

TV White Spaces에서의 CR 기술 동향

Trends of the CR Technology in TV White Spaces

New ICT 방송통신융합기술 특집

고광진 (G.Z. Ko)	인지무선연구팀 선임연구원
박창현 (C.H. Park)	인지무선연구팀 선임연구원
송명선 (M.S. Song)	인지무선연구팀 팀장
엄종선 (J.S. Um)	인지무선연구팀 연구원
유성진 (S.J. You)	인지무선연구팀 연구원
임선민 (S.M. Lim)	인지무선연구팀 연구원
정희운 (H.Y. Jung)	인지무선연구팀 연구원
황성현 (S.H. Hwang)	인지무선연구팀 선임연구원

목 차

-
- I. 개요
 - II. 표준화 동향
 - III. 기술개발 동향
 - IV. 결론

FCC(Federal Communications Commission 미국 연방통신위원회)는 2008년 11월 스펙트럼 사용 효율을 높이고 새로운 서비스 도입을 용이하게 하기 위해 TV White Spaces를 대상으로 주파수 공유 기술인 Cognitive Radio 기술을 적용하기로 하고 관련 규정을 개정하였다. FCC는 TV White Spaces에서 고정 서비스와 개인/휴대서비스 기기 사용을 허용하기로 방침을 정하고 2009년 6월 12일 DTV 전환 완료 이후 관련 기기 사용을 허용하기로 하였다. 본 논문에서는 FCC의 법규 개정 현황과 함께 이를 기술적으로 뒷받침하기 위한 IEEE 802.22, TV White Spaces EMSG, ECMA에서의 표준화 동향을 설명하고, 핵심 기술로서 스펙트럼 센싱 기술, 무선자원관리 기술, PHY/MAC 관련 기술 개발 동향에 대해 요약 기술하였다.

I. 개요

FCC는 스펙트럼 사용 효율을 높이고 새로운 서비스 도입을 용이하게 하기 위해 TV white spaces를 대상으로 주파수 공유 기술인 Cognitive Radio(이하 CR) 기술을 적용하기로 하고 관련 규정을 개정하였다. FCC는 TV white spaces에서 고정 서비스와 개인/휴대서비스 기기 사용을 허용하기로 방침을 정하고 2009년 6월 12일 DTV 전환 완료 이후 관련 기기 사용을 허용하기로 하였다.

본 논문에서는 FCC의 법규 개정 현황과 함께 이를 기술적으로 뒷받침하기 위한 IEEE 802.22, TV white spaces ETCG, ECMA에서의 표준화 동향을 설명하고, 스펙트럼 센싱 기술, 무선자원관리 기술, PHY/MAC 관련 기술 개발 동향에 대해 요약 기술하였다.

II. 표준화 동향

1. FCC 법규 개정 현황

2002년 시작된 FCC의 TV white spaces 이용 계획은 2008년 11월 2차 Report & Order(이하 R&O)를 채택함으로써 대단원의 막을 내렸다. 이로써 FCC의 전향적인 스펙트럼 이용 계획, 즉 TV 대역을 공유하여 새로운 기기, 서비스가 출현할 수 있도록 하고, 감쇠가 적은 V/UHF TV 대역을 이용하여 인구밀도가 낮은 지역에 대한 무선인터넷 서비스를 효과적으로 제공하여 대도시와의 정보화 불평등을 해소하고자 하는 노력이 결실을 맺게 된 것이다.

FCC가 결정한 TV white spaces 공유를 위한 기술 기준을 요약하면 다음과 같다[1].

가. 허용 서비스

다음과 같은 조건으로 고정무선서비스와 개인/휴대서비스를 모두 허용하였다. 고정무선서비스 기기는 위치결정기능을 구비하고 있거나 직업적인 설치업자가 기기 설치 좌표를 입력시켜야 하며, 이 좌표

를 근거로 FCC 또는 FCC에 의해 위탁 받은 기관이 운영하는 채널 사용 데이터베이스에 등록하여야 한다. 개인/휴대서비스 기기는 채널 사용 데이터베이스에 등록할 필요는 없으며, 두 가지 동작 모드가 존재한다. 모드 I은 채널 사용 데이터베이스를 접속할 수 있는 고정무선서비스 기기의 제어를 받아 동작하는 모드이며, 모드 II는 독립적인 데이터베이스를 가지고 있어 가용 채널을 독자적으로 결정할 수 있는 기능을 가진 동작 모드이다. 그러나 두 경우 모두 스펙트럼 센싱 기능을 가지고 있어야 한다.

나. 사용 대상 주파수

고정무선서비스 기기는 미국 채널 기준으로 CH2, CH5~20, CH21~36, CH38~54번을 사용할 수 있다. 다만 CH5~20번에 대해서는 공공안전, 상용 이동무선이 운용되는 지역에서는 사용할 수 없다. 개인/휴대서비스 기기는 CH21~36, CH38~51번을 사용할 수 있다. 또한 고정무선서비스 기기의 경우 TV가 동작하는 채널 인접 채널을 사용할 수 없으나, 개인/휴대서비스 기기는 사용 가능하다.

다. 1차 사용자 보호 방법

TV white spaces 공유 조건 중 가장 중요한 것은 우선순위가 높은 1차 사용자 신호, 즉 TV, 무선 마이크, 이동무선을 보호하는 것이다. 이를 위하여 FCC에서는 데이터베이스를 이용하는 방법과 스펙트럼 센싱을 이용하는 방법을 적용하도록 하고 있다. 채널 사용 데이터베이스는 위에서 설명한 바와 같이 TV 대역 기기의 좌표에서 사용 가능한 채널을 찾기 위하여 사용되는 국가 데이터베이스로서 고정무선서비스 기기는 초기화 시 그리고 매일 데이터베이스를 검색해야 한다. 데이터베이스를 직접 접속할 수 없는 경우에는 데이터베이스에 접속 가능한 다른 고정서비스 기기와 통신해도 된다.

라. 송신 출력

고정무선서비스 기기는 최대 4 W EIRP, 개인/휴

대서비스 기기는 최대 100 mW EIRP이다. 개인/휴대서비스 기기는 인접 채널에 보호 대상 신호가 있고 그 서비스 영역 내에 있을 경우 최대 출력은 40 mW EIRP로 제한된다. 그리고 채널 사용 데이터베이스에 접속하는 기능이 없고 스펙트럼 센싱 기능에만 1차 사용자 보호를 의존하는 경우에는 최대 출력이 50 mW EIRP로 제한된다.

마. 스펙트럼 센싱 성능

고정무선서비스 기기, 개인/휴대서비스 기기 모두 -114 dBm까지 센싱 가능해야 한다.

2. IEEE 표준화 현황

IEEE에서는 1절에서 정리한 FCC의 결정에 보조를 맞추어 2004년 11월 IEEE 802.22 WG을 신설하고 CR 기술을 이용한 TV 대역 고정 무선통신망인 Wireless Regional Area Network(이하 WRAN)에 대한 PHY/MAC 표준 제정을 시작하였다.

2005년 Functional Requirements Document(이하 FRD)를 완성하고[2], 2005년 11월 제안서를 접수한 이래 2006년 초안 v0.1을 완성하고 2008년 초안 v1.0을 완성하여 2009년 4월 현재 초안 v1.0[3]에 대한 C&R 작업을 진행중에 있다. 현재 상태에서의 논의가 활발히 되고 있는 분야는 security 지원 부분과 채널 사용 데이터베이스 접속과 관련된 spectrum manager 부분, 2008년 11월에 발표된 FCC R&O 문서에 대한 spectrum sensing 기술과 절차에 관한 재검토 및 무선마이크의 검출기준을 완화시키는 내용 등을 포함하는 petition 작성을 수행하고 있다[4]. 주목할 만한 사항은 2009년 1월 회의에서 현재 진행중인 IEEE 802.22 WRAN 시스템에 단말기(CPE)의 이동성을 보완하는 IEEE 802.22a 표준에 대한 PAR[5]와 5C[6]를 IEEE 802 EC에 제출하였으나 기본표준인 IEEE 802.22의 표준이 충분한 표준화가 진행되지 않았다는 이유로 EC에서 표준화 진행이 통과되지 못했다. 이어지는 절에서는 WRAN 표준에 있어 핵심적인 기술 사

항인 PHY, MAC 관련 표준 개발 동향을 요약 기술하였다.

가. PHY 표준화 현황

IEEE 802.22 WRAN 시스템의 주요 PHY 특성은 <표 1>과 같다. TV 주파수 대역에서 방송 대역폭과 동일한 채널 대역폭을 이용하여 고정 무선통신 서비스를 제공한다. 다중접속방식으로 OFDMA를 사용하고 duplex로 TDD를 채택하였다. 다양한 무선 채널 환경에 적응적인 대응을 위해 다양한 cyclic prefix 모드와 데이터 변조방식을 지원하고 있다.

<표 2>는 WRAN PHY에서 사용되는 OFDM 파라미터를 나타낸 것이다. 2048 FFT 모드를 기본으로 하고 1680개의 부반송파에 데이터와 파일럿을 6:1 비율로 전송한다.

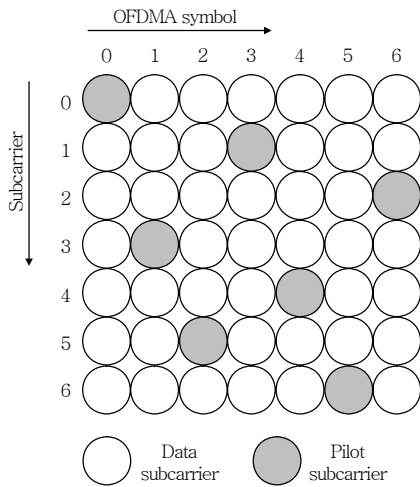
WRAN PHY는 두 종류의 프리앰블을 사용하고 있다. 슈퍼프레임 내의 첫번째 프레임에만 전송되는 슈퍼프레임 프리앰블은 첫번째 프레임에 전송되는 SCH를 보호하기 위한 목적이고, 모든 프레임에 전송되는 프레임 프리앰블은 각 프레임의 검출, 동기 및 채널 추정동기에 사용된다. 이 외에도 기지국간

<표 1> WRAN PHY의 주요 시스템 파라미터

파라미터	규격
주파수	54~862 MHz
채널 대역폭	6, 7, 8 MHz
데이터 변조방식	QPSK, 16QAM, 64QAM
전송 EIRP	4 W(CPEs)
다중접속방식	OFDMA
FFT 모드	2048
Cyclic prefix 모드	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Duplex	TDD

<표 2> WRAN PHY의 OFDM 파라미터

Channel BW(MHz)	6	7	8
Total no. of subcarriers	2048		
No. of guard subcarriers	368		
No. of used subcarriers	1680		
No. of data subcarriers	1440		
No. of pilot subcarriers	240		
Signal BW(MHz)	5.625	6.566	7.504



(그림 1) 파일럿 패턴

통신을 위한 CBP 프레임에 대한 CBP 프리앰블도 정의하고 있다.

(그림 1)은 WRAN 시스템의 OFDM 파일럿 패턴을 나타낸 것이다. 7개의 OFDM 심볼과 7개의 부반송파를 주기로 반복적으로 전송되는 파일럿 패턴은 주파수 오프셋 및 위상 잡음의 추적과 채널 추정에 사용된다.

WRAN PHY 계층은 다양한 채널 환경에 적응적인 전송속도를 지원하기 위해 다양한 변조방식(QPSK, 16QAM, 64QAM)과 부호율(1/2, 2/3, 3/4, 5/6)을 정의하고 있다. 전송속도는 최소 1.5 Mbps에서 최대 22.6 Mbps까지 가능하다. 부호화 방식은 convolutional code를 의무적인 사항으로 정의하고 있고, 추가적으로 duo-binary convolutional turbo code(DB-CTC), low density parity check(LDPC) code, shortened block turbo code(SBTC)와 같은 진보적인 부호화 방식을 선택적인 사항으로 정의하고 있다.

상향스트림의 ranging과 송신전력 제어 기술은 전반적으로 기존의 IEEE 802.16e와 유사하다. 다만 WRAN 시스템이 고정 무선통신 서비스인 점을 고려하여 handoff ranging이나 open-loop power control 기술은 표준에서 제외하였다.

마지막으로 RF mask와 관련하여 2009년 4월

현재 초안에는 IEEE 802.22 FRD에서 요구하고 있는 방사 전력(-100 dBm/120 kHz)을 정의하고 있다 [2]. 그러나 이 수준은 WRAN이 동작하고 있는 채널의 두번째 인접 채널에서도 만족하기 힘든 방사 전력 조건이어서 향후 FCC 문서에서 요구하고 있는 수준(-55 dBm/500 kHz)으로 완화되어야 할 필요가 있다[1].

나. MAC 표준화 현황

IEEE 802.22 WRAN MAC 계층에 대한 표준화는 2005년 11월 총 8개의 MAC 제안서가 제출된 이후, 2006년 10월 회의에서 이 초안 v0.1 문서에 포함된 기술 중에서 한 개의 TV 대역, 즉 6 MHz의 단일채널을 사용하는 기술을 중심으로 mandatory 기술을 정의하여 초안 v0.2를 작성하였으며, 2008년 5월 초안 v1.0을 완성하여 2009년 4월 현재까지 C&R 작업이 진행중에 있다. 현재 주요 이슈는 공존(coexistence) 관련 방식과 관련하여 superframe structure에 대한 재논의 결과 2009년 1월 회의에서 SCH를 각 cell 별로 superframe 상에 다른 위치에 배열하여 공존정보 교환성을 개선하는 distributed SCH 방식[7]을 채택하였으며, 아울러 SCH를 이용한 셀간 공존정보교환 방식 중의 하나인 ODSC 방식[8],[9]을 초안에 포함하는 안을 논의중에 있다. 또한 FCC R&O 문서에 대한 대응으로 spectrum sensing 정보에 대한 기술 및 절차에 관해 MAC 계층에서의 채널 사용 데이터베이스와의 우선순위 및 처리 절차에 대해 논의중[4]에 있으며, 추가적으로 2008년 7월부터 security 부분에 대한 보완이 수행중에 있다[10].

IEEE 802.22 WRAN 시스템의 MAC 계층은 기본적으로 OFDMA 방식의 데이터 전송체계를 기반으로 TV 대역에서 1차 사용자인 TV 신호 및 FCC Part 74(무선마이크) 등을 의무적으로 보호하면서 WRAN 신호를 전송하는 방식으로 표준화가 진행되었으며, 1차 사용자를 보호하면서 데이터 전송을 하기 위해서는 다음의 두 가지 기술을 우선적으로 고려하였다. 첫째, WRAN 시스템이 TV 대역을 사용

하기 때문에 이 대역을 사용하는 1차 사용자인 TV 신호와 Part 74, Part 90(응급신호기기) 등에 대한 적절하고 효과적인 정보 습득을 위한 두 가지 방식, 즉 스펙트럼 센싱 기술의 수행, 1차 사용자 센싱 보고체계 및 채널 사용 데이터베이스를 이용한 TV 사용자의 정보습득 그리고 이 두 방식에 대한 상호 보완적인 1차 사용자 정보 판단 기준의 설정. 둘째, 1차 사용자 보호를 위한 채널관리 및 CPE들 간의 효율적인 상호 간섭회피 기능과 자기공존(self coexistence) 기능. 이러한 두 가지 기술이 이전의 다른 IEEE 표준과 구별되는 IEEE 802.22 WRAN MAC 계층의 핵심내용이다.

다. IEEE ECSG on WS 활동 현황

IEEE ECSG white spaces는 미국 FCC가 2008년 11월 4일에 발표한 TV 대역의 white spaces에 대한 비면허 사용(licensed use) 방침에 따라, 이와 관련된 표준화 이슈들을 논의하기 위해 새롭게 결성되었고, 2009년 1월 첫 회의에서는 TVWS에 대한 기본적인 대역 정보 1차 사용자 보호 기준 등 기본적인 사항에 대해 논의되었으며[11], use cases에 대한 논의를 통해 TVWS에 대한 운용 가능한 통신모델에 대해 논의하였다[12]. 공존방식에 대해서는 TV 대역 내에서 서로 다른 IEEE 802 기술이 공존할 수 있는 방안을 마련하기 위한 논의[13] 및 security 고려사항[14]에 대한 논의를 진행하였다. 2009년 3월 회의에서는 1월 회의에 이어서 각 관심 분야에 대한 논의를 계속하였으며, 공존관련은 IEEE 802.19에서 SG을 계속 진행하는 것과 1차 사용자 보호에 관한 사항은 3월 회의 이후에 계속 논의를 하는 등의 기본적인 방향만 결정[15]하고 3월 회의 이후 해산하였다.

3. ECMA 표준화 현황

ECMA에서 진행되고 있는 CR 기술의 표준화는 2009년 3월부터 CogNeA에서 개발해 온 기고서를 바탕으로 진행되고 있다. 현재 CogNeA는 ETRI,

HP, Philips, 삼성전기가 board member로 참여하고 있고, GEDC, Motorola가 contributor member로 참여하고 있다. CogNeA 표준은 UHF TV 대역에 존재하는 white spaces를 이용하여 인터넷 액세스 및 HD 멀티미디어 스트리밍 서비스를 제공하기 위한 저전력 개인 휴대형 장치를 개발하기 위한 것으로, 2008년 11월 4일 공표된 FCC R&O 08-260의 규정을 만족하여 개발될 것이다[1].

ECMA에서 진행되고 있는 소출력 CR 표준 개발은 TC48-TG1 그룹에서 진행되고 있고 2009년 9월 말 1차 PHY/MAC 버전을 완성하는 것을 목표로 하고 있다[16].

Ⅲ. 기술개발 동향

1. 스펙트럼 센싱 기술

TV white spaces를 사용하기 위해서는 우선적으로 1차 사용자 보호를 위해 채널의 가용 여부를 판단해야 한다. 채널의 가용 여부를 판단하는 방법으로는 채널 사용 데이터베이스를 이용하는 방법과 신호 처리 알고리즘을 이용한 방법 두 가지로 나뉜다. 채널 사용 데이터베이스를 이용하는 방법은 미리 위치에 따른 TV 채널 정보를 데이터베이스에 저장해 놓은 후에 CR 기기의 위치 정보를 기반으로 가용 채널을 알아내는 방법이고, 신호 처리 알고리즘을 이용한 방법은 임의의 센싱 알고리즘을 통해 1차 사용자 신호의 존재 여부를 판단하여 가용 채널을 알아내는 방법이다. 채널 사용 데이터베이스를 이용하는 경우 잠복 터미널 문제없이 신호를 안정적으로 검출할 수 있지만 데이터베이스에 접속할 수 없는 경우가 발생할 수 있으므로 모든 기기는 센싱 알고리즘을 통한 신호 검출 능력을 가지고 있어야 한다. 미국 FCC에서는 법규로써 모든 고정무선서비스 기기와 개인/휴대형서비스 기기의 TV white spaces 사용을 위해서는 TV 대역의 1차 사용자인 ATSC digital TV, NTSC analog TV 그리고 무선마이크 신호에 대해 스펙트럼 센싱 알고리즘을 통해 검출

능력을 가져야 한다고 명시하고 있다. 각 신호에 대한 센싱 임계값은 <표 3>과 같다.

현재 TV white spaces에서의 CR 기기 사용에 대한 공식적인 표준 그룹은 IEEE 802.22 WRAN로 FCC가 TV white spaces에 대한 법규를 정하기 전부터 표준화가 진행되어 센싱 임계값에 대해서는 기능 요구문서[2]에 <표 4>와 같이 명시하고 있다.

IEEE 802.22 표준 그룹에서는 발표된 센싱 알고리즘 중에서 표준안의 부록(Information Annex)에 포함되는 11개의 알고리즘들을 선택하였다. <표 5>는 선택된 센싱 알고리즘들을 정리한 것으로 신호의 종류에 따른 특수한(specific) 성질을 이용하는 알고리즘과 신호의 종류에 상관없이 이용할 수 있는 블라인드(blind) 알고리즘으로 나누어 분류하였다[3].

FCC에서는 TV 신호와 무선 마이크 신호를 대상으로 스펙트럼 센싱 기술의 성능 검증을 위해 5개의 테스트 베드를 이용하여 실험하였다[17]. 5개의 테스트 베드는 Adaptrum, I2R, Microsoft, Motorola, Philips사에서 제공하였다. FCC 실험 결과 센싱 알

<표 3> FCC 센싱 임계값[1]

ATSC	-114 dBm/6 MHz
NTSC	-114 dBm/100 kHz
무선마이크	-114 dBm/200 kHz

<표 4> WRAN 센싱 임계값[2]

ATSC	-116 dBm/6 MHz
NTSC	-94 dBm/6 MHz
무선마이크	-107 dBm/200 kHz

<표 5> 센싱 알고리즘[3]

Blind Sensing Techniques	- Energy detector
	- Eigenvalue sensing tech.
	- Multi-resolution sensing tech.
Signal Specific Sensing Techniques	- ATSC signature sequence correlation sensing tech.
	- ATSC FFT-based pilot sensing tech.
	- ATSC pilot sensing tech.
	- ATSC PLL-based pilot sensing tech.
	- Wireless microphone covariance sensing tech.
	- ATSC pilot covariance sensing tech.
	- Spectral correlation sensing tech.
	- ATSC cyclostationary sensing tech.

고리즘의 근본적인 문제인 높은 검출 확률을 위한 낮은 임계값 설정으로 높은 오경보 확률이 나타났으며, 테스트 베드의 스푸리어스 성분 혹은 실환경의 인공 잡음 등으로 인해 무선 마이크에 대한 오경보 확률이 높게 나타났다. 위와 같은 결과를 바탕으로 IEEE 802.22 WRAN에서는 안정적인 1차 사용자 보호를 위해 TV 신호에 대해서는 채널 사용 데이터 베이스를 이용하고 무선마이크 신호 검출에 대해서는 스펙트럼 센싱을 이용하도록 규정하였다.

IEEE P1900.6[18]은 동적 스펙트럼 할당 관련된 네트워크에서 센싱 관련 정보 교환을 위한 인터페이스 및 데이터 구조를 위한 표준화 그룹이다. 최근 제안된 센싱 기반의 무선 통신 시스템들은 센싱과 프로토콜 그리고 CE가 결합된 구조이므로 여러 제조사에서 생산된 센서와 센싱 정보를 이용하는 다른 장치인 클라이언트 사이의 호환성을 제공하기 위해 사용된다. TV white spaces를 사용하는 시스템에서도 센싱 관련 정보 교환을 위한 인터페이스에 대해 P1900.6의 표준을 따르는 것에 대해 검토하고 있다.

2. 무선자원관리 기술

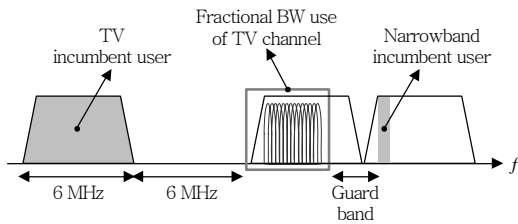
무선자원관리 기술 측면에서 CR 개발의 접근 방식은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 즉, 동적 스펙트럼 할당(dynamic spectrum allocation) 방식을 주요 기술로 사용하는 것(CR-I)과 ‘Mitola Radio’라고 하는 인공 지능과 학습을 사용하여 상황 인식을 기반으로 하는 방식(CR-II)이 있다[19]. 현재 대부분 국가 및 단체에서 수행되고 있는 CR 개발은 전자에 초점이 맞추어져 있고 IEEE 802.22 WRAN으로 표준화 작업이 진행되고 있다. DSA 기술은 동적 독점적 이용 모형(dynamic exclusive use model), 개방형 공유 모형(open sharing model), 계층적 접속 모형(hierarchical access model) 등으로 크게 분류가 되고 있는데, 실질적으로 계층적 접속 모형이 많이 사용되고 있고 이 모델에는 underlay 방식과 overlay 방식이 있는데 802.22에서는 그 중에서도 overlay 방식에 초점을 두고 있다. TV white spaces

에서의 DSA 기술에 대한 표준은 SCC 41의 1900.5에서 다루지고 있는데, 구체적으로 1900.5는 DSA 기술을 위한 정책 언어(policy language) 및 구조에 대한 WG이다. 이 WG에서는 현재까지의 상황을 보면, 언어 요구사항(language requirement) 및 기존 언어에 대한 분석, 정책 구조에 대한 분석, 사용 예(use cases) 분석 등이 진행중이다[20]. DSA는 두 가지 주요 기술로 이루어지는데 주파수 점유 상태를 관찰하는 센싱 기술과 센싱된 정보를 기반으로 채널을 선택하는 선택 알고리즘(selection algorithm) 기술이다. 자원 관리 부분에서는 후자인 선택 알고리즘 기술에 대한 역할을 수행하고 있는데, 선택 알고리즘 기술은 정책(policy)에 의한 방법과 지능 알고리즘에 의한 방법으로 분류가 가능하다. 하지만 이때 주의할 점은 이 두 가지가 상호 배타적 방법이 아니라 지능 알고리즘에 의한 방법이 정책을 기반으로 하므로 포함관계에 놓여 있다는 것이다. 지능 알고리즘에 의한 방법은 과거 기록을 바탕으로 HMM과 같은 학습 알고리즘을 이용하여 채널 점유 상태에 대한 예측을 기반으로 판단하거나 cyclostationary 알고리즘을 이용하는 방법 등이 제시되고 있다[21],[22]. CR-I에서는 Shared Spectrum(USA)이 DARPA XG 프로젝트를 수행하여 2006년 정책엔진(policy engine) 기반으로 DSA를 수행하는 CR 테스트 베드를 개발하여 필드 테스트를 완료한 사례가 있고, Philips, GEDC 등에서는 센싱 모듈에 초점을 맞춰 테스트 베드를 개발하였다[23],[24]. CR-II 접근 방식에 대한 연구는 Virginia Tech(USA), Trinity College (Ireland), WinLab(Rutgers Univ., USA), Kansas University(USA)와 RWTH(Aachen Univ., Germany) 등에서 수행하고 있다[19]. 이들은 'Mitola Radio'와 완전히 일치하지는 않지만 CR-I에 비하면 그에 가까운 개념을 완성하려고 하는 단계이다. 이들은 DSA 개념을 포함하여 전파 파라미터 최적화를 통하여 주파수 이용의 효율성을 극대화 하려고 하고 있고, 그러한 목적을 이루기 위한 방법으로 기계 학습(machine learning) 알고리즘과 같은 지능적인 방식을 사용하고 있다. 위 단계들 대부분은 유

전자 알고리즘(genetic algorithm), 게임 이론(game theory)과 같은 다목적 최적화 알고리즘이나 사례 기반 추론(case based reasoning), 지식 기반 학습(knowledge based learning)과 같은 학습/추론 알고리즘을 적용하여 무선 전파 파라미터의 최적화를 시도하고 있다. CR-II에서는 Virginia Tech와 Trinity College에서 각각의 지능적 엔진(cognitive engine)과 SDR-platform을 융합하여 구현한 예가 있고 그 외에는 주로 소프트웨어적으로 구현하고 있다[25]. 현재까지 다루어진 CR-I, II의 방법들은 사실 이종 시스템간 공존에 대한 고려가 없었고 1차 사용자에게 대한 보호와 CR 사용자간 공존에 초점을 맞추었다. 하지만 TV white spaces에 이들 외에도 802.11, 802.15 등 이종 시스템들도 함께 사용하게 될 수 있으므로 앞으로는 이들 간 공존을 위한 무선 자원관리 정책 및 에티켓 등에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

3. PHY 계층 관련 기술

PHY 계층 관련 기술은 데이터 전송 기법에 영향을 받는다. 다양한 기법 중 무선 통신 시스템의 전송 방법으로 많은 표준에 채택되어 있는 OFDM 방식이 현재 IEEE 802.22나 ECMA TC48-TC1 표준에 제안되어 있으며, 대다수의 CR 기술 관련 연구 논문들에서도 대상 시스템으로 고려되어 있다. 이것은 다중 반송파 기반의 OFDM 방식이 본래 가지고 있는 장점과 더불어 주파수 영역에서 사용하고자는 대역의 위치 및 폭을 쉽게 제어할 수 있으므로 자원 공유 및 간섭 완화 기술 개발에 용이하기 때문으로 판단된다. CR 시스템의 특성상 최근 연구되고 있는 PHY 계층 관련 기술은 이와 같이 간섭을 최소화 하면서 자원을 공유하기 위한 기술과 간섭이 존재하는 상황에서 통신이 가능하도록 하는 간섭회피 기술들이 주로 연구되고 있다. 다만, CR 서비스를 도입하게 될 지역의 주파수 규제 정책과 시스템 규격이 고려되어야 하므로 일부 기술들은 실제 시스템에 직접 적용이 어려운 경우도 있을 것이다.



(그림 2) Fractional Bandwidth Usage

간섭 저감 및 자원 공유에 관한 대표적인 기술로는 IEEE 802.22 표준화 초기에 제안되었던 FBU 기술이 있다[26]. 현재 선택적(optional) 기술로 분류되어 1차 표준안에는 제외되어 있다. 본 기술은 하나의 TV 채널을 사용하는 CR 기기가 인접 채널에 야기할 수 있는 간섭을 최소화하기 위하여 (그림 2)와 같이 대역의 끝부분에 데이터를 전송하지 않는 방법이다.

FBU는 대역폭 중간에 협대역의 1차 사용자 신호나 다른 CR 시스템이 존재할 경우 해당 대역에 데이터를 전송하지 않는 방법으로 확장이 가능하며 [27], 점유하는 대역폭을 메시지 형태가 아닌 PHY 계층의 프리앰블 등을 통하여 알려줄 수 있는 기술과도 연계된다. 다만, 동일 채널의 자원을 공유할 경우, OFDM 방식의 단점인 sidelobe에 의한 간섭이 발생할 수 있는데 OFDM 심볼이나 성좌점을 확장하여 문제점을 해결하려는 기술들이 연구되고 있다 [27],[28].

CR 기기 사이에 자원을 공유하고자 하는 경우 공유에 필요한 정보가 상호 교환 또는 추정될 수 있어야 한다. IEEE 802.22 표준에서는 상향스트림의 마지막 영역에 CBP를 전송하기 위한 self-coexistence 윈도를 할당하고 프리앰블과 공존 정보를 전송하도록 하고 있다. [29]에서는 cyclic prefix를 단순히 OFDM 심볼의 마지막 샘플을 복사하는 것이 아니라 특정 정보에 매핑되는 코드를 전송함으로써 공유 정보를 데이터 복조 없이 검출할 수 있는 방법을 제안하기도 하였다. 그 외 점유 대역폭이 가변된다는 가정 하에, cyclostationary 특성을 갖는 대역 단위를 사용하여 현재 점유된 대역폭을 추정할 수 있는 시스템 구조도 제안되고 있다[30].

전력제어는 1차 사용자 및 다른 CR 서비스에 야기할 수 있는 간섭을 완화하기 위한 대표적 기술이다. IEEE 802.22에서는 TV 서비스에 미치는 간섭을 최소화하기 위하여 CR 기기가 동작하는 채널로부터 인접한 +/-15개 채널의 최대 전송전력을 제한하고 있으며, [31]은 이와 관련된 전력제어 기술을 제안하고 있다. 또한, 기존의 시스템과 달리 서로 다른 네트워크 사이에 전력을 제어하는 측면에서 게임 이론이나 기회주의적 전력제어전략 등을 기반으로 간섭 문제를 해결하려는 접근이 시도되고 있다.

끝으로, PHY 계층의 동기 및 채널 추정/보상 기술은 간섭이 존재하는 상황에서 이를 극복하기 위한 방향으로 연구되고 있다. 그 중 [32]는 프리앰블 구조를 고안하여 협대역 간섭 신호에도 강인한 주파수 동기 알고리즘을 제안하고 있으며, [33]은 파일럿 패턴 및 파일럿의 위치를 변경시켜 간섭 신호가 있는 대역을 제외한 다른 부반송파의 채널을 추정하는 방법을 제안하고 있다.

4. MAC 계층 관련 기술

인지 무선 연구에 있어 MAC 프로토콜은 주로 1차 사용자가 사용하지 않을 때 빈 채널을 효율적으로 활용하기 위한 OSA에 관련되어 진행되고 있다.

무선 통신에서의 멀티 채널에 적용할 수 있는 MAC 프로토콜은 일반적으로 다음과 같은 네 가지로 분류될 수 있다[34].

- 1) DCC 방식: 하나의 채널을 CR 기기의 제어 메시지를 전송하는 데 할당하고, 모든 기기는 이 채널의 제어 메시지를 지속적으로 수신하는 구조이다. 이 방식에서는 1차 사용자가 사용하는 채널 중 하나의 채널은 CR 기기의 제어 메시지 전송을 위해 할당해야만 한다. 또한 이 채널을 통해 제어 메시지를 전송하기 위한 별도의 송수신 장치가 필요하다.
- 2) HCC 방식: 모든 기기들이 미리 정해진 같은 패턴에 따라서 채널을 이동하다가 송수신 기기 모두 제어 메시지 전송에 성공하면, 호핑을

멈추고 그 채널에서 데이터를 송수신하는 방식이다. 이 방식은 DCC와 같이 1차 사용자가 사용하는 하나의 채널을 확보할 필요가 없다는 장점이 있다.

- 3) SPCC 방식: 시간적으로 제어와 데이터 구간을 나누어 정해진 제어 채널을 사용하는 방식이다. 제어 구간에서 모든 CR 기기는 제어 메시지를 듣고 데이터 전송에 사용할 채널을 선택하게 된다. 따라서 이 방식은 하나의 송수신 장치만으로 통신이 가능하지만 모든 장비의 동기가 정확해야 한다.
- 4) MRCC 방식: 여러 개의 CR 기기들이 동시에 제어 메시지를 전송할 수 있다. 이 방식에서는 각각의 CR 기기들이 각각의 랜덤 호핑 패턴에 따라서 움직이며 제어메시지를 전송하다가 특정 수신자를 만나면 거기서 데이터 메시지를 전송하는 방식이다.

Philips에서는 C(Cognitive)-MAC이라는 DCC 방식의 MAC 프로토콜에 대한 연구를 진행하였다. C-MAC은 MMAC에서 매 슈퍼프레임 마다 채널 전환을 해야 하는 단점을 극복하고, 주파수 낭비를 개선하고 있다. Philips에서는 C-MAC 프로토콜 연구와 함께 이를 포함하는 테스트 베드를 개발하였고 C-MAC을 이용한 데이터 송수신을 보였다[35],[36].

DoCoMo 유럽 연구소에서는 BB-DSA라는 MAC 프로토콜을 개발하였다[37]. 이 프로토콜은 기본적으로 유럽에서 진행되고 있는 DSA 관련 연구의 일환으로 진행되었다. 기본 원리는 mini slot이라는 구조를 이용하여 수신 기기가 데이터를 받자마자 사용중이라는 신호를 바로 송신함으로써 다른 송신자가 송신하지 못하도록 하여 공존 문제를 해결하는 프로토콜이다. BB-DSA를 사용했을 때 FSA와 비교하여 전송률 및 지연시간 성능 향상을 보이고 있다.

이 외에도 많은 OSA MAC 프로토콜이 개발되었다. 현재까지 연구된 대부분의 OSA MAC 프로토콜은 DCC MAC 방식을 기본으로 하여 연구되었으며, 간혹 SPCC 방식의 MAC 프로토콜이 연구되고 있다. 하지만 아직까지는 HCC나 MRCC 방식의 OSA

MAC 프로토콜은 찾아보기가 힘들다[38],[39].

지금까지의 CR 관련 MAC 연구는 주로 제어 신호를 효율적으로 송수신하는 방법, 빈 채널을 효율적으로 찾아서 사용하는 방법 그리고 각 기기간 간섭을 최소화하는 방법을 중심으로 연구되었다. 하지만 TV 대역을 활용하는 CR 기기가 점차 증가할 것으로 예상되는 바 서로 다른 규격의 CR 기기가 공존하는 방법에 대한 연구의 중요성이 부각되고 있다. 서로 다른 CR 기기간 공존 문제를 해결하기 위하여 이와 관련된 논의가 IEEE ECSG에서 진행되었고 이는 계속해서 802.19 TAG에서 진행되고 있다.

IV. 결론

IEEE 802.22에서는 CR 기술을 이용한 TV 대역 고정 무선통신망인 WRAN에 대한 PHY/MAC 표준 제정을 2009년 말까지 완료할 예정이다.

ECMA International에서는 TV white spaces를 이용하는 개인/휴대서비스 기기에 대한 PHY/MAC, 공존 메커니즘에 대한 새로운 표준 제정을 2009년 말까지 제정하기로 하였다.

TV white spaces에 대한 ECSG에서는 IEEE 802 표준을 TV white spaces에 적용할 경우 고려해야 할 점을 도출하고 이에 대한 기술적 검토를 해당 WG에 할당하여 본격적으로 TV white spaces를 이용하는 서비스에 대한 공존 프로토콜이 제정될 것이다.

이러한 표준 기술 개발과 함께 스펙트럼 센싱 기술 분야에서는 최저 센싱 레벨 개선, 오경보 확률 개선 등이 이루어질 것이며, 무선자원관리 기술에서는 동일시스템 내 무선자원관리 기술 개발 외에 이종 시스템간 공존 방식에 대한 연구가 진행될 것이다.

표준화 대상인 PHY, MAC 관련 기술은 TV white spaces를 공유하기 위해 기존 IEEE 802 표준 PHY, MAC 관련 기술의 개정이 이루어질 것으로 예상되며, ECMA를 통하여 새로운 개인/휴대서비스 기기용 표준이 새롭게 제정될 것이다.

● 용어해설 ●

White Space: 주파수 계획에 따라 할당되어 사용되는 대역 사이에 전송신호간 간섭을 막기 위해 할당된 일종의 Guard Band를 의미하였으나 최근에는 사용하지 않는 대역이라는 포괄적인 개념으로 확장해서 특정시스템에 할당된 대역일지라도 시간, 공간, 주파수축상에서 특정시점에 그 대역을 사용하지 않으면 White Space라 하며 Spectrum Hole이라고도 불린다. White Space를 이용하여 통신하는 기술을 Cognitive Radio 기술이라 한다.

1차 사용자: Primary User라고 하며 CR 시스템이 동작하는 특정대역에 대한 우선사용권이 주어진 시스템 또는 사용자를 말한다. 이에 반해 해당대역을 1차 사용자가 사용하지 않을 때 해당대역을 사용하는 CR 사용자를 Secondary User 또는 CR User라고 한다. TV 대역에서는 1차로 TV 신호 전송이 1차 우선 사용자이며, 2차로 무선 마이크(WMP)가 사용이 허가되었다. 이와 같이 다수 개의 우선접속이 허가된 사용자가 있을 경우에는 허가사용자를 모두 묶어서 포괄적으로 Incumbent User(IU)라는 용어로 사용되며, 이는 CR 사용자에 반대되는 개념이다.

약어 정리

CAMUS	Context-Aware Middleware for URC Systems
CBP	Common Beacon Protocol
CE	Cognitive Engine
CogNeA	Cognitive Networking Alliance
CPE	Customer Premise Equipment
CR	Cognitive Radio
C&R	Comment and Resolution
DCC	Dedicated Control Channel MAC
EC	Executive Committee
ECA	Event Condition-Action
ECSG	Executive Committee Study Group
FBU	Fractional Bandwidth Usage
FSA	Fixed Spectrum Assignment
GEDC	Georgia Electronic Design Center
GIS	Geographical Information System
GPS	Global Positioning System
HCC	Hopping Control Channel
HD	High Definition
HMM	Hidden Markov Model

MAC	Medium Access Control
MRCC	Multiple Rendezvous Control Channel
ODSC	On-demand Spectrum Contention
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OSA	Opportunistic Spectrum Access
PHY	PHYSical Layer
SCH	Superframe Control Header
SG	Study Group
SPCC	Split Phase Control Channel
TVWS	TV White Spaces
UHF	Ultra High Frequency
WG	Working Group
WRAN	Wireless Regional Area Network

참고 문헌

- [1] FCC, ET Docket No. 08-260, "Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order," Nov. 2008.
- [2] IEEE 802.22, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard," IEEE 802.22-05/007r46, Sep. 2005.
- [3] IEEE 802.22, "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands," IEEE P802.22-D1.0, May 2008.
- [4] IEEE 802.22, "802.22 to 802.18 on TVWS R and O," IEEE 802.22-09/0026r4, Mar. 2009.
- [5] IEEE 802.22, "Draft 22a PAR," IEEE 802.22-09/0029r0, Mar. 2009.
- [6] IEEE 802.22, "Draft 22a 5C," IEEE 802.22-09/0030r0, Mar. 2009.
- [7] IEEE 802.22, "Distributed SCH Design," IEEE 802.22-09/0049r0, Mar. 2009.
- [8] IEEE 802.22, "Overview and Simulation Results of Frame-based On-demand Spectrum Contention for Spectrum Sharing," IEEE 802.22-08/0272r0, Sep. 2008.
- [9] IEEE 802.22, "Frame-based On-demand Spectrum Contention," IEEE 802.22-09/0041r0, Mar. 2009.

- [10] IEEE 802.22, "Recommended Text for Security in 802.22," IEEE 802.22-08/0174r17, Mar. 2009.
- [11] IEEE 802 ECSG on WS, "Regulatory Tutorial," IEEE 802ECSGonWS-09/0048r05, Mar. 2009.
- [12] IEEE 802 ECSG on WS, "ECSG Ad-hoc Use Case," IEEE 802ECSGonWS-09/0007r04, Jan. 2009.
- [13] IEEE 802 ECSG on WS, "Coexistence Tutorial," IEEE 802ECSGonWS-09/0040r04, Mar. 2009.
- [14] IEEE 802 ECSG on WS, "Security Tutorial," IEEE 802ECSGonWS-09/0045r01, Mar. 2009.
- [15] IEEE 802 ECSG on WS, "Minutes of the IEEE 802 TVWS ECSG Face-to-Face Meeting," IEEE 802ECSGonWS-09/0063r0, Mar. 2009.
- [16] <http://www.cognea.org>
- [17] FCC, OET 08-TR-1005, "Evaluation of the Performance of Prototype TV - Band White Space Devices Phase II," Oct. 2008
- [18] SCC 41 WG 1900.6, <http://grouper.ieee.org/groups/scc41/6/index.htm>
- [19] Petri Mahonen et al., "Adaptive Reconfigurable Access and Generic Interfaces for Optimization in Radio Networks," Draft 2.1 of ARAGORN Project, Apr. 2008.
- [20] SCC 41 WG 1900.5, <http://grouper.ieee.org/groups/scc41/5/index.htm>
- [21] T.C. Clancy and B.D. Walker, "Predictive Dynamic Spectrum Access," *SDR Forum Technical Conference*, Nov. 2006.
- [22] C.H. Park and M.S. Song, "Channel Set Manager Development and Performance Analysis for Cognitive Radio System," *The Magazine of the IEEE*, Vol.45, No.5, Sep. 2008.
- [23] F.W. Seelig, "A Description of the August 2006 XG Demonstrations at Fort A.P.Hill," *Dyspan 2007*, Apr. 2007, pp.1-12.
- [24] C.H. Park, "Cognitive Engine Development," 2008 Cognitive Radio Workshop, Sep. 2008, pp.381-400.
- [25] T.R. Newman, B.A. Barker, A.M. Wyglinski, A. Agah, J.B. Evans, and G.J. Minden, "Cognitive Engine Implementation for Wireless Multicarrier Transceivers," *Wireless Commun. and Mobile Comput.*, Vol.7, May 2007, pp.1129-1142.
- [26] Chang-Joo Kim et al., "Fractional BW Usage for WRAN Systems," IEEE 802.22-06/0117r0, July 2006.
- [27] H.A. Mahmoud and H. Arslan, "Sidelobe Suppression in OFDM-based Spectrum Sharing Systems Using Adaptive Symbol Transition," *IEEE Commun. Lett.*, Vol.12, Feb. 2008, pp.133-135.
- [28] S. Pagadarai et al., "Sidelobe Suppression for OFDM-based Cognitive Radios Using Constellation Expansion," *IEEE WCNC 2008*, Mar. 2008.
- [29] Xianbin Wang et al., "A New Adaptive OFDM System with Precoded Cyclic Prefix for Cognitive Radio," in *Proc. IEEE Int'l Conf. Commun.*, May 2008, pp.3642-3646.
- [30] P.D. Sutton, B. Ozgul, K.E. Nolan, and L.E. Doyle, "Bandwidth-Adaptive Waveforms for Dynamic Spectrum," *DySPAN 2008*, Oct. 2008.
- [31] Yan Chen et al., "On Cognitive Radio Networks with Opportunistic Power Control Strategies in Fading Channels," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.7, July 2008, pp.2752-2761.
- [32] M. Morelli and M. Moretti, "Robust Frequency Synchronization for OFDM-based Cognitive Radio Systems," *IEEE Trans. Commun.*, Vol.7, Dec. 2008, pp.5346-5355.
- [33] I. Rashad, I. Budiarto, and H. Nikookar, "Efficient Pilot Pattern for OFDM-based Cognitive Radio Channel Estimation-Part 1," *SCVT 2007*, Nov. 2007.
- [34] Jeonghoon Mo, So, H.-S.W., and J. Walrand, "Comparison of Multichannel MAC Protocols," *IEEE Transactions on Mobile Comput.*, Vol.7, No.1, Jan. 2008, pp.50-65.
- [35] J. So and N. Vaidya, "Multi-Channel MAC for Ad Hoc Networks: Handling Multi-Channel Hidden Terminals Using a Single Transceiver," in *ACM Mobihoc*, May 2004.
- [36] C. Cordeiro and K. Challapali, "C-MAC: A Cognitive MAC Protocol for Multi-channel Wireless Networks," in *Proc. IEEE DySPAN'07*,

- Apr. 2007.
- [37] G. Auer, H. Haas, and P. Omiyi, "Interference Aware Medium Access for Dynamic Spectrum Sharing," in *Proc. IEEE DySPAN'07*, Apr. 2007.
- [38] Hui Wang, Hang Qin, and Li Zhu, "A Survey on MAC Protocols for Opportunistic Spectrum Access in Cognitive Radio Networks," *2008 Int'l Conf. on Computer Science and Software Engineering*, 2008.
- [39] P. Pawelczak, S. Pollin, So, H.-S.W., A. Motamedi, A. Bahai, R.V. Prasad, and R. Hekmat, "State of the Art in Opportunistic Spectrum Access Medium Access Control Design," *CROWNCOM 2008*, 2008.