

Cognitive Radio 기술의 분석 및 연구 방향

전형석 · 김창주* · 이혁재

한국정보통신대학교
공학부 ·
*한국전자통신연구원
전파기술연구그룹

요 약

석유, 철강 등과 함께 주파수 자원은 정보화 사회에서 소중한 자산으로 사용이 한정되어 있는 유한 자원이다^[1]. 새로운 서비스를 위해 새로 할당할 대역이 더 이상 남아 있지 않는 지금, 주파수 부족 현상은 광대역 멀티미디어 통신 서비스를 제공해야 하는 차세대 무선 통신 서비스를 실현함에 있어서 큰 걸림돌이 될 것으로 예상된다. 하지만 FCC의 보고에 따르면 할당된 주파수 대역이 효율적으로 사용되고 있지 않음을 확인할 수 있다. 이러한 관찰은 주파수 부족 현상이 주파수 자원이 가지고 있는 유한성의 문제보다는 비효율적으로 운영되고 있는 주파수 관리 방식에 원인이 있다는 것을 말해준다. Cognitive Radio 기술은 이렇게 비효율적으로 사용되고 있는 지금의 상황을 해결해줄 수 있는 기술로 주목 받고 있다. Cognitive Radio에 대한 많은 연구가 지금까지 진행되어 왔지만 아직까지 단일화된 정의나 구체적인 시나리오가 제시되지 않은 상태이다. 이에 따라 본 고에서는 Cognitive Radio 기술이 적용될 수 있는 구체적 시나리오를 파악하고자 주요 관점 별로 구체적인 시나리오를 제시하고 각 시나리오에 따라서 Cognitive Radio 기술이 어떠한 방식으로 주파수 사용 효율을 높일 수 있는지와 이때 요구되는 핵심 기

술들에 대해 논의한다.

I. 서 론

오늘날 우리는 통신 기술의 발전에 힘입어 인터넷에 접속하는 일이 일상으로 자리 잡았다. 교육, 건강, 공공안전 등 사회 전반적인 분야에서 무선 통신 기술이 응용됨에 따라, 이를 이용하는 사람들 역시 앞으로의 통신 서비스에 많은 관심을 기울이고 있다. 무선 통신 기술이 사회 전반에 걸쳐 중요한 역할을 하고 있으며 소비자에게 만족할 만한 서비스를 제공하면서 앞으로 새로운 통신 서비스들이 끊임없이 생겨날 것으로 예상된다. 이는 서비스에 대해 계속해서 높아지는 소비자의 요구 사항의 결과라고 할 수 있다. 그러므로 차세대 통신 서비스는 이러한 소비자의 욕구를 어떻게 만족시킬지에 따라 서비스의 형태가 결정될 것이다.

차세대 무선 통신 서비스를 제공하기 위해서는 많은 기술들의 진보가 필요하며, 소비자를 설득시킬 수 있는 killer application이 개발되어야 한다. 또한 차세대 무선 통신 서비스를 위해 해결되어야 할 여러 문제 중 하나가 주파수 자원의 부족 현상이다. 대용량의 데이터를 전송하기 위해서는 많은 양의 주파수 자원이 필요하다는 것은 누구나 알고 있는 사실

본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원 사업과 삼성-ICU연구센터 지원 사업의 연구 결과로 수행되었음.

이다. 그러나 정보화 사회에서는 석유, 철강 등과 함께 주파수 자원은 소중한 자산으로 간주되어 가치가 점점 높아지고 있지만 주파수 자원은 국가의 중요한 무형 자산으로 사용이 한정되어 있다는 점에 문제가 있다^[1]. 따라서 주파수 자원의 수요가 공급보다 높은 상태에서 한정된 주파수 자원을 어떻게 잘 활용하는가가 차세대 이동 통신 서비스의 상용화에 중요한 이슈가 될 것으로 예상된다.

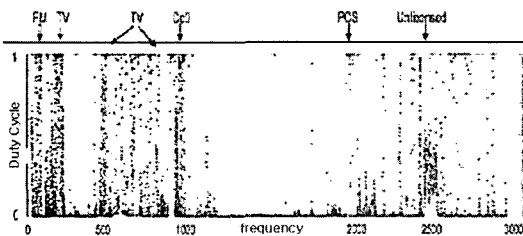
최근 미국의 주파수 관리 정책을 담당하는 연방통신위원회(FCC: Federal Communications Commission)는 SPTF(Spectrum Policy Task Force)를 통해 흥미 있는 연구 보고서를 발표하였다^{[2],[3]}. 보고서에 따르면 한 지역에서 사용되고 있는 주파수 대역의 평균 70%가 휴면 상태에 있다고 한다. [그림 1]은 2004년 9월 뉴욕의 한 지역에서 사용되고 있는 주파수를 24시간 동안 관찰한 결과로 300 MHz에서 3 GHz 사이의 주파수 이용률이 10% 미만임을 보여주고 있다. 이러한 현상은 현재 예상되는 주파수 부족 현상이 주파수 자원이 가지고 있는 유한성의 문제보다는 비효율적으로 운영되고 있는 주파수 관리 방식에 원인이 있다는 것을 말해준다.

현재 정부의 주파수 관리 정책은 command-and-control 방식으로 RAT(Radio Access Technology)에 따라서 정해진 주파수 대역만을 독점적으로 사용할 수 있도록 하고 있다. 이러한 주파수 관리 방식은 RAT 간의 간섭 현상을 쉽게 제어(spectrum mask)할 수는 있지만 특정 주파수 대역을 독점적으로 사용할 수

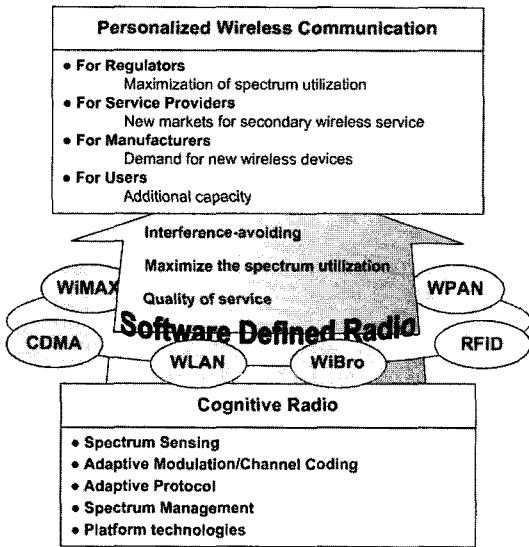
있는 권한을 RAT에게 부여함으로써 [그림 1]처럼 시간적/공간적으로 주파수 사용 효율을 떨어뜨리는 원인을 제공하고 있다. 이에 따라 현재의 주파수 방식으로 차세대 무선 통신 서비스의 요구 사항을 만족시키기에는 한계점이 존재한다^[4]. 그러므로 RAT 간의 독점적인 주파수 사용을 제한하는 개방형 주파수 관리 방법이 현재 각국의 정부나 대학 연구소에서 활발히 논의되고 있다. 미국을 중심으로 여러 나라에서 국가적인 차원으로 새로운 주파수 관리 정책을 검토하고 있으며, 여러 단체와 연구 기관에서도 이와 관련된 공유 기술, 간섭 제거 기술 등의 연구가 활발히 진행 중에 있다.

Cognitive Radio(이하 CR) 기술은 이러한 주파수 관리 정책의 패러다임 변화에 따라 주목 받고 있는 기술로 Joseph Mitola III에 의해 처음으로 소개되었다^[5]. CR 기술은 Software Defined Radio(이하 SDR) 기술을 기반으로 하여 주변의 전파 환경을 인지하고, 이를 토대로 분석하여 주어진 자원으로 최적의 통신을 가능케 하는 기술을 말한다. 따라서 CR 기술은 주파수 자원의 부족 현상을 해결할 수 있는 기술로 주목 받고 있으며, 다른 시스템과 주파수 대역을 공유함으로써 정부, 사업자, 제조업자, 사용자 모두에게 많은 이득을 가져다 줄 것으로 기대된다([그림 2] 참조).

CR 기술을 발전시키고 실현화 시키기 위해서는 구체적으로 어떤 응용 분야에 어떤 방법으로 응용될 수 있는지에 대한 우선적인 논의가 필요하다. Joseph Mitola가 그의 논문에서 Cognitive Radio라는 단어를 사용한 이후 수많은 학회와 회의 등에서 CR이 무엇인가에 대해 논의되어 왔지만, 이러한 논의를 거쳐서 정의된 CR은 각자 나름대로의 해석으로 인해 때로는 CR 개념을 혼란스럽게 만들기도 하며, 때로는 정말 CR 기술이 실현 가능한 기술인가에 대한 의문점을 가지게 하기도 한다. 이에 따라 본 고에서는 CR 기술이 적용될 수 있는 구체적 시나리오를 파악하고자 주파수 공유 형태를 특징 별로 분류하고자 한다.



[그림 1] 뉴욕의 주파수 사용 현황 측정 자료



[그림 2] Cognitive Radio의 예상 이득

이를 바탕으로 주요 관점 별로 구체적인 시나리오를 제시하고 각 시나리오에 따라서 CR 기술이 어떠한 방식으로 주파수 사용 효율을 높일 수 있는지와 이 때 요구되는 핵심 기술에 대해 논의하고자 한다.

본고는 다음의 순서로 구성되어 있다. 제2장에서는 먼저 CR의 간단한 개요와 주파수 공유 기술을 특정 별로 나누기 위해 고려해야 할 사항들을 짚어 본다. 이를 바탕으로 CR이 응용될 수 있는 가능한 시나리오와 각 시나리오가 실현되기 위해 필요한 핵심 기술들을 살펴볼 것이다. 제3장에서는 현재 진행되고 있는 IEEE 802.22 시스템을 간략히 소개하고, 앞서 정의된 시나리오에 맞추어 IEEE 802.22에 적용된 CR 기술을 재해석한 뒤 마지막 제4장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 본 론

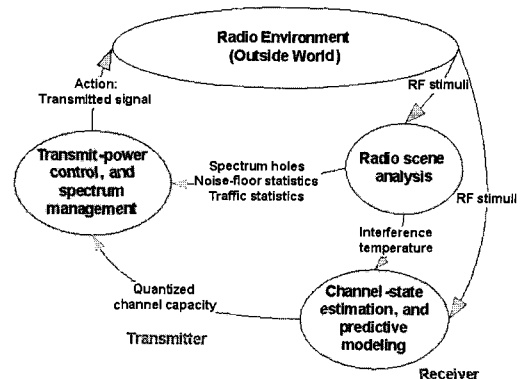
2-1 Cognitive Radio Overview

CR 시스템은 SDR을 기반으로 주변 환경을 인지

(awareness)하고, 환경을 통해 학습(learning)된 내용을 바탕으로 결정(intelligence)을 내리며, 동작 파라미터(전송 전력, 반송 주파수, 변조 기법 등)를 실시간으로 외부의 환경에 적응(adaptation)적으로 반응할 수 있는 정보 처리 기능을 가지는 무선 통신 시스템이다^[6]. 이러한 기본적인 동작을 바탕으로 CR 시스템은 주파수 사용 효율(efficiency)을 높이는 방향으로 신뢰(reliability)할 수 있는 통신이 보장되어야 한다.

[그림 3]은 CR에서 기본적으로 수행되어야 하는 동작들을 간략하게 나타낸 그림이다^{[5],[6]}.

[그림 3]에서 보듯이 CR 시스템에 필요한 여러 기술들 중 주변 상황을 인지하는 스펙트럼 센싱 기술과 이를 바탕으로 주파수 자원을 효율적으로 이용하는 주파수 관리 기술이 CR 기술의 핵심이라고 말할 수 있다. 이렇게 주변 상황을 인식하여 비어있는 주파수 대역을 이용하는 지능형 통신을 CR 시스템이 지원함으로써 주파수 부족 현상을 해결할 수 있는 공유 기술로 주목 받고 있는 것이다. 현재에도 CR 기술을 응용하기 위한 많은 노력이 있는 가운데, IEEE 802.22 working group에서는 CR 기술을 WRAN(Wireless Regional Area Network)에 적용하기 위한 표준을 제정하고 있으며, DARPA(Defence Advance Research Projects Agency)에서는 XG/XG+ 사업을 추진하고 있



[그림 3] Cognitive cycle^{[5],[6]}

다. 그러나 이러한 응용들은 CR 기술이 활용될 수 있는 하나의 예로, CR 기술은 이 외의 수많은 주파수 공유 시나리오에 적용될 수 있을 것이다. 이에 대한 자세한 내용은 다음 절에서 논의하기로 하겠다.

2-2 Cognitive Radio 기술 분류

본 절에서는 CR 기술을 분류하기 위해 여러 관점에 따라 적용 가능한 시나리오를 검토할 것이다. CR 기술은 주파수 공유 기술의 하나로 정부가 어떤 형식의 주파수 공유를 허가하는지, 그리고 이에 따라서 CR 시스템이 어떤 방식의 공유를 선택할 것인지에 따라 응용될 수 있는 범위가 결정된다. 참고문헌 [4], [7], [8]에서 각자의 관점에 따라 CR 기술의 카테고리 나누려는 노력을 하였다. 본 고에서는 이를 바탕으로 다음의 두 가지 관점에 따라서 CR 시스템의 메커니즘을 정의하고자 한다.

- Spectrum Access Priority
 - CR 시스템에 어느 정도의 주파수 접속 우선권을 수여하는가?
- Cooperation/non-cooperation
 - 공유하고자 하는 주파수 대역에 관한 정보를 다른 RATs(or RANs: Radio Access Network) 과 같이 협력할 것인가?

Cooperation의 경우 coordination의 주체에 따라서 centralized와 distributed 방식의 두 가지로 다시 분류할 수 있다.

2-2-1 Spectrum Access Priority

주파수 관리 방식과 관련된 spectrum access priority는 CR 시스템 전체의 행동을 결정하는 요인으로 제일 먼저 고려되어야 할 사항이다. CR 시스템은 command-and-control 방식의 면허 대역에서의 공유

와 open spectrum 방식의 비면허 대역에서의 공유라는 극단적인 두 상황 사이에 어디에서든지 주파수 사용 효율을 개선시키는 목적으로 개발될 수 있다. 두 극단적인 규제 사이에서 CR의 자유도는 주파수 관리자가 CR 시스템에 어느 정도 접속 우선 권한을 수여하는가에 따라 결정될 것이다.

따라서 주파수 공유 기술은 주파수 관리 모델에 따라서 다음 세가지 경우가 존재할 수 있다.

- Command-and-control

현재의 주파수 관리 모델로써 주파수 대역의 사용 현황을 고려하지 않고 정부가 일방적으로 RATs에게 특정 대역을 할당하는 방식으로 CR 시스템이 허용되지 않는다. 그러므로 본 고에서는 이 모델에서의 공유방식은 고려하지 않는다.

- Horizontal Sharing(Licensed-exempt or open spectrum)

주파수 대역을 공유하기 위해 접속하는 RATs간의 접속 우선 순위를 모두 동등하게 부여하는 방식이다. 현재 2 GHz 대역과 5 GHz 대역의 비면허 주파수 대역에서의 WLAN과 Bluetooth가 비슷한 예이다. 그러나 현재의 상용 시스템은 주변 상황을 스스로 인지하고 능동적으로 대처를 못한다는 점에 있어서 CR 시스템과 차이점을 가지고 있다. 기본적으로 주파수 대역에 대한 소유권이 존재하지 않으므로 통신으로 인해 일어나는 간섭 현상을 막을 수 있는 방법이 존재하지 않는다. 또한 이러한 시나리오의 경우 다른 RATs보다 많은 대역을 차지하기 위해 RAT간의 경쟁이 일어날 수 있다^{[9],[10]}. 따라서 모두가 지켜야 할 규약(스펙트럼 에티켓)을 미리 정하여 이러한 일들을 사전에 방지해야 한다.

DARPA XG/XG+ 사업은 SDR 기반으로 스펙트럼 에티켓을 소프트웨어로 내려 받아 horizontal sharing을 가능하게 하는 사업을 추진 중에 있다.

• Vertical Sharing(Priority-based)

주파수 대역의 공유에 있어서 RATs간에 접속 우선 순위가 존재하는 경우로 이 경우 1차 사용자(Primary user, Incumbent user or Licensed user)와 2차 사용자(secondary user or rental user)가 존재하게 된다. 현재의 주파수 관리 체계를 유지하면서 새로운 2차 사용자의 주파수 사용을 허용하는 방식으로 가장 빨리 실현될 수 있는 주파수 공유 방식으로 생각된다. 이때 2차 사용자는 주파수 접속의 우선 순위를 가지고 있는 1차 사용자에게 절대로 간섭을 주어서는 안 된다. 2차 사용자가 1차 사용자에게 간섭을 주면 안 되므로 감도가 높은 스펙트럼 센싱 기술과 정확한 신호 분석 기술이 기본적으로 요구된다. 만일 1차 사용자가 주파수 대역의 사용 여부를 2차 사용자에게 알려준다면(ex: beacon 신호) 2차 사용자는 시스템을 구성하기가 훨씬 수월해질 수 있다. 이때 1차 사용자는 이에 상응하는 적절한 보상을 받는 방식이 현재 논의되고 있다. 현재 진행되고 있는 IEEE 802.22는 vertical sharing 방식의 응용으로 유휴 TV 대역을 이용하여 CR 사용자에게 WRAN 서비스를 제공하는 것을 목적으로 하고 있다.

2-2-2 Cooperation/non-cooperation

다음으로는 주파수 공유를 위한 CR 시스템의 협력 여부에 따른 시나리오와 필요한 핵심 기술을 논의하겠다.

• Non-cooperation

기본적으로 서로간의 협력이 일어나지 않으므로 RATs(or RANs)간의 협력없이 주파수 대역에 대한 사용 여부를 판단하므로 강력한 스펙트럼 센싱 기술이 필요하다.

Vertical sharing의 경우, horizontal sharing에 비해 1차 사용자에게 간섭을 주지 않기 위해 여러 제약 조건이 있으므로 외부 환경 파라미터에 대한 CR 시

스템의 최적화 문제가 항상 중요한 주제가 된다.

• Cooperation

RATs간의 협력과 RANs간의 협력이 존재할 수 있지만, 기본적으로 주파수를 공유하고자 하는 계층만이 다른 뿐 한정된 주파수를 공유한다는 점에서 같은 동작 원리를 바탕으로 협력한다. RAT와 RAN일 때 고려되어야 할 사항은 참고문헌 [4]에 자세히 언급되어 있다.

기본적으로 협력을 할 경우 그렇지 않을 경우의 단점들을 보완할 수 있다. 스펙트럼 센싱의 경우, 주변 지역의 주파수 사용 정보를 공유할 수 있으므로, 스펙트럼의 검출 감도(sensitivity)가 non-cooperation의 경우보다 상대적으로 좋아질 수 있다.

Horizontal sharing의 경우, 가장 쉬운 협력 방법은 관심 주파수 대역을 RAT(or RAN)에게 겹치지 않게 할당하면 서로간의 간섭 없이 사용자에게 서비스를 제공해 줄 수 있지만, 이 경우 RATs(or RANs)당 사용할 수 있는 주파수 대역의 감소로 초고속 이동통신 서비스의 제공은 어려울 것으로 예상된다. 따라서 RATs(or RANs)간의 전파 자원 관리 기술(RRM: Radio Resource Management)이 주파수 사용 효율을 높일 수 있는 핵심 기술 역할을 할 것으로 기대된다.

Vertical sharing의 경우, 앞서 언급했듯이 1차 사용자가 2차 사용자를 위해 beacon 신호와 같은 정보를 공유한다면 2차 사용자는 훨씬 수월한 통신을 할 수 있게 된다.

2-2-3 Coordination Entity(Centralized vs. Distributed)

RATs(or RANs)간에 협력이 이루어진다면 어떤 방법으로 협력을 할 것인가에 대해 생각해야 한다. 기본적으로 협력은 주파수 상황의 정보 공유와 주파수 사용을 위한 공유가 존재한다. 모두 기반 시설을 바탕으로 서로간의 정보를 공유하는 centralized 방식이 있고, 지역적인 상황에 따라서 서로의 정보를 공

유하는 Ad-hoc 기반의 distributed 방식이 존재한다. Centralized 방식의 경우 AP(Access Point)가 존재하여 공유되어야 할 주변 지역의 주파수 정보들을 모두 모으는 역할을 하며 주파수 할당 시에는 중재자의 역할을 수행한다. 이러한 모든 과정은 AP와 CR 시스템간에 서로 알려진 broadcast 채널을 통하여 이루어진다. Centralized 방식은 distributed 방식보다 안정성이 뛰어나지만 개체들과 AP 사이의 broadcast 채널의 상태가 안 좋을 경우 전체 네트워크에 치명적인 손실이 있으므로 broadcast 채널이 확실히 보장되어야 한다. 또한 넓은 지역의 사용자까지 포함할 경우, 공통으로 통신 가능한 broadcast 채널이 존재할 확률이 적어진다는 단점이 있다. 참고문헌 [11]에서 centralized 방식의 협력으로 주파수를 공유하는 CR 시스템을 디자인하였다.

참고문헌 [12]에서는 distributed 방식의 협력 방법을 제안하였다. Distributed 방식은 지역적으로 사용자들이 그룹을 형성하여 서로 협력하는 형태로 그룹을 만드는 알고리즘과 그룹 내에서 통신할 수 있는 채널을 결정하는 알고리즘이 중요한 연구 주제이다. 참고문헌 [13]에서는 이러한 관점에서 새로운 MAC protocol을 제안하였으며, 참고문헌 [14]에서는 UWB 전송을 이용하여 서로의 정보를 주고 받는 알고리즘을 제안하였다.

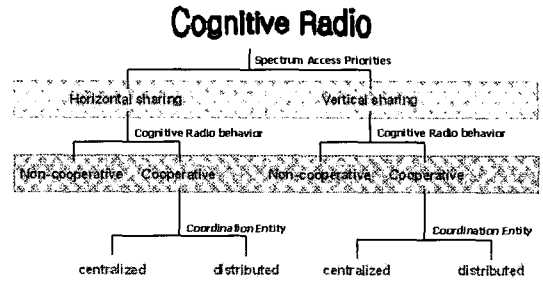
2-2-4 Cognitive Radio Hierarchical Structure

[그림 4]에서 지금까지 언급한 시나리오를 바탕으로 CR의 계층 구조를 보여주고 있다.

2-3 IEEE 802.22

이번 절에서는 지금까지 논의했던 CR의 시나리오를 바탕으로 현재 진행되고 있는 IEEE 802.22 표준에 대해 다시 한번 고찰해 보고자 한다.

IEEE 802.22 표준은 유휴 TV 주파수 대역을 이용하여 사용자에게 ADSL 급의 무선 인터넷 서비스를

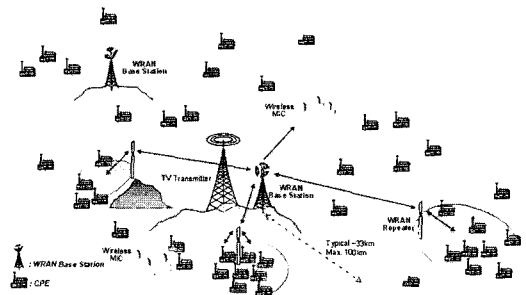


[그림 4] Cognitive Radio hierarchical structure

제공하고자 만든 표준이다([그림 5] 참조).

WRAN 시스템은 기본적으로 TV 사용자에게 간섭을 주지 않아야 하므로 vertical sharing을 기반으로 주파수 공유를 하며, topology는 master/slave 방식이며, 다른 WRAN과의 공유 기술이 지원되어야 한다. 따라서 앞서 논의한 Vertical sharing - Cooperative - Centralized의 CR 시나리오에 적용된다. 현재 WRAN 이슈는 다음과 같다.

- Dynamic Spectrum Access(DSA): 1차 사용자에 간섭을 주지 않기 위해 2차 사용자가 DTV 신호일 경우 -116 dBm까지의 신호를 검출해야 한다. 현재 Two stage sensing을 이용한 검출 방법이 제안되었다.
- Dynamic Spectrum Sharing(DSS): IEEE 802.22는 기본적으로 WRAN 사이에 협력이 이루어져야 한다. 현재 WRAN들 간의 주파수 공유 문제를 beacon pro-



[그림 5] IEEE 802.22 deployment 시나리오

tocol을 이용하여 해결하고자 하는 방식이 제안되었다.

• Dynamic Spectrum Multi-channel Operation(DSM):
WRAN 사용자에게 ADSL급의 인터넷 서비스를 공급해 주어야 한다. 현재 dynamic channel bonding 기술을 이용하여 QoS 보장하는 방식이 제안되었다.

IEEE 802.22는 2004년 11월 첫 미팅을 시작으로 2008년 1월까지 표준을 완료하려는 계획하에 현재 진행 중에 있다.

Ⅲ. 결 론

CR 기술은 주파수 부족 현상을 해결할 수 있는 기술로 주목 받아왔다. 그러나 Joseph Mitola에 의해 처음 소개된 이후로 CR에 대한 많은 연구가 진행되어 왔지만, 아직까지 명확한 정의와 실체가 갖추어지지 않은 상태이다. 따라서 본 고에서는 CR 기술을 주파수 공유 기술의 하나로 간주하고 여러 조건들 속에서 CR 기술이 어떻게 응용될 수 있을지에 대해 조사하였다. 현재 구축되어 있는 인프라 시설과 주파수 정책의 특성상 vertical sharing 방식이 가장 먼저 적용될 수 있는 시나리오라고 생각되지만, 궁극적으로 CR은 언제 어디서나 스스로 외부 환경을 인지하고, 판단하여 통신할 수 있는 autonomous 통신이 가능한 형태로 발전되어야 할 것이다.

아직 CR 기술이 적용된 사례가 없는 지금, IEEE 802.22는 현재 CR 기술이 적용되고 있는 첫번째 표준화 회의로 매우 중요한 의미를 가지고 있다. 그러나 우리나라는 북미 지역과는 달리 산악 지형과 잘 갖추어진 internet 인프라로 인해 WRAN의 시장 전망은 밝지 않은 상태이다. 그러므로 우리나라 환경에 적합한 CR 기술의 application 발굴이 시급하다. 그리고 이에 따른 핵심 기술들을 개발하여 궁극적으로 주파수 사용 효율을 극대화할 수 있는 방안을 찾아야 하겠다.

앞으로의 CR 기술은 주파수 관리자, 서비스 업자,

제조업자들에게 어느 정도 가능성이 있는 시나리오를 제공하는가에 따라서 그 성공 여부가 달려 있을 것이다. 물론 CR의 성공 여부는 사업 계획과 마케팅 전략과 같은 경제적인 측면에도 크게 영향을 받는다. 그러므로 현재 CR 기술을 실현하기 위해서는 관련 분야의 많은 노력과 연구가 필요한 상황이다. 하지만 가장 중요한 것은 CR 시스템의 응용 시나리오와 이를 실현시켜줄 수 있는 핵심 기술들이 하루 빨리 발굴되고 개발되어야 한다는 것이다.

참 고 문 헌

- [1] 김창주, "Cognitive Radio 기술 및 응용", 한국전자과학기술지 전자파기술, 17(2), pp. 3-8, 2006년 4월.
- [2] Federal Communications Commission, "Spectrum policy task force report", ET Docket, no. 02-135, Nov. 2002.
- [3] Federal Communications Commission, "Unlicensed operation in the TV broadcast bands", ET Docket, no. 04-186, 2004.
- [4] K. Hooli et al., IST-2003-507581 WINNER, "D6.3 WINNER spectrum aspects: Assessment report", IST WINNER, Dec. 2005, <http://www.ist-winner.org>
- [5] J. Mitola et al., "Cognitive Radio: An integrated agent architecture for software defined radio", *Doctor of Technology, Royal Inst. Technol.(KTH)*, Stockholm, Sweden, 2000.
- [6] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [7] J. P. Kermaol et al., "Spectrum sharing for WINNER radio access networks", *CROWCOM 2006*, Mykonos Island, Greece, Jun. 2006.

- [8] M. Nekovee, "Dynamic spectrum access with cognitive radios: Future architectures and research challenges", *CROWNCOM 2006*, Mykonos Island, Greece, Jun. 2006.
- [9] R. Etkin, A. Parekh, and D. Tse, "Spectrum sharing for unlicensed bands", *2005 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN 2005)*, pp. 251-258, Nov. 2005.
- [10] S. M. Mishra, A. Sahai, and R. W. Brodersen, "Cooperative sensing among cognitive radio", *2006 IEEE International Conference on Communications (ICC 2006)*, Jun. 2006.
- [11] T. A. Weiss, F. K. Jondral, "Spectrum pooling: An innovative strategy for the enhancement of spectrum efficiency", *IEEE Comm. Mag.*, vol. 42, pp. S8-S14, Mar. 2004.
- [12] D. Cabric et al., "A cognitive radio approach for usage of virtual unlicensed spectrum", *14th IST Mobile Wireless Communications Summit 2005*, Dresden, Germany, Jun. 2005.
- [13] J. Zhao et al., "Distributed coordination in dynamic spectrum allocation networks", *2005 1st IEEE International Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN 2005)*, pp. 259-268, Nov. 2005.
- [14] M. E. Sahin, H. Arslan, "System design for cognitive radio communications", *CROWNCOM 2006*, Mykonos Island, Greece, Jun. 2006.
- [15] N. Devroye, P. Mitran, and V. Tarokh, "Cognitive decomposition of wireless networks", *CROWNCOM 2006*, Mykonos Island, Greece, Jun. 2006.

≡ 필자소개 ≡

전 형 석



2004년 2월: 동국대학교 전자공학과 (공학사)
 2005년 8월: 한국정보통신대학교 공학부 (공학석사)
 2005년 9월~현재: 한국정보통신대학교 공학부 박사과정
 [주 관심분야] 4세대 이동통신 시스템, Cognitive Radio, 통신 신호처리

이 혁 재



1970년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
 1977년 2월: Oregon State Univ., E.E. Dept. (공학석사)
 1982년 2월: Oregon State Univ., E.E. Dept. (공학박사)
 1983년~2000년: 한국전자통신연구원 무선방송연구 소장
 2000년~현재: 한국정보통신대학교 공학부 교수
 [주 관심 분야] 4세대 이동 통신 시스템, SDR, Cognitive Radio

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 관심 분야] 전파신호처리, CDMA 신호해석