
Cognitive Radio 기반의 Spectrum Sensing을 위한 MAC 기능 구현

Development of MAC Function for the Spectrum Sensing based on Cognitive Radio

김주석*, 이현소*, 황성호**, 민준기**, 김기홍**, 김경석*
충북대학교 전자공학과 차세대전파시스템연구실*, 삼성전기 중앙연구소**

Joo-Seok Kim(kjs7205@naver.com)*, Hyun-So Lee(hyunso.lee@gmail.com)*,
Sung-Ho Hwang(sungho717.hwang@samsung.com)**, Jun-Ki Min(jkmin@samsung.com)**,
Ki-Hong Kim(kh607.kim@samsung.com)**, Kyung-Seok Kim(kseokkim@cbnu.ac.kr)*

요약

주파수 자원 가치는 무선통신의 발전과 함께 더욱 커지고 있다. 하지만 앞으로 정보화 사회에서는 주파수 자원의 수요가 공급에 비하여 매우 많기 때문에 주파수 부족 현상이 심각하게 대두된다. 따라서 사용되지 않고 있는 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위한 기술로서 최근 각광을 받고 있는 Cognitive Radio(CR) 기술이 필요한 시점이다. 본 논문은 임베디드 보드에서 CR 기반의 효율적인 Spectrum Sensing 기법을 적용하였다. 현재 이론적으로 제시되어 있는 여러 Spectrum Sensing 기법들에 대해 살펴보고 이 기법들을 CR 환경이 구현된 임베디드 플랫폼에 적용시켜 MAC 메시지를 통해 성능을 검증하였다.

■ 중심어 : | 무선 인지 | 스펙트럼 센싱 | 주파수 관리 | 임베디드 |

Abstract

The worth of frequency resources is growing up because of development of wireless communication. However, frequency resources is short, because demand is much more than supply. So it needs Cognitive Radio(CR), which manages frequency resources efficiently. In this paper, we apply the efficient Spectrum Sensing method based on CR in an embedded board. We examine various Spectrum Sensing methods and apply these methods to an embedded platform on CR environment and verify the performance through the MAC message.

■ keyword : | Cognitive Radio | Spectrum Sensing | Frequency Management | Embedded |

I. 서론

최근 전 세계적으로 주파수 자원 부족 현상이 심화되면서 유연한 전파 관리 체계의 도입을 목적으로 기존 제도에 대한 재검토와 함께 새로운 방안을 모색하고 있는 상황이다. 향후 전파 이용 환경의 변화에 대응하기 위해 미국을 중심으로 하여 신규 주파수 자원을 확보하기 위한 기술 개발과 더불어, 기존 주파수를 효율적으로

로 이용하기 위한 유연한 전파 관리 체계의 도입이 추진되고 있다. 이러한 유연한 전파 관리 체계와 더불어 주파수 이용에 있어 간섭 없이 기존의 주파수 대역을 이용할 수 있는 새로운 무선 전송 기술이 등장함에 따라 기존 대역을 공유하는 무선기기 및 이를 위한 효율적인 주파수 자원 사용 및 관리가 더욱 중요한 문제로 부각되고 있다. 이에 최근 타 무선통신 시스템과의 간섭을 최소화하는 개념의 새로운 무선 전송 기술들이 등

장하고 있는데, 이들 중 가장 대표적인 기술이 Cognitive Radio (CR)이다[1].

CR 기술은 통신 단말기 혹은 네트워크가 지능화되어 동적으로 변화하는 사용자의 요구 및 상황을 인지하여 이러한 요구 및 상황에 적합하도록 주어진 무선 자원을 최적으로 활용하는 제반 기술을 의미한다. 즉, CR 기술은 주변 환경을 감지하여 주파수, 변조방식, 출력 등의 무선 송신 파라미터를 결정하는 무선 기술로 지역과 시간에 따라 빈 주파수를 자동으로 찾아 주변의 허가된 무선국을 보호하면서 목적하는 통신을 가능토록 하는 기술이다. 특히 이동통신 수요의 증가로 주파수 자원이 고갈되면서 주파수 자원 활용의 효율성을 극대화 할 수 있는 기술로 각광받고 있다. CR은 값비싼 스펙트럼을 충분히 이용할 수 있게 해주며, 보다 사용자 요구에 맞고 신뢰성이 높으며, 주변 상황에 적합한 통신 서비스를 제공할 수 있다.

미국연방통신협회(FCC)가 주파수 부족 현상을 해결하기 위해 주파수 이용 현황 및 효율적인 주파수 관리 방법을 연구하여 개방형 주파수 관리 정책을 점진적으로 수용할 것을 제안하였다[2-4]. 개방형 주파수 관리 정책은 특정 사용자에게 인가된 주파수 대역에서 주 사용자들에게 간섭을 주지 않는 한에서 다른 사용자가 그 대역을 빌려 쓸 수 있도록 하는 것이다. 이렇게 주파수 대역을 차용하는 개념을 세계 최초로 적용한 무선 통신 시스템 표준을 개발하기 위한 IEEE 802.22 표준화 그룹이 결성되어 활발하게 표준화를 수행하고 있다[5].

본 논문은 IEEE 802.22 환경을 토대로 CR 기반의 Spectrum Sensing 기법을 임베디드 보드에서 적용하였다. 2장에서 Sensing을 적용하기 위한 CR 환경에 대해 설명하고, 3장에서 CR 기반의 주요기술에 대해 알아본다. 4장에서는 Sensing 기법을 실제 임베디드 보드에 적용하여 모의 실험을 하였고, 마지막으로 5장에서 결론을 서술하고 논문을 마무리한다.

II. Cognitive Radio 환경

1. IEEE 802.22 WRAN 환경

IEEE 802.22 WRAN의 사용 대상은 미국이나 캐나다의 도시 외곽 지역이나 개발도상국이며, TV 대역에 CR을 사용하여 무선 통신 서비스를 제공하는 것을 목표로 한다. 정지된 사용자에게 패킷(packet) 데이터를 전송한다는 측면에서 보면 IEEE802.22의 사용자는 IEEE802.16의 Wimax의 대상과 유사한데, 목표 시장에서 다소 차이가 있다. IEEE 802.22 WRAN은 인구 밀도가 IEEE 802.16 (WMAN: wireless metropolitan area network)에서 대상으로 하는 것보다 낮은 지역에서 사용된다. 이런 면에서 보면 현재 무선 단말기 제조업체나 무선 통신 사업자들에게는 시장 규모가 현재 사용되고 있는 시장보다 상대적으로 작아서 많은 관심을 끌지 못할 것으로 예상되지만 CR이라는 새로운 개념의 통신 방식이 처음으로 표준화로 진행되고, 이의 개량된 형태가 차세대 무선 통신 기술과 접목하여 사용 될 수 있기 때문에 많은 회사들이 관심을 가지고 있다.

표 1. IEEE 802.22 WRAN 물리계층의 요구사항

Items	Value
Service Range	33~100 km
Frequency Range	54~862 MHz(VHF/UHF Bands)
Bandwidth	TV Band(6, 7, 8 MHz)
Capability	Similar to ADSL & Cable Modem over Less Popular Rural Area
Spectral Efficiency	0.5 bps/Hz(Minimum) / 5 bps/Hz(Typical)
Required Minimum Peak Throughput Rate at Edge of Coverage	1.5 Mbps(Forward) / 384 kbps(Reverse)

IEEE802.22의 장점 중의 하나는, 가격적인 측면에서 보면 무선 주파수 대역을 돈을 내지 않고 사용함으로써 기존의 셀룰라 형태의 무선 통신 서비스보다 가격이 저렴해지는 것이다. 하지만, BS (base station)의 CR 구현을 위한 추가 복잡도, 그리고VHF 대역을 사용할 경우의 수신기의 안테나 크기 문제, 공용 주파수 사용으로 인한 서비스의 안정성(QoS: Quality of Service) 등도 고려되어야 할 사항이다. 표 1은 IEEE 802.22 WRAN의 물리계층 요구 사항이다[6]. 서비스 범위는 33~ 100km의 넓은 범위를 커버하고 사용주파수 대역은 기존의 TV주파수 대역인 VHF/ UHF대역을 사용한다. TV

bands는 각 나라마다 다르기 때문에 6,7,8 MHz이다. 본 논문에서는 국내에서 사용 중인 6MHz를 기준으로 하였다.

2. Spectrum 인지 기술

Spectrum 인지 기술은 Spectrum 환경을 인지하여 통신 가능한 주파수를 지능적으로 검출하고, 이를 이용하여 기존 서비스에 간섭을 주지 않고 통신하는 지능형 무선 통신 기술을 말한다. 다시 말하면, 단말기나 기지국 등의 무선기기가 주변 전파환경을 인식, 인지할 수 있는 기능을 제공하여 Spectrum 환경에 따라 무선 통신에 이용하는 주파수나 방식 등을 무선기기 스스로 선택해 주파수 이용효율을 높고자 하는데 있다. 이는 특정 무선통신 시스템이 '시간'이나 '주파수', '공간'을 점유하는 것이 아니라 이 세 가지 자원을 여러 무선통신 시스템이 적용적으로 공유하여 무선통신에 이용할 수 있는 주파수 자원의 부족을 해결하기 위함이다.



그림 1. Spectrum 인지 기술의 개념

III. Cognitive Radio 기반의 주요기술

1. Spectrum Sensing 기술

CR 기반의 Spectrum 인지 기술에서 기본 바탕이 되는 Spectrum Sensing 기술은 무선 환경에서의 간섭 온도를 추정하고 사용 요청자가 사용할 수는 비어있는 Spectrum 주파수 대역을 찾는다. 채널의 대역을 파악한 후 채널의 상태를 인식 하는 과정을 거치는데, 채널

인식은 채널 상태에 대한 정보를 추정하고 사용 가능한 채널의 용량을 예측한다. 예측된 채널을 통해 동적인 Spectrum 할당 및 전송단의 전력제어를 통해 Cognitive Radio의 기본적인 과정[7]이 이루어진다.

1.1 에너지 검출 기반의 Sensing 방법

에너지 검출 기반의 Sensing 방법은 정합 필터 방식을 사용하는 것보다 조금 더 간단한 방법으로 에너지 검출을 통한 non-coherent 검출 방법이다[8]. 에너지 검출 방법은 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용한 Spectrum Analyzer와 같은 것으로 생각 할 수 있다. 수신 신호에 대해 FFT연산 및 평균을 취한 후, 그 에너지를 구하여 특정 임계치와 비교하는 방법을 통해 해당 주파수 채널 내에 존재하는 신호의 검출을 수행한다. 그러나 에너지 검출 기반의 Sensing 방법은 매우 간단한 시스템 구조의 장점을 갖는 반면, Primary 유저 신호의 정확한 검출을 위해 요구되는 적정 Sensing 임계치의 결정이 어려워진다. 또한 에너지 검출만을 통해서 Primary 유저의 신호, 간섭 신호, 그리고 잡음 성분의 구분이 난해해 진다는 단점을 갖는다.

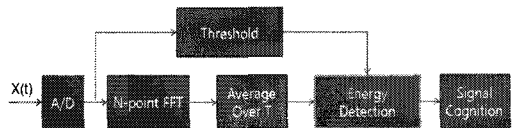


그림 2. 에너지 검출 기반의 신호 검출 구조

1.2 스펙트럴 상관 기반의 Sensing 방법

일반적으로 Primary 유저의 변조 신호는 고유의 주기성을 갖는 성분들을 포함하고 있다. 전송 데이터는 Stationary Random Process 성격을 갖고 있지만, 변조된 신호는 그 평균과 자기 상관(Autocorrelation) 함수 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 Cyclo-Stationary 한 특성을 나타내게 된다[9]. 주기적 Spectrum, 즉 스펙트럴 상관 함수 측면에서 보면 변조된 Primary 유저 신호의 시간관련 파라미터에 해당하는 위상 및 주파수 정보는 그대로 보존된다. 반면에 잡음 성분 및 간섭 신호의 경우에는 스펙트럴 상관이 거의 존재하지 않게 됨으로 인해 매우 작은 상관 값을 갖게 된다. 결과적으로 스펙

트럴 상관을 이용한 신호 검출을 통해 출력되는 정보는 Primary 유저의 채널 내에 존재하는 신호의 수, Primary 유저 시스템의 심볼 전송률, Primary 유저 채널 내 간섭 신호의 유무 등의 특징들을 도출할 수 있다.



그림 3. 스펙트럴 상관 기반의 Spectrum Sensing 구조

2. MAC 메시지를 이용한 Cognitive Radio 정보전송

Spectrum Sensing 에 관한 정보는 MAC 메시지를 통해 이루어지는데 그 중 BLM(Bulk Measurement) 메시지를 토대로 Sensing 과정을 처리한다.

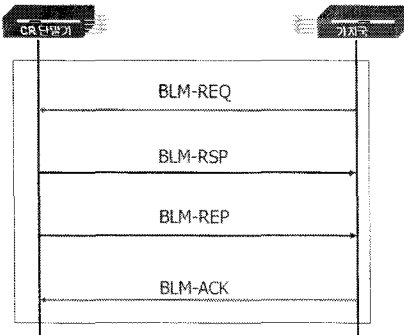


그림 4. Bulk Measurement 메시지의 흐름

BLM 메시지는 [그림 4]와 같이 BLM-REQ(Request), BLM-RSP (Response), BLM-REP(Report), BLM-ACK(Acknowledgement) 로 분류된다. 먼저 Sensing 요청 정보를 담은 BLM-REQ 메시지가 기지국에서 CR 단말기로 전송되면 Sensing Module은 이 메시지 정보를 토대로 Sensing Parameter값들을 결정하게 된다. BLM-REQ 메시지의 포맷은 [그림 5]와 같다[10]. BLM-REQ 메시지는 측정을 원하는 채널의 개수와 채널 번호 외에도 채널의 종류(TV 신호, 무선 마이크로 폰신호), 측정 반복 횟수, 반복 측정 시간주기, 측정 결과 보고 방식 등 여러 정보를 포함하고 있어 다양한 방식의 Sensing 과정을 유도한다.

BLM-RSP 메시지는 BLM-REQ 메시지에 대한 응답

으로 BLM-REQ 메시지를 성공적으로 수신하였는지에 대한 정보만을 포함한다[10].

bit	Message Format	default	
8	Management Message Type	30	메시지를 구분하기 위해 사용.
16	Transaction ID	0	
var	Interval-based Channel List		
8	Starting Channel Number	var	측정 시작 채널의 번호
5	Number of Channels	var	채널의 수
1	Linker	0	
1	Confirmation Needed	1	메시지 응답 (BLM-RSP) 요청
3	Number of Single Measurement Requests	var	측정하려는 채널의 수
var	Single Measurement Requests		측정하려는 채널의 정보
8	Element ID	var	측정하려는 채널의 종류
8	Length	var	
16	Transaction ID	0	
16	Number of Repetitions	0	반복 측정 횟수
8	Report Frequency	0	반복 측정 보고 방식
16	Restart Delay	0	반복되는 측정 사이의 간격
5	Request Mode		
1	Parallel	0	여러 채널의 측정 방법
1	Autonomous Report	0	여러 채널의 측정 보고 방법
1	Duration Mandatory	0	
var	Request Element		측정하려는 채널의 정보(detail)

그림 5. BLM-REQ 메시지 포맷

이렇게 Sensing Module은 BLM-REQ 메시지의 정보로 검색할 채널과 검색할 채널수 등을 알아내어 앞서 살펴본 Spectrum Sensing 기술을 적용한다. 요구된 채널을 토대로 주파수를 검색하여 신호의 세기 등을 계산하여 그 채널의 평균 파워값, 신호 유무 혹은 신호 패턴 등을 계산할 수 있다. 이 과정은 모의 실험 및 분석에서 다시 언급한다. 이렇게 측정된 결과를 다시 기지국으로 송신하기 위해 BLM-REP 메시지를 작성한다. BLM-REP 메시지 포맷은 [그림 6]과 같다[10].

bit	Message Format	
8	Management Message Type	메시지를 구분하기 위해 사용.
16	Transaction ID	
3	Number of Single Measurement Requests	측정할 채널의 수
130	Single Measurement Requests	측정할 채널의 정보
8	Element ID	측정할 채널의 종류
8	Length	
16	Transaction ID	
18	Report Information Element	측정할 채널의 정보(detail)

그림 6. BLM-REP 메시지 포맷

BLM-REP 메시지는 BLM-REQ 메시지보다 간단하게 구성된다. 측정 요구된 채널의 관한 정보는 이미 기지국에서 알고 있기 때문에 BLM-REP 메시지는 필요한 정보만을 포함한다. 이렇게 BLM-REP를 다시 기지

국에 전송함으로써 Sensing 알고리즘의 한 사이클이 수행되고 Sensing 모듈은 다시 BLM-REQ 메시지를 기다리는 대기상태로 접어든다. BLM-ACK 메시지는 기지국에서 BLM-REP 메시지에 대한 응답으로 BLM-RSP 메시지와 같은 형식이다.

IV. 모의 실험 및 분석

1. 실험 환경

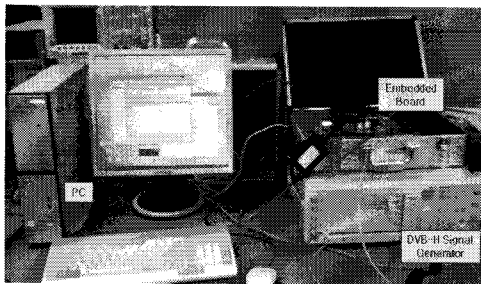


그림 7. Spectrum Sensing Module 실험 환경

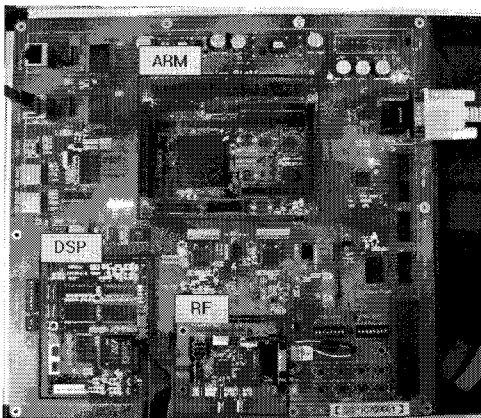


그림 8. Sensing Module이 탑재된 임베디드 보드

Spectrum Sensing을 위해 구상한 실험 환경은 [그림 7]와 같다. 우선 Sensing Module에서 검색할 신호를 만들기위해 Agilent 사의 ESG Vector Signal Generator E4438C를 이용해 DVB-H 신호를 발생시켰다. 이 신호가 [그림 8]의 RF 단에 입력이 되어 임베디드 보드 내의 DSP 보드에서 Sensing 알고리즘을 적용한다. Hunins사의 SOC Master III를 이용하였다. DSP는

Texas Instruments의 TMS320C6416 이다. 1GHz의 속도로 동작을 하며 1M bytes의 Flash Memory와 최대 16 M Bytes의 SDRAM을 4개 포함 한다. 그리고 이 보드의 ARM 컨트롤을 위해 연결된 PC에서 Linux를 이용한다.

본 실험에서 Spectrum Sensing을 하기 위해서는 MAC 메시지 발생시키는 기지국과 메시지를 중계해줄 CR Modem이 필요하다. 따라서 CR Modem 을 가상으로 구현해 MAC 메시지를 임의로 발생시켜 실험을 하였다. [그림 9]에서와 같이 Sensing Module은 MAC 메시지가 수신되면 헤더파일의 메시지 타입을 확인해 SCH와 BLM-REQ 두 가지 메시지를 구분해서 처리한다. Sensing Module에서 최초 SCH 메시지가 수신되면 이를 확인해 Linux 상으로 메시지 내용을 보여준다. 그 후 다시 MAC 메시지를 기다리다가 BLM-REQ 메시지를 수신하게 되면 메시지 내용을 디스플레이하고 응답 메시지로 BLM-RSP를 CR Modem으로 전송한다. 그리고 바로 RF setting 및 DSP 알고리즘을 통해 Sensing 결과를 얻어낸다. 이렇게 Sensing 결과가 도출되면 Linux 상으로 그 내용을 확인할 수 있고 BLM-REP 메시지를 작성해 Sensing 결과를 CR Modem에게 전송한다.

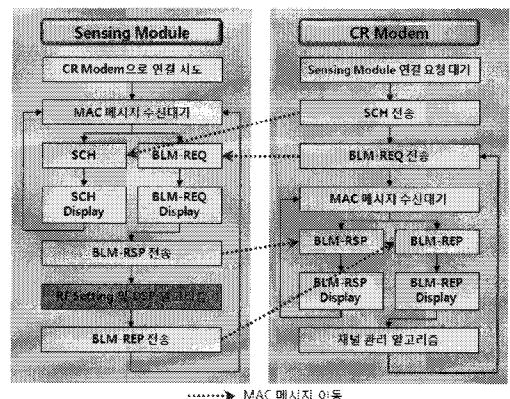


그림 9. MAC 메시지에 따른 Sensing Module과 CR Modem의 연계

2. 실험 결과

실제 Sensing 결과 메시지를 확인하기 위하여 ARM 을 제어하는 Linux 프로그램에서 MAC 메시지의 흐름을 살펴 볼 수 있다.

연동 실험을 위하여 기지국과 BLM 메시지를 중계해 줄 CR Modem (Server)을 가상으로 만들고 Sensing Module(Client)과 UDP/IP 방식으로 Message를 주고 받는다. Ethernet으로 UDP/IP 방식에 의해 시스템의 시작 시, CR Modem측이 대기 상태가 되고 Sensing Module이 접속을 시도하게 된다. CR Modem에서 접속 메시지를 확인하게 되면 최초 SCH 메시지를 Sensing Module 측으로 전송하게 된다. Sensing Module측은 이 SCH 메시지를 확인하고 디스플레이 한다[그림 10].

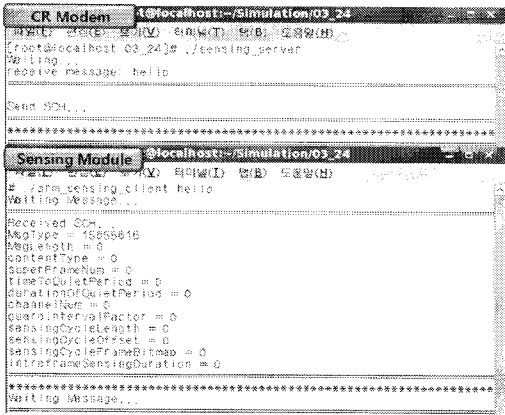


그림 10. 최초 접속과 SCH 전송 과정

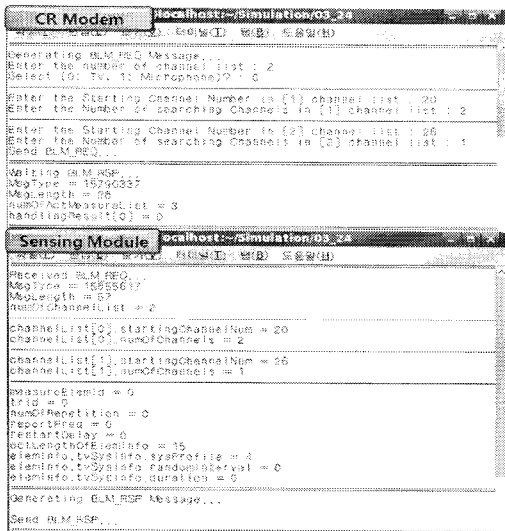


그림 11. BLM-REQ 메시지와 BLM-RSP 응답

CR Modem과 Sensing Module 간의 통신이 이루어

지면 Sensing Module 측은 대기 상태로 접어들고 CR Modem의 Sensing 요청 메시지를 기다리게 된다. [그림 10]은 CR Modem에서 입력받은 채널 개수 및 채널 번호를 Sensing Module 측에게 전송하는 화면이다. [그림 11]에서 CR Modem은 TV신호에서 총 3개의 채널을 입력받았다. 이 메시지를 BLM-REQ 메시지에 담아 Sensing Module에게 전송한다. 그 후 CR Modem은 대기 상태가 되며 BLM-RSP 및 BLM-REP 메시지를 기다리게 된다. Sensing Module은 BLM-REQ 메시지가 수신되었음을 알리는 BLM-RSP 메시지를 전송한다.

Sensing Module은 채널 개수 및 채널 번호를 토대로 앞서 언급한 RF Setting 작업을 수행하고 DPRAM을 통하여 Sensing 결과를 읽어 온다. 그 후 채널 개수만큼 같은 작업을 반복하게 된다. 이 동안 CR Modem은 계속 대기하게 된다. 이렇게 요청된 채널의 모든 Sensing 수행이 끝나면 처리된 결과는 [그림 12]처럼 BLM-REP 메시지에 정보를 담아 CR Modem으로 전송한다. CR Modem은 채널 번호와 채널 평균 파워 등의 정보를 확인할 수 있다. 그 후 Sensing Module은 다시 Sensing 작업을 위해 BLM-REQ 메시지를 기다리게 된다.

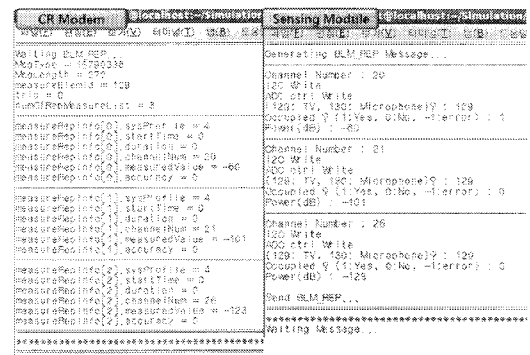


그림 12. Sensing 처리와 BLM-REP 메시지 전송

지금까지 Linux 상에서 가상으로 CR Modem을 구현해 Sensing Module과의 MAC 메시지를 주고받는 과정을 보았고, 실제 (주)모비안에서 구현한 CR Modem을 Sensing Module과 연계하여 실험하였다. [그림 13]은

(주)모비안에서 AP를 가상으로 제작해 SCH 메시지를 발생시키는 모습이다.

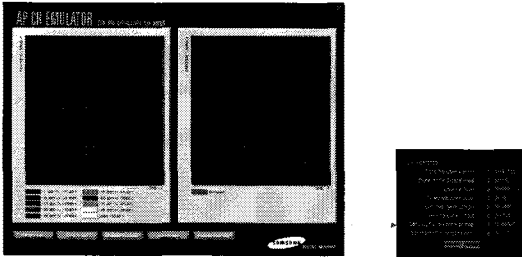


그림 13. AP에서 MAC 메시지(SCH) 발생
참고.(주)모비안

이렇게 발생된 메시지는 [그림 14]의 CR Modem에서 중계하여 Sensing Module 에게 전송해주고 Sensing Module은 [그림 10-12]의 과정을 거쳐 최종 결과를 BLM-REP 메시지로 작성하여 CR Modem에게 넘겨준다. 이 결과는 [그림 14]의 오른쪽 화면에서 확인이 가능하다.

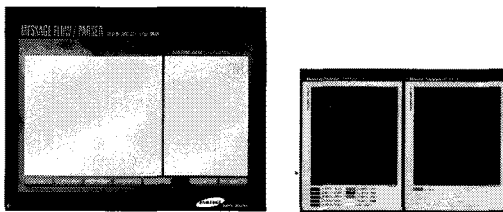


그림 14. CR Modem에서 MAC 메시지 및 센싱 결과 확인
참고.(주)모비안

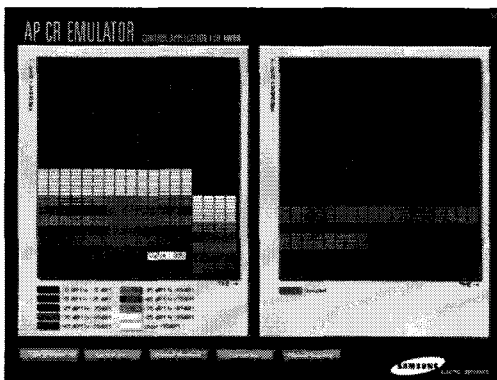


그림 15. AP에서 Sensing 결과를 참고한 채널관리 모습
참고.(주)모비안

CR Modem은 이렇게 확인된 결과를 AP에게 다시 전송하면 AP는 [그림 15]과 같이 Sensing 결과를 확인해 볼 수 있고([그림 15] 왼쪽 화면), 채널 관리 알고리즘을 통해 채널 할당 및 채널 이동, 종료 등을 수행([그림 15] 오른쪽 화면)한다. [그림 15]는 Sensing Module에서 실제 주파수 대역을 검색하여 CR Modem 측으로 전송하여 그 결과를 디스플레이한 결과이다. 이 결과를 통해 신호 발생기로 발생시킨 주파수를 정확히 검출하고 전송함을 확인하였다.

V. 결론

본 논문에서는 Spectrum의 중요성이 강조되고 있는 환경에서 효율적인 Sensing 기법을 적용하여 Cognitive Radio 용 MAC Message Layer에 대한 Spectrum Sensing Module을 구현하였다. 센싱 알고리즘을 적용하여 결과를 ARM에서 MAC 메시지의 확인을 통하여 센싱 정보의 원활한 흐름을 확인하였다. 각각의 Sensing Module 기능들을 연계하여 해당 채널의 주파수 검출이 가능함을 확인 하였다. 이동 및 무선 통신 시스템에서 CR 기술의 기본 개념은 주변의 유휴 Spectrum을 인식하여 기존 사업자에게 간섭을 끼치지 않는 한계 내에서 음성 및 패킷 데이터를 전송하는데 있다. 즉, 구현한 Spectrum Sensing Module은 CR 기술의 기본 개념을 충분히 고려한 시스템으로 실제 비어있는 주파수 대역을 찾는 것이 가능함을 보였다. CR 요소 기술의 사용이 활성화되면 지금까지 미국과 전 세계에 이동 및 무선통신 기술이 확산되는데 장애물이 되었던 spectrum과 광대역의 제약이 상당히 줄어들 것이다. 이에 따라, 향후 차세대 이동통신 분야를 선도하기 위해서는 CR 요소 기술에 대한 전반적인 연구가 절대적으로 필요하다 하겠다.

참고 문헌

- [1] D. Cabric, S. M. Mishra, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for

cognitive radios," Proc, IEEE Signal, Systems and Computers Conference, Vol.1, 2004(11).

[2] Federal Communications Commission (FCC), "Spectrum policy task force," Rep. ET Docket, No.02-135, 2002(11).

[3] Federal Communications Commission (FCC), "Notice of proposed rule making," ET Docket, No.04-113, 2004(5).

[4] J. Mitola, "Cognitive Radio for flexible mobile multimedia communications," Proc. of IEEE Workshop on Mobile Multimedia Comm., pp.3-10, 1999(11).

[5] <http://www.ieee802.org/22/>.

[6] C. Stevenson, "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard," IEEE 802.22 Draft, 2006(2).

[7] Mitola, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," IEEE Mobile Multimedia Conference, pp.3-10, 1999,

[8] Karsten Vandborg Sørensen and Søren Vang Andersen, "NOISE POWER SPECTRAL DENSITY ESTIMATION FROM NOISY SPEECH USING ON-LINE TRAINED HIDDEN MARKOV MODELS," Department of Communication Technology, Aalborg University.

[9] J. Goerlich and D. A. Bruckner, "Signal Analysis Using Spectral Correlation Measurement," IEEE Instrumentation and Measurement, Technonogy Conference, pp.18-21, 1998(5).

[10] The IEEE 802.22 Working Group, "IEEE P802.22TM/D0.3 Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands," IEEE P802.22/D0.3, 2007(5).

저자 소개

김 주 석(Joo-Seok Kim)

준회원

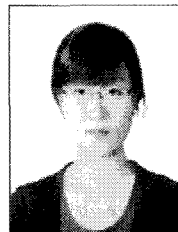


- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2007년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 대학원 석사과정

<관심분야> : CR, Spectrum Sensing, Cross Layer, Scheduling

이 현 소(Hyun-So Lee)

준회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> : Cognitive Radio, 이동통신, 전자파실험복원

황 성 호(Sung-Ho Hwang)

정회원



- 1996년 : 경일대학교 컴퓨터공학과(공학사)
- 1998년 : 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
- 2003년 : 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)

- 2004년 2월 : POSTECH 박사후 연구원
 - 2004년 11월 ~ 2006년 12월 : Georgia Tech. 박사후 연구원
 - 2007년 2월 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
- <관심분야> : Cognitive Radio, 다중접속기술(MAC), 60GHz 대역용 MAC, 4세대 이동통신기술

민 준 기(Jun-Ki Min)

정회원

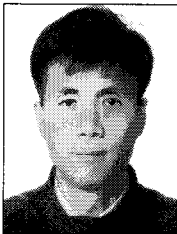


- 2000년 : 광운대학교 전자공학과(공학사)
- 2002년 : 광운대학교 대학원 전자공학과(공학석사)
- 2007년 : 광운대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

• 2007년 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 책임연구원
<관심분야> : Cognitive Radio, mm-Wave, CMOS RFIC

김 기 홍(Ki-Hong Kim)

정회원



- 1987년 : 연세대학교 전자공학과(공학사)
- 1989년 : 연세대학교 전자공학과(공학석사)
- 2005년 12월 : Georgia Tech., ECE, Ph.D.

• 1989년 5월 ~ 1998년 6월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원
• 2005년 11월 ~ 현재 : 삼성전기 중앙연구소 수석연구원
<관심분야> : 이동통신전송기술, 스펙트럼 센싱 기술, 무선인지(Cognitive Radio) 기술, 무선 통신 시스템에서의 간섭 검출 및 감쇄 기술

김 경 석(Kyung-Seok Kim)

정회원



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
- 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)

• 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
• 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
• 2006년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 조교수
<관심분야> : 전파감시, SDR, CR, MIMO-OFDM, UWB, Cross Layer, Scheduling