

차세대 통신을 위한 Cognitive Radio 스펙트럼 응용에 관한 연구

A Study on the Cognitive Radio Spectrum Application for Next Generation Communication

강희조*

Heau-Jo Kang*

요 약

무선통신 및 방송 기술의 발달과 함께 주파수 자원의 효율적 활용에 대한 관심이 더욱 높아지고 있다. 또한 향후 유비쿼터스 센서 네트워크, 이동 및 고정 무선통신, 무선방송 등 다양한 무선 응용 기술들이 혼재된 상황은 주파수 자원의 효율적 이용에 대한 요구를 강화할 것으로 예상된다. 본 논문에서는 다양한 무선자원을 능동적으로 인지하여 동적으로 변화하는 사용자의 요구 및 상황에 적합하도록 유휴 무선자원을 지능적으로 활용하는 제반 기술인 Cognitive Radio의 필요성 및 발전 방향과 IEEE 802.22 표준화 진행에 대하여 알아본다.

Abstract

We concern practical of utilizable frequency with wireless communication and broadcast technology. And, present that wireless application technology such of Ubiquitous sensor network, mobile or fixed wireless communication and wireless broadcast will require more efficiently using of frequency. In this paper, we studied Cognitive Radio that necessity of cognitive and intelligent technology in variable wireless environment and IEEE 802.22 standardization.

Key words : Cognitive Radio, IEEE 802.22, Ubiquitous, Software Define Radio

I. 서 론

현재 일상생활에서 더욱 많은 사용이 요구되어 가는 다양한 형태의 무선 통신 기술들은 빠르게 발전되어 가고 있다.

특히 이동통신, WLAN, 디지털 방송 및 위성통신을 비롯하여 RFID/USN(Radio Frequency Identification/Ubiquitous Sensor Network), WiBro (Wireless Broadband) 등 무선을 이용하는 서비스

가 급증하고 있다. 이렇듯 급속한 발전을 이루고 있는 무선통신서비스의 다양화와 이용증가로 자원이 한정되어 있는 주파수자원에 대한 수요는 급증하면서 그 가치는 점차 높아지고 있다. 이와 같이 중요한 전파 자원을 효율적으로 이용하기 위하여 선진 국가에서는 국가적인 차원에서 이를 효율적으로 이용하기 위한 기술을 개발하고, 이를 토대로 전파 정책을 수립하기 위한 활동이 활발하게 진행되고 있다.

* 목원대학교 컴퓨터공학부(Division of Computer Eng., Mokwon University)

· 제1저자 (First Author) : 강희조

· 접수일자 : 2005년 12월 16일

이러한 주파수 자원 문제에 대한 하나의 해결책으로 주파수가 할당 되어있지만 실제로 사용되지 않고 비어 있는 주파수를 감지해서 이를 효율적으로 공유하여 사용할 수 있는 Cognitive Radio (CR) 개념이 제시되고 있다[1]-[4].

본 논문에서는 CR 기술의 설명과 이를 구현하기 위해 필요한 기술적인 요건과 문제점들을 살펴보고, 현재 표준화 진행 중인 IEEE 802.22에 관련된 동향을 살펴본다.

II. Software Define Radio

CR 시스템의 개발을 위해서는 기본 환경으로 SDR (Software Define Radio)를 기초로 두어 시스템의 전반적인 모듈이 소프트웨어화가 이루어져야 한다. 현재 SDR은 시스템의 모든 구조가 하드웨어로 구성된 시스템에서 시스템의 전반에 걸쳐 거의 모든 모듈이 소프트웨어로 이루어지는 완전한 SDR 시스템을 목표로 발전하고 있다. 이러한 발전 과정을 크게 3부분으로 나누어 생각할 때, 먼저 가장 초기 단계로 하드웨어 구동 무선 시스템은 전송 시의 주파수, 변조 방식, 그 밖의 RF 파라미터들은 모두 하드웨어에 의해 결정되고, 하드웨어의 변화 없이는 변화될 수 없다. 두 번째 단계로는 현재 쉽게 찾아볼 수 있는 디지털 무선 시스템이다. 디지털 무선 시스템은 신호의 처리 및 전송 부분이 디지털화로 이루어진다. 이러한 디지털 신호 중심은 시스템에서 프로그래밍을 내장할 수 있는 기반이 될 수 있다. 셋째로 시스템의 전반적인 부분이 소프트웨어로 구성될 수 있는 SDR 시스템이라고 볼 수 있다. SDR 시스템에서는 모든 기능과 모드, 응용이 소프트웨어에 의해 구성 및 재구성이 이루어질 수 있다. SDR 시스템에서는 모든 파형 속성, 부호화, 응용이 소프트웨어로 정의되며, 프로그래밍에 의해 재구성되어 새로운 기능을 추가할 수 있다. 따라서 DSPs(Digital Signal Processors)에 의해 무한의 프로그래밍화가 제공될 수 있다. 이에 따라 실제 서비스, 사용자의 요구 변경, 업데이트 및 수정도 비교적 쉽게 이루어질 수 있다. 그림 1은 주파수 이용 기술의 발전에 대해 나타내고 있다.

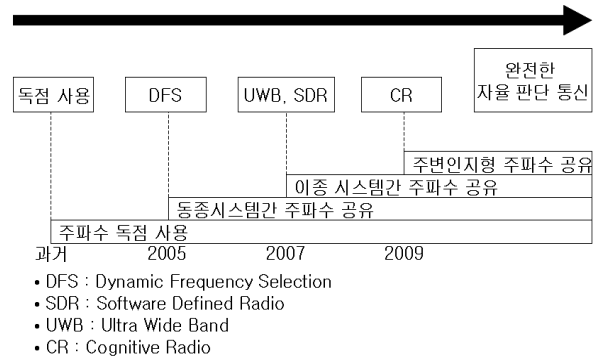


그림 1. 주파수 이용 기술의 발전

Fig. 1. growth of Frequency using technology.

III. Cognitive Radio의 필요성

무선 통신 분야의 큰 이슈 중의 하나는 효율적인 주파수 자원의 활용이다. 대부분의 개인용 근거리 무선 기기들은 허가 없이 (unlicensed) 공용 주파수 대역을 사용하고 있다. 그림 2는 현재 사용되고 있는 unlicensed 주파수 대역을 나타내고 있다.

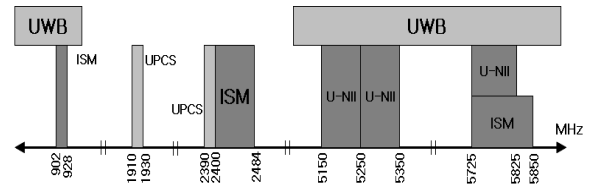


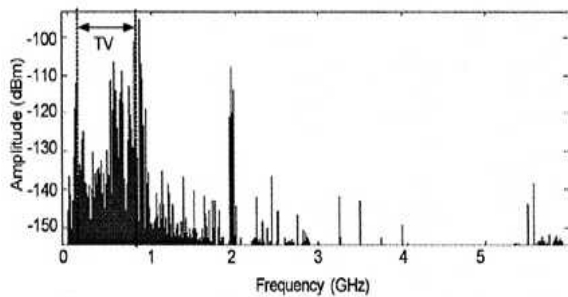
그림 2. Unlicensed 주파수 대역

Fig. 2. Unlicensed frequency band.

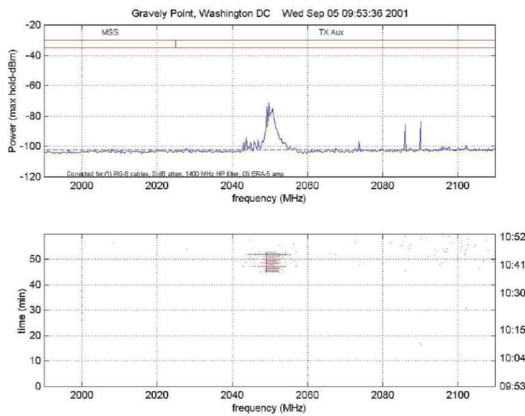
unlicensed 주파수 대역은 한정되어 있고 그 외의 주파수 대역은 다른 용도로 이미 할당되어 있다. 따라서 수 GHz이하의 주파수 대역에서 신규 주파수 할당도 어렵고 unlicensed 주파수 대역 또한 제한되어 있어서 서로 다른 시스템간의 간섭이 야기되고 있다. 하지만 그림 3의 (a)에서와 같이 미국 캘리포니아 버클리 지역에서 주파수 사용 현황을 보면 상황은 조금 달라진다. 그림 3에서 보이는 바와 같이 2 GHz 이상에서는 많은 주파수가 사용되지 않으며, 1 GHz이하의 TV (television) 주파수에서도 부분적으로 사용이 되지 않는 주파수 대역들이 있다[3].

그림 3의 (b)는 Washington DC 지역에서 주파수 사용현황을 알아본 그래프이다[4]. 이 그림에서 알 수 있듯이 지역적으로 사용되지 않는 주파수 대역과

함께 시간적으로도 사용되지 않는 부분의 존재를 알 수 있다.



(a) California



(b) Washington DC

그림 3. 주파수 이용도
Fig. 3. Frequency use rate.

FCC(Federal Communications Commission)에서는 이러한 주파수의 실제 사용률에 대한 연구를 진행하여, 일시적으로나 지역적으로 변화하는 평균 주파수 사용률을 조사해본 결과 약 15%에서 85% 정도의 사용률을 보이고 있었다[2]. 그래서 FCC에서는 2003년 12월에 주파수 사용 효율을 올리고자 NPRM (Notice of Proposed Rule Making)을 통하여 비어 있는 주파수에 대한 중복 사용 가능성에 대한 내용을 발표하였다[5]. 이로써 주파수 부족 문제를 많이 완화할 수 있는 계기가 되었다. 이 때, 주파수 공용 사용의 조건은 요금을 지불하고 주파수 대역을 사용하는 우선 사용자(primary user)에게는 간섭을 주지 말아야 한다.

IV. Cognitive Radio의 기술과 문제점

기존의 주파수 사용자에게 간섭을 일으키지 않고 비어 있는 주파수를 검색하여 사용하는 기술로서 현재 연구되고 있는 차세대 무선 이동 통신 기술과 더불어 사용될 수 있는 개념이 cognitive radio의 기술이다.

그러므로 CR기술은 일반적인 무선 통신 시스템에 추가적인 기능이 필요하게 된다. 주파수 검출 기능, 이에 대한 운용 기술을 가지고 있는 것이 다르다. 그림 4는 일반 통신 시스템에서 CR기술에 추가되어야 할 기능의 간략한 구조도를 보이고 있다.

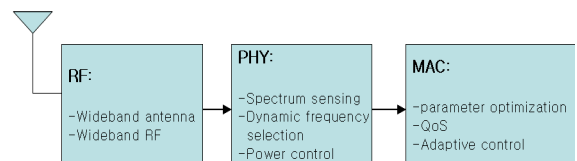


그림 4. Cognitive Radio의 블록도
Fig. 4. Cognitive Radio block set.

먼저 우선 사용자의 주파수 사용 현황을 감지하는 기능으로 스펙트럼 검출(Spectrum Sensing) 기능이 있다. CR 개념이 주파수 공유를 목적으로 하고 있지만 먼저 주파수를 사용하고 있는 시스템에게 간섭을 주지 않기 위해 선행되어야 할 제일 중요한 기능이라고 할 수 있다. 스펙트럼 검출 기능의 구현을 위해서는 정합필터, 에너지 감지, 신호 형태 검출법 등의 방법이 있다[2].

먼저, 정합 필터(matched filter) 방식은 특성상 SNR를 최대화 할 수 있는 장점이 있다. 그러나 송신 신호에 대한 정보를 미리 알고 있어야 하기 때문에 다양한 환경에서 신호를 검출하는데 어려움이 있다. 예를 들어, TV 신호에는 협대역의 음성, 영상 신호를 위한 파일럿(pilot) 신호가 있으며, CDMA, OFDM 등의 디지털 신호도 파일럿과 프레임 같은 여러 가지 규격을 가지고 있다.

에너지 감지(energy detector) 방식은 신호의 세기에 따라서 신호의 존재 유무를 감지하는 방식이다. 하지만 신호 크기의 정도를 정하는 문제와 간섭 신호에 대한 대비책이 없어 정확한 신호 검출이 어렵다. 또한, 확산(spreading) 방식을 사용하는 송신

방식에는 취약한 단점이 있다. 하지만 신호의 특정한 형태(signature)가 없을 경우에는 에너지 검출 방법도 사용 가능하다.

신호 형태(feature)에 의한 검출 방식은 일반적인 신호의 주기적인 성질을 이용하는 방식이다. 즉, 수신된 신호의 상관(correlation) 값을 구하여 신호의 유무를 검출한다. 이 방식은 에너지 감지 방식의 단점인 간섭 신호에 대해서는 강인한 검출 성능을 보인다.

또한 스펙트럼 검출의 확장 기능으로 볼 수 있는 동적 주파수 선택이 있다.

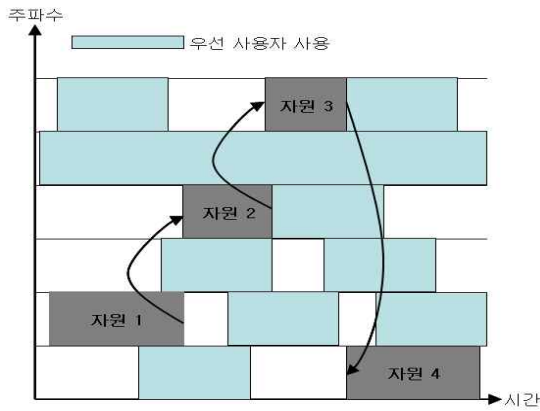


그림 5. 동적 주파수 선택
Fig. 5. Dynamic frequency selection.

동적 주파수 선택 기능은 IEEE802.11a가 5GHz의 UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) 대역에서 레이더의 신호에 간섭 받지 않고 통신을 하는 방법에서 고안된 방식이다. 비어있는 대역을 검출하고, 사용자의 신호 수신 감도의 상태, 데이터 요구량 등과 같은 요소를 근거로 QoS를 제공 하도록 주파수 대역을 할당하고, 변조 방식, 송신 전력 등을 제어해준다. 한번 비어있는 주파수 대역이 검출이 되면 이 주파수 대역을 이용하여 일반 셀룰라 시스템의 다중 사용자 할당과 유사한 스케줄링 기법이나 자원 할당 방법으로 자원을 전송한다. 자원 할당은 주파수, 시간, 지역적으로 분류될 수 있다[6]. 그림 5에 동적 주파수 선택에 대한 예를 나타내고 있다.

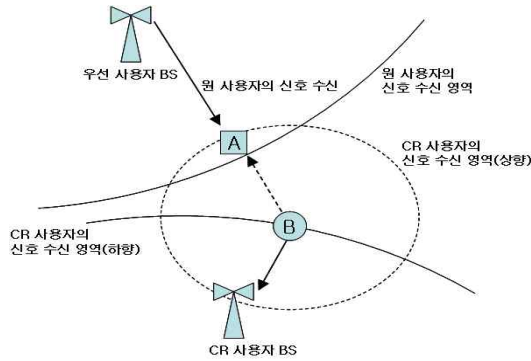
이와 같은 CR을 사용하기 위한 기본적으로 필요한 기능과 함께 CR 기술을 사용하였을 때 발생할

수 있는 문제점들도 생각해 볼 수 있다.

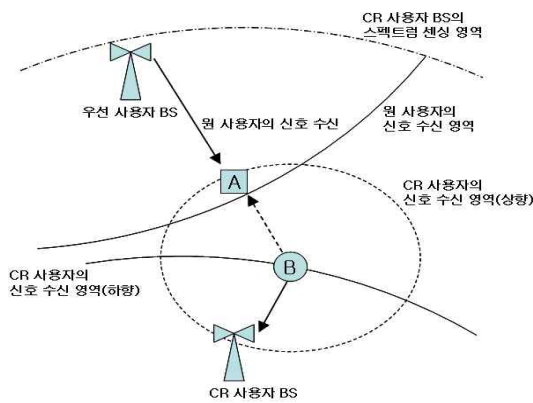
그러한 문제점들 중에 한 가지로 잉여 주파수 대역에 대한 확보 문제를 생각해 볼 수 있다. CR은 자원을 사용자에게 할당을 하고 있는 경우에도 우선 사용자가 CR이 사용하고 있는 주파수 대역을 사용하면 이를 항시 비워 주어야 한다. 이 때 CR이 제공하는 서비스를 사용하고 있는 사용자에게 지속적으로 끊김이 없는 (seamless) 서비스를 제공하는 것이 매우 중요하다. 이를 위하여 현재 사용하고 있는 주파수 대역 이외에도 잉여의 주파수 대역을 확보하여야 한다. 하지만 이때 사용하지 않지 않는 주파수 대역을 비상시를 대비해서 확보해놓는 것은 무선 자원을 효율적으로 사용하고자 하는 CR의 기본 원칙에 어긋나기 때문에 비어있는 다중 채널 구조와 이를 이용하여 끊김 없는 서비스를 제공하는 방식이 필요하다.

이 밖에도 지역적으로 hidden node 문제가 발생할 수 있음을 생각할 수 있다[3]. 그림 6는 hidden node 문제를 나타내고 있다. 먼저, 우선 사용자 BS의 지역에 있는 우선 사용자 A는 CR BS로부터는 간섭의 영향을 받지 않고 통신을 할 수 있다. 하지만 CR BS와 통신이 가능한 CR 사용자 B는 우선 사용자 BS의 신호를 감지하지 못하고 CR BS로부터 우선 사용자 A의 정보를 알지 못하기 때문에 CR BS에 데이터 전송할 때 (상향 링크) A 사용자에게 간섭 신호를 줄 수 있다. 이런 상황에서 생각해 볼 수 있는 해결책으로는 CR BS 뿐만 아니라 모든 CR 사용자 단말에서도 스펙트럼 센싱 모듈을 구성하거나, CR BS에서 CR 시스템의 전송 신호 범위보다 넓은 범위의 스펙트럼 센싱 능력이 필요하게 된다.

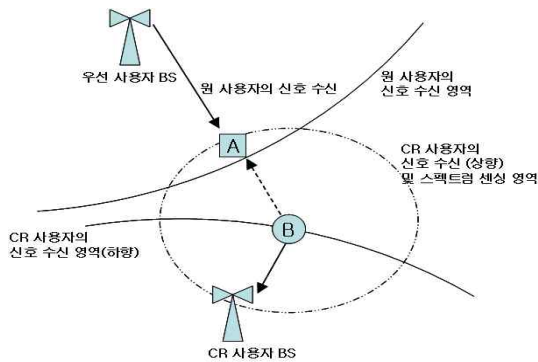
또 다른 문제로, CR을 사용하는 서로 다른 서비스 제공자가 인접하여 존재할 때, CR들 간에 서로 비어있는 주파수를 점유하려는 문제가 발생한다. 만일 한 CR이 먼저 빈 주파수들을 사용할 때, 다른 CR은 이를 사용하고 있는 주파수라고 인지하여 다른 비어있는 주파수를 사용하게 된다. 하지만 남아 있는 빈 주파수가 없을 때는 먼저 사용한 CR간의 주파수 사용 형평성 문제가 발생한다. 그러므로 이러한 CR들간의 상호 간섭 또는 주파수 사용 분배를 중재하는 프로토콜도 필요하다



(a) Hidden 문제의 예
(a) An example of Hidden problem



(b) CR BS에서의 스펙트럼 센싱 영역 확장
(b) Spectrum sensing range expansion as CR BS



(c) CR 사용자(B)노드의 스펙트럼 센싱 영역 추가
(c) Spectrum sensing range expansion of CR user node (B)

그림 6. Hidden 문제
Fig. 6. Hidden problem.

이와 같이 CR은 기본적으로 비어있는 주파수를 빌려서 사용하는 방식이기 때문에 기존의 무선 통신 방식에 추가적으로 고려해야할 사항 및 문제점들이

많이 있다.

V. IEEE 802.22

2003년 12월에 FCC NPRM에서 주파수 공용 사용 가능성이 언급된 이후 이를 현실적인 시스템으로 개발하려는 노력이 IEEE802.22이라는 표준화 기구를 탄생시켰다. 2004년 8월 IEEE에서 PAR (Project Authorization Request)를 승인 받은 뒤 2004년 11월에 IEEE802.22 첫 모임을 가졌다. 이후 2개월에 한번씩 표준화 미팅을 하고 있고, 2006년 1월 첫 번째 초안을 내보내는 것을 목표로 하고 있다. 하지만 다양한 기술적인 논의의 필요성으로 표준화 일정은 다소 늦춰질 가능성이 있다. 표 1은 IEEE 802.22 표준화 일정을 나타내고 있다.

표 1. IEEE 802.22 표준화
Table 1. IEEE 802.22 standardization.

날 짜	회의종류	주요내용	비고
2004. 11.	Plenary	IEEE 802.22 Kick-off meeting Working Group policy and procedures	
2005. 1.	Interim	Draft Functional Requirements	
2005. 3.	Plenary	Editing of Functional Requirements	
2005. 5.	Interim	Editing of Functional Requirements	
2005. 7.	Plenary	Editing of Functional Requirements	San Francisco
2005. 9.	Interim	Functional Requirements 확정 및 Call for Proposals/Contributions	Garden Grove, CA
2005. 11.	Plenary	Consolidation/Selection	Vancouver
2006. 1.	Interim	WG Draft Standard Process Start	Hawaii
2007. 1.		Sponsor ballot	
2007. 6.		Submittal to RevCom	
2008. 1.		Final Approval/Publication	
2008. 12.		Closing	

IEEE802.22의 사용 대상은 미국이나 캐나다의 도시 외곽 지역이나 개발도상국이며, TV 대역에 CR을 사용하여 무선 통신 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다.

정지된 사용자한테 패킷(packet) 데이터를 전송한다는 측면에서 보면 IEEE802.22의 사용자는 IEEE802.16의 Wimax에서 대상과 유사한데, 목표

시장에서 다소 차이가 있다. IEEE 802.22 WRAN은 인구 밀도가 IEEE802.16 (WMAN: wireless metropolitan area network)에서 대상으로 하는 것보다 낮은 지역에서 사용된다. 이런 면에서 보면 현재 무선 단말기 제조업체나 무선 통신 사업자들에게는 시장 규모가 현재 사용되고 있는 시장보다 상대적으로 작아서 많은 관심을 끌지 못할 것으로 예상되지만 CR이라는 새로운 개념의 통신 방식이 처음으로 표준화로 진행되고, 이의 개량된 형태가 차세대 무선 통신 기술과 접목하여 사용될 수 있기 때문에 많은 회사들이 관심을 가지고 있다.

표 2. IEEE 802.22 물리(PHY) 계층 요구 사항
Table 2. IEEE 802.22 PHY Layer requirement.

항 목	수 치
범 위	33 Km
인구 밀도	1.25 person/Km ²
cell type	multi cell
주파수 재사용률	1
sector	omni/sectored 셀
주파수 대역	TV band (나라마다 다름)
주파수 효율	0.5~3 bps/Hz
전송 속도	1.5 Mbps/DN
	384 kbps/UP
outage	10% regional outage
목표 PER	1% time outage
	< 10%

표 2에서 나타내는 수치에서 대략적인 IEEE 802.22의 시스템 성능을 알아볼 수 있다.

IEEE802.22의 장점 중의 하나는, 가격적인 측면에서 보면 무선 주파수 대역을 돈을 내지 않고 사용함으로써 기존의 셀룰라 형태의 무선 통신 서비스보다 가격이 저렴해지는 것이다. 하지만, BS(base station)의 CR 구현을 위한 추가 복잡도, 그리고 VHF 대역을 사용할 경우, 수신기의 안테나 크기 문제, 공용 주파수 사용으로 인한 서비스의 안정성(QoS: Quality of Service) 등도 고려되어야 할 사항이다.

앞서 설명한 바와 같이 CR에서 사용되는 기술은 단지 IEEE802.22뿐만 아니라 다중 채널에 대한 무선 채널 관리와 분배, 간섭 검출 기술로서 향후 차세대 무선 통신과 연동하여 서로 상호 보완적으로

사용될 가능성이 높다. 예를 들어서, 셀룰라 환경에서 발생하는 음영 지역이나 셀의 크기를 키워야 하는 시골 지역 등에서 CR은 주파수 간섭을 일으키지 않고 효과적으로 고속 데이터를 전송할 수 있는 좋은 대안 기술이다.

VI. 결 론

CR에 대한 표준화가 진행되고 있기는 하지만 아직도 이를 위해 기술적으로 해결해야 할 과제들이 많이 있다. 본 논문에서 설명한 바와 같이 첫 번째로, 우선 사용자에게 간섭을 최소화하기 위해서 필요한 효율적인 주파수 감지 기술은 무엇인지, 이를 위하여 우선 사용자의 신호 방식은 검출 가능한지, 아날로그 TV 방송 이외에 아날로그 무선 기기의 효율적인 감지를 위해 서로간의 규약을 새로 정해야 하는지 등 문제가 있다.

두 번째로, 동적 주파수 할당에서는 만일 다른 CR 사용자가 근처에 존재하였을 때 상호간의 신호 교류는 어떻게 하는 것이 좋은지, 효율적인 주파수 공유를 위해 잉여 주파수 확보를 어느 정도하여야 하는지 하는 문제가 있다.

이 밖에도 실제 시스템의 구현에 있어서는 많은 필요한 기능과 문제점들이 있을 수 있다. 따라서, 향후 안정된 CR 시스템의 구현을 위해 정확한 문제 분석이 필요하다.

감사의 글

본 연구는 2005년도 정보통신연구진흥원의 정보통신학술연구지원사업의 연구결과로서, 관계부처에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

- [1] Joseph Mitola III, "Cognitive Radio An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio," *Ph. D dissertation, Royal Institute of Technology(KTH)*, May 2000.

[2] Federal Communications Commission, " Spectrum Policy Task Force ," Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.

[3] 정재학, 이원철, "Cognitive Radio 기술 동향," *전파지 5-6 전파특집* 3, 2005.

[4] Mark Mc Henry, "Frequency Agile Spectrum Access Technologies," *FCC Workshop on Cognitive Radios*, May 2003.

[5] FCC, Cognitive Radio Workshop, May 19, 2003, [Online]. Available: <http://www.fcc.gov/searchtools> .html.

[6] Simon Haykin, "Cognitive Radio: Brain -Empowered Wireless Communications," *IEEE Journal on selected areas in comm.*, vol 23, no. 2, Feb. 2005.

강희조 (姜熙照)



1994년 : 한국항공대학교 대학원 항공전자공학과 (공학박사)

1996년 8월~1997년 8월 : 오사카대학교 공학부 통신공학과 객원교수

1990년 3월~2003년 2월 : 동신대학교 전자정보통신 공학부 교수

2003년 3월~현재 : 목원대학교 컴퓨터공학부 조교수

관심분야 : 멀티미디어통신, 유비쿼터스, 텔레매틱스, 무선통신, 가시광통신, 이동통신 및 위성통신, 환경전자공학, 무선광통신, 디지털콘텐츠, RFID, Cognitive Radio 등