

Cognitive Radio 기술의 구조 및 응용

김재명
인하대학교

요약

최근의 정보통신 서비스는 사용자의 고속화 및 광대역 멀티미디어 서비스의 요구에 발맞추어 한정된 주파수 자원에 대한 수요가 계속 증가하고 있다. Cognitive Radio 기술은 이러한 상황을 해결하기 위한 대안 기술 중 하나로 각광받고 있는 기술이다. 본고에서는 이러한 Cognitive Radio 기술에 대해서 간략히 살펴보고, 더 나아가 현재 응용연구가 진행되고 있는 분야와 앞으로 응용 가능성이 있는 기술에 대해서 알아보도록 한다.

1. 서론

최근의 정보통신 서비스는 사용자의 고속화 및 광대역 멀티미디어 서비스 요구에 발맞추어 유무선 통신의 통합과 통신과 방송의 구분이 없어지는 융합기술이 두드러지게 나타나고 있다. 특히 이동통신, WLAN, 디지털 방송 및 위성통신을 비롯하여 RFID/USN, Ultra Wide Band(UWB) 통신 등 무선을 이용하는 서비스의 급증에 따라 한정된 주파수 자원에 대한 수요가 계속 증가하고 있다.

현재의 주파수 분배상황을 살펴보면 거의 모든 주파수 대역이 고정 할당되어 있고 특히 무선통신 환경이 가장 좋은 낮은 주파수 대역은 거의 사용할 여지가 없다. 이러한 현상은 향후 Ubiquitous 사회로의 진입에 따른 수요증가로 인해 더욱 심화될 전망이다.

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(Federal Communications Commission, FCC)에서는 주파수의 실제 사용률에 대한 연구를 진행하여, 시간적으로나 지역적으로 변화하는 평균 주파수 사용률을 조사해본 결과 약 15%-85% 정도의 큰 사용률 변화를 관찰한바 있다. FCC는 이러한 결과를 바탕으로 2003년 12월에 주파수 사용 효율을 올리도록 NPRM (Notice of Proposed Rule Making)을 통하여 비어 있는 주파수에 대한 중복 사용 가능성에 대한 내용을 발표하였다. 이러한 움직임에 따라 지역, 시간적인 통신환경 영역에서 현재의 스펙트럼 이용 현황을 감지한 후 지능적으로 판단하여 적절한 주파수, 변조방식, 출력 등을 선택하는 지능형 무선 인지 기술(Cognitive Radio, CR)이 대두되고 있다.[1]

Cognitive Radio 기술은 SDR(Software Define Radio) 기술의 발전된 형태로서 2001년 J.Mitola에 의해서 등장한 개념으로써 통신 단말기 및 네트워크가 지능화되어 동적으로 변화하는 사용자의 요구 및 무선자원 상황을 인지하여 가용

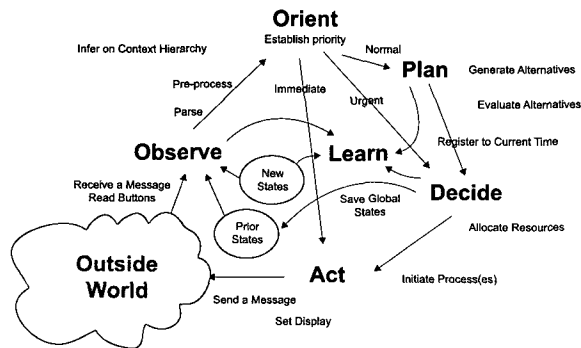
무선자원을 최적으로 활용하고자 하는 기술이다. 이 기술은 외부환경을 인지하고 그에 맞추어 스펙트럼 환경에 적응할 뿐 아니라 그간의 경험을 무선 컴포넌트가 습득하여 최적의 상황을 맞추어 내는 지능적인 통신시스템으로 현재에는 스펙트럼을 할당 받은 우선 사용자에게 간섭을 미치지 않는 조건에서 그 스펙트럼을 공유하여 사용할 수 있는 공유기술로 많이 논의되고 있다. 본고에서는 이러한 Cognitive Radio 기술의 구조에 대해서 자세히 알아보고 Cognitive Radio 기술을 사용한 그 응용에 대해서 알아보도록 한다.

II. Cognitive Radio 기술 개요

아래 (그림 1)은 J.Mitola가 제시한 6단계의 Cognition 싸이클을 나타내고 있다.[2]

J.Mitola의 Cognition Cycle은 그림과 같이 Orient, Plan, Observe, Learn, Decide, Act의 단계로 구성되어 있다.

Cognitive Radio는 계속적으로 주변환경을 관측하고 자신의 상태를 인지하고 그에 따른 계획을 세우고 결정 후에 동작한다. Observation 단계는 위치, 온도, 광 센서 등을 통해 사용자의 통신환경을 추정한다. 이렇게 추정된 데이터를 통해서 Orient 단계는 그 추정된 데이터의 우선권을 수립한다. 만약 단말의 전력이 충분치 못하다면 즉시 act의 상태로 이동한다. 이것은 아래 (그림 1)에서 Immediate 경로에 해당한다. 만약 신호의 회복 불가능한 손실은 리소스의 재할당을



(그림 1) J.Mitola의 Cognition Cycle

결정해야 한다. 예를 들어 사용하는 채널에 강한 간섭 등으로 인해 신호가 훼손 될 경우 다른 RF 채널을 찾아서 채널을 변경을 해 주어야 한다. 이런 경우 (그림 1)에서의 Urgent 경로로 나타낼 수 있다.

그러나 대부분의 네트워크 메시지의 경우는 Plan의 과정을 거쳐서 처리가 된다. 이 과정은 위의 (그림 1)의 Normal 경로에 해당된다. Orient는 이와 같이 각 상황에 맞추어서 그 상황에 맞는 우선권을 제시하여 처리하도록 한다. Plan의 과정은 각각 가능한 파라미터, 통신링크의 프로토콜 등을 선정한다.

Decide 단계는 Plan 과정에서 선정된 각각의 후보군들을 선정하는 단계로 이 과정에서는 최적화된 파라미터 및 프로토콜 등이 선정된다.

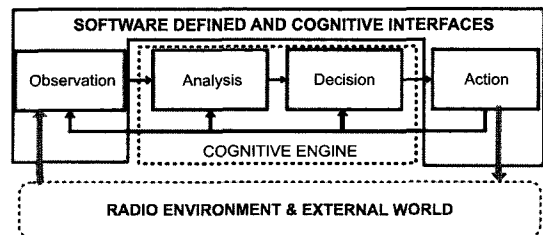
Act 과정은 각각의 통신 모듈을 사용하여 선택된 프로세스로 초기화를 시키고 동작한다.

Learn은 Observe와 Decide의 기능으로 동작한다. 예를 들어 Learn 단계에서는 과거 또는 현재의 내부 상태를 통해 통신 모드의 효율성에 관해서 Learn 해서 그 기대치와 비교되게 된다.

특히 learning의 경우 그 복잡도가 높고 프로세스의 진행에 따른 지연이 커지기 때문에 sleep epoch시에 주로 동작한다. Sleep epoch는 Processing을 위한 전력은 존재하지만 무선시스템이 동작하고 있지 않는 시간을 의미한다. Sleep epoch동안 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 아래 (그림 2)와 같은 간략화된 형태의 구조로 구현 및 연구가 진행되고 있다.[3]



(그림 2) Cognitive Radio의 구조

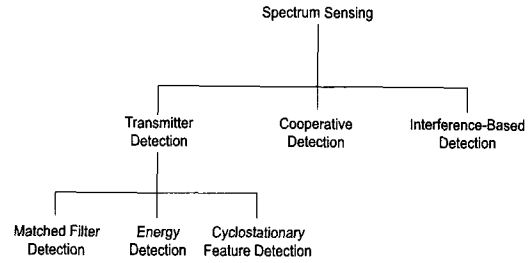
위의 (그림 2)에서 Observation 부분은 주로 Spectrum Sensing 기법을 통한 외부환경의 인지를 주로 담당하고 있으며 위의 (그림 1)의 Observe와 같은 역할을 수행한다. 이러한 부분은 무선환경에서 주로 스펙트럼 센싱의 형태로 명명된다. 또한 Cognitive Engine 블록은 Observation 부분을 통해 얻은 정보를 토대로 외부환경을 분석(Analysis)하여 무선의 각 부분의 최적화된 파라미터를 결정하는 부분(Decision)으로 구성되어 있다. 이러한 Cognitive Engine 부분은 위의 (그림 1)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.

이하 3장과 4장은 위의 Cognitive Radio 구조 중에서 Cognitive Radio의 핵심기술이라 할 수 있는 Observation (스펙트럼 센싱 기술)과 Cognitive Engine에 대해서 자세히 살펴 보도록 한다.

III. Observation(Spectrum Sensing)

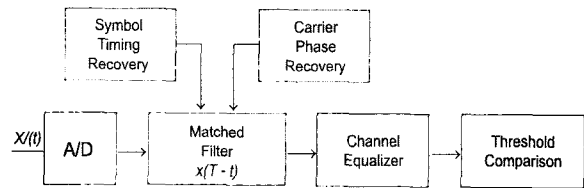
Observation(이하 스펙트럼센싱)은 위에서 언급한 바와 같이 외부의 통신환경의 정보를 획득하는 단계로서 Cognitive Radio에서는 주로 Spectrum Sensing이라 명명되고 있다. 특히 주파수 공유 기술로써의 Cognitive Radio 기술에서의 스펙트럼 센싱 기술은 스펙트럼을 할당 받은 우선사용자의 스펙트럼 사용현황을 판단하는 것이 가장 큰 목적 중의 하나이다.

일반적으로 스펙트럼 센싱 기술은 (그림 3)과 같이 송신기 검출(Transmitter Detection), 협력 검출(Cooperative Detection), 간섭 기반 검출 (Interference based Detection)로 크게 나눌 수 있으며, 송신기 검출은 다시 정합필터 검출 방식, 에너지 검출 방식, Cyclostationary 검출 방식으로 나눌 수 있다.[4][5]



(그림 3) 스펙트럼 센싱의 구분

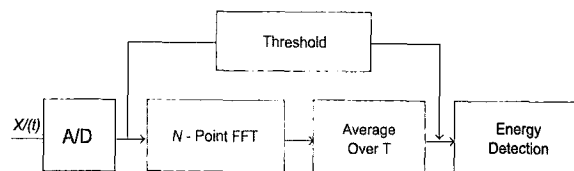
기본적으로 Stationary Gaussian noise 에서 최적 검출기는 수신된 신호-대-잡음비(SNR)을 최대화하는 방식은 정합필터 방식이다. 이 방식의 경우 비교적 정확한 방식이지만 최적의 검출을 위해서는 우선 사용자의 신호의 변조형태 펄스 모양, 패킷 형태 등의 정보가 필요하다. 만약 이 정보가 정확하지 않다면 그 성능은 크게 열화되게 된다.



(그림 4) 정합필터 방식의 구조

에너지 검출 방식은 기본적으로 우선사용자에 대한 정보가 없이도 그 검출이 가능하다. 이 방식은 Spectrum analyzer와 같은 형태로 동작을 한다 아래 (그림 5)는 에너지 검출 방식의 블록도를 나타내고 있다.

그림에서 보는 바와 같이 FFT를 통해 수신신호가 주파수 영역으로 옮겨지고, 주파수 영역으로 옮겨진 값과 잡음에



(그림 5) 에너지 검출 방법의 구조

다른 문턱값의 비교를 통해 쉽게 구현이 가능하다. 이는 계산의 복잡도가 낮기 때문에 Cognitive Radio 사용자가 스펙트럼을 검출하기 위해 가장 많이 사용하는 방법으로 여겨지고 있다. 하지만 간섭신호와 구별이 불가능 함에 따라 성능의 저하를 가져올 수 있고 우선사용자의 간섭인지 잡음의 간섭인지 구별이 불가능 함에 따라 검출이 잘못될 가능성 역시 존재한다.

Cyclostationary 검출 방식은 주파수 영역에서 각 우선사용자의 구별되는 특성을 이용하는 방식이다. 일반적으로 변조된 신호들은 주기를 갖는 사인파 반송파, 펄스열 들, 반복적인 확산, 호핑 시퀀스 등에 따라 주기적인 성분들을 가지고 있다. 전송 데이터는 stationary 랜덤 프로세스(random process) 성격을 가지고 있으나, 변조된 신호는 그 평균과 자기 상관 함수(autocorrelation) 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 cyclostationary한 특성을 나타 내게 된다. 일반적으로 stationary 랜덤 프로세스의 신호 분석을 위해서는 자기 상관 함수와 전력 스펙트럼 밀도 함수(power spectral density)를 이용하게 되지만, 이러한 cyclostationary 신호는 그 주기적 특성으로 인해 주파수 성분간의 상관성이 존재하게 되어 다음과 같은 스펙트럴 상관 함수(spectral correlation function)를 이용할 수 있게 된다. 일반적으로 주기 T를 갖는 임의의 신호는 아래 수식(1)과 같이 정의 될 수 있으며 그 신호의 auto-correlation은 아래 수식(2)와 같이 정의 될 수 있다.[6]

$$m_x(t+T) = m_x(t) \quad (1)$$

$$R_x(t+T+\frac{\tau}{2}, t+T-\frac{\tau}{2}) = R_x(t+\frac{\tau}{2}, t-\frac{\tau}{2}) \quad (2)$$

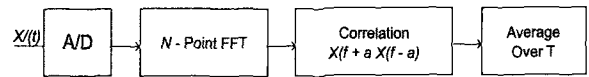
위의 수식을 사용하여 Spectral 상관 함수는 아래 수식(3)과 같이 정의 할 수 있다. Spectral 상관함수는 2개의 주파수 $(f+\alpha/2)$ 와 $(f-\alpha/2)$ 길이 Δt 에서의 상관도로 정의 할 수 있다.

$$S_{XT}^\alpha(f)\Delta t = \frac{1}{\Delta t} \int_{\Delta t/2}^{\Delta t/2} \frac{1}{\sqrt{T}} X_T(t, f + \alpha/2) \cdot \frac{1}{\sqrt{T}} X_T^*(t, f - \alpha/2) dt \quad (3)$$

여기서 $[t-T/2, t+T/2]$ 에서의 신호 $x(t)$ 의 스펙트럼은 아래와 같은 수식(4)으로 나타낼 수 있다.

$$X_T(t, v) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} x(u) e^{-j2\pi v u} dt \quad (4)$$

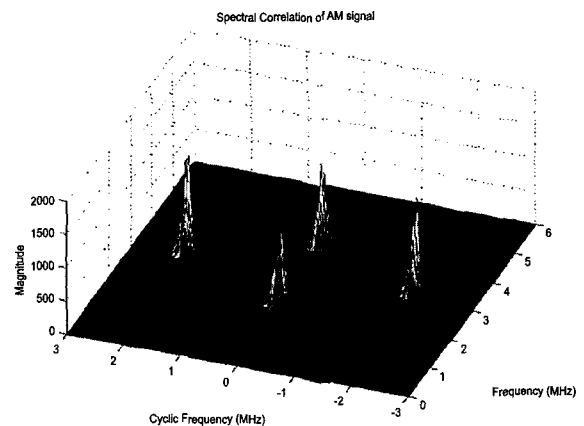
위와 같은 형태의 Spectral 상관함수는 FFT를 사용하여 아래 (그림 6)과 같은 블록도를 통해 간략화 될 수 있다.



(그림 6) Cyclostationary 검출 방식의 구조

이러한 Cyclostationary 검출 방식의 장점은 잡음에 대해서 비교적 강한 특성이 있다. 잡음의 경우 주파수 영역에서의 그 상관도가 낮은 반면 주기를 가지고 있는 신호의 경우 주파수 영역에서 그 신호의 상관 정도가 크게 나타나기 때문이다. 또한 Cyclostationary 검출의 경우 신호마다 각각 다른 주기성으로 인해 그 순환주파수(Cyclic Frequency) 역시 다르게 나타난다.

이러한 특징으로 인해서 Cyclostationary Detection은 그 신호의 종류를 검출 할 수 있는 특징을 가지게 된다. (그림 7)은 Cyclostationary 검출 방법을 사용한 AM 신호의 검출 예를 나타내고 있다.



(그림 7) Cyclostationary 검출 방식의 예

2. 협력 검출 방식

비 협력 검출 방식의 경우 Cognitive Radio 사용자는 우선 사용자의 신호를 지역적인 관측을 통해 독립적으로 검출한다. 하지만 건물이나 주변 지형의 영향으로 fading 환경이나 shadowing 환경처럼 신호검출이 효율적으로 이루어지지 않을 경우가 발생할 수 있다.

협력 검출 방식은 위와 같은 환경에서 성능을 개선 하고자 하는 방식이다. 협력검출 방식은 중앙제어 방식 혹은 분산화 방식으로 구현될 수 있다. 중앙제어 방식은 Cognitive Radio 기지국 또는 anchor 노드 들로부터 모든 검출 정보를 수집하고 스펙트럼에 대한 정보를 공유하는 방식이다. 반면 분산 방식은 Cognitive Radio노드들 사이의 관찰에 따른 교환을 요구한다. 이론적으로 협력 검출 방식은 잡음에 의한 열화와fading 또는 shadowing에 의한 영향을 최소화 시킬 수 있으므로 보다 정확하다. 하지만 이와 같은 검출 방식은 신뢰할 수 없는 노드들의 정보를 같이 공유하여 오히려 그 성능을 열화 시킬 가능성이 존재하고 있으며 센서의 정보 교환을 위해서 별도의 추가적인 오버헤드 트래픽으로 인해 전체 네트워크의 성능 저하가 일어날 수 있는 단점이 존재한다.

IV. Cognitive Radio Engine

Cognitive Radio Engine은 위에서 언급한 바와 같이 외부환경을 분석하여 무선의 각 부분의 최적화된 파라미터를 결정하는 역할을 수행한다.

즉 적응형 무선통신시스템 변수들을 최적화 시키기 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.

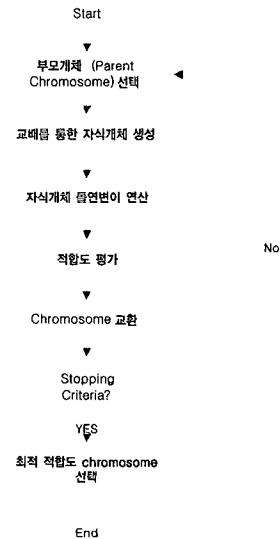
이러한 문제를 해결하기 위해서 유전자 알고리즘, 데이터 베이스에 의한 알고리즘, 게임이론에 기반한 알고리즘 등이 사용되고 있다. 본 장에서는 이러한 알고리즘을 사용한 Cognitive Radio Engine에 대해서 좀더 자세히 알아보도록 한다.

1. 유전자 알고리즘 기반의 Cognitive Radio Engine

위에서 언급한 바와 같이 Cognitive Radio 시스템은 복수개의 상충적인 관계를 갖는 변수를 최적화 해야 한다. 이러한 복수 목적함수를 만족하는해를 찾아 최적화 하는 문제를 다 목적 최적화(multi-object optimization) 문제라 하며 이는 아래와 같은 수식(5)로 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} \min/ \max \{ \bar{y} \} &= f(\bar{x}) = [f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_n(\bar{x})] \\ \text{subject to } \bar{x} &= (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X \\ \bar{y} &= (y_1, y_2, \dots, y_n) \in Y \end{aligned} \quad (5)$$

위의 수식에서 n 차원의 탐색 공간이 정의 되어 있으며 그에 따라 n 개의 목적함수가 정의되게 된다. 일반적으로 최적화 과정은 이와 같은 목적함수를 최적화 하는 목적 변수 X 의 값을 탐색하는 것으로 정의할 수 있는데 이 과정은 사용자의 요구에 따라 최소화 또는 최대화 될 수 있다. 최적화 문제는 크게 두 가지로 분류 할 수 있는데 그 중 하나는 수학적 단계 예를 들어 미분과 같은 직접적인 방법을 통해 해석적으로 풀 수 있는 문제 이다. 이 문제는 수학적 형태의 목적함수를 필요로 한다. 그러나 목적변수와 목적함수 사이의 관계가 알려지지 않거나 정의하기 힘든 경우에는 간접적인 방법이 사용되어야 하는데 이 경우 사용되는 방법중의 하나가



(그림 8) 유전자 알고리즘의 흐름도

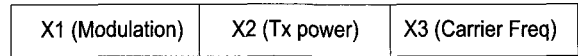
바로 유전자 알고리즘이다. 유전알고리즘은 1960년대 John Holland에 의해 소개되었으며 자연계의 진화현상을 구현하는 최적화 알고리즘으로 다윈이 주장한 적자생존과 자연도태의 원리를 이용하여 개발되었다.

다윈의 진화론에 의하면 집단 내 개체는 주위 환경에 적합한 형질을 가질수록 생존할 확률이 높으며 교배(crossover)와 돌연변이(mutation)을 통해 더 나은 방향으로 진화하고 부적합한 형질을 가질수록 진화의 과정에서 점차 도태되어 간다. 즉 유전자 알고리즘은 이러한 자연진화의 법칙을 컴퓨터의 논리로 모방하여 일반 최적화 문제나 탐색문제의 해를 구하는 알고리즘이다. 유전자 알고리즘은 기존의 탐색기법과는 달리 집단(population)이라고 불리는 임의의 초기해 집단으로부터 출발한다. 또한 집단을 구성하는 각 개체는 게놈(genome) 혹은 염색체(chromosome)라고 부르며 유전자 알고리즘에서 문제의 해를 표현하는 역할을 한다. 집단이 현세대에서 다음 세대로 넘어가기 위해서는 일반적으로 선택(selection), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)의 연산을 거쳐야 한다. 이들은 유전자 알고리즘의 기본적인 연산으로서 알고리즘의 메커니즘을 규정하고 효율성에 영향을 미치게 된다. 유전알고리즘의 기본적인 흐름도는 위의 (그림 8)과 같다.

위의 같은 형태로 동작하는 유전자 알고리즘을 Cognitive Radio에 적용하기 위해서는 먼저 Chromosome의 정의가 필요하다 통신 링크 하에서의 조작 가능한 파라미터(knob)와 이를 평가 하기 위한 평가 파라미터(Meter)는 아래 <표 1>과 같다.[7]

<표 1> 평가 (Meter)와 조작(Knob) 파라미터의 예

Meter(observable parameter)	Knobs(writable parameter)
BER	Transmitter Power
SNR	Spreading type
SINR	Spreading Code
RSSI	Modulation Type
Path loss	Modulation index
Fading statistics	Bandwidth
Doppler spread	Pulse shaping
Delay Spread	Symbol rate
Multipath profile	Carrier Frequency
AOA	Dynamic range
Noise Power	Equalization
Interference Power	Antenna beam shape
PAPR	
Error vector magnitude	
Spectral efficiency	



(그림 9) 유전자 알고리즘Chromosome의 예

위의 같은 knob과 meter를 조합하여 최적화 시키고자 하는 파라미터의 chromosome과 목적함수를 만들 수가 있다.

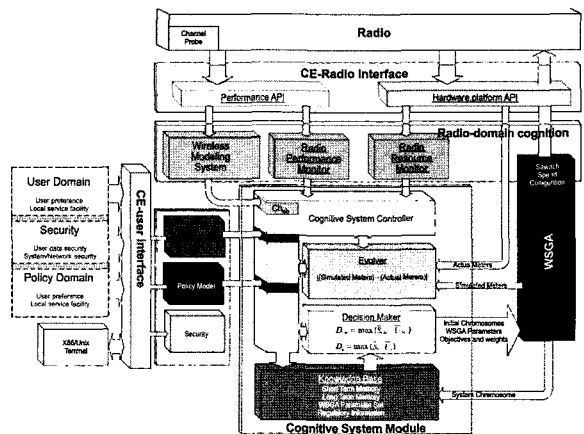
위의 (그림 9)는 최적화를 위한 chromosome을 나타내고 있으며 식 (6)은 그에 따르는 목적함수를 나타내고 있다.

$$f_{\max throughput} = \frac{\log_2 X1}{\log_2 X1_{\max}} \quad (6)$$

위의 같은 단일 목적함수를 다목적 함수의 최적화 문제로 변환하기 위해서 아래 식(7)과 같은 가중치-합의 형태의 최종 목적함수를 정의 하여 다목적 함수를 최적화 시킬 수 있다.

$$f(x) = \sum_{i=1}^M w_i f_i(x^{\sigma}) \quad (7)$$

이러한 유전알고리즘 기반의 Cognitive Radio engine은 현재 Virginia Tech.와 Kansas 대학에서 많은 부분 연구가 되어 있으며 그 외 다른 기관에서도 현재 많은 연구가 진행되고 있다. 아래의 (그림 10)은 Virginia Tech.에서 제작된 Cognitive engine의 개략적인 블록도를 나타내고 있다.[8]

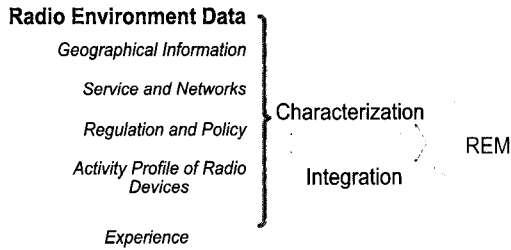


(그림 10) Virginia Tech의 GA 기반 Cognitive Radio 엔진

2. 데이터 베이스 기반의 Cognitive Radio Engine

Cognitive Radio가 상황인지를 하는 방법에는 스펙트럼 센싱을 통하여 하는 방법과 여러 종류의 데이터 베이스로부터 얻는 방법이 있다. 센싱 수신기를 이용하는 Cognitive Radio 자체의 주변 스펙트럼 센싱은 수신기의 감도 한계와 센싱 가능 거리 제한으로 인해 제한적인 정보만을 얻을 수 밖에 없다. 따라서 데이터 베이스를 활용하여 과거의 데이터를 기초로 앞으로의 데이터를 예측 할 수 있다.

REM(Radio Environment Map)은 Virginia Tech. 에서 개발된 Cognitive Radio를 위한 집적된 데이터 베이스를 말한다. REM의 핵심은 주파수 자원에 대한 지표(index) 및 디지털화(digitizing) 이다. 또한 (그림 11)과 같이 주파수 환경 특성을 묘사하여 적용하고 예측 하기 위한 효과적인 방법을 제공한다.[9]



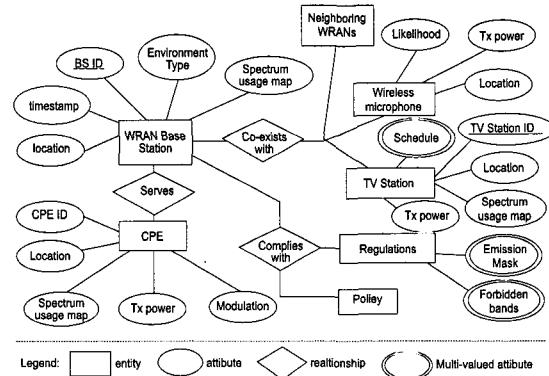
(그림 11) REM의 개요

CR 엔진은 환경에 관한 정보를 REM에서 부터 얻고 각각의 함수들을 결정한다.

즉 다시 말해 과거 또는 특정지역에서 최적화 되었던 파라미터들과 그 당시의 환경 데이터를 저장하여 현재의 상황과 유사도 비교를 통해 현재의 최적화된 파라미터를 도출 하는 형태로 볼 수 있다. 또한 앞으로의 최적화된 무선 상태를 예측하여 앞으로 할당 또는 변경해야 할 파라미터를 예측하는 것도 가능하다.

Virginia Tech의 경우 IEEE 802.22 WRAN에 대한 REM을 사용하여 네트워크 초기화, 효율적인 주파수 센싱, TPC, 우선 사용자인지 및 보호 등 거의 전분야에 걸쳐 이러한 REM을 사용한 Cognitive Radio 엔진을 구축하고 있다. 아래 (그림 12)는 IEEE 802.22에서의 REM에서 고려하는 각 항목별 관계를 도표로 그린 것이다.

이러한 데이터 베이스를 기본으로 한 시스템은 추후에 다른 시스템이나 기기와 연결되어 가상 주파수 환경 생성에도 사용될 수 있으며 DB 기술, 무선통신 및 networking 기술, 인공지능 분야도 잠재적으로 사용이 가능할 것으로 생각된다.



(그림 12) REM에서 고려하는 각 항목별 관계

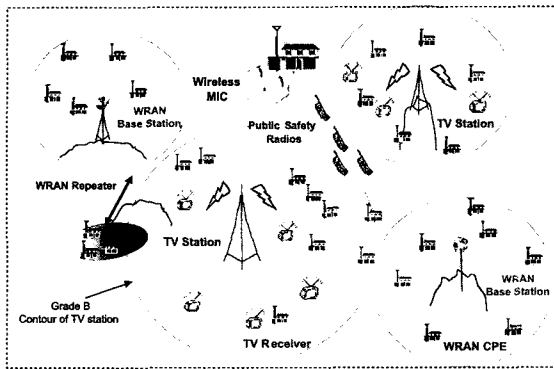
V. Cognitive Radio의 응용

1. IEEE 802.22 WRAN시스템

IEEE 802.22 WRAN(Wireless Regional Area Network)시스템은 미국, 캐나다, 브라질 등과 같이 광활한 지역에서 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 설립 되었다. IEEE 802.22는 Cognitive Radio를 실제 적용을 하기 위한 첫번째 시스템으로 2005년 1월부터 2005년 9월까지 기술 요구서를 작성하였고 2005년 11월에 제안서를 접수한 결과 총 9개의 제안서가 접수되었고 2006년 3월 하나의 표준안을 제시하였다. 802.22는 OFDMA를 기반으로 한 무선접속 기술에 스펙트럼 센싱 기술과 간섭회피를 위한 기술을 추가하였고 이를 위한 프로토콜을 제시하고 있다.

WRAN 시스템의 서비스 커버리지는 33km~100km 까지의 커버리지를 가지고 있으며 주파수 재사용 계수는 1을 Spectral efficiency는 0.5~3bps/Hz 를 목표로 하고 있고 하향

링크 1.5Mbps, 상향링크 384kbps 이상을 목표로 하고 있다.[10]



(그림 13) IEEE 802.22의 서비스 개요도

IEEE 802.22는 위에서 언급한 기본적인 스펙트럼 센싱 방식 외에도 다양한 스펙트럼 센싱 방식이 제안되고 있다. 한국의 ETRI에서 제시하고 있는 MRSS 방식과, I2R의 고유벡터를 사용한 방법, 필립스의 파일럿 에너지를 사용하는 검출 방식과 틸슨사에서 제안한 DTV 신호의 프레임 구조를 사용한 방법 등이 제안되어 있는 상태이다.[11]

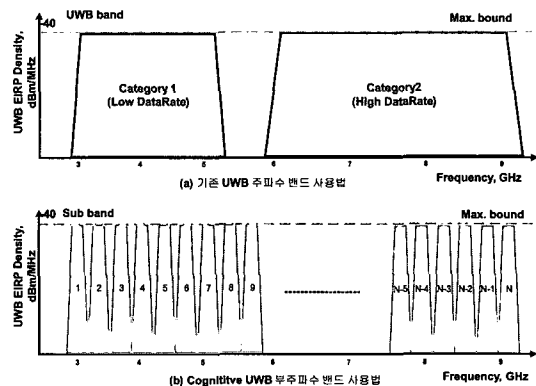
IEEE 802.22에서의 Cognitive Radio의 적용은 매우 기초적인 단계에서의 적용이지만 Cognitive Radio를 사용한 최초의 표준제정 노력이라는데 그 의의를 찾을 수 있다.

2. Cognitive UWB 시스템

주파수 자원을 공유하는 방법 중 다른 하나는 초광대역의 주파수 대역을 통해 전송하는 UWB(Ultra Wideband)기술이다. UWB는 넓은 대역폭에 매우 낮은 저 전력을 이용하므로 기존의 협대역 시스템과의 공유가 가능하다. 하지만 UWB는 넓은 주파수 대역을 점유하는 시스템의 특성상 기존의 협대역 시스템과의 간섭을 피할 수 없다. 낮은 전력의 주파수 방출은 기존의 주파수 자원을 할당 받은 사용자에게는 잡음으로 작용하고 협대역의 강한 신호는 UWB 시스템에 간섭으로 영향을 주어 성능저하를 야기 시킨다. UWB 펄스는 시간 측면에서 보면 강한 파워를 가지는 짧은 펄스 신호이므로 다른 시스템에 영향을 미치게 된다.

이와 같은 문제점은 채널 환경과 각기 다른 주파수 방

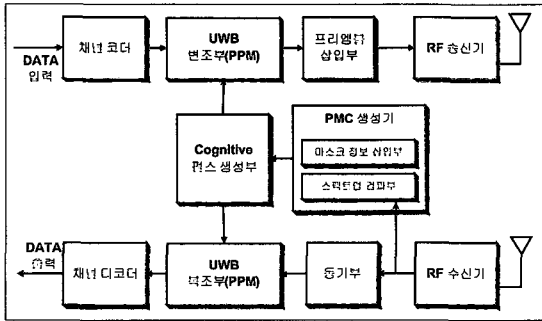
규정에 적응적인 시스템 개발을 요구한다. 아래 (그림 14)는 Cognitive UWB 기술의 주파수 공유방식을 설명해 주는 그림이다. (그림 14)의 (a)는 기존의 UWB 주파수 분할 방식으로 고속(High Rate) 저속(low Rate)과 같이 시스템의 특성에 따라 몇 개의 범주로 분할되어 각각 넓은 주파수 대역을 점유하고 있다. 이렇게 연속적으로 점유된 넓은 주파수 밴드는 1차 사용자들에게 간섭을 줄 뿐만 간섭을 받게 된다. (그림 14)의 (b)에서와 같이 Cognitive UWB 시스템은 기존의 사용 가능한 UWB 밴드를 여러 개의 부주파수 대역으로 분할한다. 이와 같이 분할된 주파수 중 마스크 규정을 만족하고 타 시스템의 간섭도 없는 부주파수를 조합하여 사용하면 다른 시스템의 간섭을 피하기 쉬워질 뿐만 아니라 상황에 따라서 더 넓은 주파수 대역을 사용할 수 있어 시스템의 성능을 향상 시킬 수 있다.



(그림 14) UWB 시스템의 주파수 대역의 분할 방식과 Cognitive UWB 시스템의 부주파수의 분할 방식

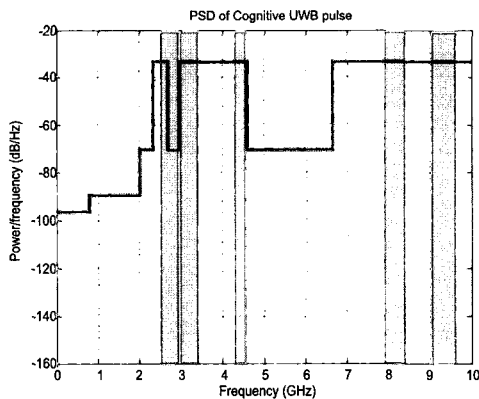
이와 같이 주파수의 효율적인 사용을 위하여 Cognitive UWB 시스템을 구성하였다. (그림 15)는 Cognitive UWB 시스템의 송수신기 블록도이다. 기존의 UWB 시스템에 마스크 규정과 채널 환경에 적응하는 시스템을 위해 마스크 정보 삽입부와 스펙트럼 검파기를 내장하고 있는 PMC 생성기를 삽입하였으며 Cognitive UWB 펄스 생성기를 추가 하였다. 마스크 정보 삽입부와 스펙트럼 검파기를 이용하여 주파수 규정과 채널 환경을 인지하고 Cognitive 펄스 생성기를 이용하여 이에 적합한 Cognitive UWB 펄스를 만든다. 이 펄스를 PPM 변복조에 사용하여 채널과 주파수 규정에 적응하

는 Cognitive UWB 시스템을 생성하게 된다.



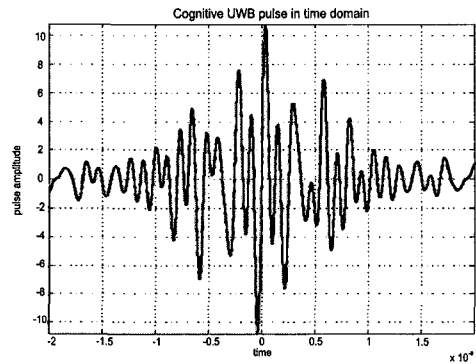
(그림 15) Cognitive UWB 시스템의 송수신기 블록도

다음은 예를 통하여 마스크 정보와 채널 정보를 이용하여 채널과 마스크 규격에 적응적인 UWB 펄스를 만드는 과정을 보인다. (그림 16)은 UWB mask와 다른 시스템의 사용 여부를 나타낸 주파수 스펙트럼을 나타낸 그림이다. Mask 정보는 PCS, 무선랜, WiBro, S-DMB, 2.4G ISM 밴드와 이동방송 중계기의 3.4~3.6GHz, 이동방송 중계기, 고정방송 중계기, 무선랜의 5.15~7.1GHz를 이미 사용함에 기존의 시스템에 영향을 안 미치도록 한 주파수 방출 규제 규정이다. 그리고 주파수 센싱을 통해 이미 다른 시스템이 3.2, 4.5, 5, 8.5 와 10GHz 근방에서 서로 다른 주파수 밴드와 주파수 대역 점유하며 서로 다른 파워로 간섭을 주고 있다.

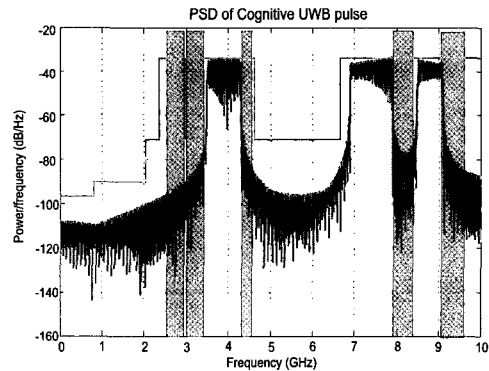


(그림 16) UWB 주파수 대역에서의 UWB 주파수 방사 규정 마스크와 타 시스템의 간섭

이와 같이 얻어진 Mask 정보와 채널 환경을 통해 Cognitive UWB 시스템을 이용하여 (그림 17 (a)) 같은 UWB 펄스를 생성하게 되고 다음과 같이 얻어진 펄스 또한 기존의 UWB 펄스의 특징을 가지게 된다. 이와 같이 Mask 정보와 채널상황을 고려한 펄스는 (그림 17 (b))와 같은 PSD를 가지게 된다. (그림 17)의 마스크 규정과 간섭의 위치를 비교하면 기존에 UWB mask를 따르며 기존의 다른 시스템 사용하는 주파수 대역을 Notch 시켜 기존에 사용하는 시스템에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.[12]



(a) 입성된 Cognitive UWB 신호



(b) 합성된 Cognitive UWB 펄스의 주파수 특성

(그림 17) Cognitive UWB 펄스와 주파수 특성

이와 같이 UWB 기술에 Cognitive Radio의 기술을 적용하여 채널 환경 및 주파수 정책의 정보를 이용하여 주변 환경에 적응적인 펄스를 생성하는 예를 보였다. 이와 같이 Cognitive Radio 시스템은 그 기술을 이용하여 기존에 존재하는 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 하나의 기술이 될 수 있다.

3. 기타 적용 가능 분야

위와 같이 현재 적용 연구가 진행되고 있는 부분 외에도 Cognitive Radio 기술은 다양한 부분에 적용이 가능하다.

[13]

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 보장되어야 하며, 비상통신은 음성, 영상 그리고 데이터를 포함하는 많은 양의 트래픽을 다루기 위해 상당한 양의 스펙트럼을 요구한다. Cognitive Radio는 통신 우선권과 응답 시간을 유지함에 의해 구조 기반시설이 없이 현존하는 스펙트럼의 사용이 가능 할 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 할당 된 주파수를 긴급 재난상황에 사용할 수 있도록 유연한 주파수 운용이 가능할 것이다.

Military Network : Cognitive Radio 네트워크의 가장 잠재적인 응용중의 하나는 군 전파 환경이다. Cognitive Radio 기술의 초창기 연구 대부분의 미국방성 산하의 DARPA에서 주로 이루어진 것도 이러한 이유 때문이다. 군 Cognitive Radio를 사용한 군 전파는 임의의 중간 주파수 대역, 변조기 설계, 코딩 등 다양한 전투상황의 전파환경에 대해 매우 적응적인 선택을 가능하게 한다. 또한 군 네트워크는 극한 상황에서의 통신의 보안과 보호에 대한 강력한 필요성을 갖는다. Cognitive Radio Network는 군인이 그들 자신과 동료를

위한 안전한 스펙트럼을 찾음으로 그 안전성을 보장할 수도 있다.

VI. 결 론

본고에서는 Cognitive Radio 기술의 구성과 현재 적용되고 있는 기술 및 앞으로 가능한 적용분야에 대해서 간략하게 알아 보았다. 앞에서 살펴본 바와 같이 Cognitive Radio 기술은 2000년에 처음 대두되어 아직 그 기술이 정형화 되지 않고 성숙되어 있지 않은 기술 분야 중 하나이다. 하지만 Cognitive Radio 기술은 무선 통신 시스템이 발전해 나아감에 따라서 겪게 되는 스펙트럼 자원 부족현상과 최적화된 통신 상태를 제공해 주기 위한 하나의 기술로 현재 각광 받고 있다. 또한 앞으로의 유비쿼터스 통신 시대를 위해서는 주변을 인지하고 인지된 상황에 적응하여 통신을 하는 기술 등은 그 유연성 등을 들어 볼 때 꼭 필요한 기술이라고 할 수 있다. 따라서 지속적인 기술개발 및 연구를 통해서 앞으로의 유비쿼터스 사회를 위해서 조속히 대비하여야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 이명걸, 송정익, 손성환, 김재명, "Cognitive Radio 시스템에서 이웃 셀 Incumbent User 인지를 통한 효율적인 주파수 활용 방안" 한국통신학회 논문지 vol.32, No1, 2007
- [2] J.Mitola, "Cognitive Radio: An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio", Ph.D thesis, Royal Institute of Technology(KTH) and Sweden
- [3] Matteo Gandetto, Carlo Regazzoni, "Spectrum Sensing : A Distributed Approach for Cognitive Radio Terminals", IEEE Journal on Selected Areas In Communications, Vol 25, No3, April 2007
- [4] D.Cabric, S.Mishra, and R. Brodersen, "Implementation

- issues in spectrum sensing for cognitive radios”, in Proc. Asilomar Conf. On Signals, Systems and Computers, vol. 1, Nov. 2004, pp.772-776
- [5] Sung Hwan Sohn, Ning Han, Jae Mounng Kim, Jae Wan Kim, “OFDM Signal Sensing Method Based on Cyclostationary Detection”, Crowncom 2007, July,31, August 1-3, 2007, Orlando, Florida, U.S.A
- [6] Ning Han, Sung Hwan Shon, Jong Ok Joo, Jae-Moung Kim “Spectrum Sensing Method for Increasing the Spectrum Efficiency in Wireless Sensor Network”, Ubiquitous Computing Systems LNCS 4239, 2006, pp. 478-488
- [7] Bruce Fette, “Cognitive Radio Technology”, Newnes is an imprint of Elsevier, 2006, pp219~263
- [8] T.W. Rondeau, B.Le, C.J. Rieser, and C.W. Bostian, “Cognitive Radios with Genetic Algorithms; Intelligent Control of Software Defined Radios,” Software Defined Radio Forum, Phoenix, AZ, Nov. 15-18, 2004
- [9] Youping Zhao et al. “Development of Radio Environment Map Enabled Case- and Knowledge-Based Learning Algorithms for IEEE 802.22 WRAN Cognitive Engines” to appear in Proc. of the 2nd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications (CrownCom), August, 2007
- [10] Carl R. Stevenson, Eli Sofer Gerald Chouimard “IEEE P802.22/D0.1 Draft Standard for Wireless Regional Area Network” May, 2006
- [11] Soo-Young Chang, “Analysis of Proposed Sensing Schemes - IEEE 802.22-06/0032r1”, March, 2006
- [12] 황재호, 손성환, 최규진, 김재명 “Cognitive UWB System을 이용한 효율적인 주파수 공유” 한국통신학회 추계학술대회, 2006년 11월
- [13] Ian F Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, Shantidev Mohanty “Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey” Elsevier Computer network, 2006 pp.2127~2159



김재명

1974년 한양대학교 공학학사
 1981년 미국 남가주대학교(USC) 공학석사
 1987년 연세대학교 공학박사
 1974년 - 1979년 한국과학기술 연구소, 한국통신기술연구소 근무
 1982년 - 2003년 한국전자통신 연구원 위성통신연구단장/무선방송연구소 소장 역임
 2003년 - 현재 인하대학교 정보통신대학원 원장(교수), 통신위성 우주산업연구회 회장 외 다수 기술자문으로 활동 중
 관심분야: 광대역 무선전송, 차세대 이동통신 및 위성통신, Cognitive Radio/UWB 기술

