

Cognitive Radio 기술 및 응용

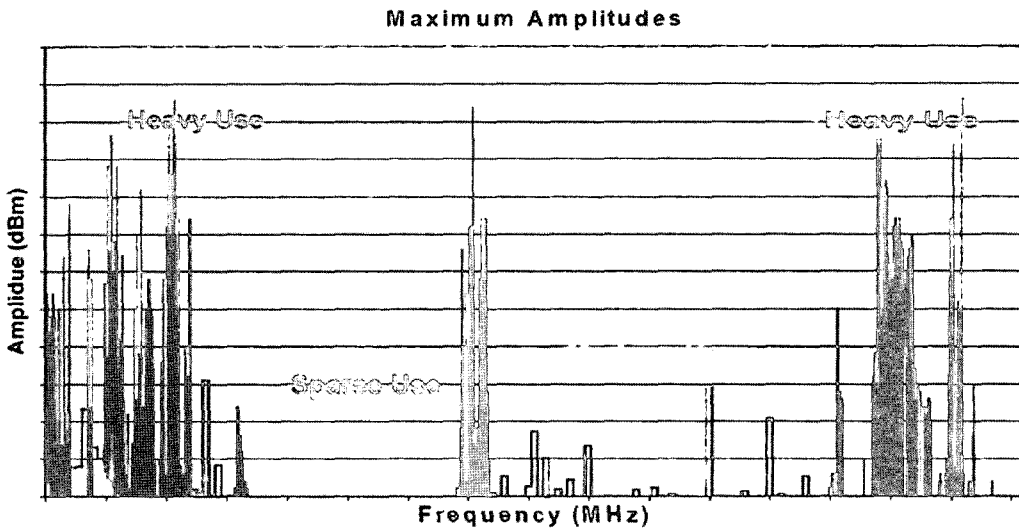
김 창 주

한국전자통신연구원
전파기술연구그룹

개 요

주파수 자원은 국가의 소중한 무형 자산으로써 무선 통신의 발전과 함께 주파수 자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 과거에는 석유, 철강, 가스 및 석탄 등이 국가의 중요한 자원이었으나 21세기의 정보화 사회에서는 주파수 자원이 그에 못지않게 소중한 자산으로 인식되고 있다. 우리나라의 무선 통신 기술은 아날로그 세대인 1980년대까지는 매우 제한적으로 사용되었으나 1990년대 CDMA(Code Division Multiple Access) 이동 통신의 상용화 이후 비약적으로 발전하여 현재는 유비쿼터스 정보화 사회를 눈앞에 두고 있다. 그런데 유비쿼터스 정보화 사회에

서는 주파수자원의 수요가 공급에 비하여 매우 많기 때문에 주파수 부족 현상이 심각하게 대두된다. 그러나 실제로 분배된 주파수의 이용 효율을 측정해 보면 이의 이용효율이 평균적으로 30 % 이하로 나타나고 있다([그림 1] 참조). 따라서 이용되지 않고 있는 주파수 자원을 효율적으로 이용할 수 있는 공유 기술을 개발하여 이를 이용한다면 주파수 자원의 부족 현상을 해결하는데 크게 기여할 것이다. 본 고에서는 이와 같이 분배된 자원 중에서 사용효율이 낮거나 사용되지 않는 주파수 자원의 이용효율을 획기적으로 높이기 위한 기술로서 최근 각광을 받고 있는 CR(Cognitive Radio) 기술의 동향 및 응용에 대하여 기술한다.



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

[그림 1] 미국에서의 스펙트럼 이용 현황 측정 자료

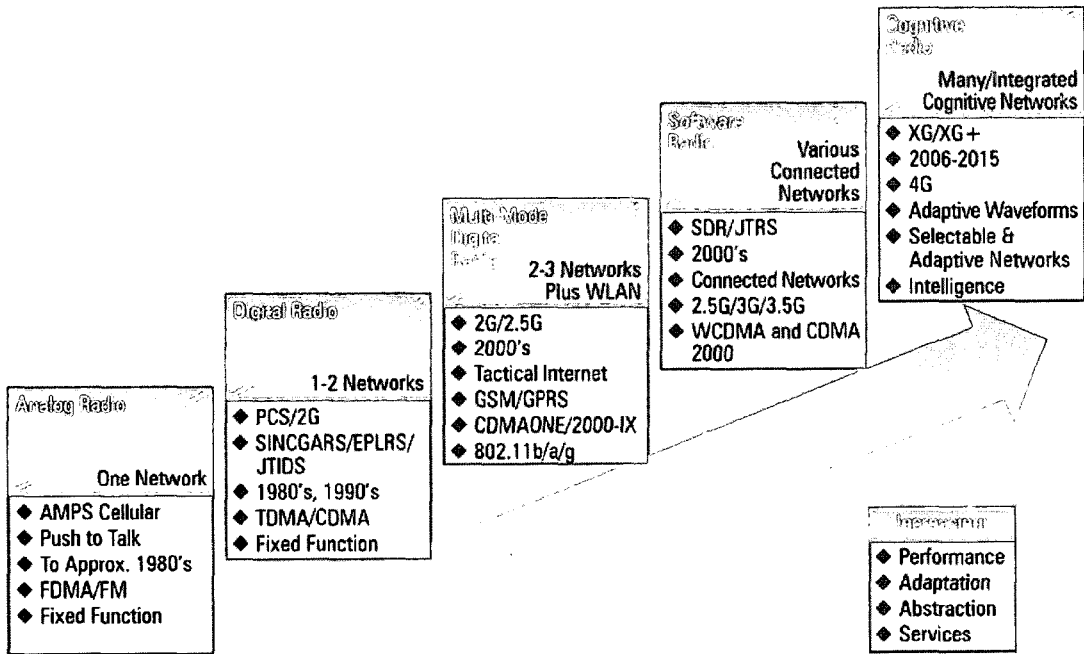
I. 서 론

1-1 Cognitive Radio 기술

[그림 2]에서 보듯이 CR 기술은 SDR(Software Defined Radio) 기반의 무선통신 기술을 토대로 cognition 기술을 접목하여 탄생시킨 기술이다. SDR 기술은 광범위한 주파수 대역에 걸쳐 광대역 신호처리를 할 수 있는 하드웨어를 토대로 software를 download 받아서 다양한 기능을 수행하는 기술이다. 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 분배자(incumbent user)가 해당 주파수를 사용하는 경우에는 언제든지 1차 이용자에게 간섭

을 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.

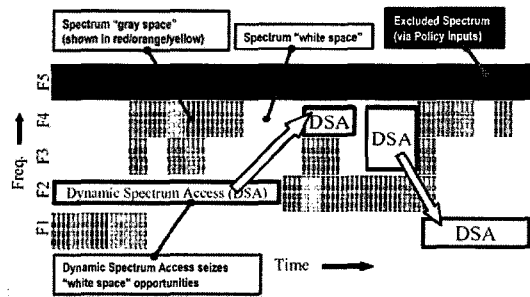
[그림 3]은 CR 장치가 스펙트럼을 측정하여 사용할 가능한 주파수 목록을 토대로 통신하는 과정을 그리고 있다. 초기에 이 장치는 F2 주파수를 사용하다가 F2의 incumbent user가 이 주파수를 사용하는 경우, 이를 스펙트럼 센싱을 통하여 감지하고 F4 주파수로 이동하여 통신을 수행한다. 이 경우 주파수 대역폭이 F2보다 넓으므로 넓은 주파수 대역폭에 적합한 전송 방식을 결정하여 통신을 한다. 시간이 지나면서 주파수 대역폭이 더욱 넓어지면 CR 장치는



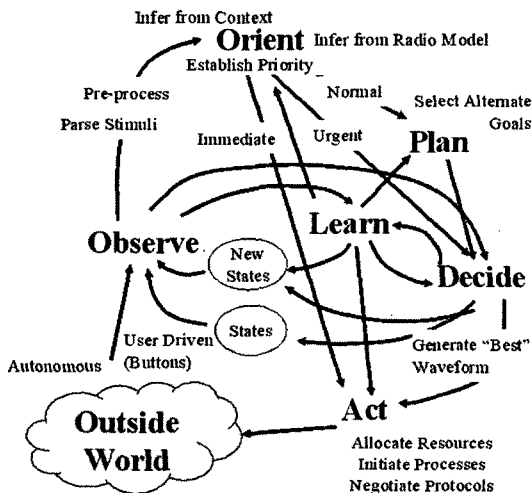
[그림 2] 무선 통신 기술 발전 추세

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 4]는 cognitive 장치가 동작하기 위한 cycle을 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 저장하던지 아니면 가



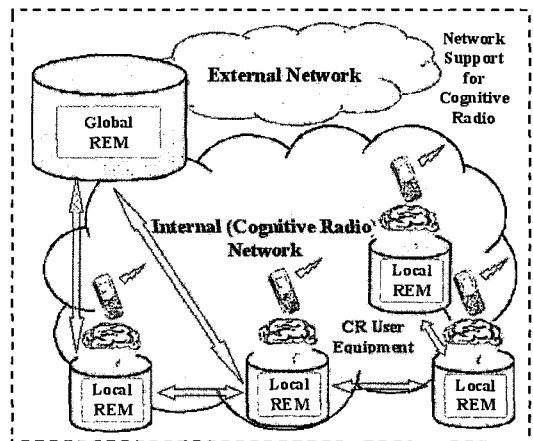
[그림 3] CR 장치의 dynamic spectrum access 예제



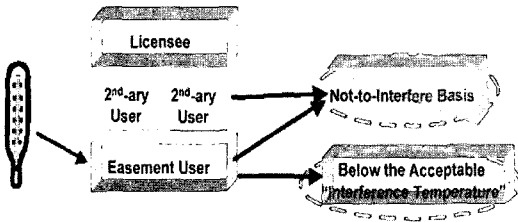
[그림 4] Cognition cycle

용한 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 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.

[그림 4]에서 언급한 learning algorithm은 실제로 [그림 5]의 REM(Radio Environment Map) 개념을 도입하여 이의 파라미터를 update한다. Radio resources를 정의하고, 이를 GA(Genetic Algorithm)이나 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 update



[그림 5] Radio environment map



[그림 6] 스펙트럼 이용 모델

하기 위한 목적으로만 사용된다.

CR 기술이나 UWB(Ultra WideBand) 기술이 도입 되면 스펙트럼의 이용의 패러다임이 변하게 된다. 종래의 스펙트럼 이용이 독점적 이용(exclusive rights) 모델에서 [그림 6]과 같이 주파수 대역에 따라 UWB 와 같이 낮은 전력밀도로 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 스펙트럼을 공유하는 easement user, 그리고 1차 면허권자가 사용하지 않는 주파수 자원을 사용하는 secondary user, 그리고 면허를 받은 면허권자 등이 주파수 자원을 공유할 수 있다. 단 2차 이용자는 1차 면허권자에게 간섭을 주지 말아야 한다.

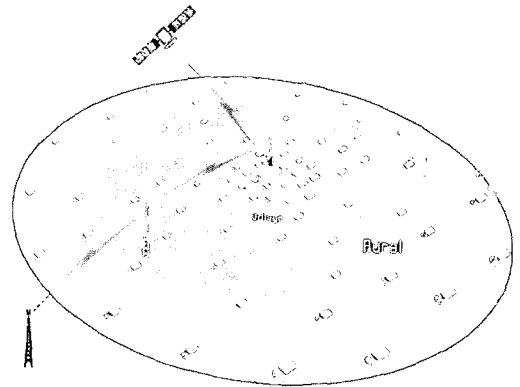
II. IEEE802.22 WRAN 기술동향

IEEE802.22 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 ADSL 이나 케이블 모델과 동급의 서비스를 제공할 수 있는 표준을 제정할 목적으로 2004년 11월에 결성되었다. 이는 FCC에서 발행한 “Unlicensed operation in the TV broadcast bands(FCC 04-186)”를 토대로 2005년 1월부터 2005년 9월까지 functional requirements 문서를 작성하였다. 이 FRD에 따르면 서비스 커버리지는 33 km이고, CPE(Customer Premise Equipment)의 최대 전력은 4 watt, 그리고 서비스 availability F(50, 99.9)

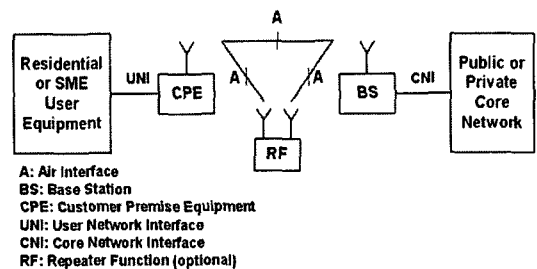
를 만족하도록 제안서를 작성하도록 되어 있다. [그림 7]은 WRAN(Wireless Regional Area Network) 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오이다.

[그림 8]은 WRAN 무선 접속 모델을 나타내는 데 기본적으로 BS와 CPE의 무선 접속은 P-MP(Point-to-Multipoint)이고, 이를 위한 물리계층 및 MAC 계층의 프로토콜을 규정하고 있다.

서비스 커버리지의 가장자리에 있는 가입자에게 최소 하향 링크 1.5 Mbit/s, 상향 링크 384 kbit/s의 전송 속도를 보장하여야 한다. 한편 WRAN 장치는 기존에 TV 대역 이용자(TV 방송 및 wireless microphone)에 간섭을 주지 않고 채널을 사용하여야 한다.



[그림 7] WRAN 서비스의 가입자 분포 및 서비스 커버리지에 대한 가상 시나리오



[그림 8] IEEE802.22 WRAN 무선 접속 모델

따라서 PHY 및 MAC 프로토콜에는 반드시 기존 이
용자가 채널을 사용하고 있는지를 주기적으로 센싱
할 수 있는 기술이 담겨 있어야 한다. 실제로 대부분
의 제안서에는 quiet period를 두어서 사용하고 있는
채널은 물론 사용하지 않는 채널을 지속적으로 센싱
할 수 있도록 표준을 제안하고 있다. BS는 물론 모
든 CPE는 자신의 센싱 리시버를 이용하여 모든 채
널을 주기적으로 센싱하여 BS에 보고하고, BS는 여
러 CPE에서 보내온 정보를 토대로 사용 채널을 결
정한다.

<표 1>은 기존 이용자와 WRAN 이용자가 상호
양립하기 위한 파라미터를 나타낸다.

2005년 11월에 제안서를 접수한 결과 총 9개의 프
로포절이 접수되었고, 대부분의 제안서가 OFDMA
(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술
을 기반으로 한 무선접속 기술에 스펙트럼 센싱 기
술을 추가하였고, 이를 위한 MAC protocol을 제안하
였다. 2006년 1월 회의에서 ETRI-SAMSUNG-PHIL-
LIPS 등이 통합하여 메이저 그룹으로 자리잡으면서
표준화를 주도하게 되었고, 이의 영향으로 2006년 3
월 회의에서는 RUNCOM-ST Micro 등의 모든 프로
포절 제안그룹이 메이저그룹에 통합하는데 합의하

였다.

Ⅲ. CR 기술의 응용 및 전망

CR 기술의 응용은 향후의 무선 통신 전반에 걸쳐
모두 적용될 것으로 보인다. 미국방성에서는 XG/
XG+프로젝트를 진행 중인데 이는 군사용 장비의 경
우 전쟁이 세계 도처에서 발생할 수 있고, 이 때 주
파수를 고정시키면 장비를 사용할 수 없는 경우가
많기 때문에 이보다는 CR 기술을 이용하여 비어 있
는 주파수를 이용하여 작전을 할 수 있기 때문이다.
또한 공공 안전 통신의 경우 재난이 발생한 경우에
는 많은 주파수 대역이 필요하지만 평상 시에는 최
소한의 대역만 요구된다. 따라서 CR 기능이 있는 장
비라면 평상 시에는 public safety 대역을 사용하다가
재난 등이 발생하여 1차 분배자가 사용하는 것을 감
지하면 이의 사용을 중지함으로써 주파수 이용 효율
을 높일 수 있다. 또한 비면허 대역에서 IT(Inter-
ference Temperature) threshold를 정하고, 스펙트럼을
측정하여 이보다 낮으면 이 대역을 사용하고, 이보
다 높으면 다른 대역으로 옮겨서 스펙트럼을 측정하
여 사용 여부를 결정하는데 응용할 수 있다.

<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	30 sec (recommended)	30 sec (recommended)
Non-Occupancy Period (minimum)	10 minutes (recommended)	10 minutes (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	2 sec	2 sec
Channel Opening Transmission Time (Aggregate transmission time)	100 msec	100 msec
Channel Move Time (In-service monitoring)	2 sec	2 sec
Channel Closing Transmission Time (Aggregate transmission time)	100 msec	100 msec
Incumbent Detection Threshold	-107 dBm (200 kHz BW)	-116 dBm (6 MHz BW) for DTB

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] 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] Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard, *IEEE 802.22 WG*, 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: 국방과학연

구소 연구원

1983년 3월~현재: 한국전자통신연구원 전파기술연구그룹장
[주 관심분야] 전파신호처리, CDMA 신호해석