

## 면허기반 주파수 공동 사용을 위한 멀티모드 단말기 설계 및 구현

Jin Yong\* · 최 승 원\*\*

### *Design and Implementation of Multi-mode Mobile Device for supporting License Shared Access*

Jin Yong · Choi Seungwon

#### 〈Abstract〉

Recently, as the heterogeneous network (HetNet) has been deployed widely to support various kinds of Radio Access Networks(RANs) with a combination of Macro, Pico, and/or Femto cells, research and standardization efforts have been very active regarding the concept of Licensed Shared Access (LSA) for supporting spectrum sharing. In order for a mobile device to efficiently support the spectrum sharing, the mobile device shall be reconfigurable, meaning that its radio application code has to be adaptively changed in accordance with the hopping of desired spectral band. Especially, Working Group 2 (WG2) of Technical Committee (TC) Reconfigurable Radio System (RRS) of European Telecommunications Standards Institute (ETSI) has been a main driving force for developing standard architecture for Multi-mode Mobile Device (MD) that can be applied to the LSA system. In this paper, we introduce the Multi-mode MD architecture for supporting LSA-based spectrum sharing. An implementation of a test-bed of Multi-mode MD is presented in order to verify the feasibility of the standard MD architecture for the purpose of LSA-based spectrum sharing through various experimental tests.

Key Words : License Shared Access, Multimode MD, Radio Reconfiguration, Software Defined Radio

## I. 서론

최근 들어 스마트폰의 사용이 증가함에 따라 이동통신 서비스를 중심으로 데이터 트래픽이 급증함에 따라 주파수 자원에 대한 수요가 증가되고 있다.

국제 모바일 트래픽이 2010년부터 2020년까지, 10년 사이에 10배에서 30배까지 증가할 것이라고 보고되었으며 그에 따라 주파수 자원이 부족한 현상이 발생될 것으로 예측하고 있다[1]. 오늘 날의 무선 통신 네트워크는 모두 특정된 정책에 따라 주파수 자원을 사용한다. 즉 모든 무선 통신 네트워크에서 사용되는 주파수는 정부로부터 허가를 받고 사용할 수 있다. 일부 연구결과들은 [2, 3] 특정된 주파수 대역은 사용 효율성

\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정

\*\* 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 교수(교신저자)

이 매우 저조하다고 나타내고 있다. 예를 들면 재난안전 통신 등을 위한 일부 특정 주파수 자원은 평상시에는 사용하지 않고 있거나, 사용률이 저조하여도, 다른 사람들은 이 주파수 자원을 사용 할 수 없게 되며, 이는 주파수 사용 효율을 저하시키는 결과를 초래한다.

이와 같이 급증하는 모바일 트래픽과 특정 주파수 자원의 비효율적인 사용 등의 문제점들을 해결하기 위하여 세계 각국에서는 주파수 공동사용에 대한 연구와 기술 개발을 진행하고 있다. 그 중 유럽에서는 면허기반 주파수 공동 사용(License Shared Access, LSA)기술을 기반으로 2.3 ~ 2.4 GHz 에서 주파수 공동사용에 관련하여 연구 하고 있다. 유럽에서 현재 LSA 시스템에 관련하여 유럽우편전기통신주관청회의 (CEPT)[4] 와 유럽전기통신표준협회(ETSI) [5, 6]에서 2.3 GHz - 2.4 GHz band 에서 LTE를 사용할 수 있는 규정과 표준화를 진행하고 있다. 이와 더불어, ETSI TC RRS의 WG2에서는 인지 무선 (Cognitive Radio, CR)기술과 소프트웨어 정의 라디오 (Software Defined Radio, SDR)기술을 기반으로 하는 멀티모드 단말기의 표준 아키텍처를 제시하였다[7]. 본 논문에서는 LSA기술에 적용될 수 있는 ETSI RRS 표준 아키텍처를 소개한다. 그리고 표준 아키텍처를 준용하는 멀티모드 단말기의 테스트베드를 구현하여 LSA 기술을 적용할 수 있다는 것을 입증하였다.

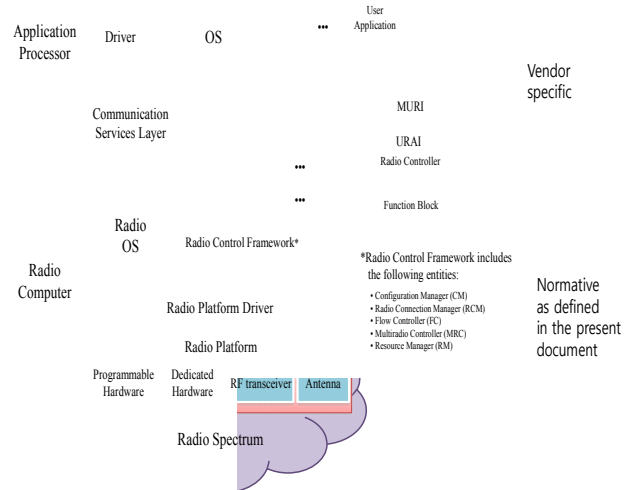
본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 ETSI에서 표준화 진행 중인 멀티모드 단말기에 대하여 소개할 것이다. 3장에서는 멀티모드 단말기의 테스트베드 구현에 대하여 기술하고 4장에서 실험결과를 보여주며 마지막으로 5장에서 결론을 내린다.

## II. 멀티모드 단말기 아키텍처

ETSI는 2008년부터 CR과 SDR 기술에 관련된 표

준을 개발하고 있다. 특히 ETSI TC RRS WG2에서는 주로 CR, SDR 기술을 포함한 재구성 가능한 라디오 시스템 (Reconfigurable Radio System, RRS)의 표준화를 진행하고 있다[8]. 본 절에서는 ETSI TC RRS에서 제안하는 RRS의 표준 아키텍처를 기반으로 설계된 멀티모드 단말기의 참조 모델을 소개한다.

어플리케이션 프로세서부분에 있는 OS (Operating System)은 비실시간 운영체제(예를 들면 안드로이드 혹은 iOS 등등)인 반면 Radio Computer부분에 있는 라디오 OS는 실시간 운영체제이다. 그림 1에서 점선으로 표기된 영역, 즉 통신 서비스 계층과 라디오 제어 프레임워크의 일부를 포함하고 있는 영역은 실제 단말기의 플랫폼 구성에 따라 어플리케이션 프로세서부분에 포함될 수도 있고 Radio Computer부분에 포함될 수 있다.



<그림 1> 멀티모드 단말기 참조 모델

그림 1의 어플리케이션 프로세서부분에는 다음과 같은 구성요소들이 포함되어 있다.

- 단말기의 하드웨어(카메라, 스피커 등등)를 위한 드라이버;

- 통신 서비스 계층의 구성요소들이 실행될 수 있는 비실시간 운영체제;
- 라디오 어플리케이션의 상황정보를 전달하는 기능을 수행하는 라디오 컨트롤러(Radio Controller);
- 라디오 제어 프레임워크 구성요소 중, 실시간 처리가 필수적이지 않은 부분.

그림 1의 Radio Computer부분에는 다음과 같은 구성요소들이 포함되어 있다.

- 실시간 운영체제인 라디오 OS;
- 전용 하드웨어 가속기, 프로그래밍 할 수 있는 하드웨어, RF 트랜시버와 안테나를 포함하고 있는 라디오 플랫폼;
- 라디오 플랫폼을 위한 라디오 플랫폼 드라이버;
- 라디오 제어 프레임워크 구성요소 중, 실시간 처리가 필수적인 부분.

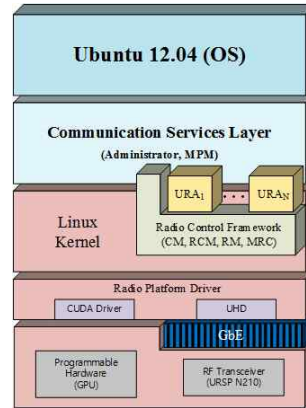
위에서 언급했듯이, 라디오 제어 프레임워크의 일부 구성요소는 실시간 처리가 필수적이고 나머지 구성요소는 실시간 처리가 필수적이지 않을 수 있다. 그러므로 멀티모드 단말기를 설계할 때, 라디오 제어 프레임워크를 어플리케이션 프로세서부분에 포함할지 아니면 Radio Computer부분에 포함할지는 단말기 플랫폼의 제조사에서 결정할 것이다.

### III. 멀티모드 단말기 테스트베드 구현

본 절에서는 구현된 멀티모드 단말기의 테스트베드를 설명한다. 구현된 테스트베드는 ETSI RRS WG2의 표준 아키텍처를 따른다[8].

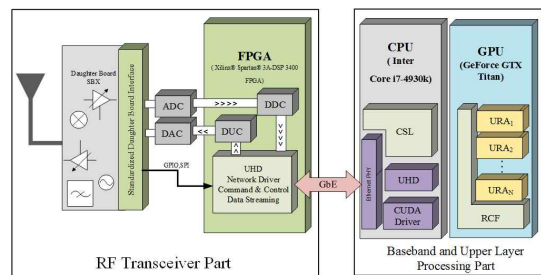
그림 2는 RRS 표준 아키텍처를 기반으로 구현한 멀티모드 단말기 테스트베드의 구조이다. 테스트베드의 구조를 그림 1의 멀티모드 단말기의 참조 모델과 비교하면 다음과 같다. 본 테스트베드의 어플리케이션 프로세서부분은 Ubuntu 12.04와 통신 서비

스 계층이 포함되어 있고, Radio Computer 부분에는 리눅스 커널, 라디오 제어 프레임워크, 라디오 플랫폼 드라이버, 라디오 플랫폼이 포함되어 있다.



<그림 2> 멀티모드 단말기 테스트베드 구조

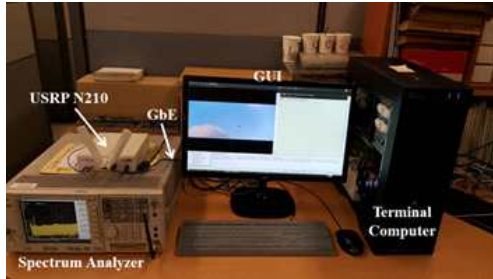
ETSI TC RRS의 표준아키텍처의 통신 서비스 계층과 라디오 제어 프레임워크에 있는 모든 구성요소들을 구현하였다. 구현된 테스트베드에서 리눅스 커널이 라디오 OS의 기능, 즉, 라디오 어플리케이션의 실행환경을 제공한다. 라디오 플랫폼 드라이버에는 CUDA Driver와 UHD가 포함되어 있다. 라디오 플랫폼에는 프로그래밍 가능 하드웨어와 RF 트랜시버로 구성되어 있다[9, 10].



<그림 3> 멀티모드 단말기 테스트베드 블록 다이어그램

그림 3에서 보듯이, 프로그래밍 가능 하드웨어로써 GPU GTX 타이탄을 사용하였고, RF 트랜시버

로 Ettus사의 USRP N210을 사용하였다. 컴퓨터에 장착된 CPU가 CUDA Driver와 UHD를 통하여 각각 GPU GTX 타이탄과 USRP N210을 제어한다.



<그림 4> 실제 구현된 멀티모드 단말기의 모습

그림 4은 실제 구현된 멀티모드 단말기 테스트베드의 모습이다. 본 테스트베드는 그림 3에 기술된 멀티모드 단말기를 실제로 구현한 것이다. 그림 4에서 보이듯이, 구현된 테스트베드는 크게 컴퓨터와 RF 트랜시버, 2가지 부분으로 구성되어 있다. 컴퓨터에서는 라디오 어플리케이션을 위해 필요한 기저대역 및 상위계층의 신호처리 프로세스를 수행하고, USRP N210을 사용한 RF 트랜시버와 기가비트 이더넷 (GbE)을 통해 연결되어 있다.

#### IV. 실험 결과

본 절에서는 3장에서 구현한 멀티모드 단말기 테스트베드가 LSA 기술을 사용하여 기존의 일반 단말기보다 주파수를 더 효율적으로 사용가능함을 보여준다. 앞에서 말했듯이, LSA에 관련된 연구는 ETSI TC RRS WG1에서 진행되고 있으며, 현재 유럽의 2.3GHz - 2.4GHz band에서 LSA를 사용하기 위한 유스케이스를 제시하였다. “Bandwidth Expansion for Mobile Network Operator” 유스케이스에서 정의하였듯이 [5], 단말기는 동작 주파수, 전송주파수

대역폭, 송신 파워, 수신 감도 등의 특정 파라미터를 요청에 따라 변경할 수 있는 기능을 가지고 있어야 한다. 본 테스트베드가 LSA 기술 적용이 가능함을 검증하기 위하여 WG1에서 제시한 유스케이스 기반으로 테스트 하였다.

그림 5는 실제 테스트환경을 보여준다. 그림 5의 기지국은 1.7 GHz 주파수대역에서 FDD LTE 신호를 계속해서 송출하고, 2.35GHz 주파수대역에서의 TDD LTE는 특정 시간에만 송출한다. 즉, 특정 기간에서만 FDD LTE와 TDD LTE가 동시에 사용 가능하고, 그 외 기간에는 FDD LTE만 사용 가능하다. 본 테스트에서는 FDD LTE와 TDD LTE가 동시에 운용되기 직전에 기지국에서 시간/지리 정보를 이용하여 LSA 주파수대역을 사용할 수 있는 것으로 판단하여 LSA 주파수대역의 사용을 허락하는 과정이 선행되었다고 간주한다. 일반적으로 단말기는 서비스 품질이 특정 기준 이하로 떨어지면 현재 기지국이 아닌 다른 기지국과의 연결을 시도하는 동일망(horizontal) 핸드오버를 시도한다. 그림에도 불구하고 서비스 품질이 만족되지 못하면 현재 통신하고 있는 무선 통신 규격 이외에 MD가 취급 가능한 다른 무선 통신으로 이기종망간(vertical) 핸드오버를 할 수 있는지를 판단한다.



<그림 5> 멀티모드 단말기를 이용한 LSA 실험

표 1은  $t_0$ 부터  $t_5$ 까지의 시간이 지남에 따라, 멀티모드 단말기의 서비스 품질 보장여부와 LSA 주파수

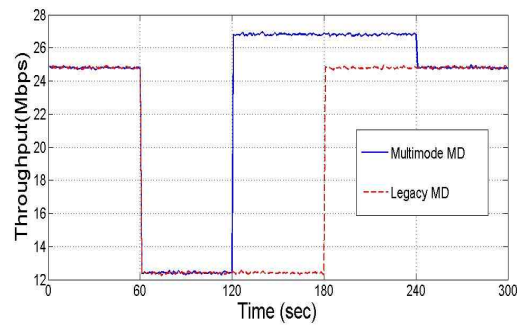
대역의 사용가능 여부를 표시한 표이다. 본 논문에서는 서비스 품질을 데이터 수신율로 정하고, 멀티모드 단말기는 서비스 품질이 특정 기준치에 만족하는지 판단하고 만족하지 않는다면, LSA 주파수대역의 TDD LTE를 사용가능하지 판단한다. LSA 주파수대역의 TDD LTE를 사용 가능하다면, FDD LTE에서 TDD LTE로 핸드오버하고, 그렇지 않다면 FDD LTE로 계속 유지한다. 그림 5의 일반 단말기란, 단말기 재구성성이 불가능 하며, LSA 주파수대역에서 TDD LTE를 사용하지 못하고 기존에 사용하던 FDD LTE만을 사용하는 단말기를 말한다.

<표 1> 서비스 품질 상태 및 LSA 사용가능 여부

	서비스 품질	LSA 주파수대역 사용 가능 여부
$t_0 \sim t_1$	만족	불가
$t_1 \sim t_2$	불만족	불가
$t_2 \sim t_3$	불만족	가능
$t_3 \sim t_4$	만족	가능
$t_4 \sim t_5$	만족	불가

그림 6은 시간에 따른 단말기의 전송률을 나타내는 그래프이다. 그림 6의 실선은 멀티모드 단말기를 나타내고 점선은 일반 단말기를 나타낸다. 표 1의 시간 간격은 60초로 설정하였다. 그림 6의 결과를 보면, 0초에서 60초까지 멀티모드 단말기와 일반 단말기 모두 기지국과 FDD LTE 통신을 통해 평균 24.88Mbps의 전송률을 갖는다. 60초에서 120초까지 구간에서는 기지국에서 멀티모드 단말기와 일반 단말기의 서비스 품질을 보장하지 못하는 전송률을 제공함에 따라, 평균 12.32Mbps의 전송률을 갖는다. 본 논문에서 서비스 품질을 보장하지 못함을 평균 전송률이 15Mbps이하로 떨어지는 상황으로 정한다. 해당 사용자에게 할당된 주파수 리소스의 수를 줄이는 것으로, 서비스 품질을 보장받지 못하는 상황을 만들었다. 120초에서 180초 구간에서 LSA 주파수대

역의 사용이 가능한 구간으로, 일반 단말기는 서비스 품질을 보장받지 못하는 것도 불구하고 TDD LTE를 사용하지 못하고 있다. 하지만 멀티모드 단말기는 LSA 주파수대역의 TDD LTE로 단말기의 재구성성이 이뤄져, 평균 26.81Mbps로 일반 단말기보다 높은 전송률을 확보함을 알 수 있다. 180초에서 240초 구간에서 기지국이 서비스 품질을 만족시킬 수 있는 신호를 보냄에 따라, 일반 단말기는 첫 번째 구간의 전송률까지 확보 되었고 멀티모드 단말기는 TDD LTE를 사용 할 때의 전송률로 유지되었다. 240초에서 300초 구간에서 LSA 주파수대역이 사용불가로 됨에 따라, 멀티모드 단말기가 TDD LTE에서 FDD LTE로 단말기의 구성을 변경하여 첫 번째 구간과 비슷한 평균 24.79Mbps의 전송률을 가짐을 알 수 있다. 본 논문에서 고려하는 실험 시나리오의 전체 시간인 300초 동안 일반 단말기는 평균 전송률은 19.84Mbps이고, 멀티모드 단말기의 평균 전송률은 22.01Mbps임을 알 수 있었다.



<그림 6> 멀티모드 단말기의 LSA 주파수대역 사용 실험 결과

## V. 결론

본 논문에서는 LSA기반의 주파수 공유 유스케이스를 만족할 수 있는 멀티모드 단말기 구조를 제안하였다. 또한 멀티모드 단말기의 기능을 확인하기

위하여 컴퓨터와 USRP를 사용하여 멀티모드 단말기 테스트베드를 구현하였다. LSA 테스트 시나리오를 구성하여 재구성 불가능한 일반 단말기와 멀티모드 단말기의 평균 전송률을 측정하였다. 그 결과 멀티모드 단말기의 주파수사용 효율이 일반 단말기보다 더 좋다는 것이 증명되었다. 또한 LSA 기술을 최적으로 활용하기 위해서 멀티모드 단말기가 반드시 필요함을 입증하였다.

## Acknowledge

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R0166-16-1031, 멀티모드 단말기용 소프트웨어 모뎀 API를 지원하는 범용 프로토콜 국제표준 개발)

## 참고문헌

- [1] UMTS Forum Report 44, "Mobile Traffic Forecasts 2010-2020," 2011.
- [2] M. A. McHenry, "NSF spectrum occupancy measurements," SSC Report, 2005.
- [3] S. Forge, R. Horvitz, and C. Blackman, "Perspectives on the value of shared spectrum access," Final Report for the European Commission, 2012.
- [4] ECC Report 205, "Licensed Shared Access (LSA), CEPT Working Group Frequency Management," 2014.
- [5] ETSI TS 103 113, "Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); System Reference document (SRdoc); Mobile broadband services in the 2 300 MHz - 2 400 MHz frequency band under Licensed Shared Access regime SRdoc Mobile broadband services in the 2300 MHz - 2400 MHz band under Licensed Shared Access regime," ver. 1.1.1, 2013.
- [6] ETSI TS 103 154, "Reconfigurable Radio Systems (RRS); System requirements for operation of Mobile Broadband Systems in the 2300 MHz - 2400 MHz band under Licensed Shared Access (LSA) regime," ver. 1.2.1, 2014.
- [7] ETSI EN 303 095, "Reconfigurable Radio System (RRS); Radio Reconfigurable related Architecture for Mobile Devices," ver.1.2.1, 2015.
- [8] 안치영, 김 용, 최승원, "ETSI 표준을 위한 소프트웨어 모뎀 기반 멀티모드 단말기의 표준 개발," 한국전자과학회 전자파 기술, 제5권, 제24호, 2013, pp. 65-72.
- [9] 김한택, 안치영, 김준, 최승원, "모바일 컴퓨팅 플랫폼을 이용한 SDR 기반 MOBILE WIMAX 수신기 구현," 디지털산업정보학회 논문지, 제8권, 제1호, 2012, pp. 117-123.
- [10] 금동현 · 최승원, "멀티모드 단말기를 위한 셀 경계 지역에서의 SINR 기반 사용자 선택 방법," 디지털산업정보학회 논문지, 제11권, 제3호, 2015, pp. 63-67.

■ 저자소개 ■



김 용  
Jin Yong

2011년 9월 ~ 현재  
한양대학교 전자컴퓨터통신공학과  
박사과정  
2011년 2월 관동대학교 전자공학과 (공학석사)  
2008년 6월 중국 길림성 연변대학교 (공학학사)  
관심분야 : CR, SDR, LSA  
E-mail : kimyong84@dsplab.hanyang.ac.kr



최 승 원  
Choi Seungwon

2012년~현재  
HY-MC 연구센터 센터장  
2002년~2011  
HY-SDR 연구센터 센터장  
1992년~현재  
한양대학교 전자전기공학부 교수  
1990년~1992년  
일본 우정성 통신연구소 선임연구원  
1989년~1990년  
ETRI 선임연구원  
1988년~1989년  
미국 Syracuse대학 전지 및 전산과 교수  
1988년 12월 미국 Syracuse대학 전기공학 (공학박사)  
1985년 12월 미국 Syracuse대학 컴퓨터공학  
(공학석사)  
1982년 2월 서울대학교 전자공학 (공학석사)  
1980년 2월 한양대학교 전자공학 (공학학사)  
관심분야 : SDR, 이동통신, 신호처리  
E-mail : choi@dsplab.hanyang.ac.kr

논문접수일 : 2016년 11월 18일  
수 정 일 : 2016년 12월 10일  
게재확정일 : 2016년 12월 14일