

5G 통신에서 주파수 공유 동향

최 영 준 · 김 도 운

아주대학교 소프트웨어학과

I. 개 요

스몰셀(Smallcell), 기기 간 직접통신(Device-to-Device communication; D2D), 사물 인터넷(Internet-of-Things; IoT) 등 새로운 5G 통신 기술들의 활용에 대한 관심이 늘어나면서 이러한 모든 종류의 무선서비스들을 지원하기 위해 필요한 스펙트럼 대역이 증가하고 있다^[1]. 현재까지 스펙트럼 할당은 허가를 받은(licensed) 서비스나 그 사용자에게 고정되었으나, 스펙트럼 자원들의 한계로 인하여 스펙트럼 자원의 부족 현상이 발생하였다. 하지만 스펙트럼의 부족 현상은 실제 물리적 자원 부족보다 비효율적인 스펙트럼 할당에 의해 발생한다. 실제 측정에 따르면 할당된 스펙트럼의 약 70 %가 사용되지 않거나, 유휴 상태(idle)로 낭비되고 있다^{[2],[3]}. 이러한 문제를 완화시키기 위해 새로운 스펙트럼 할당 개념인 인지 무선(Cognitive Radio; CR), 동적 스펙트럼 접근(Dynamic Spectrum Access; DSA)과 스펙트럼 공유가 연구되고 있다.

ITU-R은 스펙트럼 공유를 수직 공유와 수평 공유의 2가지로 분류하였다^[4]. 수직 공유의 경우, 이차 사용자(Secondary User; SU)는 본래 일차 사용자(Primary User; PU)에게만 허용되었던 허가 스펙트럼 대역이 사용 중이지 않거나, 유휴 상태를 판별할 수 있어야 한다. 일차 사용자의 통신을 보장하기 위해서는 일차 사용자를 보호하고, 이차 사용자의 유휴 상태 파악을 쉽게 하기 위하여 위치 정보를 저장하고 있는 스펙트럼 데이터베이스가 배치되어야 한다. 이러한 스펙트럼 데이터베이스를 활용하는 대표적인 예들이 TV 화이트 스페이스(TV White Space; TVWS), SAS(Spectrum Access System)^[5]와 LSA(Licensed Shared Access)^{[6]~[8]}이다. 현재 IEEE 802.11af^[9]와 같은 몇몇 표준들에서 스펙트럼 데이터베이스를 통해 유휴 TVWS를 활용하기 위하여 연구가 진행되고 있다. SAS와 LSA는 미국과 EU에서 각각 3.5 GHz와 2.3 GHz에 기존 레이더와 위성 시스템을 보호하면서 접근을 허용하기 위해 제안된 기술이다.

수평 공유는 다른 시스템이 같은 스펙트럼을 우선 순위 없이 접근할 수 있는 경우이다. 이러한 예로 LTE 시스템이 Wi-Fi와 다른 비허가 기기들과 비허가대역(e.g. ISM)에서 공존하며 접근할 수 있도록 하는 LTE-U와 LAA(Licensed Assisted Access)가 있다. 수평 공유는 수직 공유와 동시에 사용될 수 있다. 예를 들어 다른 종류의 시스템들이 스펙트럼 데이터베이스를 통해 자신의 스펙트럼 사용 현황을 알려 공존에서 발생할 수 있는 간섭 문제 등을 해결할 수 있다.

II. 최신 기술 및 연구 동향

2-1 스펙트럼 데이터베이스

채널의 유휴 상태 여부를 판단하기 위해 스펙트럼 감지가 주요 기술로 대두되어 왔다. 그러나 스펙트럼 감지는 기기에 높은 계산 비용을 가중시키고, 신호 대 잡음 비(Signal to Noise Ratio; SNR)가 낮은 환경에서는 그 정확도가 매우 떨어지며, 긍정 오류(false positive)와 부정 오류(false negative)가 발생할 확률이 존재한다는 문제가 있다. 이로 인해 2010년부터 TV 대역에 대한 정보를 담은 위치 정보 데이터베이스의 사용이 스펙트럼 감지를 대체하기 위한 기술로 좀 더 설득력을 얻기 시작하였다. TVDB(TV Band Device)라고도 알려진 위치 정보 데이터베이스는 보호된 영역, 전송 모델, 허용 전송 전력과 주파수 대역 유휴 기간과 같은 정보들을 저장한다. 네트워크 내 기기와 이차 사용자들은 일차 사용자에 대한 정확한 정보를 얻기 위한 계산 비용을 줄일 수 있다. TV 대역의 일차 사용자들은 무선 마이크론(Microphone), 토크백(Talk-back) 기기나 인 이어 모니터(in ear monitor)와 같은 일반적으로 프로그램 생성 및 특수 이벤트(Program Making and Special Events; PMSE) 기기들을 포함하며, 따라서 TVDB는 간섭회피를 위하여 PMSE 기기들에 대한 정보도 포함해야 한다. 사용되지 않는 TV 대역인 TVWS는 CR 표준들의 잠재적인 스펙트럼으로 현재 무선 통신에 사용되는 대역과는

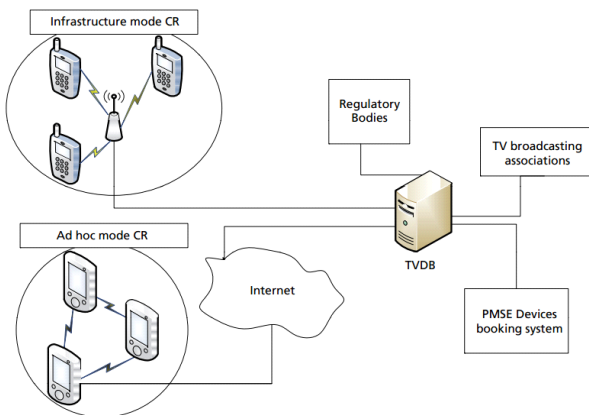
달리 TVWS는 커버리지 영역과 장애물 투과 측면에서 보나 채널 특성을 제공한다.

[그림 1]은 데이터베이스 기반 인지 무선의 아키텍처를 나타낸 그림이다. CR 사용자들은 네트워크를 애드혹(Ad-hoc)이나 인프라스트럭처(Infrastructure) 모드로 구성할 수 있다. 애드혹 모드 네트워크는 TVDB를 인터넷을 통하여 접근하는 반면에, 인프라 모드는 전용 유선 네트워크를 사용하거나, 인터넷을 이용한 접근 두 가지 방식을 사용할 수 있다. 규제 기관(regulatory bodies)은 얼마나 주파수 대역이 공정하게 사용되고 있는지 그 상태를 감시하며, TVDB는 이러한 정보들을 저장해야 한다.^[10] PMSE 예약 시스템은 PMSE 기기의 활동들에 대한 정보를 제공해야 하고, TV 방송 조합(TV broadcasting association)은 일차 사용자가 현재 방송 프로그램에 간섭을 받는지에 대해 지속적으로 관찰한다. TVDB의 정보에 대한 정의는 규제 기구의 요구 사항에 따라 달라질 수 있다^[9].

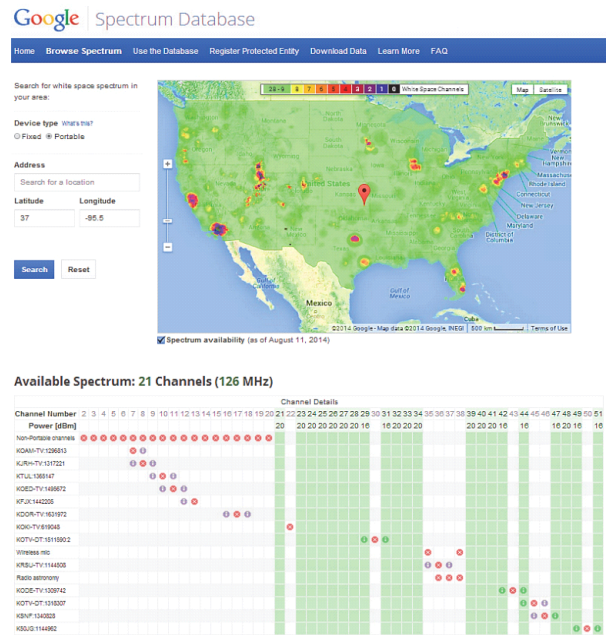
TVDB의 대표적인 예는 구글 TVDB의 설계와 아키텍처이다. 구글 TVDB는 미국에서 이미 상용화되어 서비스를 제공 중인 TVDB로 위도와 경도를 입력하여 쉽게 유휴 상태인 TV 채널을 찾을 수 있다. [그림 2]는 위도=37도, 경도=-95.5도일 때 사용 가능한 채널들을 보여준다. 이 데이터베이스의 세부 구조와 컴포넌트들은 참고문헌 [10]에 기술되어 있다.

2-2 LSA

LSA는 EU에서 레이더 시스템에 할당된 2.3 GHz의 주파수 대역을 접근하기 위해 CR 기반 구조를 가지고 있다. LSA



[그림 1] TVDB 기반 인지 무선 네트워크.



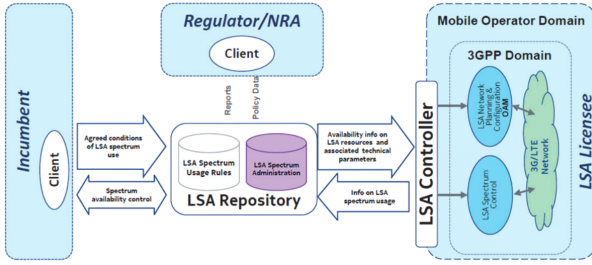
[그림 2] 구글 스펙트럼 데이터베이스.

는 제외 영역, 제한 영역, 보호 영역의 3가지 영역을 정의하고 있다. 제외 영역은 LSA 면허권자(LSA licensee)가 활동 무선 전송이 허용되지 않는 구역이다. 제한 영역은 LSA 사용자가 특정 제한적인 조건(e.g. 최대 EIRP 한계와 또는 안테나 매개변수의 제한)상에서만 무선 통신이 가능한 영역이다. 보호 영역은 기존 인컴버트 기기(incumbent receiver)들이 LSA 사용자의 전송으로 인하여 해로운 간섭을 겪지 않도록 하는 영역이다.

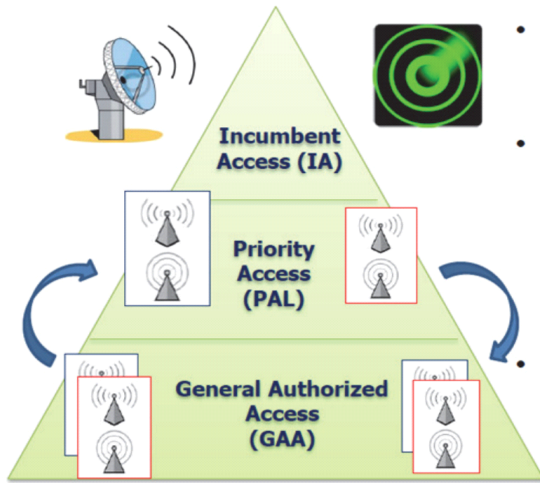
LSA 데이터베이스(LSA repository)는 인컴버트의 사용과 보호 요구사항에 관련된 정보를 저장소와 개체를 제공하고, 무선 자원의 가용성 정보를 인증된 LSA 제어기(LSA Controller)들에 전달한다. LSA 제어기는 LSA 사용자의 도메인에 위치하며, LSA 데이터베이스로부터 LSA 사용자가 스펙트럼 자원의 가용성 정보를 얻을 수 있게 한다. [그림 3]은 LSA의 아키텍처를 나타낸 그림이다.

2-3 SAS

SAS는 SU가 미국에서 레이더와 위성 시스템에 할당된 3.5 GHz 대역의 스펙트럼 대역을 접근할 수 있도록 하는 CR 기반 시스템이다. SAS은 [그림 4]와 같이 인컴버트 접근(Incum-



[그림 3] LSA 시스템 구조^[8].



[그림 4] SAS 구조^[4].

bent Access, IA), 우선 접근 허가(Priority Access License; PAL)과 일반 인증 접근(General Authorized Access, GAA)의 3가지 접근 방식들을 제공한다. IA 사용자는 배치된 영역에서 운용을 위해 최대한 보호받을 자격을 가진다. PAL 사용자는 다른 PAL/GAA 사용자들로부터 받는 간섭에서 보호받지만, IA 사용자로부터는 간섭을 받을 수 있으며 동시에 IA 사용자에게 간섭을 발생시켜서는 안 된다. GAA 사용자는 간섭 보호를 받지 못하여 다른 사용자로부터의 간섭을 허용해야 한다. PAL과 GAA의 주 활용 사례로는 각각 3.5 GHz 대역에서 TD-LTE 스몰셀과 IEEE 802.11ac로 예상된다.

Ⅲ. 5G 적용 주파수 공유 기술

3-1 추가 스펙트럼 대역을 사용한 주파수 집성(Carrier Aggregation)

퀄컴은 추가적인 비용 없이 LTE 스펙트럼을 증가시킬 수 있도록 허가대역과 비허가 대역을 함께 사용하는 주파수 집성 기술을 제안하였다. [그림 5]는 허가 대역과 비허가 대역의 주파수 집성을 나타낸 그림이다. LTE-U, LAA라 하는 이 기술은 기존 Wi-Fi 시스템의 네트워크 처리량을 증가시킬 수 있다고 한다. 유사하게 LSA와 SAS를 사용하여 2.3 GHz와 3.5 GHz 대역의 스펙트럼을 기존의 이동 통신망의 주파수와 집성시킬 수 있다.

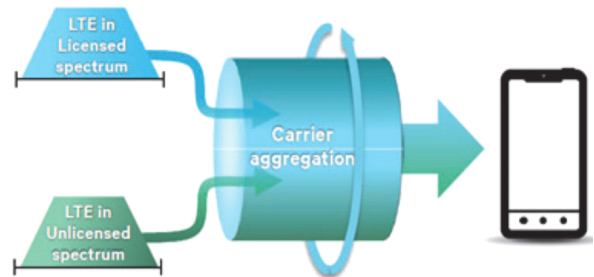
3-2 스펙트럼 공유 스몰셀

스몰셀은 이미 스펙트럼 공유 기술을 사용하고 있다. 예를 들어 ABS(Almost Blank Subframe)은 이중 네트워크(HetNet)에서의 스몰셀과 마이크로셀을 위한 시간 영역 다중화(multiplexing)를 제공한다. LTE-U, LAA와 SAS와 같은 대부분의 스펙트럼 공유 기술은 스몰셀을 첫 번째로 적용 경우로 고려하고 있다. 이는 스몰셀이 전송 범위로 인해 상대적으로 간섭 문제에서 자유롭고 보다 많은 양의 데이터 전송이 가능해야 하기 때문이다.

3-3 자동 구성 네트워크(Self-Organizing Network; SON)를 위한 동적 무선 설정

SON은 효율적인 네트워크 운영을 위해 자가 설정, 자가 최적화와 자가 회복 기능을 포함하고 있다. 특히 자가 설정을 위해서 동작 무선 설정이 필요하며, 이를 위해 네트워크 초기화 시 공통 채널을 찾기 위해 동적 스펙트럼 접속에서 연구된 랑데부 개념이 적용될 수 있다.

3-4 스펙트럼 공유를 이용한 셀간 간섭(Inter-Cell Interference) 관리



[그림 5] 퀄컴의 비허가대역 주파수 집성^[12].

4G 이동통신 시스템에서는 셀 간 간섭 문제를 ICIC(Inter-Cell Interference Coordination), eICIC(Extended ICIC), CoMP (Coordinated Multipoint)를 사용하여 해결하였었다. 다른 종류의 셀들이나 무선 접속 기술(Radio Access Technology, RAT)들이 함께 배치되기 때문에 기존의 셀 간 간섭 조정 기법들은 스펙트럼 공유 기술을 사용해야 할 수 있다.

3-5 공존

위치 정보 데이터베이스가 광범위하게 공존 문제들을 방지할 수 있기 때문에, CR 기술의 적용으로 공존에서 발생하는 기본적인 문제들을 해결할 수 있다^[13]. 네트워크 간 통신(TVWS 데이터베이스와 WLAN AP들 간 통신)이 공존에서 발생하는 문제점들의 해결책이 될 수 있다. 동적 데이터베이스를 포함하는 서비스를 관리하기 위한 SAS^[5]에서도 네트워크 간 통신 기술, 잠재적 간섭 완화 기술, TBWS의 사용을 관리하기 위한 SAS 동적 데이터베이스 등과 같은 다수의 해결해야 될 과제들이 남아있다.

IV. 결 론

본 고에서는 스펙트럼 자원의 한계를 극복하기 위한 인지 무선, 동적 스펙트럼 접근, 스펙트럼 공유 분야의 최신 기술과 연구 동향에 대하여 기술하였다. 또한 5G에서 이러한 기술들이 어떠한 방식으로 적용되고, 기존 통신의 성능을 향상시킬 수 있는지에 대해서도 논의하였다. 스펙트럼 공유 기술은 자원 할당 효율을 높이고, 유휴 자원을 재사용해 성능적인 한계를 극복함으로써 5G의 높은 데이터처리 요구량을 충족시키기 위한 필수적인 기술이 될 것이다.

참 고 문 헌

[1] T. John, X. Ge, H.-C. Wu, R. Irmer, H. Jiang, G. Fettweis, and S. Alamouti, "5g wireless communication systems: Prospects and challenges", pp. 62-64, 2014.
 [2] Federal Communications Commission, Spectrum Policy Task Force, Report of the Spectrum Efficiency Working Group, <http://www.fcc.gov/sptf/reports.html>, Nov. 15, 2004.
 [3] Federal Communications Commission (FCC), 08-260: Second

report and order and memorandum opinion and order in ET Docket Number 02-380 (Additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz band) and 04-186 (Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands), Nov. 14, 2008.
 [4] ITU-R Report M.2330, "Cognitive Radio Systems (CRS) in the land mobile service", Nov. 2014.
 [5] Federal Communications Commission, "Amendment of the commission's rules with regard to commercial operations in the 3,550~3,650MHz band", Apr. 21, 2015.
 [6] ETSI TR 103 113 V1.1.1, "Mobile broadband services in the 2,300 MHz~2,400 MHz frequency band under licensed shared access regime", Jul. 2013.
 [7] ETSI TS 103 154 V1.1.1, "System requirements for operation of mobile broadband systems in the 2,300 MHz~2,400 MHz band under licensed shared access", Oct. 2014.
 [8] ETSI TS 103 235 V0.0.16, "System architecture and high level procedures for operation of licensed shared access (L SA) in the 2,300 MHz~2,400 MHz band", Oct. 2015.
 [9] "Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 5: TV white spaces operation", *IEEE P802.11af/D6.0*, Oct. 2013.
 [10] R. J. Carlos, J. Ribeiro, J. Rodriguez, R. Dionisio, H. Esteves, P. Duarte, and P. Marques, "Testbed for combination of local sensing with geolocation database in real environments", *IEEE Wireless Communications*, vol. 19, no. 4, pp. 59-66, 2014.
 [11] Google, "Proposal by Google Inc. to Provide a TV Band Device Database Management Solution", Jan. 2011.
 [12] Qualcomm, "Extending the Benefits of LTE Advanced to Unlicensed Spectrum", Nov. 2013.
 [13] G. Chittabrata, S. Roy, and D. Cavalcanti, "Coexistence challenges for heterogeneous cognitive wireless networks in TV white spaces" *Wireless Communications, IEEE 18.4*, pp. 22-31, 2011.
 [14] Federal Communications Commission, "Enabling innovative small cell use in 3.5 GHz band NPRM and order", pp. 12-148, 2012.

≡ 필자소개 ≡

최 영 준



2000년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학사)
2006년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
2009년 9월~현재: 아주대학교 정보컴퓨터공학부 부교수
[관심분야] 이동통신망, 무선자원관리, 인지무선시스템

스텝

김 도 윤



2011년 2월: 아주대학교 정보컴퓨터공학과 (공학사)
2014년 2월: 아주대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
2014년 3월~현재: 아주대학교 컴퓨터공학과 박사 과정 중
[관심분야] D2D 통신, 모바일 통신, 무선자원관리