

Cognitive Radio 기술 및 표준화 동향

김 창 주 · 임 차 식*

한국전자통신연구원

전파기술연구그룹 ·

*정보통신부 S/W진흥단

I. 서 론

미국 상무성 산하의 NTIA(National Telecommunications and Information Administration)에 따르면 cognitive radio “전파환경을 측정, 이로부터 무선기기의 동작 파라미터를 자동으로 조정함으로써 system operation을 변경하는 것”으로 정의된다. 여기에서 system operation은 전송 효율의 향상, 간섭 경감, 시스템간 상호 운용, secondary market access 등을 일컫는다. 본고에서는 상기의 여러 가지 시스템 동작 중에서 secondary market access를 통해서 주파수 자원의 이용 효율을 획기적으로 높이는 내용에 대하여 기술한다.

주지하고 있는 바와 같이 주파수 자원은 국가의 소중한 무형 자산으로써 무선 통신 기술의 발전과 함께 주파수 자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나, 21세기의 정보화 사회에서는 주파수 자원이 그에 못지 않게 소중한 자산으로 인식되고 있다. 우리나라의 무선 통신 기술은 아날로그 세대인 1980년대까지는 매우 제한적으로 사용되었으나, 1990년대 CDMA(Code Division Multiple Access) 이동통신의 상용화 이후 비약적으로 발전하여 현재는 유비쿼터스 정보화 사회를 눈앞에 두고 있다. 그런데 u-사회에서는 주파수 자원의 수요가 공급에 비하여 매우 많기 때문에 주파수 부족 현상이 심각하게 대두된다. 따라서 한정된 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 기술을 개발하여 주파수 자원을 효율적으로 사용하여야 한다. 전파 자원을 공유하는 기술로서는 spec-

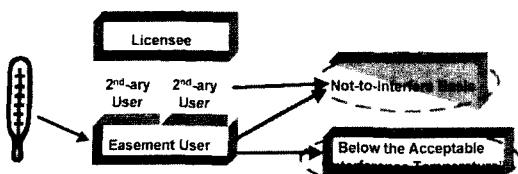
trum overlay 기술인 시간적인 공유와 낮은 전력을 사용하여 지리적으로 간섭이 없는 지역에서 사용하는 spectrum underlay 기술인 UWB(Ultra-Wide Band)가 있다.

본고에서는 서론에 이어 2장에서 cognitive radio 기술을 소개하고, 3장에서는 CR 기술의 응용 분야에 대하여 기술한다. 4장에서는 CR 기술을 이용하여 WRAN(Wireless Regional Area Network) service를 제공하기 위하여 IEEE 802.22 working group에서 표준화를 추진하고 있는 내용을 소개하고, 5장에서 결론을 맺는다.

II. Cognitive Radio 기술

CR 기술이나 UWB(Ultra Wide-Band) 등 dynamic spectrum access 기술을 주파수 분배에 적용하려면 스펙트럼의 이용의 패러다임을 바꾸어야(Paradigm Shift) 한다. 현재 스펙트럼 이용의 주류는 면허권자에게 독점적 이용권(Exclusive Rights)을 주는 방식을 사용하고 있다. 그러나 전파 기술의 발전과 함께 주파수 자원의 공유 기술이 점차 늘어나는 추세이다. 이러한 주파수 공유 기술을 주파수 분배에 활용하려면 [그림 1]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.

CR 기술 중 dynamic spectrum access 기술은 앞서

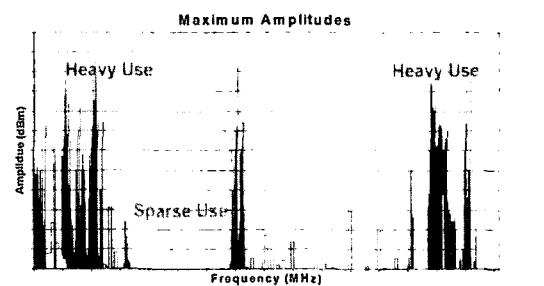


[그림 1] 스펙트럼 이용 모델

언급한 바와 같이 1차 이용자가 사용하지 않는 주파수를 찾아서 비어 있는 시간에만 이 주파수를 이용하는 기술이다. [그림 2]에 나타낸 바와 같이 할당된 주파수의 이용 현황을 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.

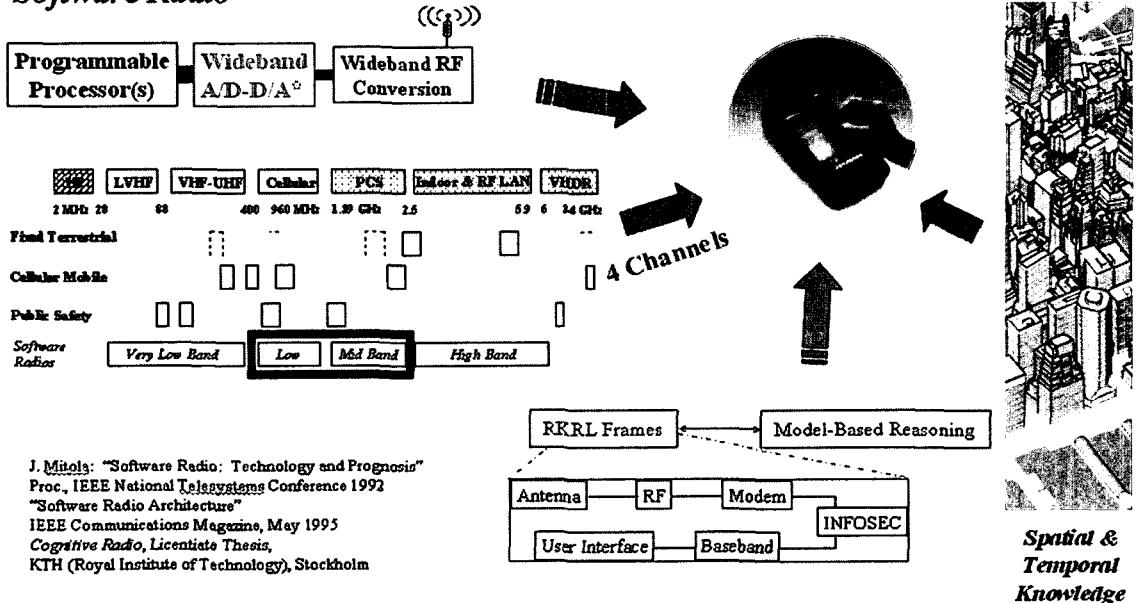
[그림 3]에서 보듯이 CR기술은 SDR(Software Defined Radio) 기반의 무선 통신 기술을 토대로 cogni-

tion 기술을 접목하여 탄생시킨 기술이다. SDR 기술은 광범위한 주파수 대역에 걸쳐 광대역 신호 처리를 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 CR기술은



[그림 2] 전파 이용의 샘플 측정

Software Radio

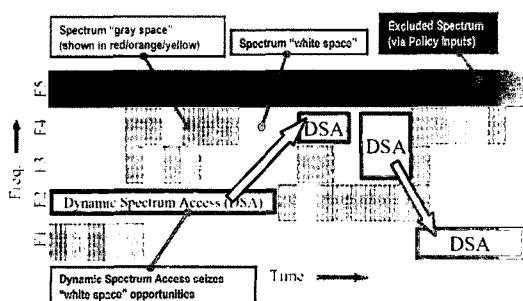


[그림 3] Cognitive Radio 개념도

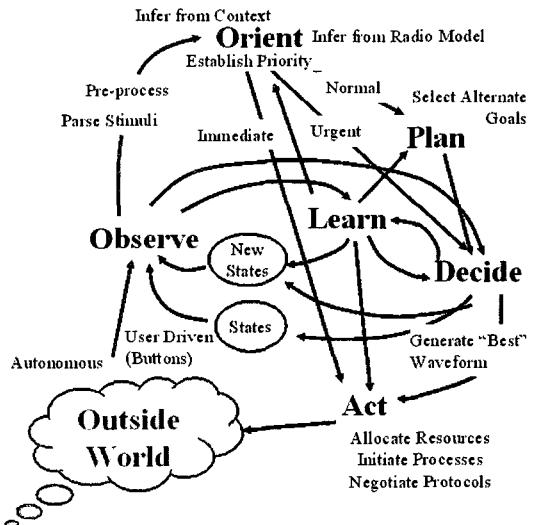
장치가 있는 주변의 스펙트럼을 센싱하여 비어 있는 채널 정보를 활용하여 통신을 하는 기술로서 1차 분배자가 해당 주파수를 사용하는 경우에는 언제든지 1차 이용자에게 간섭을 주지 않고 다른 주파수 대역으로 옮겨서 통신을 한다. 이러한 기능을 위하여 CR 장치는 특정 주파수를 사용하는 동안에도 주기적으로 Quiet Period를 두어 해당 주파수의 incumbent user 가 사용하지는 지에 대하여 측정을 하여야 한다. Incumbent user가 감지되면 주어진 시간 이내에 다른 채널로 이동하여 사용하든지 아니면 사용을 중지하여야 한다.

[그림 4]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 주파수 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 5]는 Cognitive 장치가 동작하기 위한 cycle을



[그림 4] CR 장치의 dynamic spectrum access 예제



[그림 5] Cognition cycle

나타낸다. CR 장치는 주기적으로 외부 환경을 관측(Observe)한다. 여기에서 얻은 정보를 분석하여 통신의 긴급성을 판단한다. 예를 들어 휴대폰 이용자가 건물안으로 들어가서 현재 통신하는 신호가 갑자기 약해지는 경우 현재의 상태를 저장하든지, 아니면 가용한 채널(예를 들면 WLAN)로 핸드 오프하여 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 기준의 가지고 있는 정보를 활용, learning algorithm을 통하여 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 5]에서 언급한 learning algorithm은 실제로

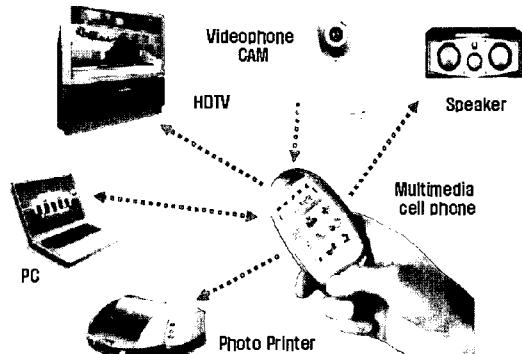
[그림 6]의 REM(Radio Environment Map) 개념을 도입

하여 이의 파라미터를 update 한다. Radio Resources를 정의하고, 이를 GA(Genetic Algorithm)이나 neural network 등의 알고리즘을 사용하여 주기적으로 update 한다. 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. Cognitive Radio 기술의 응용

CR 기술은 최근에 출현하는 거의 모든 장치에 적용되고 있다. UWB를 비롯하여 WLAN에서의 DFS, RFID의 LBT, 그리고 XG(neXt Generation) project 등에서 응용되고 있다. 본 고에서는 이중에서 대표적인 UWB와 XG project에 대하여 간단히 소개한다.

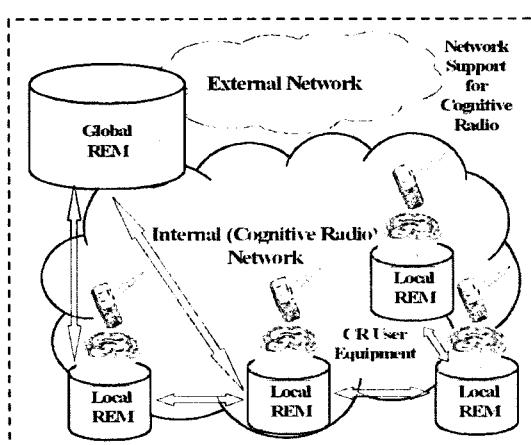
UWB 기술은 반송파 주파수의 20 % 이상의 대역폭을 사용하여 통신을 하거나 또는 500 MHz 이상의 대역폭을 사용하여 통신하는 방식으로 [그림 7]에 도시한 바와 같이 사무실이나 가정 등 반경 10 m 이내의 근거리에서 초고속 무선 전송이 가능한 WPAN 기술 중의 하나이다. 사무실이나 가정에서 무선으로



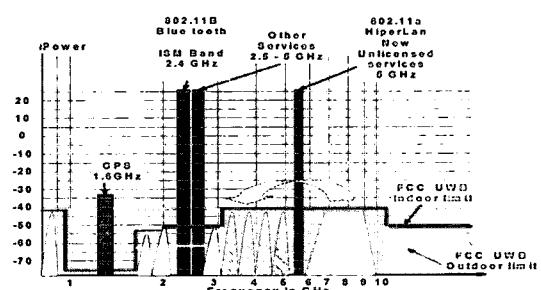
[그림 7] UWB 통신을 이용한 서비스 모델

HDMI와 같은 고화질 · 비 압축 멀티미디어 데이터 정보를 전송하게 함으로써 가전기기의 배치는 물론 자료 전송의 편리함을 제공해 주기 때문에 가전 회사를 중심으로 많은 연구가 진행되고 있다. 동시에 미래 정보화 사회에서 가전기기, 이동 통신 단말기, PC 및 주변기를 응용한 새로운 서비스를 창출할 것으로 기대되기 때문에 주요 회사들이 표준화 등에서 자기의 기술을 반영하기 위하여 치열한 경쟁을 벌이고 있는 기술이다.

사용 주파수는 [그림 8]에 보인 바와 같이 3.1 ~ 10.6 GHz를 사용하는데, 기존의 전파 이용자와 양립하기 위하여 -42 dBm/MHz의 전력 레벨과 대역 외의 주파수에서 요구되는 spectrum mask를 준수하여야 한다. 특히 5 GHz 대역은 비면허 대역으로 WLAN



[그림 6] Radio environment map



[그림 8] Spectrum mask of the UWB equipment

등이 사용되기 때문에 UWB 장비와 공간적으로 공유가 불가능하여 사용을 제한하고 있다. 또한, 3~5 GHz 대역의 경우 유럽, 일본 및 우리나라에서는 4세대 이동통신이나 이미 이 대역을 기준에 사용하는 방송 중계 장비와의 간섭을 고려하여 lower band(3.1 ~4.8 GHz)에서는 DAA(Detection and Avoidance) 기능을 보유하여야 한다.

한편, IEEE 802.15.3a 표준 회의에서는 초기에 Extreme사에서 제안한 DS-CDMA 방식과 Intel, TI, Wissair사 등이 연합하여 제안한 MB-OFDM(Multi-Band Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식을 놓고 표준화를 진행하였으나, 양 진영이 표준안 합의에 실패하여 현재로서는 표준화가 거의 어려운 상태이다. 이러한 상황에서 인텔 진영은 Wimedia 그룹을 결성하여 독자적으로 추진하면서 ISO 표준을 추진 중에 있고, 반면에 Freescale 진영도 UWB Forum을 결성하여 추진하고 있다.

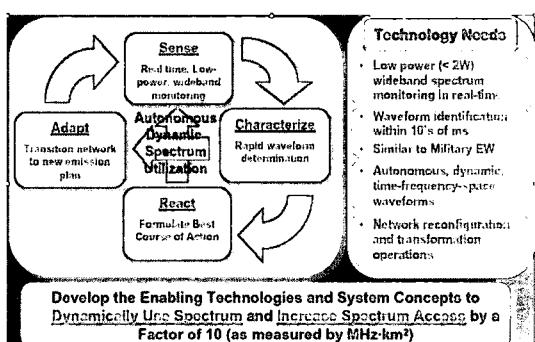
한편, XG project는 DARPA에서 수행하는 연구로써 CR 기술을 군용 장비에 적용하여 작전을 원활하게 수행하게 한다. 특히 해외에서 작전을 수행하는 경우 주파수 사용이 원활하지 않은 경우가 빈번하다. 이런 경우 CR 기능을 이용하여 비어있는 주파수를 활용하는 것이 바람직하다. [그림 9]는 군용 장비에 CR cycle을 적용한 예를 나타낸다. 2장의 개념과 같

이 wide-band spectrum을 sensing하고, 수십 ms 이내에 주변의 전파 신호에 대한 ID를 수행한다. 그리고 자동으로 다이내믹하게 action을 취할 최적의 과정을 결정하여 응답한다. 이 과정에서 분석된 자료를 토대로 network에 맞게 지속적인 update를 수행한다.

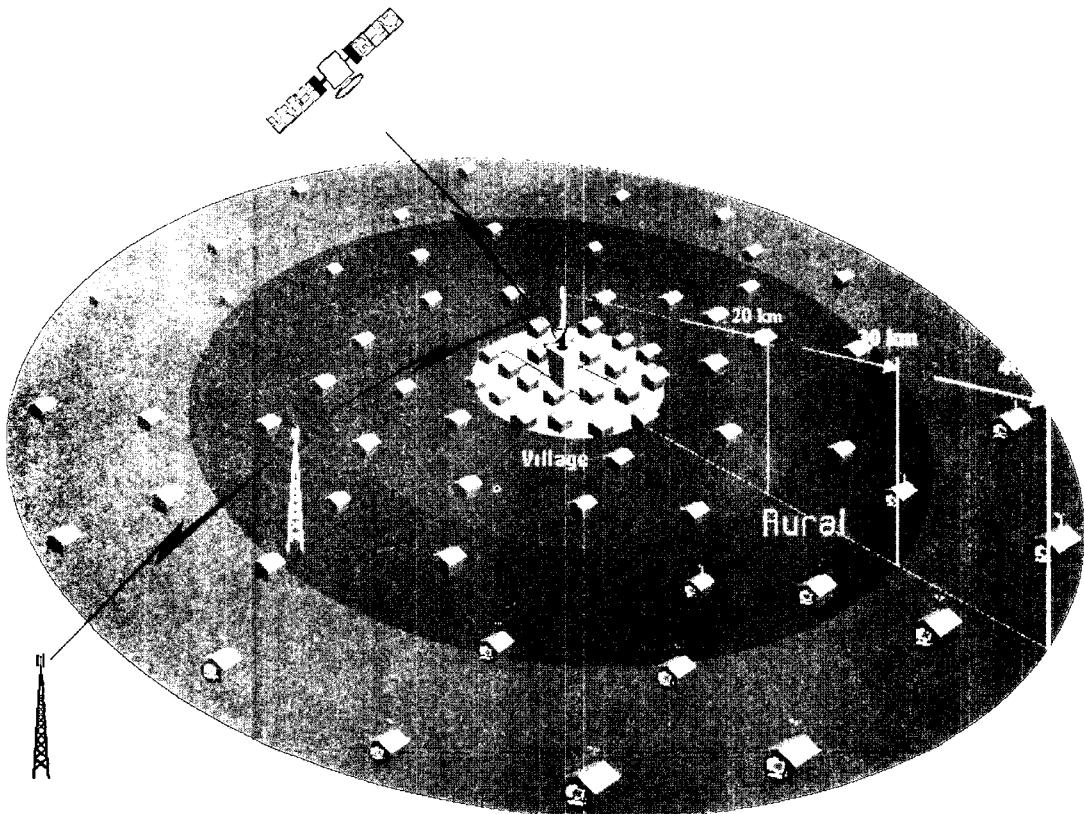
IV. Cognitive Radio 기술을 이용한 표준화 동향

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 살펴보자 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 2]는 WRAN(Wireless Regional Area Network) 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오이다. 그림에서 5 km이내의 village는 Wibro 또는 mobile WiMax 를 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



[그림 9] 군용 장비의 cognition cycle 예



[그림 10] WRAN 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 시나리오

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 통합 표준안에 대하여 mandatory 기능과 optional 기능을 정의하고, 각각의 제안에 대한 검증을 하고 있다. 2008년 3월 Orlando 회의에서 working group ballot이 있을 예정이고, 7월에 sponsor ballot을 거쳐 금년

말에 표준화를 완료할 예정이다.

V. 결 론

Spectrum access 기술은 전파기술의 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, 이동 통신 등 많은 분야에서 사용되고 있고, 군용 장비에서도 사용이 확대되고 있다. 한편 IEEE 802.22 working group에서

도 CR 기술을 이용하여 WRAN network으로 internet access 등을 위하여 표준화를 진행 중에 있다. 이 밖에도 indoor에서 CR 기술을 이용하여 video streaming 등을 전송하거나 IMT-Advanced에서의 seamless service나 QoS(Quality of Service)를 보장하기 위한 방안으로도 사용될 수 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. Farn-

ham, 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] 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.

≡ 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 전파기술연구그룹장
 [주 관심분야] 전파자원이용기술, 전자파환경기술, 안테나기술, Cognitive Radio, 이동통신 및 방송기술 등

임 차 식



1982년: 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
 1988년: 미국 Georgia Tech. 전자공학과 (공학석사)
 1982년~현재: 정보통신부 S/W 진흥단장
 [주 관심분야] 전파기술 및 정책 등