary network (case IV).

	Primary schedule	Secondary schedule	Condition (i)	Condition (ii)
(a)	Downlink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PU_{j,p})$	$d(PB_j, SU_{i,s}) > I_{j,p}$
(b)	Downlink	Uplink	$I_{i,s} < d(SU_{i,s}, PU_{j,p})$	$d(SB_i, PB_j) > I_{j,p}$
(c)	Uplink	Downlink	$I_{i,s} < d(SB_i, PB_j)$	$d(SU_{i,s}, PU_{j,p}) > I_{j,p}$
(d)	Uplink	Uplink	$I_{i,s} < d(PB_j, SU_{i,s})$	$d(SB_i, PU_{j,p}) > I_{j,p}$

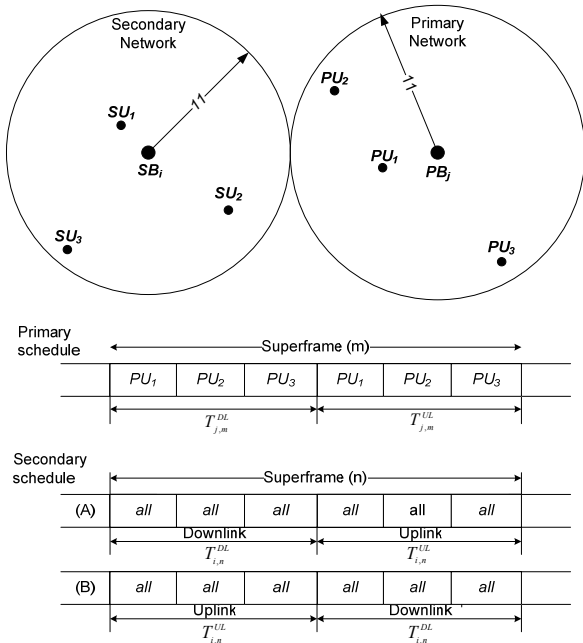


그림 6. case IV의 TDMA 예시  
Fig. 6. Example of TDMA in case IV.

#### IV. 모의실험

본 장에서는 모의실험을 통해 제안한 공존 방안 에 대한 성능을 평가 및 분석한다. 표 6은 모의실험 에 사용된 파라미터를 나타낸다.

표 6. 모의실험 파라미터  
Table 6. Simulation parameters.

Parameter	Value
$T_j^P$	100 m
$T_i^S$	10 m ~ 200 m
$d(SB_i, PB_j)$	100 m ~ 500 m
$N_{SU_{is}}, N_{PU_{jp}}$	1,000 / 1,000
$\alpha$	1.1

성능 평가를 위해, 실험에서는 인가 및 비인가 기지국의 반경 비율 (*Ratio of Radius*)과 인가 및 비인가 기지국 간 거리 비율 (*Ratio of Distance*)을 나타내는 파라미터를 이용하였으며, 이들 비율들의 변화에 따라 통신 가능한 비인가 사용자들의 비율 (*Ratio of SUs (%)*)을 측정하였다. 반경 비율은  $T_i^S/T_j^P$ 를 의미하며, 여기서  $T_j^P$ 는 100 m로 고정되어 있고,  $T_i^S$ 는  $(0.1T_j^P, 2.0T_j^P)$  범위 (10 m~200 m) 내에서 변하는 값이다. 반경 비율이 1인 경우는 비인가 기지국과 인가 기지국의 반경이 같은 경우를 의미한다. 거리 비율은  $(d(SB_i, PB_j) - T_j^P)/T_i^S$ 를

의미하며, 여기서  $d(SB_i, PB_j)$ 는  $(T_j^P, T_j^P + 2T_i^S)$  범위 (100 m~500 m) 내에서 변하는 값이다. 거리 비율이 1인 경우는 인가 및 비인가 기지국 간 전송 거리 반경이 상호 접하는 경우를 의미한다. 따라서 실험은 인가 네트워크와 비인가 네트워크의 전송 범위가 겹치는 경우 (*Ratio of Distance < 1*)와 겹치지 않는 경우 (*Ratio of Distance > 1*) 모두를 포함한다. 인가 및 비인가 사용자의 수 ( $N_{SU_{is}}, N_{PU_{jp}}$ )는 둘 다 1,000 개로 고정하였다. 또한 전송 범위에 대한 간섭 범위를 나타내는 식( $I = \alpha \cdot T$ )에서 간섭 비율( $\alpha$ )을 1.1로 가정하고 실험하였다.

(가)~(라)항은 이러한 실험 파라미터에 의해 3장에서 조사한 네 가지 시나리오에 대한 측정 결과를 보인다. (마)항은 최적의 스케줄 조합을 찾기 위해 각 case 별로 인가 네트워크가 downlink→uplink로 고정된 상황에서, (A) 비인가 네트워크가 downlink→uplink 순서로 스케줄 할 경우의 측정 결과와 (B) 비인가 네트워크가 uplink→downlink 순서로 스케줄 할 경우의 측정 결과를 비교한다. 또한 양방향 통신이 모두 가능한 비인가 사용자의 비율 (*Ratio of Duplex SUs (%)*)을 보여준다. 마지막으로 (바)항은 거리비 및 반경비에 따라 최적화된 스케줄을 적용한 예시 결과를 보여준다.

또한 실험에서 case III와 case IV의 경우는 각 인가 사용자마다 다른 통신 가능 비인가 사용자 비율이 얻게 된다. 따라서 case I과 II의 경우와 같은 동일한 조건을 위해 case III과 case IV의 경우는 모든 인가 사용자의 downlink 경우를 합한 결과가 전체 downlink 구간을, 반대로 모든 인가 사용자의 uplink 일 경우를 합한 결과가 전체 uplink 구간을 의미하도록 하였다.

(가) Primary: Downlink, Secondary: Downlink

그림 7은 인가 및 비인가 네트워크 모두 downlink 일 경우 거리비와 반경비에 따른 통신 가능한 비인가 사용자 비율을 나타낸다. 비인가 기지국의 송신에 의한 영향 정도가 같은 case I과 II의 그래프가 비슷한 형태를 취하고, case III과 IV의 그래프가 유사하다. case I/II와 case III/IV의 차이는 비인가 기지국 간섭신호 영향 범위의 한정때문에 발생한다. 즉, case I/II의 경우 인가 사용자의 위치를 비인가 네트워크와 가장 인접한 인가 네트워크의 경계로 한정해 놓는 반면, case III/IV의 경우 간섭을 미치지 않는 인가 사용자의 정확한 위치를 인지하기 때문에 보다 송신 범위를 보다 넓게

조절할 수 있다. 또한 case I/III와 caseII/IV의 차이는 비인가 사용자의 위치 인지 유무에 의해 발생한다. 즉, 인가 기지국에 의한 간섭 영향 정도를 case I/III는 비인가 기지국으로부터 인가 기지국의 간섭 범위가 미치는 최단거리 점을 반지름으로 하는 비인가 서비스 영역을 통신 가능 범위로 정하는 반면, case II/IV는 인가 기지국의 송신 범위가 비인가 기지국의 서비스 영역과 교차되는 부분을 제외한 영역이 통신 가능 범위가 된다. 특히 case I과 II의 경우에는 간섭을 주지 않기 위해 비인가 기지국의 간섭 범위가 인가 네트워크의 통신 반경을 넘지 않도록 송신 출력을 조절해야 한다. 때문에 기지국 간 거리비가 0인 경우 통신 가능 비율이 0%를 시작으로 거리비가 증가할수록 송신 출력을 높일 수 있어 통신 가능 비율이 증가한다. 반면 case III과 IV의 그래프에서는 반경비가 0.9보다 크고, 거리비가 0.6보다 작을 경우 통신 가능 비율이 100%에서 감소한다. 특히, 거리비가 0이고 반경비가 2인 경우 case III에서는 통신 가능 비율이 가장 낮은 23.1%, case IV에서는 73%가 됨을 볼 수 있다. 해당 구간에서 통신 가능 비율이 떨어지는 이유는 비인가 기지국의 반경은 커지는 것에 반해 인가 네트워크의 최소 반경은 고정되어 실제 비인가 기지국이 downlink 할 수 있는 송신 범위는 변하지 않기 때문이다. 그 외 구간에서는 모두 100%를 유지한다.

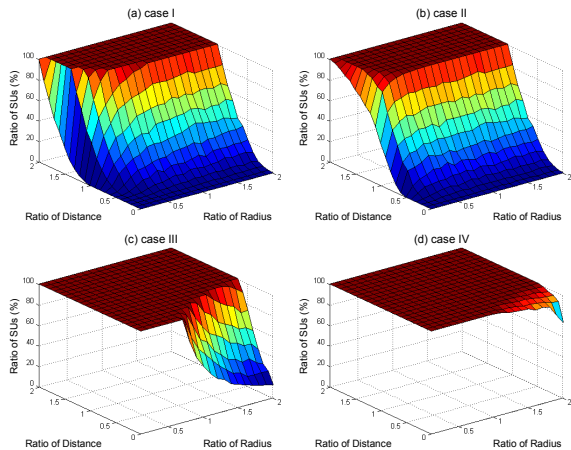


그림 7. P:Downlink, S:Downlink 실험결과  
Fig. 7. Results in P:Downlink, S:Downlink.

(나) Primary: Downlink, Secondary: Uplink

그림 8은 인가 네트워크가 downlink, 비인가 네트워크가 uplink 일 경우의 실험결과이다. case I과 II의 경우 대체적으로 반경비 변화에 상관없이 거리비가 증가할수록 통신 가능 비율이 증가한다. 단지

case I과 II의 차이는 비율의 기울기에서 차이를 보이는데, 이것은 case I의 경우는 거리비가 증가함에 따라 통신 가능 비율이 비인가 기지국과 비인가 사용자 간 거리의 제곱에 비례해서 증가하게 되고, case II의 경우는 비인가 네트워크의 영역에서 인가 기지국과 비인가 사용자 사이의 거리만을 뺀 영역에 따라 증가하기 때문이다. 또한 case I과 II에서 통신 비율이 0%인 부분은 인가 기지국의 간섭 신호에 의해서 영향을 받는 범위 내에 비인가 기지국이 위치하기 때문이다. case I은 기지국 간 거리비가 2.1이상, case II는 2.0이상이 될 경우 100%에 도달한다. case III과 IV의 경우는 반경비가 1이상이고 거리비가 1.1이하인 경우, 즉 비인가 네트워크와 인가 네트워크가 겹친 상태이고 비인가 기지국의 반경이 인가 기지국의 반경보다 커질 경우 통신 비율이 감소한다. 이것은 비인가 네트워크의 반경이 커지면서 인가 네트워크로 영향을 더 많이 미치기 때문이다. case IV의 경우에는 case III에 비해 떨어지는 비율이 낮음을 알 수 있다. 하지만 이 경우 통신 가능한 비율이 줄어든다는 의미이지만, 서비스 영역이 커짐으로써 보다 많은 통신 사용자를 수용할 수 있게 된다.

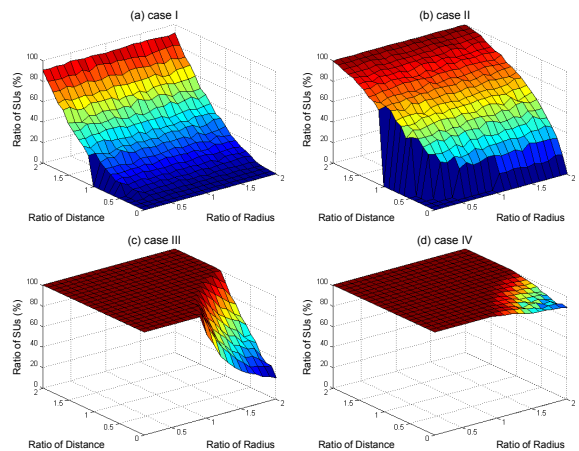


그림 8. P:Downlink, S:Uplink 실험결과  
Fig. 8. Results in P:Downlink, S:Uplink.

(다) Primary: Uplink, Secondary: Downlink

그림 9는 인가 네트워크가 uplink, 비인가 네트워크가 downlink일 경우의 실험결과이다. case I과 II의 경우는 인가 사용자가 인가 네트워크의 경계에 위치한다고 가정을 하기 때문에 인가 사용자에게 의한 간섭 범위는 기지국의 반경과 간섭 범위를 더한 결과가 된다. 이 결과 간섭받는 대상인 비인가 기지국은 최소  $BD > T_j^P + I_j^P$  과 같은 범위에 위치하지

않을 경우 통신 가능 비율이 0%가 된다. 최소 거리가 위 조건을 만족하는 경우에 한하여 거리 및 반경이 증가할수록 통신 가능 비율이 증가한다. case I과 II의 경우 통신 가능 비율이 100%가 되는 구간은 (거리비 2, 반경비 1.1)에서 (거리비 1.6, 반경비 2)에 해당하는 라인 구간이 된다. 그리고 case II의 경우는 case I의 형태보다 더 높은 기울기를 나타내고, case I보다 더 좋은 성능을 보인다. 반면 case III과 IV의 경우 비인가 기지국의 간섭 범위를 받는 부분만 100% 이하로 통신 가능 비율이 떨어지고, 그 외 모든 구간에서 통신 가능 비율이 100%를 유지한다. case III과 IV에서 비인가 기지국의 간섭 신호에 의해서 영향받는 대상이 인가 기지국이므로 기지국 간 거리는 인가 기지국의 간섭 범위보다는 커야한다는 조건을 가지게 된다. 따라서 위 조건을 만족하지 않는 구간 (반경비 0.9이상, 거리비 0.6이하)은 통신 가능 비율이 100%에서 떨어지게 된다. 또한 그 구간에서 조차 case III과 IV의 그래프가 일치하는 것은 단지 비인가 기지국의 간섭 신호가 기지국 간 거리에만 영향을 미치기 때문이다.

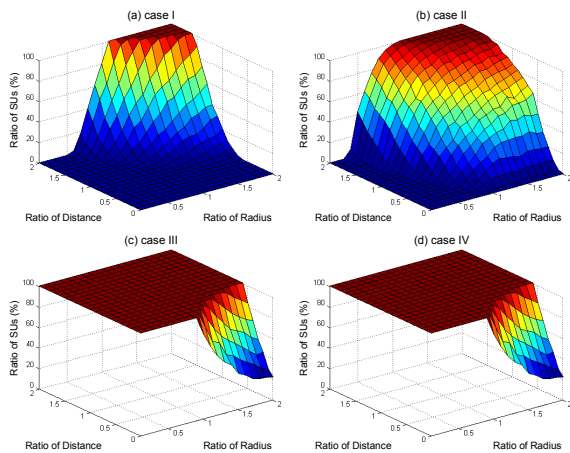


그림 9. P:Uplink, S:Downlink 실험결과  
Fig. 9. Results in P:Uplink, S:Downlink.

(라) Primary: Uplink, Secondary: Uplink

그림 10은 인가 및 비인가 네트워크 모두 uplink 일 경우의 실험결과이다. case I과 II의 경우 기지국 간 거리가 인가 네트워크의 반경과 간섭 범위를 더한 결과보다 작은 구간에서는 통신 가능 비율이 0%이다. 왜냐하면 인가 사용자의 위치가 항상 인가 네트워크의 경계에 위치한다고 가정하기 때문이다. 따라서 case I과 II의 그래프에서 통신 가능 비율이 0%인 구간은 두 case 모두 다음 조건  $(d(SB_i, PB_j) < (T_j^p + I_j^p))$ 으로 같게 된다. 반대로 case

III과 IV의 경우는 인가 사용자의 위치를 인지하고 있기 때문에 비인가 지기국과 가장 멀리 위치한 인가 사용자의 간섭 신호에 의해 통신 가능 유무가 결정된다. 따라서 조건  $(d(SB_i, PB_j) > T_j^p)$ 에서는 통신 가능 비율이 100%를 유지한다. 이와 같이 통신 가능 비율이 0% 혹은 100%를 유지하는 구간을 제외한 모든 구간에서는 각각 case I/III과 case II/IV가 똑같은 형태이다. case I과 III의 경우는  $(d(SB_i, SU_{i,s}) + I_{i,s} < d(SB_i, PB_j))$ 의 조건을 만족하는 비인가 사용자만이 통신이 가능하다. 실험에서는 간섭 범위 비율을 1.1로 가정하였으므로,  $d(SB_i, SU_{i,s}) < d(SB_i, PB_j)/2.1$ 의 식을 구할 수 있다. 따라서 만약 거리가 일정하고 반경이 커질 경우 통신 가능 비율은  $(1/T_i^s)^2$ 에 비례하여 전송 범위가 커질수록 통신 가능 비율이 떨어진다. 반면 case II와 IV의 경우는 비인가 사용자의 위치 인지로 인하여  $d(PB_j, SU_{i,s}) > I_{i,s}$ 인 조건을 만족하는 사용자가 통신이 가능하다. 간섭 범위 비율을 1.1로 적용하였으므로 위 식은  $d(PB_j, SU_{i,s})/d(SB_i, SU_{i,s}) > 1.1$ 이 된다. 따라서 거리비가 일정하고 반경비가 커질 경우 그림 (b)와 (d)와 같이 통신 가능 비율은 줄어들게 된다. 특히 case I과 III에 비해 case II와 IV의 그래프가 통신 가능 비율이 줄어드는 기울기가 작음을 알 수 있다. 하지만 이렇게 반경비가 커질수록 통신 가능 비율이 떨어지나, 서비스 가능한 영역이 넓어지는 결과이므로 실제 통신 가능한 사용자의 수는 증가한 것과 같다.

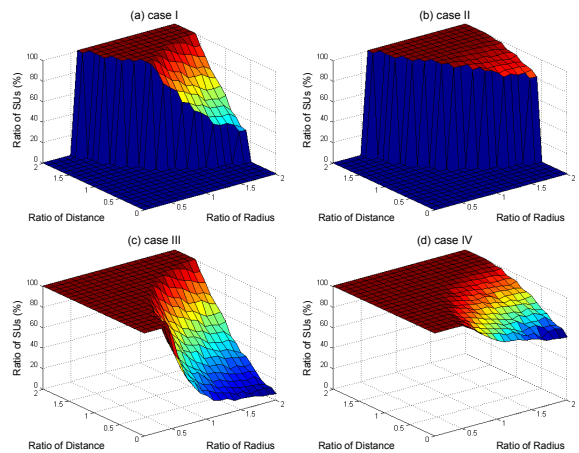


그림 10. P:Uplink, S:Uplink 실험결과  
Fig. 10. Results in P:Uplink, S:Uplink.

(마) 최적 스케줄 조합에 따른 양방향 통신 가능성

그림 11과 12는 case 별로 인가 네트워크의 스케줄 정보에 따른 비인가 네트워크의 스케줄 조합을

(A)-“인가 스케줄이 downlink→uplink 순으로 구성될 경우 비인가 네트워크 스케줄도 downlink→uplink 순으로 구성되는 조합”과 (B)-“인가 스케줄이 downlink→uplink로 순으로 구성될 경우 비인가 스케줄은 그 반대인 uplink→downlink 순으로 구성된 조합”으로 나누어 보여준다. 따라서 비인가 네트워크는 (A)와 (B) 스케줄 중 통신 가능 비율이 높은 최적의 스케줄을 선택할 수 있다. 또한 이전 (가)~(라)항과는 다르게 양방향 통신 (즉, uplink와 downlink가 모두 가능)이 가능한 비인가 사용자의 비율에 대해서 조사한다.

그림 11에서 (a)와 (b)는 case I의 스케줄 조합 (A)와 (B)의 경우에 대해서 각각 거리비 및 반경비가 변화되면서 양방향 통신이 가능한 비인가 사용자의 비율을 나타낸다. (A)의 경우 비인가 네트워크가 downlink 일 경우의 그래프가 uplink 일 경우를 포함하기 때문에 그림 10-(a)와 같은 그래프를 따라간다. 따라서 둘다 uplink일 경우의 통신 가능한 비인가 사용자들이 양방향 통신이 가능하다는 사실을 알 수 있다. (B)의 경우는 인가 네트워크가 uplink 이고 비인가 네트워크가 downlink인 그림 9의 (a) 그래프와 유사하다. 이것은 인가 사용자가 uplink 일 경우가 downlink 일 경우보다 비인가 네트워크에 미치는 간섭 정도가 더 크기 때문에 Primary가 uplink 일 때를 따라가는 것이다. (c)와 (d)는 case II의 스케줄 조합의 경우를 나타내며 case I과 같이 각각의 (A)와 (B)의 그래프 형태가 유사하다.

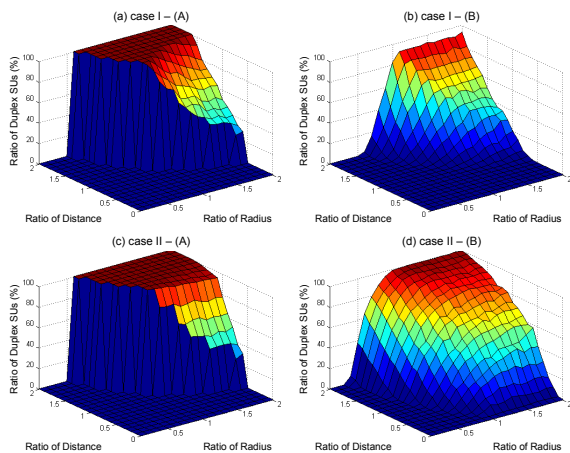


그림 11. 스케줄 조합에 따른 양방향 통신가능 실험결과 (case I/II)  
Fig. 11. Results in duplex SUs with schedule combinations (case I/II).

그림 12에서 (a)와 (b)는 case III의 스케줄 조합의 경우를 각각 (A)와 (B)로 표현한다. 이 경우에는 (A)의 경우보다 (B)의 경우 양방향 통신 100%가

가능한 거리비 및 반경비의 범위가 더 넓다. 다음으로 (c)와 (d)는 case IV의 경우를 나타낸다. case III의 경우와 유사하게 (B)의 경우가 (A)보다는 유연한 선택 가능성을 제공한다.

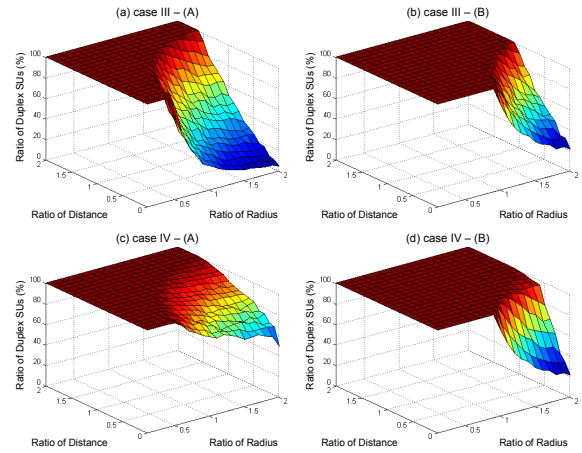


그림 12. 스케줄 조합에 따른 양방향 통신가능 실험결과 (case III/IV)  
Fig. 12. Results in duplex SUs with schedule combinations (case III/IV).

(바) 최적 스케줄 조합에 따른 통신 가능성 예시

그림 13은 (마)항에서 조사된 최적화된 스케줄 조합을 반경비 혹은 거리비에 따라 (A) 혹은 (B)를 적용한 결과에 대한 예시를 보여준다. (a)는 반경비율이 1인 경우 거리 비율이 변함에 따른 최적 스케줄 조합을 적용한 case 별 양방향 통신 가능 비율을 보여주며, (b)는 거리 비율이 1일 경우 반경비율이 변함에 따라 최적 스케줄 조합을 적용한 case 별 양방향 통신 가능 비율을 보여준다. (a)에서 case I의 경우 거리비가 0-1 구간에선 (A)와 (B) 어떤 스케줄 조합을 선택하더라도 같은 비율이 나오지만, 그 이외의 구간 (1.0-2.0)에서는 (B)보다 (A)로 스케줄 할 경우 더 좋은 성능을 보인다. 또한 case II의 경우 0-1 구간에선 (B)로 스케줄하는 것이 유리하나, 그 외 구간에서는 (A)가 더 유리하다. case III과 IV는 동일하게 0-1 구간에서는 (B)를 선택하는 것이 최적이고, 1-2 구간에선 두 스케줄 모두 선택가능하다. (b)에서는 1.1을 기준으로 이하에는 모든 case에서 반경비가 증가할수록 양방향 통신 비율이 증가하나 case I/II/III은 그 이후 감소된다. 이것은 반경비가 커질수록 그 반경에 속하는 통신 가능한 노드의 비율이 감소한다는 의미지만, 반경비가 커지면 서비스 영역이 늘어나기 때문에 실제 절대적인 통신 가능 노드의 수는 증가하는 것과 같다. 그림과 같이 case 별로 기지국 반경과 인가 기지국

간 거리를 인지하였을 경우 양방향 통신이 많도록 적절한 스케줄을 선택하여 최적의 통신 가능성을 보장할 수 있다.

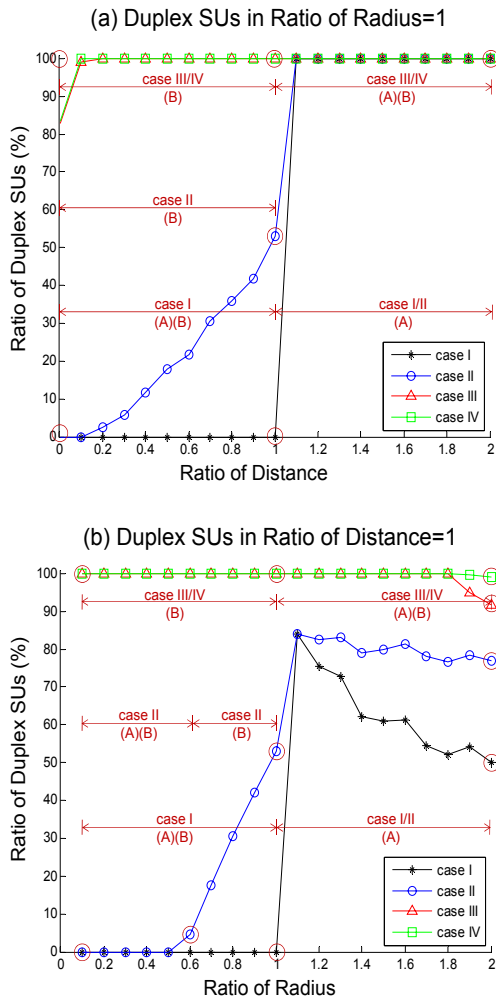


그림 13. 최적 스케줄 조합을 적용한 거리비(1) 및 반경비(1)에 따른 양방향 통신가능 비율 예시  
 Fig. 13. Example result in duplex SUs with optimal schedule combinations.

### V. 결 론

인가 사용자가 할당받아 사용 중인 주파수대역을 간섭을 주지 않는 상태 하에서 비인가 사용자가 동시에 사용하는 CR 기술은 동일 주파수 대역에서 더 많은 사용자의 통신이 가능하도록 해준다. 하지만 네트워크 간 위치에 따라 신호 센싱을 하지 못하는 경우 혹은 비어있는 채널이 존재하지 않는 경우와 같이 사용할 수 있는 유휴 채널이 없는 상황에서는 기존의 CR 방법으로는 지속 가능한 서비스 제공이 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 인가 시스템과 같은 채널에서도 공존할 수 있는 방안을 스

케줄 및 사용자 위치 정보를 이용하여 해결하고자 하였다. 이것은 위치 기반 데이터베이스를 통해서 스케줄 정보를 공유한다면 부분적으로 공존 가능한 CR을 적용할 수 있게 되고, 더 나아가서 사용자의 위치 정보를 공유하게 된다면 보다 높은 효율로 공존 가능 CR 기술을 적용할 수 있음을 확인할 수 있었다. 제안된 공존 방안은 스케줄 정보와 위치 정보의 인지 유무에 따라 네 가지 시나리오로 구분하였고, 각 case 별로 스케줄 정보 조합에 따라 통신 가능한 파라미터 조건들을 제시하였다. 실험을 통해 기지국 간 거리 비율과 기지국 간 반경의 비율을 변화시켜가며 결과 값을 분석하였고, 네 가지 시나리오 별로 스케줄 정보에 따라 기지국 간 거리와 반경의 효과를 최적화할 수 있는 방안을 판단할 수 있었다. 또한 최적의 스케줄 조합을 적용하여 통신 가능성을 향상시킬 수 있었다. 이러한 결과들로 인해서 동일 채널에서 공존 가능한 CR 기술을 통해 잉여주파수 확보가 수월해지고, 통신가능성을 높이기 위한 다양한 파라미터 조정이 가능해지는 효과를 기대할 수 있다. 실제 특정한 네트워크에 많은 사용자가 몰리는 경우 발생할 수 있는 해당 네트워크 전체의 효율 저하의 우려를 이를 통해서 해소할 수 있음을 예상할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- [1] Federal Communications Commission, "Spectrum policy task force report," ET Docket No. 02-155, November 2002.
- [2] Joseph Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications," IEEE Mobile Multimedia Communications, pp. 3-10, November 1999.
- [3] IEEE 802.22 draft standard, "IEEE 802.22/D1.0: draft standard for wireless regional area networks part 22," March 2008.
- [4] Joseph Mitola III, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio," Doctor of Technology Dissertation, Royal Institute of Technology, Sweden, May 2000.
- [5] I.F. Akyildiz, W.Y. Lee, M.C. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation/ dynamic spectrum access/ cognitive radio wireless networks: a survey," Computer Networks:

The International Journal of Computer and Telecommunications Networking, Vol. 50, No. 13, pp. 2127-2159, September 2006.

[6] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 23, No. 2, pp. 201-220, February 2005.

[7] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," Proceedings of Thirty-Eighth Asilomar Conference Signals, Systems and Computers, pp. 772-776, November 2004.

[8] Yonghong Zeng, Ying-Chang Liang, Anh Tuan Hoang, and Rui Zhang, "A review on spectrum sensing for cognitive radio: challenges and solutions," EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Vol. 2010, pp. 1-15, January 2010.

[9] Federal Communications Commission, "FCC frees up vacant TV air waves for "super WiFi" technologies," ET Docket No. 03-280 and 04-186, September 2010.

[10] Electronic Communications Committee, "Technical and operational requirements for the possible operation of cognitive radio systems in the 'White Spaces' of the frequency band 470-970 MHz," ECC Report 159, January 2011.

[11] Jan Engelberg, "Required regulative actions to introduce cognitive radio," AALTO University, Thesis for the degree of Master, June 2010.

[12] Borhan Jalaeian and Mehul Motani, "Location aware CR-MAC: a multi-channel cross layered PHY-MAC protocol for cognitive radio adhoc networks," Proceedings of the 2009 IEEE 9th Malaysia International Conference on Communications, pp. 15-17, December 2009.

[13] Hamid Reza Karimi, "Geolocation databases for white space devices in the UHF TV bands: specification of maximum permitted emission levels," IEEE International Symposium on Dynamic Spectrum Access Networks (DySPAN), pp. 443-454, May 2011.

[14] Stephen J. Shellhammer, "A comparison of geo-location and spectrum sensing in cognitive radio," Proceedings of 18th International Conference on Computer Communications and Networks, pp. 1-6, August 2009.

[15] Kaixin Su, Mario Gerla, Sang Bae, "Effectiveness of RTS/CTS handshake in IEEE 802.11 based ad hoc networks," Elsevier adhoc networks, Vol. 1, No. 1, pp. 107-123, July 2003.

이 규 호 (Kyu-Ho Lee)

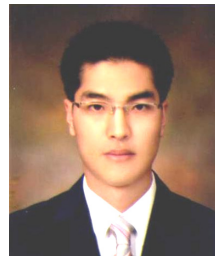
정회원



2004년 2월 인하대학교 컴퓨터 공학과(공학사)  
2012년 2월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)  
2007년 10월~현재 LIG넥스원 연구개발본부 선임연구원  
<관심분야> Cognitive Radio, Distributed Network, MAC

최 재 각 (Jae-Kark Choi)

정회원



2006년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)  
2008년 8월 인하대학교 정보통신대학원(공학석사)  
2008년~현재 인하대학교 정보통신대학원 박사과정  
<관심분야> Cognitive Radio, Seamless handover, MAC

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

중신회원



1988년 2월 한양대학교 전자통신공학과(공학사)  
1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과(공학석사)  
2000년 8월 한국과학기술원 전자전산학과(공학박사)  
1990년 3월~2001년 2월 KT 연구 개발본부

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신공학부 정교수  
<관심분야> 초고속통신망, 무선MAC 프로토콜, 인터넷 QoS, Cross-layer 프로토콜 설계, Cognitive Radio Network