

화이트 스페이스 활용을 위한 무선환경 인지 기술 및 활성화 방안

유성진*, 강규민°, 정희윤*, 박승근*

CR Technology and Activation Plan for White Space Utilization

Sung-Jin Yoo*, Kyu-Min Kang°, Hoiyoon Jung*, SeungKeun Park*

요약

주파수 공유대역에서 가용 주파수 자원을 인지하여 효과적으로 공유하고 활용하기 위해서 데이터베이스 접속을 통한 무선환경 인지 기술과 광대역 스펙트럼 센싱을 통한 무선환경 인지 기술 개발이 필요하다. 본 논문에서는 IETF (Internet Engineering Task Force) PAWS (Protocol to Access White Space database) 표준 프로토콜 기반으로 개발한 TVWS (TV White Space) 데이터베이스 접속 프로토콜 구현 기술을 제시하고, TVWS에 적합한 MWC (Modulated Wideband Converter) 구조를 이용한 광대역 압축 스펙트럼 센싱 기술을 제안한다. 제안된 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 구현 기술은 TVBD (TV Band Device)와 TVWS 데이터베이스에 탑재되어 실환경 테스트를 통해 안정적으로 동작함을 보인다. 본 연구에서 제안된 광대역 압축 스펙트럼 센싱 방식은 잡음 분산 추정 오차에 무관하게 일정 수준의 오경보 확률을 유지할 뿐만 아니라 95% 이상의 높은 검출 성능을 보인다. 또한, 본 논문에서는 미국 FCC와 유럽 ETSI에서 최근 마련한 TVWS 데이터베이스 정책을 분석하고, IETF에서 현재 마련 중인 화이트 스페이스 데이터베이스 접속 프로토콜에 관해 기술한다.

Key Words : CR, TVWS, geo-location database, wideband compressive spectrum sensing, database regulations

ABSTRACT

Cognitive radio (CR) technology based on geo-location database access approach and/or wideband spectrum sensing approach is absolutely vital in order to recognize available frequency bands in white spaces (WSs), and efficiently utilize shared spectrums. This paper presents a new structure for the TVWS database access protocol implementation based on Internet Engineering Task Force (IETF) Protocol to Access WS database (PAWS). A wideband compressive spectrum sensing (WCSS) scheme using a modulated wideband converter is also proposed for the TVWS utilization. The developed database access protocol technology which is adopted in both the TV band device (TVBD) and the TVWS database operates well in the TV frequency bands. The proposed WCSS shows a stable performance in false alarm probability irrespective of noise variance estimation error as well as provides signal detection probabilities greater than 95%. This paper also investigates Federal Communications Commission (FCC) regulatory requirements of TVWS database as well as European Telecommunications Standards Institute (ETSI) policy related to TVWS database. A standardized protocol to achieve interoperability among multiple TVBDs and TVWS databases, which is currently prepared in the IETF, is discussed.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술 진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [14-000-01-002]

♦ First Author : Electronics and Telecommunications Research Institute, sjyou@etri.re.kr, 정희원

° Corresponding Author : Electronics and Telecommunications Research Institute, kmkang@etri.re.kr, 정희원

* Electronics and Telecommunications Research Institute, junghy@etri.re.kr, seungkp@etri.re.kr

논문번호 : KICS2014-11-446, Received November 3, 2014; Revised November 18, 2014; Accepted November 18, 2014

1. 서 론

최근 무선 통신 시장의 성장과 무선 데이터 사용량의 폭증으로 인해 주파수 자원의 부족 문제가 심각하게 대두되고 있다. 한정된 주파수 자원을 효율적으로 활용하기 위한 주파수 이용 정책 패러다임의 변화는 전 세계적으로 일어나고 있으며, 이에 따른 기술적, 정책적 방안 마련이 활발하게 추진되고 있다¹⁻⁴⁾. 무선 데이터 서비스의 수요 증가에 대비하기 위해 미국과 유럽 등 많은 나라에서는 기존 5 GHz 비면허 대역을 주파수 공동사용 대역으로 활용하기 위한 주파수 추가 확장을 검토 중이다. 모바일 네트워크 서비스를 위해서 2.3 GHz, 3.5 GHz 등의 주파수 대역을 LSA (Licensed Shared Access) 방식으로 할당함으로써 도심지역에서 주파수 공동사용을 통한 모바일 서비스 용량 증대를 추진 중이다^{2,3)}. 이처럼 광대역 주파수 자원의 확보를 위한 유연한 주파수 이용 및 공유를 위한 기술기준, 간섭 분석·관리 등 스펙트럼 이용 정책이 전 세계적으로 활발하게 추진되고 있으며 주파수 공유를 통한 스펙트럼 이용 고효율화 및 대용량화를 위한 핵심 원천 기술도 활발하게 연구 개발되고 있다⁵⁻⁹⁾. 특히, 방송대역에서 TV 방송을 위해 분배된 주파수 중에서 현재 지역적으로 사용하지 않고 비어 있는 주파수 대역인 TVWS (TV White Space: TV 화이트 스페이스)의 효율적인 활용을 위한 정책, 표준화 및 기술기준 마련 등이 미국, 영국, EU 등을 중심으로 전 세계적으로 활발히 전개되고 있다¹⁰⁻¹²⁾.

미국의 연방통신위원회 (FCC: Federal Communications Commission)가 TVWS에 대한 비면허 사용을 허가함에 따라 전 세계적으로 이 주파수 대역에서의 스펙트럼 공유 기술에 대한 연구가 진행되고 있다¹³⁾. 인지무선 (CR: Cognitive Radio) 기술은 개념적으로는 모든 주파수 대역에 적용 가능하지만 현재에는 주로 TVWS를 중심으로 연구 개발되고 있다. TVWS에서 사용되는 인지무선 기기는 TV 대역 무선기기 (TVBD: TV Band Device) 또는 화이트 스페이스 기기 (WSD: White Space Device)라는 용어로 주로 사용되는데, 미국 FCC의 경우 고정형 TVBD와 개인/휴대형 TVBD를 사용할 수 있도록 허가하고 있다. 주파수 공유 대역에서 무선 네트워크를 효율적으로 운용하기 위해서는, 공유 주파수 대역에서 허가를 받고 사용 중인 1차 사용자가 있는 경우에는 우선적으로 1차 사용자를 보호해야 하며 2차 사용자 간의 효율적인 주파수 사용을 위한 기술적 요구사항 등도 함께 마련되어야 한다¹³⁻¹⁵⁾. 이러한 문제를 기술적으로 해결하

기 위하여 배타적으로 무선 자원을 이용하던 기존 방식에서, 통신 서비스별로 지능적으로 가용 주파수 자원을 인지하여 주파수 자원을 공유하고 활용할 수 있게 하는 광대역 무선환경 인지 기술에 대한 연구가 전 세계적으로 진행되고 있다¹⁶⁻¹⁸⁾.

그림 1은 TV 대역에서 전파 환경을 분석한 후 TVBD가 사용 가능한 가용채널을 획득하기 위한 무선환경 인지 기술에 대한 개념도를 보여 주고 있다. TVBD가 주변에 1차 사용자가 있는지 여부를 확인하고 가용 채널을 확보하는 방법으로는 TVWS 데이터베이스를 이용하는 방식과 스펙트럼 센싱 방식이 우선적으로 고려될 수 있다^{10,13)}. 데이터베이스 이용 방식은 신뢰성이 높게 가용 채널을 획득할 수 있기 때문에 기존 보호서비스의 간섭 보호 측면에서 장점이 있으나, TVBD가 항상 데이터베이스에 접속 가능해야 하며 별도의 데이터베이스를 구축하고 운영해야 하는 단점이 있다. 반면에, 스펙트럼 센싱 방식은 위치 측위 및 데이터베이스 접속이 필요 없으며 주변 환경에 따라 가용 채널을 능동적으로 확보할 수 있는 장점이 있으나 센싱 기술 구현의 어려움과 기기의 제조 비용이 높아지는 단점이 있다. 이처럼, 가용채널 확보 기술 구현 및 가용채널 판단 정확도 측면에서 스펙트럼 센싱 방식보다는 데이터베이스 이용 방식이 우수하기 때문에 현재에는 데이터베이스 이용 방식을 선호하고 있다. 하지만 다가오는 미래에 위치기반 데이터베이스 접속 방식뿐만 아니라 신호 센싱 방식 등의 동시 활용을 통해 주파수 공동사용 대역을 효율적으로 운용하고, 더 나아가 향후 공동사용 대역에서 동적 스펙트럼 접속 (DSA: Dynamic Spectrum Access)을 통한 주파수 공유가 실현될 수 있도록 하기 위해서는 스펙트럼 센싱 기술 개발은 반드시 필요하다.

기존의 스펙트럼 센싱 방식은 한 번의 센싱 프로세스에 하나의 채널씩 센싱을 수행하였으나 주파수 공유 정책의 도입에 따라 모니터링 해야 하는 스펙트럼의 범위가 넓어져 채널 센싱 주기 및 시간 단축을 위



그림 1. TVWS 무선환경 인지 기술 블록도
Fig. 1. Block diagram of cognitive radio technology in TV white space (TVWS)

하여 한 번의 프로세싱으로 광대역의 스펙트럼을 모니터링할 수 있는 광대역 스펙트럼 센싱 기술이 필요로 하게 되었다. 이를 달성하기 위한 하나의 방안으로 압축센싱 이론을 활용하는 방법이 고려되고 있다. 압축센싱 이론은 종래의 Nyquist 샘플링 이론에서 벗어나 sparse한 신호에 대하여 Sub-Nyquist의 샘플링 주파수만으로도 본래 신호를 손실없이 복구할 수 있다는 이론이다^{19,20}. 압축 센싱 이론은 신호처리분야 전반에 활용 가능한 일반적인 이론으로 이를 스펙트럼 센싱에 적용하기 위한 선행 연구들이 진행되었다^{16,21}. 그중에서도 MWC (Modulated Wideband Converter) 구조를 이용한 광대역 압축 스펙트럼 센싱 방식은 실제 하드웨어 구현 및 검증까지 완료되어 주목을 받고 있다¹⁶. 본 논문에서는 이러한 MWC 구조 기반의 광대역 압축 스펙트럼 센싱 방식에 있어서 잡음 추정 오차에 강건한 신호 검출 방법을 제안한다. 또한, TVWS 데이터베이스 접속을 통한 무선환경 인지를 위해 요구되는 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 구현 기술을 제안한다. 본 논문에서는 TVBD 또는 TVBD 네트워크가 화이트 스페이스 정보를 TVWS 데이터베이스로부터 안전하고 정확하게 전달받아 TVBD 네트워크를 효율적으로 활용할 수 있도록 미국 FCC와 ETSI (European Telecommunications Standards Institute)에서 최근 발표한 TVWS 데이터베이스 규정과 IETF (Internet Engineering Task Force)에서 현재 진행 중인 화이트 스페이스 데이터베이스 접속 프로토콜에 대해서도 기술해 두었다^{13-15,22}.

서론에 이어서, 제 II장에서는 미국과 유럽의 TVWS 데이터베이스 정책 방안에 관해 기술한다. 제 III장에서 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜을 살펴본 후, 제 IV장에서는 데이터베이스 접속 기반 무선환경 인지 기술과 광대역 스펙트럼 센싱 기술을 제안한다. 제 V장에서는 실험 결과를 분석하고, 제 VI장에서 결론을 맺는다.

II. TVWS 데이터베이스 규정

본 장에서는 TVBD가 TV 채널 중 특정 지역에서 시간적 또는 공간적으로 사용하지 않고 비어 있는 채널인 TVWS 정보를 TVWS 데이터베이스로부터 안전하고 정확하게 전달받아 TVBD 네트워크를 효율적으로 활용할 수 있도록 최근 마련된 각국의 TVWS 데이터베이스 정책 방안에 관해 살펴보고자 한다.

2.1 미국

미국 FCC에서는 2012년 4월 3rd MO&O (Memorandum Opinion & Order)를 통해 TVBD의 TVWS (54-60 MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz, 470-608 MHz, 614-698 MHz)내 사용을 위한 TVWS 기술기준을 개정 발표하였다¹³. 2.1절에서는 미국 TVWS 기술기준 내용 중 TVWS 데이터베이스 규정을 중심으로 소개한다. FCC의 TVWS 데이터베이스 관련 규정은 유럽에 비해 상세하기 정의되어 있으며, TVWS 데이터베이스를 운용하는 목적, TVWS 데이터베이스에 입력되어야 할 시설물 리스트, TVWS 데이터베이스에 시설물 등록 시 제한사항, 가용채널 결정 방법, TVBD 초기화, TVWS 데이터베이스에 고정형 TVBD 정보 등록, TVWS 데이터베이스에 개인/휴대형 모드 II TVBD 정보 등록, TVWS 데이터베이스가 저장하고 있어야 할 정보, FCC의 데이터 관련 요청 사항, TVWS 데이터베이스 운영시 보안 관련 사항에 관해 다루고 있다. 참고로, TVWS 데이터베이스의 효율적인 운영을 위해서 하나 또는 다수의 운영자가 지정될 수 있다고 명시되어 있으며, 미국에서는 2011년 1월에는 ComSearch, Google, Spectrum Bridge 등 9개 업체를 TVWS 데이터베이스 운영 사업자로 선정하였고 이후 1개 업체를 추가로 선정함으로써 현재 10개의 TVWS 데이터베이스 사업자가 있다.

FCC에서는 TV 대역에서 TVBD로부터 1차 사용자를 안전하게 보호하면서 TVWS를 운용하기 위해 TVWS 데이터베이스 이용 방법에 관한 기준을 다음과 같이 정하고 있다. 고정형 TVBD는 TVWS 데이터베이스에 기기 정보를 등록하여 운용해야 하며 하루에 최소 한번 이상은 TVWS 데이터베이스에 접속해

표 1. 고정형 TVBD 등록 목록
Table 1. Fixed TVBD registration list

| | |
|----|---|
| 1) | FCC identifier (ID) of the device |
| 2) | Manufacturer's serial number of the device |
| 3) | Device's geographic coordinates accurate to +/-50 m |
| 4) | Device's antenna height above ground level (meters) |
| 5) | Name of the individual or business that owns the device |
| 6) | Name of a contact person responsible for the device's operation |
| 7) | Address for the contact person |
| 8) | Email address for the contact person |
| 9) | Phone number for the contact person |

야 한다. 실제 TVBD의 기기 정보를 데이터베이스에 제공할 때 TVBD 위치의 오차 범위는 ± 50 m 이내로 보장되어야 한다. 개인/휴대형 TVBD(모드 II)가 동작을 시작할 때마다 자신의 위치를 재설정해야 하며, 최소 60초 마다 위치를 체크해야 한다. 또한, 100 m 이상 위치 변경 시 데이터베이스에 재접속하여 가용 채널 목록을 재 확보해야 하며, 실제 TVBD의 기기 정보를 데이터베이스에 제공할 때 TVBD 위치의 오차 범위는 ± 50 m 이내로 보장되어야 한다. 고정형 TVBD가 처음 동작할 때나 위치를 변경한 후에는 표 1에 열거된 정보를 TVWS 데이터베이스에 제공하고 등록해야 한다.

2.2 유럽

본 절에서는 유럽에서 TVBD의 TVWS (470-790 MHz)내 사용을 위한 기술 기준을 정리한 문서인 ETSI EN 301 598 v1.1.1 (2014년 4월)와 ECC (European Communications Committee) report 186 (2013년 1월)에 기초하여 유럽의 TVWS 데이터베이스 규정을 중심으로 설명한다^[14,15]. 참고로, 미국 FCC에서는 TVWS에서 사용되는 무선기기를 TVBD라는 용어로 사용하며 유럽에서는 TVWSD (TV White Space Device)라는 용어를 사용한다. 유럽의 화이트 스페이스 기술 기준에서는 TVBD를 마스터 TVBD와 슬레이브 TVBD 두 가지로 나누어서 동작을 정의하고 있다. TVWS 동작을 위해 요구되는 마스터 TVBD와 슬레이브 TVBD의 기술적 요구사항과, TVBD와 TVWS 데이터베이스간에 필요한 정보를 주고 받기 위해 정의된 3가지 종류의 파라미터 (기기 파라미터, 동작 파라미터, 채널 사용 파라미터)와, TVBD의 기술적 요구사항에 부합하여 TVBD가 제대로 제작되었는지 여부를 판별하기 위한 테스트 방법과 절차에 대해 주로 다루고 있다.

ETSI에서는 TVWS 데이터베이스를 효율적으로 운용하기 위해 보호해야 할 1차 서비스와 관련된 기술적 정보, TVWS 데이터베이스의 업데이트 주기, TVWS 데이터베이스에 제공된 정보로부터 TVBD가 동작할 수 있는 동작 파라미터로의 변환 등에 대한 정책 방향을 제시하고 있다^[14]. 보다 상세하게 살펴보면 첫째, TVWS 데이터베이스에는 보호해야 할 1차 서비스에 대한 정보 (예를 들면, 송신기의 안테나 높이 및 안테나 패턴, 송신 전력과 수신기의 수신 감도, 보호 비율 등)가 저장되어 있어야 한다. 둘째, 보호해야 할 1차 서비스가 그들의 바뀐 채널 환경을 공지하면 TVWS 데이터베이스는 이러한 바뀐 채널 환경을 업

데이트하여야 한다. 그리고 이러한 데이터베이스 업데이트를 얼마나 자주 해야 하는지에 대한 주기도 TVWS 데이터베이스에서 고려하여야 한다. 하지만, 이런 업데이트 지연시간이나 업데이트 주기에 대해서는 ECC report 186이나 ETSI EN 301 598 v1.1.1에서 언급되어 있지 않다. 마지막으로, TVWS 데이터베이스는 보호해야 할 서비스나 시스템에 대한 기술적 정보와 TVBD로부터 받은 다양한 기기 파라미터들을 바탕으로 TVBD가 TVWS에서 1차 서비스에 간섭을 미치지 않으면서 동작할 수 있는 동작 파라미터들을 계산하는 과정이 필요하다. 이러한 정보 변환 과정에서 TVWS 데이터베이스가 쓰는 알고리즘은 알고리즘의 출력물인 동작 파라미터들을 기반으로 TVBD가 동작하였을 때 1차 서비스에 간섭을 미치지 않는 것이 보장되어야 한다. ECC report 186에는 이 변환하는 과정에서 기존 방송 서비스의 네트워크를 계획할 때 쓰이는 위치 확률 (Location Probability)을 이용하여 TVBD의 동작 파라미터들을 결정할 때 쓰일 수 있다고 명시하고 있다^[15,18].

III. TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜

무선 트래픽 증가에 따른 주파수 수요가 증가함에 따라 기존 주파수 할당 방식으로는 이러한 수요를 감당하기가 어려워 주파수 이용 방식 개선 및 동적 스펙트럼 이용 기술이 요구되고 있다. 이의 일환으로 주파수의 계층적 사용에 대한 연구가 진행되고 있으며, 2차 사용자 또는 3차 사용자가 1차 사용자 서비스를 보호하는 조건하에 가용채널을 안정적으로 확보하는 기술로는 TVWS 데이터베이스를 사용하는 방식이 거론되고 있다. TVBD 또는 TVBD 네트워크가 TVWS에서 1차 사용자에게 간섭 영향을 주지 않으면서 효율적으로 동작할 수 있도록 TVWS 데이터베이스와 필요한 정보를 주고 받아야 한다. 데이터베이스 접속을 통해 제공 받을 수 있는 가용채널 정보는 각 나라별로 기술 기준과 주파수 대역에 따라 달라질 수 있다. 하지만, 데이터베이스로부터 스펙트럼 정보를 획득하기 위한 화이트 스페이스 데이터베이스 접속 기술은 국제적으로 표준화가 가능하다. 본 장에서는 표준화된 절차에 의해 TVWS 데이터베이스와 TVBD가 서로간에 필요한 정보를 주고 받기 위해서 현재 IETF에서 진행 중인 화이트 스페이스 데이터베이스 접속 프로토콜 (PAWS: Protocol to Access WS database)에 관해 기술한다^[22]. 본 장에서는 이해를 돕기 위해, IETF 화이트 스페이스 데이터베이스 접속 프로토콜을

TVWS에 한정하여 설명하기로 한다.

3.1 개요

그림 2는 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 개념도를 나타낸다. TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 기술은 TVBD와 TV 채널 정보를 관리하는 TVWS 데이터베이스간의 정보 교환을 목적으로 하며 그림 2와 같이 TVBD 클라이언트와 TVWS 데이터베이스 Sever에 각각 구현되어 통신이 이루어진다. TVWS 데이터베이스와 TVBD가 서로간에 필요한 정보를 표준화된 절차에 의해 주고 받기 위해서 IETF에서 2011년 6월에 화이트 스페이스 데이터베이스 접속 프로토콜 작업 그룹을 생성하였다. 2013년 5월 운용 사례(use case) 및 요구사항 문서 발표를 시작으로 2014년 10월 현재 PAWS 표준 초안 문서가 만들어져서 last call 진행 후 여러 의견에 대한 검토 작업을 진행하고 있다^[22]. 참고로, IETF는 인터넷과 관련된 기술적인 문제를 논의하기 위한 단체로서 인터넷을 원활히 실행하는데 필요한 실질적인 기술 표준을 제정하는 국제 단체이다. IETF에서 PAWS 표준화 작업을 추진한 목적은 크게 다음 네 가지로 요약할 수 있다. 첫째, TVWS 데이터베이스를 발견하기 위한 메커니즘을 표준화한다. 둘째, TVWS 데이터베이스와 통신하기 위한 방법을 표준화한다. 셋째, 정의된 데이터베이스 통신 방법으로 전달될 데이터 형식을 표준화한다. 넷째, 데이터베이스 발견 메커니즘, 데이터베이스 접속 방법, 요청/응답 형식 등이 적절한 보안 기능을 가지도록 한다.

IETF PAWS WG에서는 새로운 데이터 전송 방법이나 데이터 인코딩 방식을 제안하지 않고 기존의 프로토콜을 준용하고 있다. 따라서 TVWS 데이터베이스와 TVBD간에 주고 받아야 할 ‘정보의 종류’가 주요 표준화 내용이다. 데이터 전송 방법은 기존의 HTTPS (Hypertext Transfer Protocol over Secure socket layer)를 이용하고, 데이터 인코딩 방식은 JSON-RPC (JavaScript Object Notation - Remote Procedure Call) 2.0을 사용한다. TVWS 데이터베이스

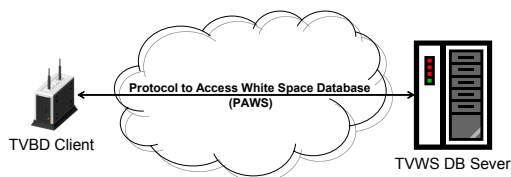


그림 2. TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 개념도
Fig. 2. Conceptual diagram of the TVWS database access protocol

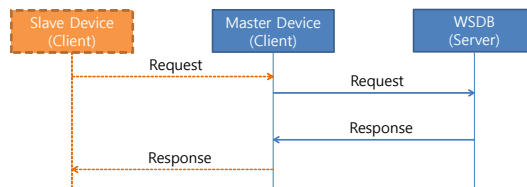


그림 3. TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 기본 동작 예시도
Fig. 3. Operation illustration of TVWS database access protocol

스 접속 프로토콜은 기본적으로 그림 3과 같이 동작한다. 이 때, master TVBD가 slave TVBD를 대리하여 TVWS 데이터베이스 정보를 얻어오기 위한 프로토콜은 정의하고 있으나 slave TVBD와 master TVBD간 프로토콜은 정의하지 않는다.

3.2 데이터베이스 접속 프로토콜 기능

TVWS 접속 프로토콜은 TVBD가 접속할 TVWS 데이터베이스 발견, TVBD의 초기화, 장치 등록, 사용 가능한 주파수 정보 획득, slave TVBD의 사용 가능 여부 검증 기능을 지원하며 표 2에 요약해 두었다.

표 2. TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 주요 기능
Table 2. PAWS functionalities

| | |
|----|--------------------------|
| 1) | Database discovery |
| 2) | Initialization |
| 3) | Device registration |
| 4) | Available spectrum query |
| 5) | Device validation |

3.2.1 데이터베이스 발견

TVBD가 접속할 TVWS 데이터베이스를 찾기 위한 기능으로 접속 가능한 TVWS 데이터베이스 서버의 리스트를 지원하기 위한 프로토콜을 정의하여 다수의 사업자가 데이터베이스 서비스를 제공할 때 TVWS 데이터베이스 리스트를 제공한다.

3.2.2 초기화

TVBD의 초기화를 위해 TVBD는 장치 정보와 장치의 위치 정보를 TVWS 데이터베이스에게 전달하고, 데이터베이스는 데이터베이스가 지원하는 규약 정보 및 데이터베이스 URI (Uniform Resource Identifier) 변경 사항에 대한 정보를 TVBD에 전달한다. 기기 정보, 기기 위치 정보는 요청 메시지 전송 시 의무적으로 기입해야 하는 프로토콜 파라미터이다.

3.2.3 기기 등록

TVBD의 기기 정보, 기기 위치정보, 기기 사용자 정보를 데이터베이스에 전달하여 TVWS 데이터베이스에 기기를 등록하는 기능을 지원한다. 기기 정보, 기기 위치 정보는 메시지 전송시 의무적으로 기입해야 하는 프로토콜 파라미터이다.

3.2.4 사용 가능한 주파수 정보 획득

사용 가능한 주파수 획득 정보 기능은 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜에서 가장 중요한 기능으로서, TVBD는 TVWS 데이터베이스로부터 현재 사용 가능한 주파수 정보를 획득할 수 있다. 이동용 TVBD의 경우에는 여러 위치에 대한 스펙트럼 정보를 한 번에 얻을 수 있는 기능도 제공된다. 이 기능을 이용해서 TVBD가 사용할 스펙트럼 정보를 TVWS 데이터베이스에게 알려줄 수 있으며, Slave TVBD가 TVWS에서 동작 가능한 채널을 Master TVBD를 통해 TVWS 데이터베이스로부터 획득할 수도 있다. 가용채널 획득을 요청할 때는 기기 정보와 기기 위치 정보가 필수 파라미터이며 가용 채널 응답 시에는 timestamp, 기기 정보, 가용 스펙 트럼 정보가 메시지 전송시 의무적으로 기입해야 하는 프로토콜 파라미터이다.

3.2.5 기기 검증

기기 검증 기능을 통해서 Slave TVBD가 TVWS 내에서 동작해도 되는지 여부를 TVWS 데이터베이스를 통하여 검증 하는 기능이 제공된다. 앞에서 설명한 바와 같이 PAWS에서는 master TVBD가 slave TVBD를 대리하여 TVWS 데이터베이스 정보를 얻어 오기 위한 프로토콜은 정의하고 있으나 slave TVBD와 master TVBD간 프로토콜 이나 통신 방법에 관해서는 정의하지 않고 있다.

IV. 무선환경 인지기술

주파수 공유대역을 안정적으로 운용하기 위해 최근 활발하게 연구, 개발되고 있는 광대역 무선환경 인지기술로는 데이터베이스 접속을 통한 스펙트럼 인지기술과 광대역 스펙트럼 센싱을 통한 인지기술이 있다. 본 장에서는 IETF PAWS 표준 프로토콜을 기반으로 개발한 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 구현 기술에 대해 설명하고, 광대역 스펙트럼 신호 검출을 효율적으로 수행하기 위한 광대역 신호 검출 알고리즘을 제안한다.

4.1 데이터베이스 접속기반 인지 기술

IETF PAWS 표준 프로토콜에서는 초기화, 기기 등록, 가용 채널 정보 요청, 가용 채널 요청 응답, 사용 채널 정보 보고 과정으로 이루어진 일련의 동작 절차와 각 절차에 따른 메시지 양식을 정의하고 있다. 이중에서 가용 채널 정보 요청과 가용 채널 요청 응답 절차는 필수적으로 적용되어야 하며 나머지 절차는 사용자의 필요에 의해 선택적으로 활용 가능한 부수적인 절차들이다. PAWS 동작 절차에 따라 메시지를 생성하고 생성된 메시지를 TVBD와 TVWS 데이터베이스 간에 정확하게 교환하기 위해서는 TVBD와 TVWS 데이터베이스 내에 메시지를 전달하고 수신할 수 있는 기능을 각각 구현해 두어야 한다. 본 논문에서는 IETF PAWS 표준의 여러한 기능 중 초기화, 기기 등록, 사용가능한 주파수 정보 획득 관련 기능을 이용하여 TVWS 데이터베이스를 구성한다. 또한 사용 채널에 대한 알림 기능 정보를 이용하여 다른 TVBD 장치가 사용하지 않는 채널을 위주로 효과적으로 할당하는 방법을 제안한다.

그림 4는 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 순서도를 나타낸다. 여기서 클라이언트(Client)는 TVBD를 의미하며, 서버(Server)와 DB는 TVWS 데이터베이스의 기능을 서버 기능과 데이터베이스 기능으로 분리하여 나타낸 것을 의미한다. TVBD가 가용 채널 정보를 얻기 위해서는 우선 서버에 초기화 메시지와 등록 메시지를 전송하여 가용 채널 정보를 얻기 위한 사전 절차를 수행하여야 한다. 서버는 등록 정보를 DB에 등록하여 동작 중인 TVBD 정보를 관리한다. TVBD는 이후 가용 채널 요청 정보를 서버에 전송하게 되고 서버는 DB Query를 통하여 가용 채널 정보를 가져와 이 정보를 TVBD에게 전달한다. 이후

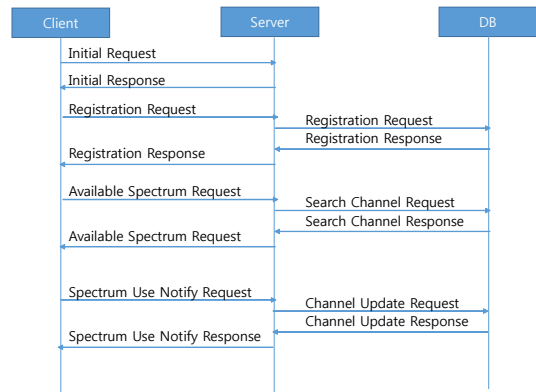


그림 4. TVWS database 접속 프로토콜 순서도
Fig. 4. Flowchart of the TVWS database access protocol

TVBD는 자신이 선택한 채널 정보를 다시 서버에 전송한다. 이 정보는 다시 DB에 전달이 되는데, 이 정보는 DB에서 가용 채널을 산출할 때 사용한다.

PAWS 프로토콜에는 기술되어 있지 않지만 제안한 TVWS 데이터베이스는 가용 채널 정보 리스트에 우선 순위를 부여하여 구현된다. 비슷한 위치에 여러 TVBD가 존재할 경우 TVWS 데이터베이스는 다른 TVBD가 사용하고 있는 채널의 우선 순위를 떨어뜨려서 상대적으로 다른 TVBD가 사용하지 않는 채널에 우선 순위를 부여한 후 가용채널 정보를 TVBD에 전달한다. 이러한 방식으로 가용 채널이 많음에도 여러 장치의 같은 채널을 사용하는 경우를 방지할 수 있다.

TVBD와 TVWS 데이터베이스 사이에 주고받는 메시지들은 IETF PAWS 규격에 따라 TVBD 기기정보, TVBD 사용자정보, 위치정보, 가용채널 정보 등을 포함하며 데이터 인코딩 방식은 JSON-RPC 2.0을 사용한다. TVBD에서 요청 메시지를 생성, 해석하는 기능과 JSON 라이브러리는 C 언어를 이용하여 개발하였으며, TVWS 데이터베이스에서 수행하는 응답 메시지 생성 및 요청 메시지 해석 기능과 JSON 라이브러리는 JAVA 언어를 이용하여 개발하였다. TVWS 데이터베이스에는 프로토콜 메시지 생성과 해석 부분 외에 TVBD의 요청 메시지의 처리를 위하여 TVWS 데이터베이스의 데이터에 접근하는 기능이 부가적으로 구현되어 있다. TVBD의 경우 디버깅 환경이 좋지 않기 때문에 그림 5와 같이 TVBD에서의 접속 프로토콜 검증은 하는 동시에 디버깅이 비교적 수월한 테스트 PC에서 접속 프로토콜을 구현하여 TVWS 데이

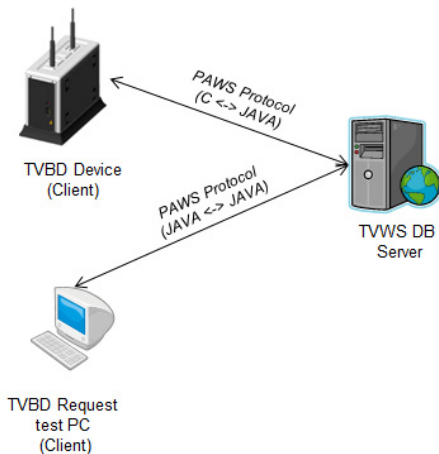


그림 5. TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 테스트를 위한 구성도
Fig. 5. Deployment scenario for TVWS database access protocol test

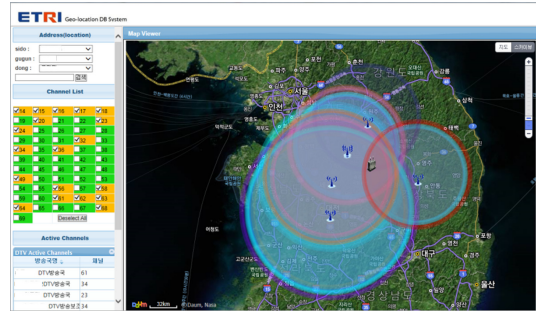


그림 6. TVWS 데이터베이스 그래픽 사용자 인터페이스
Fig. 6. TVWS database graphical user interface (GUI)

터베이스 기능 검증을 수행하였다. 그림 6은 구현된 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜을 통해 TVBD (TVBD Request 테스트 PC)가 TVWS 데이터베이스로부터 받은 가용 채널 정보를 GUI를 통하여 보여주고 있다.

4.2 광대역 스펙트럼 센싱 기술

본 논문에서 제안하는 광대역 스펙트럼 센싱 방식은 기존의 MWC 구조를 기반으로 하며 종래의 MWC 구조의 신호 압축 방식을 이용한 압축 신호에 대한 신호 복구 및 검출 방식이다. MWC 구조를 이용하여 압축 샘플링된 신호 $y[n]$ 을 이용하여 입력신호 $x(t)$ 에서 신호가 점유중인 채널을 찾는 방식은 먼저 샘플링된 신호 $y[n]$ 에 대하여 수식(1)을 만족하는 Q 행렬을 구한다. 여기서 $()^H$ 는 허미시안(Hermitian) 연산이다.

$$Q = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y[n]y^H[n] \quad (1)$$

위와 같이 구한 Q 행렬에 대하여 $Q = VV^H$ 의 형태로 분해 가능한 V 행렬을 찾는다. 압축 결과 신호로부터 계산 가능한 V 행렬과 샘플링 과정에 이용된 시퀀스를 통해 구할 수 있는 A 행렬에 대하여 수식(2)를 만족하는 가장 sparse한 행렬 U 를 찾으면 입력 신호 $x(t)$ 에서 신호가 존재하는 채널의 위치를 찾을 수 있다^[23].

$$V = AU \quad (2)$$

그림 7은 수식(2)를 만족하는 sparse한 행렬 U 를 찾기 위해 제안하는 순서도를 나타낸다. 그림 7에서 a_k 는 A 행렬의 k 번째 열을 나타낸다.

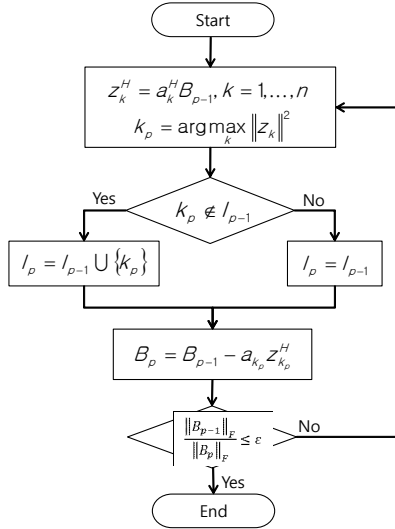


그림 7. 제안하는 신호 검출 알고리즘 순서도
Fig. 7. Flowchart of proposed signal detection algorithm

본 논문에서 제안하는 신호 검출 알고리즘은 잔류 행렬 (Residual Matrix) B 의 상대적인 수렴 여부를 이용하여 신호의 잔류 여부를 판단하는 기준식을 수식(3)과 같이 이용한다. 여기서 $\| \cdot \|_F$ 는 Frobenius norm을 나타내며, ϵ 은 사전에 정의된 임계값이다.

$$\frac{\| B_{p-1} \|_F}{\| B_p \|_F} < \epsilon \quad (3)$$

제안 알고리즘에서는 신호 존재 유무 판단 및 신호 검출 알고리즘 종료 기준으로 잔류행렬 B 의 절대적 크기 값이 아닌 상대적인 변화 추이를 활용한다. 일례로 잔류행렬 B_p 의 F-norm이 수렴하는 경우 더 이상 잔여 신호 성분이 존재하지 않는다고 판단하고 신호 검출을 종료한다. 이와 같은 형태의 방식을 이용하는 경우, 실제 잡음 분산 및 시스템에서 추정하는 잡음 분산간의 오차로 인한 문제를 해결할 수 있어 성능 향상이 기대된다.

V. 실험

본 장에서는 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜이 실제 TVBD와 TVWS 데이터베이스 서버에 탑재되어 정상적으로 동작하는지 여부를 검증한다. 또한, 제안한 신호 검출 알고리즘이 신호 검출 확률과 오경보율 측면에서 기존 신호 검출 알고리즘 대비 성능 개

선 효과가 있는지 여부를 모의 실험을 통해 살펴보고자 한다.

5.1 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 동작 검증

본 절에서는 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 기술이 정상적으로 구현되어 동작하는지 여부를 실험을 통해 살펴보기로 한다. TVBD가 요청 메시지를 전송하고 TVWS 데이터베이스로부터 정상적인 응답 메시지를 수신하는지 여부를 확인하기 위해 TVBD와 TVWS 데이터베이스 각각에서 메시지 생성과 해석 기능이 정상적으로 동작하는지 여부를 중심으로 검증한다.

그림 8은 TVBD에서 TVWS 데이터베이스 접속을 위한 가용채널 요청 메시지를 보여 준다. 그림 8의 가용채널 요청 메시지는 TVBD GUI (Graphical User Interface) (그림 10 참조)를 통하여 그 정보를 수정할 수 있으며 TVBD의 종류, 위치, 안테나 형태, 최대 전송 전력 등을 설정할 수 있다. 그림 9는 요청 메시지에 따라 TVBD가 TVWS 데이터베이스로부터 가용채널 응답 메시지를 수신한 결과를 나뉜 가용채널 응

```
[root@localhost TVBDRequestClient_old]# ./pawsmain 127.0.0.1 8080 2
[CONNECTED] 127.0.0.1 8080
-----
AVAIL REQ
-----
POST /TVBDServlet HTTP/1.1
Accept: */*
Accept-Language: ko
Host: 127.0.0.1:8080
Connection: Keep-Alive
User-agent: Mozilla/4.0
Content-Type: text/xml
Content-Length: 476
Content: {"method":"spectrum.paws.getSpectrum","params":{"type":"AVAIL_SPECTRUM_REQ","version":"1.0","deviceDesc":{"serialNumber":"1","manufacturerID":"CRTeam","modelID":"Fixed_3-10m"},"location":{"center":{"point":{"latitude":36.41240434,"longitude":128.06717480}}},"antenna":{"height":10.000000,"heightType":"AGL"},"deviceOwner":{"owner":{"fn":"ETRI","adr":"AA-si 88-dong","tel":"000-0000-0000","email":"xxx@xxx.com","org":""},"capability":{"frequencyRanges":[[]],"id":"0"}}
```

그림 8. 가용채널 요청 메시지 예시
Fig. 8. Example of available spectrum request message

```
{
  "result":{
    "type":"AVAIL_SPECTRUM_RESP",
    "version":"1.0",
    "timestamp":"2013-09-02 01:02:45",
    "deviceDesc":{
      "serialNumber":"1",
      "manufacturerID":"CRTeam",
      "modelID":"Fixed 3-10m"
    },
    "spectrumSchedules":[
      {
        "eventTime":{
          "ST":"2013-09-02 01:02:45",
          "ET":"2013-09-03 01:02:45"
        }
      }
    ],
    "spectra":{
      "bandwidth":6,
      "FR":{
        "SH":500.0,
        "EH":506.0,
        "maxPowerDBm":0.0,
        "CHID":19
      }
    }
  }
}
```

그림 9. 가용채널 응답 메시지 예시
Fig. 9. Example of available spectrum response message

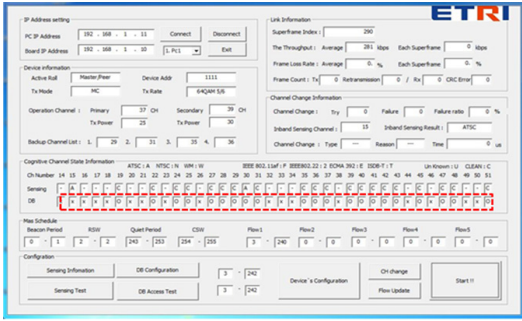


그림 10. TVBD 그래픽 사용자 인터페이스
Fig. 10. TVBD graphical user interface (GUI)

답 메시지는 TVBD 내부에 설계된 마이크로프로세서가 수신한 후 그림 10의 TVBD GUI를 통해 가용 채널 정보를 제공하게 된다. 실제 구현한 TVBD 및 TVWS 데이터베이스 모듈, TVBD GUI 등을 활용한 실험을 통해 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜이 정상적으로 구현되어 동작함을 확인할 수 있다.

5.2 광대역 스펙트럼 센싱 모의실험 결과

본 논문에서 제안하는 광대역 압축 스펙트럼 센싱 방식의 효과를 검증하기 위한 모의실험 결과를 그림 11과 그림 12에 나타내었다. 모의실험 조건은 총 38개의 6 MHz 채널 중 임의의 2개의 채널에 각각 20 dB, 10 dB 크기의 신호를 발생시켰다. 신호 검출 및 검출 과정 종료를 위한 조건으로 본 논문에서 제안된 방식을 사용하였다. 시스템에서 측정 혹은 사전에 설정한 잡음 분산 값에 대하여 실제 잡음 분산의 오차에 따른 성능을 도시하였으며 그림 11에는 검출 확률 성능을 도시하였다. 잡음 분산의 변화에 따라 시스템에

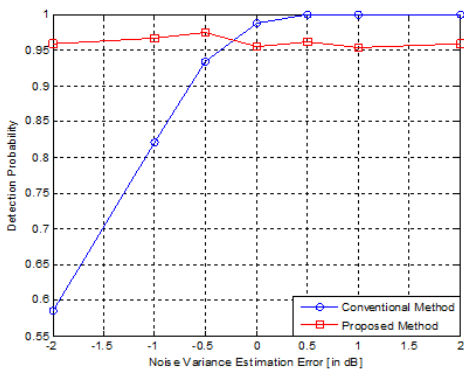


그림 11. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 검출 성능 모의 실험 결과
Fig. 11. Performance comparison of detection probabilities between the conventional signal detection algorithm and the proposed signal detection algorithm

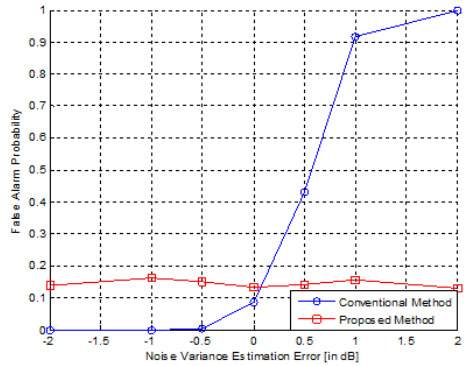


그림 12. 기존 알고리즘과 제안 알고리즘의 오경보 확률 모의 실험 결과
Fig. 12. Performance comparison of false alarm probabilities between the conventional signal detection algorithm and the proposed signal detection algorithm

서 측정 혹은 사전 결정된 잡음 분산보다 실제 잡음 분산이 낮은 경우 기존 방식에서는 검출 확률이 현저히 낮아짐을 확인할 수 있다. 2 dB 정도의 오차가 존재하는 경우 검출 확률이 절반 수준까지 떨어짐을 확인할 수 있다. 반면 제안하는 방식에서는 잡음 분산 추정 오차에 무관하게 일정한 검출 성능을 유지함을 확인할 수 있다.

그림 12에서는 잡음 분산 추정 오차에 따른 오경보 확률을 도시하였다. 시스템 상에서 측정 혹은 사전 결정된 잡음 분산보다 실제 잡음 분산이 높은 경우 기존 방식에서는 오경보 확률이 크게 증가함을 확인할 수 있다. 1 dB의 추정 오차가 존재하는 경우에도 오경보 확률이 90% 정도로 상승하여 실제 환경에서 사용하기가 어려움을 확인할 수 있다. 반면 제안하는 방식에서는 잡음 분산 추정 오차에 무관하게 일정 수준의 오경보 확률을 유지함을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 미국 FCC와 유럽 ETSI에서 최근 마련한 TVWS 데이터베이스 규정을 분석하고, IETF에서 현재 마련 중인 화이트 스페이스 데이터베이스 접속 프로토콜을 살펴보았다. 이에 대한 분석을 통해, IETF PAWS 표준 프로토콜 기반의 TVWS 데이터베이스 접속 프로토콜 구현 기술을 제안하였다. TV 대역에서 1차 사용자를 안전하게 보호하면서 동시에 TVBD가 사용 가능한 가용 채널을 획득한 후, 해당 정보를 TVBD와 TVWS 데이터베이스간에 표준화된 절차에 의해서 안정적으로 주고받는 것을 실험을 통

해 확인하였다. 또한, 제안된 광대역 압축 스펙트럼 센싱 방식은 기존 방식에 비해 잡음 분산 추정 오차에 무관하게 일정 수준의 검출 성능과 오경보 확률을 유지함으로써 화이트 스페이스에서 신호 검출시 성능이 우수함을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 무선환경 인지 기술을 효과적으로 적용함으로써 주파수 공유대역에서 가용 채널을 필요로 하는 무선기기는 안정적으로 가용 채널을 제공 받을 수 있을 것으로 예상되며 최근 급증하는 모바일 트래픽 수요를 화이트 스페이스가 일부 충족시킬 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] PCAST, *Traditional practice of clearing government-held spectrum of federal users and auctioning it for commercial use is not sustainable*, PCAST final report, Jul. 2012.
- [2] FCC, "Further Notice of Proposed Rulemaking," *FCC 14-49*, Apr. 2014.
- [3] OFCOM, "The future role of spectrum sharing for mobile and wireless data services: Licensed sharing, Wi-Fi, and dynamic spectrum access," *Statement*, Apr. 2014.
- [4] S. Haykin, "Cognitive radio: Brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Sel. Area. Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [5] K. G. Shin, H. Kim, A. W. Min, and A. Kumar, "Cognitive radios for dynamic spectrum access: From concept to reality," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 17, no. 6, pp. 64-74, Dec. 2010.
- [6] W. Ni and I. B. Collings, "A new adaptive small-cell architecture," *IEEE J. Sel. Area. Commun.*, vol. 31, no. 5, pp. 829-839, May 2013.
- [7] H. Elsway, E. Hossain, and D. I. Kim, "Hetnets with cognitive small cells: User offloading and distributed channel access techniques," *IEEE Commun., Mag.*, vol. 51, no. 6, pp. 28-36, Jun. 2013.
- [8] J. S. Park, K. K. Kang, S. Y. Lee, S. W. Baek, and S. J. Yoo, "Optimal price and auction period decision method based on auction game theory for spectrum allocation in cognitive radio networks," *J. KICS*, vol. 38A, no. 11, pp. 944-954, Nov. 2013.
- [9] K. H. Lee, J. K. Choi, and S. J. Yoo, "The coexistence solution using transmission schedule and user's position information in cognitive radio networks," *J. KICS*, vol. 37B, no. 3, pp. 189-203, Mar. 2012.
- [10] K. M. Kang, J. C. Park, S. I. Cho, B. J. Jeong, Y. J. Kim, H. J. Lim, and G. H. Im, "Deployment and coverage of cognitive radio networks in TV white space," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 50, no. 12, pp. 88-94, Dec. 2012.
- [11] J. van de Beek, J. Riihijärvi, A. Achtzehn, and P. Mähönen, "TV white space in Europe," *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 11, no. 2, pp. 178-188, Feb. 2012.
- [12] D. W. Yun, H. M. Chang, and W. C. Lee, "A study on experiment of transmission power assignment for indoor TVWS wireless communication system," *J. KICS*, vol. 38, no. 10, pp. 851-860, Oct. 2013.
- [13] FCC, "Third memorandum opinion and order, in the matter of unlicensed operation in the TV broadcast bands, additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz band," *FCC 12-36*, Apr. 2012.
- [14] ETSI, "White space devices (WSD); wireless access systems operating in the 470 MHz to 790 MHz TV broadcast band; harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE directive," *ETSI EN 301 598 v1.1.1*, Apr. 2014.
- [15] ECC, *Technical and operational requirements for the operation of white space devices under geo-location approach*, ECC Report 186, Jan. 2013.
- [16] M. Mishali and Y. C. Eldar, "From theory to practice: Sub-Nyquist sampling of sparse wideband analog signals," *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 4, pp. 375-391, Apr. 2010.
- [17] R. Choe and Y. S. Byun, "Or-rule based cooperative spectrum sensing scheme considering reporting error in cognitive radio networks," *J. KICS*, vol. 39A, no. 1, pp.

19-27, Jan. 2014.

- [18] V. Petrini and H. R. Karimi, "TV white space databases: Algorithms for the calculation of maximum permitted radiated power levels," in *Proc. IEEE Int. Symp. Dynamic Spectrum Access Netw. (DYSPAN)*, pp. 552-560, Oct. 2012.
- [19] D. L. Donoho, "Compressed sensing," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. 52, no. 4, pp. 1289-1306, Apr. 2006.
- [20] E. J. Candes, J. Romberg, and T. Tao, "Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 52, pp. 489-509, Feb. 2006.
- [21] H. Jung, K. Kim, and Y. Shin, "Cooperative Bayesian compressed spectrum sensing for correlated signals in cognitive radio networks," *J. KICS*, vol. 38, no. 9, pp. 765-774, Sept. 2013.
- [22] IETF, "Protocol to access white-space (PAWS) database draft-ietf-paws-protocol-19," *Draft standard*, Sept. 2014.
- [23] M. Mishali and Y. C. Eldar, "Blind multiband signal reconstruction: Compressed sensing for analog signals," *IEEE Trans. Sig. Process.*, vol. 57, no. 3, pp. 993-1009, Mar. 2009.

유 성 진 (Sung-Jin Yoo)



2001년 2월 : KAIST 전기전자 공학과 학사
 2003년 2월 : 서울대 전기컴퓨터공학과 석사
 2003년 3월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 <관심분야> 전자공학, 통신공학, 인지무선기술

강 규 민 (Kyu-Min Kang)



1997년 2월 : 포항공대 전기전자공학과 학사
 1999년 2월 : 포항공대 전기전자공학과 석사
 2003년 2월 : 포항공대 전기전자공학과 박사
 2003년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 선임연구원
 <관심분야> 통신 시스템/네트워크, 인지무선기술

정 희 윤 (Hoiyoon Jung)



2006년 2월 : 한국정보통신대학교 공학부 학사
 2008년 2월 : 한국정보통신대학교 공학 석사
 2008년 2월~현재 : 한국전자통신연구원 연구원
 <관심분야> 주파수 공동사용, 스펙트럼 센싱

박 승 근 (SeungKeun Park)



1991년 2월 : 고려대 응용통계학과 학사
 1993년 8월 : 고려대 응용통계학과 석사
 2006년 2월 : 충북대 정보통신학과 박사
 1993년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 인지무선기술연구실 실장
 <관심분야> 스펙트럼 관리 및 공유, 디지털통신, EMC