

Cognitive Radio 기술개요 및 발전방향

김재명 (인하대학교 교수)

I. 서론

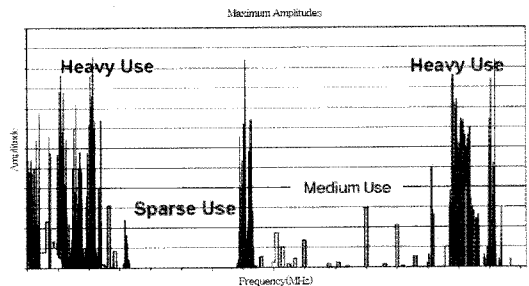
최근 정보통신 기술의 발전과 함께 무선기기의 사용이 우리생활의 전 영역으로 확대되고 있으며 그에 따라 더 좋은 성능의 통신시스템과 높은 데이터 전송률에 대한 요구가 높아지고 있다. 실제로 3세대 이동전화 서비스가 보편화 되면서 음성 데이터 위주의 통신에서 멀티미디어 서비스로 전환되고 있고, TV 전송방식 또한 디지털방송이나 DMB 등으로 다변화되고 있는 상황이다. 유비쿼터스 시대로 진입하는 과정에서 RFID/USN, 텔레메틱스, 홈네트워크의 사용이 본격화 되는 등 기술이 발전함에 따라 주파수 자원 수요는 점진적으로 확대될 것이 분명하다. 그에 반해 주파수 자원은 한정되어 있으며 현재 거의 모든 주파수 대역은 고정 할당 되어 있다. 특히 무선통신 환경에 적합한 3GHz 이하의 주파수 대역은 전혀 여유가 없는 실정이다. 이처럼 주파수의 가치는 시간이 지날수록 점차 증가하고 있다고 할 수 있다.

이러한 환경을 극복하고자 국내외적으로 급증하는 주파수의 효율적 이용을 위한 시장 수요에 유연한 전파 이용정책을 요구하고 있으며 그에 따라 소출력 기기 운용의 확대, 비허가 대역 추가

할당 등을 고려하고 있으며, 정부가 대책을 세우고 이를 관리하는 기존의 주파수정책에서 주파수의 용도, 기술 조건 등의 규제를 완화하고 비허가 대역의 확대를 검토하는 등 개방형 주파수 정책으로 전환되고 있다.

하지만 이러한 소출력 기기의 운용, 비허가 대역의 추가 할당 등은 전력 등의 제한으로 인해 근본적인 대안이 될 수 없는 실정이다.

따라서 중요한 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해, 미국연방통신위원회 FCC (Federal Communications Commission)에서는 주파수의 실제 사용률에 대한 연구를 진행하여, 시간적으로나 지역적으로 변화하는 평균 주파수 사용률을 조사해본 결과 약 15%~85% 정도의 큰 사



〈그림 1〉 미국에서의 스펙트럼 이용현황 측정 자료

으로 동작한다. 예를 들어 learning 단계에서는 과거 또는 현재의 내부 상태를 통해 통신 모드의 효율성에 관해서 learning 함으로 해서 그 기대치와 비교되게 된다.

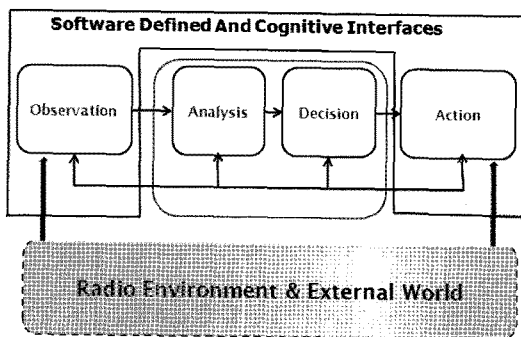
특히 learning 의 경우 그 복잡도가 높고 프로세스의 진행에 따른 지연이 커지기 때문에 sleep epoch 시에 주로 동작한다. Sleep epoch는 Processing 을 위한 전력이 존재하지만 무선시스템이 동작하고 있지 않는 시간을 의미한다. Sleep epoch 동안 무선 시스템은 learning에 대한 동작을 수행한다.

위에서 언급한 바와 같은 Cognition Cycle은 최적화 하는 과정에서 많은 논리 연산을 필요로 하게 된다.

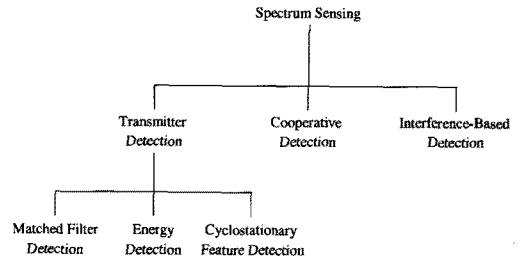
이런 어려움 때문에 현재 대부분의 Cognitive Radio 기술은 <그림 3>과 같은 간략화 된 형태의 구조로 구현 및 연구가 진행되고 있다.^[4]

<그림 3>에서의 각 단계에 다음과 같은 기능을 수행한다.

Observation 부분은 주로 Spectrum Sensing 기법을 통한 외부환경의 인지를 주로 담당하고 있으며 <그림 3>의 Observe와 같은 역할을 수행한다. 일반적으로 스펙트럼 센싱 기술은 <그림 4>와 같이 송신단 검출(Transmitter Detection),



<그림 3> Cognitive Radio의 구조



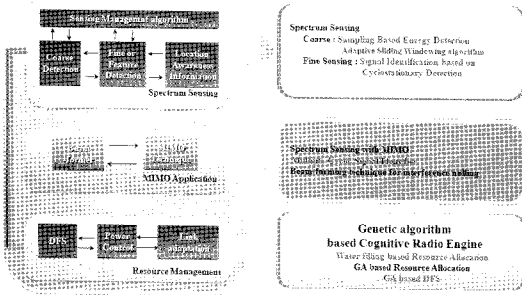
<그림 4> 스펙트럼 센싱의 구분

협력 검출(Cooperative Detection), 간섭 기반 검출(Interference based Detection)로 크게 나눌 수 있으며, 송신단 검출은 다시 정합필터 검출 방식, 에너지 검출 방식, Cyclostationary 검출 방식으로 나눌 수 있다.^[5,6] 정합필터방식은 우선사용자의 신호의 정보를 필요로 하기 때문에 잘 사용하지 않으며 우선사용자에 대한 정보 없이 신호를 검출할 수 있는 에너지 검출 방식이 많이 사용된다. 일반적인 에너지 검출기는 스펙트럼 분석기와 비슷한 형태로 우선사용자 신호의 존재 유무를 판단한다. Cyclostationary 검출 방식은 변조된 신호들의 주기성을 검출함으로써 신호의 존재 유무 뿐 아니라 신호의 종류까지 검출할 수 있다.

협력 검출 방식은 에너지 검출 방식을 바탕으로 다수의 사용자가 각각 센싱 한 결과를 공유함으로써 우선사용자 신호 검출의 신뢰도를 높이는 방법이다.

다음으로 Cognitive Engine 블록은 Observation 부분을 통해 얻은 정보를 토대로 외부환경을 분석(Analysis)하여 무선의 각 부분의 최적화된 파라미터를 결정하는 부분 (Decision) 으로 구성되어 있다. Cognitive Radio Engine은 시스템의 두뇌역할을 하는 부분으로 외부환경을 분석하여 각 부분의 최적화된 파라미터를 결정한다.

즉, 적응형 무선통신 시스템 변수들을 최적화



〈그림 5〉 유전자 알고리즘 기반의 CR Engine (INHA-WiTLAB CR Engine)

시킴을 위한 기능을 수행 하는데 이러한 최적화는 단일 목표를 만족하는 변수들을 최적화 하는 것이 아닌 복수개의 상충적인 관계를 갖는 변수를 최적화 하여야 하기 때문에 그 복잡도는 상당히 증가 되게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 유전자 알고리즘, 데이터베이스에 의한 알고리즘, 게임이론에 기반 한 알고리즘 등이 사용되고 있다. Cognitive Engine 부분은 위의 <그림 5>의 Plan, Learn, Decide와 같은 기능을 수행한다고 볼 수 있다.

마지막 부분인 Action 부분은 결정된 파라미터를 사용하여 무선 링크를 수립하는 부분을 담당하며 이 부분은 위의 사이클의 Act 부분과 같은 일을 수행한다. 이 부분은 주로 Modem에 해당하는 부분으로서 모든 결정된 파라미터의 적용을 위해 Flexible 한 구조로 Design 되어야 한다.

III. Cognitive Radio 서비스 발전 방향

1. Cognitive Radio 기술 적용 현황

앞서 살펴본 바와 같이 주파수 공유 기술의 중요성이 증가함에 따라 현재 여러 분야에서 적용

연구가 진행되었다. 그 중에서 가장 대표적인 IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network) 시스템과 IEEE 802.11 WLAN(Wireless Local Area Network) 시스템에서의 Cognitive Radio 적용 현황에 대해 간단히 알아보고 향후 Cognitive Radio의 서비스 발전 방향을 제시하고자 한다.

IEEE 802.22 WRAN 시스템은 Cognitive Radio를 실제로 적용하기 위한 첫 번째 시스템이다. 802.22는 OFDMA를 기반으로 한 무선접속 기술에 스펙트럼 센싱 기술과 간섭회피를 위한 기술을 추가하였고 이를 위한 프로토콜을 제시하고 있다. 이 시스템은 지역적으로 사용되고 있지 않은 TV 방송 대역을 활용하여 상대적으로 통신 환경이 열악한 도시 외곽 지역에서 무선 데이터 서비스를 하기 위해 제안되었다. IEEE 802.22의 Cognitive Radio 적용은 매우 기초적인 단계이지만 Cognitive Radio를 사용한 최초의 표준 제정 노력이라는데 그 의의를 찾을 수 있다.

우리가 흔히 무선랜이라 부르는 IEEE 802.11에서도 Cognitive Radio가 적용 되었다. 802.11h는 DFS(Dynamic Frequency Selection)기능과 TPC(Transmit power control)기능에 대한 것을 추가하고 있다. 802.11k의 경우 무선 자원 관리기능과 분산된 스펙트럼 쉬프팅 기능을 추가 하고 있고 802.11v의 경우 각각의 간섭 정도를 보고 하는 절차에 대한 내용들을 추가로 하여 Cognitive Radio의 일부 기능을 첨가하고 있다.

2. Cognitive Radio 기술 관련 환경변화

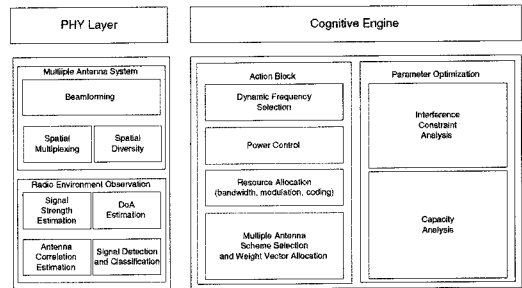
Cognitive Radio 기술 관련 가장 큰 변화로는 2008년 11월14일 FCC에서 발표한 ET Docket

No. 08-260를 들 수 있다. 이 문서에서 FCC는 TV 대역의 White Space에서 비허가 기기의 사용을 허가하는 Second Report and order를 발표하였다. 이는 구글이 오래전부터 White space 개방을 요구하여 FCC에 제의한 것을 수락한 것으로서 현재의 무선랜보다 훨씬 넓은 지역을 커버할 수 있는 무선기기가 등장할 것으로 전망되며, 이에 따라 현재 2개의 벽을 넘을 수 없는 2.4GHz 무선랜 시스템에서 빌딩 내 모든 공간을 커버하는 무선 서비스를 제공할 수 있게 될 것으로 전망된다. 따라서 이러한 기술이 사용되면 훨씬 적은 기지국 수와 놀랄 만큼의 저가로 일반가정에 무선 서비스를 제공할 수 있을 것으로 보인다. 또한 TV 대역은 전세계적으로 거의 동일한 주파수를 채용하고 있기 때문에 White Space를 이용한 기기들이 미국시장에서 성공한다면 이러한 움직임이 전세계로 확산될 가능성이 있으며 거대한 시장이 형성될 가능성이 있는 것으로 전망하고 있다. 따라서 FCC의 이러한 행보에 따라 영국의 OFCOM(Office of Communications) 등에서 이와 같은 논의가 연이어 이루어 졌으며 FCC의 결정이 전 세계에 영향을 줄 가능성이 커진 것으로 보고 있다.

이는 기존 Cognitive Radio 시스템의 제약이 되었던 스펙트럼 정책에서 벗어나는 계기가 되어 802.22 WRAN 시스템 외에도 다른 표준에서 White Space에 대한 관심을 불러 일으켰다.

3. Cognitive Radio의 발전 방향

위와 같은 Cognitive Radio 관련 환경변화에 따라 현재 연구된 분야 이외에도 Cognitive Radio 시스템은 여러 분야에서 적용 가능성 여부를 타진하고 있다.

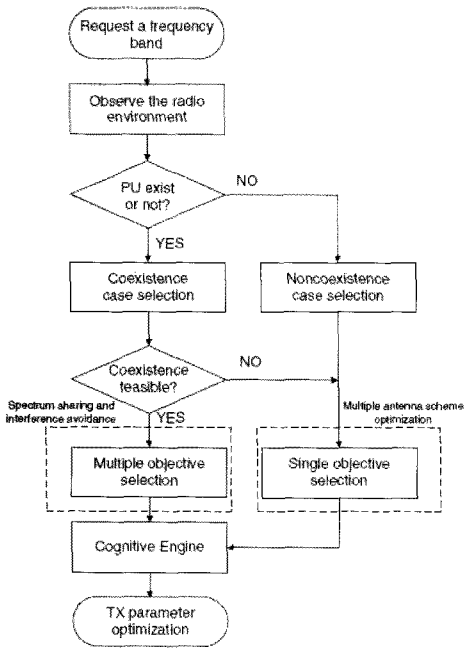


<그림 6> 차세대 MIMO-CR 시스템 구성도

다중안테나 Cognitive Radio System : 다중안테나 시스템(MIMO)은 기본적으로 2개 이상의 복수의 안테나를 사용하여 모뎀신호처리를 수행하는 기술이다. 이 시스템에서는 Beamforming, Spatial diversity, Spatial Multiplexing 등의 방법을 통해 시스템 성능을 향상 시킬 수 있다. Cognitive Radio 시스템과 다중안테나 시스템은 공통적으로 주파수 효율을 높이는 시스템으로서 이 두 가지 시스템을 하나로 융합하면 그 상승효과는 더욱 증대 될 수 있다. Cognitive Radio 시스템이 우선적으로 무선 환경에 대한 관측을 하며 그 결과를 바탕으로 다중안테나 시스템에서는 안테나 변수를 선택하고 각각의 변수를 변경함으로써 최적의 통신 환경을 이끌어 낼 수 있다. 이를 위한 개념적인 다중안테나 Cognitive Radio 시스템의 구조는 <그림 6>과 같다.^[7]

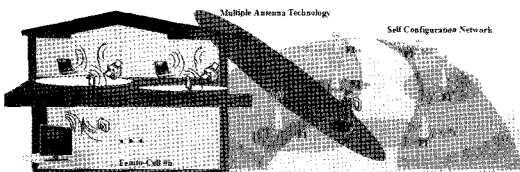
이는 기존의 Cognitive Radio 시스템에 현재 존재하는 다중 안테나 시스템과 그를 지원해 주기 위한 Cognitive Radio 시스템의 기능을 나타낸 개념도이다. 이러한 구성요소의 사용을 통해 그 효율성을 극대화하기 위한 Cognitive Radio 동작 절차는 <그림 7>과 같다.

Femtocell Network : 100조분의 1을 의미하는 펨토(femto)와 이동전화 통화 가능지역 단위



〈그림 7〉 MIMO-CR 시스템의 동작절차

를 말하는 셀(cell)의 합성어로, 펠도만큼 촘촘한 커버리지를 제공한다는 의미이다. Femtocell은 가정이나 사무실 등 실내에서 사용되는 초소형 이동통신용 기지국으로, 이동전화와 인터넷을 연결하여 저렴한 비용으로 유무선 융합 서비스를 제공한다. 가정 내에서 Cognitive Radio 기술을 이용해 유휴대역을 찾아 환경에 맞는 통신 방식을 선택함으로써 우수한 전파환경을 구축할 수 있다. 따라서 가정 내에서 HD급 화질의 스트리밍이 가능해지며, 기지국과 단말기 사이의 거리가 짧아짐에 따라 이동 단말기의 전력소모를

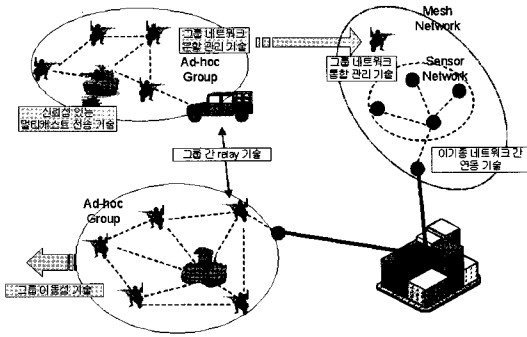


〈그림 8〉 Femtocell Network

줄일 수 있을 것이다.

Mesh Network : 무선 Mesh Network는 광대역 연결을 제공하기 위해 그 비용을 절감할 수 있는 기술로 대두 되고 있다. 하지만 Network 밀도가 증가하고 그 응용기술들이 더 높은 처리율을 요구하기 때문에 그 요구사항을 충족하기 위한 높은 능력이 요구된다. Cognitive Radio 기술은 보다 많은 양의 스펙트럼 접근을 가능하게 하기 때문에, CR Network가 경쟁률이 높은 도심 지역의 Mesh Network를 위해 사용이 가능할 수 있다.

Emergency Network : 공공 안전과 긴급성을 요하는 네트워크는 Cognitive Radio를 사용하여 구현할 수 있는 또 다른 분야이다. 일시적으로 현존하는 통신 Infrastructure를 파괴하거나 무력화 시킬 수 있는 자연 재난의 경우에 있어서, 재해지역에서의 비상 인력 작업은 Emergency network 설치를 필요로 한다. 긴급 네트워크가 중요한 정보들을 다룰 수 있기 때문에, 안정적인 통신이 최소한의 지연을 가지고 보장 되어야 하며, 비상통신은 음성, 영상 그리고 데이터를 포함하는 많은 양의 트래픽을 다루기 위해 상당한 양의 스펙트럼을 요구한다. Cognitive Radio는 통신 우선권과 응답 시간을 유지함에 의해 구조기반시설이 없이 현존하는 스펙트럼의 사용이 가능할 수 있다. 이외에도 위의 경우와는 반대의 경우로 비상시에 사용하고자 하는 재난 재해를 위해 할당된 주파수의 경우 그 사용빈도가 매우 낮기 때문에 평시에는 Cognitive Radio를 사용하여 사용자에게 서비스를 제공하고 재해 시에는 그 할당된 주파수를 긴급 재난상황에 사용할 수 있도록 유연한 주파수 운용이 가능할 것이다.



〈그림 9〉 Military Network

Military Network : Cognitive Radio 네트워크의 가장 잠재적인 응용중의 하나는 군 전과 환경이다. Cognitive Radio기술의 초창기 연구 대부분의 미국 국방성 산하의 DARPA에서 주로 이루어진 것도 이러한 이유 때문이다. Cognitive Radio를 사용한 군 전과는 임의의 중간 주파수 대역, 변조기 설계, 코딩 등 다양한 전투상황의 전과환경에 대해 매우 적응적인 선택을 가능하게 한다. 또한 군 네트워크는 극한 상황에서의 통신의 보안과 보호에 대한 강력한 생존성을 갖는다. 또한 Cognitive Radio Network는 군인이 그들 자신과 동료를 위한 안전한 스펙트럼을 찾음으로 그 안전성을 보장할 수도 있다.

IV. 결론

유비쿼터스 사회로 진입하는 과정에서 텔레메틱스, 홈네트워크 등의 사용이 본격화 되면서 이에 따른 주파수 수요는 급등하고 있다. 현재의 주파수 정책은 우선사용자가 고정된 대역을 할당받아 사용하도록 하고 있다. 하지만 미국연방통신위원회에서 실시한 주파수 실제 사용률에 대한 연구결과는 지금의 주파수 정책이 매우 비효

율적이라는 것을 보여주었다. 따라서 주파수 사용의 효율성을 높이기 위한 새로운 패러다임이 요구 되었다.

본고에서는 상기의 문제점을 해결하기 위해 제안된 Cognitive Radio 기술의 구성 및 앞으로 응용 가능성이 있는 분야에 대해서 알아보았다.

현재 Cognitive Radio의 기술적인 부분은 초보적인 수준에 머물고 있지만, 무선 통신 시스템이 발전해 나아감에 따라 겪게 되는 스펙트럼 자원 부족 현상과 최적화된 통신 상태를 제공해 주기 위한 하나의 유망기술로 추후 많은 분야에 적용과 이에 따른 서비스 확산적용이 활발하게 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] FCC, Spectrum Policy Task Force Report, ET Docket No.22-155, Nov., 2002.
- [2] 이명걸, 송정익, 손성환, 김재명, "Cognitive Radio 시스템에서 이웃 셀 Incumbent User 인지를 통한 효율적인 주파수 활용 방안", 한국통신학회 논문지 Vol.32, No.1, pp.66-74, Jan., 2007.
- [3] J. Mitola, Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio, Ph.D thesis, Royal Institute of Technology(KTH), May., 2000.
- [4] Matteo Gandetto, Carlo Regazzoni, "Spectrum Sensing : A Distributed Approach for Cognitive Radio Terminals", IEEE Journal on Selected Areas In Communications, Vol.25, No.3, April, 2007.
- [5] D.Cabric, S.Mishra, and R. Brodersen,



저자소개



김재명

- “Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios,” Proc. Asilomar Conf. On Signals, Systems and Computers, Vol.1, pp.772-776, Nov., 2004.
- [6] Sung Hwan Sohn, Ning Han, Jae Moun Kim, Jae Wan Kim, “OFDM Signal Sensing Method Based on Cyclostationary Detection”, Crowncom2007, July, 31, August 1-3, 2007, Orlando, Florida, U.S.A
- [7] Bruce A. Fette, Editor, COGNITIVE RADIO TECHNOLOGY, 2nd. Ed., ACADEMIC PRESS, pp.535-555, 2009.
- [8] Jae Moun Kim, Tutorial, “Cognitive Radio : Present and Future”, “Int'l Workshop 2009 on CR and SDR”, April, 29-30, 2009, Seoul, Korea.

1974년 2월 한양대학교 전자공학과 (학사)
 1981년 8월 미국 남가주대학교(USC) (석사)
 1987년 8월 연세대학교 전자공학과 (박사)
 1974년 2월 ~ 1979년 12월 한국과학기술연구소/한국통신기술연구소 근무
 1982년 9월 ~ 2003년 3월 한국전자통신연구원 근무 (위성통신연구단 단장, 무선방송연구소 소장 역임)
 2003년 4월 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 교수, 현재 통신위성우주산업연구회 회장 및 정부/기업체와 다수 정책/기술 자문 수행 중

주관심 분야 : 무선이동통신, Cognitive Radio, UWB, RFID/USN