

# 무선인지 단말시스템을 위한 센싱 MAC 모듈 설계 및 구현

정희원 황 성 호\*, 민 준 기\*°, 박 용 운\*\*, 김 기 흥\*

## Design and Implementation of Sensing MAC Module for Cognitive Radio Terminal System

Sung-Ho Hwang\*, Jun-Ki Min\*°, Yong-Woon Park\*\*, Ki-Hong Kim\* *Regular Members*

### 요 약

최근 다양한 무선기기 및 통신서비스의 보급으로 주파수 부족문제가 대두되고 있다. 이에 대한 해결책으로 신규 주파수자원 확보와 더불어 주파수 이용에 간섭 없이 기존의 TV 방송통신 대역(UHF/VHF)의 유휴주파수(Whitespace) 자원을 이용할 수 있는 무선인지(Cognitive Radio) 기술이 주목 받고 있다.

본 논문에서는 먼저 TV 대역 상에서 비면허 무선서비스의 활용 가능성을 탐색하기 위해 개발한 무선인지 단말 시스템을 소개하고, 이 단말시스템 상에 탑재되어 효율적인 주파수 관리 기능을 수행하는 센싱 MAC 모듈의 개발 내용 및 테스트 결과를 기술한다. 무선인지 단말시스템에 적용된 센싱 MAC 소프트웨어는 IEEE 802.22 표준 규격을 기반으로 설계 및 구현되었으며, 개발된 센싱 MAC 모듈의 테스트를 수행하였다.

**Key Words** : Cognitive Radio, Platform, Transceiver, Modem, Sensing, MAC

### ABSTRACT

Recently, the lack of the frequency have been emerged due to the use of various wireless terminals. To find solutions for obtaining new frequency resources and for avoiding an interference, a cognitive radio technology have focused on as the new technology that can use the whitespace in TV broadcasting band.

In this paper, the Cognitive Radio terminal system for whitespace in TV band is first introduced. The purpose of the CR terminal platform is to evaluate the feasibility of the unlicensed wireless service in the TV band. Then, we design and develop the software for Sensing MAC applied the cognitive radio terminal system. The developed Sensing MAC software based on IEEE 802.22 specification can be aware of using the whitespace in TV band that operates on cognitive radio terminal system. Finally, we have tested for evaluating the sensing MAC module.

### I. 서 론

다양한 무선기기 및 무선 통신서비스의 등장으로 다가올 유비쿼터스 시대에는 주파수 자원의 부족 문제가 발생하게 될 것이다. 주파수 부족 문제는 새로운

주파수 대역을 개발하여 할당하는 방법으로 해결할 수도 있지만, 전파특성 및 기술적인 문제 등으로 당장 해결할 수 있는 방법이 아니기에 이러한 문제를 해결하기 위한 수 있는 무선인지(CR: Cognitive Radio) 기술에 대한 관심이 높아지고 있다<sup>[1,3-10]</sup>.

\* 본 연구는 지식경제부 부품소재기술개발사업의 지원으로 수행되었습니다.(과제번호:10027927 )

\* 삼성전기 기술총괄 중앙연구소 UMS 램(sungho717.hwang, jkmin, kh607@samsung.com) (° : 교신저자)

\*\* 삼성전기 CDS 사업부 UC개발G(snowman.park@samsung.com)

논문번호 : KICS2010-01-006, 접수일자 : 2010년 1월 6일, 최종논문접수일자 : 2009년 4월 5일

무선인지 기술은 고정형 주파수 할당 정책이 개방형 주파수 할당 정책으로 패러다임의 변화와 아날로그 TV의 디지털 TV(D-TV)로의 전환으로 주파수 조정 이슈등과 맞물려 비면허 무선기기들에게 면허 무선기기(Incumbent User(예:TV 및 무선 마이크폰 신호))의 우선권을 보호하면서 유휴주파수(Whitespace) 대역을 비주기적으로 사용하도록 허가하여 주파수 이용 효율을 높일 수 있는 기술로 정의할 수 있다<sup>1-4,10</sup>.

무선인지 기술관련 표준그룹인 IEEE 802.22 WG(Working Group)은 무선광역 접속망(Wireless Regional Area Network) 시스템 표준제정을 위해 2004년부터 고정형(Fixed wireless access) WRAN의 PHY와 MAC 계층 기술표준을 진행하였으며, 현재는 IEEE 802 ECSG(Executive Committee Study Group) 결성과 802.11 WG의 참여로 고정형 이외에 휴대형으로 서비스 모델이 다변화되고 있다. 또한, 소출력 무선인지 기술 적용 무선기기에 대한 표준화는 IEEE와는 별개로 ECMA TC48-TG1(CogNeA)에서 진행 중이다<sup>6,7,11</sup>.

무선인지 기술 적용 주파수 대역인 54MHz에서 862MHz 대역은 전 세계적으로 주로 방송용으로 사용 중인 대역으로 지난 2008년 11월 미국 연방통신위원회(Federal Communications Commission)는 2<sup>nd</sup> R&O(Report & Order)에서 TV 주파수대역 상에서 유휴주파수를 활용한 비면허 방식 서비스에 대한 허용하였으며, 우리나라 방송통신위원회에서도 TV 방송 주파수 대역 중 유휴주파수 대역을 무선 인터넷용으로 개방하는 작업도 진행 중이다<sup>4,6-10</sup>.

현재 미국(2009년) 및 우리나라(2012년)를 비롯하여 전 세계적으로 기존 아날로그 TV 주파수 대역을 회수하여 D-TV용으로 전환 중이며, D-TV 전환 완료 후 무선인지 기술을 탑재한 무선기기의 TV대역 주파수를 재활용할 수 있도록 관련 법 개정 및 기술 정책 작업을 추진하고 있다. 따라서 전 세계적으로 많은 회사들이 무선 인지 기술 관련 자체 테스트베드를 구축하고, 이를 실제 시스템에 응용하기 위한 기술 개발에 박차를 가하고 있는 시점에 본 논문에서 기술할 센싱 MAC 모듈은 신규시장에 필요한 요소기술 개발 관점에서 중요한 의미를 갖는다고 할 수 있다.

본 논문에서 기술하고자 하는 센싱 MAC 모듈은 TV 대역의 유휴 채널을 활용한 면허/비면허 무선접속 서비스의 활용 가능성(Feasibility) 탐색을 테스트하기 위해 제작된 무선인지 단말시스템 상에서 탑재되어 동작하며, IEEE 802.22 표준규격의 정의된 MAC 기능을 구현하였다. 또한, 개발된 센싱 MAC 소프트웨어

어는 IEEE 802.22의 기반 기술이라 할 수 있는 IEEE 802.16 표준규격 시스템에 적용 가능하며, 개발된 센싱 MAC 모듈은 향후 고정형/이동형(Portal Service)용 멀티미디어 전송을 위한 방송통신 융합솔루션으로 활용 가능하다<sup>7,10</sup>.

본 논문에서는 IEEE 802.22 표준규격에 의해 개발된 무선인지 단말시스템 구조에 대한 설명을 2장에서 기술하고, 3장에서는 무선인지 기술을 적용한 단말 시스템상의 소프트웨어 설계 및 구현 내용을 IEEE 802.22 시스템과 IEEE 802.16 시스템으로 나눠 설명한다. 4장에서는 개발된 무선인지 시스템 상에 센싱 MAC 모듈 테스트 결과에 대해 기술하며, 결론으로 마무리한다.

## II. 무선인지 단말시스템 구조

앞서 언급한바와 같이, 무선인지 기술은 TV 주파수 대역에서 주변 주파수 환경을 인지하고, 통신 가능한 주파수를 주파수 센싱(Spectrum Sensing) 기능을 통해 지능적으로 검출하여 기존 면허사용자의 서비스에 간섭을 주지 않고 비면허 기기의 통신을 허가할 수 있는 지능형 무선통신 기술이라 정의할 수 있다 [1]. 이를 위해선 무선인지 기술이 적용된 단말기나 기지국은 데이터 통신 기능 이외에 주파수 센싱 기능을 가져야 하며, 주파수 센싱 정보를 이용하여 동적으로 주파수 선택 기능 및 잉여 주파수 확보 기술 등 효율적인 주파수 운용을 할 수 있는 MAC(센싱 MAC)기능이 필요하다. 통신기능과 주파수 센싱 기능을 효율적으로 운용, 지원하기 위한 센싱 MAC 기능을 갖춘 무선인지 단말시스템의 구조는 그림 1과 같이 구성할 수 있다.

먼저, 광대역 PHY(Broadband PHY) 시스템 블록은 센싱 결과에 의해 가변 채널 대역폭, 가변 채널 대역폭에 따른 FFT/IFFT 크기 변경, 변·복조방식 및 전송속도를 가변적으로 변화할 수 있는 적응형 모뎀(Adaptive Modem) 서브 블록과 54-862MHz TV 방

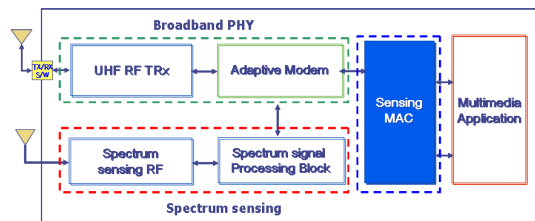


그림 1. 무선인지 단말 시스템 구조도

송대역의 낮은 주파수 대역에서 높은 주파수 대역까지 데이터를 송신할 수 있는 RF 송수신기(Transceiver) 서브 블록으로 구성된다. 광대역 PHY 시스템 블록의 각 서브 블록은 광대역 CMOS RF 송수신기 IC와 모뎀 IC로 개발되었으며, 단말과 기지국 시스템에 각각 적용하였다. 또한, 주파수 센싱 시스템 블록은 넓은 방송 주파수 대역내의 주파수를 검색하여 유효주파수 대역을 검출 및 면허사용자인 TV 신호 및 무선 마이크로폰 신호 검출 기능을 수행하여야한다. 이를 위해 다양한 주파수 검출 알고리즘들이 적용 가능하도록 범용 FPGA/DSP 보드상에 디지털 신호 처리 모듈로 개발 되었으며, 다양한 센싱 알고리즘이 적용되었다<sup>7,8,10</sup>.

개발된 무선인지 단말시스템의 특징으로는 광대역 PHY 시스템 블록의 RF 프론트엔드(front-end), 적응형 베이스밴드 모뎀 및 센싱 MAC 시스템 블록(센싱 MAC 모듈)으로 구성된 멀티미디어 데이터 통신 패스와 주파수 센싱을 통해 검출된 주파수 정보를 실시간 처리할 수 있도록 센싱 RF를 별도 구성하여 독립적인 주파수 센싱 기능을 수행할 수 있는 센싱 패스로 개발하여 통신링크의 영향을 받지 않도록 하였다<sup>7,10</sup>. 또한, 개발된 시스템 블록을 하나의 통합 보드로 개발하여 TV 주파수 대역을 이용한 멀티미디어 전송 및 주파수 신호 검출제어/처리 기능을 통합 시스템을 통해 기능 검증을 수행하였다. 이들 기능들이 통합된 플랫폼의 하드웨어 구성은 그림 2와 같다.

센싱 MAC 시스템 블록(그림 1)은 통합 보드 상에서 최측상단에 위치하며, 150mm X 69mm X 1.8T의 크기로 Freescale사의 MPC8560 프로세서를 이용하

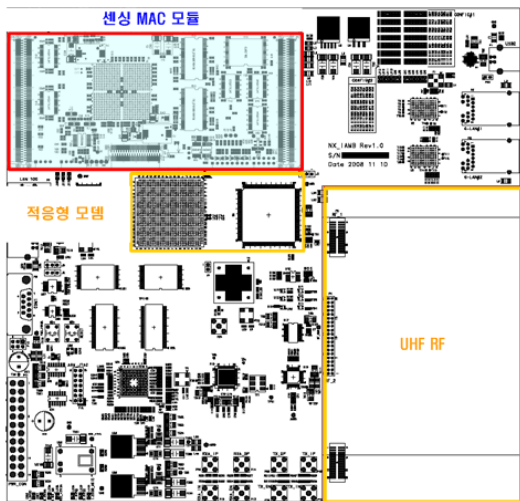


그림 2. 무선인지 단말 시스템 하드웨어 형상

여 개발되었다. 주파수 대역 점유 여부 판단을 위해 필요한 주파수 대역, 수신 신호 세기의 측정 수행 등의 기능은 주파수 센싱 시스템 블록과 이더넷 인터페이스를 통해 데이터 교환이 이루어지도록 하였으며, 최종 개발된 센싱 MAC 소프트웨어는 외부 하드웨어 모듈과 인터페이스를 통해 표준규격에 정의된 기능을 수행하도록 설계하였다.

### III. 센싱 MAC 모듈 설계

#### 3.1 센싱 MAC 소프트웨어 구조

본 연구를 통해 개발된 무선인지 단말시스템의 전체 소프트웨어 구성은 그림 3과 같이 MAC 코어 소프트웨어, 모뎀 드라이버 소프트웨어, MAC 하드웨어 드라이버, 및 주변 장치 지원 소프트웨어 모듈들로 구성된다. 개발된 소프트웨어의 NFS 서버가 설치된 PC와 시스템간의 연결로 다운로드 및 로깅데이터 확인을 하였으며, 해당 PC 상에서 소프트웨어의 컴파일 및 디버깅이 이루어졌다.

먼저, 소프트웨어 개발 관점에서 무선인지 단말 시스템은 크게 MAC 코어 소프트웨어 블록과 모뎀 및 하드웨어 드라이버를 위한 모뎀 소프트웨어 블록으로 나눌 수 있으며, MAC 코어는 수행하는 기능에 따라 MAC CS (Convergence Sublayer) 모듈, 호 제어 (Call Control) 모듈, 무선 자원 관리 모듈 (Resource Management), 주파수 관리모듈(Spectrum Manager), PDU 라우터 모듈 그리고 모뎀 및 MAC 하드웨어 드라이버 모듈로 정의하여 개발하였다. 각 소프트웨어 모듈은 Linux OS의 thread 형태로 구현되었으며, thread 사이 통신은 큐(Queue)를 통하여 통신한다.

CS 모듈은 센싱 MAC의 주요 부분으로 MAC SDU(Service Data Unit(즉 IP 데이터그램))를 생성 후 인터페이스를 통해 송·수신하는 기능을 수행하며, 단말-기지국간 호(Call)와 관련된 호 제어 모듈은 패킷 응용을 활성화, 형상 변경 그리고 비활성화 시키는 패킷 세션 처리 기능과 인증 및 암호화 같은 security

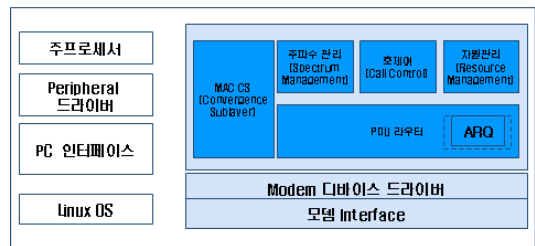


그림 3. 무선인지 단말 소프트웨어 구성

관련 처리 기능을 담당한다. 또한, IEEE 802.22 표준에 정의된 패킷 세션 관리 및 security 관련 기능을 수행하도록 구현되었다.

무선자원 관리모듈은 호 제어모듈 메시지 및 사용자 응용 데이터 교환을 위한 아이디(CID) 관리 기능과 무선 자원 할당에 대한 처리 기능을 수행하도록 설계하였으며, 호 제어 모듈에서 발생한 메시지의 송·수신을 위해서 단말은 초기 Ranging을 통해 단말 아이디를 할당 받는다. 기지국은 셀 내에서 사용될 수 있는 채널을 관리하며, 이 단말 아이디를 통해 자원할당을 하게 된다. 즉, 무선 자원 관리 모듈은 단말의 초기 전원 인가 후 시스템 선택 및 초기 Ranging 절차 수행을 담당하며, 무선 자원 할당 관련된 메시지들의 내용에 따라 모듈을 제어한다.

주파수 관리 모듈은 주파수 검출 알고리즘이 구현된 주파수 센싱 시스템 블록 제어를 위한 타이밍 정보 관리, 주파수 측정관련 메시지에 대한 처리, 센싱 시스템 블록에 대한 제어, 보고된 측정 결과 값에 대한 처리, 무선 주파수 채널에 대한 관리 등의 기능을 수행한다. 주파수 관리 모듈은 주파수 검출을 위한 QP(Quiet Period) 구간 설정 및 유휴 주파수 정보 관리등이 주 기능으로 무선인지 시스템의 주요 모듈 중 하나이다.

위에서 언급한 무선인지 단말시스템을 위한 주 모듈이외에 PDU 라우터 모듈은 상향, 하향링크의 데이터 송수신을 담당하며, MAC PDU/SDU 변환 기능을 모뎀블록과 함께 수행한다. 또한 PDU 라우터 모듈은 ARQ 기능을 이용하여 손실된 데이터를 복원하는 기능을 수행한다.

### 3.2 센싱 MAC 소프트웨어 설계

앞서 언급한바와 같이, 본 논문에서 기술할 센싱 MAC 모듈은 IEEE 802.22 표준을 기반으로 설계하였으며, 무선 전송 기술 방식인 OFDM 전송 방식을 지원한다. 또한, 개발된 센싱 MAC 소프트웨어는 슈퍼프레임(Superframe) 기능 구현 및 처리, QP(Quiet Period) 구간 설정, 센싱 정보 처리등 무선인지 관련 기능 구현을 통해 IEEE 802.16 시스템에서도 동작이 가능하다. 본 논문에서는 소프트웨어 설계 관점에서 이들에 대해 기술한다.

#### 3.2.1 IEEE 802.22 규격을 위한 MAC 코어 설계

무선인지 시스템의 주요 기능은 면허 사용자의 보호를 전제로 유휴주파수를 점유하여 사용하는데 있으며, 타 사용자에 의한 주파수 점유 여부를 판단하기

위해선 주파수 센싱 기능이 필수적이다. 이를 위해 표준에서는 QP 구간을 정의하고 있으며, Intra-frame (in-band) QP와 Inter-frame(out-band) QP로 구분하고 있다. 이들 QP에 대한 정보는 SCH(Superframe Control Header)에 의해 방송되며, 설정된 QP 구간 내에서는 송수신이 금지되며, 주파수 센싱을 통해 주파수 정보를 획득하여야 한다. 표준규격에서는 Intra QP인 경우, 단말이 사용하고 있는 동일 주파수대역에 대한 주파수 센싱을 의미하며, Inter QP는 후보 주파수대역에 대한 주파수 센싱을 수행하도록 정의하고 있다. Intra QP 및 Inter QP의 전체 타이밍 구성도는 그림 4와 같다.

본 논문에서의 센싱 MAC 모듈도 SCH에 의해 QP 구간 설정을 위한 파라미터(cycle length, cycle offset, period 등) 값들을 전달받으며, 표준규격에서 정의한 16개 프레임으로 구성된 슈퍼프레임(superframe)의 시작 시점에 전송되도록 설계되었다.

단말시스템의 주파수 관리모듈은 QP 구간 설정 관련 정보 및 센싱 주파수 정보(주파수 대역)를 주파수 센싱 시스템 블록에게 전달하여 설정된 주파수 대역에 대한 무선 구간 센싱 측정을 요구한다. 센싱 MAC 모듈을 통해 주파수 측정요구 메시지(BLM\_REQ)를 받은 주파수 센싱 시스템 블록은 전달된 센싱 관련 파라미터에 의해 정해진 시간에 센싱 동작을 수행하고, 검출된 신호 세기로 표시되는 측정 결과를 센싱 MAC 모듈에게 보고한다. 보고된 정보를 통해 주파수 관리 모듈은 주파수 센싱 시스템 블록에서 보고된 측정 관련 정보를 기지국에 보고하며, 이 정보를 이용해 새로운 SCH가 도착할 때까지 유휴채널 관리 절차를 수행한다.

센싱 MAC 모듈은 유휴주파수 검출을 위해 표준에서 정의한 주파수 채널에 대한 추가, 이동, 종료(CHA/CHS/CHT\_REQ/RSP)에 대한 메시지와 채널 측정 관련(BLM\_REQ/RSP/REP/ACK) 메시지 그리고 채널 탐색(CHQ-REQ) 메시지 및 채널 정보를 업데이트(CHO-UPD) 메시지등을 통해 처리하도록 블록 별로 그림 5에서처럼 상세설계를 하였다.

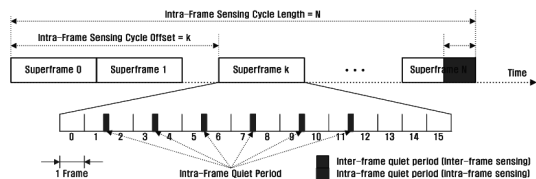
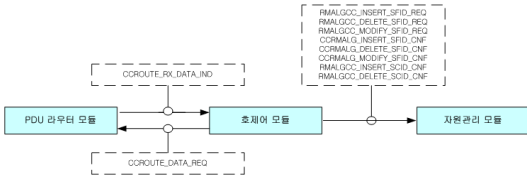
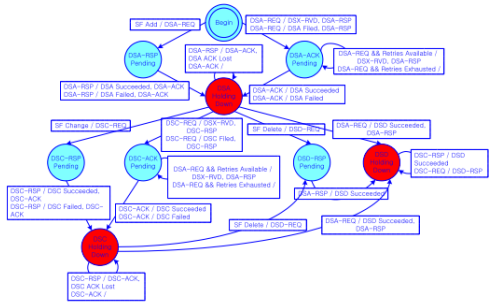


그림 4. IEEE 802.22 표준규격 Quiet Period 구간 할당 스케줄링



(a) 호 제어 모듈 관련 메시지 정의 예



(b) 호 연결 관련 상태 천이도 예

그림 5. 호 제어 모듈 상세 설계 예

무선인지 단말 시스템은 앞서 언급하였듯이 별도의 RF체인(Chain)을 가지고 데이터 통신 패스와 주파수 센싱 패스로 나뉘어 개발하였기에 센싱 MAC 모듈은 통신 패스와 센싱 패스의 유기적인 기능 수행을 담당한다. 즉, 기지국으로부터 전달된 주파수 센싱 관련 메시지를 해석하여 제어 및 명령을 주파수 시스템 블록에 전달한다. 주파수 센싱 시스템 블록도 표준 규격에 소개된 다양한 주파수 센싱 알고리즘 구현 및 성능 테스트를 위해 ARM, RF/ADC 및 DSP로 구성된 별도의 플랫폼으로 개발되었으며 그림 6의 메시지 흐름으로 동작한다.

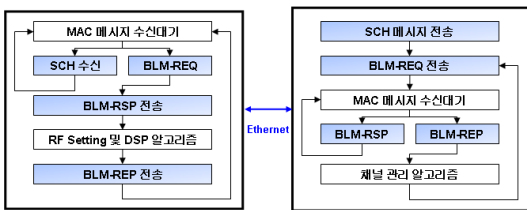


그림 6. 주파수 센싱 블록과 센싱 MAC 모듈 블록도 및 센싱 관련 메시지 흐름도

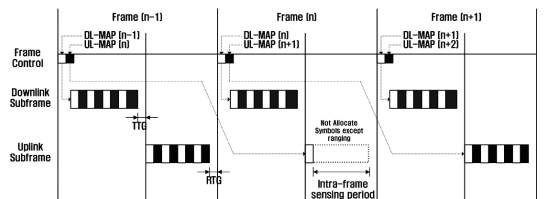
3.2.2 IEEE 802.16 규격을 위한 MAC 코어 설계  
 앞서 언급했듯이, 무선인지 표준규격이 IEEE 802.16 표준규격을 근간으로 만들어진 이유로 WiMax 시스템에서도 무선인지 기술 구현이 가능하다. 즉, 기존 시스템에 주파수 센싱에 따른 추가 기능

이 포함되어야 한다. WiMax 시스템에서 주파수 센싱이 가능하기 위해서는 IEEE 802.22 표준규격의 정의에 따라 슈퍼프레임 단위의 프레임 처리, QP 구간 생성 및 구간 설정 그리고 MAC 모듈에서의 주파수 센싱 관련 메시지 처리 기능등이 추가로 정의되어야 한다. 먼저, WiMax 시스템은 무선인지 시스템과 달리 프레임 기반으로 동작하기에 슈퍼프레임 역할을 할 수 있는 프레임에 대한 설계가 필요하다. 즉, 무선인지 시스템에서의 SCH 정보를 방송할 위치가 존재하지 않기 때문이며, 이를 위해 본 무선인지 단말시스템에서는 기지국의 첫 번째 하향링크 버스트(Downlink burst 0)를 통해 SCH 메시지 정보를 방송하도록 구현하였다.

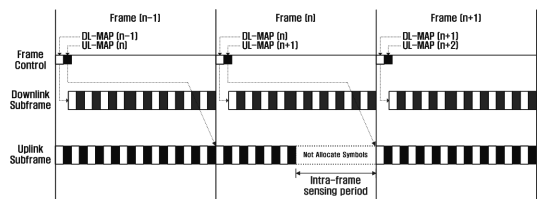
QP 구간 생성 및 구간 설정을 위해선 무선 송수신 방법에 따라 TDD와 FDD로 동작 가능하도록 정의되어 있기에, 앞서 언급한 QP 구간 설정이 설계 이슈가 될 수 있다. 따라서 본 센싱 MAC 모듈에서는 TDD와 FDD 모드를 모두 고려하여 설계하였으며, Intra-frame 센싱을 위한 QP 생성은 TDD/FDD에 대하여 각각 그림 7과 같이 동작하도록 설계하였으며, Inter-frame QP를 위해선 그림 8에서와 같이 TDD/FDD에 대해 각각 동작하도록 프레임 처리를 하였다.

TDD와 FDD의 차이점은 TDD는 하나의 주파수 채널 상에서 상, 하향 링크가 공존하기 때문에 QP 구간에서는 모든 단말들이 송수신 관련 동작을 멈추고 주파수 센싱에 참여하여야 하지만, FDD인 경우 송수신 채널이 다르기 때문에 상향링크 참여 단말만 주파수 센싱 절차를 수행하면 된다.

상향, 하향링크에 대한 자원은 기지국에서 DL-



(a) TDD



(b) FDD

그림 7. Intra-Frame QP 생성 방법

MAC, UL-MAP 메시지를 통해 할당하며, 단말은 설정된 프레임(프레임 번호)에서 상향링크에 대한 주파수 센싱을 수행한다.

WiMax 시스템에서도 마찬가지로 Intra-frame 센싱은 동일 주파수내 타 사용자에게 대한 센싱이므로 작은 센싱 주기가 할당가능하며, 기지국에서 센싱주기 및 QP 크기(센싱시간)를 수퍼프레임마다 다르게 설정할 수 있다. 그래서 전체 시스템 성능 및 면허 사용자에게 방해가 되지 않도록 효율적인 할당 알고리즘이 필요하다.

Intra-frame 센싱에 비해 Inter-frame 센싱은 표준에서 현재 통신에 사용되지 않는 후보 주파수대역에 대한 센싱을 수행하기에 주파수 천이 및 Intra-frame 센싱과 비교하여 충분한 시간 할당이 되어야 한다. 이를 위해서는 연속된 프레임을 이용하여야 하며 센싱 주기를 충분히 확보할 수 있도록 설계시 고려하여야 한다.

Inter-frame 센싱도 주파수 센싱 수행 프레임번호는 기지국에 의해 SCH 를 통하여 단말에 전달되며, 해당 프레임번호의 시간에 대하여 기지국은 DL-MAP, UL-MAP을 통하여 기지국내 전체 단말과의 송수신을 중단시킨다. 즉, 주파수 센싱이 수행되는 시간 동안 데이터 교환은 일시적으로 중단된다.

만약, WiMax용 무선인지 시스템을 독립 시스템으로 개발한다면 앞서 언급한 기능외에도 IEEE 802.22 표준규격에 정의된 무선인지 관련 메시지들에 대한 처리도 구현되어야 한다.

앞서 언급한 내용으로 개발된 무선인지 단말시스템은 무선구간 초기등록 절차(단말 초기화, Ranging 절차, 단말 등록 절차등)를 거쳐 망에 등록 후 기지국의

로부터 SCH 수신을 통해 주파수 센싱 구간을 설정하게 된다. 주파수 센싱 절차는 주기적으로 수행되거나, 주파수 측정 메시지(BLM 메시지)를 통해 수행할 수 있으며, 본 센싱 MAC 모듈에서는 이 두 가지 모드를 모두 수용할 수 있도록 설계하였다.

그림 9에 단말이 초기 절차 수행을 통해 네트워크에 등록 후 기지국으로부터 주파수 측정 요구 메시지(BLM\_REQ)를 통해 주파수 센싱 요구보고 수행 절차의 메시지 흐름도를 나타내었다.

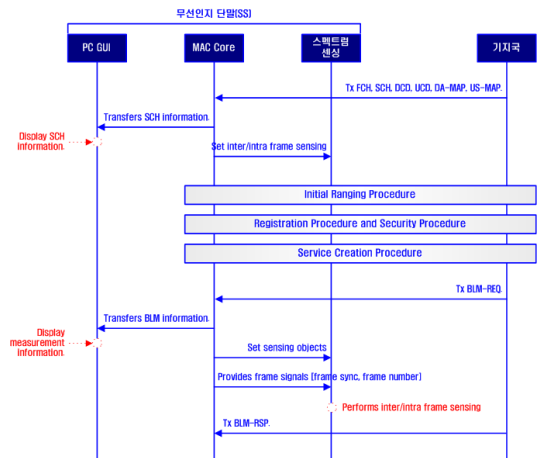


그림 9. 무선인지 단말 초기화 및 주파수 센싱 측정 요구보고 절차 메시지 흐름도(예)

#### IV. 센싱 MAC 모듈 테스트

개발된 센싱 MAC 모듈은 앞서 언급한대로 모뎀 모듈, RF 모듈과 통합 보드상에 개발되었으며, 주파수 센싱 시스템 블록과는 이더넷으로 연결되어 무선인지 단말시스템으로 구성된다.

##### 4.1 센싱 MAC 모듈 테스트 환경 및 구성

전체 시스템 연동 테스트를 위한 시스템 구성은 그림 10과 같이 동일한 하드웨어로 구현된 단말 및 기지국 타깃 시스템, 서버 PC, 기지국 주파수 센싱 애플레이터, 단말 UI PC, 단말 주파수 센싱 모듈로 구성되며, 주파수 센싱 테스트를 위한 신호 발생기 그리고 사용 주파수 대역 확인을 위한 주파수 분석기가 추가로 구성된다.

통합 시스템상의 단말과 기지국 시스템은 무선으로 연결되었으며, 두 시스템은 IEEE 802.22 표준규격에서 정의한 무선 전송 절차 수행을 통하여 연결된다. 데이터 패킷 테스트를 위해 기지국에는 스트리밍 서

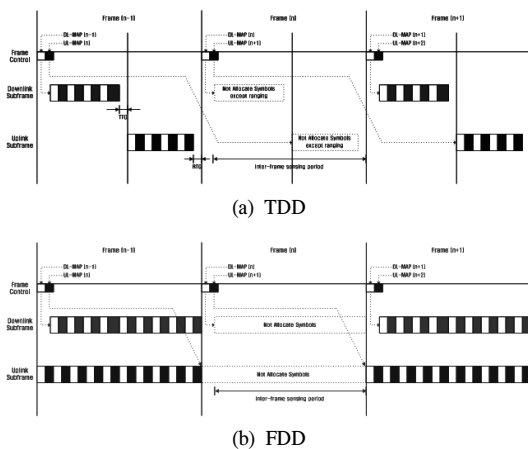


그림 8. Inter-Frame QP 생성 방법

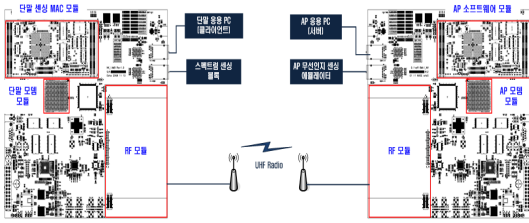


그림 10. 테스트를 위한 전체 시스템 구성도

버 PC가 단말 시스템에는 클라이언트 PC가 연결되어 주파수 센싱에 따른 주파수 변경 처리 기능 시에도 데이터 스트리밍의 전달 여부를 확인할 수 있도록 하였다.

그림 10의 시스템 구성도와 같이 연결된 실제 테스트 시스템의 사진은 그림 11과 같으며, 구성 A는 기지국 시스템 및 기지국 주파수 센싱 에뮬레이터 PC를, 구성 B는 단말 시스템 및 단말 UI PC를, 구성 C는 단말 주파수 센싱 모듈을 그리고 구성 D는 주파수 센싱을 위한 신호 발생기 및 사용 주파수 대역 확인을 위한 주파수 분석기이다.

또한, 다양한 주파수 검출 테스트를 확인하기 위해 기지국 센싱 에뮬레이터를 개발하여 주파수 센싱 파라미터를 가변적(인위적)으로 변경 가능하도록 하였으며, 단말과 기지국을 PC로 연결하여 단말 무선 신호 절차(등록, 호제어 절차등) 및 무선인지 주요기능인 주파수 탐색, 검출, 변경등의 절차를 모니터로 확인할 수 있도록 확인하도록 그림 12와 같은 GUI (Graphic User Interface)들을 개발하였다.



그림 11. 무선인지 시스템 실제 구성 사진

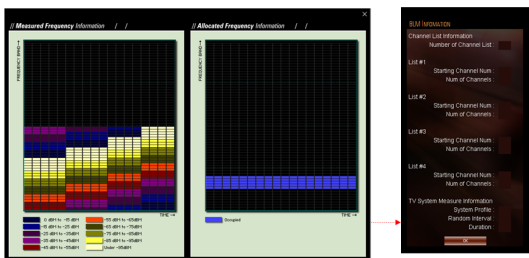


그림 12. GUI 예(주파수 결과 표시창 및 기지국 센싱 에뮬레이터)

#### 4.2 센싱 MAC 모듈 테스트 및 내용

본 연구를 통해 개발된 센싱 MAC 모듈내의 소프트웨어는 센싱 MAC 코어 소프트웨어, 모뎀 드라이버 소프트웨어 및 기타 응용 소프트웨어들로 구성된 복잡한 하나의 시스템이다.

개발된 무선인지 단말시스템 관련 블록(광대역 PHY, 주파수 센싱, 센싱 MAC 그리고 멀티미디어응용 시스템 블록)들을 전체 연동하여 테스트하기에는 디버깅 및 기능 검증에 어려움이 있을 것으로 판단되어 모듈 단위별 (멀티미디어 응용-센싱 MAC, 모뎀-센싱 MAC) 기능 검증을 먼저 수행 후, 전체 시스템 연동 테스트를 수행하였다. 먼저, 멀티미디어 응용 블록과 센싱 MAC 블록의 연동 시험을 위해 단말과 기지국의 모뎀 제어 및 데이터 송수신 관련 기능을 에뮬레이션 소프트웨어로 개발하여 센싱 MAC 코어 모듈과의 연동 시험을 수행하였으며, 이때 모뎀 에뮬레이터는 데이터 송수신 관련 인터럽트를 타이머로 동작하도록 개발하여 모뎀이 존재하는 환경과 동일하게 동작하도록 개발하였다. 또한 모뎀과의 연동 테스트를 위해 단말과 기지국용 모뎀 드라이버(변복조, 채널 코딩등)를 개발하여 전체 시스템 연동 전에 모뎀 연동테스트를 수행하였다.

단위 모듈간의 연동 시험을 통하여 세부적인 기능 테스트를 수행하여 전체 시스템 연동 테스트가 용이하도록 하였다.

전체 시스템 연동 테스트는 센싱 MAC 모듈이 탑재된 무선인지 시스템 상에서 표 1에 언급한 시험 항목들의 기능 수행 및 절차에 대한 정상 동작 여부를 그림 13과 같이 단말과 기지국에 연결된 GUI를 통해 확인하는 방법으로 수행하였다.

보다 다양한 테스트를 위해 단말과 기지국간 무선 접속관련 절차 수행 테스트와 무선인지 관련 절차 수행 테스트로 나눠서 수행하였고, 접속 절차 수행 후 설정된 무선구간을 통해 멀티미디어 스트리밍을 전송한다. 단말과 기지국간 스트리밍 데이터 송수신 후 주

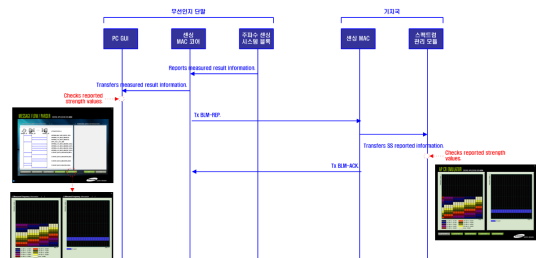


그림 13. 주파수 센싱결과 보고 관련 전체 시스템 연동 테스트 절차 및 GUI 화면 예(BLM\_RSP)

표 1. 단말-기지국간 연동 기능 테스트 항목 및 내용

시험항목		내용
무선 접속 관련	단말초기절차	기지국의 시스템 정보방송, 시스템 액세스를 위한 초기 Ranging 그리고 기본기능 협상에 대한 기능 수행
	등록절차	단말 위치등록을 위한 관련 신호 처리 절차 및 인증 처리 기능 수행
	서비스생성 및 삭제 절차	응용을 사용하기 위한 호제어 모듈의 서비스 생성 및 삭제 기능 수행
무선 인지 관련	SCH 송수신절차	주파수 센싱을 위한 과정에서 사용할 타이밍 정보 설정 기능 수행
	BLM 메시지 관련 설정절차	단말이 주파수 센싱을 수행해야할 주파수 대역 설정 관련 기능
	BLM 메시지보고 절차	주파수 센싱 블록의 특정 주파수 대역에 대한 수신신호세기 측정 결과 보고 기능 및 측정결과 값 및 동작 확인
	채널변경절차	신호발생기를 통해 신호발생(1차 사용자 출현)후 여분의 유휴 채널로 채널 변경 기능 및 기지국 주파수 센싱에 플랫폼의 UI와 단말 UI를 통해 측정 결과값 및 동작 확인

파수 생성기를 통해 주파수 간섭을 하여 무선인지 관련 동작 여부(주파수 검출 및 주파수 변경 등) 수행 여부를 확인하였다.

### V. 결 론

향후 다가올 미래에는 다양한 무선기기 및 서비스 창출로 주파수 자원 부족 문제가 대두될 것이며, 이러한 문제를 해결하기 위한 방안중 하나로 무선인지 (Cognitive Radio) 기술이 주목받고 있다. 또한, 현재 미국 및 우리나라뿐만 아니라 전 세계적으로 DTV 전환 후 무선인지 기술을 탑재한 무선기기의 방송 주파수 대역의 재활용할 수 있도록 관련 법 개정 및 기술 정책 작업을 추진하고 있다.

전 세계적으로 많은 관련 업체들이 무선인지 기술에 관심을 가지고 있으며, 자체 테스트베드 개발을 하고 있는 시점에 본 논문에서 기술한 무선인지 기술관련 센싱 MAC 모듈 개발은 신규시장에 필요한 요소기술에 대한 기술선점을 할 수 있는 기술적 의의가 있다고 말할 수 있다.

본 논문에서 개발한 센싱 MAC 소프트웨어는 무선인지 시스템의 주파수 센싱 블록과의 주파수 검출 및 주파수 자원 관리 및 제어를 효율적으로 담당하도록

설계하였고, IEEE 802.22 표준규격에 근거하여 충실히 설계하였다. 또한, 무선인지 기술의 기반 기술인 WiMax 시스템에서도 무선인지 기술 구현이 가능하도록 소프트웨어 관점에서 기술하였다.

개발된 센싱 MAC 모듈은 VHF/UHF TV 대역의 유휴 채널을 활용한 면허/비면허 무선접속 서비스의 활용 가능성(Feasibility) 탐색을 테스트하기 위해 제작된 무선인지 시스템상에 탑재되어 기능 검증을 수행하였으며, 단말과 기지국에 연결된 PC 상에 구현된 GUI를 통해 테스트 결과의 수행 여부를 검증할 수 있었다.

본 논문에서 기술한 센싱 MAC 모듈은 향후 소규모 고정형/이동형(Portal Service)용 멀티미디어 전송을 위한 방송통신 융합 솔루션으로 활용 가능하다.

### 참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.22 Working Group, "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*, May 2007.
- [2] FCC 08-260, *Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order*, November 2008.
- [3] M. Kodialam and T. Nandagopal, "Characterizing the Capacity Region in Multi-Radio, Multi-Channel Wireless Mesh Networks," in *Proc. of IEEE MOBICOM*, August 2005.
- [4] 고광진, 황성현, 송명선, 김창주, 강범주, "IEEE 802.22 WG에서의 CR응용: WRAN MAC 설계", *한국전자과학회지*, 제17권 2호, 2006.
- [5] S. Haykin, "Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications," *IEEE Journal on Select Areas in Communication*, Vol.23, No.2, pp.201-220, February 2005.
- [6] 민준기, 황성호, 김기홍, 황신환, "Spectrum Sensing 기술 동향", *한국전자과학회지*, Vol.20, No.3, pp.36-51, 2009.
- [7] 황성호, 민준기, 김기홍, 김학선, 황신환, "무선인지모듈 개발", *한국전자과학회지*, Vol.20, No.3, pp.52-58, 2009.
- [8] 김주석, 이현소, 황성호, 민준기, 김기홍, 김경석,



“Cognitive Radio 기반의 Spectrum Sensing을 위한 MAC 기능 구현”, *한국컨텐츠학회 논문지*, Vol.8, No.8, pp.28~36, 2008.

- [9] <http://www.ieee802.org/22/>
- [10] 황성호, 김기홍, 민준기, 이성수, “UHF TV 대역상의 Multimedia Application을 위한 CR Sensing MAC 테스트용 플랫폼 개발”, *한국인터넷방송통신TV학회 춘계학술대회 논문집*, 제6권, 1호, pp.32-35, 2008.
- [11] Jianfeng Wang, Myung Sun Song, Soma Santhiveeran, Kyutae Lim, Gwanzeen Ko, Kihong Kim, Sung Hyun Hwang, Monisha Ghosh, Vasanth Gaddam, Kiran Challapali, “First Cognitive Radio Networking Standard for Personal/Portable Devices in TV White Spaces”, *Ecma/TC48-TG1*, 2009.

**황 성 호 (Sungho 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

**박 용 운 (Yong-Woon Park)**

정회원



1996년 인하대학교 전기공학과 공학사  
 1996년~1998년 (주)효성중공업 자동차사업부  
 1998년~2000년 인천 전기학원 강사  
 2004년 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 (공학석사)

2007년 일본 東北(Tohoku)대학교 전자공학과 공학박사

2007년~현재 삼성전기 중앙연구소 책임연구원  
 <관심분야> Cognitive Radio, 60GHz 무선통신용 ADC

**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 한국

전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원

2005년 11월~현재 삼성전기 중앙연구소 수석연구원  
 <관심분야> 이동통신전송기술, 주파수 센싱 기술, 무선인지(Cognitive Radio) 기술, 무선 통신 시스템에서의 간섭 검출 및 감쇄 기술 등