

# 무선 인지 기술 기반의 WRAN 시스템에서 숨겨진 인컴버트 시스템 검출 MAC 프로토콜

준회원 김현주\*, 조경진\*, 현태인\*\*, 정회원 유상조\*

## Cognitive Radio MAC Protocol for Hidden Incumbent System Detection

Hyun-Ju Kim\*, Kyoung-Jin Jo\*, Tae-In Hyon\*\* *Associate Members*, Sang-Jo Yoo\* *Regular Member*

### 요 약

무선 인지 기술 환경에서 CR 기지국이 숨겨진 인컴버트 시스템의 등장으로 인해 CR 사용자와 통신이 불가능하고 인컴버트 사용자가 간섭을 받을 때, 이를 해결하기 위한 시그널링 방법에 관한 것으로 숨겨진 인컴버트 시스템의 검출을 위한 프로토콜을 제안한다. 특히 아웃밴드 시그널링 검출 방법을 통해 상향링크 및 하향링크 프레임 구조를 이용하여 단말의 채널상태 보고 방법과 이에 대한 기지국의 확인방법 및 절차를 제안한다. 서로 다른 CR 기지국이 공존하는 방법으로 낮은 충돌 확률로 아웃밴드 시그널링 메시지를 전송할 수 있도록 하고 이 때 주파수 사용 효율을 높이기 위해 분할 주파수 대역을 사용한다. 이를 통해 무선 인지 기술에서의 신뢰성 있고 효율적인 아웃밴드 시그널링 프로토콜을 제안 한다.

**Key Words** : Cognitive radio technology, Hidden incumbent system detection, Fractional bandwidth usage

### ABSTRACT

In this paper, we propose a inband/outband broadcast method for hidden incumbent system detection of medium access control layer for wireless regional area network systems using cognitive radio technology. Through some extra channels that are not currently used, a short message is broadcasted. The message allows CPE detecting an appearance of incumbent system to send sensing report to CR BS. For the hidden incumbent system report message, the BS needs a process or method for allocation of upstream resource to CPEs. And transmitting multiple out-band signals has a possibility to collide with out-band signals of other co-located WRAN BSs. To avoid out-band signal collision, BSs randomly select it out-band signal broadcasting time within the pre-defined explicit out-band signaling period. And fractional Bandwidth Usage allows WRAN BSs to efficiently use bandwidth.

### I. 서론

차세대 무선 통신 서비스가 이용할 수 있는 주파

수 대역에 대한 수요가 증가하면서 무선 통신 업체의 주파수 부족이 심화되었고 이러한 문제점을 해결하기 위해 차재인식, 주파수 인식, 사용자 인식이

※ 본 연구는 삼성종합기술원(Samsung Advanced Institute of Technology) 지원으로 수행되었음.

※ 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구(R01-2006-000-10266-0) 지원으로 수행되었음.

\* 인하대학교 정보통신대학원 멀티미디어통신망연구실 (multinet@inhaina.ac.kr, sjyoo@inha.ac.kr)

논문번호 : KICS2006-07-322, 접수일자 : 2006년 11월 17일, 최종논문접수일자 : 2006년 12월 4일

가능한 CR(Cognitive Radio, 무선 인지 라디오) 개념<sup>[1-4]</sup>이 제안되었다. 무선 인지 라디오는 주파수가 할당되어 있지만 시간적, 공간적 이유로 인하여 사용되지 않고 있는 주파수 자원들을 기존 사업자의 무선 통신 시스템(primary user)에 간섭을 주지 않는 범위 내에서 주파수 사용 대역을 조정하여 사용하는 기술이다.

FCC(Federal Communications Commission)<sup>[5]</sup>가 주파수 사용 효율을 올리고자 NPRM(Notice of Proposed Rule Making)<sup>[6]</sup>을 통하여 비어있는 주파수에 대한 중복 사용 가능성에 대한 내용을 발표한 이후 IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Networks) 작업 그룹<sup>[7]</sup>이 결성되어 무선 인지 라디오 개념을 기반으로 비인가 시스템이 TV 방송 서비스에 할당된 스펙트럼을 사용할 수 있도록 PHY 및 MAC 계층 인터페이스에 대한 표준을 제정 중이다. 802.22의 MAC 프로토콜은 무선 채널 자원을 공유하는 것을 주요 목적으로 TV 방송 주파수에서 운영하고 있는 TV 방송, part 74 장치, 무선 마이크로폰과 같은 인컴버트 시스템(incumbent user)과 공존해야 한다. 이와 같은 WRAN 시스템은 처음 CR 사용지의 전원이 켜졌을 때 주파수 대역을 살펴봄으로써 인컴버트 시스템이 이용하는 스펙트럼의 사용을 감지하고 CR 사용자 장치의 파워나 이용 중인 채널을 변경하는 등의 작업을 수행한다.

WRAN 시스템은 반드시 인컴버트 서비스에 간섭을 일으키지 않고 운영해야 하기 때문에 인컴버트 시스템의 주파수 사용 상황에 따라 센싱과 채널 변경 작업을 수행한다. CR 기지국은 CR 사용자가 언제 어떤 채널을 센싱할지를 지시하고, 센싱을 수행함으로써 인컴버트 신호와 다른 비면허(license exempt) 신호의 종류를 식별할 수 있어야 한다. CR 시스템은 사용 중인 채널에서 인컴버트 시스템이 출현하면 간섭을 주지 않기 위해 해당 채널로의 통신을 중단하고 다른 채널로 이동하는 작업을 수행해야 한다. 이처럼 WRAN 시스템에서 인컴버트 시스템의 보호는 우선적으로 해결해야 할 과제이며 본 논문에서는 인컴버트 시스템의 등장을 알려주어 간섭문제를 해결하는 프로토콜을 제안한다. 특히 숨겨진 인컴버트 시스템의 상황을 예로 들어 hidden terminal problem을 해결했다. CR 사용자가 갑작스러운 인컴버트 시스템의 등장으로 인하여 CR 기지국의 신호를 디코딩할 수 없고 또한 CR 기지국에게 인컴버트 시스템의 등장을 알릴 수 없는 상황을 숨겨진 인컴버트 시스템이라 정의한다.

이와 같이 기존 주파수 대역의 활용성을 극대화하기 위한 무선 인지 라디오 기술은 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기반의 홈 네트워크 시장<sup>[8-10]</sup>이나 UWB(Ultra WideBand) 등과 같은 새로운 스펙트럼 활용 기술과 함께 연동하여 서로 상호 보완적으로 사용<sup>[11-13]</sup>될 가능성이 높다. 따라서 본 논문에서는 무선 인지 라디오 기술을 사용하는 WRAN 시스템에서 발생할 수 있는 숨겨진 인컴버트 시스템 문제를 해결하여 기존의 시스템에 간섭을 주지 않고 공존할 수 있는 프로토콜을 제안한다.

본 논문에서는 MAC 프로토콜을 이용하여 CR 사용자가 주기적으로 센싱하고 숨겨진 인컴버트 시스템을 inband/outband signaling 메시지로 보고한 후 기존 인컴버트 사용자에게 간섭을 끼치지 않는 채널로 이동한다. 그 결과 CR 시스템과 인컴버트 시스템은 공존하며 운영된다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 무선 인지 라디오 기술 기반의 WRAN 시스템에서 수행하는 일반적인 채널 센싱 및 주파수 변경 절차에 대해 기술한다. 제 3장에서는 숨겨진 인컴버트 시스템을 설명한 후 이를 해결하기 위해 본 논문에서 제안된 inband/outband signaling 프로토콜을 설명하고 제 4장에서는 모의실험을 통해 제안된 방법의 성능평가를 수행했다. 마지막으로 제 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 채널 센싱 및 주파수 절차

무선 인지 라디오 기술을 사용하는 시스템은 기존에 먼저 주파수를 이용하는 인컴버트 시스템에 속한 사용자가 간섭을 받지 않도록 운영해야 하고, 인컴버트 시스템의 영향으로 CR 시스템과 통신이 불가능한 CR 사용자들에게 새로운 채널을 할당해야 한다. CR 기지국은 센싱을 통해 채널 이용 상황을 파악한다.

### 2.1 채널 센싱 절차

센싱이란 채널의 신호 특성을 몇 가지 요소로서 정의하고 그 신호를 구분하기 위한 활동이다. 센싱은 인컴버트 시스템을 보호하기 위해서도 필요하며 WRAN 시스템과 인컴버트 시스템 양쪽 모두가 안정적인 데이터 전송을 위해 신뢰성 있는 센싱 결과가 필요하다. WRAN 시스템에서는 인컴버트 시스템의 주파수 대역을 사용하기 때문에 센싱으로 채널의 이용 가능성을 판단할 수 있고 절차는 다음과 같다.

- ① CR 기지국이 CR 사용자에게 센싱을 하도록 다운스트림으로 센싱 주기와 센싱 시간과 센싱 대상에 속하는 채널을 포함해서 파라미터 값을 전달해 센싱을 시작한다.
- ② CR 사용자는 데이터 전송을 멈춘 후 quiet period 동안 임의의 채널 순서로 센싱을 수행한다.
- ③ 채널 센싱의 순서와 보고 시간과 횟수는 CR 기지국이 취합한 센싱 결과에 따라 변경되어 CR 사용자에게 전달한다.

CR 사용자는 quiet period 동안 채널 센싱 결과를 취합하여 기지국에게 업스트림으로 전달한다. 인컴벤트 트가 등장한 것을 센싱 결과로부터 인지했을 때에만 기지국에게 전달하거나 주기적으로 센싱 결과를 전달할 수도 있다.

### 2.2 주파수 변경 절차

CR 사용자에게서 센싱 정보를 받거나 기지국이 자체적으로 인컴벤트 시스템을 인지하면 인컴벤트 시스템이 간섭 없이 사용할 수 있도록 인컴벤트 시스템이 사용하는 해당 채널을 즉시 비워줘야 한다. 또한 CR 시스템이 CR 사용자들에게 끊임없는 지속적인 서비스를 제공할 수 있어야 한다.

- ① 인컴벤트 시스템의 신호가 감지 된 채널을 사용하고 있던 CR 사용자는 CR 기지국에게서 후보 채널 리스트를 포함하는 채널 변경 메시지를 받는다. 후보 채널 리스트는 CR 기지국과 바로 통신할 수 있는 채널들의 집합이다.
- ② CR 사용자는 해당 채널의 사용을 중단하고 채널 변경 메시지에 대한 응답을 보낸다.
- ③ CR 기지국은 새로운 채널을 할당하여 이를 CR 사용자에게 알리고, CR 사용자는 채널 변경을 실시한다.
- ④ CR 사용자는 새로운 채널에서 레인징을 수행하고 각종 파라미터를 변경하여 일반적인 데이터 통신을 시작한다.

## III. 숨겨진 인컴벤트 시스템 검출 MAC 프로토콜

신뢰성 있는 센싱 정보는 CR 시스템이 인컴벤트 시스템을 보호하고 CR 사용자가 지속적으로 서비스를 제공받기 위해 필요하다. 일반적인 센싱 절차를 통해서 숨겨진 인컴벤트를 인지하고 CR 사용자에게 서비스를 제공하는 것이 힘들다.

### 3.1 숨겨진 인컴벤트 시스템

숨겨진 인컴벤트 시스템을 그림 1을 통해 살펴본다. CR 기지국은 채널X를 이용하여 CR 사용자들에게 서비스를 제공하고 있고 이때 갑자기 인접 부근에서 인컴벤트 시스템이 채널을 사용하여 인컴벤트 사용자들에게 서비스를 시작한다. CR 기지국은 인컴벤트 시스템의 신호 범위를 벗어난 영역에 존재하기 때문에 인컴벤트 시스템의 존재를 알 수 없고 CR 기지국의 신호 범위 내에서는 이미 채널을 통해 서비스를 원활하게 받고 있는 CR 사용자가 존재하기 때문에 CR 기지국은 채널에 인컴벤트의 등장을 센싱 정보를 통해서 알 수 없다. CR 기지국은 계속해서 채널을 이용하여 CR 사용자들에게 서비스를 제공하고, CR 시스템과 인컴벤트 시스템의 신호가 중첩된 영역 내에 존재하는 인컴벤트 사용자는 간섭을 받고, CR 사용자는 인컴벤트 시스템의 강한 신호 때문에 CR 기지국으로 인컴벤트의 등장을 알릴 수 없다.

초기화 과정에서 이러한 상황이 발생한다면 CR 기지국이 CR 사용자의 block 상태를 알기 힘들 뿐만 아니라 CR 사용자는 통신에 어려움을 겪는다. CR 사용자가 통신할 수 있는 채널을 찾기까지의 시간이 얼마나 걸릴지는 알 수 없고 숨겨진 인컴벤트 시스템을 일반적인 센싱 방법으로 인지할 수 없기 때문에 인컴벤트 시스템이 통신하는데 방해를 받고 CR 사용자는 원활한 서비스를 받기 힘들다.

숨겨진 인컴벤트 시스템은 다음과 같은 문제점을 일으킨다. 1) 인컴벤트 시스템에게 간섭을 줄 수 있다. 2) 일부 CR 사용자는 CR 기지국과 통신할 수 없다. 따라서 숨겨진 인컴벤트 시스템 상황에서는 CR 기지국이 인컴벤트 시스템이 사용 중인 채널로 CR 사용자들에게 서비스하는 것을 중지하기 위해서 CR 사용자가 CR 기지국에게 인컴벤트의 등장을 알리기 위한 구체적인 방법이 필요하다.

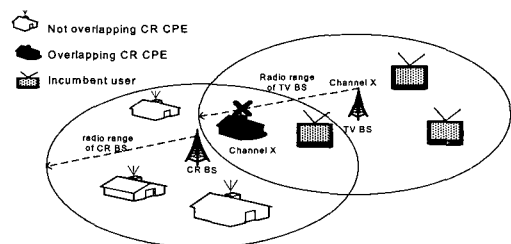


그림 1. 숨겨진 인컴벤트 시스템.

본 논문에서는 WRAN 시스템이 운영 중일 때 in-band(CR 시스템이 사용 중인 채널대역, 인밴드)에 사용 중인 채널 리스트(current channel list)를 알려주어서 인컴버트가 등장하면 동기가 맞춰진 다른 사용 중인 채널을 통해 인컴버트 시스템의 등장을 알리는 방법과 outband(어떠한 인컴버트 시스템이나 CR 시스템이 사용 중이지 않는 채널대역, 아웃밴드)에 후보 채널 리스트(candidate channel list)를 알려주어서 인컴버트 시스템의 등장을 보고하는 방법을 제안한다. 그리고 이 방식을 inband 인컴버트 시스템 검출 프로토콜과 명시적인 outband 인컴버트 시스템 검출 프로토콜이라 정의한다.

### 3.2 Inband signaling

WRAN 시스템이 인밴드에 사용 중인 채널 리스트를 알려주어서 인컴버트가 등장하면 동기가 맞춰진 다른 사용 중인 채널을 통해 인컴버트 시스템의 등장을 알리는 방법을 inband signaling이라 한다. Inband signaling을 사용하면 CR 사용자가 현재 사용하는 채널에서 인컴버트의 등장을 바로 보고할 수 있기 때문에 그 이후의 채널 사용 중단 및 채널 변경 절차를 신속하게 진행할 수 있다. 현재의 채널로는 CR 기지국과 통신할 수 없음을 알게 된 CR 사용자는 inband signaling에게서 전달받은 사용 중인 채널 리스트를 차례로 센싱하여 CR 기지국과의 동기화를 수행한다. 이후 CR 사용자는 채널 변경 메시지를 CR 기지국으로 보내고 이에 대한 응답을 받으면 해당 채널로 서비스를 재개한다. 식 (1)과 같이 inband signaling 메시지에는 CR 기지국 ID 와 current channel list를 포함한다.

$$Inband\_signaling \ni \{BSID, current\_channel\_list\} \quad (1)$$

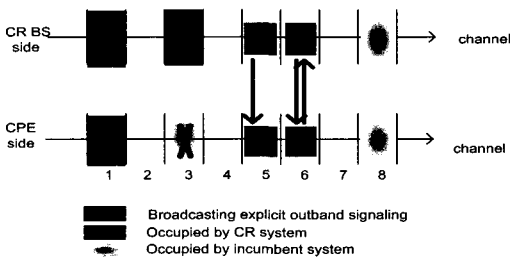


그림 2. 명시적인 아웃밴드 시그널링 실시 예.

### 3.3 Outband signaling

Inband signaling은 WRAN 시스템이 여러 개의 채널로 CR 사용자들에게 서비스를 제공하는 상황에

서 이용한다. WRAN시스템이 하나의 채널로만 CR 사용자에게 서비스를 제공하는 경우와 전원을 켜진 후의 CR 사용자가 CR 기지국과 동기를 맞추는 상황에 숨겨진 인컴버트 등장하는 경우는 outband signaling(explicit outband signaling과 같은 의미로 사용)을 사용해야 한다. CR 기지국이 아웃밴드에 주기적으로 explicit outband signaling 메시지를 전송하고 이에 대한 응답으로 인컴버트 시스템의 등장을 보고하는 방법을 explicit outband signaling이라 정의한다.

#### 3.3.1 Outband 인컴버트 시스템 검출 프로토콜

숨겨진 인컴버트 시스템 검출을 위한 explicit outband signaling을 전송하고 센싱 리포트를 받는 절차를 그림 2에서 설명한다.

- ① CR 기지국은 주기적으로 사용 중인 채널1, 채널3에 대한 정보를 이용 가능한 다른 채널인 채널 5, 채널 6과 같은 아웃밴드를 이용하여 브로드캐스트한다.
- ② 채널 3을 이용하던 CR 사용자는 숨겨진 인컴버트의 등장으로 하향링크 신호를 수신할 수 없고, CR 사용자들은 CR 기지국과 통신하기 위해서 다른 채널을 센싱하기 시작한다.
- ③ 해당 CR 사용자는 채널을 센싱하는 도중에 explicit outband signaling을 받으면 그 채널을 사용할 수 있음을 인지하고 그 채널의 상향링크로 채널 3에 인컴버트가 등장했다는 것을 리포트 한다.

$$Outband\_signaling \ni \{BSID, CPEID, Candidate\_channel\_list\} \quad (2)$$

식 (2)에서처럼 outband signaling 메시지는 CR 기지국 ID 와 CR 사용자 ID, candidate channel list를 전송한다.

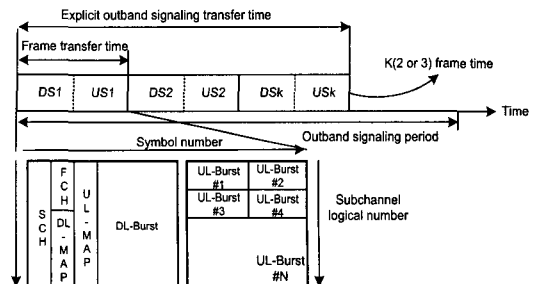


그림 3. 명시적인 아웃밴드 시그널링 프레임 구조.

CR 사용자가 아웃밴드에서 explicit outband signaling을 수신하면 주변 채널에 대한 정보를 담아 후보 채널 대역으로 센싱 보고를 수행한다. 이 센싱 보고를 통해 임의의 채널 특성을 보고하고 인컴벤트의 등장 여부와 간섭 정도를 알 수 있는 각종 파라미터를 전송한다. CR 사용자가 센싱 측정 메시지를 보고할 때 단말 ID와 frequency band state table 정보를 전송하는데 이 table에는 식 (3)에서 보듯이 기지국 ID와 단말 위치, 채널 ID, SINR(Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio) 필드를 담는다.

$$Frequency\_band\_state\_table \ni \{BSID, CPE\_location, channel\ ID, SINR\} \quad (3)$$

### 3.3.2 Explicit outband signaling 프레임 구조

CR 사용자들이 explicit outband signaling 검출을 위해서 특별한 프로토콜 또는 물리계층의 모듈이 필요하지 않기 위해서, 아웃밴드 신호의 프레임 구조는 기존에 서비스되는 물리계층과 MAC 계층의 프레임 구조를 따른다. CR 기지국과 단말이 숨겨진 인컴벤트 시스템 정보 및 채널정보를 주기적으로 교환할 때, CR 기지국과 단말이 사용하는 프레임 구조를 그림 3에서 나타냈다. 그림 3의 explicit outband signaling의 구조가 따르는 직교 주파수 다중 접속<sup>7)</sup>(OFDMA : Orthogonal Frequency Division Multiple Access)의 프레임 구조에 있어서 슈퍼프레임 체크 헤더(superframe control header) 프레임 체크 헤더(frame check header), 하나의 OFDMA 프레임 안에서 각 사용자별 하향링크의 자원 할당 부분을 가리키는 하향링크 맵(down-link map), 하나의 OFDMA 프레임 안에서 각 사용자별 상향링크 자원 할당 부분을 가리키는 상향링크 맵(up-link map), 각 사용자별 수신 되는 실제 데이터를 담고 있는 하향링크 버스트(down-link burst), 각 사용자별 실제 데이터를 송신할 수 있는 상향링크 버스트(up-link burst)로 구성된다.

Explicit outband signaling의 구조는 CR 기지국과 CR 사용자가 실제 서비스하기 위해서 전송하는 물리계층과 MAC 계층의 프레임 구조와 같다. 특히, 슈퍼프레임 체크 헤더에는 전송되는 프레임이 실제 데이터 전송을 위한 정규적 서비스 MAC 프레임인지 explicit outband signaling MAC 프레임인지를 나타내는 한 비트를 할당한다. 하향링크 버스트에는 현재 이용 중인 서비스 채널과 이용 가능

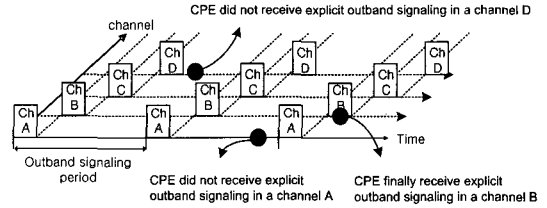


그림 4. 순차적인 outband signaling 브로드캐스트 방식.

한 서비스 채널에 대한 정보를 담고 있다. CR 기지국의 신호를 디코딩할 수 없어서 다른 채널의 센싱을 시도하여 explicit outband signaling을 인식한 CR 사용자는 상향 링크 버스트를 사용하여 CR 기지국에게 숨겨진 인컴벤트 시스템 보고 메시지를 전송한다. 숨겨진 인컴벤트 시스템 보고 메시지는 현재 서비스 채널이 디코딩할 수 없다는 정보를 포함할 수 있고, 또한 CR 사용자가 인컴벤트 시스템의 신호를 검출할 수 있다면, 서비스 채널이 인컴벤트 시스템에 의해서 사용 중이라는 정보를 포함할 수 있다. 또한 CR 사용자가 측정한 여러 채널에 대한 정보를 포함할 수 있다.

CR 기지국은 어느 CR 사용자가 센싱 리포트를 전송할 것인지 미리 알 수 없기 때문에 일반적으로 CR 기지국은 센싱 정보를 리포트하려는 CR 사용자에게 상향링크를 할당할 수 없다. 그래서 CR 기지국인 숨겨진 인컴벤트 시스템 보고 메시지를 담아 센싱 리포트를 전송할 때 충돌이 발생할 수 있다. CR 기지국이 outband signaling period 동안에 단말로부터 신뢰성 있는 응답을 수신하기 위하여 최대 개의 프레임을 전송하고, 기지국에서 단말로의 매 하향링크 프레임에는 이전 프레임에 올바르게 수신된 채널 보고를 송신한 단말에 확인(ACK) 정보를 송신하고, 단말은 하향링크 프레임에 이전에 보낸 채널 보고에 대한 확인이 없는 경우에만 다음 상향 프레임에 채널 보고를 위한 채널 액세스를 시도한다.

### 3.3.3 Explicit outband signaling 브로드캐스트 방식

CR 기지국이 explicit outband signaling을 브로드캐스트하는 방식 중 하나는 CR 기지국이 동시에 outband signaling period 동안 임의의 시간에 동시에 모든 아웃밴드 채널에 explicit outband signaling을 전송하는 것이다. CR 사용자가 아웃밴드 채널을 센싱하면 CR 기지국이 explicit outband signaling을 감지할 수 있고 CR 기지국이 전송하는 explicit

outband signaling을 받으면 감지중인 채널을 통해 센싱 보고를 상향링크 프레임으로 전송한다. 또 다른 방식으로는 CR 기지국이 차례로 후보 채널 대역에 explicit outband signaling을 전송하는 방식이 있다. 단말은 CR 기지국이 explicit outband signaling을 전송하는 시간 동안에 임의의 순서로 채널을 감지하다가 CR 기지국이 전송하는 explicit outband signaling을 받았을 때 같은 채널이면 센싱 측정값을 보고한다. 그림 4는 순차적인 브로드캐스트 방식을 나타냈다.

- ① CR 기지국이 이용 가능한 아웃밴드 채널 A, B, C, D로 미리 정해진 outband signaling period 내에서 순차적으로 explicit outband signaling을 브로드캐스트한다.
- ② CR 사용자가 현재 CR 기지국이 서비스하는 채널 X의 신호를 디코딩할 수 없으면, CR 기지국의 신호를 검출하기 위해서 다른 채널을 센싱하기 시작한다.
- ③ CR 사용자가 채널을 센싱하는 도중에 채널 B에서 CR 기지국의 explicit outband signaling을 검출하면 그 브로드캐스트 신호가 담고 있는 현재 서비스하는 채널 ID를 인식할 수 있고, 현재 서비스하는 채널 X가 인컴버트 시스템의 등장으로 디코딩할 수 없는 채널이라면 그 정보를 보고하기 위해서, CR 사용자는 explicit outband signaling의 상향링크 자원을 사용하여 그 정보를 CR 기지국에게 전송한다.
- ④ 그 후 CR 기지국은 숨겨진 인컴버트 시스템의 등장을 인지하게 되고, 현재 서비스 중인 채널 X를 다른 이용 가능한 채널로 바꾼다.

### 3.3.4 Explicit outband signaling 자원 할당

Explicit outband signaling을 받은 CR 사용자는 요청받은 채널 리스트에 대한 센싱 측정 메시지를 전송하기 위해 자원을 할당받도록 요청해야 한다. 센싱 측정 메시지를 위한 자원 할당 방식은 두 가지로 하나는 CR 기지국이 센싱 측정 메시지의 최대 크기로 상향링크 자원을 나누는 방법이고 다른 하나는 상향링크 자원을 랜덤하게 선택하여 이용하는 방법이다.

첫 번째 방법으로 CR 기지국이 explicit outband signaling을 하향링크 프레임으로 전송할 때 센싱보고 메시지의 최대 크기만큼을 상향링크 자원으로 나누고 각 상향링크 버스트를 할당하는 방법이다. Explicit outband signaling 메시지를 전송할 때 각

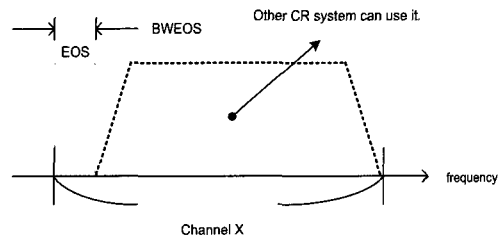


그림 5. 분할 주파수 사용방법.

각의 상향링크 버스트의 할당 정보는 상향링크 맵에 포함되어 전송된다. CR 사용자는 explicit outband signaling의 상향링크 맵에 나타나 있는 각 상향링크 버스트의 자원을 랜덤하게 선택하여 인컴버트의 등장을 알리고 이에 대한 응답을 CR 기지국으로부터 받도록 한다. 응답을 받지 못하면 충돌이 발생된 것으로 간주하고 랜덤 백오프(random back-off)를 시도하여 다시 재전송한다.

두 번째 방법은 CR 기지국이 explicit outband signaling을 전송할 때, 상향링크 버스트에 CDMA(Code division multiple access) 코드를 전송할 구간을 설정하여 전송한다. CR 사용자가 숨겨진 인컴버트 시스템의 존재를 전송하기 위한 상향링크 자원을 할당받기 위해서 랜덤하게 선택한 CDMA 코드를 상향링크 맵에서 설정되어 있는 구간에서 랜덤하게 선택하여 전송한다. CDMA 코드를 수신한 CR 기지국은 CR 사용자에게 명시적으로 상향링크 자원을 할당하여 CR 사용자가 숨겨진 인컴버트 시스템의 등장을 보고하는 센싱 측정 메시지를 전송하게 한다.

### 3.3.5 Fractional bandwidth usage를 이용하는 explicit outband signaling

Explicit outband signaling은 아웃밴드에 주기적으로 브로드캐스팅 하는 방식이므로 그 시점에서는 다른 WRAN 시스템이 해당 아웃밴드를 사용하지 못해 채널의 가용성을 떨어뜨릴 수 있다. 그래서 아웃밴드 용량의 일부분만을 explicit outband signaling을 전송하기 위해 사용하고 나머지 밴드는 임의의 WRAN 시스템이 데이터 통신을 하는데 사용할 수 있도록 fractional bandwidth usage를 이용한다. Fractional bandwidth usage 방법은 explicit outband signaling 전송에 있어 대역의 효율적 사용방법으로, 전체 채널의 가용 대역 중 미리 정의된 일부의 대역위치와 대역폭만을 사용하여 명시적인 explicit outband signaling의 전송과 단말로 부터의 보고절차를 수행하고, 나머지 대역은 다른 CR 시스템

이 데이터 전송을 위해 사용할 수 있게 하는 방법이다.

CR 사용자에게 전체 채널의 가용 대역 중 미리 정의된 일부의 대역위치와 대역폭만을 사용하여 아웃밴드 채널로 제어 메시지를 보내고 나머지 용량을 데이터 전송에 이용하여 주파수 대역을 효과적으로 사용한다. 그림 5를 보면 CR 기지국이 아웃밴드 채널에 제어 신호를 전송할 때 사용하는 주파수 대역이 있고 그 채널의 나머지 부분을 다른 CR 사용자가 사용할 수 있다. CR 기지국은 explicit outband signaling을 전송할 때 매우 적은 대역폭만을 사용하고 이 옆 부분에 가드 밴드를 두고 나머지 채널 부분을 다른 CR 사용자가 이용하여 채널을 효과적으로 사용한다. CR 기지국은 채널의 일부분을 explicit outband signaling을 전송할 수 있는 주파수 대역으로 미리 정의하고, 이 부분에만 explicit outband signaling을 사용할 수 있도록 한다.

### 3.4 인접지역에 위치하는 CR 기지국간 outband signaling 전송 시 공존방법

인접지역에 위치하는 CR 기지국이 다수의 explicit outband signaling을 전송하는 상황에서는 충돌이 발생할 수 있다. 인접하는 CR 기지국이 explicit outband signaling을 전송할 때 충돌을 피하기 위한 CR 기지국간 공존 방법으로는 CR 기지국간의 통신이 가능한 경우 각각의 CR 기지국의 explicit outband signaling을 보내는 일정을 조정 한 후 서로 다른 시간에 CR 기지국이 서비스 중인 채널 이외에 이용 가능한 채널로 explicit outband signaling을 보내는 방법이 있다. CR 기지국간의 통신이 불가능한 경우는 다음과 같이 CR 기지국간의 공존을 위한 outband signaling 브로드캐스트 방식을 이용한다.

CR 기지국간의 통신이 불가능한 경우 각각의 CR 기지국이 여러 채널에 보내는 explicit outband signaling을 한 outband signaling period 내에서 복수개의 통신 송신기를 이용하여 동시에 전송한다. 이 방식은 각 outband signaling period 마다 채널 별 explicit outband signaling 전송을 위한 시간 슬롯은 임의로 설정하여 운영한다. 그림 6에서 인접하는 CR 기지국이 명시적인 explicit outband signaling을 전송할 때 발생할 수 있는 충돌에 대비하여 복수개의 통신 송신기를 이용하여 공존하는 예를 나타낸다. 인접 CR 기지국간에 통신이 불가능한 경우는 충돌을 피하기 위해서 미리 정의된 outband

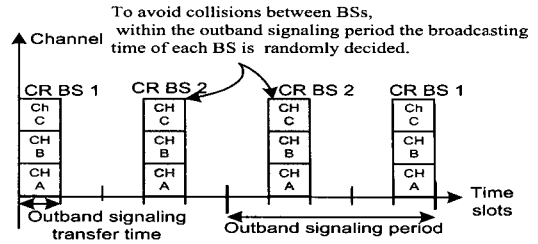


그림 6. CR 기지국간 주파수 동시적인 브로드캐스트 방식.

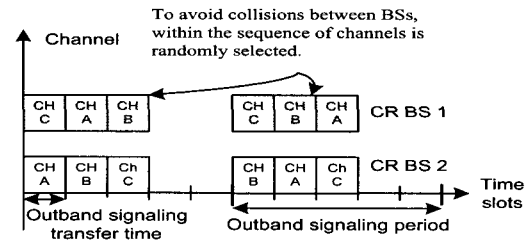


그림 7. CR 기지국간 시간 순차적인 브로드캐스트 방식.

signaling period 내에서 임의의 time slot을 선택하여 아웃밴드 브로드캐스트 시그널링 전송시간 동안 explicit outband signaling을 전송한다. 한 outband signaling period 내에서 각각의 CR 기지국이 여러 채널에 보내는 explicit outband signaling을 복수개의 통신 송신기를 이용하여 동시에 모든 아웃밴드 채널로 explicit outband signaling을 전송한다. CR 기지국은 outband signaling period 마다 time slot을 랜덤하게 선택하여 동시에 전 아웃밴드 채널로 explicit outband signaling을 전송한다.

또 다른 방식은 CR 기지국간의 통신이 불가능한 경우 각각의 CR 기지국이 여러 채널에 보내는 explicit outband signaling을 한 개의 통신 송신기를 이용하여 한 outband signaling period 내에서 채널 별로 다른 시간 슬롯을 사용해서 보내고, 각 outband signaling period 마다 채널 별 explicit outband signaling 전송을 위한 시간슬롯은 임의로 설정하여 운영하는 방식이다. 그림 7에서 한 개의 통신 송신기를 이용하여 공존하는 예를 나타낸다. CR 기지국간의 통신이 불가능한 경우 각각의 CR 기지국이 한 개의 통신 송신기를 이용하여 한 outband signaling period 내에서 채널 별로 다른 time slot을 택하여 순차적으로 explicit outband signaling을 보내고, 이 제어신호는 아웃밴드 브로드캐스트 시그널링 전송시간동안 전송한다. CR 기지국들은 다음번 outband signaling period에 임의로 채널을 다시 선택하여 time slot마다 explicit outband signaling

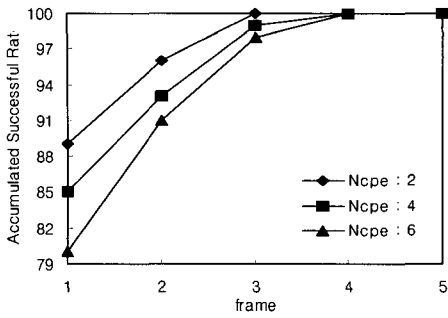


그림 8.  $N_s(\text{slot})=10, N_c(\text{candidate channel})=2$ .

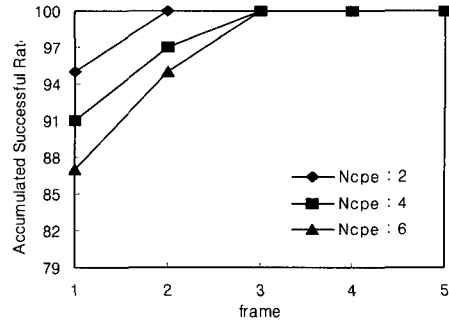


그림 9.  $N_s(\text{slot})=10, N_c(\text{candidate channel})=6$ .

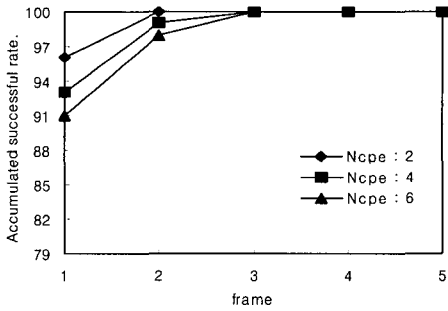


그림 10.  $N_s(\text{slot})=20, N_c(\text{candidate channel})=2$

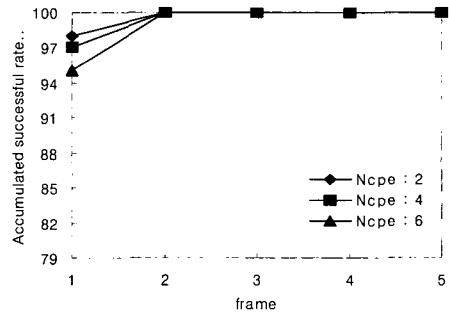


그림 11.  $N_s(\text{slot})=20, N_c(\text{candidate channel})=6$ .

을 전송한다.

#### IV. 모의실험 및 성능 분석

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 숨겨진 인컴버트 검출 방법에 대한 모의실험 결과를 설명한다. 인컴버트 시스템을 탐지한 CR 사용자가 explicit outband broadcast 시간 동안 후보 채널 리스트중의 하나를 센싱할 수 있고 일반적인 데이터 통신시간 동안 CR 사용자는 BS의 DS MAC 헤더에 있는 후보 채널 리스트를 알 수 있을 때, CR 사용자가 숨겨진 인컴버트 시스템을 인지하여 그 후보 채널 리스트중의 하나를 선택하고 이를 보고 할 수 있다. 그러나 몇몇 CR 사용자들(예를 들어 전원이 꺼져있거나 방금 전원을 켜서 BS로부터 MAC 프레임을 받지 못한 CR 사용자)은 정확한 후보 채널 리스트를 알 수 없어서, 인컴버트 시스템을 인지하여 보고하고 싶을 때에서 곧바로 후보 채널에 접근할 수 없다. 이 시뮬레이션에서는  $P_s$  확률을 0.8이상일 것이라고 가정한다.

첫 번째 실험은 명시적인 아웃밴드 시그널링을 보내는 동안  $K$ 를 증가시킬 때, 성공적인 센싱 리포트의 수신율을 나타냈다. WRAN 시스템이 보통 10

개에서 수백 개의 사용자를 동시에 지원해야하는 상황을 가정했을 때 시스템의 경계부근에서 인컴버트를 탐지하는 CR 사용자는 많지 않다. 인컴버트 시스템을 탐지하여 보내는 리포트를 담고 있는 프레임의 개수가 많으면 많을수록 WRAN BS가 숨겨진 인컴버트 시스템을 탐지할 확률은 높아진다. 이 시뮬레이션에서는  $N_{cpe}$ 의 개수를 2, 4, 6으로 설정했고  $N_s$ 개수는 10, 20인 경우를 실험했다. 그림 8, 9에서 보듯이 후보 채널의 개수가 많을수록 인컴버트 시스템을 탐지한 리포트가 여러 채널에 고르게 분포하기 때문에 센싱 리포트의 충돌은 적어진다. 주어진 환경에서  $k$ 가 2일 때 90%의 성공적인 센싱

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

$N_{cpe}$	Overlap 된 CR 사용자
$N_c$	Explicit outband signaling을 전송 하는 데 이용되는 outband내의 channel 수 (= candidate 채널 수)
$N_{ch}$	CR 기지국 통신 영역 내의 전체 채널 수
$N_s$	1 개 프레임 내 report 전송을 위한 slot 수
$k$	1개 explicit outband signaling 주기 동안 전송 되는 프레임 개수
$P_s$	CR 사용자가 시그널링 주기 동안 한 개의 후보 채널 리스트를 센싱할 확률



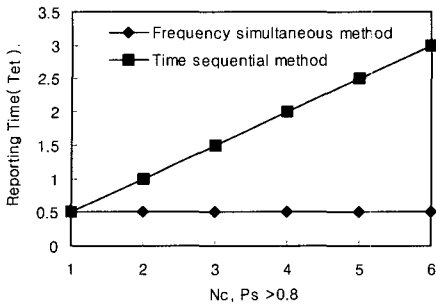


그림 12. 처음 report 보낼 때까지의 평균 지연.

리포트 수신율을 보이고 있다.  $k$ 가 3이 되면 거의 100%에 이르는 센싱 리포트 수신율을 얻었다. 또한 그림 10, 11에서 보듯이 time slot의 개수가 많을수록 한 채널에서 많은 센싱 리포트를 보내기 때문에 센싱 리포트의 수신율이 높아진다.

두 번째 실험은 명시적인 아웃밴드 시그널 프레임의 리포트 지연 시간을 측정했다. WRAN BS 가 아웃밴드 시그널링을 보내는데 걸리는 시간을 측정하고 주파수 동시 전송 방식과 시간 동시적인 방식으로 센싱 리포트를 받는데 걸리는 시간을 비교했다. 그림 12에서 보듯이 주파수 동시 전송 방식은 다른 주파수 밴드에 아웃밴드 메시지를 동시에 보내어 하나의 프레임을 전송하는 동안에 CR 사용자가 아웃밴드 채널중의 하나를 센싱할 수 있게 한다. 반면 시간 동시적인 방식은 CR 사용자가 BS가 브로드캐스트하는 채널과 다른 채널을 센싱하는 경우, CR 사용자는 다음 번 BS 전송을 기다려야 한다. 그래서 그림 12와 같이 리포트 지연 시간은 후보 채널 개수에 따라 선형적으로 증가한다.

세 번째 실험에서는 인접 지역에 위치한 WRAN BS 로부터의 명시적인 아웃밴드 시그널링 메시지를 보낼 때의 충돌 확률을 측정했다. 그림 13에서 보듯이 후보 채널의 개수가 증가하면 그때 아웃밴드 메시지의 충돌 확률은 감소했다. 그리고 WRAN BS 의 개수가 증가하면 할수록 충돌확률이 높아지는 것을 확인했다.

### V. 결론

본 논문에서는 무선 인지 라디오 기술을 사용하는 WRAN 시스템을 위한 MAC 계층에서의 숨겨진 인컴버트를 검출하는 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 숨겨진 인컴버트 검출 방법은 CR 기지국이

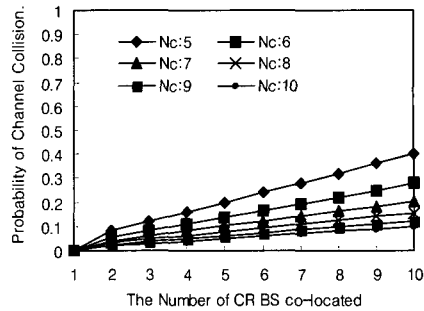


그림 13. 인접지역 CR 기지국간 브로드캐스트할 때 채널 충돌 확률.

inband/outband 에 각각 현재 사용하는 채널 리스트와 후보 채널 리스트를 주기적으로 전송하여 CR 사용자가 인컴버트의 등장을 알리는 메시지를 보낼 수 있는 채널 리스트를 갖도록 하는 방법이다. 모의 실험 및 성능평가를 통해 CR 사용자가 인컴버트가 등장했을 때 센싱 메시지를 90% 수신하기 위해 프레임의 개수가 2-3개가 요구됨을 확인했다. CR 기지국간 공존을 위한 브로드캐스트방법에서 송신기의 개수가 다수일 때와 한 개일 때의 송신 방식을 비교하기 위해 frequency simultaneous 방식과 time sequential 방식의 성능을 비교하였다. 전자는 처음으로 센싱 메시지를 전송하는데 걸리는 시간이 candidate 채널 개수 증가와는 관련 없이 일정한 시간이 소요되었다. 후자는 candidate 채널 개수가 증가할수록 소요 시간이 선형적으로 증가함을 확인했다. 인접지역의 CR 기지국 개수가 증가할 때 explicit outband signaling을 전송하는 경우의 채널 충돌확률을 알아보고, 그 결과 공존하는 CR 기지국 개수가 증가하면 채널 충돌 확률이 커짐을 확인했다.

### 참고 문헌

- [1] Joseph Mitola III, "Software radios : Survey, critical evaluation and future directions," *IEEE Aerospace and Electronic System Magazine*, vol. 8, Issue. 4, pp. 25-36, April 1993.
- [2] Jodeph Mitola III, "Cognitive Radios : Making Software Radios More Personal", *IEEE Personal Communications*, vol. 6, Issue 4, pp. 13-18, August 1999.
- [3] Joseph Mitola III, "Cognitive radio for felexible mobile multimedia communications," *IEEE International Workshop on Mobile Multimedia*

- Communications, pp. 3-10, November 1999.
- [4] Joseph Mitola III, "Cognitive radio : An integrated agent architecture for software defined radio," 2004.
  - [5] FCC, Spectrum policy task force report, No. 02-155, November 2002.
  - [6] FCC, Notice of rule making and order, No. 03-322, December 2003.
  - [7] IEEE 802.22-05/0007r47, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard," 2006.
  - [8] Ball, Ferguso, Rondeau, T.W., "Consumer applications of cognitive radio defined networks," *2005 First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, pp. 518-525, November 2005.
  - [9] Pawelczak, P. Prasad, R.V. LiangXia Niemegeers, I.G.M.M., "Cognitive radio emergency networks requirements and design," *2005 First IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, pp. 601-606, November 2005.
  - [10] Ian F. Akyildiz, Xudong Wang, Weilin Wang, "Wireless mesh networks: A survey," *Computer Networks*, vol. 47, pp. 445-487, 2005.
  - [11] Neel, J.O. Reed, J.H. Gilles, R.P., "Convergence of cognitive radio networks," *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, vol. 4, pp. 2250-2255, March 2004.
  - [12] Lansford, J., "UWB coexistence and cognitive radio," *2004 International Workshop on Ultra Wideband Systems*, pp. 18-21, May 2004.
  - [13] Walko, J., "Cognitive radio," *IEE Review*, vol. 51, pp. 34-37, May 2005.

김 현 주 (Hyun-Ju Kim)

준회원



2004년 2월 인하대학교 정보통신공학과(공학사)  
 2005년 8월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정  
 <관심분야> Cognitive Radio, 휴대인터넷(Wibro), 무선 센서 네트워크

조 경 진 (Kyoung-Jin Jo)

준회원



2005년 2월 인하대학교 컴퓨터공학과(공학사)  
 2005년 2월~현재 인하대학교 정보통신대학원 석사과정  
 <관심분야> Cognitive Radio, 휴대인터넷(Wibro), 무선 센서 네트워크

현 태 인 (Tae-In Hyon)

준회원



1987년 2월 서울대학교 제어계측 공학 (공학사)  
 1989년 2월 서울대학교 제어계측 공학과(공학석사)  
 2001년 6월 Virginia Polytechnic & State University 전기공학과(공학박사)

<관심분야> 무선네트워크, 통신공학

유 상 조 (Sang-Jo Yoo)

정회원



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

2001년 3월~현재 인하대학교 정보통신대학원 부교수  
 <관심분야> 초고속 통신망, 무선 MAC 프로토콜, 인터넷 QoS, Cross-layer 프로토콜 설계