

Cognitive Radio 기술 및 표준화 동향

김 창 주

한국전자통신연구원

I. 서 론

전파 기술의 눈부신 발전과 함께 전파의 이용범위가 [그림 1]에 도시한 바와 같이 점점 다양화되고 있다. 1980년대까지만 해도 전파는 방송이나 통신에 주로 사용되어 왔으나, 1990년대에 디지털 무선 기술이 본격 발전하면서 방송 통신은 물론 의료 및 복지, 안전, 보안, 국방, 환경, 농업, 교통, 물류관리, 그리고 u-city에 이르기까지 전파의 창의적 이용은 지속적으로 증가하고 있다.

그런데 이와 같이 다양하게 사용되는 주파수 자원은 무선 기술의 발전과 함께 수요는 증가하는데 비하여 자원은 한정되어 있다. 따라서 한정된 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 공유 기술을 개발하여야 한다. 한편, 주파수 자원 공유 기술을 주파수 분배 및 할당에 적용하려면 스펙트럼의 이용의 패러다임을 바꾸어야(paradigm shift) 한다. 현재의 스펙트럼 이용 방식의 가장 큰 특징은 면허권자에게 독점적 이용권(exclusive rights)을 주는 방식을 사용하고

있다. 따라서 기존의 독점적 이용권 제도에서 주파수 자원을 공유하기 위한 기술적인 방법과 정책의 도입이 요구된다.

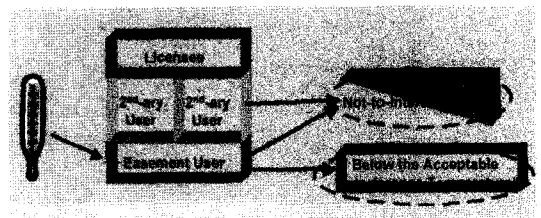
주파수 자원의 공유 기술로는 [그림 2]에 보인 바와 같이 (i) 낮은 전력 밀도로 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 스펙트럼을 공유하는 easement 방법과 (ii) secondary user가 1차 면허권자가 사용하지 않는 경우에 주파수 자원을 활용하는 모델로 바뀌어야 한다. 이 경우, 2차 이용자는 1차 면허권자에게 간섭을 주지 말아야 한다.

이 중에서 cognitive radio 기술은 spectrum overlay 기술로써 1차 면허권자가 사용하지 않는 시간에 secondary user로써 사용하는 case ii)에 해당된다. 그리고 easement 방법의 예로는 낮은 전력을 사용하여 지리적으로 간섭이 없는 지역에서 사용하는 spectrum underlay 기술인 UWB(Ultra-Wide Band)가 있다.

본 고에서는 서론에 이어 2장에서 cognitive radio 기술을 소개하고, 3장에서는 최근 IEEE 802회의에서 검토된 TV white space에서의 CR 기술의 응용에 대하여 기술한다. 4장에서는 CR 기술을 이용하여 WRAN (Wireless Regional Area Network) service를 제공하기 위하여 IEEE802.22 working group에서 표준화를 추



[그림 1] 전파의 다양한 이용

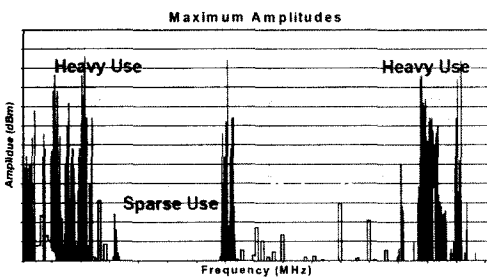


[그림 2] Spectrum access model

진하고 있는 내용과 ECMA 표준화를 소개하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. Cognitive Radio 기술

미국 상무성 산하의 NTIA(National Telecommunications and Information Administration)에서는 CR 기



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

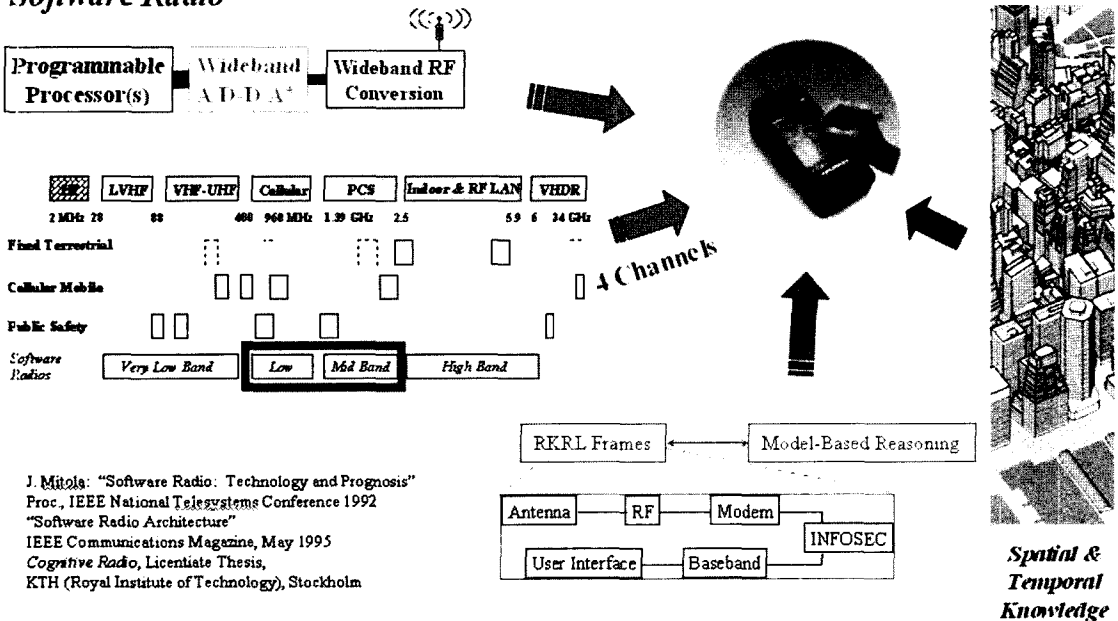
[그림 3] 미국에서의 스펙트럼 이용 현황 측정 자료

술을 “전파 환경을 측정, 이로부터 무선기기의 동작 파라미터를 자동으로 조정함으로써 system operation을 변경하는 기술”로 정의하고 있다. 여기에서 system operation은 전송 효율의 향상, 간섭 경감, 시스템간 상호 운용, secondary market access 등을 일컫는다.

이 중에서 주파수 자원의 효율적 이용에 관한 응용은 secondary market access이다. 이를 위해서는 앞서 언급한 바와 같이 1차 이용자가 사용하지 않는 주파수를 찾아서 비어 있는 시간에만 이 주파수를 이용하는 dynamic spectrum access 기술이 필요하다. [그림 3]에 나타난 바와 같이 할당된 주파수의 이용현황을 측정해 보면 이의 이용 효율이 평균적으로 30% 이하로 나타나고 있다. 따라서 이용되지 않고 있는 주파수 자원을 찾아서 이를 사용한다면 주파수 자원의 부족 현상을 해결하는데 크게 기여할 것이다.

[그림 4]에서 보듯이 CR 기술은 SDR(Software Defined Radio) 기반의 무선 통신 기술을 토대로 cogni-

Software Radio

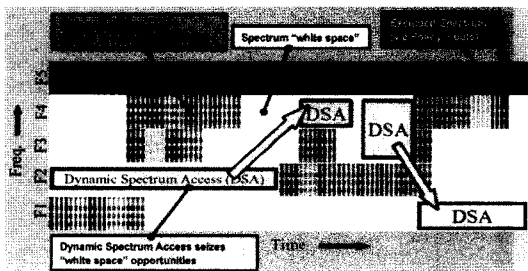


J. Mitola: "Software Radio: Technology and Prognosis"
Proc. IEEE National Telecommunications Conference 1992
"Software Radio Architecture"
IEEE Communications Magazine, May 1995
Cognitive Radio, Licentiate Thesis,
KTH (Royal Institute of Technology), Stockholm

[그림 4] Cognitive radio 개념도

tion 기술을 접목하여 탄생시킨 기술이다. SDR 기술은 광범위한 주파수 대역에 걸쳐 광대역 신호처리를 할 수 있는 하드웨어를 토대로 software를 download 받아서 다양한 기능을 수행한다. 반면에 인지 기술은 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 분배자가 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 사용하지는 지에 대하여 측정을 하여야 한다. Incumbent user가 감지되면 주어진 시간 이내에 다른 채널로 이동하여 사용하던지 아니면 사용을 중지하여야 한다.

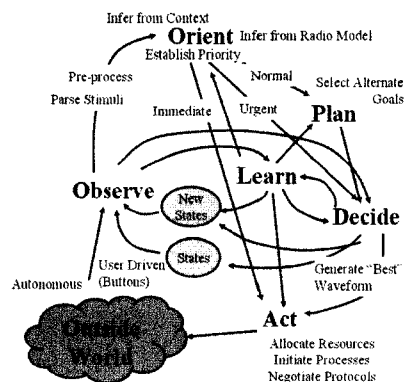
[그림 5]는 CR 장치가 스펙트럼을 측정하여 사용 가능한 주파수 목록을 토대로 통신하는 과정을 그리고 있다. 초기에 이 장치는 F2 주파수를 사용하다가 F2의 incumbent user가 이 주파수를 사용하는 경우, 이를 스펙트럼 센싱을 통하여 감지하고 F4 주파수로 이동하여 통신을 수행한다. 이 경우, 주파수 대역폭이 F2보다 넓으므로 넓은 주파수 대역폭에 적합한 전송 방식을 결정하여 통신을 한다. 시간이 지나면서 주



[그림 5] CR 장치의 dynamic spectrum access 예제

파수 대역폭이 더욱 넓어지면 CR 장치는 광대역 전송 기술을 사용하여 전송 용량을 더욱 키우게 된다. 이와 같이 CR 장치는 비어있는 대역폭에 따라서 적응적으로 통신하고, 또한 출력이나 전송 방식 등을 주변의 환경 정보를 이용하여 스스로 제어한다.

[그림 6]은 cognitive 장치가 동작하기 위한 cycle을 나타낸다. CR 장치는 주기적으로 외부 환경을 관측(observe)한다. 여기에서 얻은 정보를 필요한 전처리를 수행하여 내부의 정보를 정렬(orient)시켜 새로운 내용이 있으면 이를 learning process를 통하여 update시키고, 특이한 사항이 없는 경우에는 정상적인 경우에는 계획(plan) 단계를 거쳐 자원을 할당하고 (decide) 통신을 행한다(Act). Orient 단계에서 긴급한 상황이 발생하면 이를 우선 처리한다. 예를 들어 휴대폰 이용자가 건물안으로 들어가서 현재 통신하는 신호가 갑자기 약해지는 경우 현재의 상태를 저장하던지? 아니면 가용한 채널(예를 들면 WLAN)로 핸드 오프하여 통신하는 방법을 강구하여야 한다. 이러한 사이클을 토대로 측정된 새로운 정보와 기존의 가지고 있는 정보를 활용, learning algorithm을 통하



[그림 6] Cognition cycle

여 후보 주파수 등의 여러 parameter를 update한다. 따라서 CR 분야에서는 전파 사용의 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 protocol 등이 주요 연구 분야이다.

[그림 6]에서 언급한 learning algorithm은 실제로 [그림 7]의 REM(Radio Environment Map) 개념을 도입하여 이의 파라미터를 update한다. Radio resources를 정의하고, 이를 GA(Genetic Algorithm)나 neural network 등의 알고리즘을 사용하여 주기적으로 update한다. REM은 시스템 구성에 따라 local REM과 global REM으로 구분된다. 실제로 시스템이 동작하는 경우 master operation하는 시스템이 최종적으로 자원을 할당하고, local REM은 자체적으로 정보를 update하기 위한 목적으로만 사용된다.

III. TV White Space에서의 Cognitive Radio 기술의 응용

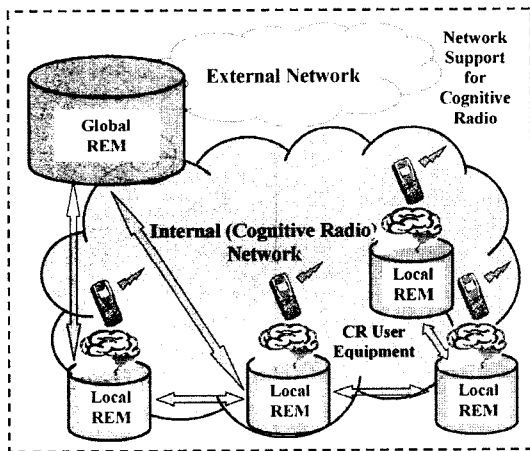
CR 기술은 최근에 출현하는 거의 모든 장치에 적용되고 있다. 2004년부터 IEEE 802.22 WRAN working

group에서 표준화를 진행하고 있는 WRAN 서비스를 비롯하여 UWB에서의 DAA(Detect and Avoid), WLAN에서의 DFS(Dynamic Frequency Selection), RFID의 LBT(Listen Before Talk), XG(neXt Generation) project, 그리고 4세대 이동통신 등에서 응용되고 있다. 본고에서는 최근에 활발한 논의가 진행되고 있는 IEEE ECSG(Executive Committee Study Group)의 활동을 소개한다.

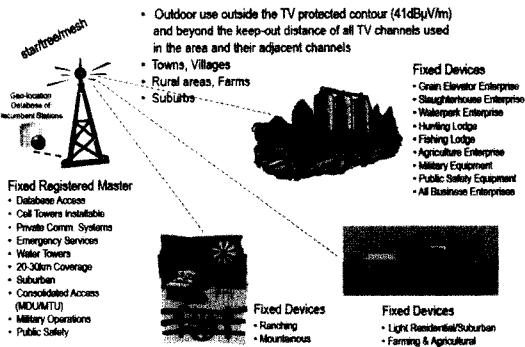
ECSG의 탄생 배경은 2008년 11월 FCC가 기존의 fixed device뿐만 아니라 personal/portable device도 TV white를 이용하도록 규정하면서 IEEE 802.11 및 IEEE 802.22 등 각 working group이 personal/portable device에 대한 표준을 독자적으로 진행하려는 움직임을 보이자 EC level에서 검토하기 위한 study group이다. 그러나 이 study group은 TV white space에서 personal/portable device의 이용을 표준화하기 위한 working group이 아니고, use cases와 ECSG의 mission 등에 대한 의견을 수렴하여 EC에 report하는 정도의 group이기 때문에 실질적인 use cases는 향후의 IEEE working group의 활동을 지켜봐야 한다.

3-1 Fixed Type Service

[그림 8]은 기존에 IEEE 802.22 WRAN에서 표준화하고 있는 서비스 형태와 동일하다. 다만 응용 대상을 IEEE 802.22에서 제시한 시골 지역의 internet service 뿐만 아니라 emergency service, military operation, public safety 등으로 다양화시켰다. 서비스 coverage나 power level, 그리고 시골 지역을 대상으로 하는 점등에서 WRAN 서비스와 같은 서비스로 분류할 수 있다. 이 서비스는 point-to-multipoint operation의 형태이다. 이러한 fixed device는 모두 geo-location 능력을 갖추어야 한다. 특히 fixed master device는 database access/geo-location, 그리고 각 CPE와 자신이 sensing한 정보를 이용하여 사용 가능한 채널을 결정하고 이를 CPE에게 알려주어야 한다.



[그림 7] Radio environment map



[그림 8] Fixed device의 use case

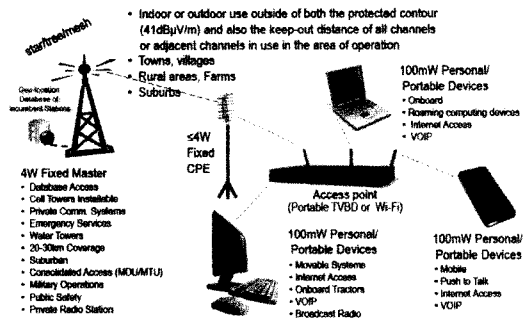
3-2 Fixed Type과 Portable Type의 융합 Service

[그림 9]는 regional area를 cover하는 IEEE 802.22 WRAN service와 local area network로는 TV band device 또는 WiFi를 이용하는 use case이다. 이 모델은 access point가 white space를 이용하는 경우에는 새로운 use case에 해당하나, local access point를 WiFi를 이용하는 경우에는 WLAN 서비스와 동일한 형태이다. 만일 local access point까지 white space를 이용하는 경우에는 충분한 주파수가 확보되어야 하고, 또한 주파수 이용에 있어서도 WRAN network와 local network사이의 통신 규격이 필요하다. 한편, portable CR device가 mode I인지? 아니면 mode II 인지에 대해서도 정의가 되어야 한다. 특히 fixed device와의 정보 교환이나 호환성 등이 검토되어야 한다.

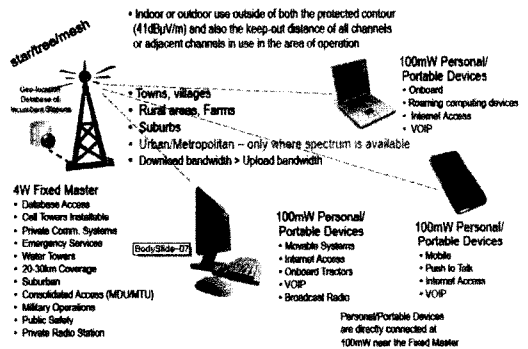
[그림 10]도 IEEE 802.22 WRAN service와 동일한 형태이나 CPE가 fixed가 아닌 portable 형태라는 점이 차이가 있다. 따라서 이 형태도 fixed base station과 portable CPE가 조합된 point-to-multipoint 형태이다.

3-3 Portable Type Service

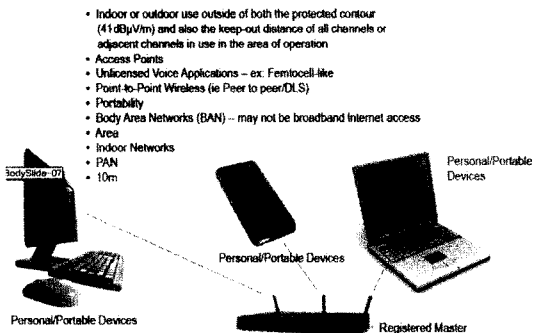
[그림 11]은 portable type service로 기존의 WLAN 형태의 서비스도 가능하고, 필요에 따라서는 CPE 간에 point-to-point service도 가능하다. 이 use case는 IEEE 802.11의 WLAN service와 유사하여 WLAN working group에서 매우 관심이 많다. 한편, IEEE 802.22 WRAN working group에서도 현재 진행하고 있는



[그림 9] Fixed device와 portable device의 융합 서비스 모델(I)



[그림 10] Fixed device와 portable device의 융합 서비스 모델(II)



[그림 11] Portable device의 use case

king group에서 매우 관심이 많다. 한편, IEEE 802.22 WRAN working group에서도 현재 진행하고 있는

WRAN 표준의 후속으로 personal/portable device의 표준화를 진행하려고 준비하고 있어 양 working group 간에 치열한 표준화 경쟁이 예상되고 있다.

IV. Cognitive Radio 기술을 이용한 표준화 동향

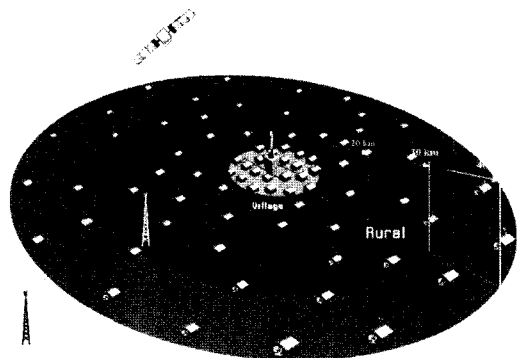
4-1 IEEE 802.22 표준화

TV 주파수 대역은 전파 특성이 매우 우수한데 반하여 이 채널 중에서 사용하지 않고 있는 채널이 있다. 따라서 이러한 주파수를 활용하여 사용되지 않는 TV 대역에서 무선 인터넷 서비스를 제공하기 위하여 표준화를 진행하고 있는 IEEE 802.22 워킹 그룹에서의 표준화 주제 및 동향을 살펴보고자 한다. IEEE 802.22 WG(Working Group)은 미국, 캐나다, 브라질 등과 같이 광활한 시골 지역에서 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 결성되었다. WG은 FCC에서 발행한 “Unlicensed operation in the TV broadcast bands(FCC 04-186)”를 토대로 2005년 1월부터 2005년 9월까지 Functional Requirements Document(FRD)를 작성하였다. 이 FRD에 따르면 서비스 커버리지는 33 km이고, CPE(Customer Premise Equipment)의 최대 전력은 4 watt, 그리고 서비스 availability F(50, 99.9)를 만족하도록 제안서를 작성하도록 되어 있다. [그림 12]는 WRAN(Wireless Regional Area Network) 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오이다. [그림 12]에서 5 km 이내의 village는 Wibro 또는 mobile WiMaX를 이용하여 서비스를 제공하고, 5~40 km의 rural area는 WRAN system으로 service를 제공한다는 개념이다. WRAN system에서 목표로 하는 지역의 인구 밀도는 1.25명/km² 정도의 rural area이다.

2005년 11월에 제안서를 접수한 결과 총 9개의 proposal이 접수되었고, 대부분의 제안서가 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술을 기반으로 한 무선 접속 기술에 스펙트럼 센싱 기술을 추가하였고, 이를 위한 MAC protocol을 제안하였다. 2006년 1월 회의에서 ETRI-SAMSUNG-PHILLIPS 등이 통합하여 메이저 그룹으로 자리잡으면서 표준화를 주도하게 되었고, 이의 영향으로 2006년 3월 회의에서는 RUNCOM-ST Micro 등의 모든 프로포절 제안 그룹이 메이저 그룹에 통합하는데 합의하였다. 이후 통합표준안에 대하여 mandatory 기능과 optional 기능을 정의하고, 각각의 제안에 대한 검증을 하고 있다. 현재는 working group ballot 중에 나온 comments를 resolution하고 있다.

4-2 ECMA 표준화 동향

ECMA에서의 CR 표준은 TV white space를 이용하여 personal/portable device가 video streaming 정보를 전송할 수 있는 무선통신 표준을 제정하고 있다. 이를 위하여 ECMA TC-48 TG1에서 2009년 1월부터 표준화를 시작하여 2009년 12월 표준화를 완료한다는 목표를 가지고 작업을 진행하고 있다. [그림 13]에 도시한 바와 같이 가정에서 TV white space를 이용하여



[그림 12] WRAN 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 시나리오

video streaming 등 무선통신을 하겠다는 것으로 채널 특성이 좋은 TV white space를 사용하면 30 m 이 내를 single hop으로 통신이 가능하다는 장점을 이용 하려는 것이다.

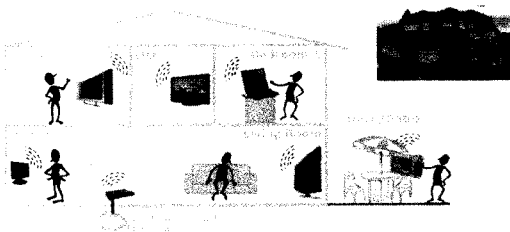
V. 결 론

Spectrum access 기술은 전파 기술의 발전과 함께 종래의 exclusive usage rights에서 벗어나 점차 dynamic spectrum access로 진화하고 있다. 이중에서도 cognitive radio 기술은 한정된 전파 자원의 이용 효율을 10배 이상 획기적으로 높이는 기술로써 미래 정보화 사회의 핵심 기술로 자리 잡을 것으로 전망된다. 이미 UWB를 비롯하여 RFID, WLAN, 이동통신 등 많은 분야에서 사용되고 있고, 군용 장비에서도 사용이 확대되고 있다. 한편, IEEE 802에서는 2004년 이후 fixed device인 WRAN 서비스의 표준화만 진행하였으나, FCC가 2008년 11월 fixed device와 portable device 모두 TV white space 이용을 허용하면서 향후 portable device의 표준화에 많은 관심을 나타내고 있다. 이 밖에도 ECMA에서는 indoor에서 CR 기술을 이용하여 video streaming 등을 전송하는 표준을 진행 중에 있고, ITU-R에서도 CPC(Cognitive Pilot Channel)을 이용하여 이동통신의 효율적인 network access를 검토하고 있다. 한편, IMT-Advanced에서의 self-orga-

nizing network 등에도 CR 기술이 적용될 것으로 예상 되고 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile Multimedia communications", *IEEE Mobile Multimedia Conference*, pp. 3-10, 1999.
- [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, "Re-configurable terminals beyond 3G", *Proceedings of the Wireless World Research Forum (WWRF) Second Meeting*, Helsinki, Finland, May 2001.
- [4] T. Reynolds, "Advanced wireless technologies and spectrum management", *ITU Seminar*, Feb. 2004.
- [5] FCC report, Report of the interference protection working group, Nov. 2002.
- [6] FCC Notice of Proposed Rule Making, Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, FCC 04-186 May 2004.
- [7] Donald Evans, Spectrum Policy for the 21st Century-The President's Spectrum Initiative: Report, Jun. 2004.
- [8] IEEE 802.22 WG, Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard, Sep. 2005.
- [9] FCC Report & Order, Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, FCC 08-260 Nov. 2008.
- [10] Mark Cummings et al., ECSG ad-hoc use case tutorial, sg-whitespace-09-0052-0000, Mar. 2009.



[그림 13] ECMA에서의 CR 서비스 모델

≡ 필자소개 ≡

김 창 주



1980년: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)

1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1993년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)

1979년 12월~1983년 3월: ADD 연구원

1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구부장
[주 관심분야] 전파 자원 이용 기술, 전자파 환경 기술, 안테나 기술, Cognitive Radio, 이동 통신 및 방송 기술 등