

유전자 알고리즘이 적용된 USRP 2를 이용한 인지무선 시스템 구현

용슬바로*, 장성진*, 이인선* 정희원, 김재명* 종신회원

Implementation of Cognitive Radio System with Genetic Algorithm Using USRP 2

Seulbaro Yong*, Sungjeen Jang*, Insun Lee*, *Regular Members*
Jaemoung Kim*, *Lifelong Member*

요 약

현재의 주파수 분배상황을 살펴보면 대부분의 주파수 대역이 고정 할당되어 있으며 특히 무선통신 환경에 가장 적합한 저주파 대역은 거의 사용할 여지가 없다. 이에 인지무선 기술은 무선통신환경에서 주파수 부족 문제를 해결하고 주파수 활용도를 높이기 위한 중요한 기술로 대두되고 있다. 본 논문에서는 SDR (Software Define Radio) 플랫폼인 USRP (Universal Software Radio Peripheral) 보드와 SDR 개발 툴킷인 GNU Radio를 이용하여 실제 인지무선(Cognitive Radio : CR) 시스템에서 데이터를 송, 수신하였다. 구체적으로 스펙트럼 센싱 기술을 이용하여 먼저 사용자의 주파수 사용 여부를 감지하여 이 정보를 데이터베이스로 넘겨준다. 정보를 넘겨받은 데이터베이스에서는 유전자 알고리즘을 이용하여 최적의 송신전력과 대역폭, 채널 정보를 인지무선 기기에 보내어 주어 인지무선 기기가 먼저 사용자에게 아무런 간섭을 주지 않고 데이터 통신을 할 수 있도록 하였다.

Key Words : TV White Space, Cognitive Radio, Genetic Algorithm, GNU Radio, USRP 2

ABSTRACT

Currently, most of the frequency spectrum resources are allocated and due to the lack of frequency, low frequency band, optimal for wireless communication environment is not used. Therefore, Cognitive Radio (CR) is a critical issue to solve the spectrum scarcity and to improve frequency spectrum utilization in wireless communication. In this paper, we implement data transmission and receive in a real CR system using the USRP(Universal Software Radio Peripheral) board and GNU Radio package of an open source development kit. Concretely, we detect the Primary User by spectrum sensing, and then we send Primary User information to the database. After receiving the information, because the database already sent optimal transmit power, bandwidth and channel information to CR equipment, CR can communicate without any interference to Primary User.

I. 서론

현재의 무선서비스는 수요가 급증하고 있으며 정보통신 기술이 발전함에 따라 주파수 자원의 수요는 점점 증가하는 추세를 보이고 있다. 이에 따라 더 좋은 성능의 통신시스템과 높은 데이터 전송률에 대한 요구가 점차 높아지고 있다. 그에 따라 사용할 수 있는 주파수 대역은 점차 부족한 상황이 되고 있으며 특히, 3GHz 이하의 주파수 대역은 이미 포화

상태에 이르렀다.

이에 따라 주파수를 보다 효율적이고 체계적으로 사용할 수 있는 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중 주파수 공유기술인 CR기술이 각광받고 있으며 이에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다. CR기술은 주파수를 할당받은 먼저 사용자가 해당 주파수를 사용하지 않을 경우, 비먼허 사용자가 먼저사용자에게 간섭을 주지 않고 해당 주파수를 사용할 수 있는 기술로써 제한된 주파수 자원을 효율적으로 활용하

※ 본 연구는 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2010-0008000)

*인하대학교 정보통신공학과 무선전송연구실 (baro@inha.edu, sungjeen_jang@inha.edu, insun@inha.edu, jaekim@inha.ac.kr)

접수일자 : 2012년 3월 16일, 수정완료일자: 2012년 4월 1일, 최종 게재확정일자 : 2012년 6월 19일

기 위해 제안된 기술이다. FCC는 TV 대역에 대한 비면허 사용자의 접근을 검토 중이며, 현재 제한적으로 DTV대역에 대해 무선마이크의 사용을 허락하고 있다. 또한 IEEE는 IEEE 802.22 working group을 구성하였으며 각국의 주요기관들 역시 인지 무선 통신 및 주파수 재배치에 따른 기술기준을 구축하기 위해 연구 중이다.[1][2]

현재의 대부분의 통신시스템 개발은 이론적인 모델에서 출발하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서만 분석된다. 그러나 실제 시스템으로의 구현 시에 복잡도 및 실제 채널에서 고려되어야 할 부분들이 대부분 가정으로 여겨지거나 생략되어진다. 그러나 최근 CR기술이 미국에서 상용화되기 시작하면서 하드웨어 플랫폼으로 구현된 연구결과들이 많이 등장하고 있다.[3][4] 대표적으로 많이 사용되고 있는 플랫폼으로는 GNU Radio 기반의 Universal Software Radio Peripheral (USRP)가 있다. 오픈소스로 제공되는 USRP는 이론적인 모델을 실제 환경 조건으로 쉽게 구현할 수 있도록 도와준다. 본 논문의 구성은 I 장 서론에 이어서, II장에서는 FCC에서 규정한 면허사용자 보호정책에 대해 소개하고 III장에서는 테스트베드를 구축하기위한 시스템 구성 요소들을 알아본다. IV장에서 테스트베드의 시스템 구성을 살펴보고 V장에서 시스템의 성능을 확인하며, 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. FCC 규정에 포함된 면허 사용자 보호정책

FCC에서 발표한 Second MO&O[5]에 따르면 그림1에서와 같이 ModeII(마스터 모드)방식 개인/휴대형 TV band device(TVBD)는 자신의 위치에 관한 정보를 TV White Space Database(WSDB)에 제공하고, WSDB에서 제공한 해당 위치에서의 가용 TV채널정보를 이용한 비면허방식 서비스를 이용하며, 이를 위하여 인터넷 혹은 다른 방법을 통하여 WSDB에 접속 가능하여야 한다. 슬레이브(slave)모드로 운용되는 Mode I 방식 개인/휴대형 TVBD는 고정형 혹은 ModeII방식 TVBD 기기를 경유하여 가용한 채널에 대한 정보를 획득하여 사용한다.[6]

FCC R&O 10-174에서는 면허 사용자의 보호를 위해 TV와 무선 마이크로폰 신호의 경우 데이터베이스(Database : DB)를 이용하도록 규정하고 있으나 DB에 접속할 수 없는 경우이거나 비면허 사용자 신호에 대해서는 스펙트럼 센싱을 통해 채널 점유 상황을 판단해야 한다. 따라서 스펙트럼 센싱은 면허 사용자의 간섭 방지와 이기종 시스템과의 공존 그리고 최적 통신 채널 선택을 위해 사용된다.[6]

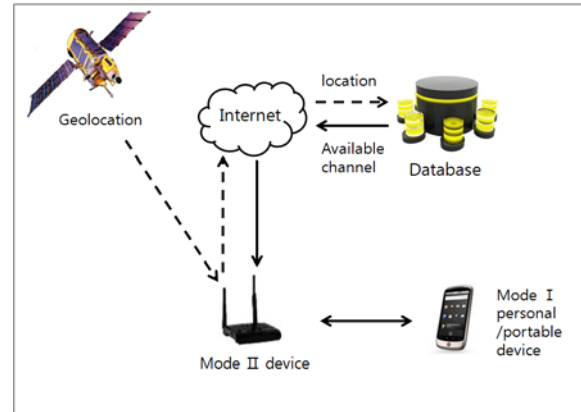


그림 1. Geolocation DB 및 Mode I, II

1. TV Bands Database

WSDB는 geolocation 및 DB 결합방식과 스펙트럼 센싱 방식 등을 사용하여 간섭회피 및 간섭보호 방법을 사용하여 필요할 경우 TVBD에게 특정 위치에서 사용 가능한 유휴 채널 목록을 제공하여 주며 고정형 TVBD의 식별정보와 위치를 등록하는 기능을 수행한다. 또한 FCC의 DB 또는 FCC의 면허 DB에 등록되지 않은 것으로부터 보호 받아야 할 대상의 정보를 유지 제공해 준다.

FCC는 하나 혹은 복수의 주체를 WSDB 운용 사업자로 지정할 수 있으며 지정된 각 사업자의 의무를 다음과 같이 정의하였다.

- (1) FCC DB 내/외 정보 및 TVBD 등록 DB에서 관리할 정보를 저장하는 DB의 유지.
- (2) 신규 및 변경된 면허 사항을 포함 최소 1주일에 1번 이상은 FCC DB의 관련정보를 갱신하고 복수의 DB 정보를 동기화하는데 필요한 절차를 수립하고 유지.
- (3) 케이블 헤드엔드와 TV 중계기 수신 사이트를 포함하여 FCC DB에 포함되어 있지 않지만 보호되어야 할 장치와 고정형 TVBD의 등록과 유지에 필요한 절차를 수립.
- (4) 정기적으로 사용되는 part 74에서 규정된 소출력 보조 기기의 등록에 관한 절차 수립.
- (5) 5년 기한으로 서비스를 제공하며, FCC 혹은 다른 기관에서 요구 시 적절한 시한 내에 부정확한 DB를 검증, 수정하거나 삭제.
- (6) 다른 기관으로 WSDB관리 임무를 이관할 경우, 등록된 고정형 TVBD의 정보와 이를 접속할 수 있는 DB의 IP주소와 URL을 인계할 것.

2. Mode I 및 Mode II 방식 개인/휴대형 기기

- (1) Mode I 방식 개인/휴대형 기기 : Mode I 디바이스는 내부에 geolocation 정보를 사용하지 않으며 이 디

바이스는 고정형 TVBD나 Mode II 방식 개인/휴대형 기기 TVBD를 통하여 채널정보를 가져온다.

- (2) Mode II 방식 개인/휴대형 기기 : Mode II 방식 개인/휴대형 기기는 geolocation 능력을 사용하며 직/간접적으로 인터넷에 연결하여 사용 가능한 채널 정보를 얻어온다. 이 디바이스는 채널을 스스로 선택하며 TVBD 네트워크의 일부로 작동한다.

3. 스펙트럼 센싱

모든 TVBD는 다음의 임계값에서 검출이 가능해야 한다.

- ATSC 디지털 TV 신호 : -114 dBm (6 Mhz 대역 평균)
- NTSC 아날로그 TV 신호 : -114 dBm (100 kHz 대역 평균)
- 무선 마이크 신호 : -114 dBm (200 kHz 대역 평균)

위에 나타난 검출 임계값들은 이득이 0 dBi 인 전방위 센싱 안테나를 사용하여 나타낸 값이다. 특정 각도에서 최소 이득이 이보다 큰 값을 갖는 안테나 사용 시 그 차이 값만큼 검출 임계값이 감소하게 된다.[5]

III. Test-bed 구축을 위한 시스템 구성 요소

1. GNU Radio

GNU Radio는 시스템이 동작하는 도중에도 시스템이 처한 환경에 따라 능동적으로 파라미터 값을 바꾸며 동작할 수 있는 유연성을 제공하는 Software Define Radio(SDR) 도구이다. 신호처리블록 라이브러리는 오픈 소스로 제공되어 사용자가 간단하게 블록들을 연결시켜 사용할 수 있다. GNU Radio는 기본적인 신호처리 블록 라이브러리를 제공하기 때문에 사용자는 기호에 따라 블록들을 연결하여 시스템을 구성할 수 있다. GNU Radio의 구성 요소들은 다음의 그림2와 같다.

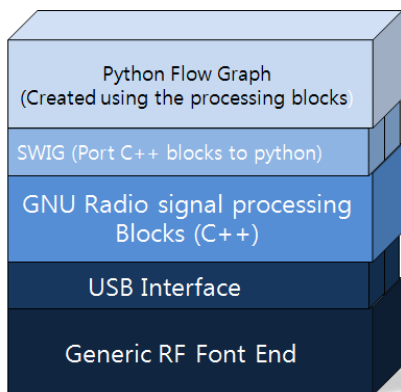


그림 2. GNU Radio 구성요소 블록다이어그램

신호처리 블록들은 C++로 실행되도록 되어 있으며 이 블록들은 입력포트에서 출력포트로 흐르는 데이터들을 처리하여 준다.[7] Generic RF Front End와 ADC/DAC와 같은 다른 하드웨어 요소들을 사용하여 GNU Radio 코드가 그림3에서 보여주는 라디오 기능을 수행한다.

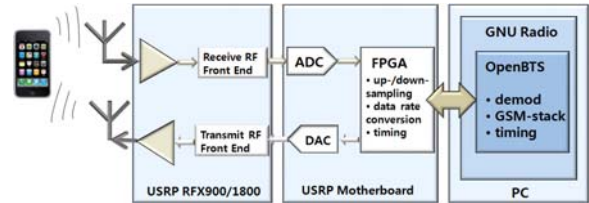


그림 3. 송/수신 구조

2. GNU Radio Companion(GRC)

GNU Radio 프로그램은 초보자들도 쉽게 사용할 수 있도록 그래픽적인 인터페이스를 사용할 수 있도록 만들어졌다. 이 GUI를 GNU Radio Companion(GRC)라 부른다. GRC는 Simulink와 비슷한 방식의 신호 블록을 사용하며 이 블록들은 GNU Radio 라이브러리에서 사용되는 기능들이 포함되어 있다. GRC의 구성요소들은 다음과 같다.

- 흐름선도 : 흐름선도는 각 신호처리 블록들을 상호간에 접속을 할 수 있도록 도와준다.
- 신호블록 : 신호블록은 필터, 가산기, 소스, 싱크 등과 같은 동작을 수행하며 흐름선도로 연결되어 있는 모든 프로세싱을 수행해준다.
- 파라미터 : 파라미터는 신호블록들의 기능을 결정짓는 역할을 한다. 예를 들어 파라미터들은 샘플 주파수, 개인 등의 값을 결정한다.
- 소켓 : 소켓은 신호블록의 입/출력을 나타낸다.
- 연결부분 : 연결부분은 소켓의 입력과 출력들을 연결하는 기능을 한다.
- 변수 : 변수는 흐름선도에서 사용되는 값들이다. 이 변수는 모든 파라미터들이 같은 값을 공유하고 있을 경우 효율적으로 사용될 수 있다.[7]

3. USRP

USRP 보드는 GNU Radio를 말하는데 있어서는 빠질 수 없는 중요한 하드웨어 요소이다. 기본적으로 USRP는 AD/DA, RF front end와 입력신호의 전처리를 수행하는 FPGA로 구성되어 있으며 USRP 보드는 1개의 마더(mother)보드와 4개의 도터(daughter)보드로 구성되어 있다. 다음 그림4는 USRP 보드의 모습이고 그림5은 USRP 보드의 구조이다. 마더보드에는 DC 파워 입력과 USB 2.0 인터페이스로 구성되어 있으며 도터보드는 2개의 Tx 및 Rx로 구성되어 있다. 마더보드에는 고성능의 12비트짜리 AD Converter(ADC)

가 4개가 있다. 샘플링 주파수는 초당 64M 샘플로서 32MHz의 대역폭까지 샘플링 할 수 있다. 150MHz까지 밴드폭 샘플링이 가능하나 높은 주파수에 의한 jitter에 의해 SNR이 감소하는 것을 우려하여 대개는 100MHz를 허용범위로 정한다.

Tx 단에는 고성능의 14비트짜리 DAC가 4개 있다. 이 DAC 클럭 주파수는 128MS/s이고 나이퀴스트 주파수는 64MHz이다. 하지만 일반적으로 약 50MHz 이하에서 사용한다. 따라서 USRP 보드를 이용하는데 유용한 출력 주파수 범위는 DC값에서부터 약 50MHz정도까지이다.

도터보드에는 RF 수신기 인터페이스 및 튜너와 RF 송신기가 포함되어 있다. 각 도터보드 슬랏은 4개의 ADC/DAC에 접속되어 있다. ADC/DAC가 실수 값을 샘플링 하여 사용하는 경우에는 4개의 채널을 가질 수 있고, 복소 I/Q 샘플링을 사용하게 되면 2개의 채널을 갖게 된다. 각각의 도터보드에는 SMA 커넥터가 있어 입출력 신호가 연결된다.

그림5에서와 같이 모든 ADC와 DAC는 FPGA에 연결되어 사용된다. 이렇듯 FPGA는 GNU Radio 시스템에서 가장 중요한 역할을 맡고 있다. 기본적으로 FPGA는 보드가 높은 대역폭에서 작동할 수 있도록 도와주며 데이터 율을 감소시켜 사용자가 USB 2.0에서 장비를 정상적으로 사용할 수 있도록 도와준다.[7][8]

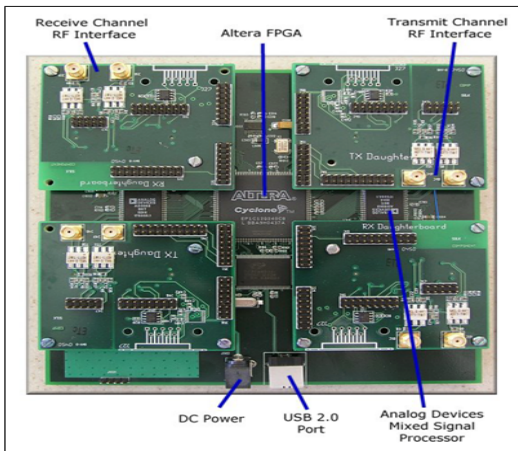


그림 4. USRP 보드

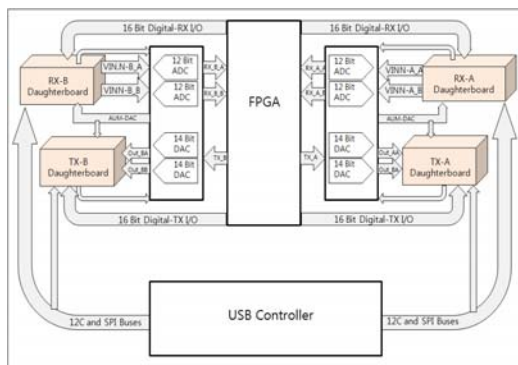


그림 5. USRP 보드 구성요소

IV. Test-bed 시스템 구성

본 연구실에서는 스펙트럼 센싱 및 유전자 알고리즘을 적용하여 GNU Radio 및 USRP를 이용한 Test-bed를 구축하였다. Test-bed의 시스템 시나리오는 그림5와 같다. 이 시나리오에서와 같이 2명의 면허 사용자가 그림6과 같이 중심 주파수가 2.443GHz ~ 2.485GHz인 8개의 채널 중 각각 한 채널씩을 점유하여 사용하도록 하였다. DB에서는 특정 시간마다 에너지 검출과 cyclostationary 센싱 기법을 사용하여 면허 사용자에게 의해 점유된 채널을 검출하여 DB에 등록되어 있는 CR기기에 면허 사용자 정보(송신전력, 대역폭, 채널)를 제공하여 준다. 만일 그림6과 같이 CR유저가 사용 중인 채널에 면허 사용자가 점유하여 들어오게 되면 DB에서 센싱을 통하여 면허 사용자를 감지하여 CR기기에 새로운 채널 정보를 넘겨준다. 채널정보를 받은 CR 기기들은 면허 사용자에게 간섭을 주지 않도록 다른 채널을 옮겨가며 통신을 한다. 이때 DB에서는 유전자 알고리즘 기법을 이용하여 최적의 채널 값을 도출하여 CR기기에 제공해 주도록 하였다.

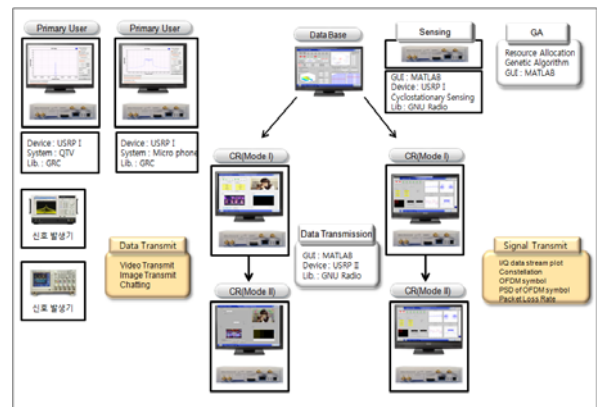


그림 6. 시스템 구조

중심 주파수							
2.443GHz	2.449GHz	2.455GHz	2.461GHz	2.467GHz	2.473GHz	2.479GHz	2.485GHz
PU1			PU2	PU3	SU1	SU2	

그림 7. 면허 사용자 및 CR 유저의 주파수 할당 모습

1. 스펙트럼 센싱

CR 기술은 주변 무선 환경에 관한 정보들을 스스로 인지하여 이미 할당되어 있는 스펙트럼을 효율적으로 사용하는 기술이다. 이 CR 기술에서 핵심이 되는 기술 중 하나인 스펙트럼 센싱은 주파수 스펙트럼 환경을 검출하여 주파수 사용 현황을 감지할 수 있도록 해주는 기술이다. CR 센서가 장착된 비면허 사용자는 지속적으로 주변 환경을 인식하여 변화하는 상황에 따라 시스템을 적절하게 적용하도록 도와준다. 이 스펙트럼 센싱은 그림8과 같이 나눌 수 있다.

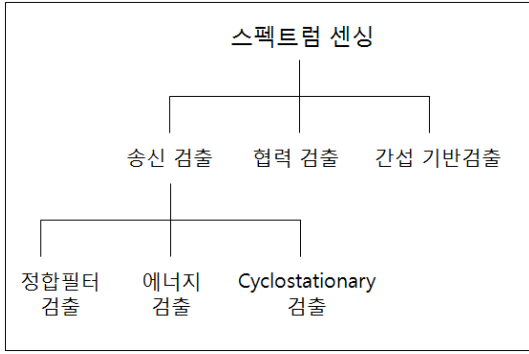


그림 8. 스펙트럼 센싱 기술 분류

- 송신 검출 : CR은 면허 사용자가 주파수를 사용하고 있는지 없는지를 판단할 수 있어야 한다. 송신 검출 방식은 CR 유저의 국부적 센싱을 통하여 약한 면허 사용자 신호를 검출하는 방식으로 기본적으로 송신 검출 방식은 다음과 같이 정의된다.

$$x(t) = \begin{cases} n(t) & H_0 \\ hs(t) + n(t) & H_1 \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)에서 $x(t)$ 는 CR 유저가 수신 받은 신호이고, $s(t)$ 는 면허 사용자에서 송신된 신호이다. $n(t)$ 는 AWGN을 의미하며 h 는 면허 사용자와 CR 유저사이의 채널 이득을 의미한다. 여기서 H_0 는 면허 사용자가 주파수를 사용하지 않는 유휴상태를 나타내고, H_1 은 면허 사용자가 주파수를 사용 중임을 나타낸다. 이러한 송신 검출 방식에는 정합 필터 검출, 에너지 검출, cyclostationary 검출 방식이 있다.

정합 필터 검출 방식은 면허 사용자 정보(면허 사용자의 변조형태 펄스 모양, 패킷 형태 등)를 알고 있을 때 사용하는 방식으로 변하지 않는 가우시안 잡음에서 최적 검출기는 수신된 신호 대 잡음비(SNR)을 최대화 하는 방식이다. 이 정합 필터 검출방식은 면허 사용자의 정보가 정확하지 않으면 성능이 크게 떨어질 수 있다는 단점을 가지고 있다.

만일 수신 단에서 면허 사용자 신호의 정확한 정보를 가지고 있지 않다면, 예를 들어 수신 단에서 가우시안 잡음과 위 정보만 알고 있다고 한다면 에너지 검출 방식을 사용해야 한다. 페이딩이 없는 환경에서의 검출 확률과 오 경보 확률은 다음과 같다.

검출 확률

$$P_d = P\{Y > \lambda | H_1\} = Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) \quad (2)$$

오 경보 확률

$$P_f = \{Y > \lambda | H_0\} = \frac{\Gamma(m, \lambda/2)}{\Gamma(m)} \quad (3)$$

여기서 $\Gamma(\cdot)$ 와 $\Gamma(\cdot, \cdot)$ 는 complete 와 incomplete 감마 함수를 각각 의미하며 $Q_m(\cdot, \cdot)$ 는 일반화된 Marcum Q함수를 의미한다. 그리고 시간-대역폭 곱인 TW를 정수 m이라고 둔다. 위 함수로부터 낮은 P_d 는 면허 사용자 신호의 존재를 놓치게 되어 면허 사용자에게 간섭으로 작용하게 될 확률이 높아지게 되고, 높은 P_f 은 면허 사용자의 신호에 대한 오경보로 인해 사용 가능한 채널을 놓치게 되는 경우가 많아져 낮은 스펙트럼 이용의 결과를 낳게 된다. 음영(shadowing)과 다중 경로 페이딩에 대해 고려한 식은 다음과 같다.

$$P_d = \int_x Q_m(\sqrt{2\gamma}, \sqrt{\lambda}) f_r(x) dx \quad (4)$$

($f_r(x)$): 페이딩 상황에서 SNR의 확률밀도 함수)

Cyclostationary 검출 방식은 주파수 영역에서 각 면허 사용자의 구별되는 특성을 이용하여 검출하는 방식이다. 변조된 신호는 일반적으로 사인과 반송파, 펄스열, 반복 확산, 호핑 시퀀스, 또는 주기적 전치부호(cyclic prefix)등에 따라 주기적인 신호를 가지고 있다. 이러한 변조된 신호들은 평균과 자기상관함수에 의해 주기적인 특성을 가지게 된다. 이러한 특성들은 스펙트럼 상관 함수(spectrum correlation function)에 의해 검출되게 된다. 일반적으로 주기 T를 갖는 임의의 신호는 수식 (5)와 같이 정의 될 수 있으며 그 신호의 자기상관은 수식 (6)과 같이 정의 될 수 있다.

$$m_x(t+T) = m_x(t) \quad (5)$$

$$R_x\left(t+T+\frac{T}{2}, t+T-\frac{T}{2}\right) = R_x\left(t+\frac{T}{2}, t-\frac{T}{2}\right) \quad (6)$$

위의 수식을 사용하여 스펙트럼 상관 함수는 수식 (7)과 같이 정의 할 수 있다. 스펙트럼 상관함수는 2개의 주파수 ($f+\alpha/2$)와 ($f-\alpha/2$) 길이 Δt 에서의 상관도로 정의할 수 있다.

$$S_{xT}^\alpha(f)\Delta t = \frac{1}{\Delta t} \int_{\Delta t/2}^{\Delta t/2} \frac{1}{\sqrt{T}} X_T(t, f+\alpha/2) \cdot \frac{1}{\sqrt{T}} X_T^*(t, f-\alpha/2) dt \quad (7)$$

여기서 $[t-T/2, t+T/2]$ 에서의 신호 $x(t)$ 의 스펙트럼은 수식 (8)로 나타낼 수 있다.

$$X_T(t, \nu) = \int_{t-T/2}^{t+T/2} x(u) e^{-j2\pi\nu u} dt \quad (8)$$

이 검출방식의 장점으로는 잡음에 대해 비교적 강한 특성

을 가지고 있다는 것이다. 잡음의 경우에는 주파수 영역에서 그 상관도가 낮아 검출이 제대로 되지 않는 반면에 주기를 가지고 있는 신호의 경우에는 주파수 영역에서 그 신호의 상관 정도가 크게 나타나기 때문에 검출이 제대로 일어 날 수 있다. 또한 cyclostationary 검출 방식의 경우 신호마다 각각 다른 주기성으로 인해 그 순환주파수 역시 다르게 나타날 수 있다. 이러한 특징으로 인해 신호의 종류에 따라 신호를 검출 할 수 있는 특징을 가지게 된다.[2]

- 협력 검출 : 앞선 송신 검출 방식의 경우에는 건물이나 주변 지형의 영향으로 페이딩이나 음영에 영향을 받아 신호 검출이 효율적으로 이루어지지 않을 수 있다. 협력 센싱은 N 개의 CR 유저로부터 먼저 사용자의 정보를 수집하여 먼저 사용자의 주파수 점유 유/무를 결정하므로 더 정확한 검출을 실행 할 수 있다. 이론적으로 협력 검출 방식은 잡음에 대한 열화와 페이딩 또는 음영에 의한 영향을 최소화 시킬 수 있으므로 보다 정확하지만 이와 같은 검출 방식은 신뢰할 수 없는 노드들의 정보를 같이 공유하여 오히려 그 성능을 열화 시킬 가능성이 존재하고 있다.[9]

2. 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연세계의 진화과정을 모방하여 복잡한 현실세계의 문제를 해결하고자 하는 진화 알고리즘으로 이동 통신 분야에서 유전자 알고리즘은 통신 변수들 사이에서 발생하는 trade-off 관계를 해결하고 최적의 통신 자원을 할당 하는 분야에서 이용되고 있다.[10] 유전자 알고리즘을 이용한 문제 해결을 위해 먼저 개체군을 정의하여 준다. 개체군은 염색체들의 집합으로써 최적해 후보가 되는 다양한 변수들의 정보를 가지고 있다. 유전자 알고리즘을 시스템에 적용시키기 위해 각 염색체들은 그림9와 같이 이진수로 표현하여 주었다. 이러한 염색체들은 후에 선택, 교배, 돌연변이 과정을 수행하도록 한다. 초기의 개체군에서 선택과정을 통해 적합도 함수가 높은 염색체들이 선택되고 이 염색체들은 교배 및 돌연변이 과정을 걸치게 된다. N개의 세대수동안 이와 같은 과정을 반복함으로써 최적해를 찾게 된다.

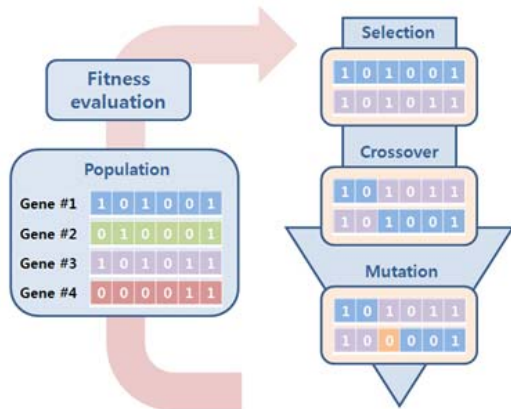


그림 9. 유전자 알고리즘 구성 요소

3. 데이터베이스

3.1 스펙트럼 센싱

DB에는 2대의 CR기기에 대한 임의의 FCC ID, Serial number, geolocation 정보를 각각 저장하였다. geolocation 정보는 다음 그림 10과 같이 10개의 CR기기를 임의로 가정해 주었다. 여기서 두 개의 빨간점이 우리가 사용하는 USRP CR 기기로서 서로 인접하게 위치해 주었다.

DB에서는 에너지 검출과 cyclostationary 센싱을 이용하여 먼저 사용자 신호를 감지하고 유전자 알고리즘을 이용하여 사용 가능한 최적의 채널 정보를 CR기기에 제공하여 CR 기기가 먼저 사용자에 간섭을 주지 않고 사용할 수 있도록 도와준다.

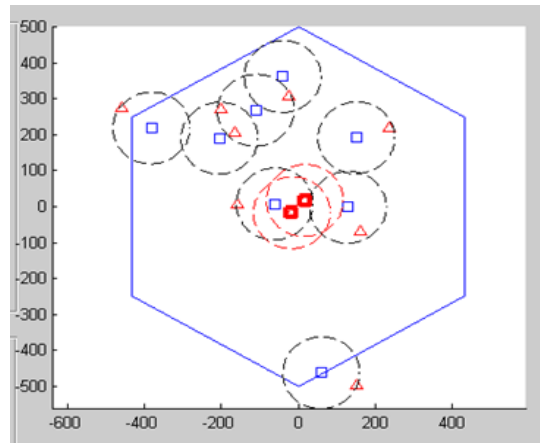


그림 10. geolocation 정보

3.2 유전자 알고리즘

DB에서 적용된 유전자 알고리즘을 실행하기 위해 먼저 CR 시스템에 적합한 유전자 알고리즘 파라미터들을 정의하여 준다. 이 파라미터 값들은 다음 표1과 같이 정의된다.

표 1. 유전자 알고리즘을 위한 파라미터

파라미터	Value		
개체수	200		
생존확률	60%		
변위확률	10%		
유전자선택법	순위 선택법		
염색체	송신전력	대역폭	채널
적합도함수	SINR		채널용량

유전자는 각각의 송신전력, 대역폭, 채널로 할당 해 주었으며 이 유전자들의 합을 염색체로 설정해 주었다. 최적해를 찾기 위한 적합도 함수를 정의하여 유전자 알고리즘에 적용시켰으며 적합도 함수는 식 (9)와 같다.

$$SINR = \frac{S}{I + N}$$

$$= 10 \log_{10} \left(\frac{P_{PU} d^{-\alpha_{PU}} 10^{\frac{\zeta_{PU}}{10}}}{P_{CR} d^{-\alpha_{CR}} 10^{\frac{\zeta_{CR}}{10}} + \sigma_{PU}^2} \right) \quad (9)$$

P_{PU} 와 P_{CR} 은 각각 면허 사용자와 CR 유저의 송신 전력을 나타내며 $d^{-\alpha_{PU}}$ 는 면허 사용자와 수신기 사이의 거리, $d^{-\alpha_{CR}}$ 은 CR 유저와 면허 사용자 사이의 거리를 나타낸다. ζ_{PU} 와 ζ_{CR} 는 각각 면허 사용자와 CR 유저의 음영에 의한 감쇄성분을 나타낸다. α_{PU} 와 α_{CR} 은 면허 사용자와 CR 유저 시스템의 경로 손실 지수($2 < \alpha < 4$)를 나타내며 α_{PU}^2 는 면허 사용자 수신기의 잡음전력을 나타낸다. 즉, CR 시스템과 면허 사용자의 거리 $d^{-\alpha_{CR}}$ 에 따른 P_{CR} 의 전력 제어를 통해 면허 사용자에게 성능 열화를 끼치지 않을 정도의 SINR을 보장하면서, 동시에 CR 유저에게는 전송 효율을 향상시킬 수 있는 전력 상승이 가능하다. 채널용량 값은 식 (10)과 같이 구해지며 이 식에서 W는 대역폭을 나타낸다.

$$C = W \log_2(1 + SINR) \quad (10)$$

위와 같이 초기 파라미터들을 설정해 준 후 순위 선택법을 이용하여 적합도 값이 높은 상위 60%의 염색체를 선택하여 준다. 여기서 선택받지 못한 나머지 염색체들은 도태되어 사라지며 다음세대에서 도태된 염색체 수만큼 염색체가 다시 생성되어 염색체가 일정한 수를 유지하도록 하였다. 선택된 염색체들에 교배 포인트를 랜덤하게 설정해 주어 각각의 염색체들이 교배하여 새로운 자식 염색체들이 생성되도록 도와준다. 교배 후 10%의 확률로 염색체들에게서 돌연변이가 탄생하게 된다. 이러한 선택, 교배, 돌연변이 과정을 개체수가 500이 될 때까지 반복하여 실행해 주면서 최적의 해를 찾아준다.

4. 면허 사용자 및 비면허 사용자

본 논문에서는 면허 사용자를 DTV와 무선 마이크로 가정하여 시스템을 설계하였으며 주파수는 ISM대역을 이용하였다. 면허 사용자는 GRC를 이용하여 구현하였다. 다음 그림8은 GRC 구성요소들을 이용하여 DTV를 구성한 것이며 그림9는 무선마이크를 구성한 것이다. 그림11과 그림12에서는 각각의 변수를 사용하여 신호 블록들의 파라미터들을 정의하여 주었으며 그 후 각각의 특징적 기능을 가지고 있는 신호블록들의 소켓부분을 연결부분을 이용하여 서로 연결시켜 주었다.

CR 기기는 Mode I과 Mode II를 가정하였다. DB에 등록되어 있는 CR기기는 DB에서 채널정보를 가져와 자신이 사

용할 채널로 주파수 호핑을 하며 면허 사용자에게 간섭을 주지 않으면서 데이터를 송수신한다. 이 Test-bed에서 첫 번째 CR기기는 동영상, 사진 전송 및 채팅을 할 수 있도록 구성되었으며 두 번째 CR기기에서는 전송된 신호의 I/Q 데이터 및 컨스텔레이션(constellation), OFDM 심볼의 power spectral density (PSD) 및 패킷손실률을 확인할 수 있도록 구성되었다.

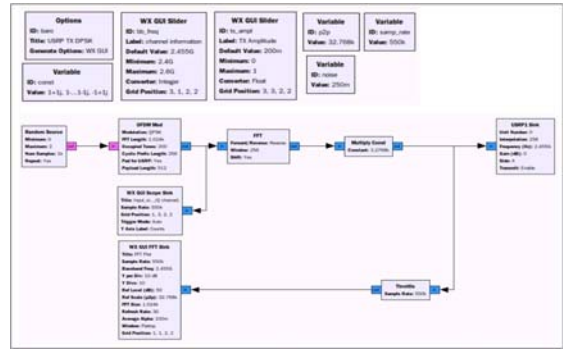


그림 11. DTV 구성도

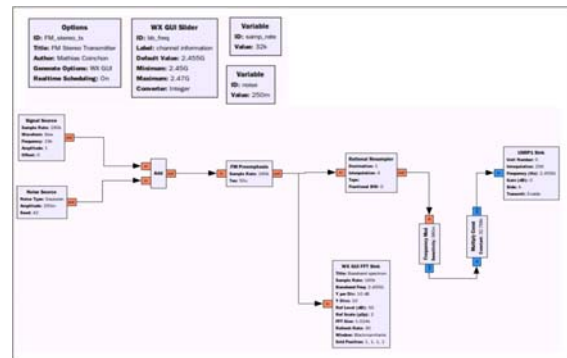


그림 12. 무선 마이크 구성도

V. Test-bed에서의 성능 분석

유전자 알고리즘은 세대수가 증가함에 따라 시스템의 성능도 같이 좋아져야 한다. 따라서 이러한 성능을 보여주기 위해 세대수에 따른 적합도 함수를 그림13과 그림14에 나타내 주었다. 여기서 그림13에서는 SINR값을 적합도 함수로 지정하여 세대수에 따른 적합도 함수를 나타내고 있으며 그림14는 채널용량 값을 적합도 함수로 지정하여 세대수에 따른 적합도 함수를 나타내고 있다.

다음 그림에서 보듯이 약 60세대까지는 세대수가 증가함에 따라 적합도 함수가 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이 구간에서는 유전자 알고리즘이 선택과, 교배, 돌연변이 과정을 반복하여 최적해에 빠르게 수렴하게 된다. 일정 세대수만큼 위의 과정을 반복하게 되면 최적해에 가까운 개체가 나타나 진화가 더디게 이루어지게 된다. 그림13과 14를 통해 일정한 세대수 이상에서는 적합도 함수 곡선이 완만한 곡선을 그리

며 증가하는 것을 확인할 수 있으며, 이를 통해 유전자 알고리즘이 최적해에 도달하고 있음을 알 수 있다. 또한 유전자 알고리즘 적합도 함수를 랜덤 값과 비교해 본 결과 유전자 알고리즘이 적용된 곳에서 더 좋은 적합도 함수를 가짐을 그림 13과 그림14를 통해 알 수 있다.

그림 15와 그림 16은 GRC를 이용하여 면허 사용자를 구현한 값이다. 그림 15는 그림 13에서와 같은 GRC 블록들을 사용하여 DTV를 구현한 것이며 이 면허 사용자는 2.455GHz의 중심주파수를 점유하고 있다. 그림 16은 그림 14에서와 같은 GRC 블록들을 사용하여 무선 마이크를 구현한 것이며 이 면허 사용자는 중심주파수 2.461GHz대역을 점유하고 있다.

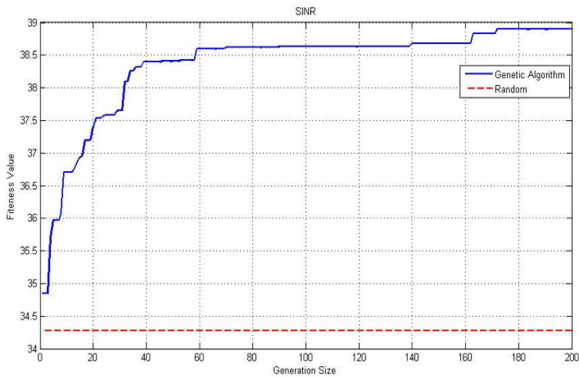


그림 13. 세대수 증가에 따른 SINR 적합도 함수

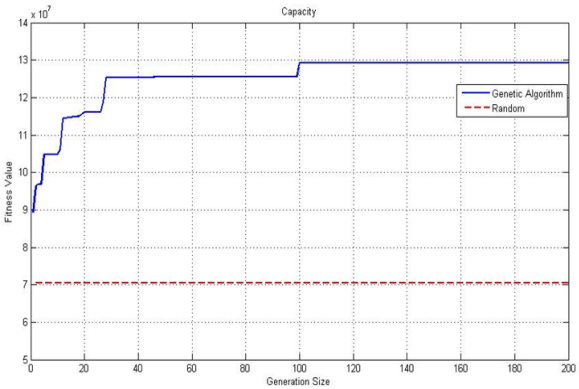


그림 14. 세대수 증가에 따른 채널용량 적합도 함수

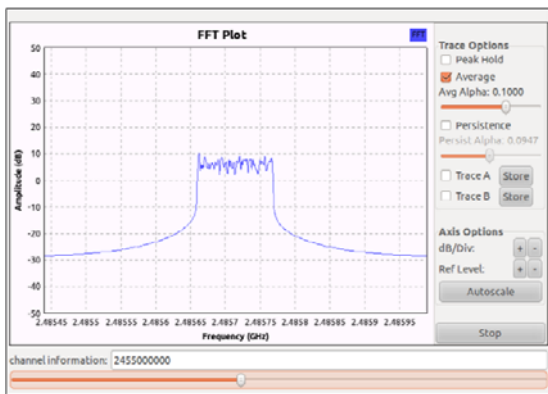


그림 15. DTV 신호값

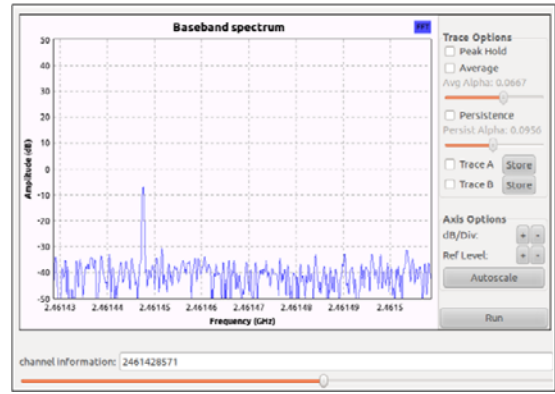


그림 16. 무선 마이크 신호값

VI. 결론

본 논문에서는 유전자 알고리즘이 적용된 인지무선 시스템을 SDR을 이용하여 구현하였다. PU와 스펙트럼 센싱을 위해 USRP I 보드를 사용했으며 인지무선 기기의 데이터 송수신을 위해 USRP II 보드를 사용했다. 또한 기저대역의 신호를 처리하는 소프트웨어 블록은 GNU Radio를 이용하여 PC상에 구현하였다. 각각을 연결하여 하나의 시스템을 구현하고, 이 시스템의 성능을 검증하기 위해 유전자 알고리즘의 적합도 함수를 측정하였다. 본 연구에서는 SDR 시스템을 이용하여 FCC에서 규정한 스펙에 적용할 수 있는 시스템을 개발함으로써 향후 SDR 기술을 다양한 인지무선 시스템 환경에 적용/활용할 수 있도록 하였다.

참고 문헌

- [1] Part 22 : Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications : Policies and Procedures for Operation in the TV Bands, 2011.
- [2] Ian F. Akyildiz, Won-Yeol Lee, Mehmet C. Vuran, Shantidev Mohanty, "NeXt generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: A survey.", Computer Networks 50, pp. 2127-2159, 2006,
- [3] Abhijeet Mate, Kuo-Hao Lee, I-Tai Lu, "Spectrum Sensing Based on Time Covariance Matrix Using GNU Radio and USRP for Cognitive Radio", Applications and Technology conference, pp.1-6, May, 2011.
- [4] Zhi Yan, Zhangchao Ma, Hanwen Cao, Gang Li, Wenbo Wang, "Spectrum Sensing, Access and Coexistence Testbed for Cognitive Radio Using USRP", Circuits and Systems for Communications, pp.270-274, May, 2008
- [5] FCC-10-174, Second Memorandum Opinion and Order, September, 2010
- [6] 김기홍 "Coexistence 기술 : Spectrum Sensing과 Geolocation DB", 한국통신학회지, 제 27권 8호, pp. 15-21, 2010.

[7] Naveen Manicka, "GNU RADIO TESTBED", 2007.

[8] Dawei Shen, "GNU Radio Tutorial 4 : The USRP Board", pp.1-7, 2005.

[9] G. Ganesan, Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks", in Proc. IEEE Int. Conf. Commun, vol. 5, pp. 3575-3579, May, 2003.

[10] Thomas W. Rondeau, Bin Le, Christian J. Rieser, Charles W. Bostian, "COGNITIVE RADIOS WITH GENETIC ALGORITHMS: INTELLIGENT CONTROL OF SOFTWARE DEFINED RADIOS", Proc. Software Defined Radio Forum Technical Conf. pp.C3~C8, Nov, 2004

[11] 김재명, 손성환, 장성진, 정봉민, 정원식, 조재범, "USRP를 이용한 CR Emulated Test-bed 구현", CR/SDR 학술대회, 2010.

[12] M.Srinivas and L.M.Patnaik, "Adaptive Probabilities of Crossover and Mutation in Genetic Algorithms", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, vol. 24, No 4, pp. 656-666, 1994

[13] Tevfik Yücek and Hüseyin Arslan, "A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications", Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2009

[14] J.Mitola and G.Q.Maguire, "Cognitive Radio: making software radios more personal", IEEE personal Communications, vol. 6, no. 4, pp. 1318, Aug, 1999

[15] J.Mitola, "Cognitive radio: An integrated agent architecture for software defined radio", Doctor of Technology, Royal Inst. Technol.(KTH), Stockholm, Sweden, 2000

이 인 선 (Insun Lee)



- 2011년 2월 : 인하대학교 정보통신공학과 학사졸업
- 2011년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 펌토셀, MIMO, 차세대 무선통신

김 재 명 (Jaemoung Kim)

중신회원



- 1974년 : 한양대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1981년 : 미국남가주대학교(USC) 전기공학과 석사 졸업
- 1987년 : 연세대학교 전자공학과 박사 졸업

· 1974년 3월~1979년 6월 : 한국과학기술연구소, 한국통신기술 연구소 근무

· 1982년 9월~2003년 3월 : 한국전자통신연구원, 위성통신연구단장 / 무선방송연구소장

· 2003년 4월~현재 : 인하대학교 정보통신공학부 교수, 기술자문으로 다수 활동 중

<관심분야> : 차세대 무선통신, UWB, 인지무선기술, 간섭정렬

저자

용 슬 바 로 (Seulbaro Yong)

정회원



- 2011년 2월 : 수원대학교 전자공학과 학사졸업
- 2011년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학과 석사과정

<관심분야> : 인지무선기술, 유전자 알고리즘, 통신공학

장 성 진(SungJeen Jang)



- 2007년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사졸업
- 2008년 2월 : 인하대학교 정보통신대학원 석사졸업
- 2009년~현재 : 인하대학교 정보통신대학원 박사과정

<관심분야> : 인지무선기술, 이동통신