

# Cognitive Radio 기술 동향

Trends of Cognitive Radio Technology

차세대 전파방송기술 특집

김창주 (C.J. Kim)

전파기술연구그룹 그룹장

## 목 차

- .....
- I . 개요
  - II . Cognitive Radio 기술
  - III . IEEE 802.22 표준화 동향
  - IV . CR 기술의 응용 및 전망

유비쿼터스 정보화사회의 도래와 함께 한정된 주파수자원에 대한 수요가 증가됨에 따라 이를 효율적으로 이용하기 위한 기술이 더욱 각광을 받고 있다. 이중에서도 스펙트럼 환경을 측정하여 사용하지 않은 주파수를 선정, 기존의 전파환경과 양립하면서 통신을 하는 CR 기술은 미래 무선통신의 핵심 기술로 인식되고 있다. CR 기술은 SDR 기술을 기반으로 스펙트럼 센싱(spectrum sensing) 기능을 활용하여 가용한 주파수를 선정하여 통신하는 기본적인 기능과 여러 가지 환경 파라미터를 지속적으로 업데이트 하는 learning algorithm이 합쳐진 기술이다. 본 고에서는 CR 기술을 설명하고, CR의 응용으로 현재 표준화가 진행되고 있는 IEEE 802.22 WRAN 표준화 활동과 WG에서 검토되고 있는 기술, 즉 physical layer, MAC layer, 그리고 spectrum sensing의 주요기술을 소개한다.

## I. 개요

주파수자원은 국가의 소중한 무형자산으로써 무선통신의 발전과 함께 주파수자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나 21세기의 정보화 사회에서는 주파수자원이 그에 못지 않게 소중한 자산으로 인식되고 있다. 우리나라의 무선통신기술은 아날로그 세대인 1980년대까지는 매우 제한적으로 사용되었으나 1990년대 CDMA 이동통신의 상용화 이후 비약적으로 발전하여 현재는 유비쿼터스 정보화 사회를 눈앞에 두고 있다. 그런데 유비쿼터스 정보화 사회에서는 주파수자원의 수요가 공급에 비하여 매우 많기 때문에 주파수 부족현상이 심각하게 대두된다. 그러나 실제로 분배된 주파수의 이용효율을 측정해보면 이의 이용효율이 평균적으로 30% 이하로 나타나고 있다(그림 1) 참조. 따라서 이용되지 않고 있는 주파수자원을 효율적으로 이용할 수 있는 공유 기술을 개발하여 이를 이용한다면 주파수 자원의 부족현상을 해결하는 데 크게 기여할 것이다.

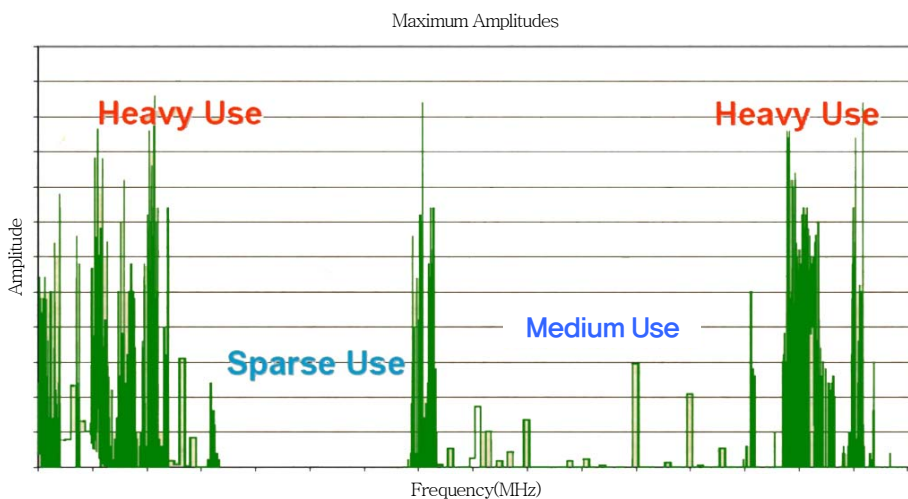
본 고에서는 이와 같이 분배된 자원 중에서 사용효율이 낮거나 사용되지 않는 주파수 자원의 이용효율을 획기적으로 높이기 위한 기술로서 최근 각광

을 받고 있는 CR 기술의 동향 및 응용에 대하여 기술한다.

## II. Cognitive Radio 기술

(그림 2)에서 보듯이 CR 기술은 SDR 기반의 무선통신 기술을 토대로 cognition 기술을 접목하여 탄생시킨 기술이다[1],[2].

SDR 기술[3]은 광범위한 주파수 대역에 걸쳐 광대역 신호처리를 할 수 있는 하드웨어를 토대로 소프트웨어를 다운로드 받아서 다양한 기능을 수행하는 기술이다. 반면에 인지기술은 주변의 정보를 지속적으로 수집하여 스스로 학습하면서 주변 상황에 따라 대처하는 컴퓨터 기술이다. 이러한 두 기술이 접목하여 탄생하는 CR 기술은 장치가 있는 주변의 스펙트럼을 센싱하여 비어 있는 채널 정보를 활용하여 통신을 하는 기술로서 1차 분배자(incumbent user)가 해당 주파수를 사용하는 경우에는 언제든지 1차 이용자에게 간섭을 주지 않고 다른 주파수 대역으로 옮겨서 통신을 한다. 이러한 기능을 위하여 CR 장치는 특정 주파수를 사용하는 동안에도 주기적으로 quiet period를 두어 해당 주파수의 incumbent user가 사용되는지에 대하여 측정을 하여



<자료>: FCC, Spectrum Policy Task Force, Technology Advisory Council(TAC) Briefing(December 2002).

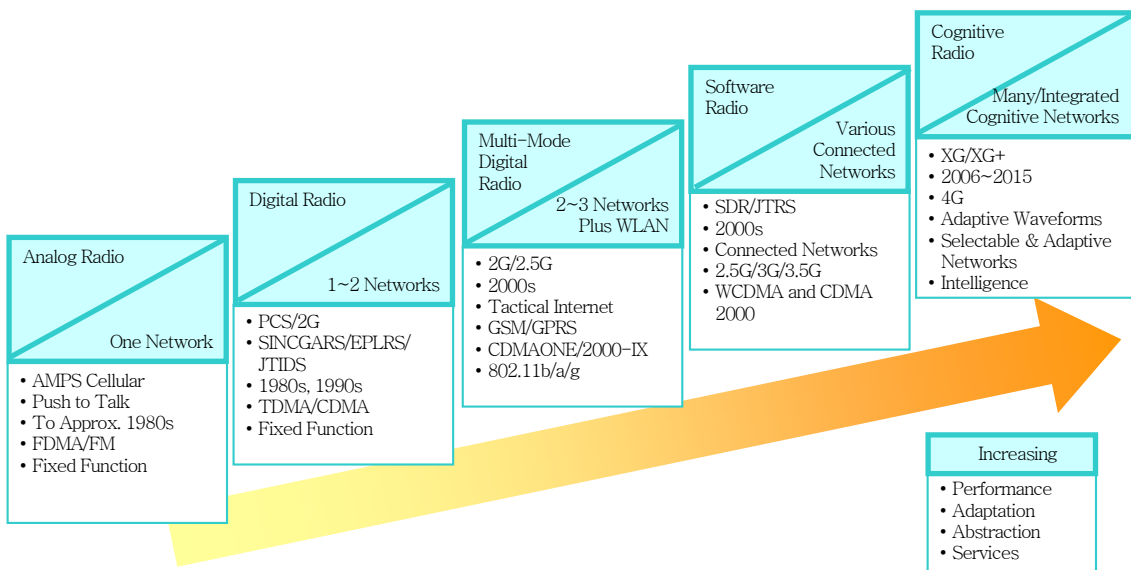
(그림 1) 미국에서의 스펙트럼 이용현황 측정 자료

야 한다. Incumbent user가 감지되면 주어진 시간 이내에 다른 채널로 이동하여 사용하든지 아니면 사용을 중지하여야 한다.

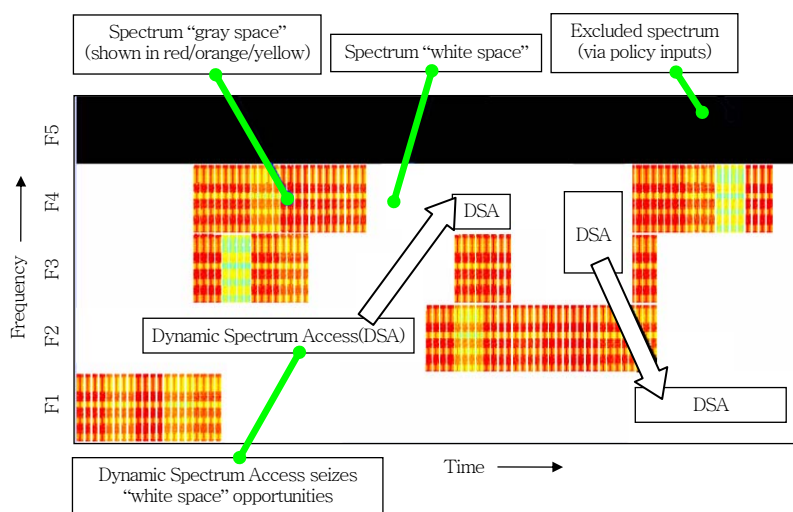
(그림 3)은 CR 장치가 스펙트럼을 측정하여 사용 가능한 주파수 목록을 토대로 통신하는 과정을 그리고 있다. 초기에 이 장치는 F2 주파수를 사용하다가 F2의 incumbent user가 이 주파수를 사용하는 경우, 이를 스펙트럼 센싱을 통하여 감지하고 F4 주파

수로 이동하여 통신을 수행한다. 이 경우 주파수 대역폭이 F2보다 넓으므로 넓은 주파수 대역폭에 적합한 전송방식을 결정하여 통신을 한다. 시간이 지나면서 주파수 대역폭이 더욱 넓어지면 CR 장치는 광대역 전송기술을 사용하여 전송용량을 더욱 키우게 된다.

이와 같이 CR 장치는 비어 있는 대역폭에 따라서 적응적으로 통신하고, 또한 출력이나 전송방식 등을



(그림 2) 무선통신기술 발전 추세

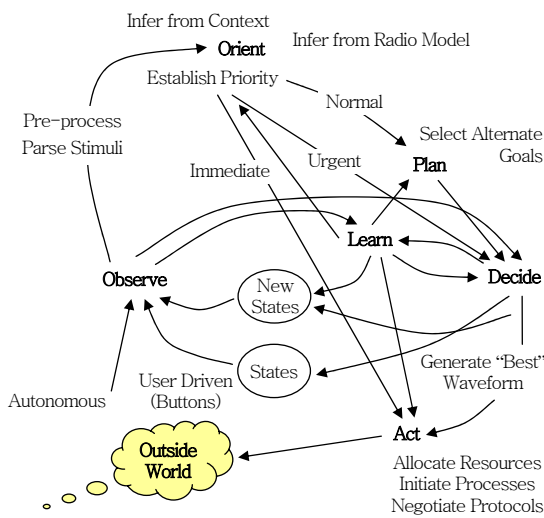


(그림 3) CR 장치의 Dynamic Spectrum Access 방법

주변의 환경 정보를 이용하여 스스로 제어한다.

(그림 4)는 cognitive 장치가 동작하기 위한 사이클을 나타낸다. CR 장치는 주기적으로 외부 환경을 관측(observe)한다. 여기에서 얻은 정보를 분석하여 통신의 긴급성을 판단한다. 예를 들어 휴대폰 사용자가 건물 안으로 들어가서 현재 통신하는 신호가 갑자기 약해지는 경우 현재의 상태를 저장하든지? 아니면 가용한 채널(예를 들면 WLAN)로 핸드오프하여 통신하는 방법을 강구하여야 한다. 이러한 일을 하는 단계가 orient stage이다. 시간적으로 긴급하지 않은 정상적인 경우에는 계획(plan) 단계를 거쳐 자원을 할당하고(decide) 통신을 행한다(act). 이러한 사이클을 토대로 측정된 새로운 정보와 기존에 가지고 있는 정보를 활용, learning algorithm을 통하여 후보 주파수 등의 여러 파라미터를 업데이트한다. 따라서 CR 분야에서는 전파사용의 법적인 규정, 간섭 레벨 및 지속 시간, 스펙트럼 센싱 및 incumbent user 검출, rendezvous algorithm, 최적 사용 주파수 선정, 전력 제어, 그리고 이러한 태스크를 위한 MAC 프로토콜 등이 주요 연구분야이다.

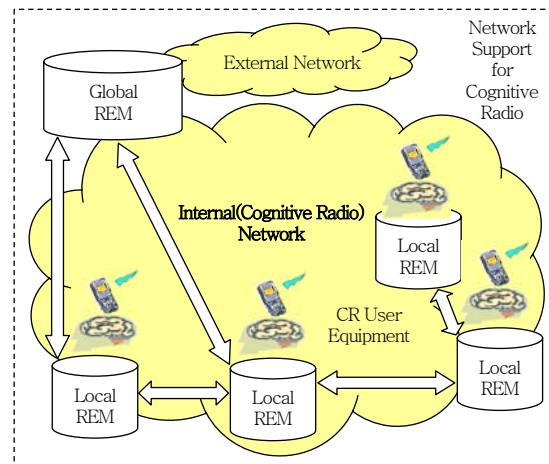
(그림 4)에서 언급한 learning algorithm은 실제로 (그림 5)의 REM 개념을 도입하여 이의 파라미터를 업데이트 한다. Radio resources를 정의하고, 이를 GA이나 neural network 등의 알고리즘을 사용



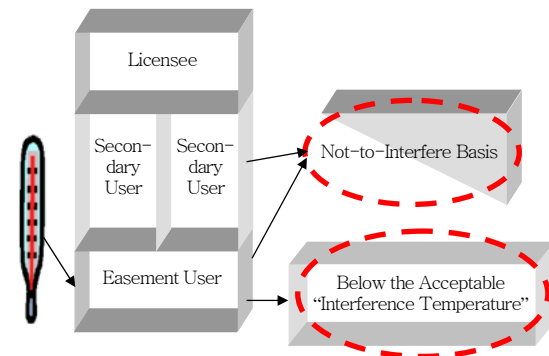
(그림 4) Cognition Cycle

하여 주기적으로 업데이트 한다. REM은 시스템 구성에 따라 local REM과 global REM으로 구분된다. 실제로 시스템이 동작하는 경우 master operation 하는 시스템이 최종적으로 자원을 할당하고, local REM은 자체적으로 정보를 업데이트 하기 위한 목적으로만 사용된다.

CR 기술이나 UWB 기술이 도입되면 스펙트럼의 이용의 패러다임이 변하게 된다. 종래의 스펙트럼 이용이 독점적 이용(exclusive rights) 모델에서 (그림 6)과 같이 주파수 대역에 따라 UWB와 같이 낮은 전력밀도로 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 스펙트럼을 공유하는 easement user, 그리고 1차 면허권자가 사용하지 않는 주파수자원을 사용하는 secondary user, 그리고 면허를 받은 면허권자 등



(그림 5) Radio Environment Map



(그림 6) 스펙트럼 이용모델

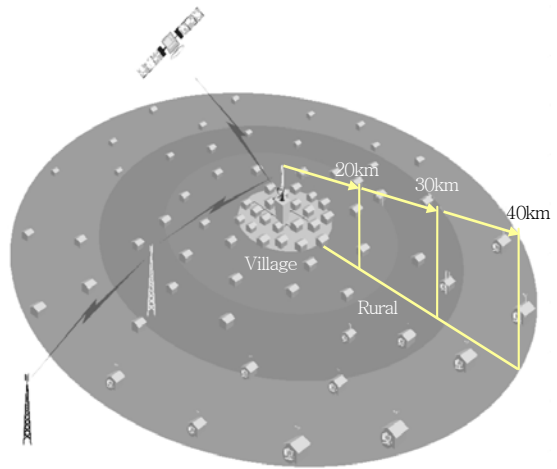
이 주파수자원을 공유할 수 있다. 단 2차 이용자는 1차 면허권자에게 간섭을 주지 말아야 한다[4],[5].

### III. IEEE 802.22 표준화 동향

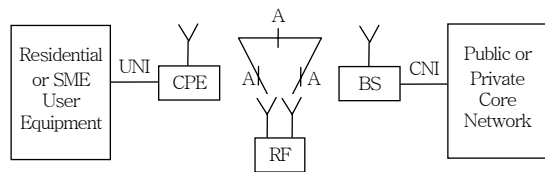
IEEE 802.22 WG은 미국, 캐나다, 브라질 등과 같이 광활한 시골지역에서 무선 인터넷 접속이 가능하게 하기 위하여 VHF/UHF 대역의 TV 대역 중 사용되지 않는 채널을 활용하여 ADSL이나 케이블 모뎀과 동급의 서비스를 제공할 수 있는 표준을 제정할 목적으로 2004년 11월에 결정되었다. 이는 FCC에서 발행한 “Unlicensed operation in the TV broadcast bands(FCC 04-186)”[6]를 토대로 2005년 1월부터 2005년 9월까지 functional requirements 문서가 작성되었다[7]. 이 FRD에 따르면 서비스 커버리지는 33km이고, CPE의 최대 전력은 4와트, 그리고 서비스 availability F(50, 99.9)를 만족하도록 제안서를 작성하도록 되어 있다. (그림 7)은 WRAN 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오이다.

(그림 8)은 WRAN 무선 접속 모델을 나타내는데 기본적으로 BS와 CPE의 무선접속은 P-MP이고, 이를 위한 물리계층 및 MAC 계층의 프로토콜을 규정하고 있다.

서비스 커버리지의 가장자리에 있는 가입자에게 최소 하향링크 1.5Mbit/s, 상향링크 384kbit/s의 전송속도를 보장하여야 한다. 한편 WRAN 장치는 기존에 TV 대역 이용자(TV 방송 및 wireless microphone)에 간섭을 주지 않고 채널을 사용하여야 한다. 따라서 PHY 및 MAC 프로토콜에는 반드시 기존 이용자가 채널을 사용하고 있는지를 주기적으로 센싱할 수 있는 기술이 담겨 있어야 한다. 실제로 대부분의 제안서에는 quiet period를 두어서 사용하고 있는 채널은 물론 사용하지 않는 채널을 지속적으로 센싱할 수 있도록 표준을 제안하고 있다. BS는 물론 모든 CPE는 자신의 센싱 리시버를 이용하여 모든 채널을 주기적으로 센싱하여 BS에 보고하고, BS는 여러 CPE에서 보내온 정보를 토대로 사용채



(그림 7) WRAN 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오



A: Air Interface  
 BS: Base Station  
 CPE: Customer Premise Equipment  
 UNI: User Network Interface  
 CNI: Core Network Interface  
 RF: Repeater Function(optional)

(그림 8) IEEE 802.22 WRAN 무선 접속 모델

널을 결정한다. <표 1>은 기존 이용자와 WRAN 이용자가 상호 양립하기 위한 파라미터를 나타낸다. 2005년 11월에 proposal을 접수한 결과 총 9개의 제안서가 접수되었고, 대부분의 제안서가 OFDMA 기술을 기반으로 한 무선접속 기술에 스펙트럼 센싱 기술을 추가하였으며, 이를 위한 MAC 프로토콜을 제안하였다.

2006년 1월 회의에서 ETRI-삼성-필립스 등이 통합하여 메이저 그룹으로 자리잡으면서 표준화를 주도하게 되었고, 이의 영향으로 2006년 3월 회의에서는 RUNCOM-ST Micro 등의 모든 프로포절 제안그룹이 메이저그룹에 통합하는 데 합의하였다. <표 2>는 현재까지 검토되고 있는 PHY layer의 주요 파라미터를 나타낸다.

〈표 1〉 Incumbent User에 대한 센싱 및 채널 이용 기준

DFS Parameter	Value for Part 74 Devices	Value for TV Broadcasting
Channel Availability Check Time	30s(recommended)	30s(recommended)
Non-Occupancy Period(minimum)	10min.(recommended)	10min.(recommended)
Channel Detection Time	<=2 sec to >=90% Probability of Detection with a False Alarm Rate of <=10%	<=2 sec to >=90% Probability of Detection with a False Alarm Rate of <=10%
Channel Setup Time	2s	2s
Channel Opening Transmission Time(aggregate transmission time)	100ms	100ms
Channel Move Time (inservice monitoring)	2s	2s
Channel Closing Transmission Time(aggregate transmission time)	100ms	100ms
Incumbent Detection Threshold	-107dBm(200kHz BW)	-116dBm(6MHz BW) for DTV

〈표 2〉 제안된 통합 Proposal의 주요 파라미터

Parameters	Specification	Remark
Frequency Range	54~862MHz	
Service Coverage	Typical range 33km	
Bandwidth	• Mandatory: 6, 7, 8MHz	Optional fractional use of TV channel and channel bonding up to 3 contiguous TV channels. Channel aggregation of discontinuous channels.
Spectral Efficiency	• Maximum: 4.03b/s/Hz • Maximum: 0.81b/s/Hz	Single TV channel BW of 6MHz
Modulation	QPSK, 16QAM, 64QAM	
Transmit Power	Default 4W EIRP	
Multiple Access	Adaptive OFDMA	Partial bandwidth allocation
FFT Mode	2k mandatory	1k/4k optional, 2k/4k/6k for channel bonding
Cyclic Prefix Mode	1/4, 1/8, 1/16, 1/32	
Duplex	TDD mandatory	FDD supported
Network	Point-to-Multipoint network	

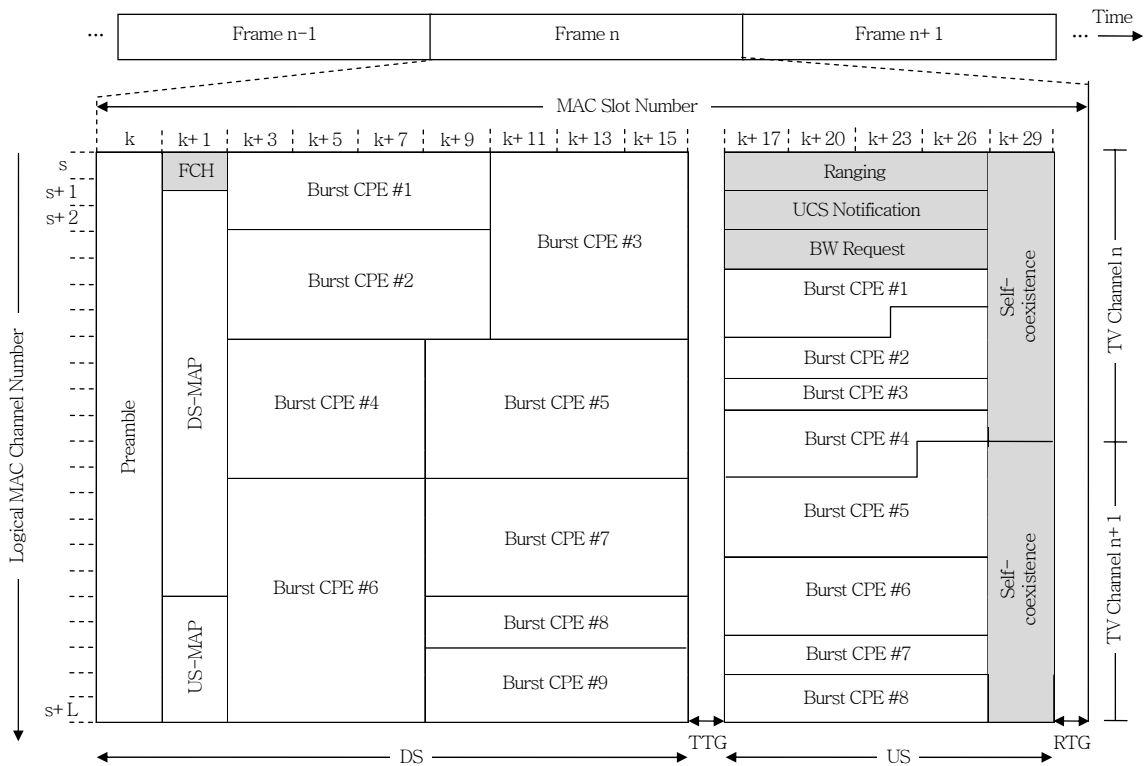
OFDMA access를 기반으로 하고, TV channel 단위로 사용되 필요 시에는 fractional bandwidth를 이용하도록 되어 있다. 또한 듀플렉스 방식으로는 TDD를 mandatory로 하되 가용 채널의 상황에 따라 FDD도 오퍼레이터가 선택할 수 있도록 하고 있다. 그리고 channel condition에 따라 적용적으로 변조방식을 선택하고, FFT 모드는 2K 모드를 기본으로 하고, 나머지는 옵션으로 검토되고 있다.

(그림 9)는 제안된 통합 proposal의 MAC frame structure를 나타낸다. IEEE 802.16e를 기본으로

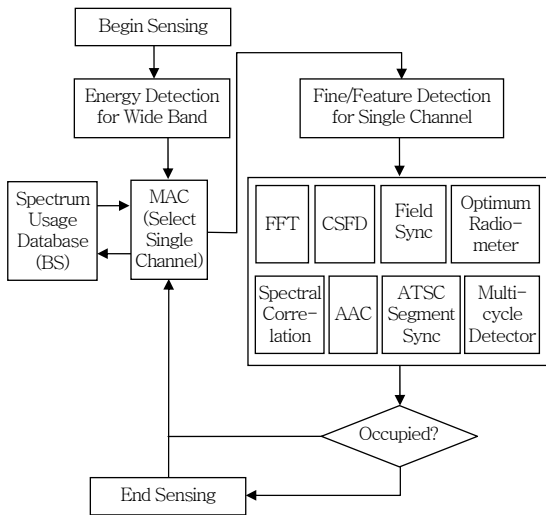
하되 CR 고유의 스펙트럼 센싱 관련 프로토콜을 추가하였다.

그리고 CR 장비는 주기적으로 incumbent user가 채널을 사용하는지를 체크하여야 하기 때문에 프레임 내에 quiet period를 두고 있다.

(그림 10)은 제안된 통합 proposal의 sensing structure이다. Sensing은 2단계로 이루어지는데 coarse search mode에서 energy detection을 통하여 초기에 incumbent user를 찾아낸다. 그리고 coarse search mode에서 검출하지 못한 incum-



(그림 9) 제안된 통합 Proposal의 MAC Frame Structure



(그림 10) 제안된 통합 Proposal의 Sensing Structure

● 용어해설 ●

**Cognitive Radio:** 스펙트럼 환경을 측정하여 사용하지 않은 주파수 목록을 작성하고, 이를 토대로 기존의 전파환경과 양립하면서 통신을 할 수 있는 최적의 주파수를 선정하여 통신하는 방식이다. 단 이 경우 기존의 이용자(primary user)가 사용하면 이를 규정된 시간 내에 검출하여 다른 주파수 대역으로 이동하여 통신을 하여야 한다.

**UWB(Ultra Wide-Band):** UWB 통신은 낮은 전력밀도(-41dBm/MHz)로 넓은 주파수 대역(500MHz 또는 방송파의 20% 이상의 대역폭 사용)에 걸쳐서 통신을 하는 방식으로 사무실이나 가정 등 매우 좁은 범위 내에서 통신을 하는 방식으로 통상 WPAN(Wireless Personal Area Network) 기술 중의 하나이다. 이 방식은 좁은 범위 내에서 낮은 출력으로 신호를 전송하기 때문에 기존의 이용자와 양립할 수 있다.

bent user는 fine search mode에서 검출한다. 이러한 과정에서 어떤 신호인지를 알고자 하는 경우에는 feature detection을 수행한다.

스펙트럼 센싱은 CR 장비가 기존의 허가 받은 incumbent user와 공존하기 위한 필수 요소이기 때문에 매우 중요한 분야이다.

따라서 miss detection probability가 매우 낮도록 설계되어야 한다. 반면에 상기 목적을 위하여 threshold를 너무 낮게 잡으면 false alarm rate이 자주 발생하므로 이를 잘 설계하여야 한다.

#### IV. CR 기술의 응용 및 전망

CR 기술의 응용은 향후의 무선통신 전반에 걸쳐 모두 적용될 것으로 보인다. 미국방성에서는 XG/XG+ 프로젝트를 진행중인데 이는 군사용 장비의 경우 전쟁이 세계 도처에서 발생할 수 있고, 이 때 주파수를 고정시키면 장비를 사용할 수 없는 경우가 많기 때문에 이보다는 CR 기술을 이용하여 비어 있는 주파수를 이용하여 작전을 할 수 있기 때문이다. 또한 공공안전 통신의 경우 재난이 발생한 경우에는 많은 주파수 대역이 필요하지만 평상 시에는 최소한의 대역만 요구된다. 따라서 CR 기능이 있는 장비라면 평상 시에는 public safety 대역을 사용하다가 재난 등이 발생하여 1차 분배자가 사용하는 것을 감지하면 이의 사용을 중지함으로써 주파수 이용 효율을 높일 수 있다. 또한 비 면허 대역에서 IT threshold를 정하고, 스펙트럼을 측정하여 이보다 낮으면 이 대역을 사용하고, 이보다 높으면 다른 대역으로 옮겨서 스펙트럼을 측정하여 사용여부를 결정하는 데 응용할 수 있다.

#### 약어 정리

CDMA	Code Division Multiple Access
CPE	Customer Premise Equipment
CR	Cognitive Radio
FCC	Federal Communication Commission
FDD	Frequency Division Duplex
FFT	Fast Fourier Transform

GA	Genetic Algorithm
IT	Interference Temperature
MAC	Medium Access Control
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access
P-MP	Point-to Multipoint
PHY	Physical
REM	Radio Environment Map
SDR	Software Defined Radio
UHF	Ultra High Frequency
UWB	Ultra WideBand
VHF	Very High Frequency
WG	Working Group
WRAN	Wireless Regional Area Network
XG	neXt Generation

#### 참고 문헌

- [1] J. Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," *IEEE Mobile Multimedia Conf.*, 1999, pp.3-10.
- [2] J. Mitola III, Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Radio Architecture, *Ph. D Dissertation, Royal Institute of Technology(KTH)*, May, 2000.
- [3] M. Beach, D. Bourse, K. Cook, M. Dillinger, T. Farnham, and T. Wiebke, "Reconfigurable Terminals Beyond 3G," *Proc. of the Wireless World Research Forum(WWRF) Second Meeting*, Helsinki, Finland, May 10-11, 2001.
- [4] FCC Report, Report of the Interference Protection Working Group, Nov. 2002.
- [5] Notice of Proposed Rule Making, Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, FCC 04-186, May 25, 2004.
- [6] Donald Evans, Spectrum Policy for the 21st Century-The President's Spectrum Initiative: Report, June 2004.
- [7] IEEE 802.22 WG, Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard, Sep. 2005.