

전파 신기술 동향

주파수 자원 공유기술

임차식 · 이재용* ·
김창주**

방송통신위원회
국립전파연구원
*연세대학교 전기전자공학부
**ETRI 주파수융합연구팀

I. 서 론

주파수 자원은 국가의 소중한 무형자산으로서 무선통신의 발전과 함께 전파자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나, 21세기의 정보화 사회에서는 전파자원이 그에 못지않게 소중한 자산으로 인식되고 있다. 특히 전파자원은 국가의 경제발전은 물론, 안보나 공공 안전, 그리고 과학기술 탐구 등 그 응용분야가 매우 다양하다. 미국, 영국 등 선진국에서는 이를 체계적이고, 효율적으로 이용하기 위하여 자국의 전파정책방향을 설정하고, 이를 기반으로 관련 정책 및 기술개발을 추진하고 있다.

이와 같이 소중한 전파자원은 시대에 따라 어떠한 역할을 하고 있는가? [그림 1]은 정보화 사회의 변천 단계를 나타낸다. 1990년대의 정보화 사회에서 internet의 발달과 함께 Cyber Korea 시대가 열렸고, 뒤를 이어 전자정부, 그리고 모든 곳에서 정보를 access할 수 있게 하는 Ubiquitous KOrea를 지나 이제는 바야흐로 우리는 Smart Korea 시대를 맞이하고 있다.

그렇다면 전파와 Smart Korea의 관계는 어떻게 될까? [그림 2]에 도시한 것처럼 전파기술은 Smart Korea를 구축하는데 가장 중요한 무선 infrastructure를 구

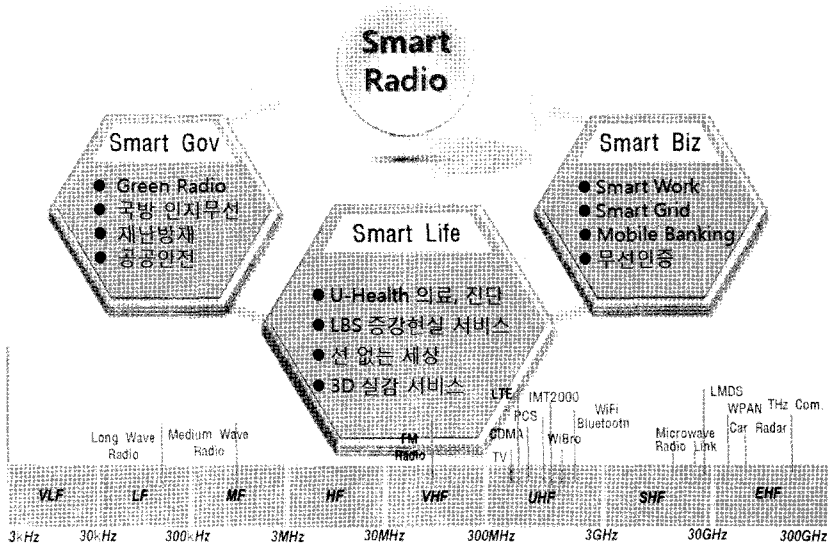


[그림 1] IT 기술과 사회의 변천

성하고, 필요에 따라서는 전파를 이용한 sensor로서의 역할을 하는 것이 스마트 코리아의 핵심이 될 것이다. Smart 사회의 도래와 함께 전파의 이용이 폭발적으로 증가하는 시점에서 smart 전파기술의 개발을 통하여 안전하고, 신뢰할 수 있는 고품격의 스마트 서비스를 제공할 수 있는 터전을 마련하고, 각종 환경 및 건강 센서 등의 개발을 통하여 Smart Korea의 중심축이 되도록 준비하여야 할 것이다.

[그림 2]에 보인 바와 같이 스마트 코리아는 smart government, smart business, 그리고 smart life로 구성된다. 따라서 스마트 사회에서는 다양한 주파수 대역에 걸쳐 다양한 서비스를 제공하므로 전파와 밀접한 관계가 있다. 이미 잘 알려진 바와 같이 전파는 주파수 대역에 따라 전파특성이 다르고, 또한 이용 가능한 대역폭이 다르다. 따라서 서비스 특성에 따라 주파수 대역과 대역폭을 정하여 다양한 서비스가 원활하게 제공될 수 있도록 하여야 한다.

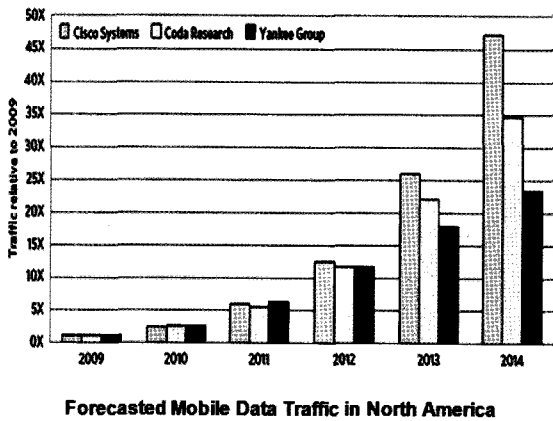
이와 같이 전파를 기반으로 하는 스마트 사회에



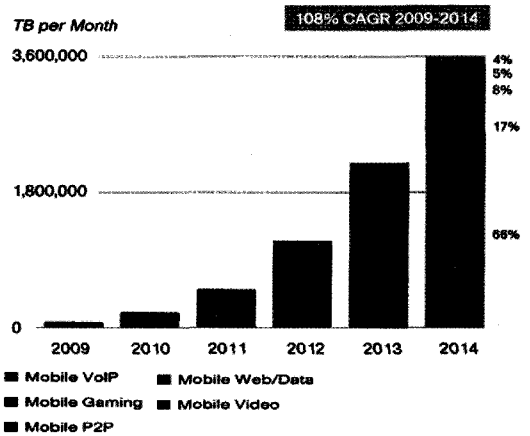
[그림 2] 스마트 코리아와 주파수 이용

서는 전파의 이용이 급속히 늘어날 전망이다. 본 절에서는 각국의 전문기관에서는 이를 어떻게 보고 있는지에 대하여 알아보자. [그림 3]의 좌측 그래프는 미국의 Cisco systems, Coda Research, 그리고 Yankee Group에서 예측한 트래픽 자료이다. 각 그룹마다 차이는 있지만, 2014년의 무선 트래픽은 2009년을 기준

으로 할 때 약 20배에서 50배 정도 늘어날 것으로 예측하고 있다. 그러나 이 예측자료는 스마트 폰, 스마트 패드, cloud computing 등의 본격적으로 등장하기 이전의 자료이기 때문에 실제로는 이보다 훨씬 늘어날 전망이다. 오른쪽에 있는 그래프는 서비스 형태에 따른 분석으로 mobile video가 전체의 66%를 차지하



Source : National Broadband Plan(FCC, 2010.3)



Cisco VNI Mobile Forecast project

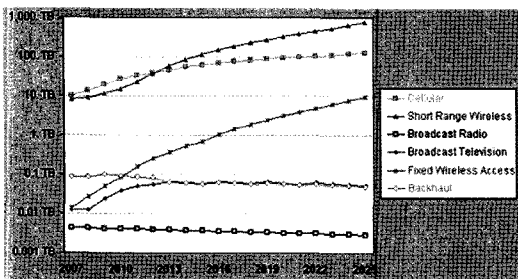
[그림 3] 미국에서의 무선 트래픽 예측

고, 그 다음으로 mobile web/data가 17 %, mobile P2P가 8 %, mobile gaming이 5 %, 그리고 mobile VoIP가 4 % 정도로 예측하고 있다.

[그림 4]는 영국의 Ofcom에서 예측한 무선 트래픽 자료이다. 이 예측보고서의 주요 특징은 2013년경에 short range wireless의 트래픽이 cellular traffic을 추월할 것으로 추정하고 있다. 그러나 이는 스마트 폰이 본격적으로 사용되기 이전에 예측한 자료이기 때문에 시기적으로 다소 변동이 있을 수 있으나, 추세는 맞는 방향으로 판단된다. 우리나라의 경우 이미 wi-fi 이용이 폭증하여 통신사마다 wi-fi 망을 확충하는 상황을 볼 때, 미래에는 short range wireless 트래픽이 매우 많아질 것으로 보여진다. 한편, 방송의 트래픽은 정체될 것으로 예측하고 있다.

서비스 형태에 따른 분석은 [그림 5]에 나타난 바와 같이 data applications과 M2M communications은 폭발적으로 늘어날 전망이다, voice는 정체, 그리고 방송정보는 점진적으로 늘어날 것으로 추정하고 있다. 특히 data applications는 2009년을 기점으로 voice traffic을 추월하고, M2M communications는 2012년경에 voice traffic을 추월할 것으로 예측하고 있다.

그런데 이와 같이 소중한 전파의 이용량은 어느 정도일까? 미국의 shared spectrum company 등에서 주파수 이용량을 측정한 자료에 의하면 가장 전파특성이 좋은 UHF 주파수의 이용량이 약 15 % 이하로 보고되고 있고, FCC가 NYC(New York City)에서 측정한



[그림 4] Ofcom의 서비스 영역별 무선 트래픽 예측

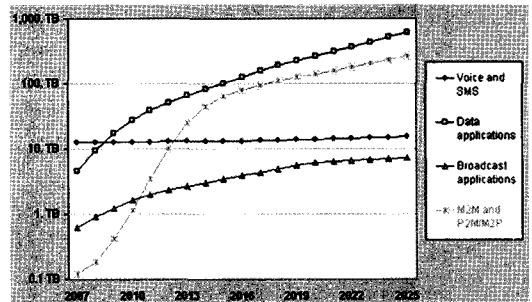
자료에 의하면 30 MHz~3 GHz 대역의 주파수 점유율이 [그림 6]에 나타난 바와 같이 13 % 정도이다.

따라서 CR(Cognitive Radio) 기술 등 DSA(Dynamic Spectrum Access) 기술을 활용하여 주파수자원의 이용효율을 향상시킬 필요가 있다.

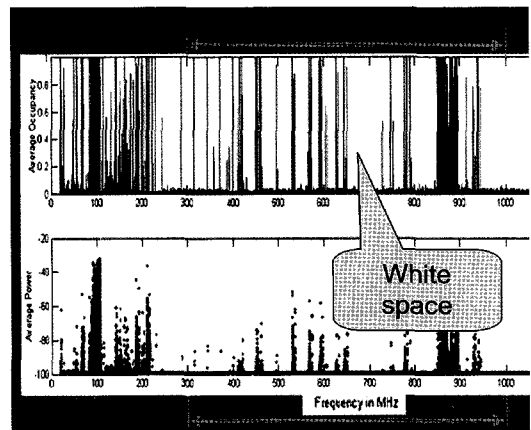
본 원고는 제 1장 서론에 이어 제 2장에서는 주파수 자원의 공유기술 및 표준화 동향에 대하여 알아보고, 제 3장에서 주요국의 기술 개발 동향을 살펴본 후 제 4장에서 결론을 맺고자 한다.

II. 주파수 자원 공유기술 및 표준화 동향

미국 상무성 산하의 NTIA(National Telecommuni-



[그림 5] Ofcom의 데이터 형태별 무선 트래픽 예측



[그림 6] 주파수 이용량 측정 결과

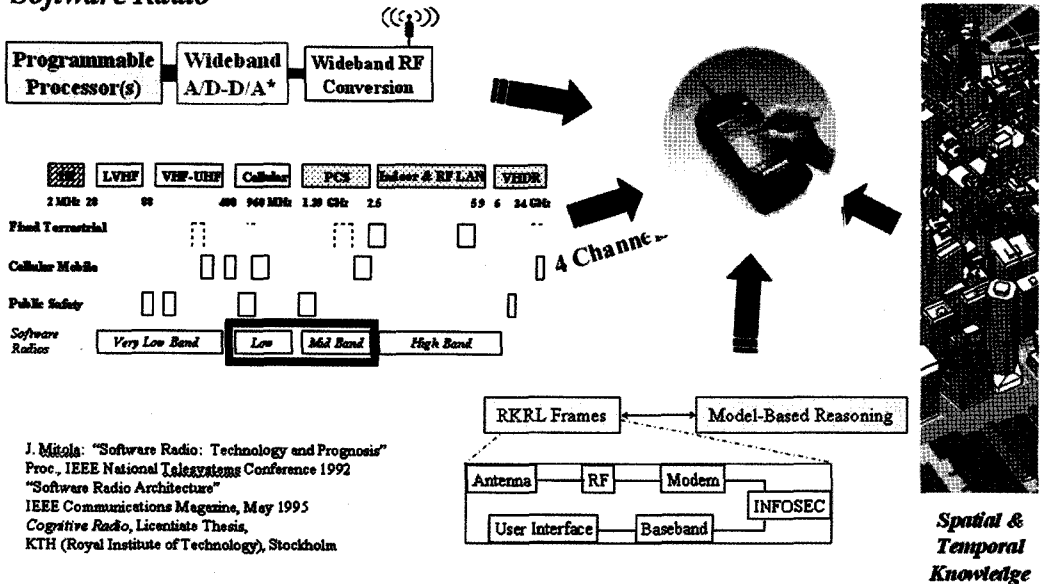
cations and Information Administration)에서는 CR 기술을 “전파환경을 측정, 이로부터 무선기기의 동작 파라미터를 자동으로 조정함으로써 system operation을 변경하는 기술”로 정의하고 있다. 여기에서 system operation은 전송 효율의 향상, 간섭 경감, 시스템간 상호운용, secondary market access 등을 일컫는다.

이 중에서 주파수자원의 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 6]에 나타낸 바와 같이 할당된 주파수의 이용현황을 측정해 보면 이의 이용효율이 평균적으로 30% 이하로 나타나고 있다. 따라서 이용되지 않고 있는 주파수 자원을 찾아서 이를 사용한다면 주파수 자원의 부족현상을 해결하는데 크게 기여할 것이다.

[그림 7]에서 보듯이 CR 기술은 SDR(Software Defined Radio) 기반의 무선통신 기술을 토대로 cogni-

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 사용하든지 아니면 사용을 중지하여야 한다.

Software Radio



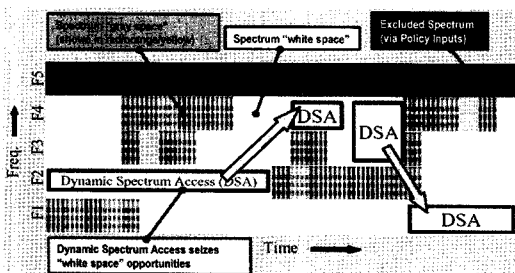
J. Mitola: "Software Radio: Technology and Prognosis"
 Proc. IEEE National Telecommunications Conference 1992
 "Software Radio Architecture"
 IEEE Communications Magazine, May 1995
 Cognitive Radio, Licentiate Thesis,
 KTH (Royal Institute of Technology), Stockholm

Spatial & Temporal Knowledge

[그림 7] Cognitive radio 개념도

[그림 8]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 주파수로 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 비어있는 대역폭에 따라서 적응적으로 통신하고, 또한 출력이나 전송방식 등을 주변의 환경 정보를 이용하여 스스로 제어한다.

[그림 9]는 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 건물 안으로 들어가서 현재 통신하는 신호가 갑자기 약해지는 경우 현재의 상태를 저장하든지? 아니면 가용한 채널(예를 들면 WLAN)로 핸드 오프하여 통신하는 방법을 강구하여야 한다. 이



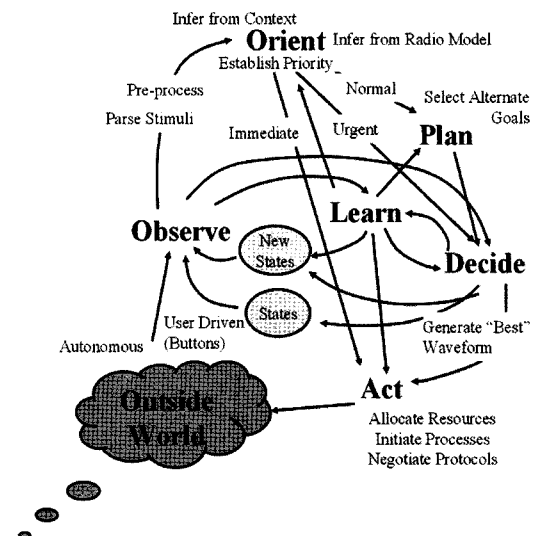
[그림 8] CR 장치의 dynamic spectrum access 예제

러한 사이클을 토대로 측정된 새로운 정보와 기존의 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.

이상 기술한 CR 기술은 최근에 출현하는 많은 장치에서 사용되고 있다. 2009년 12월에 표준화를 완료한 ECMA-392 표준을 비롯하여 2011년 7월에 완료한 IEEE802.22 WRAN 표준, 그리고 최근에 한창 표준화를 진행하고 있는 IEEE802.11af 등이 좋은 예이다. 본 절에서는 표준화 동향에 대하여 살펴본다.

2-1 IEEE 802.22 WRAN 표준

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 위



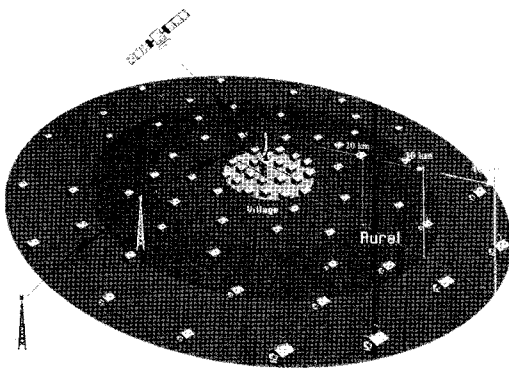
[그림 9] Cognition cycle

하여 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 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 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 10]은 WRAN(Wireless Regional Area Network) 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오이다. 그림에서 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 인구밀도는 1.25명/km² 정도의 rural area이다. 본 표준의 주요 특징은 secondary user로서 채널을

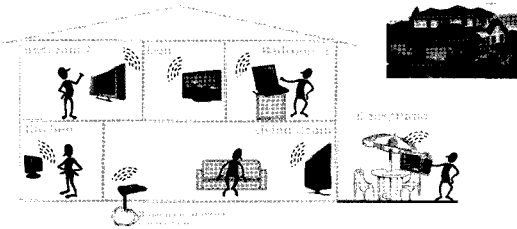
이용하기 때문에, database access 기능과 spectrum sensing 기능, 그리고 primary user가 출현하는 경우 channel movement 등이 고려되었다. 또한 TV channel이 지역적으로 사용 가능한 채널이 다르기 때문에 geo-location이 매우 중요하여 표준에 반영되었다. 이와 관련하여 사용 가능한 채널에 대한 management가 중요하여 protocol reference model에 spectrum manager가 반영되어 있다. Frame 구조와 관련해서는 secondary user로서 primary user를 검출하기 위한 수단으로 전송 중에 주기적으로 primary user를 검출하기 위한 수단으로 quiet period를 두었고, base station간에 통신을 위하여 co-existence beacon protocol을 두어 통신 수단을 마련하였다. 한편, 물리계층에서는 서비스 coverage가 최대 100 km이기 때문에 delay spread가 다른 서비스와 다르게 최대 60 microsecond이기 때문에 OFDMA parameter 설계 시에 guard interval이 70 microseconds 이상으로 잡아야 하고, 채널 특성 자체가 frequency selective channel이어서 channel estimation 및 compensation 기술이 정교하게 설계하여야 하는 내용을 표준에 담았다. MAC 표준에서도 quiet period를 상황에 맞게 scheduling 할 수 있도록 하였고, primary user가 나타난 경우 이를 base station에 긴급히 알려주는 UCS(Urgent Co-existence Situation) 기능을 두었다.

2-2 ECMA-392 표준

ECMA-392 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 12월에 표준화를 완료하였다. [그림 11]에 도시한 바와 같이 가정에서 100 mW 급의 소출력 기기로 TV white space를 이용하여 video streaming 등을 무선으로 통신을 하겠다는 취지이다. TVWS를 사용하면 채널 특성이 매우 우수하기 때문에 30 m 이내를 single hop으로 통신할 수 있다는 장점을 이



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



[그림 11] ECMA-392 서비스 모델

용하려는 것이다.

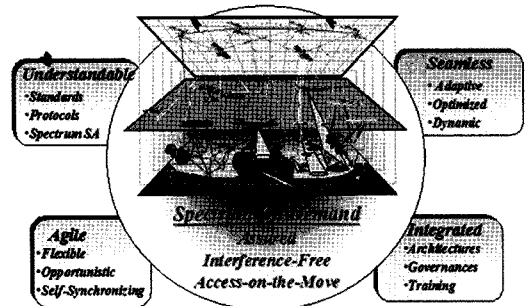
ECMA-392 표준의 주요 특징은 secondary user로서 동작하는 소출력 무선기기로써, FCC 04-286을 준수하면서 가정이나 사무실에서 근거리 무선통신을 가능하게 하는 표준이다. 동작 모드는 master-slave mode와 peer-to-peer mode가 있고, channel access를 위한 resource management, self-coexistence mechanism, echo beacon protocol, 그리고 채널 managemnt 등의 주요 기능을 가지고 있다. 한편, 물리계층의 주요 특징은 OFDMA를 기반으로 power control 기능과 channel estimation 및 compensation 기능, 그리고 quiet period 제어 기능이 있다.

최근에는 Wi-Fi 기능을 TVWS에서 동작하기 위한 IEEE802.11af 표준과 secondary device 간에 TVWS에서 서로 간섭없이 공존하기 위한 IEEE 802.19.1 표준도 진행되고 있다.

Ⅲ. 주요국의 기술개발 동향

미국에서는 주파수 공유 기술을 TVWS와 같이 상업용 주파수에 DSA 기술을 적용하는 연구 및 표준은 앞서 언급한 바와 같이 FCC를 중심으로 매우 활발하게 진행되어 왔고, CR 기술을 국방에 적용하는 연구는 DARPA를 중심으로 진행되고 있다.

[그림 12]는 미국의 국방 비전을 나타내는 것으로 통신 장비가 각종 agility(frequency, time, space 및 network) 기능을 구비하여 끊임없는 통신을 할 수 있게



[그림 12] 국방 스펙트럼 이용의 비전

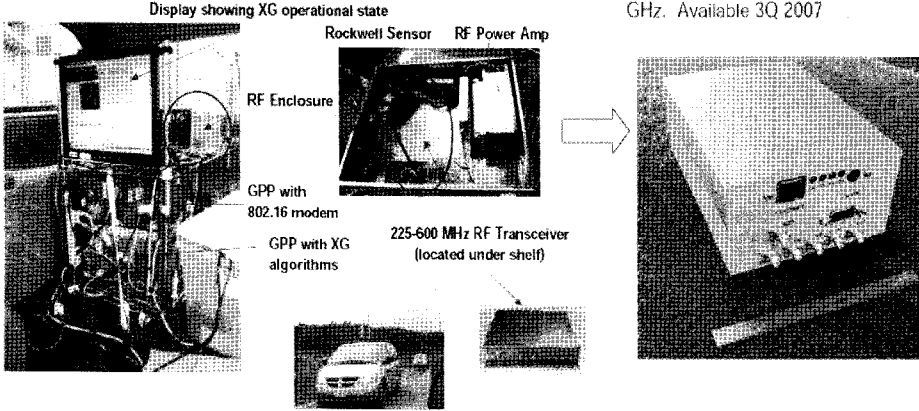
하고, 이를 NCW(Network Centric Warfare) 망으로 통합하여 작전에 참여하는 모든 지휘관과 병사들이 상황을 이해하고 작전을 함으로써 전쟁을 효율적으로 추진하게 한다는 취지이다.

이러한 비전을 달성하기 위하여 2000년대 초부터 XG(neXt Generation) 프로젝트와 XG⁺ 프로젝트를 통하여 DSA에 대한 첨단기술을 개발하였다. [그림 13]에 나타난 바와 같이 광대역 주파수(175 MHz~5 GHz)를 커버하는 하드웨어를 설계하고, 여기에 CR 기술을 활용하여 비어 있는 대역을 사용하여 IEEE802.16 WiMAX 통신 방식으로 통신을 수행한다. 현재는 WNaN(Wireless Network after Next) 프로젝트(900 MHz~6 GHz)를 수행하고 있는데 이는 수만 개의 노드가 애드 혹 망(ad-hoc network)을 형성하여 견고한 통신을 하는 기술을 개발하고 있다.

한편, 유럽에서는 통신 및 방송 등 다양한 활용하기 위한 연구를 Framework Program 7을 통하여 진행하고 있다. Spectrum and resource management 분야의 대표적인 과제는 E3 (End-to-End Efficiency) 과제이다. E3 과제는 Nokia, Ericsson, Motorola, Alcatel-Lucent, Fraunhofer 등의 연구기관과 대학이 연합하여 수행하는 과제로 cognitive pilot channel과 reconfigurable architecture 등을 통하여 이동통신은 물론 wi-fi 등의 기기들이 network 환경에 따라 최상의 통신을 하도록 하는 연구이다. [그림 14]는 E3 프로젝트의 네트워크 구성

XG radio (2006): An XG node consists of a computer, an 802.16 modem, a transceiver, an HPA, a GPS unit, and antennas. Frequency range of 225-600 MHz.

XG radio (2007): > 25 units. 4" x 4" x 6". Same features as 2006 model except increased frequency range (175 MHz ~ 4.9 GHz. Available 3Q 2007



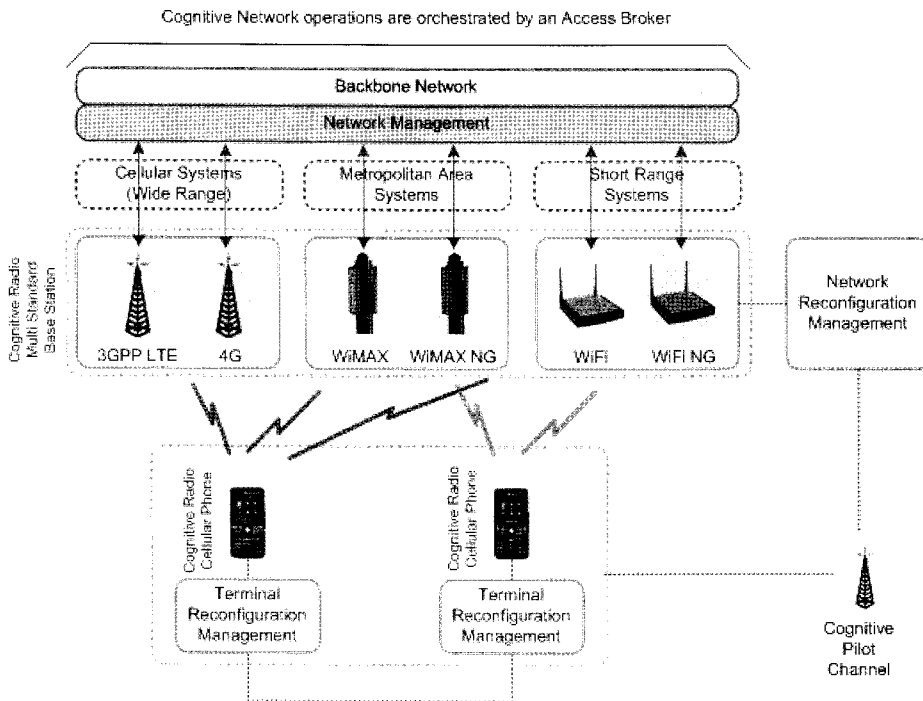
[그림 13] XG 하드웨어 구조 및 주요 특징

도를 나타낸다.

이 밖에도 재구성 가능한 OFDMA 기반의 협력 네

트워크 프로젝트인 ROCKET와 CR 기반의 센서 네트

워크 프로젝트인 SENDORA 등 다양한 연구가 진행



[그림 14] E3 프로젝트 네트워크 구성도

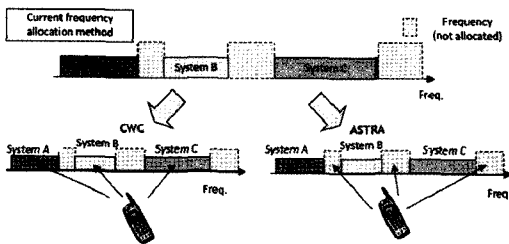
되고 있다.

일본에서는 [그림 15]와 같이 이중망에서 끊임없는 서비스(seamless service)를 위한 타입과 PU가 사용하지 않는 경우에 SU로서 주파수를 공유하는 타입으로 대별된다. 이중망에서 끊임없는 서비스를 위한 타입으로는 CPC(Cognitive Pilot Channel)을 이용하여 user의 주변에 있는 네트워크 정보를 다운로드 받아서 사용하고, SU로서 사용하는 예로는 TVWS를 지역 방송이나 디지털 사이니지(digital signage) 광고 등 주로 방송용으로 재활용하는 방안이 검토되고 있다.

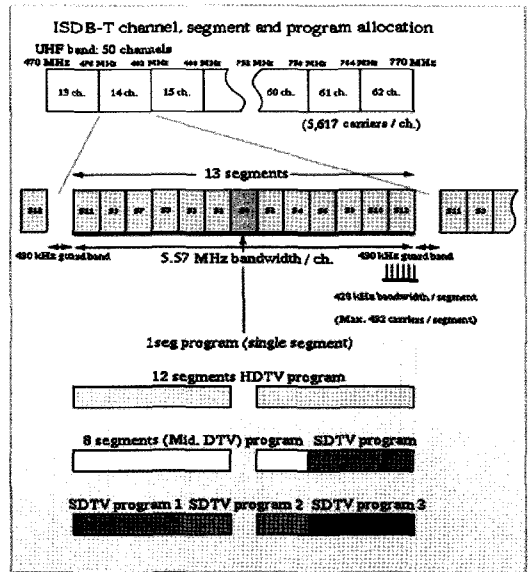
[그림 16]은 일본에서 디지털 방송 및 휴대 이동방송을 위하여 6 MHz 대역폭을 이용하는 방법을 나타낸다. 중앙의 oneseq으로 휴대 이동방송을 하고, 4개의 seg가 모여서 SDTV 방송을, 그리고 12 seg가 모여서 HD TV 방송을 전송하는 구조로 이루어져 있다. 이 방식의 장점은 휴대 이동방송에서 HDTV에 이르기까지 동일 방송망으로 전송이 가능하고, OFDM 방송 방식을 채용하여 SFN(Single Frequency Network) 구성이 가능하다. 일본에서의 TVWS 이용은 현재 중앙에 있는 oneseq를 이용하여 지역 광고 방송이나 디지털 사이니지에 많이 활용되고 있다.

IV. 결 론

무선 트래픽이 급증하는 환경에서 주파수 자원의 이용효율을 극대화하기 위하여 주요국에서는 주파수 자원을 공유할 수 있는 CR 기술을 한창 개발하고



[그림 15] 일본의 TVWS 기술 개발 동향



[그림 16] 일본의 방송기술 및 TVWS 이용

있다. 주변의 전파 환경을 센싱하여 스스로 환경에 적응하여 통신하는 CR 기술을 토대로 황금 주파수를 재활용함으로써 주파수 부족문제를 해결하는데 크게 기여할 것이다.

주파수 자원의 공유를 위해서는 1차 사용자와 2차 사용자가 간섭없이 공존하는 기술개발이 매우 중요하다. TVWS와 같은 대역은 이미 미국에서 많은 기술 검증을 실시하여 기준을 마련하였고, spectrum sensing 기술만으로는 현재 hidden node problem을 완전히 해결하지 못하는 점을 고려하여 고정형 CR 기기나 type II 장치에서는 database access 기능을 갖도록 규정한 점을 잘 반영하여 국내 정책을 수립하고, 이를 토대로 세계적인 경쟁력을 키워 나아가야 할 것이다. TVWS에서의 서비스는 미국이나 캐나다 등과 같이 2차 통신 시장을 창출하는 방향과 일본과 같이 지역 방송으로 재활용하려는 움직임이 있으므로 정보 통신 산업의 발전을 위해서 국제 동향과 시장의 요구사항을 반영하여 정책을 추진하여야 할 것이다.

한편 CR 기술은 끊임없이 상대방의 전파 이용을 교

란하는 전장 환경에서 매우 유용하다. 미국의 DARPA project에서 본 바와 같이 CR 기술을 국방에 활용하여 국가 안보를 지키는데 활용하는 방안도 중요하다. 향후에도 지속적으로 활용되지 않는 주파수 대역이나 비면허 대역에 DSA 기술을 적극적으로 개발하고, 이를 적용하여 소중한 주파수 자원의 활용도를 극대화하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 백인수, "Smart IT를 통한 Smart Korea 구현방향", IT정책연구시리즈, 18, 2010년 9월.
- [2] 임차식, "Dynamic spectrum access 기술의 spectral efficiency 향상에 관한 연구", 연세대학교 박사 학위논문, 2010년.
- [3] Ofcom, Predicting Areas of the Spectrum Shortage, 2009.
- [4] M. A. McHenry, NSF Spectrum Occupancy Measurements, Project Summary, 2005, <http://www.sharedspectrum.com>
- [5] J. Mitola, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio", Ph.D. dissertation, KTH Royal Institute of Technology, 2000.
- [6] DoD, DoD strategic spectrum plan, 2007.
- [7] C. S. Leem et al., "Spectral efficiency of WRAN spectrum overlay in the TV white space", *ETRI Journal*, vol. 30, no. 6, Dec. 2008.
- [8] DARPA XG Program. <http://www.darpa.mil/sto/smalunitosps/xg.html>
- [9] J. Mitola III, "Cognitive radio for flexible mobile multimedia communications", *IEEE Mobile Multimedia Conference*, pp. 3-10, 1999.
- [10] J. Mitola III, Cognitive Radio: An integrated agent architecture for software radio architecture, Ph. D Dissertation, Royal Institute of Technology (KTH), May 2000.
- [11] T. Reynolds, "Advanced wireless technologies and spectrum management", *ITU seminar*, Feb. 2004.
- [12] FCC Notice of Proposed Rule Making, Unlicensed operation in the TV broadcast bands, FCC 04-186 May 2004.
- [13] Donald Evans, Spectrum Policy for the 21st Century-The President's Spectrum Initiative: Report I & II, Jun. 2004.
- [14] FCC Report & Order, Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, FCC 08-260 Nov. 4, 2008.
- [15] Mark Cummings et al., ECSG ad-hoc use case tutorial, sg-whitespace-09-0052-0000, Mar. 2009.

≡ 필자소개 ≡

임 차 식



1982년: 한국항공대학교 전자공학 (공학사)
1988년: 미국 Georgia Tech. 전자공학 (공학석사)
2010년: 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)
1982년~현재: 방송통신위원회 국립전파연구원장

[주 관심분야] 스펙트럼 이용기술 및 정책

김 창 주



1980년: 한국항공대학교 (공학사)
1988년: KAIST (공학석사)
1993년: KAIST (공학박사)
1980년~1983년: ADD 연구원
1983년~현재: ETRI 주파수융합연구팀장
1999년~2001년: ETRI WCDMA 모델부장

2003년~2010년: ETRI 전파기술연구부장

[주 관심분야] 전파기술, Cognitive Radio, 이동통신 등

이 재 용



1977년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1984년: Iowa 주립대 컴퓨터공학 (공학석사)
1987년: Iowa 주립대 컴퓨터공학 (공학박사)
1977년~1982년: 국방과학연구소 연구원
1987년~1994년: 포항공대 전산과 부교수

1994년~현재: 연세대학교 전기전자공학부 교수

2005년~현재: 차세대 RFID/USN 연구센터, 센터장

[주 관심분야] 차세대 네트워크 구조 및 프로토콜, WTCP 및 유무선망 QoS 지원 프로토콜