

스펙트럼 센싱 이슈 및 현황 : IEEE 802.22 표준화를 중심으로

강법주 | 임선민

동국대학교, 한국전자통신연구원

요약

본 논문에서는 IEEE 802.22 WRAN 표준화 중심으로 진행되고 있는 스펙트럼 센싱 기술에 관련된 내용들을 살펴보고 현재 IEEE 802.22 WG에 제안된 스펙트럼 센싱 기술들을 간략하게 소개하고 있다.

그리고 본 논문에서는 IEEE 802.22 표준화에 제안된 각사의 센싱기술들 중에서 최종적으로 표준안의 부록을 채택하는 방법으로 활용되었던 센싱기술 성능평가 방법인 다섯 가지 시뮬레이션 시나리오들에 대하여 설명하고 있다.

그런데 현재 IEEE 802.22 표준화에 제안된 센싱기술들은 Working Group에서 제시한 12개로 이루어진 DTV 신호 파일에 의해 센싱기술의 성능 검증에 위한 시뮬레이션을 수행하고 있다. 이의 DTV 신호들은 와싱톤 도심지 및 뉴욕에서 수집되었는데, 도심지, 교외, 주거지역 및 시골지역, 그리고 옥내외 채널환경 등 다양한 채널환경에서 수집된 신호들이다.

그리고 본 논문에서는 스펙트럼센싱 시스템의 구성을 제시하고 있고, 제시된 스펙트럼 센싱 구조에서 스펙트럼관리 기능모듈, 스펙트럼센싱 기능 모듈, 그리고 채널집합분류 기능 모듈에 대한 CPE와 기지국의 역할을 설명하고 있다. 또한 coarse 센싱 방법과 fine 센싱 방법의 결합으로 제시될 수 있는 hybrid 센싱 방법으로 incumbent 신호세기 및 센싱 단계에 따라 고속의 스펙트럼 센싱 타임(sensing time)을 도출할 수 있는 스펙트럼 센싱 과정을 제시하고 있다.

1. 서론

한정된 주파수 자원은 국가의 소중한 무형 자산으로써 무선통신의 발전 그리고 무선통신 서비스의 보급이 급격하게 증가함에 따라 주파수 자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 최근 전파이용이 무선인터넷, 교통, 재난구조, 전자상거래 등 생활 전 분야로 확대되고 광대역 멀티미디어 서비스의 이용 수요가 증대됨에 따라 주파수의 부족 문제가 대두되고 있다. 특히 전파특성이 양호하고 무선통신 서비스에 가장 유리한 3 GHz 이하 대역의 주파수 자원의 부족 문제가 심각해지고 있는 상황이다. 그렇지만 이미 분배된 주파수는 상당 부분이 사용치 않거나 주파수이용 효율이 떨어지고 있어, 이들 대역의 사용 방안을 강구할 필요가 있다[1].

기존 주파수 활용에 관한 측면을 살펴보면, 800MHz 및 1.8GHz 대역의 2세대 이동통신 시장의 성장과 더불어, 2GHz 대역의 3세대 이동통신 서비스가 출현하였으며, 그 외에도 2.4GHz ISM 대역 및 5GHz에서 무선 LAN의 활성화와 2.3GHz 대역에서의 본격적인 WiBro 서비스의 보급을 앞두고 향후 광대역 이동 인터넷 액세스 서비스에 대한 지속적인 수요가 예상되고 있다. 또한, WPAN(wireless personal area network) 기반의 홈네트워크 시장이 활성화와 더불어 UWB(ultra wideband) 등과 같은 새로운 스펙트럼 활용 기술이 출현할 것으로 예상된다. 이와 같이 급속히 발전하는 무선통신 시스템은 응용 환경에 따라 다양한 대역의 할당을 요구하고 있으며 무선 서비스의 광대역화에 따라 소수 주파수 대역의 확장에 대한 요구사항이 지속적으로 늘어나고 있

다. 그러므로 4세대 이동통신의 표준화를 앞두고 새로운 주파수 대역의 할당을 위한 정책적 쟁점이 예상되며, 기존 대역의 활용성을 극대화하기 위한 새로운 기술 개발에 대한 노력이 요구된다[2].

주파수 부족 문제를 해결하기 위해서는 주파수 이용효율의 극대화가 필요하며, 이를 위해서 국가 전과정책인 주파수 지정 할당 및 이용으로부터 허가 없이 유연하게 사용할 수 있는 개방형 주파수 할당으로의 패러다임의 변화가 필요하다. 현재 세계적으로 주파수 부족 문제 해결과 이미 할당된 주파수의 효율적 사용을 위해 CR(cognitive radio) 및 UWB와 같은 주파수 공유 기술을 개발하기 위해서 노력 중에 있다.

주파수 공유 기술을 적용하면, 주파수 사용효율이 떨어지는 주파수에서 기존 1차 사용자(incumbent signal) 서비스에 간섭을 주지 않으면서도 주파수를 공유하면서 사용할 수 있기 때문에 주파수 이용 효율이 향상되고, 무선인지기술과 같이 언제, 어디서나, 어떤 조건에서도 통신수단으로 접근할 수 있는 가능성이 큰 진보적인 통신 시스템의 개발이 지식정보화 시대의 국가 경쟁력 향상에 중요한 척도가 되며 앞으로 다가올 유비쿼터스 시대에는 그 비중이 더 확대될 것이다.

이러한 추세에 맞추어 미국, 캐나다 등 선진국에서는 수 년 전부터 다양한 국가 프로젝트를 통해 무선인지기술과 같은 주파수 공유 기술 개발에 적극적인 지원을 하고 있으며, 공유기술 활용을 위한 주파수 정책 변화를 계획하고 있다. 실제로 미국 FCC는 스펙트럼 사용 효율을 높이고 새로운 서비스 도입을 용이하게 하기 위해 TV대역을 대상으로 주파수를 공유하는 Cognitive Radio(CR)를 적용하기로 하고 관련 규정에 관한 제정 작업을 진행하고 있다. 2006년 10월 FCC는 고정 서비스와 개인/휴대용 CR 기기의 사용을 허용하기로 방침을 수립하고 관련 기기 사용 허용 일정을 제시하였다. 이러한 방침을 뒷받침하기 위해 2004년 11월 IEEE에서는 802.22 WG을 신설하고 CR 기술을 이용한 TV 대역 고정 무선통신망인 Wireless Regional Area Network (WRAN)에 대한 PHY/MAC 표준 제정을 시작하였다.

2005년 Functional Requirements Document(FRD)를 완성하고, 그 해 11월 제안서를 접수한 이래 2006년 초안 v0.1을 완성하고 현재 v0.3을 작성하고 있는 단계이다. 2006년 10월

회의에서 초안에 들어갈 기술들에 대한 선별 작업을 하였으며, 이를 기반으로 제안 기술에 대한 보완 및 표준안 초안 보완을 진행하고 있으며 최종적으로 2008년 1월에 표준안을 완성한다는 계획을 갖고 있다[3].

본 논문에서는 IEEE 802.22 WRAN 표준화 중심으로 진행되고 있는 스펙트럼 센싱기술에 관련된 내용들을 살펴보고 현재 IEEE 802.22 WG에 제안된 스펙트럼 센싱 기술들을 간략하게 소개하고 있다.

또한 IEEE802.22 표준화에 제안된 각사의 센싱기술들 중에서 표준안의 부록을 채택하는 방법으로 표준화가 수행되었는데, 표준안의 부록을 채택하기 위한 다섯 가지 시물레이션 시나리오로 이루어진 스펙트럼센싱 기술의 성능평가 방법에 대하여 설명하고 있다[4][5].

그런데 실제로 현재 IEEE 802.22 표준화에 제안된 센싱기술들은 12개로 이루어진 DTV 신호 파일에 의해 센싱기술의 성능 검증을 위한 시물레이션을 수행하고 있다. 이의 성능검증을 위한 DTV 신호들은 와싱턴 도심지 및 뉴욕에서 수집되었는데, 도심지, 교외, 주거지역 및 시골지역, 그리고 옥내외 환경 등 다양한 채널환경에서 수집된 신호들이다. 모두 50개의 DTV 신호들이 제시되고 있으나 센싱기술의 성능검증을 위해 50개의 신호들 중에 12개의 DTV 신호를 이용하여 시물레이션을 수행하고 있다[2].

현재 위에 제시된 12개의 DTV 신호를 이용하여 센싱임계치와 유사한 incumbent 신호를 검출한 센싱기술은 두가지로 제시되고 있다. 실제로 DTV 신호의 센싱임계치 116dBm/6MHz은 거의 잡음 신호 크기로서 신호대 잡음비 측면에서 -22dB에 해당하는 신호크기로서 이러한 incumbent 신호를 센싱할 수 있는 센싱기술이 DTV 신호에 대해서는 필립스에서 제안하는 ATSC FFT-based pilot sensing과 Thomson의 ATSC cyclostationary sensing 방법이고 무선 마이크로폰 신호인 경우에는 I2R에서 제안하는 Wireless microphone covariance sensing 방법으로 제시되고 있다[5].

그리고 본 논문에서는 참고문헌[4]을 참조하여 스펙트럼 센싱 시스템의 구성을 제안하고 있고, CPE와 기지국의 역할과 스펙트럼센싱 구조에서 스펙트럼관리 기능모듈, 스펙트럼센싱 기능 모듈, 그리고 채널집합분류 기능 모듈에 대한 역할들을 설명하고 있다. 또한 coarse 센싱 방법과 fine 센싱

방법의 결합으로 제시될 수 있는 hybrid 센싱 방법으로 incumbent 신호세기 및 센싱단계에 따라 고속의 스펙트럼 센싱 타임(sensing time)을 도모할 수 있는 스펙트럼 센싱 과정을 제시하고 있다.

II. 시스템 모델

1. WRAN 스펙트럼 센싱에서의 기능 요구사항

IEEE802.22 표준안을 작성하기 위한 기능요구문서(FRD: functional requirement document)에서는 기지국 및 CPE의 센싱 안테나가 등방향의 0dBi 안테나 이득을 갖는 경우 DTV, 아날로그 TV, 그리고 무선 마이크로폰 등의 incumbent 신호들에 대한 센싱 임계치를 제시하고 있다. 하나의 TV채널 6MHz인 ATSC DTV 신호의 센싱 임계치는 -116dBm이고, NTSC방식의 아날로그 TV 신호는 NTSC 영상 캐리어 동기의 피크에서 측정된 값으로 -94dBm으로 센싱 임계치를 설정하며, 무선마이크로폰은 200kHz 대역폭에서 측정된 값으로 -107dBm으로 센싱 임계치를 설정하고 있다. 여기서 ATSC DTV 신호의 센싱 임계치가 -116dBm이라는 의미는 DTV신호가 -116dBm으로 신호대 잡음비(SNR)가 -22dB인 아주 미약한 신호라 하더라도 10% 이하의 오경보 확률에서 충분히 90%이상의 신호검출확률 성능을 보여야 함을 의미한다.

또한 WRAN시스템이 운용 중에 WRAN 신호가 incumbent 신호인 DTV 신호와 무선마이크로폰 신호에 간섭을 주는 것을 피하기 위해 <표1>과 같이 채널설정(channel setup), 채널전환(channel move), 그리고 채널센싱(channel sensing) 등의 채널 관리(channel management)에 관련된 DFS(dynamic frequency selection) 타이밍 요구사항들을 제시하고 있다[6].

<표 1>의 DFS 타이밍 파라미터들을 간략하게 설명하면, channel availability check time은 해당 TV 채널을 WRAN 사용자가 사용하기 이전에 채널사용이 가능한가를 검사하는 시간이고, non-occupancy period는 incumbent 신호가 검출된 채널에 대하여 WRAN 사용자로 하여금 사용을 금지하는 기간, 그리고 channel detection time은 10% 이하의 오경보

<표 1> 채널센싱 및 채널관리를 위한 DFS 타이밍

DFS parameter	Value for part 74 devices	Value for TV broadcasting
Channel availability check time	30sec(recommended)	30sec(recommended)
Non-occupancy period	10minutes (recommended)	10minutes (recommended)
Channel Detection Time	(≤ 2 sec to) = 90% Probability of Detection with a False Alarm rate of $\leq 10\%$	(≤ 2 sec to) = 90% Probability of Detection with a False Alarm rate of $\leq 10\%$
Channel Setup Time	2 sec	2 sec
Channel Opening Transmission Time	100 msec	100 msec
Channel Move Time	2 sec	2 sec
Channel Closing Transmission Time	100 msec	100 msec
Incumbent Detection Threshold	107 dBm (200kHz BW)	-116 dBm (6 MHz BW) for DTV

확률(probability of false alarm) 조건에서 90%이상 incumbent 신호의 검출 확률을 갖는 센싱 시스템에서 2초 이하 간격의 센싱 주기(sensing period)를 설정하여 2초 이내에 90% 이상의 신호검출확률으로 incumbent 신호를 검출하는 기간을 의미한다. 그리고 channel setup time은 channel opening transmission time을 포함하고 있는데 채널 설정과정에서 제어정보를 전송하기 위한 전송기간을 100msec 이내로 설정한 것이 channel opening transmission time이며, channel move time에서는 channel closing transmission time을 포함하고 있는데 채널전환과정에서 제어정보를 전송하기 위한 전송기간을 100msec 이내로 설정한 것이 channel closing transmission time이다. 따라서 스펙트럼 센싱 시스템은 <표 1>의 DFS 타이밍 파라미터들을 만족하도록 구현되어야 하며, MAC 프로토콜 또한 <표 1>의 파라미터들을 만족하도록 스펙트럼 센싱에 관련된 프로토콜을 작성함을 IEEE802.22 기능 요구문서에서 요구하고 있다.

2. 스펙트럼 센싱 시스템 구성

IEEE802.22 표준화에서 제안되고 있는 센싱 기술들은 크게 구현구조 측면에서 아날로그 검출기 및 디지털 검출기 등으로 구분할 수 있고, 다중채널 WRAN 시스템에서의 6,7,8 MHz를 하나의 채널대역폭으로 설정한 경우 (그림 1)과 같이 각 채널의 상태 천이에 따라 요구되는 검출방법으로는 에너지 검출(energy detection)과 특징검출(feature

detection) 방법 등이 있다. 여기에서 에너지 검출은 해당 주파수 채널 신호의 신호세기를 측정하는 검출 방법이고 특징 검출 방법은 incumbent 신호의 형태 및 유무를 검출하는 방법이다[2].

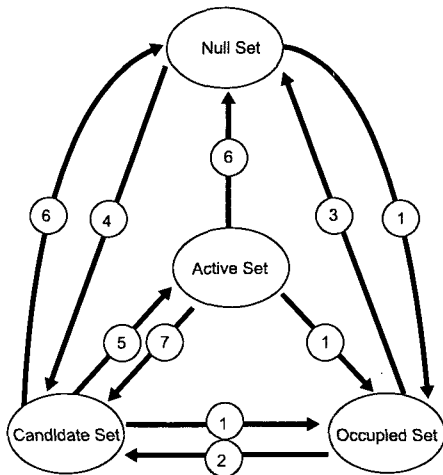
IEEE 802.22 WRAN 시스템에서는 (그림 1)과 같이 다중 채널들의 채널상태에 따라 해당 채널집합(channel set)으로 분류하여 채널들을 관리할 수 있는데, (그림 1)에서 활성집합(active set)은 현재 WRAN 기지국내에서 WRAN 사용자들이 사용 중인 채널들, 후보집합(candidate set)은 WRAN 사용자들이 사용 가능하고 간섭 및 잡음 레벨이 일정 임계치보다 낮은 채널들, 점유집합(occupied set)은 이미 incumbent user가 사용 중인 채널이거나 WRAN 사용자에게 불허된 채널들, 그리고 null set은 WRAN 사용자들이 채널사용이 가능하지만 간섭 및 잡음 레벨이 일정 임계치보다 높은 채널들로 정의하고 있다. (그림 1)에서 각 채널집합(channel set)들의 상태천이를 위해 사용되는 검출 방법은 에너지 검출 방법과 특징검출 방법이 활용되는데, 특징검출(feature detection) 방법은 incumbent 신호의 형태를 이용하여 검출하는 방법으로써 검출결과가 incumbent 신호의 유무로 제시되고 에너지 검출 방법은 해당 주파수 채널신호의 에너지 세기를 측정하는 방법이다. 다음의 내용은 에너지 검출과 특징검출 방법을 이용하여 채널집합 천이에 적용되는 검출 방법을 제시하고 있다.

- ① 특징 및 에너지 검출(feature detection & energy detection)
- ② 특징 및 에너지 검출(feature detection & energy detection)
- ③ 특징 및 에너지 검출(feature detection & energy detection)
- ④ 에너지 검출(energy detection)
- ⑤ 에너지 검출(energy detection)
- ⑥ 에너지 검출(energy detection)
- ⑦ 에너지 검출(energy detection)

(그림 1)의 최종적인 채널집합들의 분류는 기지국에서 수행되고 이에 대한 채널집합에 관한 정보를 CPE에게 전달하여 active 채널에 대한 분산 스펙트럼 센싱 및 채널관리를 기지국과 CPE들이 협업 상태로 관리하게 된다.

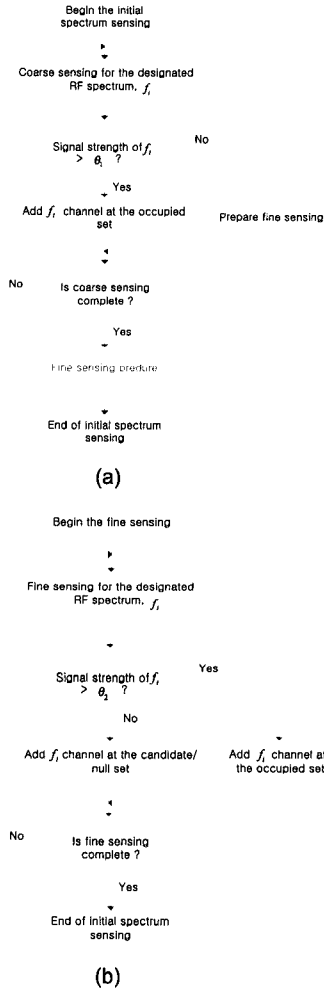
본 논문에서 (그림 2)는 초기 스펙트럼 센싱에서 54MHz에서부터 862MHz까지의 UHF/VHF 주파수 대역을 6MHz의 채널 대역폭으로 채널상태를 검사하는 과정이다. <표 1>에 의하면 초기에 channel availability check time을 30초 이내로 설정하고 있지만, WRAN 시스템의 서비스 측면에서 볼 때 전체 스펙트럼에 대한 채널상태를 고속으로 분류하는 것은 중요한 시스템 성능으로 여겨진다. 따라서 본 논문에서는 coarse 센싱과 fine 센싱 기술을 이용하여 참고문헌[6]에서 요구하는 스펙트럼 센싱 성능에도 만족하고 보다 더 빠른 시간 내에 채널집합을 분류할 수 있는 과정을 (그림 2)와 같이 제안하고 있다.

(그림 2)의 초기 스펙트럼 센싱 알고리즘의 주요 내용은 전체 스펙트럼 중에 이미 incumbent 사용자에게 점유된 채널(occupied set)을 찾는 방법에서 신호대 잡음비가 높은 incumbent 신호에 대해서는 간단하고 센싱 속도가 빠른 coarse 센싱 기술을 적용하고, 상대적으로 신호대 잡음비가 낮은 incumbent 신호에 대해 복잡하면서도 센싱속도가 늦은 fine 센싱 방법을 도모함으로써 전체적으로 초기의 스펙트럼 센싱속도를 빠르게 갖고자 한다. (그림 2)에서의 초기 스펙트럼 센싱 방법은 1단계에서 coarse 센싱 방법에 의하여 전체 스펙트럼에 대하여 1단계 스펙트럼 센싱에서 센싱 임계치에 의하여 각 주파수 채널마다 점유집합 여부를 판단하고, 1단계 센싱에서 점유집합에 포함되지 않은 채널들



(그림 1) WRAN 시스템에서의 채널 상태천이 다이어그램

에 대하여 2단계 센싱에서 fine 센싱 방법에 의하여 최종적으로 후보집합, null 집합, 그리고 점유집합 등을 구분하게 된다.

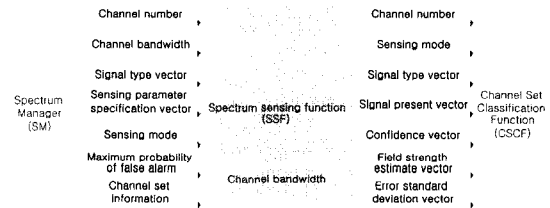


(그림 2) 초기 스펙트럼 센싱에서 2단계 센싱 방법

인지무선 시스템에서 스펙트럼 센싱은 크게 두 가지의 기능으로 구분할 수 있다. 초기적으로 인지무선 시스템에서 사용할 후보채널(candidate channel)을 찾는 것이고, 사용하고 있는 활성 채널(active channel)에 incumbent 사용자의 출현 유무를 감시하는 것이다. 따라서 초기적으로 인지무선 시스템은 전체 사용하고자 하는 스펙트럼에 대하여 현재의 채널상태를 파악하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 채널의 상태에 따라 (그림 1)과 같이 네가지의 채널 집합으로 분류

하고 있다.

본 논문에서는 참고문헌[4]의 내용을 참고하여 스펙트럼 센싱 및 채널관리 기능을 (그림 3)과 같이 스펙트럼센싱 기능과 채널집합분류 기능으로 분할하여 표현하고 있다. 참고문헌[4]의 내용은 스펙트럼 센싱과정을 스펙트럼 센싱 기능과 채널선택 기능으로 구분하고 있는데, 채널선택 기능에서는 인지무선 시스템에 채널 할당이 가능한 유용한 채널목록(ACL: available channel list)과 채널할당이 가능하지 않은 채널목록(UCL: unavailable channel list)을 출력으로 제시하고 있는 반면에, 본 논문에서는 스펙트럼 센싱 기능모듈의 출력을 이용하여 (그림 1)에서 제시한 네가지의 채널집합을 분류하는 기능을 갖는 것이 다른 특징이 된다.



(그림 3) 스펙트럼 센싱 기능 구조

(그림 3)에서 제시된 스펙트럼 센싱 기능 구조의 자세한 설명은 다음과 같다. (그림 3)의 스펙트럼 관리(SM: spectrum manager) 기능모듈은 스펙트럼 센싱의 결과를 이용하여 채널의 유용성을 판단하고 채널 할당에 있어 최적의 후보 채널을 선정하는 기능을 한다. 따라서 스펙트럼 관리 기능 모듈은 스펙트럼 센싱 기능모듈의 출력을 이용하여 채널상태에 따라 채널집합을 분류하고 최적의 후보채널을 선정하는 기능을 포함하고 있다. 이러한 연유에서 스펙트럼 관리 기능모듈과 채널집합분류 (CSCF: channel set classification function) 기능모듈은 구현상 스펙트럼관리 기능모듈에 포함해서 구성할 수 있다. 그런데 구조상 여기에서는 기지국의 스펙트럼 센싱 구조에서 스펙트럼 관리 기능모듈, 스펙트럼센싱 기능모듈, 그리고 채널집합분류 기능모듈 등을 모두 포함하는 형태로 구성되고, CPE의 스펙트럼센싱 구조에서는 스펙트럼센싱 기능모듈과 채널집합분류 기능모듈로 구성하여 기지국과 CPE의 채널집합분류 기능모듈의 결과

를 이용하여 최종적으로 기지국에서 채널집합을 분류하고 갱신하게 된다. 그리고 스펙트럼센싱 기능 구조에서의 스펙트럼센싱 기능모듈의 입력신호는 <표 2>와 같이 제시된다.

<표 2> 스펙트럼센싱 기능모듈의 입력신호

Signal Name	Signal Description
Channel Number	The channel number which is to be sensed by the SSF
Channel Set Information	Channel set information of channel number to be sensed by SSF
Channel Bandwidth	The bandwidth of the channel to be sensed by the SSF
Signal Type Vector	A vector indicating which signal types the SSF is to sense for
Sensing Window Specification Vector	A vector of sensing window specifications. Each SFS specifies the details of the sensing window for a given signal type being sensed
Sensing Mode	The sensing mode specifies which SSF outputs are valid and in some cases it specifies the behaviour of the SSF
Maximum Probability of False Alarm	In sensing modes 0 and 1 this value specifies the maximum probability of false alarm for each sensing mode decision in the sensing present vector

<표 2>에서 신호 형태(signal type)는 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.22.1 Sync Burst, IEEE 802.22.1 PPDU, ATSC, NTSC, Wireless Microphone, DVB-T 등으로 제시되고 있다. 그리고 스펙트럼센싱 기능모듈의 출력은 제시된 신호들에 대하여 스펙트럼 센싱을 시행한 결과, 즉 각 신호들의 출현 유무 판단, 그리고 해당 신호가 존재하는 것으로 판단되면, 그 해당 신호의 신호세기, 신호세기 측정값의 표준편차, 그리고 신호존재 판단에 대한 신뢰도 등이 스펙트럼 센싱 기능모듈의 출력으로 제시되며, 이의 출력을 이용하여 채널집합분류 기능모듈에서는 채널집합을 갱신하게 된다.

III. 스펙트럼 센싱 기술

1. WRAN 센싱 기술의 성능평가 방법

제안한 스펙트럼 센싱 기술들에 대하여 IEEE802.22에서는 다음 다섯 가지의 시뮬레이션 시나리오에 의해 스펙트럼 센싱 기술들의 성능을 검증하고 있다. 각 사에서 제안한 WRAN 센싱 기술들을 검증함에 있어 검증방법으로는 다섯 가지의 성능 시뮬레이션 검증모델에서 요구하는 결과값과 성능 결과값을 도출하기 위해 소요된 센싱시간(sensing

time)을 제출하도록 요구하고 있다[5].

현재 논의되고 있는 센싱기술 성능평가를 위한 시뮬레이션 모델을 간략히 설명하면 다음과 같다. 첫 번째 시뮬레이션 시나리오는 스펙트럼 센싱 기술의 ROC(receiver operating characteristic)을 작성하는데, 채널모델은 다경로 채널이고 센싱시간 (sensing time)과 SNR 등의 파라미터에 따른 misdetection 확률을 결과로 보여주는 것이다.

두 번째 시뮬레이션 시나리오는 Grade B 영역을 벗어난 지점에서 기지국의 단일 센싱 수신기에 의한 스펙트럼 센싱 성능을 평가하는 방법이다. 이의 시뮬레이션을 위한 채널모델은 경로손실과 다경로 페이딩뿐만 아니라 새도우 페이딩 효과까지 고려하여야 한다. 이와 같이 언급된 채널환경과 DTV 송신 안테나로부터 155km 이상 떨어진 기지국 센싱 수신기의 misdetection 확률을 센싱성능 결과로 제시하는 것이다.

세 번째 시뮬레이션 시나리오는 기지국내에 있는 기지국 센싱 수신기와 CPE들의 센싱 수신기들을 이용하여 분산 스펙트럼 센싱에 의한 성능 시뮬레이션을 수행하는 모델인데 이 경우에도 두 번째 시뮬레이션 시나리오와 같이 DTV 송신안테나와 기지국 센싱 수신기와의 거리는 155km이상, DTV 송신안테나와 CPE 센싱 수신기와의 거리는 132km 이상으로 떨어진 채널환경에서 misdetection 확률을 결과로 보여주는 것이다.

그리고 네 번째 시뮬레이션 시나리오는 실제로 인접 채널에 DTV 신호 혹은 WRAN 신호에 의해 점유되었는데, 센싱 수신기에 의해 검출되고 있는 해당 채널이 점유된 것으로 오인하는 확률을 보여주는 것이다.

마지막으로 다섯 번째 시뮬레이션 시나리오는 서로 다른 두개의 WRAN이 동일 기지국에 운영되는 상황에서 실제로 다른 WRAN 시스템에 의해 점유된 채널인데 DTV 신호에 의해 점유된 것으로 오인하는 확률을 구하는 시뮬레이션이다.

그런데 현재 IEEE 802.22 표준화에서 제안된 센싱기술들은 다음의 DTV 신호 파일에 의해 성능 검증을 위한 시뮬레이션을 수행하고 있다. 이의 성능검증을 위한 DTV 신호들은 와싱턴 도심지 뉴욕에서 수집되었는데, 도심지, 교외, 주거지역 및 시골지역, 그리고 옥내외 환경 등 다양한 채널환경에서 수집된 신호들이다. 모두 50개의 DTV 신호들이 제

시되고 있으나 센싱기술의 성능검증을 위해 50개의 신호들 중에 12개의 DTV 신호를 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 있다[5].

2. 제안된 스펙트럼 센싱 기술 소개

현재까지 발표된 센싱 알고리즘들은 DTV 신호에 대한 것이 대부분인데, 그 이유는 우선 DTV 신호의 센싱 임계치가 가장 낮고 WRAN이 상용화될 시점에는 모든 TV 신호가 DTV신호로 바뀌기 때문이다. 그리고 Part 74 기기 보호를 강화하기 위하여 무선 마이크론 신호의 스펙트럼 센싱을 시행하기 위한 비콘을 사용하는 기법에 대한 표준화가 IEEE 802.22.1 TG에서 진행되고 있다.

센싱 알고리즘은 크게 WRAN 사용자가 통신 중인 Active 채널의 전송 휴지 기간 동안 해당 채널을 센싱하는 기법과 전송 휴지 기간 없이 WRAN 통신 중에 해당 채널을 센싱하는 기법 두 가지로 나눌 수 있다. IEEE 802.22표준화에서도 두가지 기법 모두 제안되었으나 전송 휴지 기간 없이 센싱하는 기법의 경우는 표준안 부록(information annex)으로 채택되지 못했다.

<표 3> 표준안 부록에 채택된 센싱 알고리즘

Sensing algorithm	Corp.	Feature	Sense
Energy detector	Qualcomm	Blind	Coarse
Eignevalue sensing tech.	I2R	Blind	Coarse
Wireless microphone covariance sensing tech.	I2R	Specific	Fine
ATSC pilot covariance sensing tech.	I2R	Specific	Coarse
Multi-resolution sensing tech.	Gatech	Blind	Coarse
ATSC signature sequence correlation sensing tech.	Thomson	Specific	Coarse
ATSC FFT-based pilot sensing tech.	Philips	Specific	Fine
ATSC PLL-based pilot sensing tech.	Philips	Specific	Coarse
ATSC spectral correlation sensing tech.	Huawei	Specific	Coarse
ATSC cyclostationary sensing tech.	Thomson	Specific	Coarse

IEEE 802.22표준화의 5월 회의에서는 3월까지 발표했던 센싱 알고리즘 중에서 표준안의 부록(information annex)으로 들어갈 알고리즘들을 선택하였으며 이는 <표 3>과 같다. 선택된 센싱 알고리즘들은 신호의 종류에 따른 특수(specific)한 성질을 이용하는 알고리즘과 신호의 종류에 상

관없이 이용할 수 있는 블라인드(blind) 알고리즘으로 나누어 분류하였으며, 각각의 기법들이 기능 요구 문서의 센싱 요구 조건을 만족할 경우 fine 센싱 기법으로 분류하고 그렇지 않을 경우 coarse 센싱 기법으로 분류하였다.

아래는 표준화에서 표준안 부록으로 채택된 센싱 알고리즘들의 검출 원리에 대해 간단히 기술하였다.

1) Energy detection algorithm[8]

이 방법은 에너지 혹은 전력 검출 기법으로써 신호의 종류에 상관없이 적용할 수 있는 알고리즘이다. 아 센싱 방법은 센싱 요구 조건을 만족하진 못하지만 강한 신호가 채널상에 존재하는 경우 고속의 신호 존재 유무를 결정할 수 있는 단순한 방법이다. 이 기법은 다음과 같은 절차로 수행된다. 샘플링된 수신 신호는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y(n) = x(n) + w(n) \tag{1}$$

여기서 $x(n)$ 은 신호를 나타내고 $w(n)$ 은 잡음을 나타낸다. 신호의 전력을 P_s 그리고 잡음의 전력을 P_N 라 할 때 수신 신호의 전력은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$T = p_s + p_N = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M y(n)y^*(n) \tag{2}$$

수신 신호의 검출기 전력이 잡음의 확률 분포 및 오경보 확률로부터 구한 임계값보다 클 경우 이 채널은 점유된 채널이라고 판단하며 그렇지 않을 경우 채널은 비어있다고 판단한다.

2) Eigenvalue sensing technique[9]

이 센싱 방법은 수신 신호의 공분산 행렬로부터 구한 고유값들의 특성을 이용하는 것으로 두가지로 나누어 제시되었다. 우선 첫번째 방법을 살펴보면 공분산 행렬로부터 구한 고유값의 최대값과 최소값의 비율을 이용하는 것으로 식(3)과 같이 나타낼 수 있다. 만약 신호가 백색 가우시안 잡음의 경우에는 고유값들의 비율이 1근처의 값인 특성을 이용하여 신호의 존재 유무를 판단하는 방법이다.

$$\lambda_{\max} / \lambda_{\min} > \gamma \quad (3)$$

여기서 λ_{\min} 은 고유값의 최소값을 λ_{\max} 는 고유값의 최대값을 나타낸다.

두 번째 방법은 식(4)과 같이 수신된 신호의 평균 에너지와 최소 고유값과의 비율을 이용하는 것이다.

$$\rho / \lambda_{\min} > \gamma \quad (4)$$

3) Covariance sensing technique[10][11]

이 센싱 방법은 수신 신호의 공분산 행렬 정보를 이용하는 것으로 신호가 잡음인 경우 행렬 성분 중 대각 성분만이 의미 있는 값을 가진다는 특성을 이용하는 것이다. 이 방법은 아래와 같이 두가지로 나눌 수 있다.

- The covariance absolute value (CAV) detection :

이 방법은 수식(5)와 같이 행렬 성분들의 절대값의 합과 대각 성분들의 합의 값의 비율을 이용하는 것이다.

$$T_1(N_s) / T_2(N_s) > \gamma \quad (5)$$

$$\text{여기서, } T_1(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^L |r_{nm}(N_s)|,$$

$$T_2(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L \|r_{nn}(N_s)\| \quad \text{이다.}$$

- The covariance Frobenius norm (CFN) detection :

이 방법은 식(6)과 같이 공분산 행렬의 Frobenius norm을 이용하는 것으로서 matrix의 각 성분의 norm의 합과 대각 성분의 합의 비율을 비교하여 신호 유무를 판단한다.

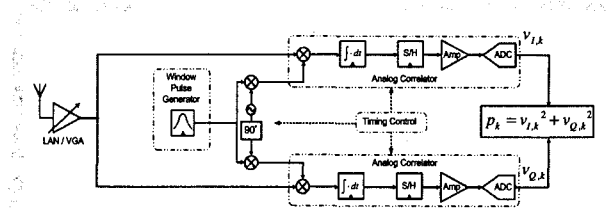
$$T_3(N_s) / T_4(N_s) > \gamma \quad (6)$$

$$\text{여기서, } T_3(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L \sum_{m=1}^L |r_{nm}(N_s)|^2,$$

$$T_4(N_s) = \frac{1}{L} \sum_{n=1}^L |r_{nn}(N_s)|^2 \quad \text{이다.}$$

4) Multi-resolution sensing algorithm[12]

이 방법은 아날로그 센싱 기법으로 일정한 분해능 단위로 신호의 스펙트럼을 분석하는 기법이며 (그림 4)와 같은 블록도로 구성된다.



(그림 4) MRSS 시스템의 블록도

여기서 분해능은 웨이블릿 함수에 의해 결정되며 이 방법에서는 식(7)의 웨이블릿 함수를 이용하였다.

$$w(t) = \begin{cases} \cos^4(\pi f_w t) \exp(j2\pi f_c t), & \text{if } -\frac{1}{2f_w} < t < \frac{1}{2f_w} \\ 0, & \text{elsewher} \end{cases} \quad (7)$$

식(7)의 웨이블릿 함수는 f_c 를 중심으로 f_w 의 분해능 단위를 가진 BPF와 같은 기능을 가진 함수이다. 따라서 수신 신호와 웨이블릿 함수를 컨벌루션하면 식(8)과 같이 웨이블릿 함수의 분해능 단위로 수신 신호를 살펴볼 수 있다.

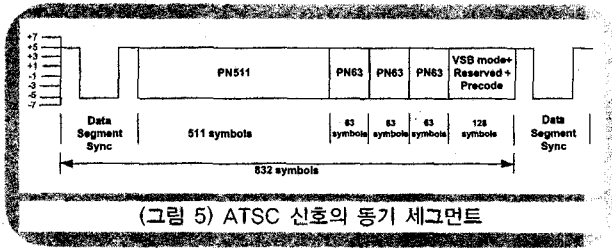
$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} r(s)w(t-s)ds = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} R(\omega)W(\omega)e^{j\omega t} d\omega \quad (8)$$

이 방법은 잡음 신호의 경우에 대해 웨이블릿을 이용하여 얻은 값과 수신된 신호로부터 얻은 값을 비교하여 신호의 존재 유무를 판단하게 된다.

5) ATSC signature sequence correlation sensing Algorithm[13]

이 방법은 ATSC 신호가 가지는 두가지 종류의 PN 시퀀스 혹은 고정된 segment sync등 특정 패턴을 이용하는 방법이다. ATSC 신호는 313개의 세그먼트로 구성되어 있으며 ATSC의 동기를 맞추기 위해 사용되는 field sync segment는 (그림 5)로 나타난다. 각 세그먼트에는 4심볼짜리 data segment sync와 313세그먼트마다 나타나는 field sync

segment는 511심볼의 PN시퀀스 1개 그리고 63심볼의 PN 시퀀스 3개로 구성되어 있다. 이 센싱 기술은 이 두 가지 종류의 PN 시퀀스와 4심볼 segment 기반으로 수신된 신호와의 상관값을 이용하는 것이다.



6) ATSC FFT-based pilot sensing algorithm[14]

이 방법은 ATSC 신호의 경우 파일럿이 존재하고 그 위치가 고정되어 있다는 점을 이용하여 신호를 검출하는 것으로써 파일럿의 에너지를 이용하는 방법과 파일럿 주파수 위치를 이용하는 방법 두가지로 나뉜다.

- Pilot-energy sensing : 이 방법은 수신된 신호를 주파수하향 및 데시메이션을 수행한 후에 FFT 출력의 최대값을 임계값과 비교하는 것이다. 여기서 ATSC 신호가 존재할 경우 출력의 최대값은 파일럿에 의해 나타나므로 파일럿의 에너지를 잡음의 확률 분포 및 오경보 확률로 구한 임계값과 비교하여 신호 존재 여부를 판단한다.

- Pilot-location sensing : 이 방법은 ATSC 신호의 파일럿 위치가 일정하다는 특성을 이용하는 것으로 두개의FFT 출력을 이용하여 FFT 출력의 최대값이 나타나는 위치를 비교하는 것이다. 만약 신호가 존재하는 경우 파일럿의 위치가 고정되어 있으므로 동일한 위치에서 최대값이 나타나겠지만 잡음만 존재하는 경우에는 최대값의 위치가 랜덤하게 나타나는 특성을 이용한 방법이다.

7) ATSC PLL-based pilot sensing algorithm[15]

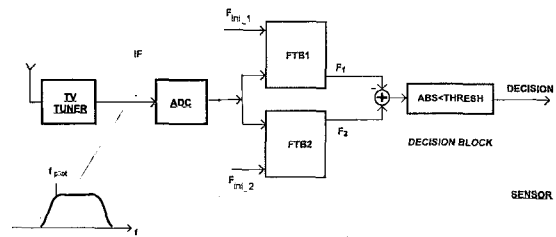
이 방법은 두개의 주파수 추적 블록(frequency tracking block, FTB)을 이용하는 구조로 (그림 6)과 같이 구성된다. 이 검출기는 일반적으로 사용되는 수신 신호의 주파수를 추적 알고리즘을 이용하는 구조로써 ATSC 신호의 파일럿 주파수를 두개의 주파수 추적 블록을 이용해서 한 개는 식(9)와 같이 파일럿 주파수보다 (Hz만큼 큰 값에서 시작하여 파

일럿 주파수를 추적하고 다른 한 개는 식(10)과 같이 파일럿 주파수보다 (Hz만큼 작은 값에서 시작하여 파일럿 주파수를 추적한다. 추적된 값이 일정 주파수로 수렴하는 양상을 나타낼 때 즉 식(11)이 일정 값보다 작은 값을 나타낼 때 신호가 존재한다고 판단하는 방법이다.

$$F_{ini_1} = f_{pilot} + \Delta Hz \quad (9)$$

$$F_{ini_2} = f_{pilot} - \Delta Hz \quad (10)$$

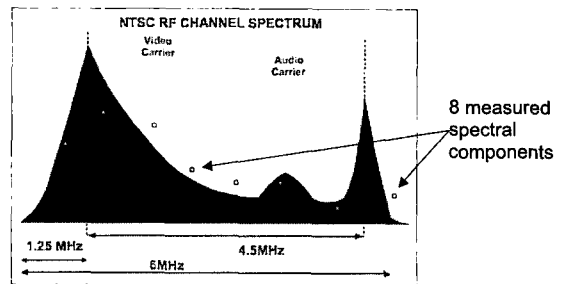
$$|F_1 - F_2| < F_{thresht} \quad (11)$$



(그림 6) 주파수 추적 구조를 이용한 신호 검출 블록도

8) ATSC spectral correlation sensing algorithm [16]

이 방법은 기 사용자 신호의 스펙트럼과 수신된 신호의 스펙트럼 모양의 상관 특성을 이용하는 것이다. 예를 들어 NTSC신호의 스펙트럼이 (그림 7)과 같이 나타난다고 가정했을 때 일정한 위치의 스펙트럼에 해당하는 성분 샘플들과 수신된 신호의 스펙트럼으로부터 얻은 샘플들의 상관값을 구해서 이를 임계값과 비교하는 것이다.



(그림 7) 스펙트럼 상관 알고리즘을 적용을 위한 8개의 스펙트럼 성분

9) ATSC cyclostationary sensing algorithm[17]

이 방법은 신호의 cyclostationary 특성 존재 여부를 이용하여 신호의 존재 여부를 판단하는 방법이다. Cyclostationary 신호의 여러 특성 중 이 검출 알고리즘에서는 신호의 2차 통계적 특성 (예: autocorrelation)이 cyclostationary 특성을 가지는 것을 이용한다. 예를 들어 백색 가우시안 잡음 신호는 자기 상관 함수가 cyclostationary 성질이 없는 반면 ATSC 신호의 경우 파일럿 주파수 위치에서 cyclostationary 성질을 나타내므로 이 특성을 이용하여 신호의 존재 여부를 판단한다. 신호가 cyclostationary 특성을 가졌는지 살펴보기 위해서는 식(12)의 수식을 통해 임의의 α 값에서 특성을 살펴보는 데 잡음 신호의 경우에는 이 값이 모든 α 에서 비슷한 값을 나타낼 것이다.

$$s_z^\alpha(k) = \frac{1}{2L + 1\Delta t} \sum_{l=L}^L Z_l(k + \alpha/2) \cdot Z_l^*(k - \alpha/2) \quad (12)$$

여기서 $Z_l(k)$ 는 수신된 시간상의 신호이고 $z_l[n]$ 을 주파수 영역 신호를 나타내면 다음과 같다.

$$Z_l(k) = \sum_{n=0}^{N-1} z_l[n] e^{-j2\pi kn/N} \quad (13)$$

IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.22 표준화에서 제안하고 있는 센싱 기술들을 살펴보고, 제안된 센싱 기술들이 성능검증을 통해 표준안의 부록에 채택되고 있는 과정을 설명하고 있다. 현재 IEEE 802.22 WG에서 제시한 12개의 DTV 신호를 이용하여 신호대 잡음비 측면에서 -22dB에 해당하는 incumbent 신호를 센싱할 수 있는 센싱기술이 DTV 신호에 대해서는 필립스에서 제안하는 ATSC FFT-based pilot sensing 방법과 Thomson의 ATSC cyclostationary sensing 방법이고 무선 마이크론 신호인 경우에는 I2R에서 제안하는 Wireless microphone covariance sensing 방법으로 제시되고 있는데, 이의 검증성능을 만족하기 위해서는 수십ms 이상의 센싱타임이 요구되는 것으로 발표되고 있다.

그리고 본 논문에서는 스펙트럼 센싱 시스템의 구성을 제시하고 있고, CPE와 기지국의 역할과 스펙트럼센싱 구조에서 스펙트럼관리 기능모듈, 스펙트럼센싱 기능 모듈, 그리고 채널집합분류 기능 모듈에 대한 역할들을 설명하고 있다. 또한 coarse 센싱 방법과 fine 센싱 방법의 결합으로 제시될 수 있는 hybrid 센싱 방법으로 incumbent 신호세기 및 센싱단계에 따라 고속의 스펙트럼 센싱 타임(sensing time)을 도모할 수 있는 스펙트럼 센싱 과정을 제시하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 김창주, "Cognitive Radio 기술 및 응용," 전자과학회지 제17권 2호, pp.3-8, 2006년 4월.
- [2] 강법주의 4인, "IEEE 802.22 WG에서의 CR 응용: WRAN 스펙트럼 센싱에 대한 기술동향 및 성능 평가 방법," 전자과학회지 제17권 2호, pp.50-60, 2006년 4월.
- [3] 엄중선의 4인, "IEEE 802.22 WRAN 표준화 동향," 전자공학회지 제41권 1호, 2007년 3월.
- [4] S. Shellhammer, "The spectrum sensing function," IEEE 802.22-07/0074r3, April 2007.
- [5] S. Shellhammer et al., "Spectrum sensing simulation model," IEEE 802.22-06/0028r10, September 2006.
- [6] IEEE 802.22, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard," IEEE 802.22-05/007r46, September 2005.
- [7] IEEE 802.22 WG, Draft standard for wireless regional area networks part 22, IEEE P802.22/ D0.3, May 2007.
- [8] S. Shellhammer, "Text on Energy Detector," IEEE 802.22-07 -0264-01-0000, July 2007
- [9] Yonghong Zeng et al., "Text on Eigenvalue Based Sensing," IEEE 802.22-07-0297-02-0000, July 2007
- [10] Yonghong Zeng et al., "Text on Covariance Based Sensing For Wireless Microphone," IEEE 802.22- 22-07-0295-02-0000, July 2007
- [11] Yonghong Zeng et al., "Text on Covariance Based Sensing For ATSC DTV," IEEE 802.22-07-0294-02-0000,

July 2007

- [12] Kyutae Lim et al., "Text on MRSS," IEEE 802. 22-07-0266-00-0000, July 2007
- [13] Wen Gao et al., "Text on ATSC Signature Sequence Correlation," IEEE 802.22-07-0268-02-0000, July 2007
- [14] Monisha Ghosh, "Text on FFT based Pilot Sensing," IEEE 802.22-07-0298-00-0000, July 2007
- [15] Gene Turkenich et al., "Text on Dual FPLL Pilot Sensing," IEEE 802.22-07-0296-00-0000, July 2007
- [16] Soo-Young Chang et al., "Text on Spectral Correlation Sensing," IEEE 802.22-07-0284-00-0000, July 2007
- [17] Hou-Shin Chen et al., "Text on Cyclostationary Feature Detector," IEEE 802.22-07-0283-00-0000, July 2007



1983년 경희대학교 전자공학과 (공학사)
 1985년 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
 1996년 연세대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 ~ 2001년 ETRI 책임연구원, 팀장
 2001년 ~ 현재 동국대학교 정보통신공학과 부교수
 관심분야: 무선인지기술, 무선통신시스템

강 범 주



2000년 충남대학교 정보통신공학과(공학사)
 2002년 충남대학교 정보통신공학과(공학석사)
 2005년 충남대학교 정보통신공학과(공학박사수료)
 2006년 ~ 현재 ETRI 인지무선연구팀 근무
 관심분야: 스펙트럼 센싱 기술, 비선형 시스템 선형화 기술, 통신 신호 처리

임 선 민

