

USRP를 이용한 CR Emulated Test-bed 구현

김재명 | 손성환 | 장성진 | 정봉민 | 정원식 | 조재범
인하대학교

요 약

최근 학계에서 많이 연구되고 있는 무선인지기술(CR : Cognitive Radio)을 실제 하드웨어로 구현하는 경향이 두드러지고 있다[1,2]. 또한 IEEE 802.22의 표준화가 완료되고 미국의 DTV전환과 함께 무선인지기술이 본격적으로 적용되면서 연구된 결과를 실제 시스템에서 구현하여 입증할 필요성이 증가하고 있다. 본 고에서는 대표적인 오픈소스 하드웨어 플랫폼인 GNU Radio에 대해 설명하고 무선인지기술을 적용한 시스템을 소개한다.

1. 서 론

대부분의 통신시스템 개발은 이론적인 모델에서 출발하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 분석된다. 그러나 실제 시스템 구현시의 복잡도 및 실제 채널에서 고려되어야 할 부분들이 대부분 가정으로 여겨지거나 생략된다. 더욱이 광대역 주파수 상에서 운용되는 무선인지 기술은 안테나를 비롯하여 적합한 하드웨어 플랫폼으로 구현하기가 힘들다. 그러나 최근 무선 인지 기술이 미국에서 상용화되기 시작하면서 하드웨어 플랫폼으로 구현된 연구결과들이 많이 등장하고 있다.

대표적으로 많이 사용되고 있는 하드웨어 플랫폼으로는 GNU Radio 기반의 USRP(Universal Software Radio Peripheral) 플랫폼이 있다. 오픈소스로 제공되는 USRP 플랫폼은 이론적인 모델과 이를 실제 환경 조건에서 구현할 경

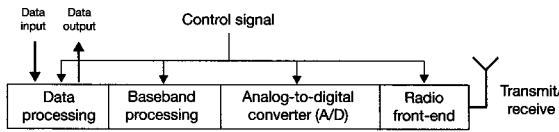
우의 가교역할을 한다. 본 고에서는 SDR의 개념 및 USRP 플랫폼의 소개와 함께 이를 무선인지기술 시스템으로 구현한 사례를 소개한다.

II. SDR의 개념

최근 멀티미디어 대한 요구가 증대되고 생활환경의 변화에 따라 그에 상응하는 통신 서비스가 늘어나면서 주파수 자원에 대한 수요가 급증하고 있다. 이에 1998년 J.Mitola에 의해 제안된 무선인지기술이 근본적인 문제를 해결할 대안으로 떠오르며 지금까지 연구되어오고 있고, 2009년 미국이 무선인지기술을 이용하는 소출력 무선기기에 대해 TV대역 공유를 허용함으로써 무선인지기술에 대한 관심이 증대되고 연구 및 상용화가 급물살을 타고 있다[3]. 무선인지 기술의 개념은 지역, 시간적인 통신 환경 영역에서 스펙트럼 이용현황을 감지한 후 지능적으로 판단하여 적절한 주파수, 변조방식, 출력 등을 선택하는 것으로서 기존의 통신시스템과는 달리 RF에 대한 유동적인 제어가 필요하다.

SDR(software-defined radio)은 동작 주파수 대역, 변조 모드, 프로토콜 등의 전송 인자들을 동적으로 제어하여 다중 모드, 다중대역에서 동작하는 개념으로써 무선인지기술에 있어서 핵심적인 요소가 된다. 일반적인 SDR 송수신기 구조가 그림1에 나타나 있다. 대부분의 구조가 기존 통신 시스템과 비슷하지만 각각의 구성인자들은 상위 계층의 프로토콜에 의해 제어되고 무선인지모델에 의해 재구성된다.

안테나 입출력부분(RF front-end)는 안테나로부터 아날로그 신호를 수신하고 대역통과 필터를 통해 사용하고자 하는 대역의 신호를 수신한다. 이 신호는 다시 증폭되어서 I채널과 Q채널의 신호로 변환된 뒤 디지털 데이터로 바뀌게 된다. ADC(analog to digital converter)의 샘플링율은 나이퀴스트 샘플링 이론을 만족하면서도 신호처리를 수행하는 하드웨어의 오버헤드를 증가시키지 않는 범위에서 최소화되어야 한다. 이러한 샘플링율과 필터의 파라미터들 및 신호처리 알고리즘들이 동작주파수 대역이나 사용하는 통신시스템이 처한 환경에 따라 재설정되어 동작하게 된다.



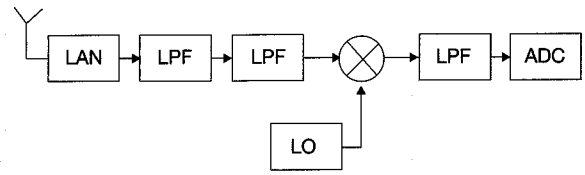
(그림 1) 일반적인 SDR 송수신기 구조

III. GNU Radio의 소개

Software radio는 코딩을 통한 제어의 범위를 최대한 안테나에 가깝게 확장하는 기술이다. 이것은 통신시스템에서 하드웨어의 이슈를 소프트웨어적으로 해결한다는 의미이다. Software radio의 기본적인 특성은 소프트웨어가 전송 파형을 정의하거나 수신파형을 복조할 수 있는 것이다. 이는 아날로그 회로나 디지털 칩이 고정적으로 결합된 상태에서 동작하는 일반적인 통신시스템과 다른 개념이다. Software radio는 시스템이 동작하는 도중에도 시스템이 처한 환경에 따라 능동적으로 파라미터 값을 바꿔서 동작할 수 있는 유연성을 제공한다. GNU Radio는 이러한 유연성을 제공하는 software radio 도구이다. 신호처리블록 라이브러리는 오픈 소스로 제공되어 사용자가 간단하게 블록들을 연결시켜 사용할 수 있다.

일반적인 통신시스템의 구조는 다음과 같다.

여기서 LNA와 LPF는 사용하고자 하는 대역의 신호를 선택하여 증폭시키는데 사용된다. 혼합기는 RF신호와 국부발진기(LO : local oscillator)를 입력으로 가지고 IF(intermediate



(그림 2) 일반적인 통신시스템의 구조

frequency) 신호를 출력으로 갖는 곱셈기이다. 국부발진기는 VCO(voltage controlled oscillator)를 사용하여 RF-IF의 정현파를 발생시킨다. 혼합기 출력에는 IF와 $2 \times \text{RF-IF}$ 를 중심 주파수로 갖는 스펙트럼을 얻는다. 따라서, 혼합기 다음에 IF를 제외한 $2 \times \text{RF-IF}$ 를 제거하기 위한 LPF가 추가된다. 최종적으로 IF 신호는 나이퀴스트 이론을 따르는 ADC로 입력된다. 이렇게 출력된 디지털 신호는 최종적으로 컴퓨터로 입력되어 소프트웨어로 처리된다. GNU Radio는 필수적인 신호처리블록 라이브러리를 제공하기 때문에 사용자는 기호에 따라 블록들을 연결하여 시스템을 구성할 수 있다.

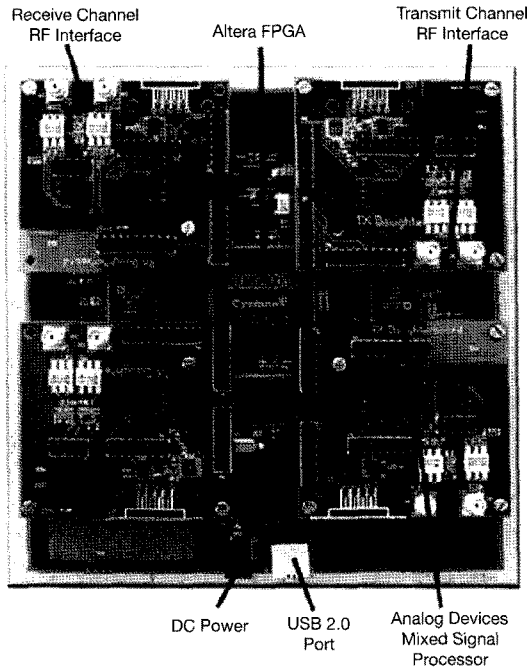
기본적인 신호처리블록들은 C++로 구현되어 있으며 이 블록들은 입력포트에서 출력포트로 흐르는 데이터들을 처리하게 된다. 신호처리블록을 제어할 수 있는 파라미터에는 입출력 포트와 데이터 타입(short, float, complex)이 있다. 어떤 블록들은 입력이나 출력포트만을 가짐으로써 데이터의 소스와 싱크의 역할을 한다. 소스 및 싱크는 파일 또는 ADC/DAC에서 읽혀지거나 쓰여진다[5,6].

IV. USRP의 소개

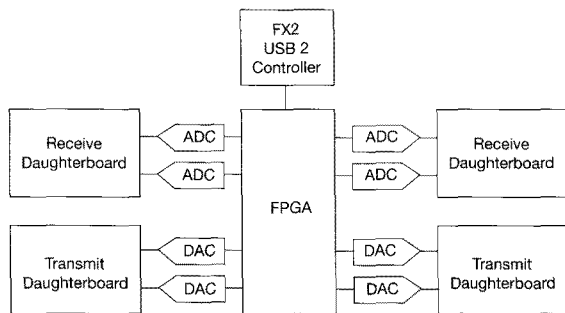
USRP 보드는 GNU Radio사용자인 Matt에 의해 개발되었다. 기본적으로 USRP는 ADC/DAC, RF 입출력단 및 입력신호의 전처리를 수행하는 FPGA로 구성된다.

USRP는 가격이 낮고 속도가 높아 GNU Radio를 사용하여 리얼타임 어플리케이션을 구현하는데 적합한 장비이다. 다음 (그림 3)은 4개의 도터보드를 갖춘 USRP보드의 그림이다.

마더보드에는 4개의 고성능 ADC가 있다. 샘플링율은 초당 64M 샘플로써 32MHz의 대역폭을 샘플링할 수 있다.



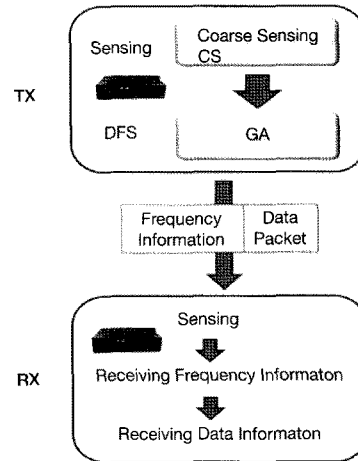
(그림 3) USRP 보드



(그림 4) USRP 보드의 구조

bandpass-sampling이 가능한 주파수는 150MHz까지이나 높은 주파수에 의한 jitter에 의해 SNR이 감소하는 것을 우려하여 통상 100MHz를 허용범위로 정한다. ADC 전단과 뒷단에는 20dB의 이득을 갖는 PGA(programmable gain amplifier)를 사용하여 증폭크기를 설정할 수 있다.

마더보드에는 4개의 슬롯이 있어서 2개의 Rx 도터보드와 2개의 Tx 도터보드를 꽂을 수 있다. 도터보드는 RF 수신기 인터페이스, 튜너와 RF 송신기가 포함되어 있다. 각각의 도터보드 슬롯은 마더보드에 있는 각각 4개의 ADC/DAC에 접속된다. ADC/DAC가 실수 샘플링을 사용하는 경우에는 4개



(그림 5) CR Test-bed의 시스템 구조

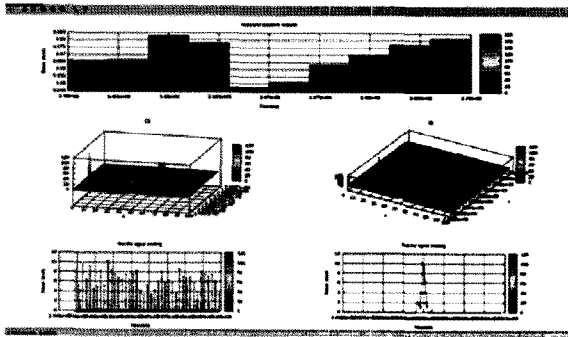
의 채널을 가질 수 있고, 복소 IQ 샘플링을 사용하게 되면 2개의 채널을 갖게 된다. 각각의 도터보드에는 SMA 커넥터가 있어 입출력 신호가 연결된다.

현재까지 나온 도터보드로는 1~250MHz에서 동작하는 Basic TX/RX, DC~30MHz에서 동작하는 LFTX/LFRX, 50~860MHz에서 수신만 가능한 TVRX, 그리고 800MHz~2.4GHz 대역에서 GPS, Galileo신호, ISM 밴드, 핸드폰 및 PCS 신호를 수신할 수 있는 DBSRX가 있다. 그리고 WBX, RFX 시리즈 및 XCVR2450이 있다[7].

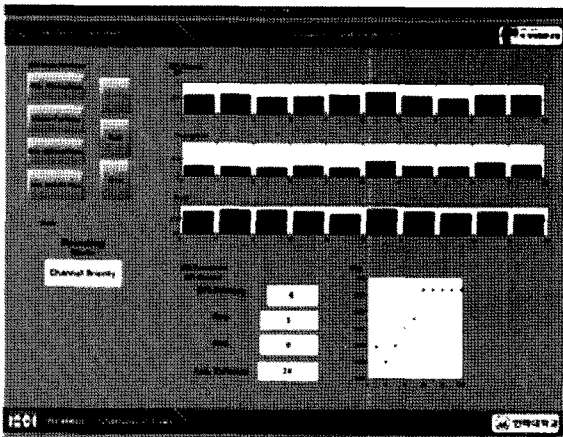
V. INHA-WITLAB CR Test-bed

INHA-WITLAB에서 개발한 CR Test-bed의 개략적인 구조는 (그림 5)와 같다. Tx에서 주변 스펙트럼 상황을 센싱하여 Coarse Sensing 및 CS(Cyclostationary Sensing)을 수행하고 이를 바탕으로 GA(Genetic Algorithm)를 사용한 DFS(Dynamic Frequency Selection)를 통해 선택된 주파수를 Broadcasting한다. Rx는 Sensing을 수행하여 검출된 신호로부터 데이터를 수신받아 해당 주파수로부터 데이터를 수신받게 된다. Tx는 데이터 송신과 휴지기간동안(QP: Quiet Period)의 센싱을 번갈아 수행하면서 Rx와의 데이터 교환 도중 해당대역에서 PU신호가 등장하게 되면 사용대역을 바

픽 신호를 전송하고 따라서 데이터 송수신이 끊어진 Rx는 다시 Sensing을 통해 전에 데이터를 송신하던 송신기를 찾아내어 통신을 재개하게 된다.



(그림 6) CR Test-bed의 Sensing 동작 화면



(그림 7) CR Test-bed의 GA 동작 화면

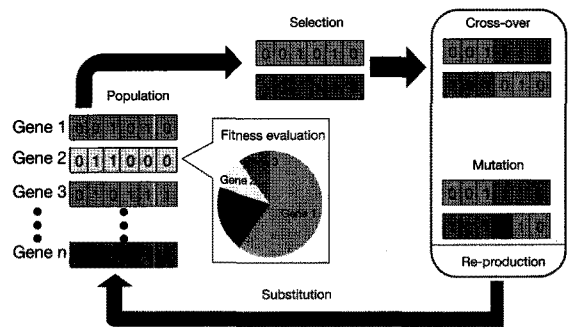
USRP는 USB 버스 용량제한으로 한 번에 8MHz까지의 대역만을 스캔할 수 있다. 따라서 넓은 대역을 센싱하기 위해서는 8MHz씩 여러 번의 스캔이 필요하다. DDC(Digital Down Converter)의 비선형 응답을 제거하고 스캔한 각 대역 사이의 빈 구역을 없애기 위해 각각의 FFT 구간을 서로 겹치도록 계산하여 넓은 대역에서의 스펙트럼을 얻게 된다. 각 FFT구간들의 에너지값을 FFT 크기에 대한 합, 평균을 구하여 각 FFT구간의 중심주파수에 대한 값을 얻음으로써 Coarse Sensing을 수행하고, 수행된 센싱으로부터 얻은 대역 중 낮은 전력값을 갖는 대역 중에서 일정 문턱값을 넘는

대역을 선택하여 신호의 존재유무를 구별하기 위한 CS를 수행함으로써 보다 정확한 스펙트럼 환경을 인지한다(8.9).

이렇게 수행된 센싱에서 얻은 데이터를 통해 DFS를 수행하는데, 이번 Test-bed에는 유전자 알고리즘(GA)을 사용하였다.

유전자 알고리즘은 그림8과 같은 구조를 가지고 있으며 세대가 진행될수록 최적화된 값을 찾게 된다. 다음은 유전자 알고리즘에 대한 설명이다.

1. 임의로 생성된 해(population)들은 코딩 과정을 통해 각각의 염색체(chromosome)로 생성되며, 염색체들이 모여 하나의 유전자를 형성하게 된다. 이는 문제 해결을 위한 하나의 해집합으로서 부모세대를 의미한다.



(그림 8) 유전자 알고리즘의 구조

2. 각 부모세대는 적합도함수(fitness function)을 통해 목적에 부합하는 우수한 유전자와 열성인 유전자로 구분되어 첫 번째 부모세대가 만들어진다.
3. 우수한 두 유전자를 선택해 부분적으로 염색체를 교배(crossover)하여 자식 염색체를 생성한다.
4. 교배 후 유전자를 일정한 확률로 변화시키는 변이(mutation)연산을 수행한다.
5. 마지막으로 대치(substitution)연산을 통해 우수한 유전자와 열성의 유전자를 대치함으로써 한 번의 세대(generation)를 수행한다.
6. 위 과정을 세대 수만큼 반복한다.

CR 시스템이 채널을 선택할 때에는 다양한 기준들이 필요하다. CR사용자들의 QoS를 만족시키기 위해서 CR 스펙트

럼 효율을 증가시키는 한편, 우선사용자에 대한 간섭을 최소화해야 한다. 이를 함수로 표현하기 위해 <표 1>과 같이 BER의 최소화, 전송 속도의 증가, PU에 대한 간섭 최소화의 3가지로 정리할 수 있다. 하지만 이러한 통신 목적들은 서로 트레이드 오프 관계에 있기 때문에 이를 최적화하기에는 어려움이 따른다. 이번 Test-bed에서 사용한 유전자 알고리즘 기반의 동적 주파수 선택 방법은 위와 같은 목적함수(Object function)를 효과적으로 최적화하기에 적합한 알고리즘으로써 적합도 함수(Fitness function)를 만들어 가중치 합(weighted-sum approach)방식으로 최상의 채널을 선택한다[10].

<표 1> 세 가지 목적함수

Objective Name	Description
Minimize Interference	Decrease the amount of interference power to PU
Maximize Throughput	Increase the overall data throughput transmitted by CR
Minimize Bit-Error-Rate	Improve the overall BER performance

VI. 결 론

본고에서는 학계에서 SDR 플랫폼으로 각광받고 있는 USRP와 이를 위한 GNU Radio 소프트웨어를 소개하고 이를 이용하여 본 연구실에서 구현한 Test-bed를 간단히 소개하였다.

GNU Radio는 스펙트럼 환경에 따라 동작 파라미터를 변경할 수 있는 점에서 CR기술 개발환경으로 가장 적합한 Test-bed이다. 또한 다른 장비들에 비해 상대적으로 가격이 저렴한 USRP를 사용하고, 오픈소스이기 때문에 많은 관련 분야의 사용자가 온라인을 통해 정보를 공유할 수 있다.

USRP의 가능성은 CR기술 연구에 있어 시뮬레이션에서의 아이디어와 실제 환경에서의 그 적합성을 구현하는데에 있다. 또한 직접적으로 하드웨어를 구현하지 않는 분야에서 쉽게 사용할 수 있기 때문에 다양한 분야에서의 적용이 가능하다. 따라서 앞으로 국내 학계에서도 이러한 SDR플랫폼을 활용한 연구를 확대하여 CR기술의 실현화를 앞당길 수 있는 연구,개발이 이뤄져야 할 것이다.

Acknowledgement

본 연구는 2010년도 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2009-0066336)

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1011-0007)

참 고 문 헌

- [1] J.Mitola and G.Maguire, "Cognitive radio : Masking software radios more personal," IEEE Personal Commun. Mag., vol. 6, no.4, pp13-18, Aug., 1999.
- [2] Haykin S., "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, February, 2005.
- [3] "Second report and order and memorandum opinion and order," FCC 08-260, Nov. 14, 2008.
- [4] Ekram Hossain, Dusit Niyato, Zhu Han, "Dynamic Spectrum Access and Management in Cognitive Radio Networks", Cambridge Univ. Press, pp39-41, Jul. 20, 2009
- [5] GNU Radio Project Site, "The GNU Software radio," <http://www.gnu.org/software/gnuradio/>
- [6] USRP Site, <http://www.ettus.com>
- [7] Transceiver Daughterboards for the USRP Software Radio System, http://www.ettus.com/downloads/transceiver_dbrds_v3b.pdf
- [8] D.Cabric,S.M., Mishra,R.W., Brodersen "Implementation Issues in Spectrum Sensing", In Asilomar Conference on Signal, Systems and Computers, November, 2004.
- [9] S. Valentin, H. Halm, H. Karl, Evaluating the GNU Software Radio Platform for Wireless Testbeds, Technical Report TR-RI-06-273, Feb., 2006.
- [10] Bruce A. Fette, "Cognitive radio technology," ELSEVIER, Mar 2009, pp223-264

약 력



1974년 한양대학교 전자공학과 공학사
 1981년 미국 남기주대학교(USC) 전기공학과 공학석사
 1987년 연세대학교 전자공학과 공학박사
 1974년 ~ 1979년 한국과학기술 연구소, 한국통신기술연구소 근무
 1982년 ~ 2003년 한국전자통신연구원 위성통신연구단장/
 무선방송연구소 소장 역임
 2003년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 교수, 통신위성 우주
 산업연구회 회장 외 기술 저문으로 다수 활동 중
 관심분야: 차세대 이동통신 및 위성통신, Cognitive Radio/UWB 기술

김재명



2004년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업
 2006년 인하대학교 정보통신대학원 석사 졸업
 2006년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 박사 과정
 관심분야: 이동통신, 무선인지기술

손성환



2007년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업
 2009년 인하대학교 정보통신대학원 석사 졸업
 2009년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 박사 과정
 관심분야: 이동통신, 무선인지기술

장성진



2009년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업
 2009년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 석사 과정
 관심분야: 이동통신, 무선인지기술

정봉민



2010년 인하대학교 전자공학과 학사 졸업
 2010년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 석사 과정
 관심분야: 이동통신, 무선인지기술

정원식

약 력



2010년 인하대학교 정보통신공학과 학사 졸업
 2010년 ~ 현재 인하대학교 정보통신대학원 석사 과정
 관심분야: 이동통신, 무선인지기술

조재범

