

발 간 등 록 번 호

11-1710000-000049-10

스펙트럼센싱 기술 이용방안 연구

2013. 11. 22

제 출 문

본 보고서를 「스펙트럼 센싱 기술 이용방안 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2013. 11. 22.

연구책임자 : 이 원 철 (숭실대학교)

연구보조원 : 장 형 민 (숭실대학교)

코아추엔 (숭실대학교)

윤 덕 원 (숭실대학교)

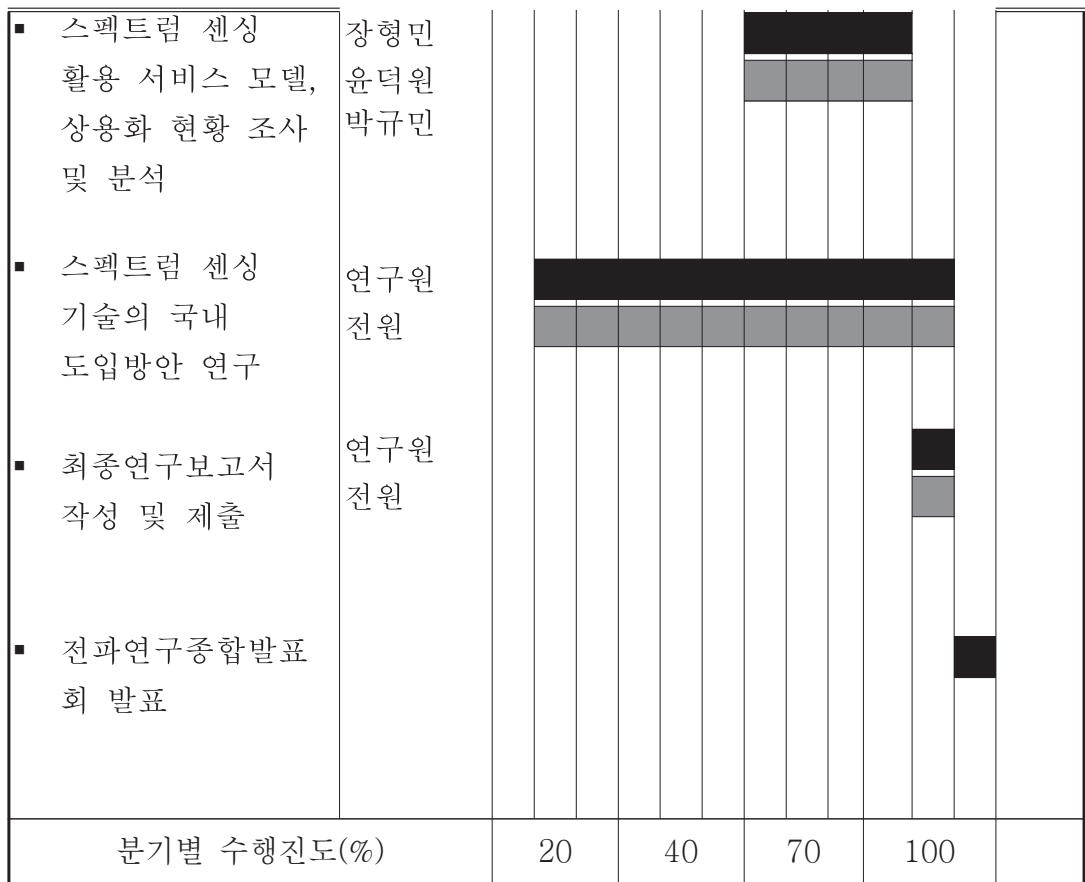
박 규 민 (숭실대학교)

요 약 문

1. 과 제 명 : 스펙트럼센싱 기술 이용방안 연구
2. 연구 기 간 : 2013.02.27.~2013.11.22
3. 연구책임자 : 이 원 철
4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용 : 계획, : 진도

세부연구내용	연구자	월별 추진일정												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
■ 착수신고서 제출	최주평		<div style="background-color: black; width: 100%; height: 10px;"></div> <div style="background-color: gray; width: 100%; height: 10px;"></div>											총괄 연구 책임 자 이원 철
■ 스펙트럼 센싱을 이용한 표준화 동향 조사 및 분석	장형민 코아추엔 박규민		<div style="background-color: black; width: 100%; height: 10px;"></div> <div style="background-color: gray; width: 100%; height: 10px;"></div>											
■ 연구과제 관련 동향 보고서 작성 및 제출	장형민 코아추엔 박규민					<div style="background-color: black; width: 100%; height: 10px;"></div> <div style="background-color: gray; width: 100%; height: 10px;"></div>								
■ 주요국 스펙트럼 센싱 기술기준, 제도도입 현황 조사 및 분석	장형민 코아추엔 윤덕원 박규민				<div style="background-color: black; width: 100%; height: 10px;"></div> <div style="background-color: gray; width: 100%; height: 10px;"></div>									
■ 중간보고서 작성 및 제출(2013.7.30)	장형민 박규민							<div style="background-color: black; width: 100%; height: 10px;"></div> <div style="background-color: gray; width: 100%; height: 10px;"></div>						



나. 세부 과제별 추진사항

1) 상반기 추진사항

- 스펙트럼 센싱 기술의 종류 조사
- 국외 스펙트럼 센싱 기술 표준화에 대하여 표준화 단체별로 분류하여 조사
- 국외 스펙트럼 센싱 연구기관(ECC, COGEU)의 연구 동향 조사
- 주요국의 주파수 정책 기관의 기술기준 및 정책 동향 조사

2) 하반기 추진사항

- 스펙트럼 센싱 기술의 프로토타입 모델 현황 조사 및 분석
- 스펙트럼 센싱 기술의 국내 도입방안 연구

- 스펙트럼 센싱 기술의 서비스 모델 도출

5. 연구결과

1) 상반기 연구결과

- TV 화이트 스페이스의 스펙트럼 센싱 기술이 적용된 표준화 동향 조사 및 3.6GHz, 5GHz 대역에서의 스펙트럼 센싱 기술과 유사한 간섭 회피 기술이 적용된 표준화 동향 조사
- ECC와 COGEU에서 진행된 스펙트럼 센싱과 관련된 인지무선 기술에 대한 연구 조사 및 분석
- 주요국을 중심으로 한 주파수 정책 동향 및 인지무선 기술 관련 기술기준 조사

2) 하반기 연구결과

- 주요국을 중심으로 한 연구단체, 산업체 중심의 스펙트럼 센싱 프로토타입 모델의 조사 및 분석
- 국외 스펙트럼 센싱의 연구, 제도, 프로토 타입 현황 조사를 통한 국내에 적합한 스펙트럼 센싱 기술의 도입 방향 연구

6. 기대효과

- 스펙트럼 센싱 기반의 주파수 공유 시스템 구축을 통한 주파수 이용효율 극대화, 신뢰성 있는 주파수 공유기술 표준 획득 가능
- TVWS 이외에 기존 주파수 대역에서의 주파수 공유 기술을 적극적으로 활용하므로 주파수 고갈로 인한 서비스 품질 저하에 적극적으로 대처 가능
- 유휴 주파수 자원의 적극적 활용이 가능함으로 인해 소규모 시설투자 비용으로 서비스 품질이 보장된 인터넷 환경 제공

가능

7. 기자재 사용 내역

해당 없음

8. 기타사항

최종보고서 초록

국문 초록		
<p>스펙트럼 센싱은 엄격한 센싱 감도 및 하드웨어 구현의 어려움으로 인해 상용화의 벽에 부딪힌 실정이다. 따라서 스펙트럼 센싱의 한계점을 보완하기 위해 스펙트럼 센싱 관련 CR 기술 제도 도입, 기술 연구 개발, 표준화 동향을 조사 및 분석한다. 또한, 스펙트럼 센싱의 상용화 전망 파악을 위한 CR 프로토타입 개발 현황을 조사한다. 이러한 조사와 분석을 통해 스펙트럼 센싱의 구현 및 국내 도입을 위해 선행되어야 할 연구 분야를 논의하고, 법·제도 개선사항 및 활용 서비스 모델을 도출한다. 이에 본 연구는 스펙트럼 센싱의 활성화를 위한 정책으로 활용될 수 있도록 스펙트럼 센싱의 이용방안에 대한 연구 결과를 제시하고자 한다.</p>		
영문 초록		
<p>Spectrum sensing is suffering from commercializing because the sensing sensitivity cannot be satisfied and implementation is difficult in practice. Therefore, research have to be investigated such as technologies to be applied, research fields and trends of research and development to overcome the limitations of the spectrum sensing technology. Also, trends of the foreign standards are analyzed to establish domestic standards. Through this analysis, it is required to elicit preceding research fields and prepare improvements of institutions and standardization strategies for proper induction. Therefore research result is offered in order to take advantage of policy about spectrum sensing.</p>		
색 인 어	한글	스펙트럼 센싱, 간섭 회피, 인지 무선
	영문	Spectrum sensing, Interference avoidance ,Cognitive radio

요 약 서

무선 통신 산업의 발전으로 다양한 어플리케이션이 등장하게 되었고 데이터 트래픽은 급격한 속도로 증가하게 되었다. 이로 인해 주파수 자원의 수요가 나날이 증가하고 주파수 관리 정책은 기존의 명령과 통제의 주파수 관리의 방식에서 벗어나 주파수 공유를 통한 시장 기반의 주파수 관리 방식으로 변화하고 있다. 이러한 변화에 발맞추어 주파수 자원을 효율적으로 공유할 수 있는 인지무선 기술이 주목받았고, TV 화이트 스페이스와 접목하여 인지 무선 기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

먼저 대역에서 1차 사용자의 존재를 판별하는 스펙트럼 센싱 기술은 인지무선의 핵심 기술이다. 스펙트럼 센싱은 센싱에 참여하는 단말들의 협력 여부에 따라 송신기검파 방식과 협력 센싱 방식으로 분류된다. 협력 센싱은 센싱 기기가 장애물이나 채널환경의 영향으로 인해 1차 사용자의 존재를 검출 할 수 없는 은닉 노드 문제를 해결하기 위해 제안되었다. 또한, 신호의 성긴 특성을 이용하여 하드웨어 구현의 어려움을 완화하는 압축 센싱 방식도 존재한다.

스펙트럼 센싱은 규제 기관에서 정한 감지 성능을 만족하지 못하는 문제와 더불어 하드웨어 구현의 어려움으로 난관에 봉착한 상황이다. 이로 인해 인지 무선에서의 간섭회피방안은 스펙트럼 센싱이 아닌 DB 접근 방식을 통해 표준화 및 상용화가 이루어지고 있다. 인지 무선 기술이 적용된 표준으로는 TV 화이트 스페이스를 기반으로 하는 IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11af, ECMA-392등이 있으며, 이중 IEEE 802.22 WRAN과 ECMA-392는 스펙트럼 센싱과 DB 접속 방식을 인지 무선을 위한 간섭회피방안으로 동시에 정의되어 있다. IEEE 802.11h와 IEEE 802.11y는 스펙트럼 센싱 기능이 적용되어 있진 않지만 향후 스펙트럼 센싱으로 확장이 가능한 간섭 회피 기술이 적용되어 있다.

스펙트럼 센싱 기술을 개발하기 위한 다양한 연구가 산·학·연에서

진행되고 있다. 국내에서는 한국전자통신 연구원을 필두로 스펙트럼 센싱 기술이 적용된 인지 무선 테스트베드를 개발 중에 있으며, 국외에서는 일본의 NICT, 미국의 쉘컴, 유럽의 FP7 프로젝트를 통해 스펙트럼 센싱 기술 연구 및 테스트베드 개발이 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 스펙트럼 센싱 기술에 대한 표준 및 연구 개발 현황을 조사하고, 스펙트럼 센싱의 구현의 어려움을 극복을 위해 선행되어야 할 연구 분야를 조사하였다. 스펙트럼 센싱의 가장 큰 문제인 엄격한 센싱 감도를 극복하기 위해 인접대역에서 간섭 신호가 존재할 시 검호의 검출이 어려운 무선마이크에 대한 스펙트럼 센싱 방안과 하드웨어 구현의 어려움을 해소할 수 있는 압축 센싱에 대한 연구를 제안하였다. 또한, 무선 제어 채널이 접목된 DB와 스펙트럼 센싱의 연동기반의 인지무선 테스트베드를 개발을 목표로 한 연구 과제를 제안한다. 마지막으로 간섭 온도를 이용하여 1차 사용자 수신기 관점에서 2차 사용자의 간섭량을 정량화 하여 간섭의 정도를 정량화 하고 분석하여 동일 네트워크 내에 비면허 기기의 수가 증가해도 면허 기기가 최적의 서비스 품질을 유지하는 방안을 연구 과제로 제안한다.

SUMMARY

Owing to the development of wireless communication industry, a variety of applications are appeared and data traffics increase at a rapid pace. As a result, demand for frequency resource grows fast and frequency management policy changes command-and-control approach to market-based spectrum sharing approach. To keep pace with these changes, Cognitive radio which can efficiently share frequency resources has received a lot of attention and research on cognitive radio technology are being actively progressed by being grafted onto TV white space.

Spectrum sensing technology to detect primary user in the licensed bands is the core technology of cognitive radio. Spectrum sensing is classified with transmitter detection and cooperative detection, depending on whether sensing device is participated on cooperation or not. Cooperative detection was proposed to solve the hidden node problem that sensing device can't detect primary user due to the effects of obstacles and shadowing. And compressed sensing was proposed to alleviate the difficulties of the hardware implementation using sparse feature of signal.

Spectrum sensing meets with a difficulty that sensing device can't meet sensitivity Established by the regulatory agencies and has difficulties about the hardware implementation. As a result, interference avoidance method in cognitive radio is commercialized and standardized using not spectrum sensing but the DB approach. The standard applied to cognitive radio technology is IEEE 802.22 WRAN, IEEE 802.11af, ECMA-392 and so on based on the TV white space. And DB approach and spectrum sensing are defined as interference avoidance methode at the same time. Interference

avoidance techniques are available to apply spectrum sensing in IEEE 802.11h and IEEE 802.11y.

A variety of research to develop spectrum sensing technology in industry , academia , and research agency are progressed. Electronics and Telecommunications Research Institute(ETRI) has developed cognitive radio testbed applied to spectrum sensing technology in Korea and on the outside, spectrum sensing technology research and development test-bed has been progressed through NICT in Japan, Qualcomm in the United States and the European FP7 project.

In this research, the standards and research for spectrum sensing is investigated and research fields is investigated to overcome the difficulties of implementation of spectrum sensing. when interference signal exists in adjacent channel, spectrum sensing method for wireless microphones is proposed to overcome the lack of sensitivity, biggest problem of the detection performance of spectrum sensing. And cognitive radio testbed based on combination of DB and spectrum sensing is proposed as research project. Finally, research project which can maintain quality of service about primary device is proposed when secondary user devices increase in same networks using the interference temperature at the primary user receiver.

목 차

표 목 차	14
그림목차	16
제 1 장 서론	21
제 2 장 스펙트럼 센싱 기술의 개요	24
제 1 절 인지무선 기술에서의 간섭회피방법	24
제 3 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 기술 제도도입 현황	30
제 1 절 주파수 정책 동향	30
제 2 절 기술 기준 동향	33
제 4 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 기술 개발	37
제 1 절 유럽 연구 단체의 CR 기술 개발 현황	37
제 2 절 ECC의 CR 기술 개발 현황	54
제 5 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 기술 표준화 동향	63
제 1 절 IEEE 802 표준화 동향	63
제 2 절 IEEE DySpan 표준화 동향	74
제 3 절 ECMA-392 표준화 동향	76
제 6 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 프로토타입 개발 현황 및 상용화 전망.....	80

제 1 절 연구단체의 CR 프로토타입 개발 현황	80
제 2 절 산업체의 CR 프로토타입 개발 현황	86
제 3 절 스펙트럼 센싱을 이용한 무선인지 기술 상용화의 한계	90
제 4 절 스펙트럼 센싱을 이용한 무선인지 기술의 상용화 전망	94
 제 7 장 스펙트럼 센싱의 국내 도입방안	97
제 1 절 스펙트럼 센싱 도입을 위해 선행되어야 할 연구 과 제	97
제 2 절 국내 도입을 위한 법·제도 개선사항.....	109
제 3 절 시범 서비스 적용 모델 도출.....	110
 제 8 장 결론.....	114

표 목 차

표 2-1. 송신기 검파에서 스펙트럼 센싱 기술의 종류 및 특징	27
표 2-2. 협력 센싱과 압축 센싱의 특징	28
표 3-1. FCC 센싱 전용기기를 위한 기술 기준	33
표 3-2. FCC 스펙트럼 센싱 기기의 검출 임계치 요구사항	33
표 3-3. FCC의 TVBD 전송규격	34
표 3-4. Ofcom의 TVBD 종류에 따른 기술기준	35
표 3-5. Ofcom의 스펙트럼 센싱에 대한 주요 기술기준	36
표 4-1. CR 및 TVWS 관련 EU-FP7 연구 프로젝트 종류	37
표 4-2. 유럽 무선마이크의 동작 모드	40
표 4-3. COGEU의 실험 시나리오	40
표 4-4. COGEU의 실험 파라미터	41
표 4-5. COGEU 모의 실험에 적용된 센싱 알고리즘들	42
표 4-6. 1차 사용자의 전계강도에 따른 사용가능한 TVWS의 비 율	61
표 4-7. 센싱과 DB를 결합한 경우에 사용 가능한 TVWS 비율	62
표 5-1. IEEE 802.22 세부 표준화 종류	65
표 5-2. IEEE 802.22 물리계층 주요 파라미터	65
표 5-3. IEEE 802.22 OFDM 주요 파라미터	65
표 5-4. IEEE 802.22에서 1차 사용자의 센싱 요구 조건	68
표 5-5. IEEE 802.22 표준의 비특성 검파 알고리즘 별 요구 조건	69
표 5-6. IEEE 802.22 표준의 특성 검파 알고리즘 별 요구 조건	70

표 5-7. IEEE 802.x 표준화 기술의 주요 활동 내용 및 적용기술	73
표 5-8. IEEE DySpan의 목표 및 연구 내용	75
표 5-9. ECMA 표준화 내용	76
표 5-10. ECMA-392의 채널 대역폭에 따른 OFDM 파라미터	77
표 5-11. ECMA-392에서 DTV 신호 검출을 위해 요구되는 SNR	79
표 7-1. 인지 제어 채널의 기능	100
표 7-2. 스펙트럼 센싱과 DB 연동의 이점	104
표 7-3. 스펙트럼 센싱과 DB 연동을 통한 Decision making	105

그림 목 차

그림 1-1. 전파관리 패러다임의 변화	21
그림 1-2. 연구의 목표	22
그림 2-1. 단일 센싱 시나리오	25
그림 2-2. 집중형 협력 센싱과 분산형 협력 센싱	26
그림 2-3. Geolocation DB 기반 간섭 회피 시나리오	28
그림 3-1. 미국과 영국의 주파수 정책변화	32
그림 4-1. 무선 마이크 신호 검출을 위한 COGEU의 스펙트럼 센싱 시스템	41
그림 4-2. 동작모드에 따른 유럽 무선 마이크 신호의 전력 스펙트럼 밀도	43
그림 4-3. 백색잡음 채널, silent mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교	44
그림 4-4. 백색잡음 채널, soft mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교	44
그림 4-5. 백색잡음 채널, loud mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교	44
그림 4-6. 레일리 채널, silent mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교	45
그림 4-7. 레일리 채널, soft mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교	45
그림 4-8. 레일리 채널, loud mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교	46
그림 4-9. 백색잡음 채널, silent mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선	47

그림 4-10. 백색잡음 채널, soft mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선	47
그림 4-11. 백색잡음 채널, loud mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선	47
그림 4-12. 레일리 채널, silent mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선	48
그림 4-13. 레일리 채널, soft mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선	49
그림 4-14. 레일리 채널, loud mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선	49
그림 4-15. 백색잡음 채널, silent mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률	50
그림 4-16. 백색잡음 채널, soft mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률	50
그림 4-17. 백색잡음 채널, loud mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률	51
그림 4-18. 레일리 채널, silent mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률	51
그림 4-19. 레일리 채널, soft mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률	52
그림 4-20. 레일리 채널, loud mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률	52
그림 4-21. 백색잡음 채널에서 센싱 시간에 따른 ED의 센싱 성능	53
그림 4-22. 레일리 채널에서 센싱 시간에 따른 ED의 센싱 성능	53
그림 4-23. ECC의 협력 센싱 시나리오.....	54
그림 4-24. 백색잡음 채널에서 SNR에 따른 단일 및 협력 센싱의	

ROC 곡선	55
그림 4-25. 레일리 채널에서 SNR에 따른 단일 및 협력 센싱의 ROC 곡선	55
그림 4-26. 로그노말 채널에서 SNR에 따른 단일 및 협력 센싱의 ROC 곡선	56
그림 4-27. -3dB의 SNR에서 CR 기기 수에 따른 협력 센싱의 성능	56
그림 4-28. -6dB의 SNR에서 CR 기기 수에 따른 협력 센싱의 성능	57
그림 4-29. 센싱과 DB의 결합형 분석을 위한 실험 지역	58
그림 4-30. 단일 WSD에서의 센싱과 DB 결합 기법 흐름도 ...	59
그림 4-31. Master/Slave WSDs에서의 센싱과 DB 결합 기법 흐름도	59
그림 4-32. Geolocation DB 기반의 전계강도에 따른 각 지역의 채널 비교	60
그림 4-33. 스펙트럼 기반의 수신 감도에 따른 각 지역의 채널 비교	61
그림 5-1. 서비스 영역에 따른 표준 규격 현황	63
그림 5-2. Point to multi-point 환경	64
그림 5-3. IEEE 802.22에서 2단계 스펙트럼 센싱 알고리즘 ...	67
그림 5-4. IEEE 802.11h의 동적 스펙트럼 선택의 동작과정	71
그림 5-5. IEEE 802.11af 표준 범위 및 기본 처리 구성도	73
그림 5-6. IEEE DySpan과 관련 기관과의 연구 협력 관계	75
그림 5-7. ECMA-392의 OFDM 부반송파의 배치 구조	77
그림 5-8. ECMA-392의 Quiet period의 스케줄링	78
그림 6-1. ETRI 인지무선 테스트베드	80
그림 6-2. ETRI 인지무선 테스트베드의 시스템 구조	81
그림 6-3. ETRI 스펙트럼 센싱 모듈의 구조의 구조	81

그림 6-4. NICT의 ISDB-T 센싱 프로토타입	82
그림 6-5. NICT의 ISDB-T 센싱 프로토타입의 구성도	83
그림 6-6. NICT의 ISDB-T 센싱 프로토타입의 ROC 곡선	83
그림 6-7. I ² R의 프로토타입	84
그림 6-8. I ² R의 프로토타입 구조	84
그림 6-9. I ² R의 프로토타입의 실측실험 DTV 수신 성능	85
그림 6-10. I ² R의 프로토타입의 모의실험 DTV 수신 성능	85
그림 6-11. Huawei의 스펙트럼 센싱 프로토타입	86
그림 6-12. Huawei의 스펙트럼 센싱 구조도	86
그림 6-13. DTMB의 실측 실험과 모의 실험 비교	87
그림 6-14. PAL-D/K의 실측 실험과 모의 실험 비교	87
그림 6-15. CMMB의 실측 실험과 모의 실험 비교	87
그림 6-16. Qualcomm의 프로토타입	88
그림 6-17. Qualcomm의 프로토타입 구조도	89
그림 6-18. 전송전력에 따른 ATSC 신호의 CDF	89
그림 6-19. 전송전력에 따른 NTSC신호의 CDF	90
그림 6-20. 수신한 무선 마이크 신호의 전력 스펙트럼 밀도 ...	91
그림 6-21. 6MHz 대역 TV 채널의 전력스펙트럼 밀도	91
그림 6-22. Near-far problem	92
그림 6-23. 은닉 노드 문제	94
그림 7-1. 무선인지 시스템의 기능	100
그림 7-2. 이중 인지 네트워크의 무선 제어 채널 동작과정 ...	101
그림 7-3. Out-band 방식의 인지 파일럿 채널	101
그림 7-4. In-band 방식의 인지 파일럿 채널	102
그림 7-5. Decision Making을 위한 흐름도	105
그림 7-6. 센싱과 geolocation DB 연동 시나리오	106
그림 7-7. 간섭온도 기반 추가 2차 사용자 공존 시나리오	108
그림 7-8. 인지 무선 센서 네트워크 시나리오	110

그림 7-9. 무선 인지 센서 네트워크	111
그림 7-10. 인지 무선 매쉬 네트워크	112

제 1 장 서론

현재의 무선통신은 고품질의 다양한 통신 서비스를 요구하는 사용자들의 증가와 이로 인한 통신 사업자들의 이익 창출을 목적으로 하는 신규 시장 진입으로 인해 여러 주파수 대역에 걸쳐 각기 다른 성질이 존재하는 다양한 이종 통신 서비스가 하루가 다르게 급격하게 증가하고 있다. 이와 같은 통신 시장의 급속한 변화로 인해 가까운 미래에는 주파수 자원의 수요 요구량 대비 공급 부족이라는 심각한 문제에 직면하게 될 것으로 예상되고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 현재의 무선통신 연구 분야는 시간, 주파수, 공간 등 무선 자원의 효율적인 사용을 위해 능동적인 간섭 영향 대처 및 공존 방안에 대한 연구가 진행되고 있다. 또한 그림 1-1과 같이 과거 주파수 정책 기조가 규제기관을 중심으로 한 명령과 통제의 관리체계에서 개방형, 공유형, 부가가치 창출형으로 스펙트럼 점차 변화하고 있다. 특히 대통령 직속 과학 기술자문 위원회(President's council of advisor on science and technology; PCAST)에서는 2010년 6월에 공표된 오바마 대통령의 교서인 무선 광대역 혁명의 추진(Unleashing the wireless broadband revolution)을 2년 동안 추진한 결과 경제성장 촉진을 위한 정부소유 주파수 잠재력의 극대화 방안(Realizing the full potential of government-held spectrum to spur economic growth)을 오바마 대통령에게 제출하였다.[1][2] PCAST 보고서에는 시간과 비용이 많이 드는 주파수 할당 방식의 주파수 관리 체계가 아닌 여러 사용자가 공유하는 방향으로 새로운 주파수 정책들을 제안했으며, 특히 정부 소유의 주파수를 개방한다면 주파수 자원의 효율적인 사용이 가능하다고 전망하였다. 이러한 개방 및 공유형 스펙트럼 정책 방향은 전파자



그림 1-1. 전파관리 패러다임의 변화

원의 확보 및 이용효율 제고의 중요성이 점차 강조되고 있다.

최근 국내에서도 TV 화이트 스페이스(TV white space; TVWS)를 비롯하여 기존 할당 주파수 대역의 효율화를 위한 주파수 회수 및 재배치, 주파수 공유 기술에 대한 도입이 점차적으로 주목받고 있다. 국내에서는 주파수 이용 시 전파법에 따른 주파수 분배 과정이 반드시 선행되어야 하며, 다양한 대역에서의 주파수 이용 효율화 기술 적용에 있어 정책에 대한 연계성 확보를 위해서는 관련 정책연구가 반드시 선행되어야 한다.

국내에서는 제1순위 업무로서 이동 및 방송통신 서비스가 운용되고 있으며, 제2순위 업무로서 가까운 시일 내에는 TVWS 대역 선정이 예상되는바 제1순위 업무에 대한 간섭보호 방안 및 신뢰성 있는 인지 무선 기술(Cognitive radio; CR) 도입이 반드시 필요한 상황이다.

스펙트럼 센싱을 비롯한 인지 무선 기술 도입 효과로서, 무선기기 간 협력 스펙트럼 센싱 기술을 통한 간섭완화 및 가상 주파수 확대 가능, 주파수 이용 효율 증대가 기대된다. 또한 다양한 주파수 대역 간 우회망(off-loading) 실현과 다양한 이동통신 서비스를 창출할 것으로 기대된다. 마지막으로 국내 지형구조에 특화된 간섭회피 기술규격 마련 가능, 신규 주파수 확보에 대한 부담감을 감소시킬 수 있다.

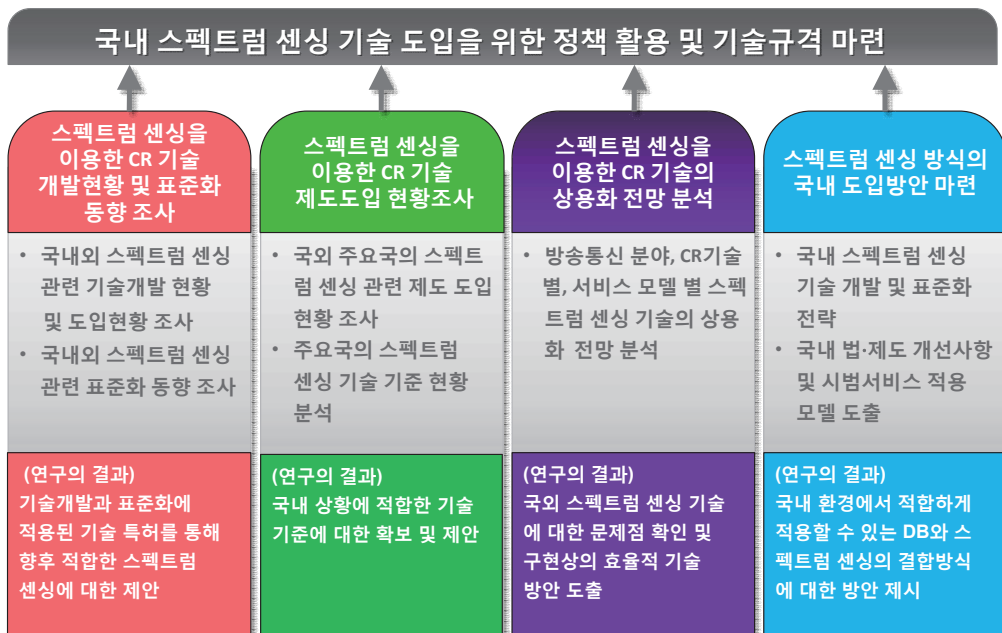


그림 1-2. 연구의 목표

본 연구에서는 전 세계적인 주파수 자원 개방화 추세에 발맞추어 선진 기술 획득의 중요성이 더욱 확대되고 있는 스펙트럼 센싱 기술의 최적 공존 능력 향상을 도모하기 위한 스펙트럼 센싱 기술의 이용 방안 연구 및 제도 확립을 목표로 하고 있다. 특히, 2014년에 TVWS에서의 스펙트럼 센싱 운용을 목표로 기술규격 및 정책 개발이 예정되어 있으므로 국내외 스펙트럼 센싱을 통한 인지무선 기술에 대한 연구현황 및 표준화 동향, 기술도입 상황을 면밀히 검토해야 할 필요성이 있다. 또한 다양한 주파수 대역에서의 국외 연구동향 파악 및 국내 도입 전략 수립을 통하여 원활한 스펙트럼 센싱의 도입을 가능하게 할 것이다. 이러한 본 연구의 목표와 간략한 내용, 예상되는 연구의 결과를 그림 1-2와 같이 정리하여 나타내었다.

제 2 장 스펙트럼 센싱 기술의 개요

제 1 절 인지무선 기술에서의 간섭회피방법

인지무선 기술에서는 사용자 무선 단말기 주변에 존재하는 무선통신 환경에 대한 스펙트럼 변화 및 1차 사용자 존재 유무를 파악하여 주변 사용자에게 간섭을 미치지 않으면서 해당 사용자가 원하는 서비스의 사용 가능 여부를 판단할 수 있는 간섭 회피 기술이 반드시 필요하다.[3] 이러한 간섭회피 기술은 그 방식에 따라 크게 스펙트럼 센싱(Spectrum sensing)과 데이터베이스(Data base; DB) 접근방식으로 구분된다.

1. 스펙트럼 센싱 기술을 통한 간섭회피방법

스펙트럼 센싱은 사용자의 단말기 안에 스펙트럼 센싱 알고리즘이 내장되어 수시로 스펙트럼 홀(Spectrum hole)을 찾아 1차 사용자의 존재 여부를 감지하는 기술이며, 데이터베이스 방식은 2차 사용자가 1차 사용자를 위한 서비스 지역 및 서비스 시간 등이 등록된 데이터베이스에 접속하여 1차 사용자의 존재 여부를 확인하는 방식이다. 스펙트럼 센싱은 그 기법에 따라 송신기검파 방식, 협력 센싱 방식 그리고 압축 센싱 방식으로 분류된다. 송신기검파방식은 그림 2-1에 나타낸 시나리오와 같이 CR기기 단독으로 센싱을 하는 경우이고, 이러한 송신기 검파방식은 다시 2차 사용자가 사용하는 CR기기 (Cognitive radio device)가 1차 사용자 신호의 특성을 사전에 인지하고 있는지 여부에 따라 특성 검파(Featured detection)와 비특성 검파(Blind detection)으로 분류할 수 있다. 특성검파방식은 대표적으로 Cyclo-stationary 특성 검파(Cyclo-stationary featured detection)[4], 정합필터 검파(Matched filter detection), 파형기반 검파(Waveform-based detection) 등이 있으며, 이 기법들은 1차 사용자 신호의 사전 정보를 통해 정확한 검파를 할 수 있는 반면에 신호의 동기 오류에 취약하고, 사전에 1차 사용자 신호정보를 인지하지 않으면 신호를 판별할 수 없다는 단점이 있다. 비특성 검파는 대표적으로

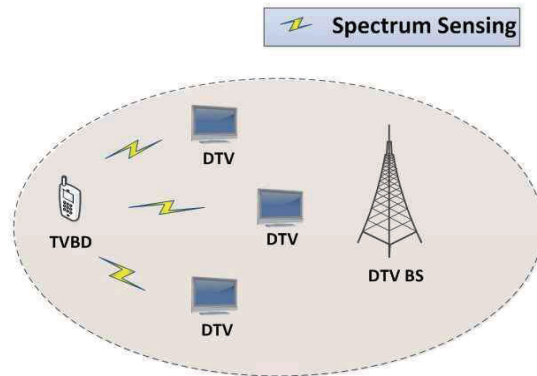


그림 2-1. 단일 센싱 시나리오

에너지 검파(Energy Detection)가 있으며 사전에 1차 사용자의 사전 정보를 필요로 하지 않으므로 모든 종류의 신호를 감지할 수 있는 반면 감지한 신호가 어떤 종류인지는 알 수 없는 단점이 있다. 협력 센싱(Cooperative sensing)은 단일 기기만의 센싱 시 다중 경로나 음영 효과에 의해 1차 사용자 신호를 감지하지 못하는 은닉 노드(Hidden node) 문제를 해결하기 위해 도입된 센싱 기법이다. 협력 센싱은 다수의 CR기기가 스펙트럼 센싱 결과를 서로 공유하는 협력 센싱 네트워크를 구성하고 공간적 다이버시티(Spatial diversity)를 이용하여 은닉 노드 문제를 해결할 수 있다[5]. 그림 2-2와 같이 협력 센싱은 융합센터(Fusion center)의 유무에 따라 중앙 집중형과 분산형으로 분류된다. 중앙 집중형 협력 센싱은 CR 기기들이 로컬 센싱(Local sensing)의 결과를 융합센터로 전송하면 융합센터는 로컬 센싱 정보를 수집하여 1차 사용자의 존재 유무를 최종적으로 판정한 후 그 결과를 CR기기들로 다시 통보해주는 방식이다. 분산형 협력 센싱은 융합센터를 이용하지 않고 CR 기기 간 센싱 정보의 교환을 통해 1차 사용자의 존재 유무를 결정하는 방식이다. 압축 센싱(Compressed sensing)은 특정 도메인 상에서 신호의 희박 특성(Sparseness) 또는 압축률(Compressibility)을 이용하여 기존의 나이퀴스트 샘플링(Nyquist sampling) 이론¹⁾보다 훨씬 적은 샘플의 수로 신호를 처리할 수 있는 신호처리 기술이다.[6] 이는 자기공명영상(Magnetic resonance imaging; MRI)과 같은 영상처리 분야에서 적은 양의 표본으로 영상처리를 하기 위해 도입되었으나 최근에 데이터 트래픽 증가의 문제를 극

1) 신호가 가진 최대 주파수의 2배 이상의 샘플링 주파수로 샘플링 할 경우 원본 신호로 완벽히 복원할 수 있다는 이론

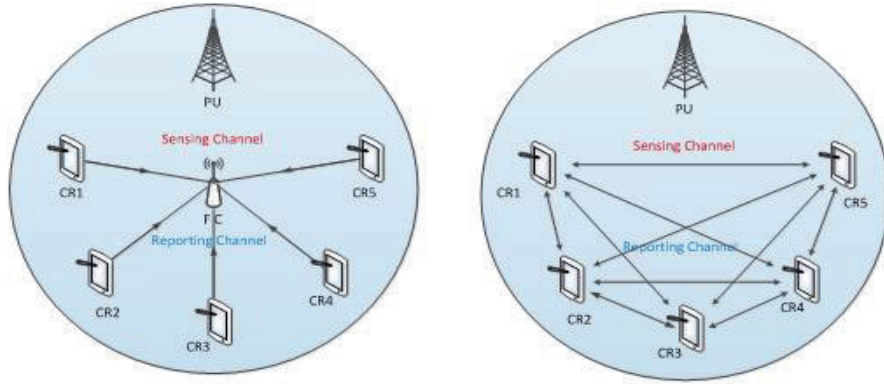


그림 2-2. 집중형 협력센싱과 분산형 협력 센싱

복하기 위해 통신 분야에서도 크게 각광받고 있다. 압축 센싱 이론에 따르면 성긴(Sparse) 신호는 원본 신호의 길이가 N 이고 0이 아닌 신호가 K 일 때 선형 측정(Linear measurements) 샘플의 수가 $O\left(K\log\left(\frac{N}{K}\right)\right)$ 개가 되면 표본화된 신호를 원본 신호로 완벽하게 복구할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 압축 센싱을 통해 원본 신호로 완벽하게 복구하려면 선형 측정 행렬이 RIP(Restricted Isometry Property)조건²⁾을 만족해야 하는데, 이 조건에 대한 최적화된 계수 설계가 어렵고 현재까지 이 기술에 관한 연구가 초기 단계이기 때문에 실제 응용분야에 적용하기 어려운 실정이다. 송신기 검파 방식에서의 스펙트럼 센싱 기술의 종류와 특성은 표 2-1에 정리하였으며, 표 2-2는 협력 센싱과 압축 센싱의 특성을 나타내고 있다.

2) 원본신호가 x 이고 선형측정 행렬이 A , RIP 상수가 $0 < \delta_{2K} < 1$ 일 때,
 $(1 - \delta_{2K})\|x\|_2 \leq \|Ax\|_2 \leq (1 + \delta_{2K})\|x\|_2$ 조건을 만족해야 한다는 조건

표 2-1. 송신기 검파에서 스펙트럼 센싱 기술의 종류 및 특징

송신기 검파 방식		
분 류		특 징
특성 검파 (Featured Detection)	정합필터 검파 (Matched filter detection)	<ul style="list-style-type: none"> 정합필터를 이용한 센싱 기법 빠르고 정확한 센싱 가능 복잡한 수신기 및 정확한 동기화 필요
	Cyclo-stationary 특성 검파 (Cyclo-stationary feature detection)	<ul style="list-style-type: none"> 변조신호의 주기적 특성 이용하며, 신호의 유무 및 종류 판단 가능 긴 센싱 시간 및 많은 계산량 필요 많은 표본 필요
	파형기반 검파 (Waveform-Based detection)	<ul style="list-style-type: none"> Preambles, mid-ambles, pilot pattern을 통해 수신신호와 그 복사본의 상관관계(auto-correlation)를 통해 검출 짧은 센싱 시간, 정확한 센싱 동기 오류에 취약함
비특성 검파 (Blind Detection)	에너지 검파 (Energy detection)	<ul style="list-style-type: none"> 수신 신호의 에너지와 임계값과의 비교를 통한 센싱 기법 신호에 대한 사전 정보가 필요 없음 잡음의 불확실성³⁾에 취약함
	공분산 절대값 검파 (Covariance absolute value detection)	<ul style="list-style-type: none"> 공분산 행렬의 절대값(Absolute value)을 통한 검출 방법 에너지 검파방식에서의 잡음의 불확실성을 보완함 수신기의 복잡성 증대
	고유값 기반 검파 (Eigenvalue based detection)	<ul style="list-style-type: none"> 공분산 행렬의 고유값(Eigenvalue)을 통한 검출 방법 에너지 검파방식에서의 잡음의 불확실성을 보완함 고유값 산출을 위해 많은 계산량 필요

3) 잡음의 불확실성(Noise Uncertainty) : 잡음의 전력이 시간에 따라 불규칙적임을 의미

표 2-2. 협력 센싱과 압축 센싱의 특징

센싱 기술에 따른 분류	
분 류	특 징
협력 센싱	<ul style="list-style-type: none"> • 은닉 노드 문제(Hidden node problem), 다중경로 페이딩(Multipath fading), 쉐도잉(Shadowing) 환경을 극복 • 중앙 집중형과 분산형으로 분류 • 단말기 간 정보공유로 정확한 스펙트럼 환경 취득 • 에너지 효율성이 떨어짐 • 융합센터에서 로컬 센싱간 동기가 필요함
압축 센싱	<ul style="list-style-type: none"> • 신호의 성긴 특성과 압축성을 이용한 기법 • 적은 수의 표본을 통한 빠른 센싱이 가능함과 그로 인한 하드웨어적 요구조건의 완화 효과 • 최적화된 계수 설계의 어려움

2. 스펙트럼 센싱 방식외의 간섭회피방법

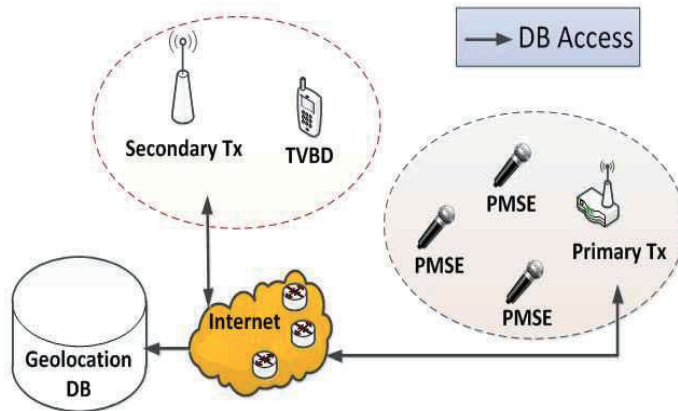


그림 2-3. Geolocation DB 기반 간섭 회피 시나리오

인지무선 기술에서의 간섭회피방안은 스펙트럼 센싱 방식 외에도 위치 데이터를 기반으로 한 데이터베이스(Data base; DB) 접근 방식, 비콘 신호(Beacon signal) 방식, 언더레이(Underlay) 방식 등이 있다. 위치 데이터를

기반으로 한 DB 접근 방식은 면허 시스템에서 주파수 자원에 대한 테이블 정보를 가지고 2차 사용자는 채널 정보를 가진 면허 시스템에 접속하여 테이블 정보를 점검 후 사용가능한 채널을 선택하는 방식이다. 현재 센싱의 민감도에 대한 규제기관의 엄격한 요구조건으로 인해 스펙트럼 센싱이 아닌 DB 접근 방식으로 표준화가 진행되는 추세이다. 이러한 geolocation DB 기반 간섭 회피 시나리오는 그림 2-3에서 확인할 수 있다. 비콘 신호 방식은 TV 타워 및 기지국이 스펙트럼 공유를 위해 면허 시스템의 비콘 신호를 2차 사용자들에게 전송하는 방식이다. 언더레이 방식은 주로 초광대역(Ultra-wideband; UWB)에서 저전력 기기를 이용하여 통신이 이루어지며, 1차 사용자에게 대한 간섭을 방지하기 위해 매우 낮은 전력으로 주파수 대역을 공유하는 방식이다. 언더레이 방식은 1차 사용자와의 간섭을 방지하기 위해 잡음 전력보다도 낮은 전력을 이용하므로 많은 제약이 따른다.

제 3 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 기술 제도도입 현황

제 1 절 주파수 정책 동향

1. 미국 FCC

2004년 5월 미국의 연방통신위원회(Federal communications commission ; FCC)는 NPRM(Notice of proposed rule making)를 통해 TV 방송대역에서 지역적 미사용 주파수에 대한 비면허 동작을 허용하였다.[7] 또한, 면허 사용자에게 대한 간섭 방지를 위해 인지무선 기술을 제안하였으며, 인지무선 기술을 사용하는 기기로 저전력 개인/이동형, 고전력 고정형 기기를 정의하였다. 간섭회피방식으로는 고정형 기기의 경우 위치 측위기술 및 DB 접속기술을, 개인/이동형 기기의 경우 제어신호를 활용할 것을 제안하였다. FCC는 2006년 9월에 TVWS 이용 관련 로드맵을 발표하고, 10월에는 1st Report and Order(FCC 06-156)를 통해 고정형 기기 사용을 허용하였다. 이후 총 2회에 걸쳐 스펙트럼 센싱 기술 구현이 가능한 TVBD(white space device)의 테스트 결과를 발표하였다.

TVBD 2차 실험은 2008월 10월에 수행하였는데 Adaptrum, I2R, Motorola, MS, Philips TVBD 5개사의 TVBD 프로토타입에 대한 테스트가 진행되었고, 11월에 2nd R&O(FCC 08-260)를 통해 TVWS의 개방을 공식적으로 승인한다.[8] 또한 클라이언트 모드의 개인/이동형 기기를 제외한 모든 기기에 대해 위치 측위와 인터넷을 통한 DB접속을 허용함과 동시에 스펙트럼 센싱 기술은 선택사항으로 명시하는 내용의 1차 기술 규격을 발표하였다. 고정형 기기에 대해서 사용채널은 CH 2에서 CH 51(3, 4, 37제외), 출력전력은 4W EIRP(Equivalent isotropically radiated power) 이하가 되도록 기술기준을 마련하였고, 개인/이동형 기기에 대해서는 사용채널은 CH 21에서 CH 51(37 제외), 출력전력은 100mW 이하(인접채널 점유 시 40mW 이하)가 되도록 기술기준을 마련하였다. 또한 센싱 기능만 있는 기기도 추후 허가를 예고하였다.

2010년 9월에는 2nd Memorandum Opinion and Order(FCC 10-174)를 통해 간섭회피방식으로서 ‘위치측위 및 DB접속 기능을 가진 기기에 대해서 스펙트럼 센싱 기능의 의무적용 규정을 폐지하였고, 무선마이크 전용 2개 채널을 마련함과 동시에 비 면허 무선마이크에 대해서도 간섭으로부터 보호받을 수 있도록 TV대역의 DB로 등록하였다.[9] 2011년 1월에는 ComSearch, Google, Telcordia Spectrum Bridge 등 의 9개 업체가 TVBD DB 운영자로 선정되었고 3월에는 FCC산하 OET(Office of engineering and technology)가 주관하고 9개의 TVWS DB 사업자가 참가하는 1차 워크숍 개최하였다. 2011년 12월에는 스펙트럼 Spectrum Bridge의 TVWS DB 시스템이 FCC OET 테스트를 통과하였고, 2012년 3월 Telcordia TVWS DB 시스템이 FCC OET 테스트를 통과하였다. 이후 채널을 공유 허용 규정 마련하고 2013년 3월에는 TVWS DB시스템을 승인함과 동시에 TVWS를 이용하기 위해서 DB에 접속하여 기기의 위치를 기준으로 가용채널을 획득한 후 이용하도록 하였으며, 차후에 스펙트럼 센싱 전용기기도 이용할 수 있도록 기술기준을 마련하였다.

2. 영국 Ofcom

영국의 Ofcom(Office of communications)은 2007년 12월 Digital Dividend Review를 통해 DTV 전환이후 TVWS에서 유해 간섭을 주지 않는 조건으로 인지무선 기술을 이용한 비면허 사용 제안하였다.[10] 가용 주파수 대역으로는 CH21~30 (470~550MHz), CH39~60 (614~790MHz)이 선택되었다. 2009년 1월에는 은닉노드 마진 분석 보고서를 통해 지역(도심, 부도심, 시골)에 따른 측정 및 모의실험 후 TVBD 관련 기술 파라미터인 스펙트럼 센싱 감도 선정에 필요한 은닉노드 마진을 분석하였다.[11] Cognitive Access(Consultation)를 통해 같은 해 2월 비면허 TVBD를 위한 기술기준 제안 및 관련 의견과 간섭회피방식으로 스펙트럼 센싱, 위치측위 및 DB 접속 기능, 비콘 신호 방식에 관한 의견을 수렴하였으며,[12] 7월에는 Cognitive Access(Statement)를 통해 비면허 TVBD를 위한 기술기준을 결정하고 간섭회피방식으로 스펙트럼 센싱 또는 위치측위 및 DB 접속기능을 허용하였다.[13] 2011년 9월에는 유럽 최초로 TVWS 기술 도입을 위한 구체적인 추진방안 발표(statement)를 하였는데 기기 면허는 비면허(Licence-exemption) 방식을 적용하였다.[14] 영국은 2013년 안에 TVWS 기술이 도입될 것으로 전망하고 현재 해당 기술의 잠재적 적용가능성을 탐색하는 초기

단계로서 Super Wi-Fi, 시골 브로드밴드, 사물통신 등으로의 활용을 검토하고 있다.

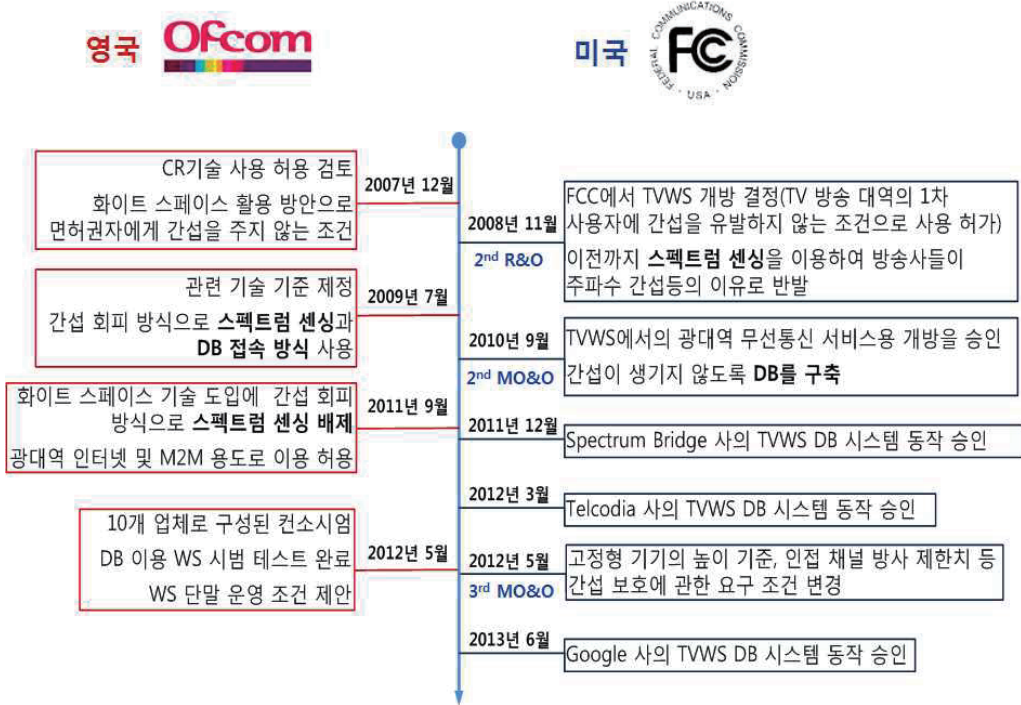


그림 3-1. 미국과 영국의 주파수 정책변화

3. 일본 MIC

2007년 5월 일본의 총무성(Ministry of Internal Affairs and Communications ; MIC) 산하 전파유효이용 방안위원회는 ‘2011년 DTV 전환에 따른 여유 주파수 이용 방안’에 대해 발표하였다. 또한 여유 주파수용도 지정을 위한 주파수 할당 계획의 일부를 변경하는 고시안 작성, 전파감리심의회에서의 자문 및 동 고시안에 대한 의견수렴 과정을 진행하였다. 2011년 TVWS 활용을 위한 연구개발 및 실험 수행을 위해 17억엔(약 200억원) 정도의 예산 할당을 중앙 정부에 요청하고 지방자치단체와 민간 사업자는 ‘White Space 특구’를 지정하여 TVWS 서비스 모델 발굴과 요소 기술 개발, 제도 마련에 활용할 계획임을 발표하였다.

제 2 절 기술 기준 동향

1. 미국 FCC

센싱 기술과 관련하여 FCC에서 발표된 첫 번째 기술기준은 TVWS에서 사용 가능한 센싱 전용기기를 위한 기술 기준과 스펙트럼 센싱 기기의 검출 임계값 요구사항이고, 이 내용을 각각 표 3-1과 표 3-2에 나타내었다.[9] 여기에서 협력 센싱에 대한 데이터 융합 방식으로 로컬 센싱의 판정값이 하나라도 1차 사용자의 존재를 인정하면 협력 센싱 네트워크 내에 1차 사용자 존재한다고 판정하는 방식인 OR방식만을 적용하였으며, 센싱 기기의 안테나는 이득이 0 dBi인 전방향의 수신 안테나를 기준으로 하고 있다.

표 3-1. FCC 센싱 전용기기를 위한 기술 기준

센싱 전용기기를 위한 기술 기준	
<ul style="list-style-type: none">채널 가용성 확인 시간 : 30초 이내기기 동작 중 최소 60초마다 한번 씩 동작 채널 모니터링기기 동작 중 1차 사용자 신호 검출 시 2초 이내에 기기 사용 금지	

표 3-2. FCC 스펙트럼 센싱 기기의 검출 임계치 요구사항

신호 종류	센싱 감도	대역폭	데이터 융합방식
ATSC TV 신호	-114 dBm	6MHz	OR 방식
NTSC TV 신호	-114 dBm	100kHz	OR 방식
무선 마이크	-107 dBm	200kHz	OR 방식

FCC에서 지정된 TVWS에서의 1차 및 2차 사용자공존을 위한 2차 사용자의 전송규격은 표 3-3에 정리하였다. TVBD는 고출력 고정형(fixed)과 소출력 개인/휴대형(personal/portable) 무선기기 형태로 구분할 수 있으며, 개인/휴대형의 경우 AP(Access point) 형태의 ‘Mode II’와 ‘Mode I’ 방식으로 구분하였다. 1차 방송 서비스 감지를 위한 스펙트럼 센싱 기술은 감지 기준을

만족하는 기술 구현의 어려움으로 선택사항으로만 명시하였다. 현재는 1차 방송 서비스 보호 및 TVWS 채널 획득을 위한 기술로서 geolocation DB 연동방식이 적용되었다.

표 3-3. FCC의 TVBD 전송규격

TVBD 구분	고정형	모드 II	모드 I	스펙트럼 센싱 단독
전송전력 (PSD)	$\leq 1\text{W}$	$\leq 100\text{mW}$	$\leq 100\text{mW}$	$\leq 50\text{mW}$
DB 접속	$\pm 50\text{m}$ (위치오차)	$\pm 50\text{m}$ (위치오차)	DB접속 안함	DB접속 안함
스펙트럼 센싱	없음	없음	없음	-114dBm
TVBD 역할	마스터	마스터	슬레이브	해당사항 없음
인접채널 제한치 (6MHz)	인접채널 사용불가	$\leq 40\text{mW}$	$\leq 40\text{mW}$	$\leq 40\text{mW}$
PSD 제한치 (100KHz)	12.6dBm	-1.4dBm(인접CH.) 2.6dBm(비인접CH.)		-0.4dBm
인접채널 제한치 (100KHz)	-42.8dBm	-56.8dBm	-52.8dBm	-55.8dBm

2. 영국

영국에서도 센싱기술은 TVWS에서 먼저 1차 사용자 서비스의 간섭보호를 위해 연구하고 고려되었지만, 스펙트럼 센싱 감지 기준 값 구현의 어려움으로 위치 정보를 기반으로 한 DB 기술 도입을 우선적으로 검토한 상황이다. 영국 방송 대역에서 보호되어야 할 1차 사용자 신호의 종류는 DTV에 해당하는 DTT(Digital terrestrial television)와 무선 마이크에 해당하는 PMSE(Program making and special event) 등이 있고, Ofcom은 TVBD를 Master와 Slave 기기로 구분하였으며, 각 무선기기의 기능은 FCC의 Mode II, Mode I 기기와 유사한 기능을 가지고 있다. Ofcom의 TVBD 전송전력 산출은 미국과 비교할 때 상대적으로 계산과정이 매우 복잡한 형태를 가지고 있다. 표 3-4는 Ofcom에서 제안한 TVBD 종류 및 특징을 나타내고 있으며, 표 3-5는 Ofcom에서 제안한 스펙트럼 센싱에 대한 주요 기술기준을 나타내

고 있다.[14]

표 3-4. Ofcom의 TVBD 종류에 따른 기술기준

TVBD 종류	내용
Master device	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FCC의 Mode II와 동일한 형태이며 DB에 직접 접속 ▪ TVWS에서 동작하는 무선 라우터와 유사한 형태 ▪ 95% 이상의 ‘위치 정확성(Location accuracy)’ 값을 가져야 하며 위치 정확성 값은 예상되는 Slave device의 최대 동작 영역을 반영 ▪ DB로부터 부여된 ‘Time validity’가 만료되거나 ‘Geographic validity’ 기준 위치를 벗어난 경우 즉각적으로 동작을 중지 ▪ Slave에 대한 모든 동작기록이 관리되어야 하며 Master가 동작을 중지하는 상황이 발생하면 Slave도 동작을 멈추어야 함
Slave device	<ul style="list-style-type: none"> ▪ FCC의 Mode I과 동일한 형태이며 DB에 직접 접속 불가 ▪ 라우터에 접속되어 동작하는 PC, 프린터와 유사한 형태 ▪ Master로부터 전달되는 제어 신호에 따라 동작 가능 ▪ Master의 요청 또는 5초 이내에 응답신호 수신 불가 시 즉각적으로 동작을 중지해야 함 ▪ Master에 대한 신호 전송만을 허용
추가 고려 사항	<ul style="list-style-type: none"> ▪ TVBD 전송전력 산출을 위해 요구되는 계산량 감소방안 필요 ▪ 영국은 100m×100m 기준에 부합하는 2억4천5백개의 픽셀이 존재 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 허용 가능 TVBD 전송전력 산출을 위한 상당한 계산량이 요구되며 이를 최소화하기 위한 방안이 필요함

표 3-5. Ofcom의 스펙트럼 센싱에 대한 주요 기술기준

파라미터		값
민감도 (0 dBi 안테나 일때)	DTT	-120 dBm (8 MHz)
	무선 마이크	-126 dBm (200kHz)
전송 전력		4 dBm(인접 채널) ~ 17 dBm
전송 전력 제어		필요함
대역폭		제한 없음
out-of-band 성능		< -46 dBm
센싱 시간		1 초 이내

Ofcom의 스펙트럼 센싱 기술기준은 FCC의 기술기준에 비하여 더욱 완화된 out-of-band 성능 기준을 규정하였지만, 민감도 기준은 FCC 기준에 비하여 엄격하게 적용하고 있음을 확인할 수 있다. 또한 1초 이내의 센싱 시간은 30초 이내의 센싱 시간을 요구하는 FCC 기준에 비하여 다소 엄격함을 알 수 있다.

제 4 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 기술 개발

제 1 절 유럽 연구 단체의 CR 기술 개발 현황

유럽은 1952년 EU 수준의 공동연구를 처음 시작하였으며, 1984년부터 미래 국가성장 동력 마련을 위해 다양한 분야에 대한 중장기 차원의 연구 FP(Framework programme)에 착수하였다. 센싱이 포함된 CR기술과 TVWS를 활용한 무선통신 시스템 개발을 위해 진행되고 있는 FP7 ICT 기술의 대표적 연구 프로젝트를 표 4-1에 나타내고 있다.

표 4-1. CR 및 TVWS 관련 EU-FP7 연구 프로젝트 종류

연구 프로젝트	연구 내용
E3	End-to-End Efficiency <ul style="list-style-type: none"> • 적응적으로 자가 재구성이 가능한 인지 무선 시스템 설계 • 다양한 무선 네트워크 사이의 상호동작 및 효율성 증대, 간섭보호를 위한 시스템 설계 및 개발 • (핵심 연구내용) Collaborative cognitive RRM, Spectrum management, Self-organization • (참여기관) 노키아, 에릭슨, 모토로라, 알카텔-루슨트, 프랑스 텔레콤, 텔레콤 이탈리아, Deutsche Telekom, Fraunhofer
SENDORA	Sensor Network for Dynamic and Cognitive Radio Access <ul style="list-style-type: none"> • 유휴 주파수 대역을 비 면허 무선 통신 서비스가 기회적으로 재사용할 수 있도록 하는 무선기술 개발 • (핵심 연구내용) Sensor network aided cognitive radio • (참여기관) 탈레스, EureCom 외 대학/연구기관

ROCKET	Reconfigurable OFDMA-based Cooperative Networks enabled by Agile Spectrum Use <ul style="list-style-type: none"> ISM 대역에 초점을 맞춘 상업적 인지 무선 프로토타입 요소 기술 개발 (핵심 연구내용) Optimization/decision-making 역할을 수행하는 CRM(Cognitive resource manager) 연구 (참여기관) 모토로라 외 대학/연구기관
ARAGORN	Adaptive Reconfigurable Access and Generic interfaces for Optimization in Radio Networks <ul style="list-style-type: none"> 기본적으로 ROCKET 연구 프로젝트와 유사하며 최종적으로 하드웨어 프로토타입 개발을 목표로 함 (참여기관) MS, 도시바, STMicroelectronics 외 대학/연구기관
COGEU	COGNitive radio systems for efficient sharing of TV white spaces in EUropean context <ul style="list-style-type: none"> TVWS 활용 상업적 서비스 모델에서 활용 가능한 인지 무선 기반 이동형 무선 시스템 기술 개발 EU의 주파수 정책 수립에 있어 TVWS의 효율적인 스펙트럼 공유 및 이용을 위한 관련 정보제공
QOSMOS	Quality Of Service and MObility driven cognitive radio Systems <ul style="list-style-type: none"> 미래형 무선 네트워크의 효율적 무선 인터페이스 접속을 위한 플랫폼 제공, 관련주파수 정책 및 기술기준 연구
FARAMIR	Flexible and spectrum-Aware Radio Access through Measurements and modelling In cognitive Radio systems <ul style="list-style-type: none"> 무선자원 관리를 위한 참조 모델 및 기능적 요소 연구 인지 기반 무선자원 관리자(Radio resource manager; RRM) 시스템 블록 연구
SAPHYRE	Sharing Physical Resources: Mechanisms and

	Implementations for Wireless Networks <ul style="list-style-type: none"> • 무선 네트워크 운용을 위한 물리적 자원 및 메카니즘 체계연구 • 급증하는 주파수 소요에 대응하여 경제 및 상업적 측면, 에너지 효율적 관점에서의 혁신적인 스펙트럼 이용 방안 및 네트워크 인프라 연구
SACRA	Spectrum and Energy Efficiency through multi-band Cognitive Radio <ul style="list-style-type: none"> • 다중 밴드 인지 무선을 이용한 스펙트럼 접속 기술 및 에너지 효율적인 통신 시스템 연구
EUWB	<ul style="list-style-type: none"> • 진보된 초광대역 통신 기술을 이용한 근거리 무선 통신 공존에 관해 연구 <p>(참여기관) GWT, STMicroelectronics, 필립스 CE, 보쉬, Telefonica, CEA-Let 외 대학/연구기관</p>

1. COGEU

2009년 11월 COGEU에서 TVWS에서의 스펙트럼 센싱 알고리즘의 성능의 대한 문서를 발행하였으며, 무선마이크(Programme making and special events; PMSE)와 지상파 디지털 방송(Digital video broadcasting terrestrial; DVB-T) 송신기에 대한 신뢰성 있는 스펙트럼 센싱 알고리즘을 연구하였다.[15]

가. 모의 실험 환경

유럽에서는 PMSE 시스템에 대한 표준화된 파형이 존재하지 않으므로 사전 정보가 필요 없는 비특성 검파 방식을 이용하여 센싱 알고리즘을 연구하였으며, 무선마이크의 변조 신호는 주파수 변조(Frequency modulation; FM)라고 간주하였다. 또한 표 4-2는 마이크의 동작에 따른 3가지의 동작모드를 보여준다.

표 4-2. 유럽 무선마이크의 동작 모드

동작모드	동작 설명
silent mode	무선마이크의 전원만 켜진 상태
soft mode	작은 소리로 동작은 상태
loud mode	큰 소리로 동작하는 상태

무선 마이크의 각 3가지 동작모드들에 대하여 백색잡음 채널과 레일리 채널에 따라 총 6개의 시나리오로 구성할 수 있으며 이를 표 4-3에 정리하였다. 여기서 센싱 시간은 모두 100ms로 고정된다.

표 4-3. COGEU의 실험 시나리오

시나리오	1차 사용자 신호	동작모드	대역폭	채널 모드	센싱 시간
1	무선 마이크 신호	silent mode	37 kHz	백색잡음(AWGN)	100ms
2				레일리(Rayleigh)	
3		soft mode	19 kHz	백색잡음(AWGN)	
4				레일리(Rayleigh)	
5		loud mode	46 kHz	백색잡음(AWGN)	
6				레일리(Rayleigh)	

본 실험 시나리오에 적용된 파라미터는 표 4-4에 나타내었다. 레일리 채널의 경우 최대 1.58Hz의 도플러 쉬프트가 존재하지만 실험의 결과에 영향을 미치지 않는 수준이며, 백색 잡음 채널의 경우 잡음의 평균은 0이고, 전력은 σ^2 이다. 또한 에너지 검파방식에서 성능의 열화를 가져올 수 있는 잡음 불확실성의 범위는 0.5dB~2dB이다.

표 4-4. COGEU의 실험 파라미터

파라미터	값
오경보확률	0.1
검출확률	0.9
센싱 시간	100ms
도플러 쉬프트	1.58Hz
잡음 전력	σ^2
잡음의 불확실성	0.5dB ~ 2dB
표본화 주파수	1MHz

COGEU에서 무선 마이크 신호 검출 및 스펙트럼 센싱 성능 검증을 위해 시뮬링크를 이용하여 구현하였고, 구현된 스펙트럼 센싱 시스템의 구성도는 그림 4-1에 나타나고 있다. 신호 블록, 채널 블록 센싱 알고리즘 블록은 사전에 정의된 인터페이스를 이용하여 구현된다. 신호 블록은 일반적인 아날로그 주파수 변조 신호 생성기를 통해 구현되고, 채널은 잡음 전력과 SNR을 조절할 수 있는 백색 잡음 모델과 레일리 모델로 블록으로 구성된다. 알고리즘 블록은 신호의 규격이 정해지지 않은 마이크 신호이므로 비특성 검파 방식인 에너지 검파, 공분산 절대값 검파 등이 사용되며 자세한 알고리즘은 표 4-5에 설명하였다.

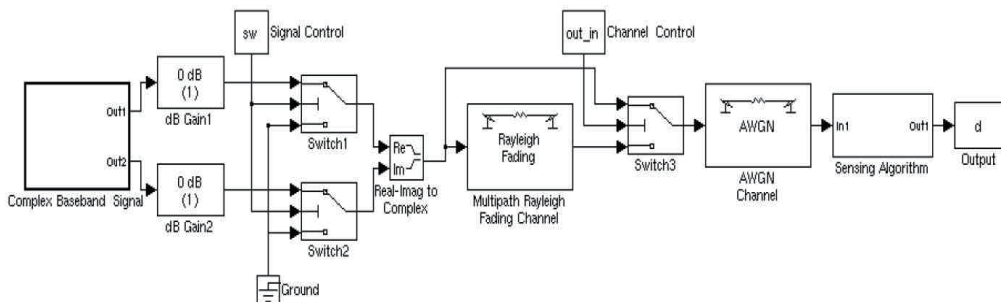
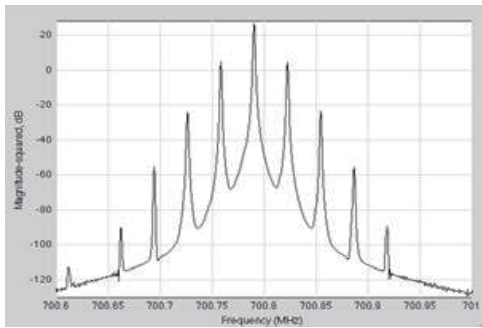


그림 4-1. 무선 마이크 신호 검출을 위한 COGEU의 스펙트럼 센싱 시스템

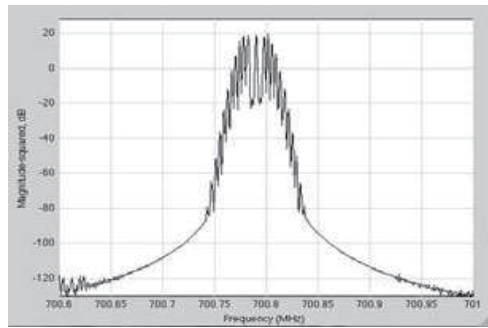
표 4-5. COGEU 모의 실험에 적용된 센싱 알고리즘들

약자	센싱 알고리즘	신호 검출 방법
ED	Energy detector	임계값과 수신 신호의 에너지의 비교를 통한 판별
CAV	Covariance absolute value detection	공분산 행렬에서 대각성분 절대값의 합과 모든 원소에 대한 절대값 성분의 합을 비교
CFN	Covariance frobenius norm detection	공분산 행렬에서의 대각성분의 제곱 성분의 합과 모든 원소에 대한 제곱 성분의 합을 비교
MET-BCED	Blindly combined energy detection (=Maximum eigenvalue to trace detection)	공분산 행렬에서의 최대 고유값 산출을 통한 신호 판별
MME	Maximum to minimum eigenvalue detection	공분산 행렬에서의 최대 고유값과 최소 고유값 비교를 통한 신호 판별
EME	Energy to minimum eigenvalue detection	신호의 에너지와 공분산 행렬에서의 최소 고유값 비교를 통한 신호 판별
MAC	Maximum auto-correlation detection	공분산 행렬의 대각성분의 합과 비 대각 성분 최대 원소값의 비교를 통한 판별

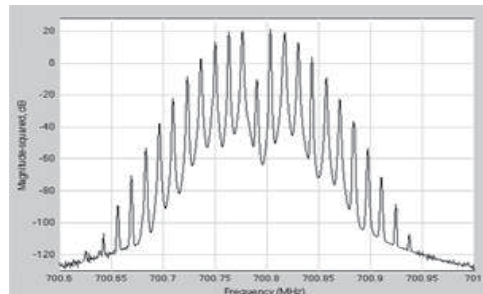
본 실험에서 사용된 잡음이 없는 상태에서의 무선 마이크 신호의 전력 스펙트럼 밀도는 그림 4-2와 같다. 이를 통해 무선 마이크의 동작모드에 상관 없이 무선 마이크 신호의 전력은 중심 주파수를 기준으로 약 200KHz 부근에 집중되어 있음을 확인할 수 있고, soft 모드를 제외한 무선 마이크 모드들은 전력 스펙트럼 밀도의 피크값이 200kHz에 걸쳐 분산되어 있는 것을 확인할 수 있다.



(a) silent mode



(b) soft operation mode



(c) cloud operation mode

그림 4-2. 동작모드에 따른 유럽 무선 마이크 신호의 전력 스펙트럼 밀도

나. 채널에 따른 스펙트럼 센싱의 성능 비교

COGEU 모의 실험에서는 통해 6개의 시나리오에서 무선 마이크 신호 검출을 위한 센싱의 성능을 비교, 분석한다. 에너지 검파에서는 FFT 길이 1024 샘플로 고정되며, 그 밖의 공분산 행렬 기반의 센싱에서는 100,000개의 샘플을 취한다.

(1) 백색잡음 채널 환경에서의 검출확률 대 SNR 곡선

검출확률 대 SNR 곡선을 통한 센싱의 성능 비교 시 같은 SNR일 때의 검출 알고리즘이 가지는 검출확률을 통해 성능을 비교할 수 있으며, SNR이 클수록 검출 확률도 더욱 향상된다.

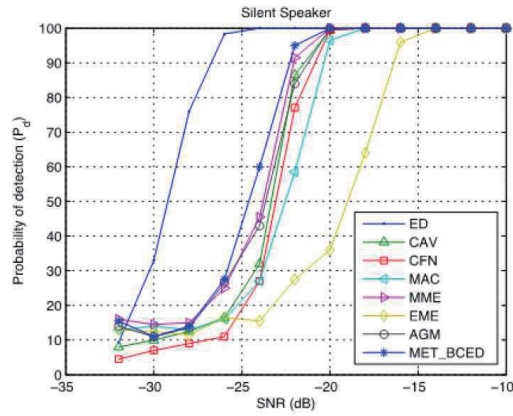


그림 4-3. 백색잡음 채널, silent mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교

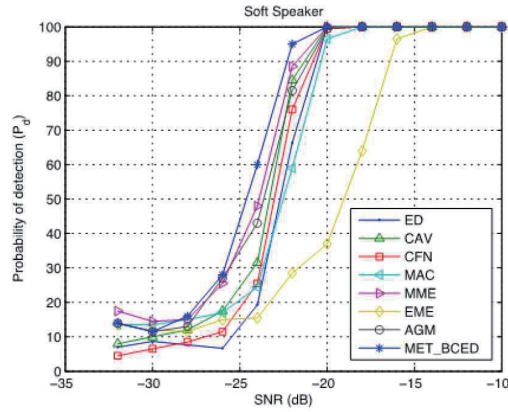


그림 4-4. 백색잡음 채널, soft mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교

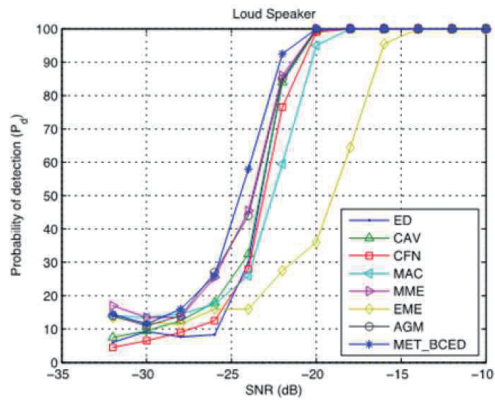


그림 4-5. 백색잡음 채널, loud mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교

그림 4-3, 그림 4-4, 그림 4-5를 통해 ED는 무선마이크의 동작 상태에 가장 민감한 영향을 받고 silent 모드일 때 가장 뛰어난 성능을 보인다. 반면 무선 마이크가 soft 모드일 때와 loud 모드일 때 BCED가 가장 뛰어난 성능을 보여주며, covariance 기반의 방식 중에서는 CAV가 가장 뛰어난 성능을 보인다. 결과적으로 EME를 제외한 다른 모든 방식들이 AWGN 채널에서 동작모드에 상관없이 비슷한 성능을 보여준다는 것을 확인할 수 있다.

(2) 레일리 채널 환경에서의 검출확률 대 SNR 곡선

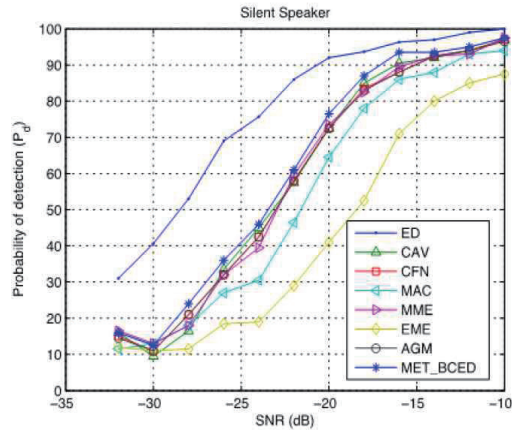


그림 4-6. 레일리 채널, silent mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교

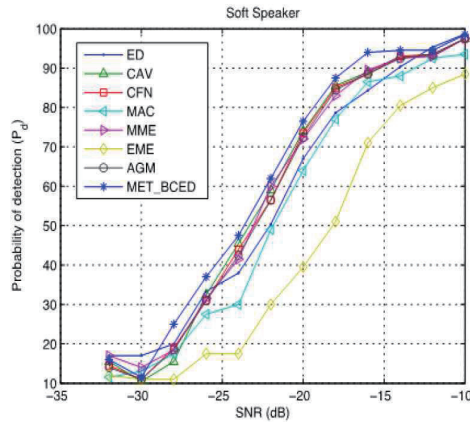


그림4-7. 레일리 채널, soft mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교

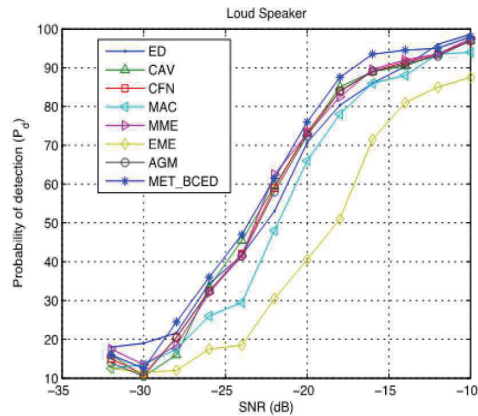


그림 4-8. 레일리 채널, loud mode에서 COGEU의 SNR에 따른 검출 알고리즘 별 센싱 성능비교

그림 4-6, 그림 4-7, 그림 4-8은 레일리 채널에서의 센싱의 성능을 나타내고 있다. 레일리 채널에서는 모든 센싱 기법의 성능이 상당히 감소한다. 시나리오 1, 3, 5 에서와 마찬가지로 EDE의 성능이 가장 떨어지는 반면, soft mode와 loud mode에서 MET-BCED가 가장 뛰어난 성능을 보인다. 센싱 알고리즘 별 성능의 우위는 백색 잡음 채널의 환경과 상당히 유사하다.

(3) 백색잡음 채널 환경에서의 수신자 운용 곡선

수신자 운용 곡선(Receiver operating characteristic; ROC curve)은 SNR에 따른 검출확률과 오검출 확률의 변화관계를 나타낸 그래프로서 곡선이 좌측 상단에 가까울수록 성능의 우수함을 나타낸다. 본 모의 실험에서는 모든 시나리오에 대한 SNR이 -16dB 이며, 이 값은 센싱 알고리즘이 무선마이크 신호를 검출하기 위한 최소값이다.

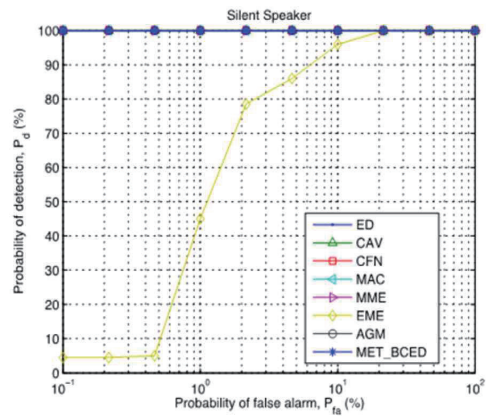


그림 4-9. 백색잡음 채널, silent mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선

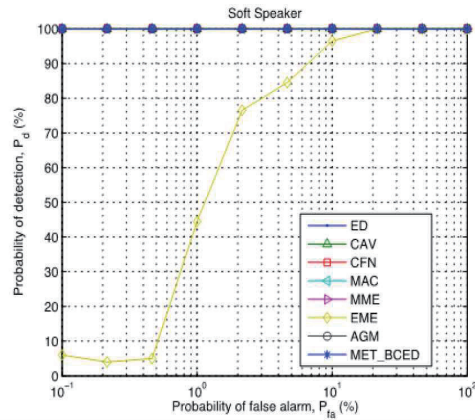


그림 4-10. 백색잡음 채널, soft mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선

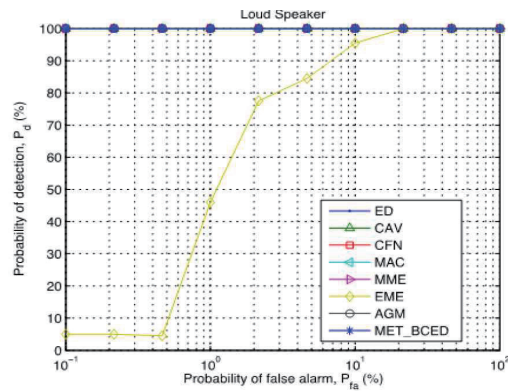


그림 4-11. 백색잡음 채널, loud mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선

그림 4-9, 그림 4-10, 그림 4-11을 통해 백색 잡음 채널에서는 $\text{SNR} = -16\text{dB}$ 일 때 EME 알고리즘을 제외한 모든 스펙트럼 센싱 알고리즘들이 무선 마이크 신호의 감지 확률이 항상 100%를 유지하는데 이는 -16dB 가 본 보고서에서 최소한의 센싱 성능을 보장해주는 기준 값이기 때문이다.

(4) 레일리 채널 환경에서의 ROC 곡선

레일리 채널 환경에서도 백색잡음 채널과 동일하게 센싱 알고리즘이 무선 마이크 신호를 검출하기 위한 최소 SNR이 -16dB 이다.

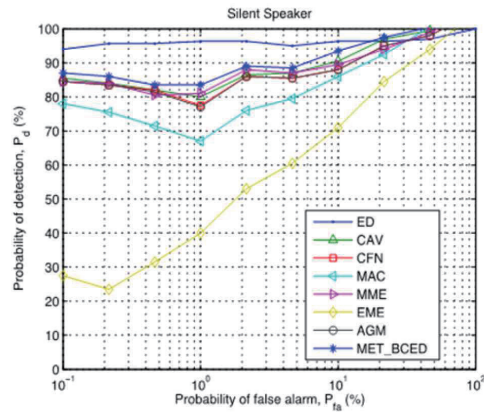


그림 4-12. 레일리 채널, silent mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선

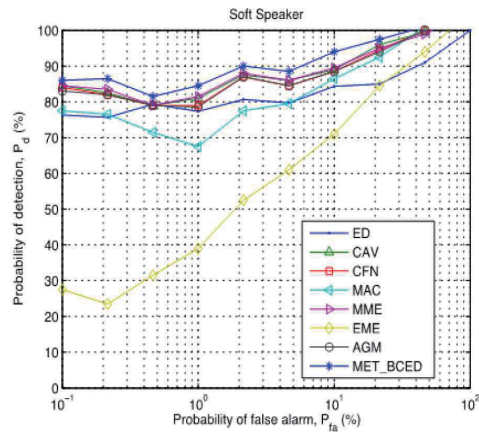


그림 4-13. 레일리 채널, soft mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선

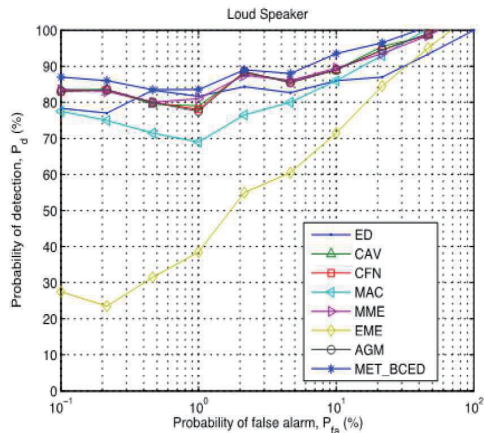


그림 4-14. 레일리 채널, loud mode에서 COGEU의 검출 알고리즘 별 ROC 곡선

그림 4-12, 그림 4-13, 그림 4-14를 통해 레일리 채널에서 모든 센싱 알고리즘의 성능이 백색 잡음 채널보다 저하되며, 상대적으로 검출확률 대비 SNR 곡선에서의 레일리 채널 환경과 비슷한 결과가 도출된다는 것을 확인할 수 있다.

나. FFT 길이와 센싱 시간 따른 성능의 변화

본 모의 실험에서는 FFT 길이와 센싱 시간 증가에 따른 센싱 알고리즘

성능의 향상 정도를 확인하기 위한 모의 실험이다.

(1) 백색잡음 채널 환경에서의 에너지검파(ED)

SNR과 FFT 길이에 따라 변화하는 검파확률을 통해 에너지검파 알고리즘의 특성을 확인할 수 있으며, 센싱의 주어진 조건에 따라 적절한 FFT 길이를 선택하여 원하는 성능으로 에너지검파 알고리즘을 적용할 수 있다.

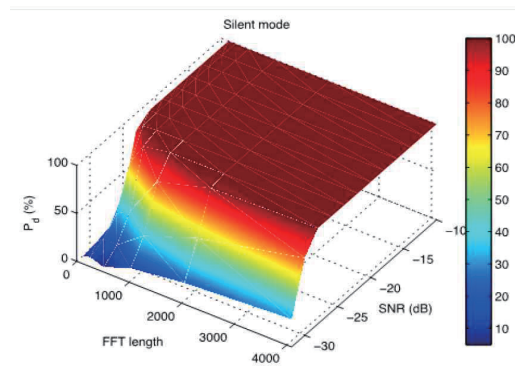


그림 4-15. 백색잡음 채널, silent mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률

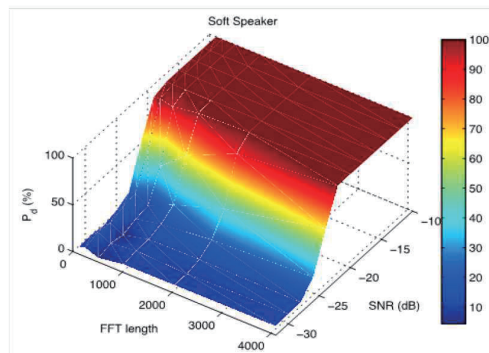


그림 4-16. 백색잡음 채널, soft mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률

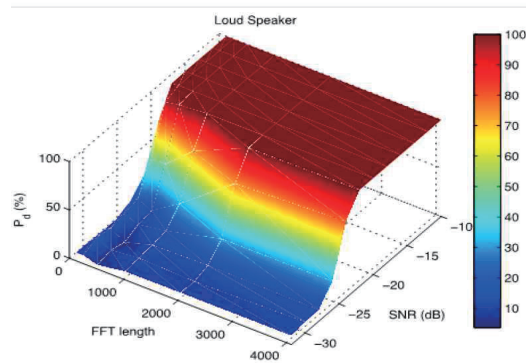


그림 4-17. 백색잡음 채널, loud mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률

그림 4-15, 그림 4-16, 그림 4-17은 FFT 길이와 SNR의 변화에 따른 에너지검파 알고리즘의 검출확률을 확인할 수 있다. 에너지검파 알고리즘은 FFT의 길이가 길수록 더 뛰어난 성능을 보여주며 이를 통해 무선 마이크신호는 높은 주파수 분해능을 가진 FFT 기반의 알고리즘을 사용할 때 더 좋은 검출확률을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

(2) 레일리 채널 환경에서의 에너지검파(ED)

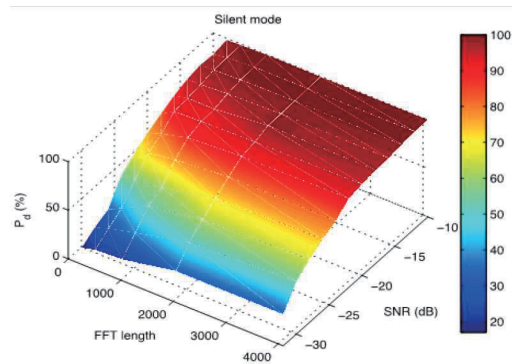


그림 4-18. 레일리 채널, silent mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률

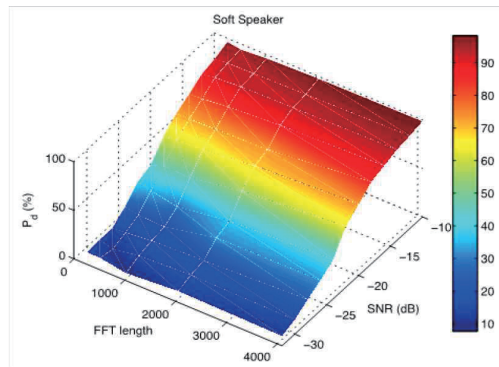


그림 4-19. 레일리 채널, soft mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률

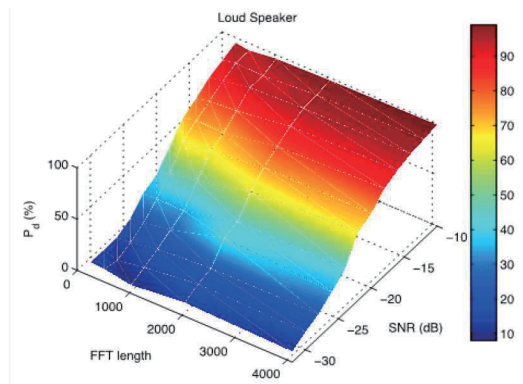


그림 4-20. 레일리 채널, loud mode에서의 FFT 길이와 SNR에 따른 ED의 검출확률

그림 4-18, 그림 4-19, 그림 4-20은 레일리 채널도 백색잡음 채널과 비슷한 결과가 나타났지만 FFT길이에 따른 에너지 검파 성능이 레일리 채널보다 백색 채널에서 더 우수한 성능을 보인다는 것을 확인할 수 있다.

(3) 센싱 시간에 따른 센싱 성능의 변화

센싱 시간에 따라서 일정수준 이상의 검파확률을 만족하는 SNR이 달라지는데, 동작 모드가 조용할수록 검출 확률도 더욱 향상된다.

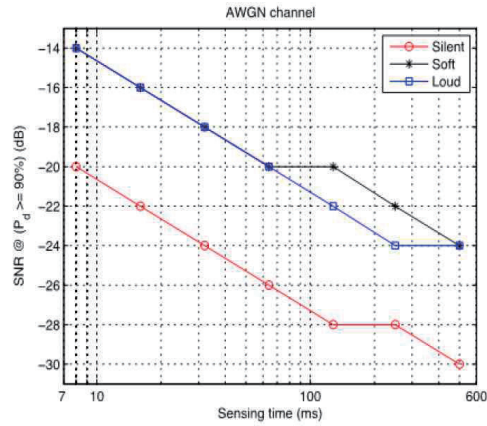


그림 4-21. 백색잡음 채널에서 센싱 시간에 따른 ED의 센싱 성능

그림 4-21을 통해 센싱 시간이 길어지면 낮은 SNR에서도 뛰어난 검출 확률을 보여주며, 동작모드가 조용할수록 더 낮은 SNR에서도 검출될 수 있다. 또한 -16dB의 SNR을 만족시키기 위해 적어도 16ms의 센싱 시간을 가져야 한다.

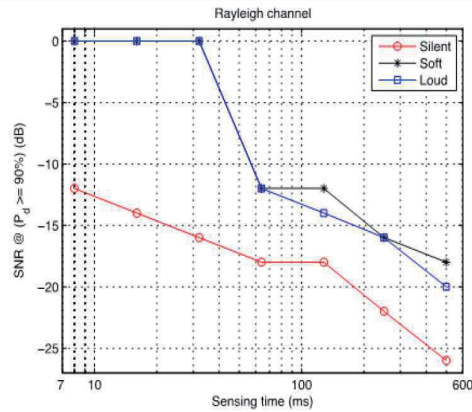


그림 4-22. 레일리 채널에서 센싱 시간에 따른 ED의 센싱 성능

그림 4-22를 통해 센싱 시간에 성능도 백색잡음 채널보다 레일리 채널이 더 감소하며 최소 SNR 요구조건인 -16dB를 만족시키기 위해서는 센싱 시간이 적어도 256ms는 되어야 한다.

제 2 절 ECC의 CR 기술 개발 현황

1. ECC(electronic communications committee) report 185

ECC report 185에서는 엄격한 요구조건과 잠복 단말기의 문제로 인한 센싱 기술의 한계로 단일 기기에서는 스펙트럼 센싱 기술을 구현할 수 없음을 지적하고 이에 따른 해결 방법으로 제시된 협력 센싱의 성능에 대한 연구가 진행되었다.[16]

협력 센싱은 공간적 다이버시티(Spatial diversity)를 이용하여 결과적으로 안테나의 이득 값을 줄여주고 다중경로(Multi-path)나 섀도우잉 같은 채널의 영향을 감소시켜줄 수 있는 이점을 가진다. 협력 센싱은 협력 센싱에 참여하는 CR기기들을 통한 판정방식이 협력 센싱의 성능을 결정하는 중요한 요인이 된다. 그림 4-23은 L개의 CR 기기와 하나의 융합센터로 구성된 협력 센싱 시나리오를 나타낸다. 각각의 CR 기기는 독립적으로 스펙트럼 센싱을 수행한 후 결과를 융합센터로 전송하면, 융합센터는 각각의 센싱 결과를 결합하여 최종 판정을 한다. 각각의 CR 기기의 판정결과를 한 비트형태로 양자화 하여 신뢰성 있는 전송채널을 통해 융합센터로 전송한다. 이 때 융합센터는 수신 받은 판정 값들을 종합하여 채널 내에 1차 사용자의 존재 유무를 최종 결정하게 되는데, 판정 시 p-out-of-L 규칙에 의해 1차 사용자의 존재를 판단하게 된다. 상기의 판정기법에 따르면 L 개의 CR 기기 중 적어도 p 개의 CR 기기가 1차 사용자가 존재한다. 센싱 결과를 전송할 시 융합센터는

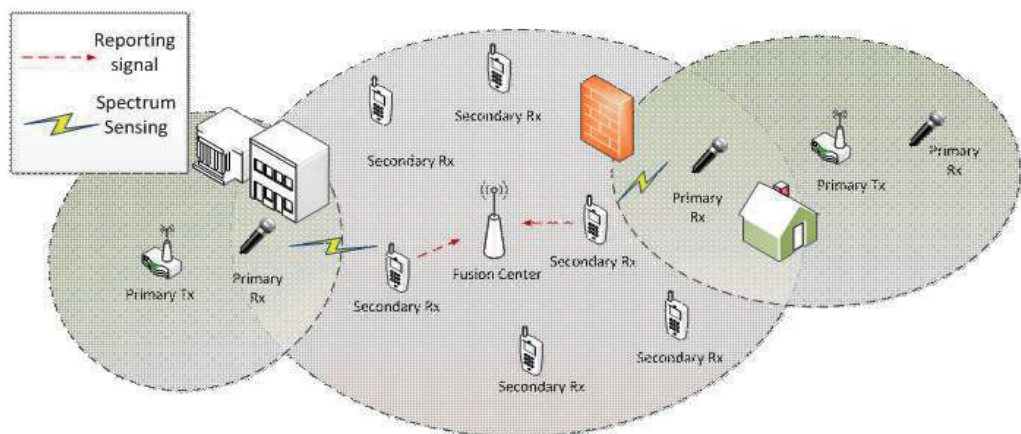


그림 4-23. ECC의 협력센싱 시나리오

1차 사용자가 채널을 점유했다고 판정하고 판정 결과를 각각의 CR 기기들에게 전송하게 된다. p-out-of-L 규칙에서 판정의 기준이 되는 최적의 p값을 연구한 논문은 다음과 같다.[17]

가. 협력 센싱과 단일 센싱의 성능 비교

ECC 보고서에서는 백색잡음 채널과 레일리 채널, 로그노말 채널에서 협력 센싱의 성능을 모의 실험하고, ROC 곡선을 이용하여 비교하였다. 또한 1차 사용자신호의 최종 판정에 대한 방식으로 p-out-of-L 규칙을 사용하였고, 최적의 q의 값은 $L/2$ 로 하였다. 여기에서 협력 센싱에 참여하는 CR 기기(L)는 총 6개이다.

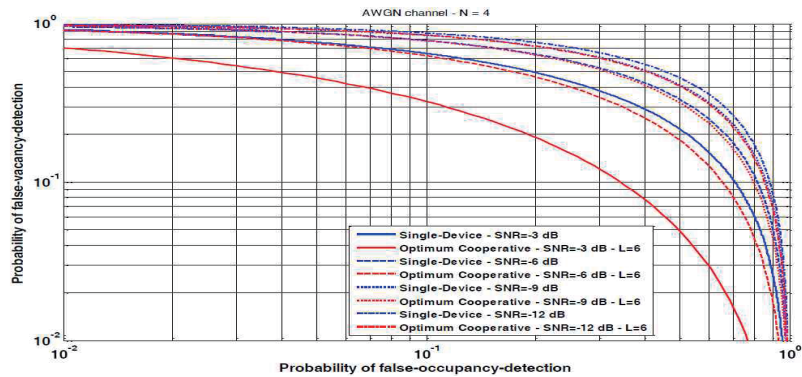


그림 4-24. 백색잡음 채널에서 SNR에 따른 단일 및 협력 센싱의 ROC 곡선

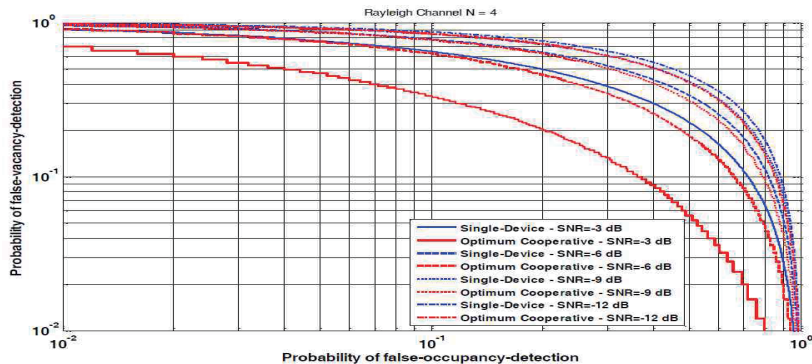


그림 4-25. 레일리 채널에서 SNR에 따른 단일 및 협력 센싱의 ROC 곡선

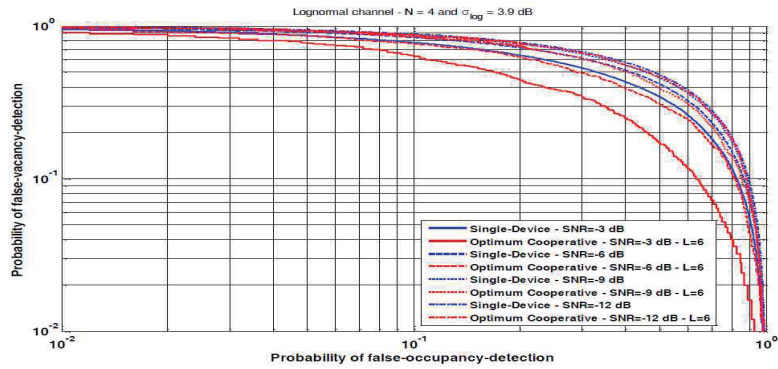


그림 4-26. 로그노말 채널에서 SNR에 따른 단일 및 협력 센싱의 ROC 곡선

그림 4-24, 그림 4-25, 그림 4-26는 각각 백색 잡음 채널 환경과 레일리 채널 환경, 로그 노말 채널에서의 모의 실험 결과를 나타내고 있다. 모든 채널에서 SNR이 증가함에 따라 단일 센싱의 성능과 협력 센싱의 성능이 향상되며, 협력 센싱이 단일 센싱보다 1차 사용자의 존재를 더욱 정확히 판별한다. 또한 부가잡음 채널에서 센싱 방식에 상관없이 가장 정확한 센싱 결과를 보이는 반면 로그노말 채널에서는 센싱의 성능이 가장 저하되었다.

나. CR 기기 수에 따른 센싱 성능의 비교

백색잡음 채널에서 고정된 SNR일 때 CR기기의 수에 따른 협력 센싱의 성능을 모의 실험하고, 그 성능을 ROC 곡선으로 비교 분석한다.

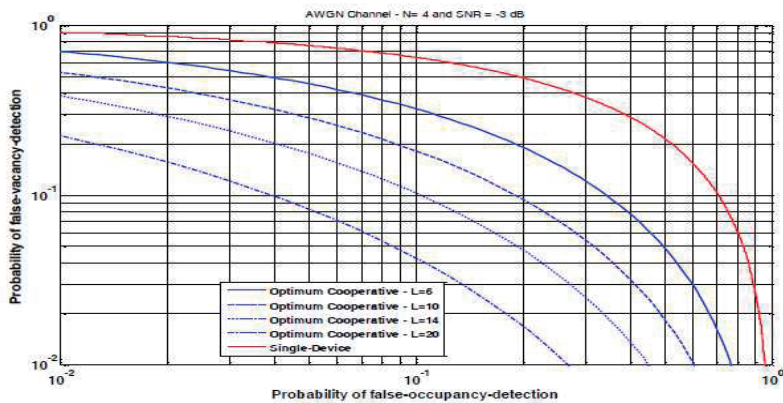


그림 4-27. -3dB의 SNR에서 CR 기기 수에 따른 협력 센싱의 성능

백색잡음 채널에서 SNR이 -3dB일 때, CR기기의 수와 그에 따른 협력 센싱의 성능을 그림 4-27에서 확인할 수 있다.

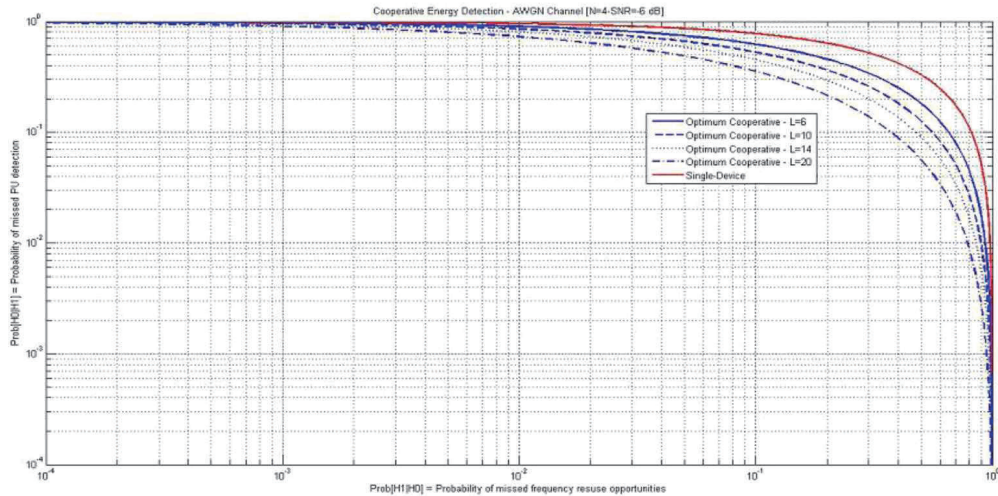


그림 4-28. -6dB의 SNR에서 CR 기기 수에 따른 협력 센싱의 성능

백색 잡음 채널에서 SNR이 -6dB일 때, 협력 센싱에 관여하는 CR 기기의 수(L)에 따른 협력 센싱 성능은 그림 4-28에 나타내었다. SNR이 감소했을 때 협력 센싱에 참여하는 CR 기기의 수가 증가하면 성능을 유지할 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 하지만 CR기기의 수가 많아질수록 협력 센싱의 성능은 향상되지만 그만큼 융합센터로 데이터를 보내기 위한 오버헤드도 증가하게 된다. 이에 대안 해결방안으로 융합센터를 이용하지 않는 분산형 협력 센싱을 이용하는 방안이 있다.

2. ECC report 186

본 ECC 보고서에서는 새로운 시각으로 스펙트럼 센싱에 접근하였다. 스펙트럼 센싱은 1차 사용자 신호를 보호하는데 사용되는 위치 정보 기반의 DB 방식을 보조하는 형태로 사용될 수 있으며 다음과 같은 장점을 가진다. 첫 번째로 스펙트럼 센싱 또는 DB 단독으로 사용되는 경우에 비해 간섭의 위험이 감소하고, 두 번째로 DB에 등록하지 않아도 1차 사용자 서비스의 감지가 가능하다. 또한 세 번째로 DB에 접속할 수 없을 때 1차 사용자 서비스를

감지할 수 있으며, 마지막으로 센싱 단독으로 사용될 때 요구되는 엄격한 감지 성능을 완화시킬 수 있다.



그림 4-29. 센싱과 DB의 결합형 분석을 위한 실험 지역

본 ECC 보고서에서는 스펙트럼 센싱 방식이 geolocation DB방식과 결합했을 때 DVB-T(Digital Video Broadcasting-Terrestrial) 서비스를 이용하는 1차 사용자를 보호하는데 있어 더 우수한 성능을 보이며 센싱 전용 TVBD와 비교하여 센싱을 위한 임계값 설정의 관점에서 더 우수하다는 것을 검증하였다.[18] 실험 지역은 이탈리아에 위치한 6개의 지역에서 진행되었다. 그림 4-29은 실험이 실시된 6개의 지역을 나타내고 있다.

- 실험 지역 : Villa Griffone, Ristorante Joli, Giardino Sasso Marconi, Val di Setta, Piccolo Paradiso, Mongardino

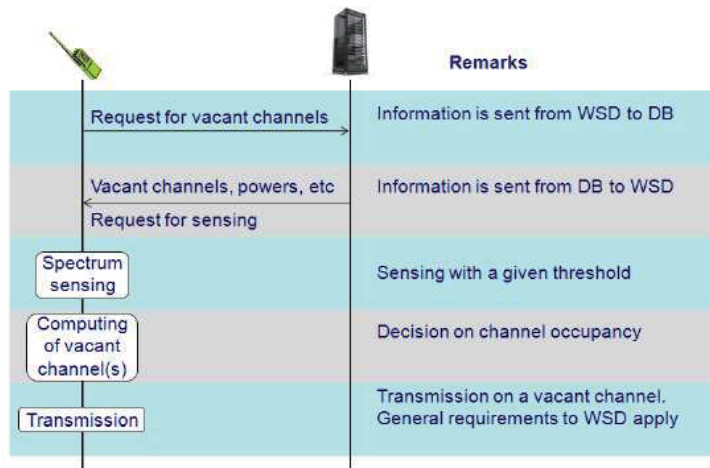


그림 4-30. 단일 WSD에서의 센싱과 DB 결합 기법 흐름도

이렇게 스펙트럼 센싱 방식과 위치 정보 기반의 DB 방식을 결합하는 경우에, 단일 WSD(White space device)에서 스펙트럼 센싱과 DB의 혼합 기법이 적용될 때의 흐름도를 그림 4-30에 나타내었다. 단일 WSD에서는 DB에 접속하여 채널에 대한 정보를 수신 받고, 해당 정보를 참고하여 스펙트럼 센싱을 진행하여 채널의 점유도에 대한 최종 판정을 내린다.

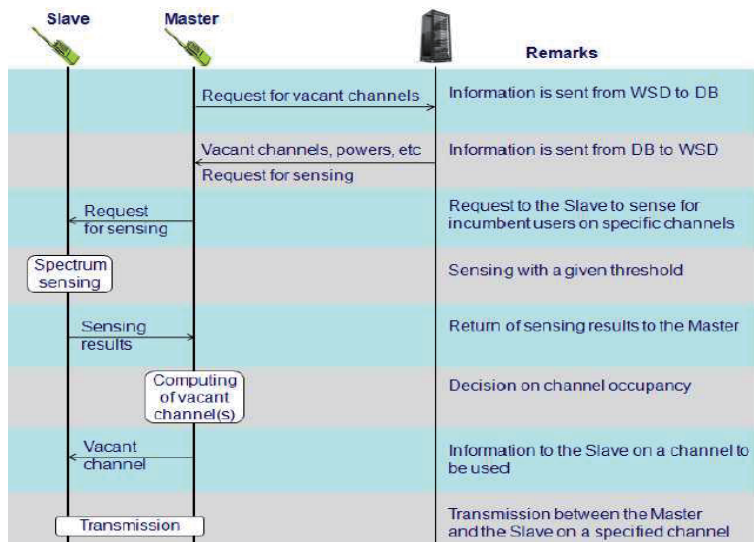


그림 4-31. Master/Slave WSDs에서의 센싱과 DB 결합 기법 흐름도

Master/Slave WSDs에서 스펙트럼 센싱과 DB의 혼합 기법이 적용될 때의 흐름도는 그림 4-31에서 확인할 수 있다. Master/Slave WSDs 방식에서는 Master WSD가 DB에 접속하여 채널에 대한 정보를 가지고 있으면서 Slave WSD에게 스펙트럼 센싱을 요구한다. 센싱의 결과를 Slave WSD로부터 수신 받으면 채널의 점유도에 대한 최종 판정을 하여 채널의 정보를 Slave WSD에게 통보하는 방식이다.

가. Geolocation DB를 이용할 경우

센싱과 DB의 결합형 분석을 위해 우선 geolocation DB만을 이용한 경우에 그림 4-29에서 나타낸 각 6개의 실험 지역에서 임계값의 변화에 따른 1차 사용자에게 의한 채널의 점유 여부를 그림 4-32에 나타내었다. 초록색 부분이 TVWS이며 빨간 부분이 1차 사용자가 점유한 채널을 의미한다. 전계강도가 커질수록 채널의 가용성 판단에 대한 성능 향상을 확인할 수 있다.

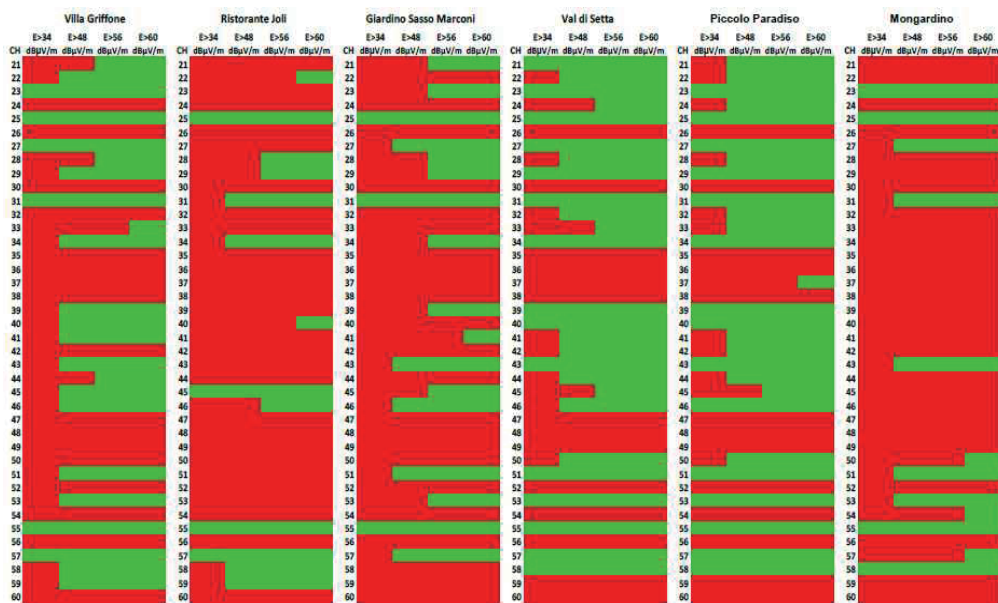


그림 4-32. Geolocation DB 기반의 전계강도에 따른 각 지역의 채널 비교

이탈리아의 각 6개 실험 지역에서 1차 사용자의 전계강도에 따른 사용 가능한 TVWS의 비율을 표 4-6에 나타내었다.

표 4-6. 1차 사용자의 전계강도에 따른 사용가능한 TVWS의 비율

전계강도 ($dB\mu V/m$)	TVWS 비율(%)
≤ 34	20.8
≤ 48	38.89
≤ 56	46.15
≤ 60	50.43

나. Spectrum Sensing만 이용할 경우



그림 4-33. 스펙트럼 기반의 수신 감도에 따른 각 지역의 채널 비교

그림 4-29에서 나타난 각 6개의 실험 지역에서 스펙트럼 센싱만을 이용한 경우에 센싱 수신 감도에 따른 채널의 점유도를 그림 4-33에 나타내었다. 임

계값이 낮을수록 각 지역에서의 화이트 스페이스의 비율이 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

다. Geolocation DB와 Spectrum Sensing을 결합한 경우

스펙트럼 센싱과 geolocation DB를 결합하는 경우에 대한 TVWS 비율을 표 4-7에서 확인하면, 결과적으로 결합하는 방식이 1차 사용자를 보호하는데 있어 더 우수한 성능을 보여줬으며, 센싱 방식을 단독으로 이용하는 경우에 비해 더 높은 임계값 설정이 가능하다는 것을 알 수 있다. 임계값이 -105 dBm일 때 DVB-T 서비스를 이용하는 1차 사용자에 대한 더 우수한 성능을 보여줬지만, -80 dBm에서는 성능상의 이점을 얻지 못함을 보여준다.

표 4-7. 센싱과 DB를 결합한 경우에 사용 가능한 TVWS 비율

전계 강도	TVWS 비율(%)	
	임계값 = - 80dBm	임계값 = - 105 dBm
≤ 34	20.8	18.38
≤ 48	38.89	34.19
≤ 56	46.15	38.89
≤ 60	50.43	41.88

제 5 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 기술 표준화 동향

제 1 절 IEEE 802 표준화 동향

최근 IEEE 802표준에서는 CR 기술이 적용된 표준 활동이 활발히 이루어지고 있으며, 그림 5-1을 통해 서비스 영역에 따른 표준 규격을 확인할 수 있다. IEEE 802.22 WRAN은 스펙트럼 센싱과 DB 접근 방식이 핵심 간섭회피 기술로 적용되어 있다. 현재 Sponsor ballot이 진행 중인 IEEE 802.15.4m의 경우 스펙트럼 센싱 기술이 표준에 적용되어 있진 않지만 DB의 접근을 통한 간섭회피 방안이 반영된 CR 기술에 대한 표준 활동이 진행 중이다. 이미 표준이 완료된 IEEE 802.11y와 IEEE 802.11h의 경우 스펙트럼 센싱과 유사한 성격의 간섭회피 기술인 동적 주파수 선택(Dynamic frequency selection)과 간섭 추적 기술(Dynamic station enabling)이 적용되어 추후 CR 기술로의 확장이 가능하다.

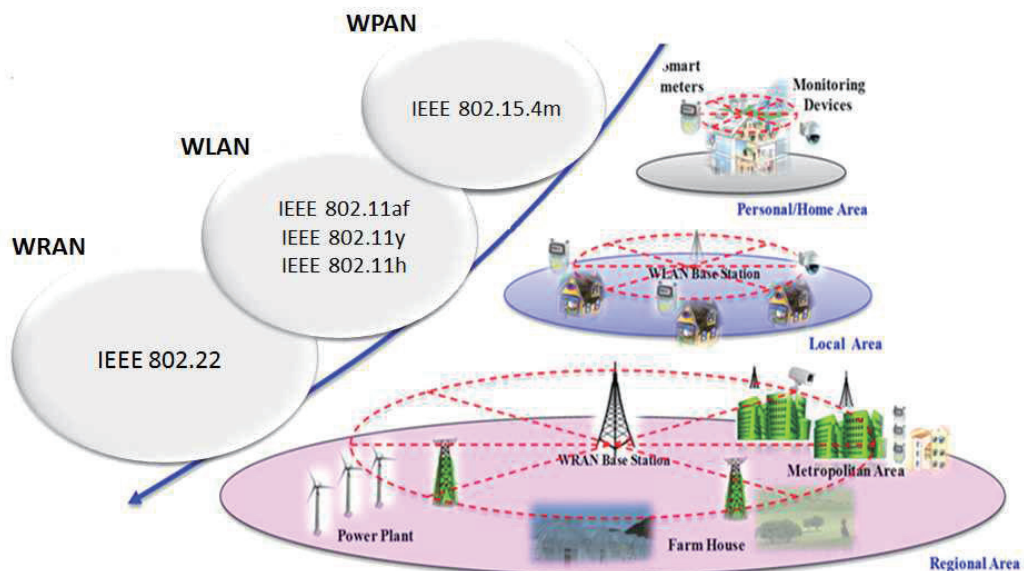


그림 5-1. 서비스 영역에 따른 표준 규격 현황

1. IEEE 802.22 WRAN

IEEE 802.22 WG(Working group)는 기존의 인터넷 서비스를 제공받기 어려운 시골 지역에서 무선 인터넷 접속이 가능하게 하기 위해 TVWS를 사용하여 기존의 인터넷 서비스와 동급의 서비스를 제공할 수 있는 표준을 제정할 목적으로 결성된 단체이다. 2004 년 11월에 세계 최초로 TVWS에서 동작하는 인지 무선 기술의 PHY/MAC 계층 규격 표준화를 진행하여 2011년 7월에 표준을 완료하였고 디지털 TV(ATSC), 아날로그 TV(NTSC) 및 무선 마이크와 같은 1차 사용자 신호에 대한 비 간섭을 전제로 TVWS 기반 광대역 인터넷 서비스 및 스마트 그리드 통신망에서 활용 가능한 표준 기술을 연구하였다.[19]

가. IEEE 802.22 WRAN에 대한 주요 특징 및 관련 핵심 기술

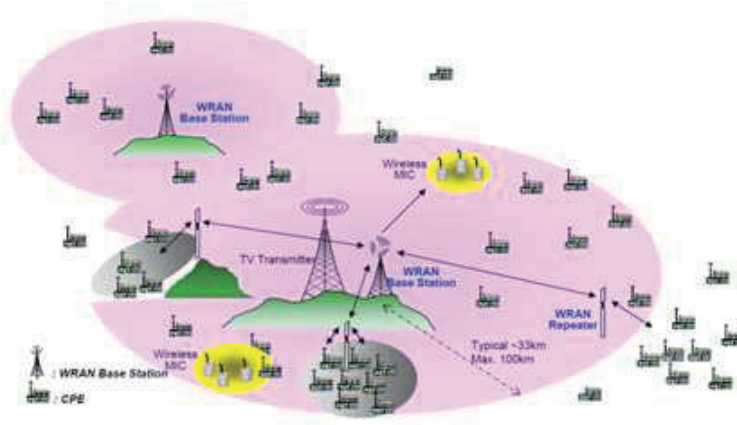


그림 5-2. Point to multi-point 환경

IEEE 802.22 WRAN에서는 다중접속방식으로 OFDMA(Orthogonal frequency-division multiple access)가 사용되며, 시나리오 환경은 그림 5-2와 같은 고정 PMP (Point to multi-point) 전파 환경이 적용된다. 커버리지 및 적용 관련 서비스 적용 인구 범위는 30~50km, 1.5~60명/km²이며, 목표 데이터 처리율은 18Mbps, 전송전력은 1 Watt이다. IEEE 802.22의 세부 표준화 종류, 물리계층 주요 파라미터 및 OFDM의 주요 파라미터는 각각 표 5-1, 표 5-2, 표 5-3에 나타내었다.

표 5-1. IEEE 802.22 세부 표준화 종류

세부 표준명	표준개요	진행 사항
802.22	인지 무선 기술의 PHY/MAC 계층 규격 표준화	2011년 7월 표준완료
802.22.1	TVWS 대역 내 향상된 간섭보호 표준 연구,	2010년 11월 표준완료
802.22.2	기존 802.22 표준 기술의 수정 및 보완,	2012년 12월 표준완료
802.22a	스마트 그리드 및 재난/환경감시 모니터링을 위한 표준연구	진행
802.22b	광대역 서비스 및 모니터링 어플리케이션 강화	진행

표 5-2. IEEE 802.22 물리계층 주요 파라미터

파라미터	규격
주파수(MHz)	54~862
채널 대역폭(MHz)	6, 7, 8
데이터 변조 방식	QPSK, 16 QAM, 64 QAM
전송 EIRP(Watt)	4 (CPEs)
다중 접속 방식	OFDMA
FFT 부반송파수	2048
Cyclic Prefix 길이	1/4, 1/8, 1/16, 1/32
Duplex	TDD

표 5-3. IEEE 802.22 OFDM 주요 파라미터

파라미터	규격		
	6MHz	7MHz	8MHz
총 부반송파 수	2048		
보호구간 부반송파 수	368		
유효 부반송파수	1680		
데이터 부반송파 수	1440		
파일럿 부반송파수	240		
대역폭(MHz)	5.625	6.566	7.504

(1) 자기 공존

IEEE 802.22에서는 자기 공존(Self-coexistence)이라는 공존 기술이 적용되었으며, 자기 공존은 같은 채널에서 다수의 WRAN 셀들이 겹쳐질 때의 간섭을 방지하는 것을 의미한다. 같은 영역 안에서 다수의 802.22 기지국들과 고객 단말기(Customer premises equipments; CPE)을 동작시키기 위해 WRAN 셀 사이에 제어 정보를 교환하게 되며, 이는 공존 비콘 프로토콜(Cexistence beacon protocol; CBP)에 의해 이루어진다. 공존 비콘 프로토콜은 인근 셀의 발견, WRAN 셀 간 제어 정보 교환, 셀 내 통신을 위해 사용된다. 공존 비콘 프로토콜은 자기 공존 윈도우(Self-coexistence window; SCW)안에 포함되며, 채널 정보와 세부적인 시간 스케줄 정보를 포함한다. 만일 가입자 맥내 장치에서 다른 WRAN 셀로부터 공존 비콘 프로토콜을 수신하면, 공존 비콘 프로토콜을 해독하고 자신의 기지국에 보고한다. 그 후 동작모드는 일반모드에서 공존모드로 바뀌게 된다.

(2) 1차 사용자 보호

1차 사용자 보호는 IEEE 802.22에서 가장 중요한 기능 중의 하나이며, 1차 사용자 보호를 위해 데이터베이스 방식과 스펙트럼 센싱 방식을 적용되었다. 데이터베이스 방식은 2차 사용자가 1차 사용자의 채널 사용에 대한 정보를 가진 데이터베이스에 접속하여 1차 사용자 정보를 요청하면 데이터베이스에서는 기지국과 1차 사용자의 위치 정보 및 이용 가능한 채널 정보를 보내주며, 이때 데이터베이스는 주기적으로 업데이트 되어야 한다. 스펙트럼 센싱은 기지국과 고객 단말기(CPE)에서 모두 실행될 수 있으며 일반적으로 스펙트럼 센싱을 기지국에 의해 계획된 quiet periods안에서 수행된다. IEEE 802.22 WRAN에서는 2단계의 스펙트럼 센싱이 진행되어야 한다. 1차 센싱으로 에너지검파를 통해 스펙트럼 전 대역에서 1차 사용자의 채널 점유 여부를 판별하는 coarse 센싱(Intra-frame sensing)이 선행된다. 이때 하나의 프레임 크기보다 작은 센싱 주기를 통하여 빠른 시간 내에 1차 사용자의 채널 점유여부를 판별하고 CR 기지국의 QoS에 최소한의 영향만을 주는 스케줄링 기법이 포함된다. coarse 센싱 이후 채널을 점유한 1차 사용자가 없다고 판단되면 2차 센싱으로 특성 검파 방식을 통해 미약한 1차 사용자 신호의 존

채널을 판별하는 fine 센싱(Inter-frame sensing)이 진행된다. 이때 이용되는 센싱 기법으로는 푸리에 변환 기반 파일럿 센싱(FFT based pilot sensing), Cyclo-stationary 특성 센싱(Cyclo-stationary feature sensing), ATSC 위상 동기루프 기반 파일럿 센싱(ATSC PLL-based pilot sensing) 기법 등이 있다. Fine 센싱은 하나의 프레임 크기보다 더 긴 길이를 가지는 센싱 주기를 통하여 좀 더 정확한 스펙트럼 센싱을 가능하게 하며, QoS에 민감한 트래픽에 대해 성능의 감소를 유발할 수 있다. 그림 5-3은 IEEE 802.22 WRAN에서의 2단계 스펙트럼 센싱의 알고리즘을 나타낸다.

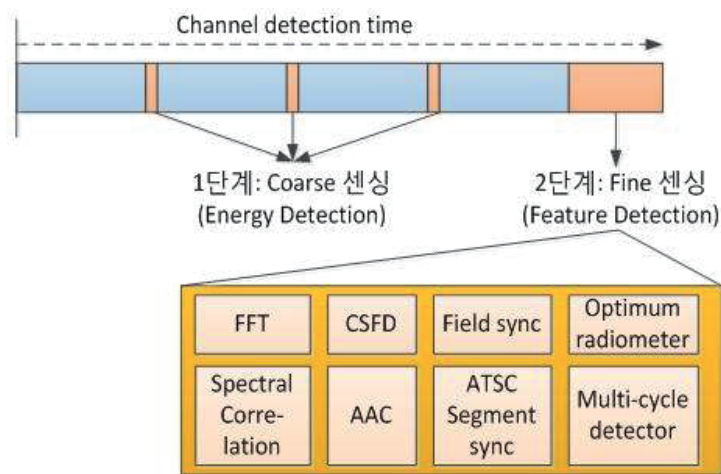


그림 5-3. IEEE 802.22에서 2단계 스펙트럼 센싱 알고리즘

만일 고객 단말기가 채널에서 1차 사용자 신호를 감지하면 곧바로 기지국에 전달하며, 이러한 보고에 따라 기지국은 다음의 3가지 옵션에 따라 채널을 관리한다.

- 채널 전환 : 기지국에서 채널을 바꾸기로 결정하면, 채널 전환 요청(Channel switching request) 메시지를 전송하며, 전체 WRAN 셀 안의 고객 단말기는 동작 채널을 처음의 예비 채널⁴⁾로 변경
- 특정 고객 단말기가 채널을 센싱 하도록 요청
- 다른 고객 단말기의 센싱 결과를 기다림

1차 사용자 신호의 종류에 따른 최소 수신 레벨과 채널 대역폭은 표 5-4에서 확인할 수 있다. part 74 device는 무선 마이크를 지칭하며, 무선마이크의

4) 예비 채널(Backup channel) : 1차 사용자가 등장 했을 때를 대비한 잠재적 가용 채널

경우 관련 표준이 존재하지 않고 제조사마다 신호의 종류가 다를 수 있다. 따라서 무선 마이크의 특성을 이용하는 스펙트럼 센싱 보다 에너지 기반의 스펙트럼 센싱을 주로 이용하며, 신호를 감지하지만 무선 마이크 신호의 낮은 전송전력과 좁은 커버리지로 인한 센싱 성능의 제약 때문에 비콘 신호를 통한 센싱이 추가되었다.

표 5-4. IEEE 802.22에서 1차 사용자의 센싱 요구 조건

항목	DTV	NTSC	Part 74 device	무선마이크 Beacon
최소수신레벨 (dBm)	-116	-94	-107	-120
채널대역폭 (MHz)	6	6	0.2	0.01

센싱의 기법들은 신호의 사전 정보를 기반으로 하는 특성 검파와 신호의 사전 정보를 요구하지 않는 비특성 검파방식을 이용된다. IEEE 802.22에서 제시한 비특성 검파방식의 다양한 센싱기법에 따른 요구 조건은 표 5-5에 나타내었고, 특성 검파방식의 요구조건은 표 5-6에 나타내었다. 아날로그 TV 신호(NTSC signal)와 디지털 TV 신호(ATSC signal)는 신호의 사전 정보를 이용한 특성 검파방식을 이용하게 되며, 무선 마이크 신호(Part 74 device)의 경우 비특성 검파 방식뿐만 아니라 푸리에변환 기반 파일럿 센싱 방식이 사용될 수 있다.

표 5-5. IEEE 802.22 표준의 비특성 검파 알고리즘 별 요구 조건

센싱 기법				요구되는 SNR(dB)	센싱시간 (ms)
비특성 검파	Energy Detection	$\Delta = 0$ dB		-11	0.2
				-15	1
				-1.8	5
		$\Delta = 0.5$ dB		-5	0.2
				-6	1
				-6	5
		$\Delta = 1$ dB		-2.5	0.2
				-3	1
				-3	5
	Maximum-minimum Eigenvalue Detection	DTV signal	single channel	-11.6	4
				-13.2	8
				-15.0	16
				-16.9	32
			three consecutive channels	-17.5	4
		-20.9		16	
		wireless microphone		-21.0	4
				-23.1	10
	Energy with Minimum Eigenvalue Detection	DTV signal	single channel	-10.5	4
				-12.1	8
				-14.0	16
				-15.8	32
			three consecutive channels	-15.6	4
				19.1	16
		wireless microphone		-16.4	4
				-18.4	10
	Covariance Absolute Value Detection	wireless microphone		-20.8	4
				-22.8	10
		ATSC DTV		-13.4	4
				-16.8	16
				-20	48
				-21.8	100
				-23	150
	Covariance Frobenius Norm Detection	wireless microphone		-20.8	4
				-22.8	10
		ATSC DTV		-13.4	4
				-16.8	16
				-20	48
				-21.8	100
				-23	150

표 5-6. IEEE 802.22 표준의 특성 검파 알고리즘 별 요구 조건

센싱 기법			요구되는 SNR(dB)	센싱시간 (ms)
특성 검파	ATSC Signature Sequence Correlation Sensing	ATSC data fields=1	-10	24.2
		ATSC data fields=4	-12	96.8
		ATSC data fields=16	-14	387.2
	Segment-Sync based Detection		-7	4.06
			-8	9.25
			-11	92.5
	FFT-based Pilot Sensing	Pilot-Energy	-18	5
			-20.5	10
			-23.5	30
			-24.5	50
		Pilot-Location	-	5
			-18.5	10
			-22.0	30
			-24.0	50
	ATSC PLL-based Pilot Sensing		-12.42	50
			-14.88	75
	Spectral Correlation Sensing	Prob. of detection = 0.9	-7	1/3
			-12	2
			-29	10
		Prob. of detection = 0.99	-3.5	1/3
			-8	2
			-15.5	10
	Cyclo-stationary Sensing		-25	19.03

2. IEEE 802.11h

IEEE 802.11h는 IEEE 802.11a의 개정판으로서 5GHz 주파수 대역을 사용하는 레이더 및 인공위성과의 간섭 문제를 해결하기 위해 2003년에 완성된 표준이며, 현재는 2007년 3월에 완성된 IEEE 802.11 표준에 통합되었다.[20] 본래 유럽의 전파규제 요구사항을 만족시키기 위해 개발되었으나 World Radio Communication Conference(WRC 2003)의 결정 이후 우리나라, 미국, 일본을 비롯한 많은 나라에서 5GHz 대역에서의 WLAN 사용을 위한 표준으

로 이용되고 있다. IEEE 802.11h는 레이더와 위성파 점유하고 있는 채널에서의 간섭을 피하기 위해 제안된 동적 스펙트럼 선택(Dynamic frequency selection; DFS) 기술과 통신장비의 송신 출력을 제한하여 레이더 및 위성 통신에 미치는 간섭을 완화하기 위해 고안된 전송 전력 제어(Transmit power control; TPC) 기술이 핵심 기술로 적용되었다. 상기 기술 중 DFS는 인지 무선 기술의 스펙트럼 센싱과 매우 유사한 기능을 가지며, 특히 WLAN 기술이 사용하는 주파수 대역이 점차 확대됨에 따라 그 필요성이 부각되고 있다. 그림 5-4는 DFS의 동작과정을 나타내며 세부적인 동작과정은 다음과 같다.

- normal operation : BSS⁵⁾의 일반적인 동작 상태
- channel DFS test : 특정 주기마다 현재 사용 중인 채널을 검사
- full DFS test : 현재 사용 중인 채널에 1차 사용자 신호 감지 시 또는 채널 상태의 저하 시 전체 채널에 대한 채널 검사
- frequency change : full DFS test 후 필요 시 채널 전환 후 일반 동작 상태로 회귀

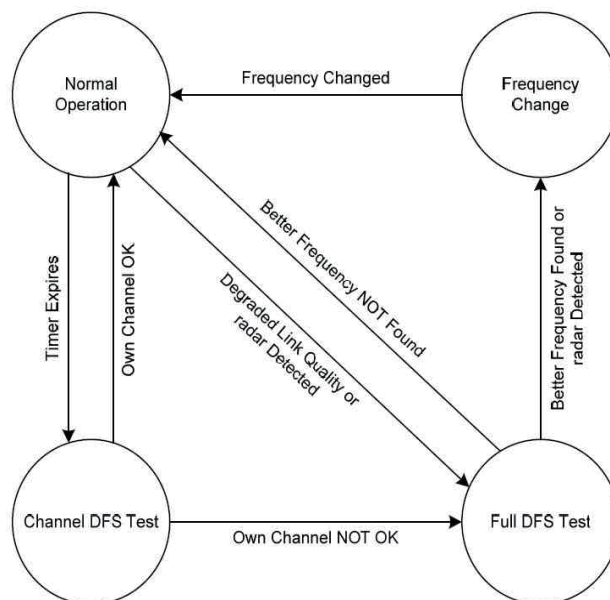


그림 5-4 . IEEE 802.11h의 동적 스펙트럼 선택의 동작과정

5) Basic Service Set : 무선 LAN 네트워크에서 가장 기본이 되는 네트워크 구성

3. IEEE 802.11y

2007년 미국의 FCC는 기존의 위성 통신으로 사용되던 3.65~3.7GHz 대역을 비독점적 면허 대역(Nonexclusively licensed band)으로서 다른 통신 장비들도 사용할 수 있도록 하였다. 비독점적 면허 대역은 우선권을 가진 사용자가 존재하지만 채널이 비어 있을 때는 다른 사용자도 채널을 사용할 수 있다. 이에 IEEE는 3.65~3.7 GHz 대역에서 WLAN이 동작하는 방법을 정의하기 위해 IEEE 802.11y 표준화 작업을 진행하였으며 2008년 11월에 표준화를 완료하였다.[21] FCC는 주파수 대역에 따라 regulatory class를 두어 채널의 대역폭과 개수, 전송 전력 등에 대해 제한을 두고 있다. 3.65~3.7 GHz 대역은 regulatory class 13~15에 해당하며 이 주파수 대역을 사용하는 모든 사용자는 이 제한을 지켜야 한다. 또한 주파수 대역 사용권한에 따라 두 종류의 사용자로 나뉘는데 자신의 위치정보를 규제 당국에 등록한 사용자(Registered user)과 등록하지 않은 종속적인 사용자(Dependent user)로 분류된다. IEEE 802.11y에서는 스펙트럼 센싱 기술이 포함되지는 않지만 스펙트럼 센싱의 기능과 유사한 간섭 추적 기술(Dynamic Station Enabling; DSE)과 채널 전환 기술(Extended Channel Switching; ECS)이 적용되었다. DSE 등록된 사용자의 경우 자신의 위치 정보를 비콘 프레임에 담아 주기적으로 전송하며, 종속 사용자는 등록 사용자가 전송하는 프레임을 수신하여 자신이 접속할 수 있는 기지국(Enabling station)을 찾는다. 접속 가능한 기지국을 찾은 후 접속 요청을 하면 기지국은 요청에 대한 결정을 하고 고유한 DSE 식별자를 부여하여 종속적인 사용자가 접속을 할 수 있도록 한다. 추후 간섭이 발생하면 기지국은 종속 사용자에게 채널 전환을 명령할 수 있으며, 채널 전환뿐만 아니라 종속 사용자가 최대 사용할 수 있는 전송 전력도 관리가 가능하다.

4. IEEE 802.11af

2010년 초 TVWS를 이용한 차세대 무선랜 표준인 IEEE 802.11af 표준화 그룹이 설립되었다. 기존의 IEEE 802.11 무선랜 서비스 대비 전송 커버리지 확장과 운용효율성 증대를 목표로 하고 있으며, Broadcom, Atheros, Qual-

comm, Intel과 같은 Wi-Fi 관련 핵심 산업체들이 중심을 이루고 있다. 참여 산업체와 표준화 단체의 영향력을 고려할 때 향후 상업적 서비스의 조기 실현 측면에서 가장 근접해 있는 표준으로 예상된다. 현재 draft 4.0에 대한 letter ballot이 완료된 상태이며, 2013년 9월 sponsor ballot이 진행될 예정이다.[22] 현재는 1차 사용자의 보호를 위해 DB를 이용한 표준화가 진행되고 있지만 DB에 접속하지 못하는 등의 문제가 발생할 경우 스펙트럼 센싱 기술이 필요하다고 명시되어 있다. 그림 5-5은 IEEE 802.11af의 표준범위 및 기본구조를 나타내고 있다.

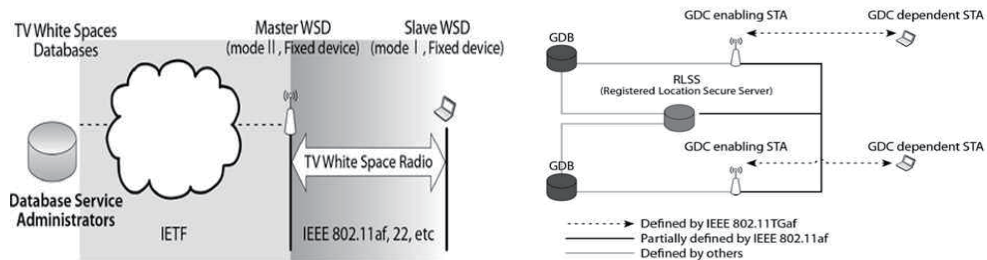


그림 5-5. IEEE 802.11af 표준 범위 및 기본 처리 구성도

5. 기타 IEEE 802 표준화 단체

이미 서술한 표준화 단체와 더불어 여타 IEEE 802.x 표준화 단체에서도 CR 시스템의 요소 기술들을 해당 표준 기술의 핵심적인 부분으로서 접목하는 추세에 있다. 표 5-7은 기타 IEEE 802.x 표준화 단체에 대한 주요 활동 내용 및 적용기술을 나타내고 있다.[23][24]

표 5-7. IEEE 802.x 표준화 기술의 주요 활동 내용 및 적용기술

표준화 단체	관련 내용 및 적용기술	CR과의 연관성
IEEE 802.11e	<ul style="list-style-type: none"> EDCS : Enhanced Distributed Channel Access HCCA : Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access 	-
IEEE 802.11k	<ul style="list-style-type: none"> 무선 랜에 대한 무선 자원 관리(RRM)⁶⁾시행 BSS 에서 개별적으로 또는 혼합 형태로 존재하는 스펙트럼 현황 감지 	유사

IEEE 802.11v	<ul style="list-style-type: none"> 동일 장소에 존재하는 <u>간섭 보고</u> 채널 환경 진단 및 환경 변화 상황에 대한 관련 데이터 보고 	-
IEEE 802.11w	<ul style="list-style-type: none"> 전송 데이터 프레임 보호 방법과 관련 된 내용 제공 보호기준이 확립된 프레임 구조에 대해 스폰서 투표가 진행 중 	-
IEEE 802.16h	<ul style="list-style-type: none"> <u>공존 프로토콜</u> 분산 무선 자원 관리 분산 공존 정보 데이터베이스 	유사
IEEE 802.16m	<ul style="list-style-type: none"> MAC layer <ol style="list-style-type: none"> 간섭 측정 및 평가에 대한 보고를 MAC 신호처리 과정을 통하여 전송 스케줄링 및 유연한 주파수 재사용을 통한 간섭 저하 방법 강구 PHY layer <ol style="list-style-type: none"> <u>전송전력 제어</u> 간섭 랜덤화 <u>간섭 제거, 제어</u> 전송 빔형성/사전코딩 	유사
IEEE 802.18	<ul style="list-style-type: none"> 6개의 WGs(11,15,16,20,21,22)을 국내 및 국제 수준으로 모니터링 전파규제 관리 기관에 관련 사항 논평 및 정책 언급 	-

제 2 절 IEEE DySpan 표준화 동향

2005년 상반기에 차세대 무선 통신 및 진보된 스펙트럼 제어를 위한 신규 기술 등을 다루는 표준화 단체들을 지원하게 위해 IEEE P1900 표준화 단체가 구성되었다. 본 단체는 IEEE ComSoc (Communications Society)와 IEEE EMCs(Electromagnetic compatibility society)의 조합에 의해 설립되었다. 2007년 3월22일, IEEE SCC 41 Dyspan (Standards coordinating committee 41, Dynamic spectrum access networks)으로 명칭이 변경되었으며, 관련 표준화 단체와의 양해각서 체결 및 상호 정보교환을 통하여 앞으로의 미래 무선 통신 환경에 대처하기 위한 연구 활동을 활발히 진행하고 있는 상태이다. 그림 5-6는 IEEE DySpan과 관련 기관의 연구 협력 관계를 나타내고 있다.

6) Radio Resource Measurement : 무선 채널 할당, 무선 접속 제어, 전력 제어, 핸드오프 자원 관리, 다중 접속 등의 기능등이 있는 이 있다

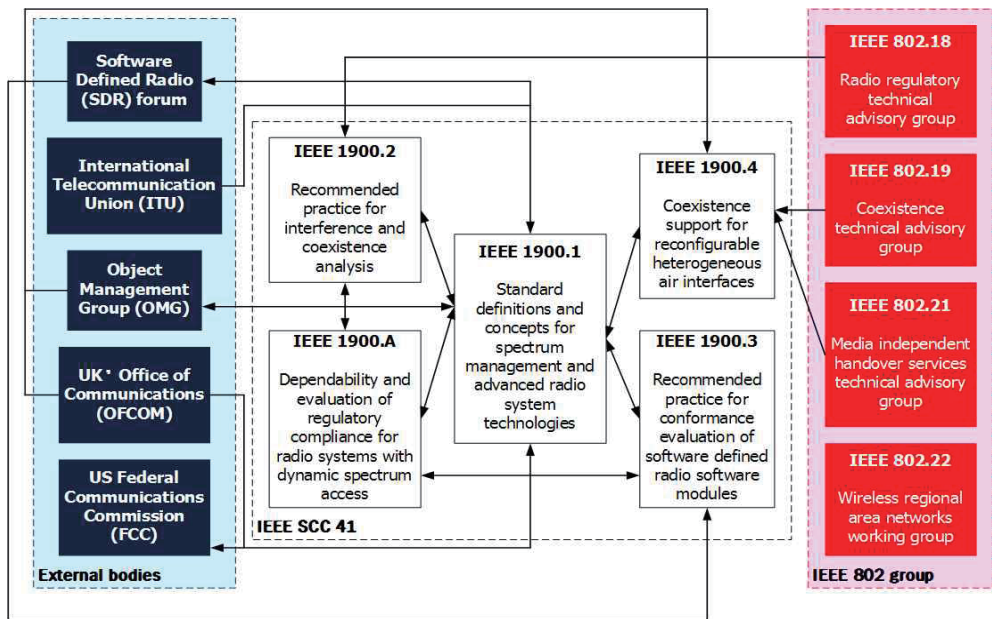


그림 5-6. IEEE DySpan과 관련 기관과의 연구 협력 관계

IEEE DySpan의 목표 및 연구 내용의 특징은 표 5-8과 같다.[25][26][27][28]

표 5-8. IEEE DySpan의 목표 및 연구 내용

구분	연구 내용
주요 활동 내용	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 동적 스펙트럼 접속(dynamic spectrum access; DSA)에 관련된 표준안 개발 ▪ 제안 없는 면허 및 비면허 사용자 시스템 연구 ▪ 스펙트럼 효율성 개선이 주된 목표 ▪ CR 기능을 지원하기 위한 인터페이스에 대한 표준 진행
연구 그룹 (WG)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEEE 1900.1 : 스펙트럼 관리 및 진보된 무선 시스템 기술의 정의 및 개념의 표준화 ▪ IEEE 1900.2 : 간섭영향 및 공존에 대한 분석, 권장 기술 논의 ▪ IEEE 1900.3 : 동적 스펙트럼 접속을 수용하는 무선 시스템의 스펙트럼 접속 동작

	<ul style="list-style-type: none"> ▪ IEEE 1900.4 : 이중 무선접속 네트워크에서 최적화된 무선 자원 사용을 위한 최적 공존방안 연구 ▪ IEEE 1900.5 : 인지무선 시스템의 관리 및 처리과정을 위한 정책 언어 및 정책 구조 표준 ▪ IEEE 1900.6 : DSA 시스템에서 스펙트럼 센싱 정보의 변환을 위한 간섭정보 및 데이터구조 표준 ▪ IEEE 1900.7 : 고정형 또는 이동형 기기에 대한 기능을 제공하는 인터페이스를 위한 표준
--	--

제 3 절 ECMA-392 표준화 동향

ECMA(European computer manufacturers association)은 TVWS에서 사용가능한 개인/휴대용 인지 무선기기의 표준화 및 상용화를 앞당기기 위해 2008년 말 결성된 표준화 단체이다. ECMA는 TVWS에서 이용 가능한 고속 무선 네트워킹 표준 개발을 수행하였으며, 2009년 말에는 FCC 08-260에서 제시한 전파 전달 기준을 근간으로 간섭회피 메카니즘을 포함한 PHY/MAC 계층으로 구성된 표준 문서를 완성하였고 2009년 12월에 개인휴대용 최초로 무선 인지 표준인 ECMA-392를 발표하였다.[29] ECMA International TC48의 TG1에서 표준화를 시작하고 CogNeA(Cognitive networking alliance) 기고서를 바탕으로 작업을 진행하였다. Board member로는 ETRI, HP, Philips, 삼성전기가 참여하였고, Contributor member로는 GEDC, Motorola가 참여하였다. 표 5-9는 ECMA 표준화 내용을 보여주고 있다.

표 5-9. ECMA 표준화 내용

표준화 WG	표준화 내용	진행사항
ECMA-368	High Rate Ultra Wideband의 PHY/MAC 표준	완료
ECMA-392	TVWS에서 사용하기 위한 PHY/MAC 표준	완료

가. 물리계층 규격

ECMA-392에서는 직교 주파수 분할 다중화(Orthogonal frequency division multiplexing; OFDM) 신호가 사용되며 7MHz와 8MHz의 대역폭에 대한 표본화 주파수는 각각 8MHz와 64/7MHz이며, 채널 대역폭에 따라 OFDM 파라미터들은 표 5-10과 같이 바뀐다.

표 5-10. ECMA-392의 채널 대역폭에 따른 OFDM 파라미터

파라미터	규격	
	대역폭 : 7MHz	대역폭 : 8MHz
부반송파 간격(KHz)	62.5	71.429
FFT 주기(μs)	16.0	14.0
총 부반송파의 수	128	128
보호 부반송파의 수(guard subcarrier)	26	26
유효한 부반송파의 수	102	102
데이터 부반송파의 수	98	98
파일럿 부반송파의 수	4	4
신호 대역폭(MHz)	6.468	7.357

OFDM의 부반송파의 개수는 총 128개가 사용되며, 이중 보호 구간으로 사용되는 26개의 부반송파를 제외하면 실제 유효한 부반송파는 106개이다. 106개의 부반송파는 다시 데이터를 실은 98개의 부반송파와 4개의 파일럿 부반송파로 구성된다. 그림 5-7는 OFDM 부반송파의 배치를 나타낸다.

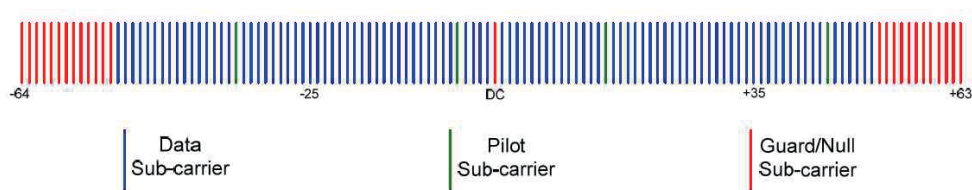


그림 5-7. ECMA-392의 OFDM 부반송파의 배치 구조

나. 1차 사용자 보호

(1) Quiet period (QP)

ECMA-392에서는 1차 사용자 보호를 위해 스펙트럼 센싱이 요구된다. 특히 스펙트럼 센싱 시 효과적인 1차 사용자 신호의 감지를 위해 특정 시간동안 기기의 동작을 멈추는 Quiet period (QP)를 두었고, 주기성 여부에 따라 Regular QP와 On-demand QP로 분류된다. 그림 5-8은 Regular QP의 슈퍼 프레임 내 위치와 On-demand QP를 나타내고 있다. Regular QP의 위치는 데이터 전송 구간인 DP(data transmitter period) 마지막 단에 위치하는 반면 On-demand QP는 슈퍼 프레임 안에 위치하지 않고 독립적으로 존재한다.

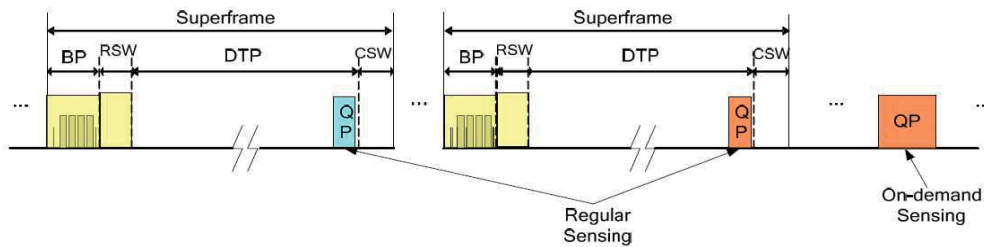


그림 5-8. ECMA-392의 Quiet period의 스케줄링

(2) 스펙트럼 센싱

ECMA-392 표준에 적용된 스펙트럼 센싱 기법은 ATSC 신호의 특성을 이용해 검출하는 특성 검파 방식 중의 하나인 FFT 기반 파일럿 센싱 알고리즘이며, 다음의 두개의 방식이 존재한다.

- 파일럿 에너지 방식
- 파일럿 위치 방식

Pilot-energy와 pilot-location기반의 센싱 알고리즘은 12개의 디지털 신호들로 테스트 되었으며 센싱 시간은 256-point FFT의 사용을 위해 5ms의 배수 형태로 설정되었다. 표 5-11은 잡음의 불확실성이 없을 때 요구되는 SNR을 나타내며, 이때 오경보 확률은 0.05, 미검출 확률은 0.1이다.

표 5-11. ECMA-392에서 DTV 신호 검출을 위해 요구되는 SNR

센싱 시간 센싱 기법	5ms	10ms	30ms	50ms
Pilot-Energy	-18dB	-20.5dB	-23.5dB	-24.5dB
Pilot-Location	-	-18.5dB	-22.0dB	-24.0dB

(3) 전송 전력 제어

모든 기기는 전송 전력 제어 기능을 제공해야 하며, 이는 신뢰성 있는 통신을 위해 필요한 최소한의 전력만큼만 전송함으로써 1차 사용자에게 간섭을 미치지 않게 하고 또한 2차 사용자간에 간섭을 최소화하기 위하여 사용한다.

$$P = \begin{cases} P_i & \text{초기 전송 전력} \\ P_{prev} + \Delta P & \text{다음 전송 전력} \end{cases} \quad (1)$$

처음에 전송되는 전력 P 는 초기 전송 전력인 P_i 이고, 기기에 대한 전송 전력의 변화가 필요하면 P_i 에 ΔP 만큼의 적절한 전력의 조절을 통해 전체 전력을 변경하게 된다. 전송 전력 제어의 핵심은 초기 전송 전력인 P_i 를 적절히 선택하는 것과 전력의 변화량인 ΔP 를 적절히 업데이트 하는데 있다. 전송 전력 제어는 인접 채널에서 1차 사용자의 존재가 판별되거나 전송 방식을 반영하여 변경되며, 일정한 주기를 가지고 업데이트 된다.

제 6 장 스펙트럼 센싱을 이용한 CR 프로토타입 개발 현황 및 상용화 전망

제 1 절 연구단체의 CR 프로토타입 개발 현황

1. ETRI

한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute; ETRI)에서는 3단계의 인지무선 플랫폼 개발을 계획하고 있으며, 현재까지 2단계의 테스트베드가 개발된 상황이다. ETRI 테스트베드는 TVWS 대역에서 ECMA-392 표준을 기반으로 제작되었으며, 다중입출력(Multiple Input Multiple Output ; MIMO)을 제공할 뿐만 아니라 DB와 스펙트럼 센싱을 연동하여 1차 사용자 신호를 감지할 수 있다. 또한 무선 자원 관리(Radio Resource Management ; RRM)를 통해 무선 채널 할당, 전력 제어 등이 가능하다. 그림 6-1은 ETRI에서 개발된 테스트베드를 보여준다[30].

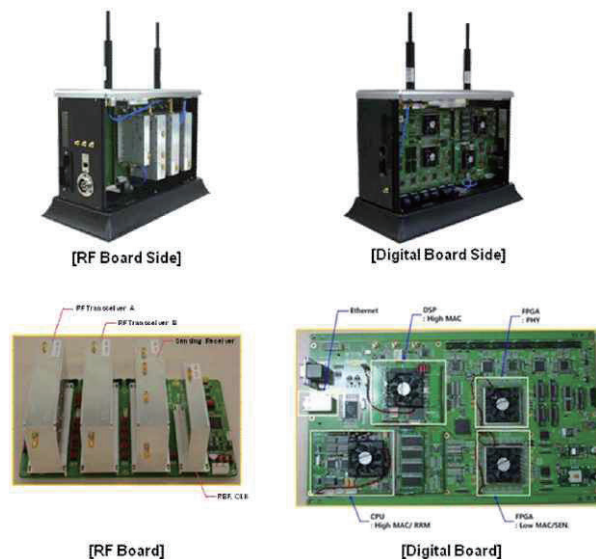


그림 6-1. ETRI 인지무선 테스트베드

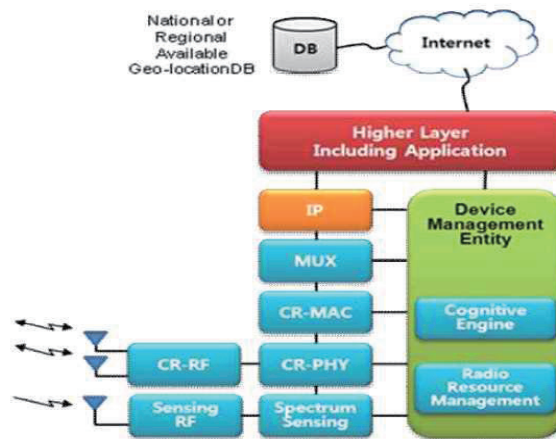


그림 6-2. ETRI 인지무선 테스트베드의 시스템 구조

ETRI 테스트베드는 그림 6-2와 같이 인터넷을 통해 DB에 접속하여 사용 가능한 채널 리스트와 최대 허용 전송 전력 정보를 수신한다. 또한, MIMO 동작을 위한 2개의 RF단이 존재하고, 반송파 묶음(Carrier aggregation)을 위한 2개의 데이터 제어 프로세스(data handling processes)와 MIMO 동작을 위한 통합 데이터 제어(integrated data control)가 PHY 모듈과 MAC 모듈에 구성되어 있다. ETRI 테스트베드는 1차 사용자 신호의 감지를 위한 스펙트럼 센싱단이 독립적으로 존재하며, 테스트베드의 시스템 파라미터 최적화를 수행하는 인지 엔진(cognitive engine)과 효율적인 자원 할당을 위한 RRM은 Device Management Entity에 구성되어 있다.

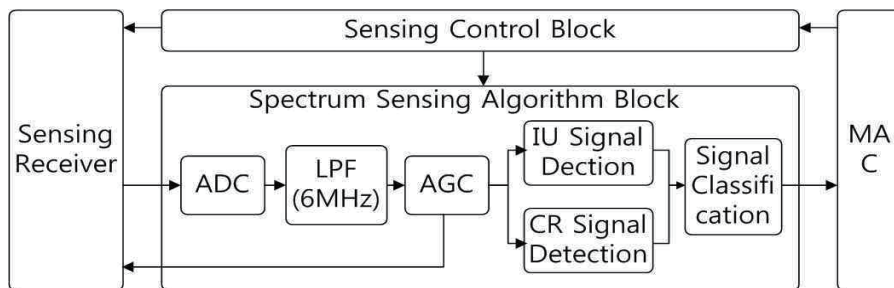


그림 6-3. ETRI 스펙트럼 센싱 모듈의 구조의 구조

그림 6-3은 스펙트럼 센싱 모듈의 구조를 나타낸다. MAC 모듈에서 채널에 적합한 스펙트럼 센싱 방식과 센싱 시간 및 센싱 주기를 결정한다. 센싱 제어 블록(Sensing control block)은 MAC 모듈의 명령을 해석하고 센싱 수

신기(Sensing receiver)와 센싱 알고리즘 블록(Sensing algorithm block)을 제어한다. 센싱 수신기단은 센싱 제어 블록의 명령어를 통해 채널 정보를 수신하고, 수신된 정보를 센싱 알고리즘 블록으로 전달하는 역할을 한다. 센싱 알고리즘 블록은 cyclo-stationary feature detection 알고리즘을 수행하여 디지털 TV 신호, 아날로그 TV 신호, 무선 마이크 신호를 검출할 수 있다.

2. NICT

일본 정보통신 연구기구(National Institute of Information and Communications Technology ; NICT)는 470~770MHz 대역에서 일본의 지상파 디지털 방송 규격인 ISDB-T(The Integrated Services Digital Broadcasting-Terrestrial)의 신호를 검출하는 스펙트럼 센싱 프로토타입을 개발하였다.[31] 그림 6-4는 ISDB-T 스펙트럼 센싱 프로토타입을 보여준다. ISDB-T 센싱 프로토타입은 OFDM 신호 스펙트럼의 중앙에 위치한 13개의 segment를 이용하여 신호를 검출하는 Partial bandwidth based feature detection(PB-FD) 방식의 스펙트럼 센싱 알고리즘을 적용하였으며, PB-FD를 통해 인접 채널에서의 간섭(adjacent channel interference ; ACI)으로 인한 센싱 성능의 열화 문제를 해결하였다.

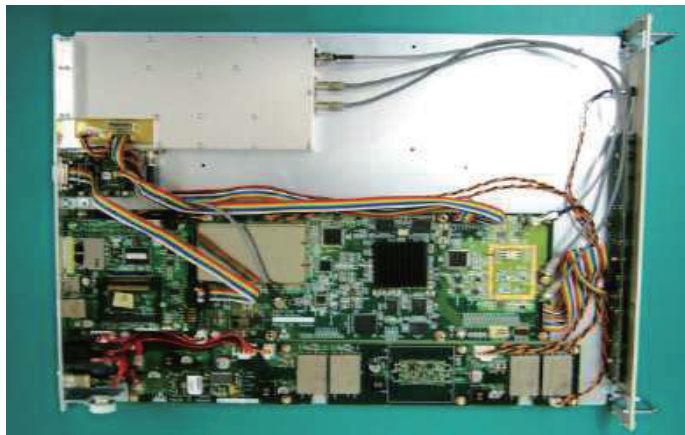


그림 6-4. NICT의 ISDB-T 센싱 프로토타입

ISDB-T 프로토타입은 그림 6-5에서와 같이 하나 이상의 안테나를 구성할 수 있고, 저잡음 증폭기(Low noise amplifier ; LNA)를 통해 잡음의 영향을

최소화 한다. 또한, Analog band-pass filter(BPF)를 통해 신호의 대역폭을 줄이고 인접채널 간섭을 제거한다. BPF단 이후에 Down conversion을 통해 신호를 IF(intermediate frequency) 대역으로 낮춘 후 FPGA단에서 스펙트럼 센싱이 이뤄진다.

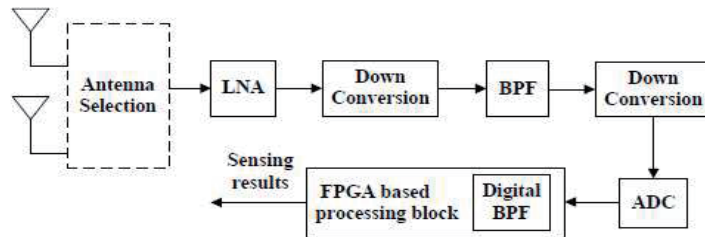


그림 6-5. NICT의 ISDB-T 센싱 프로토타입의 구성도

그림 6-6은 ISDB-T 센싱 프로토타입의 성능을 나타낸다. ISDB-T 신호에 대한 스펙트럼 센싱은 그림 6-6의 빨간 선과 같이 인접채널 간섭이 존재해도 약간의 성능의 저하를 가져오며, 오경보 확률이 1%일 때 ACI 존재에 상관없이 항상 90%이상의 검출 확률을 확인 할 수 있다. 또한 -115dBm의 송신 신호는 오경보 확률이 1%일 때는 검출확률이 90% 미만으로 떨어지지만, 오경보 확률이 10%일 때는 검출확률이 90%를 초과하는 것을 확인할 수 있다.

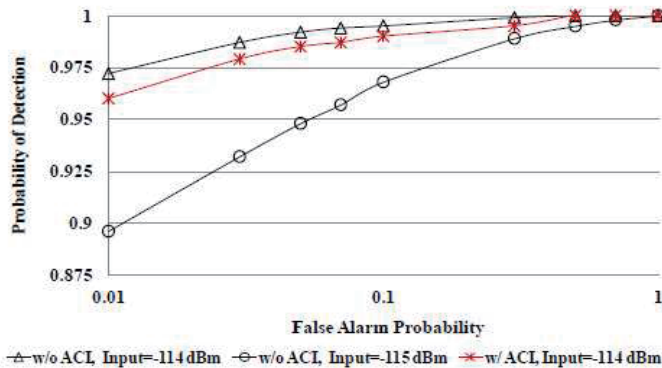


그림 6-6. NICT의 ISDB-T 센싱 프로토타입의 ROC 곡선

3. I²R

싱가포르의 인포컴 연구소(Institute for Infocomm Research ; I²R)는 2008년 FCC산하 OET에서 실시한 TVBD 2차 실험에 참여하였다.[32] I²R 프로토타입은 채널 21-51에서 동작하고 ATSC 신호, 무선마이크 신호를 감지할 수 있다.



그림 6-7. I²R의 프로토타입

I²R 프로토타입은 그림 6-8과 같이 TV 튜너를 통해 TV 신호를 수신 받고 IF 대역으로 주파수를 이동시킨 후 Digital front end 단에서 ADC, Down-conversion 및 필터링 과정을 거치게 된다. 그 후 센싱 알고리즘을 통해 1차 사용자 신호의 존재여부를 판별하고 그 결과를 GUI(Graphical user interface)를 통해 보여주는 구조이다. I²R 프로토타입은 DTV 모드와 All 모드로 동작하며, DTV 모드는 ATSC 신호를 감지하고 All 모드는 무선마이크

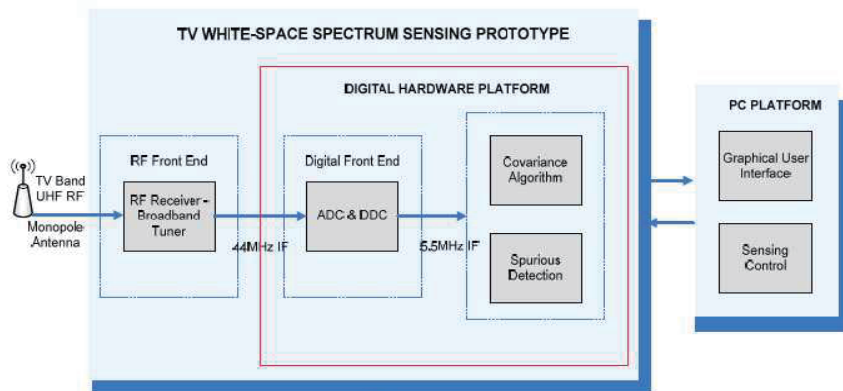


그림 6-8. I²R의 프로토타입 구조

신호를 감지한다. 적용된 센싱 알고리즘으로는 Covariance-based spectrum sensing algorithm, Hybrid spectrum sensing algorithm, Sub-carrier sensing algorithm이며 모두 MATLAB으로 구현되었다. 센싱 민감도는 -114dBm 부터 -125dBm까지 지원하며, 지원되는 주파수 범위는 48MHz부터 1,000MHz이다.

I²R 프로토타입의 성능은 그림 6-9과 6-10에 나타나 있다. 그림 6-9는 야외에서 안테나를 통해 실제 수신된 신호를 통해 실험한 프로토타입의 성능을 나타내고 6-10은 실내에서 모의실험을 진행한 프로토타입의 성능을 나타낸다.

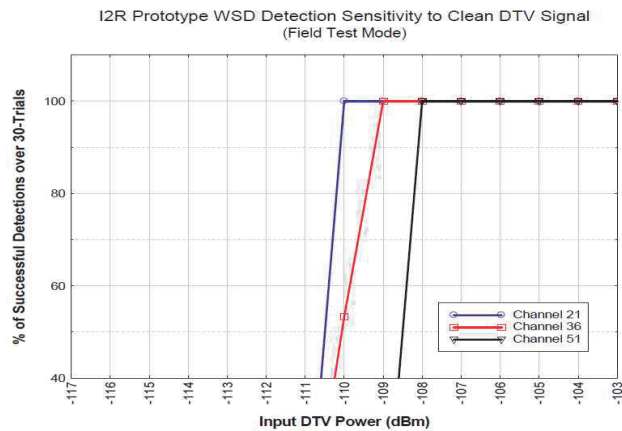


그림 6-9. I²R 의 프로토타입의 실측실험 DTV 수신 성능

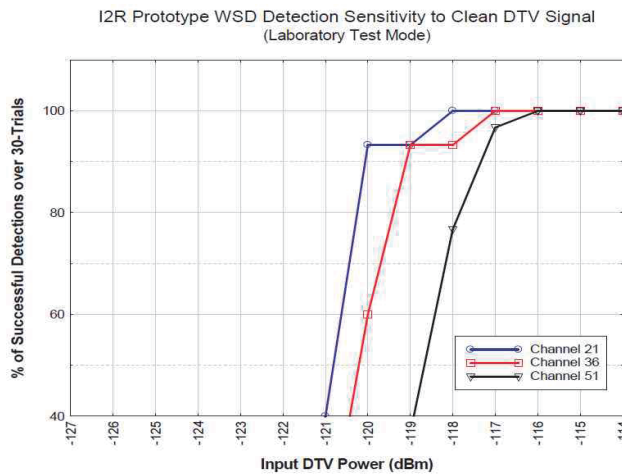


그림 6-10. I²R 의 프로토타입의 모의실험 DTV 수신 성능

제 2 절 산업체의 CR 프로토타입 개발 현황

1. Huawei

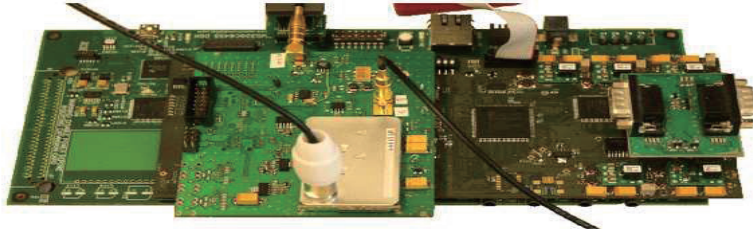


그림 6-11. Huawei의 스펙트럼 센싱 프로토타입

중국의 화웨이(Huawei)에서는 2012년에 TVWS 대역에서 동작하는 IEEE 802.22 WRAN 표준기반의 스펙트럼 센싱 프로토타입을 개발하였으며, 그림 6-11은 화웨이 프로토타입의 스펙트럼 센싱 모듈이다.[33] 검출 신호로는 중국의 지상파 디지털 방송인 DTMB(Digital Terrestrial Multimedia Broadcast) 신호, 아날로그 방송인 PAL-D/K(Phase Alternating Line) 신호, 휴대용 수신기용 방송인 CMMB(China Mobile Multimedia Broadcasting) 신호를 대상으로 한다. 각 신호의 감지를 위해 적용된 스펙트럼 센싱 알고리즘은 autocorrelation 기반의 센싱 알고리즘이다. 그림 6-12에서와 같이 스펙트럼 센싱 모듈은 크게 RF단, mixed-signal daughter card, C6455 DSP (Digital Signal Processor) Starter Kit (DSK)으로 구성된다. RF단의 안테나에서 수신된 신호를 IF대역으로 변환 후 아날로그 신호는 daughter card에서 ADC(analog-to-digital converter)에 의해 디지털화 된다. Daughter card에서 decimation 과정을 거친 신호는 C6455 DSK에서 스펙트럼 센싱 알고리즘에 의해 1차 사용자 신호 여부가 결정된다.

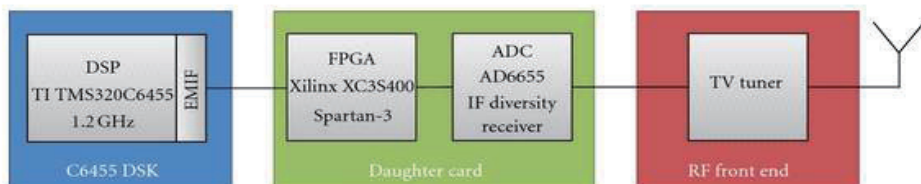


그림 6-12. Huawei의 스펙트럼 센싱 구조도

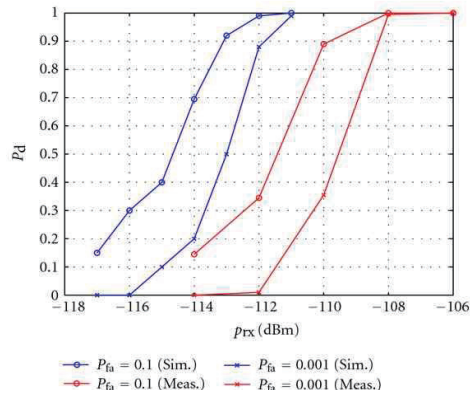


그림 6-13. DTMB의 실측 실험과 모의 실험 비교

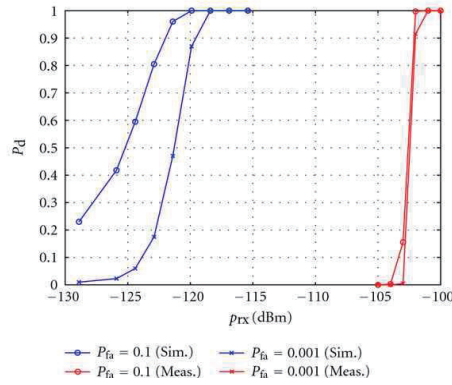


그림 6-14. PAL-D/K의 실측 실험과 모의 실험 비교

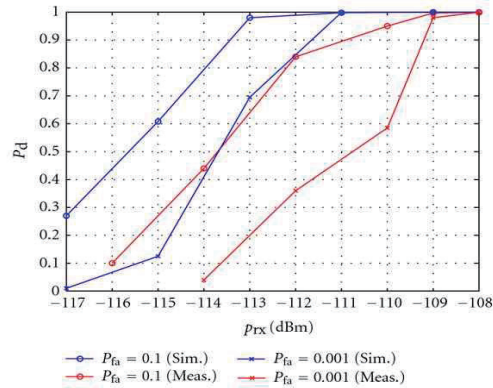


그림 6-15. CMMB의 실측 실험과 모의 실험 비교

그림 6-13, 6-14, 6-15는 각각 DTMB, PAL-D/K, CMMB의 측정 결과와 시뮬레이션의 성능 비교를 나타낸다. 오경보 확률이 10%과 1%의 두 가지

경우를 비교하였으며, 이때의 검출 확률은 90%로 모두 동일하다. 그림 6-13에서 DTMB 신호에 대한 실측값은 모의실험값 대비 3dB의 성능 저하가 나타난다. 90%의 검출 확률을 기준으로 오경보 확률이 10%일 때 감지민감도는 -111dBm이며, 오경보 확률이 1%일 때 감지민감도는 -109.5dBm이다. 그림 6-14에서는 PAL-D/K의 실측값이 모의실험값에 비해 큰 성능의 저하를 보였고, 90%의 검출 확에서 -102.5dBm의 감지 성능을 가진다.

2. Qualcomm

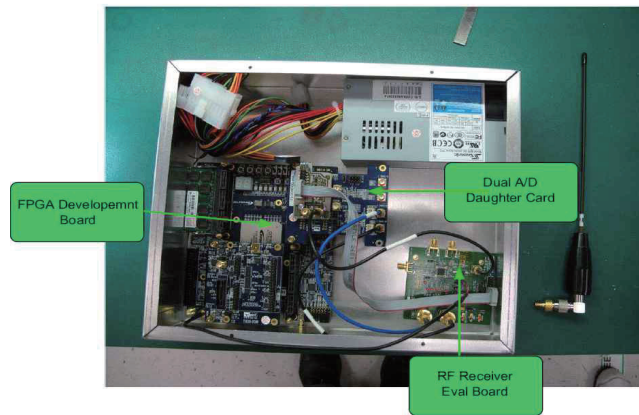


그림 6-16. Qualcomm의 프로토타입

Qualcomm의 센싱 프로토타입은 ATSC 신호, NTSC 신호 그리고 무선 마이크 신호를 모두 감지할 수 있다.[34] ATSC 신호 검출을 위한 센싱 알고리즘으로는 ATSC 신호를 구성하는 pilot tone을 감지하는 ATSC PLL-based Pilot Sensing 방식이 적용되었다. NTSC 신호 검출 또한 ATSC 센싱과 유사한 과정을 거치게 된다. NTSC 신호는 luminance carrier, chrominance carrier 그리고 audio carrier로 구성되며, 대부분의 전력이 luminance carrier에 집중되므로 luminance carrier의 감지를 통해 NTSC 신호를 검출할 수 있다. 그림 6-16은 Qualcomm의 센싱 프로토타입을 보여준다. Qualcomm 프로토타입은 그림 6-17과 같이 공간 다이버시티(Spatial diversity)를 위해 2개의 안테나를 지원하고, 입력 신호의 진폭 변동을 검출하여 출력 신호의 진폭이 언제나 일정하게 유지되도록 하는 자동 이득 제어(Automatic gain control ; AGC) 회로의 적용을 위해 VSA(Variable gain

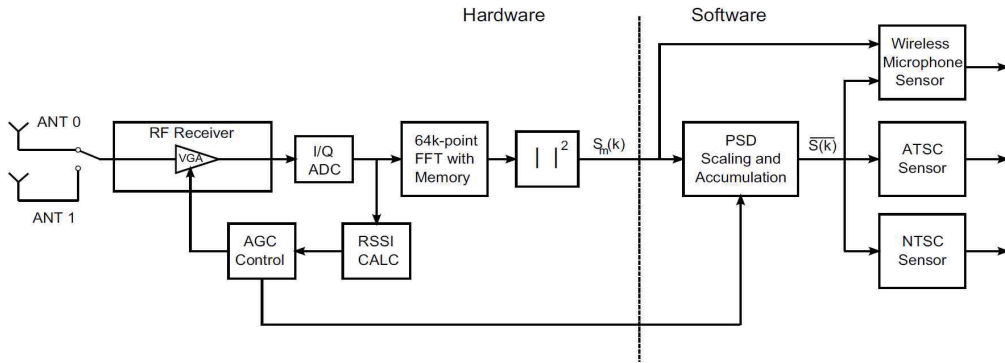


그림 6-17. Qualcomm의 프로토타입 구조도

amplifier)를 구성하였다. RF 수신기는 곧바로 기저대역 신호로 변환해주는 변환 수신기이며, 기저대역 신호는 ADC(Analog to digital converter)에 의해 표본화된다. 표본화된 신호는 RSSI(Receive signal strength indicator) 단을 거쳐 ADC에서의 출력 전력으로 산출되고, 측정된 전력값은 다시 AGC 회로로 입력되어 VGA 이득을 제어하는 되는 동시에 FFT(Fast fourier transform) 과정을 거쳐 주파수 영역 신호로 변환되고, 최종적으로 전력 스펙트럼 밀도(Power spectrum density; PSD)가 산출된다. 신호 수신부터 PSD 산출까지 한 quiet period 동안에 진행되며, 한 quiet period가 지날 때마다 PSD값은 누적되어 무선마이크 센서, ATSC 센서, NTSC 센서로 입력된다.

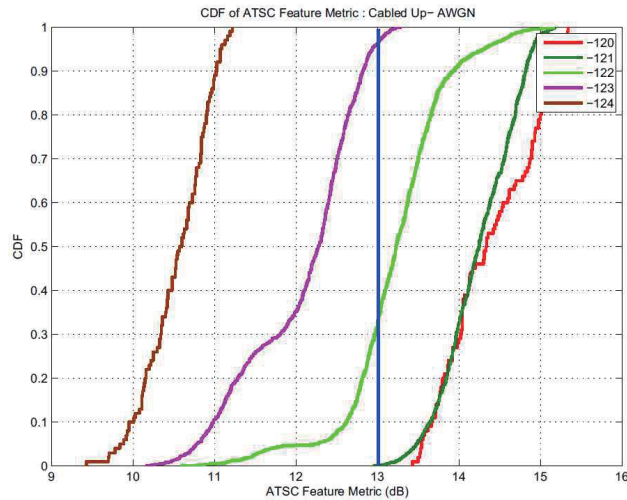


그림 6-18. 전송전력에 따른 ATSC 신호의 CDF

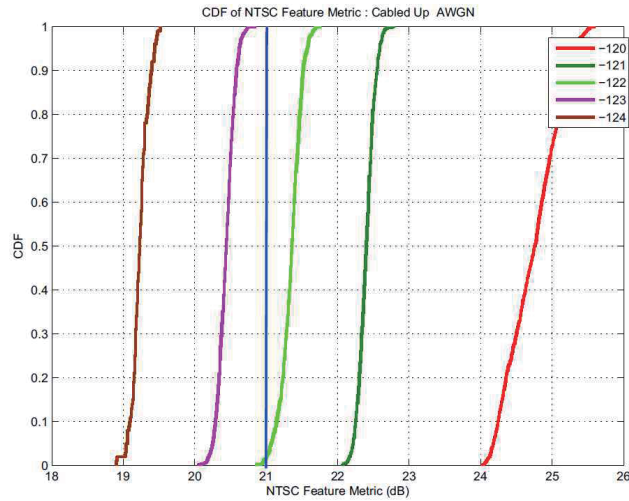


그림 6-19. 전송전력에 따른 NTSC신호의 CDF

그림 6-18과 19은 각각 AWGN 채널 환경에서 전송전력에 따른 ATSC와 NTSC의 검출 통계치(Test statistics)의 누적분포함수(Cumulative distribution function; CDF)를 나타낸다. 파란색 수직선은 검출 임계값을 나타내며, ATSC는 13dB, NTSC는 21dB이다. ATSC 신호와 NTSC 신호 모두 전송신호의 전력의 -121dBm까지는 Miss detection rate가 0%로 되는 것을 확인할 수 있다.

제 3 절 스펙트럼 센싱을 이용한 무선인지 기술 상용화의 한계

1. 엄격한 센싱 감도

산학연을 중심으로 다양한 스펙트럼 센싱 기술이 연구되고 있으나 정밀도 개선을 위한 융합적인 접근 방법이 필요한 실정이다. 미국 FCC의 TVWS 서비스 규격(FCC 10-174)의 경우, 기존 스펙트럼 센싱 기술이 엄격하게 요구되는 감지 성능을 충족할 수 없어 스펙트럼 센싱 방식은 선택사항으로 명시하고, DB 기반의 단독 운용 방식만을 수용한 상황이다. 스펙트럼 센싱 기술의 감지 성능 미충족 문제는 인접 채널에 간섭신호가 존재할 때 더욱 두드러지게 나타난다. 특히, 무선마이크 신호의 경우 그림 6-20에서와 같이 6MHz의 TV 대역폭 중 200kHz의 대역폭에 신호의 정력이 집중된 Spike 형

태인데 이러한 형태의 스펙트럼은 무선 마이크 신호가 존재하지 않는 채널

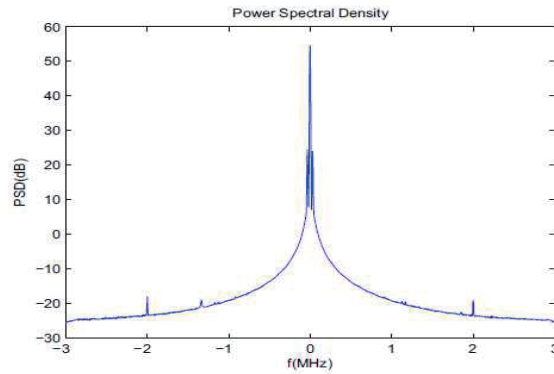


그림 6-20. 수신한 무선 마이크 신호의 전력 스펙트럼 밀도

환경에서도 자주 관찰되기 때문에 Spike 형태의 신호가 무선 마이크 신호인지 다른 기기의 간섭 신호인지 구분하기가 매우 어렵다. 실제로 그림 6-21을 살펴보면 6MHz의 대역폭을 가진 TV 채널의 전력 스펙트럼 밀도를 나타내고 있다. 1MHz 위치에 존재하는 Spike 형태의 신호가 무선 마이크 신호이며, 그 외 대역에서 신호들은 수신자가 알 수 없는 협대역 간섭 신호들이 혼재되어 있는 것을 확인할 수 있다.

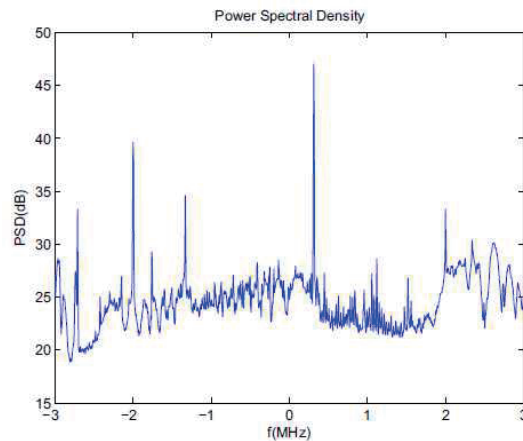


그림 6-21. 6MHz 대역 TV 채널의 전력스펙트럼 밀도

2. 하드웨어 요구 조건

인지무선 기기를 위한 스펙트럼 센싱은 높은 표본화 주파수, 높은 분해능을 가진 AD 컨버터(Analog to digital converters; ADCs), 빠른 속도의 디지털 신호처리 장치(Digital signal processors)가 필요하다. 이러한 성능을 만족시키기 위해서는 하드웨어의 크기가 커지고 가격이 상승하게 되어 휴대용 소형 단말기에 센싱 칩을 내장하기에는 큰 무리가 따르는 실정이다. 최근에는 센싱 처리시간 및 복잡도 감소를 추구하는 압축 센싱(Compressed sensing) 기법이 새롭게 연구되고 있으나 신호를 완벽하게 복구하기 위한 최적의 계수 설계에 어려움이 있다. 또한 그림 6-22와 마찬가지로 신호의 성

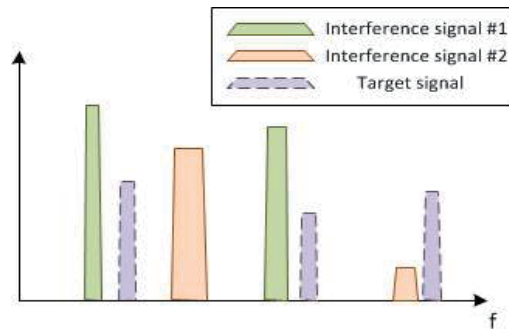


그림 6-22. Near-far problem

긴 특성을 이용한 압축 센싱의 알고리즘은 대상 신호의 인접 대역 내에 큰 세기에 간섭 신호가 존재하게 될 시 신호의 복구 어려워지는 Near-far problem이 발생하게 된다.

3. 다양한 변조방식에 대한 감지 문제

다수의 협대역 채널에서 동적으로 주파수를 변화시키는 주파수 도약 확산 스펙트럼 방식(Frequency hopping spread-spectrum; FHSS)의 경우 중심 주파수가 의사랜덤부호(Pseudo random code)에 의해 무작위로 도약(Frequency hopping)하게 된다. 이러한 주파수 도약 확산 스펙트럼 방식을 사용하는 1차 사용자의 신호인 경우 신호의 전력이 넓은 주파수 대역에 걸쳐 분산되므로 CR 기기는 1차 사용자의 신호를 감지하기가 매우 어렵다[35].

1차 사용자의 주파수 도약의 패턴을 사전에 정확히 알고 있거나 1차 사용자 신호에 대한 완벽한 동기화가 이루어질 때에만 1차 사용자 신호의 감지가 부분적으로 가능하다는 단점이 있다.

4. 센싱의 주기와 전송량의 trade-off

1차 사용자는 그들의 서비스 대역을 언제든지 요구할 수 있으며, 이때 2차 사용자는 1차 사용자와의 간섭을 피하기 위해 일정한 센싱 주기를 가지고 1차 사용자의 존재 여부를 확인해야 한다. 만일 1차 사용자의 존재가 확인되면 가능한 빠르고 즉각적으로 채널을 비워야 한다. 스펙트럼 센싱과 신호의 전송은 동시에 이루어질 수 없기 때문에 전송중단주기(Quiet period)를 통하여 스펙트럼 센싱이 진행되는 동안 데이터의 전송을 중단하게 된다. 이때 스펙트럼 센싱의 주기가 짧아질수록 2차 사용자의 평균 전송량(Throughput)은 감소하게 되므로 센싱 주기와 평균 전송량간 균형(Trade-off)이 필요하다. 2차 사용자의 전송량에 영향을 최소화하는 최적의 센싱 주기 설정에 대한 연구가 진행되었다[36].

5. 다양한 무선 채널의 환경에 민감

페이딩(Fading), 쉐도우잉(Shadowing), 백색잡음(Additive white gaussian noise ; AWGN)등의 무선 채널의 영향으로 인해 1차 사용자 신호가 감쇄되거나 지연되어 2차 사용자가 1차 사용자의 존재 유무를 정확히 판단하기 어렵다. 특히 은닉 노드(Hidden Node)로 인해 1차 사용자에게 원치 않는 간섭을 발생 시킬 수 있다. 그림 6-23은 은닉 노드 문제를 나타내며 은닉 노드 문제를 해결하기 위한 방안으로 복수 단말기의 센싱 정보를 종합하여 1차 사용자 신호의 존재를 판별하는 협력 센싱(Cooperative sensing)이 대세를 이루고 있다. 하지만 인지무선 네트워크에서 협력 센싱에 참여하는 센싱 기기의 수가 충분하지 않으면 협력 센싱의 공간적 다이버시티 효과를 충분히 어려운 문제점이 발생한다. 또한 협력 센싱은 개별 단말 센싱의 결과인 로컬 센싱의 판정값을 융합센터에 전송 시 보고 채널(Report channel)을 이용하게 된다. 이러한 보고 채널은 추가적인 대역폭을 요구하며, 로컬 센싱의 결과 전송 시 오류가 발생하면 융합센터에서의 최종 판정의 신뢰성이 저하되는

문제점이 발생한다.

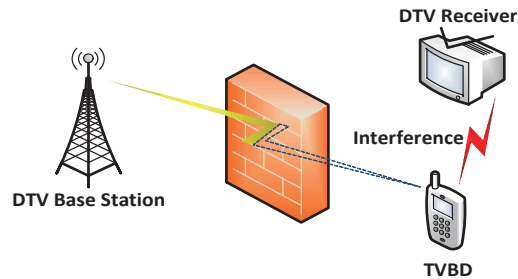


그림 6-23. 은닉 노드 문제

제 4 절 스펙트럼 센싱을 이용한 무선인지 기술의 상용화 전망

3절에서 언급한 바와 같이 현재 무선인지 기술은 스펙트럼 센싱의 구현상의 한계로 인하여 DB를 통해 간섭을 회피하는 방안이 제시되었고, 미국에서는 Google, Spectrum bridge, Telcodia에서 DB를 통해 TVWS기반의 무선인지 서비스가 진행 중이다. 본 절에서는 향후 스펙트럼 센싱을 이용한 무선인지 기술의 상용화 전망을 제시하고 8장에서 국내에 적합한 상용화 모델을 도출해본다.

1. 방송통신 분야

○ TV 화이트 스페이스 기반 인지무선 기술 상용화 전망

TVWS 기반의 인지무선 기술은 이미 DB 접근 방식의 간섭회피방법을 적용하여 미국을 중심으로 상용화가 시작되었다. 현재 국내에서도 국립전파연구원에서 TVWS에서 활용 가능한 DB를 구축하고 있으며, 전파진흥원에서 운용을 할 예정이다. 스펙트럼 센싱 기술이 적용된 무선 인지 기술이 2016년부터 상용화될 예정이다. 현재까지 스펙트럼 센싱 단독 기반의 무선 인지 서비스 상용화는 어려운 상황이지만 DB와 센싱 연동 기반 무선 인지 서비스는 센싱 단독 인지무선 서비스보다 빠른 도입이 가능하다.

2. 스펙트럼 센싱 기술별 상용화 전망

가. 송신기 검파 스펙트럼 센싱

스펙트럼 센싱 기술은 2장에서 언급된 바와 같이 송신기 검파 방식(단일 센싱), 협력 센싱 방식, 압축 센싱 방식이 있다. 송신기 검파 방식의 경우 IEEE 802.22 WRAN 표준, ECMA-392 표준에서 이미 센싱 시간, 센싱 감도에 대한 성능이 제시되어 있다. 하지만 센싱 알고리즘이 기술기준을 만족할지라도 실제 통신 환경에서는 인접대역에서 무수히 많은 간섭원들이 존재하고 은닉 노드가 존재할 때 1차 사용자 신호의 존재를 확인할 수 없으므로 송신기 검파 방식의 스펙트럼 센싱을 통한 인지 무선 상용화의 도입은 적절하지 않다. 이미 3절에서 언급한 바와 같이 무선마이크 신호에 대한 센싱은 성능이 크게 떨어진다. 특히 비특성 검파 방식에서는 고려하는 대역에서 무선마이크 신호와 간섭 신호를 구분할 수 없으므로 특성 검파를 통한 센싱이 이루어져야 하지만 실제 환경에서 적용하기엔 부족한 부분이 많다.

나. 협력 스펙트럼 센싱

협력 스펙트럼 센싱의 상용화를 위해서 단말 간 센싱 정보를 공유하고 최종 판정을 내리기 위한 융합 센터가 필요하고 국내에서는 융합센터에 대한 인프라 구축이 되어 있지 않으므로 기술 기준 정립 및 융합 센터의 인프라 구축을 위한 제도적 기반이 마련되어야 한다. 또한 융합 센터와 센싱 기기간의 정보를 송수신하는 채널의 구성이 필요하다. 융합 센터와 센싱 기기간의 채널은 센싱의 판정 결과를 전송하는 보고 채널과 융합 센터에서 센싱 기기 간 협력적 센싱을 제어하는 제어 채널이 존재하며, 제어 채널은 협력 센싱 뿐만 아니라 이중 네트워크 간의 통신을 가능하게 하고, 단말이 네트워크에 접근했을 때 최적의 단말 주변의 환경에 적합한 통신 파라미터 정보를 제공해 주게 하므로 네트워크와 단말의 효율적인 통신을 위해 연구가 필요한 분야이다. 협력 센싱의 상용화를 위해서 1차 사용자와 2차 사용자의 공존뿐만 아니라 동일한 네트워크에 접속한 2차 사용자간의 공존 문제도 고려해야 한다. 동일한 네트워크에 많은 수의 단말이 존재할 경우 간섭의 가능성이 존재하므로 효율적인 네트워크 관리 기법을 통해 간섭의 영향을 감소시켜야 한다.

다.

다. 압축 센싱

압축 센싱은 스펙트럼 센싱 뿐만 아니라 신호처리 및 통신 분야에서도 유망한 기술 중의 하나이며, 압축 센싱이 상용화 될 경우 통신 및 신호처리 분야에 큰 영향을 미칠 것으로 기대된다. 하지만 압축 센싱의 연구단계가 초기단계이며, 상용화를 위해서는 압축 센싱 분야의 많은 학문적 진전이 필요하다. 압축 센싱의 경우 1차 신호 검출을 위한 스펙트럼 센싱의 역할 뿐만 아니라 다수 협력 센싱의 판정 값을 처리하거나 ADC에서의 표본화 과정을 획기적으로 줄일 수 있다. 압축 센싱의 상용화를 위해 잡음이 더해졌을 때 신호의 성긴 특성을 유지할 수 있는 방안이 연구되어야 하며, 알고리즘의 복잡성을 개선할 수 있는 방안도 연구되어야 한다.

제 7 장 스펙트럼 센싱의 국내 도입방안

제 1 절 스펙트럼 센싱 도입을 위해 선행되어야 할 연구 과제

스펙트럼 센싱 기술은 CR에서 핵심적인 간섭 회피 기술이나 현재 구현의 한계로 인해 상용화의 벽에 부딪힌 상황이다. 국내에서는 미래창조과학부 주도로 2014년부터 2016년까지 스펙트럼 센싱 기반 CR 기기의 기술 기준을 확정하고, 2017년에 센싱 기반 CR 기기에 대한 국내 표준을 완료할 예정이다. 따라서 다양한 대역에서 활용할 수 있는 스펙트럼 센싱의 국내 도입 방안 마련과 함께 현재 스펙트럼 센싱의 상용화를 가로막은 센싱 기술의 한계를 해결하기 위한 연구가 필요하다. 본 절에서는 스펙트럼 센싱의 기술기준 마련과 센싱 단독 기기의 상용화에 앞서 선행되어야 할 연구 과제를 제시한다.

1. 스펙트럼 센싱의 성능을 개선하는 알고리즘 연구

가. 무선 마이크 신호 검출용 센싱 알고리즘 연구

(1) 연구의 필요성

무선마이크 신호의 경우 6MHz의 TV 대역폭 중 200kHz의 대역폭에 신호의 전력이 집중된 Spike 형태인데 이러한 형태의 스펙트럼은 무선 마이크 신호가 존재하지 않는 채널 환경에서도 자주 관찰되기 때문에 Spike 형태의 신호가 무선 마이크 신호인지 다른 기기의 간섭 신호인지 구분하기가 매우 어렵다. 기존의 무선마이크 신호 감지를 위해 연구된 다양한 알고리즘들은 채널에 무선 마이크 신호와 백색잡음만 존재한다고 가정하기 때문에 인접채널 간섭 신호(ACI)가 존재할 경우 무선 마이크 신호의 검출은 더욱 어려워진다. 따라서 인접채널에 간섭 신호가 존재할 시 간섭 신호와 무선 마이크 신호를 구분할 수 있는 알고리즘 개발이 필수적이다.

(2) 연구의 목적 및 내용

- Filter bank를 통한 광대역 무선 마이크 신호 검출 알고리즘 연구
 - 고려하는 대역에서 Filter bank를 통한 협대역 신호 분리하고 정합 필터를 이용한 무선마이크 신호 검출하는 방안 연구
 - 신호의 정확한 동기 및 등화기 구현으로 인한 수신기의 복잡성을 개선하는 방안 연구

(3) 기대효과

- 무선 마이크 신호에 대한 인접 채널 간섭의 영향 최소화를 통한 검출 성능 향상

나. 압축 센싱과 최소분산 비왜곡 응답을 이용한 스펙트럼 센싱 알고리즘 연구

(1) 연구의 필요성

RF 안테나를 통해 수신 받은 신호는 ADC를 통해 표본화 과정을 거친다. 표본화 과정은 신호의 최대 주파수의 2배 이상으로 표본화 하면 그 신호를 오류 없이 원신호로 복원 가능한 나이퀴스트 표본화 이론을 따른다. 하지만 데이터의 크기는 증가하고 고속의 표본화률(sampling rate)을 요구하는 방향으로 현대 통신이 발전함에 따라 ADC의 복잡성과 가격이 크게 증가하는 결과를 가져왔다. 스펙트럼 센싱 역시 광대역에서 짧은 시간 내에 1차 사용자 신호를 검출해야 하므로 고속의 값비싼 ADC를 요구할 뿐만 아니라 많은 전력을 소비하게 된다. 하지만 압축 센싱을 적용하면 신호의 성긴(Sparse) 특성을 이용하여 기존의 나이퀴스트 주파수 7)보다 훨씬 작은 주파수로 표본화하므로 스펙트럼 센싱의 하드웨어 구현의 어려움을 해결할 수 있다. 하지만 압축 센싱의 복구 알고리즘은 반복적인 구조로 인해 복잡하고 많은 계산량을 요구한다. 이러한 문제를 극복하기 위해 시스토크 어레이 구조를 가지는 최소분산 비왜곡 응답 (Minimum variance distortionless response ; MVDR) 알고리즘을 이용하면 복구 알고리즘의 복잡성을 감소시킬 뿐만 아니라 신호의 크기를 일정하게 유지하면서 간섭 신호와 잡음 신호 성분을 최소화할 수

7) 나이퀴스트 주파수 : 신호의 최대 주파수의 2배가 되는 주파수

있다[37]. 따라서 최소분산 비왜곡 응답 기법을 적용한 압축 센싱을 통해 데이터 처리해야 할 표본의 수를 줄이고 잡음이나 간섭의 영향을 줄일 수 있다.

(2) 연구의 목적 및 내용

(가) 압축 센싱과 최소분산 비왜곡 응답을 통한 스펙트럼 센싱 기법 연구

- 압축 센싱을 통해 광대역에서 1차 사용자 신호를 검출하는 알고리즘 연구
- 광대역에서 1차 사용자 신호의 인접대역에서 큰 세기의 간섭 신호가 존재할 경우 신호를 완벽히 복원할 수 없는 Near far problem을 해결하는 방안 연구
- 압축 센싱에서 잡음의 영향이 클 때 신호를 완벽히 복구할 수 없는 문제점의 해결방안 모색
- 압축 센싱을 이용하여 협력 센싱에 참여하는 많은 수의 로컬 센싱 관점값을 효과적으로 압축하고 완벽하게 복구하는 방안 연구

(나) 최소분산 비왜곡 응답을 통한 스펙트럼 센싱 알고리즘의 복잡도 개선 연구

- 최소분산 비왜곡 응답 기법을 적용하여 압축 센싱 복구 알고리즘의 복잡도 개선 및 간섭, 잡음 신호 영향의 최소화 연구

(3) 기대효과

- 스펙트럼 센싱 하드웨어의 전력 소모 및 높은 구현 가격 개선
- 1차 사용자 신호 검출에 대한 잡음과 간섭의 영향 최소화

2. 센싱과 DB의 연동 기반의 테스트베드 구현

가. 무선 제어 채널의 구현

ITU-R에서 정의한 인지무선 시스템(Cognitive radio system ; CRS)은 주변의 지리적 환경과 동작 환경의 정보를 획득하고 학습하며, 미리 정의된 목표를 수행하기 위해 능동적이고 자율적으로 동작 파라미터와 프로토콜을 조

정하는 기술을 수행하는 라디오 시스템이다.[38] 무선인지 시스템은 그림

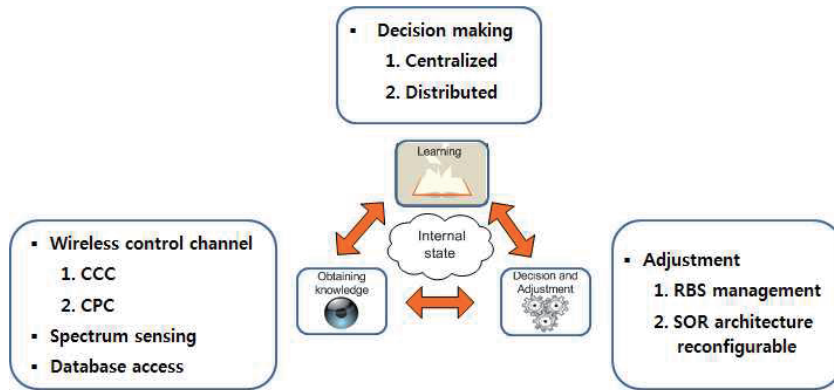


그림 7-1. 무선인지 시스템의 기능

7-1과 같이 인지(Obtaining Knowledge), 판단 및 적응(Decision and Adjustment), 학습(Learning) 3가지의 기능을 수행한다. 이중 ‘인지’ 단계에서는 스펙트럼 센싱, DB 접근, 무선 제어 채널(Wireless control channel)을 통해 단말기의 동작환경, 지리적 환경 및 내부 상태 정보를 획득하는 등의 역할을 한다. 무선 제어 채널은 인지 제어 채널(Cognitive control channel ; CCC)과 인지 파일럿 채널(Cognitive pilot channel ; CPC)로 구성된다. 인지 제어 채널은 서로 다른 인지 무선 시스템간의 스펙트럼 사용법 혹은 정책 및 법령 정보 접근, 공유와 공존과 관련된 정보들을 교환하는 기능 등을 한다. 표 7-1은 인지 제어 채널의 기능을 나타낸다.

표 7-1. 인지 제어 채널의 기능

구분	기능
공유와 공존	<ul style="list-style-type: none"> • 같은 네트워크에서의 스펙트럼 공유에 대한 정보교환 (네트워크 기능, 특성, 스펙트럼)
협력 센싱	<ul style="list-style-type: none"> • 동일한 : quiet period 사용 • 다른 네트워크 간 센싱 결과 공유
네트워크 접근	<ul style="list-style-type: none"> • 독립 네트워크 또는 이기종 네트워크 발견 및 접근
정책 및 법령 정보 접근	<ul style="list-style-type: none"> • 특정 주파수 대역의 사용 또는 공유에 관한 정책 공유

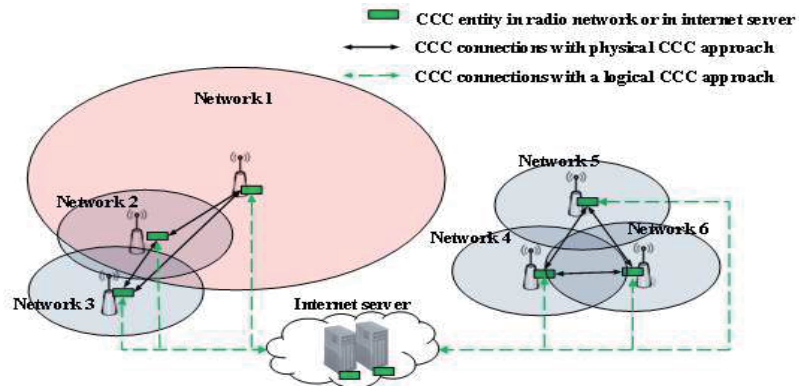


그림 7-2. 이종 인지 네트워크의 무선 제어 채널 동작과정[38]

인지 제어 채널은 이기종 네트워크 간의 정보를 공유하거나 전달할 수 있는 기능이 있다. 그림 7-2는 이종 인지무선 시스템 네트워크간의 인지 제어 채널 동작과정을 나타내고 있다. 서로 인접한 네트워크 간에는 직접적인 물리적인 연결을 통해 cognitive control 정보를 교환하고, 멀리 떨어진 네트워크 간에는 인터넷 서버를 경유하는 논리적 연결을 통해 인지 제어 정보를 교환하게 된다. 인지 제어 채널의 동작은 인지 제어 채널 초기화, 다른 네트워크 노드 발견, 관련 노드와의 연결, 연결된 노드와의 제어 정보 교환 및 수신과 같은 4단계의 과정을 거치게 된다.

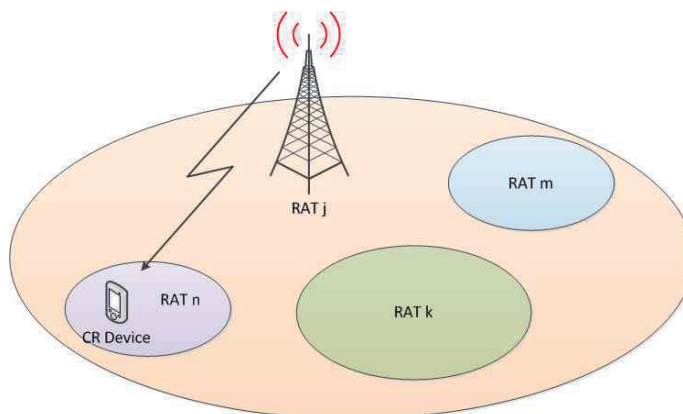


그림 7-3. Out-band 방식의 인지 파일럿 채널

인지 파일럿 채널은 공통된 파일럿 채널을 통해 네트워크를 구성하는 단

말거나 기지국이 채널의 점유 상태를 알게 하도록 필요한 정보를 전송하는

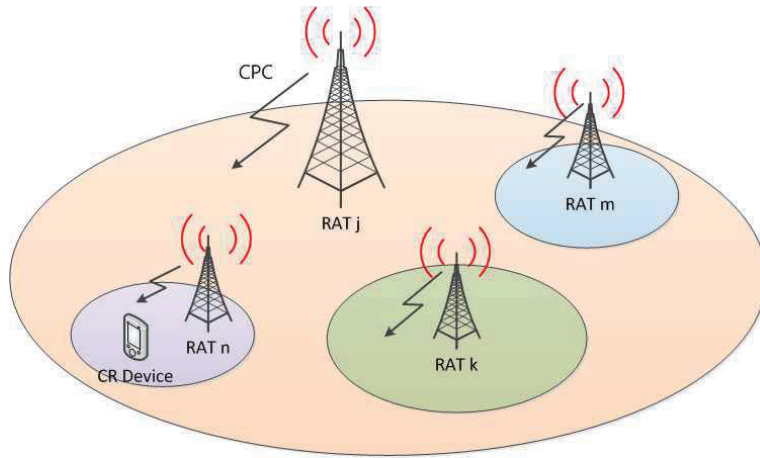


그림 7-4. In-band 방식의 인지 파일럿 채널

역할을 한다. 또한, 단말기가 사용할 수 있는 최적의 무선접속 기술(Radio access technology ; RAT) 및 사용 가능 주파수 대역 등을 알려주는 역할을 한다. 일반적으로 단말기나 기지국은 통산을 초기화 할 때 지형적 조건과 같이 환경에 가장 적합한 통신 방식 및 주파수 대역을 검색하고 선택해야 한다. 이러한 일련의 과정은 단말기나 기지국으로 하여금 전력 소비 및 검색 시간을 필요로 할 뿐만 아니라 은닉 노드 존재 시 채널을 점유하고 있는 1차 사용자를 찾지 못한다. 하지만 인지 파일럿 채널을 이용하면 보다 적은 시간 및 소비 전력으로 주파수 대역 및 RAT를 선택할 수 있게 해준다. 인지 파일럿 채널은 out-band 방식과 in-band 방식이 있고, 각각 그림 7-3와 7-4에 나타내었다.[38] Out band 방식의 인지 파일럿 채널은 단말기가 해당 위치에서 이용 가능한 네트워크에 대한 파라미터 정보를 단말기에 전송해주는 방식이다. In band 방식의 인지 파일럿 채널은 단말기가 선택한 최적의 RAT에서 단말로 스펙트럼 규제정책과 같은 세부적인 정보를 전달함으로써 단말이 좀 더 효율적으로 주파수 자원을 이용하도록 도와준다. 인지 파일럿 채널의 동작은 out band 인지 파일럿 채널이 단말의 현재 위치에서 기본 파라미터 정보를 획득하고, 획득한 정보로부터 최적의 RAT를 선택하도록 한다. 단말이 네트워크에 접속하면 out band 인지 파일럿 채널의 동작은 끝나게 되며, in band 인지 파일럿 채널을 통해 세부적인 정보를 수신 받아 네트워크의 구성을 완료한다.

(1) 무선 제어 채널 인프라 구축의 필요성

무선 제어 채널은 다양한 무선 접속 기술이 존재하는 이종 네트워크(Heterogeneous Network) 환경에서 단말이 빠르고 효율적으로 무선 접속 기술(Radio access technique; RAT)을 선택하고, 최적의 통신 파라미터를 구성하게 하는 핵심적인 역할을 수행한다. 또한, 인지 라디오 기술을 사용하는 인지 이종 네트워크 환경(Cognitive Heterogeneous Network)에서 각 인지 무선 노드들 간에 자유로운 통신이 가능하게 할 뿐만 아니라 각 노드들이 수행한 스펙트럼 센싱의 결과를 취합하고 최종 판정을 하는 협력 센싱을 가능하게 한다. 이처럼 무선 제어 채널은 단말이 효율적으로 스펙트럼 센싱을 수행하는데 있어 핵심적인 역할을 하므로 선행 연구를 통한 인프라 구축이 필수적이다.

(2) 연구의 목표 및 내용

- 무선 제어 채널 구현을 통한 효율적인 통신 환경 구성
 - 인지 제어 채널을 통한 협력 센싱 구현
 - 인지파일럿 채널을 통한 단말 주변의 통신 환경 정보(스펙트럼 센싱 등) 획득

(3) 기대효과

- 단말의 네트워크 접속 시간 및 소비전력 감소
- 이종 네트워크간의 효율적인 통신 링크 구성
- 각 인지 네트워크에서의 협력 센싱 구현

나. 스펙트럼 센싱과 DB의 연동형 TVWS 테스트베드 연구

(1) 연구의 필요성

스펙트럼 센싱과 DB연동을 통해서 스펙트럼 센싱과 DB의 한계를 극복할 수 있다. 스펙트럼 센싱 관점에서는 협력 센싱에 참여하는 CR 기기의 수가 충분하지 않거나 혹은 요구되는 감지 성능을 충족하지 못한 단일 CR 기기가

1차 사용자를 감지하지 못할 경우 DB에서 수신 받은 1차 사용자의 위치 정

표 7-2. 스펙트럼 센싱과 DB 연동의 이점

구분	연동의 이점
센싱 관점	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 은닉 노드의 문제 해결 ▪ 협력 센싱에 참여하는 로컬 센싱의 수가 충분하지 않아 요구되는 센싱의 성능보다 떨어질 때 DB와의 Decision making을 통해 성능 보완
DB 관점	<ul style="list-style-type: none"> ▪ DB에 등록되지 않은 1차 사용자가 존재할 경우 센싱을 통해 1차 사용자 보호 ▪ 2차 사용자가 DB 접속이 불가할 경우 센싱을 통한 채널 정보 획득 ▪ 실내에서 DB 등록자의 이동에 따른 2차 사용자의 간섭 방지 ▪ 1차 사용자 정보의 변동에 따른 데이터 베이스 실시간 업데이트 문제 극복

보를 통해 2차 사용자의 간섭을 방지할 수 있다. 반면 DB 관점에서는 DB에 등록되지 않은 1차 사용자가 존재하거나 2차 사용자가 DB 접속할 수 없을 때에도 센싱을 통해 1차 사용자를 감지할 수 있다. 뿐만 아니라 실내에서 1차 사용자가 이동하며 1차 서비스를 이용할 때 DB 정보만 있는 2차 사용자는 1차 사용자에게 간섭을 유발할 수 있지만 센싱을 함께 활용한다면 간섭을 방지할 수 있다. 스펙트럼 센싱과 DB 연동의 이점은 표 7-2에 나타내었다. 표 7-3와 그림 7-5는 각각 [18]에 소개된 스펙트럼 센싱의 결과와 DB 정보를 연동하여 최종적으로 1차 사용자의 존재를 결정하는 Decision making 표와 순서도를 나타낸다. CR 기기는 DB 정보로부터 1차 사용자가 있다고 판단하면 geolocation DB flag에 1이라고 기록되며, 1차 사용자가 없다고 판단하면 geolocation DB flag에 0이라고 기록한다. 마찬가지로 스펙트럼 센싱 후 1차 사용자가 있다고 판단하면 Sensing flag에 1이라고 기록하며, 1차 사용자가 없다고 판단하면 Sensing flag에 0이라고 기록한다. 최종적으로 기록된 geolocation DB flag와 Sensing flag를 OR 연산을 취하여 각 flag가 모두 1일 때만 채널이 비어있다고 판단한다.

표 7-3. 스펙트럼 센싱과 DB 연동을 통한 Decision making[18]

Geolocation DB flag	Sensing flag	상태
$D_G = 1$	$D_S = 1$	점유된 채널
$D_G = 1$	$D_S = 0$	점유된 채널
$D_G = 0$	$D_S = 1$	점유된 채널
$D_G = 0$	$D_S = 0$	빈 채널

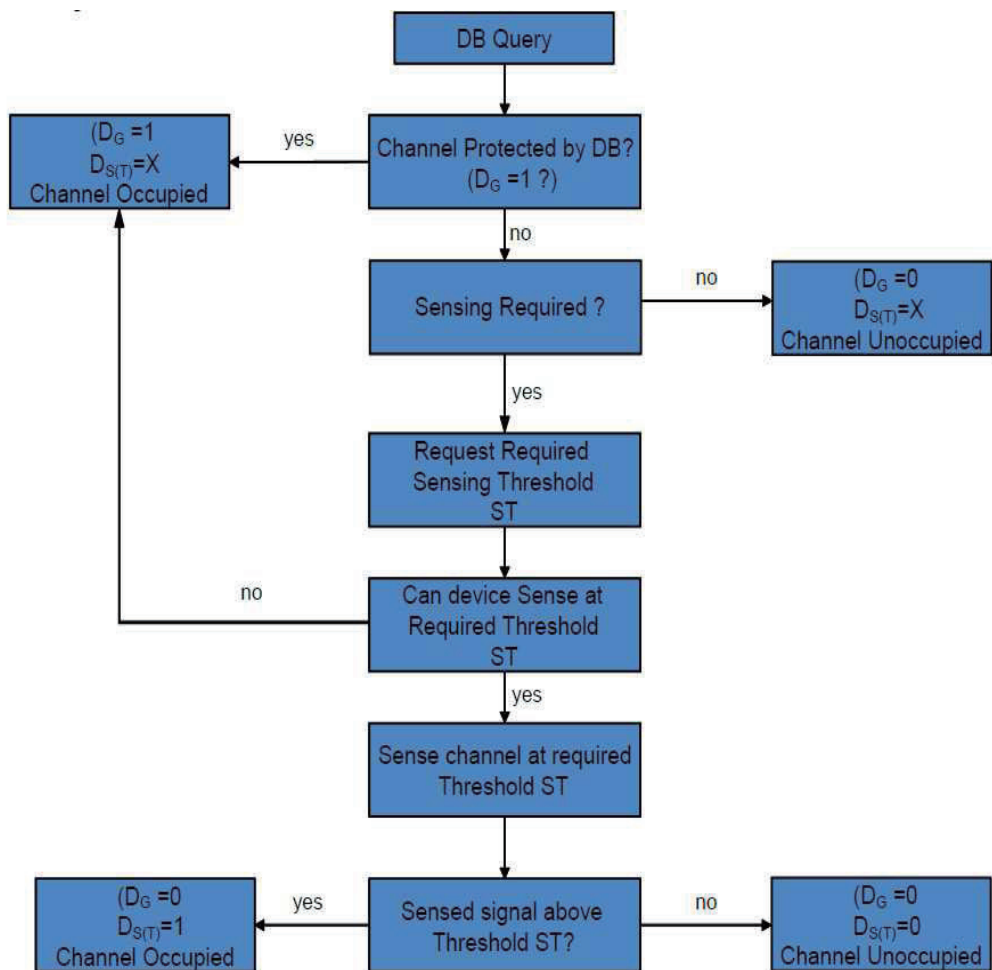


그림 7-5. Decision Making을 위한 흐름도[18]

(2) 연구의 목적 및 내용

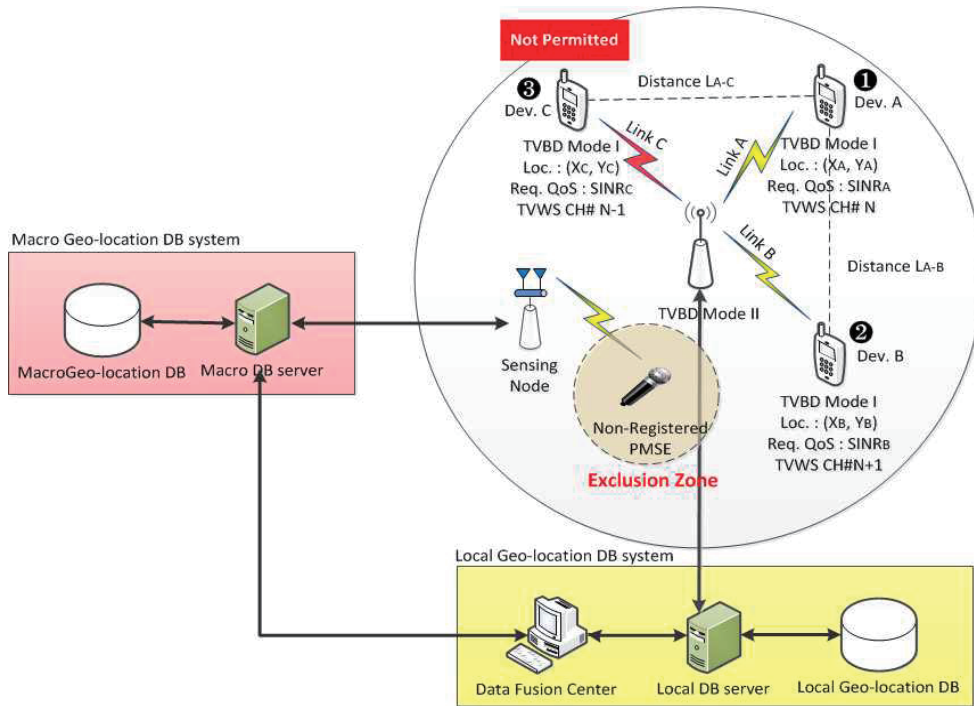


그림 7-6. 센싱과 geolocation DB 연동 시나리오

그림 7-6은 스펙트럼 센싱과 DB가 연동된 시나리오를 나타낸다. DVB-T와 PMSE의 ID, 점유 채널 정보, 사용 시간과 위치 정보 및 보호구간 등이 저장되어 있고, 센싱 플랫폼에서 인터넷을 통해 접근하여 1차 사용자를 확인 후 센싱 알고리즘을 통해 PMSE를 감지하는 구조이다.

(가) 무선 마이크 및 디지털 TV 서비스 보호를 위한 TVWS 테스트베드 개발

- 센싱과 DB 연동을 통한 신뢰성 향상도 검증
- 협력 센싱이 가능한 테스트베드를 통한 센싱 성능의 향상
- 무선 제어 채널과의 연동을 통한 효율적인 무선 인지 네트워크 구성

(나) 협력 센싱의 성능 향상 방안 연구

- 협력 센싱 시 오버헤드를 줄일 수 있는 방안 연구
- 로컬 센싱 정보 전송 시 전송 오류를 감소시키는 방안 연구

3. 간섭온도 모델 기반의 공존기술 연구

간섭 온도(interference temperature ; IT)는 간섭의 양을 정량적으로 측정하고 관리할 수 있는 지표로써 백색잡음, 동일 채널 간섭, 인접 채널 간섭 등의 모든 잡음 및 간섭 신호를 대상으로 한다.[39] 간섭온도는 수신기 관점에서 간섭량을 측정함으로써 네트워크에서 존재하는 다수의 비면허 송신 단말기들의 간섭을 효율적으로 분석하고 관리할 수 있다는 장점이 있다. 또한, 간섭 온도 모델은 스펙트럼 센싱을 통하여 취득된 1차 사용자의 스펙트럼 정보가 주변의 간섭과 잡음을 명확히 구분 가능하다. 간섭온도는 식 8-1과 같이 특정 대역에서 에너지 검출 방식(Energy detection)의 스펙트럼 센싱을 이용한 간섭 전력의 측정을 통해 산출되며, 단위는 절대온도(Kelvin ;°K)이다.

$$T_I = \frac{P_I(f_c B)}{kB} \quad (7-1)$$

여기에서 P_I 는 수신 안테나에서 측정된 간섭 전력이며, k 는 볼츠만 상수, B 는 대역폭을 나타낸다.

(1) 연구의 필요성

스펙트럼 센싱을 통해 2차 사용자가 1차 사용자의 채널 점유 여부를 확인하여 비면허 기기의 동작 상태를 결정할 수 있다. 하지만 동일 네트워크 안에 면허기기의 인접대역에서 허용된 최대 전송 전력에 따라 동작을 하여도 비면허 기기의 수에 따라 1차 사용자 서비스에 큰 간섭을 미칠 수 있다. 따라서 간섭 온도를 통해 비면허 기기별 간섭량을 정량화하여 1차 사용자 수신기에 미치는 간섭량을 확인하고, 비면허 기기의 공존 여부를 결정해야 한다. 간섭 온도는 간섭 신호의 전력에 의해 결정되므로 에너지 검파 방식의 스펙트럼 센싱을 이용하여 비면허 기기의 간섭량을 확인하고 수신기에서 결정된 간섭 온도 임계값과의 비교를 통해 비면허 기기의 공존 가능 여부를 결정할 수 있다.

(2) 연구의 목표 및 내용

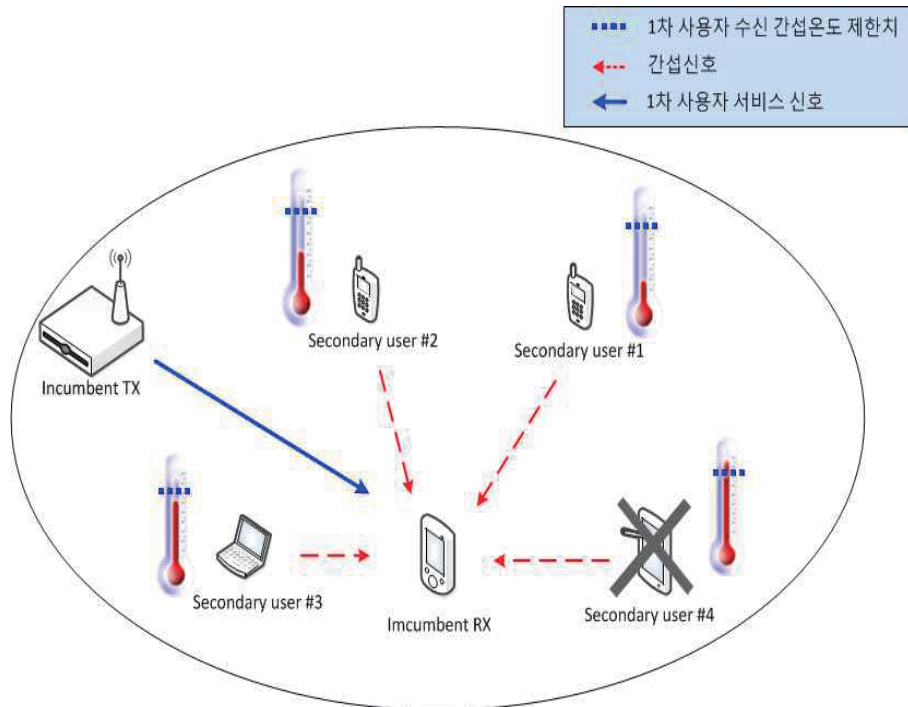


그림 7-7. 간섭온도 기반 추가 2차 사용자 공존 시나리오

(가) 간섭온도에 의한 추가 비면허 기기의 공존 환경 연구

- 동일 혹은 인근 채널에서의 신규 비면허 기기 접속 시의 간섭 온도 기반 공존 방안 연구
- 선택된 채널에서 기 동작 비면허 기기 링크와 신규 비면허 기기 링크 공존을 위한 Centralized Association 제어 방안 연구
- 간섭온도를 이용한 두 개의 비면허 기기 링크 공존 방안 연구

(나) 간섭온도 기반 비 면허 기기의 신호 대역폭에 따른 공존 방안 연구

- 가변 대역폭을 갖는 비면허 기기에서의 공존 방안 연구
- 협대역의 비면허 기기에서의 공존 방안 연구

(다) 인접 채널과의 거리에 따른 비면허 기기의 최대 허용 전력이 달라질 경우 비 면허 기기 간 간섭 문제에 대한 해결 방안 연구

(3) 기대 효과

- 간섭의 양을 측정하고 관리함으로써 스펙트럼의 효율적인 관리
- 1차 사용자의 성능 뿐 아니라 2차 사용자의 성능을 보장하는 네트워크 환경 보장

제 3 절 국내 도입을 위한 법·제도 개선사항

현재 국내에서는 스펙트럼 센싱 기술과 관련된 법·제도는 제정되지 않은 상태이며, 2014년에 TVWS 활용을 위한 스펙트럼 센싱 기술 규격 제정인 정부 계획(안)으로 지정되어 있는 상태이다. 따라서 본 절에서는 스펙트럼 센싱의 기술 기준 제정 시 고려해야 할 요인들에 대해 기술하고자 한다.

기술 기준은 주요국의 기술 기준을 바탕으로 국내에 적합한 전파 모델을 반영하여 규격을 제정할 필요가 있으며, 기존의 1차 사용자의 보호를 최우선시 하여야 한다. 센싱의 대상으로는 디지털 TV 신호와 무선 마이크 신호 외에 케이블 TV와 DMB 서비스도 함께 고려되어야 한다. 특히, 센싱을 통한 신호의 감지가 매우 어려운 무선 마이크의 경우 스펙트럼 센싱 뿐만 아니라 무선 마이크 사용여부를 DB에 등록하는 방안이 고려되어야 한다. 센싱 기기는 무선 마이크에 대한 센싱의 결과와 DB 접속을 통해 확보한 정보를 연동하여 센싱과 DB에서 모두 무선 마이크 사용자가 없다고 판단할 때에만 2차 사용자의 채널 이용을 허락한다.

중요한 센싱 파라미터로는 1차 사용자 신호별 센싱 감도 및 대역폭, 센싱 시간 및 센싱 주기, 전송전력 등이 있다. 국내의 디지털 방송 규격은 미국과 같은 ATSC 신호를 이용하므로 미국의 디지털 TV 신호의 센싱 규격을 반영하는 것이 적절하다. 미국의 디지털 TV 신호의 센싱 규격의 경우 0 dBi 무지향성 안테나 기준으로 -114dBm/6MHz이며, 0 dBi 이하의 지향성 이득을 가진 수신 안테나가 사용된다면 센싱 감도는 그만큼 축소되어야 한다. 센싱 시간 30초이며, 60초의 주기를 가지고 채널을 모니터링 해야 한다. 또한, 2초 내에 동작 채널에서 1차 사용자 신호가 발견된다면 기기의 동작을 멈추도록 규정하고 있다. 일반적으로 1차 사용자 신호는 인접 채널에서 세기가 강한 신호가 존재할 시 간섭의 영향을 받는다. 따라서 비면허 기기가 센싱을 통하여 채널의 비어있음을 확인하더라도 인접채널의 점유상태를 확인하여, 해당 채널이 사용 중이면 송신 전력을 조절해야 한다. 뿐만 아니라 비면허

기기의 고출력 송신으로 인한 1차 사용자에게 대한 간섭을 방지하기 위해 전력 스펙트럼 밀도도 함께 제한해야 한다.

단일 기기의 스펙트럼 센싱 시 은닉 노드로 인해 1차 사용자의 존재를 판별하기 어려우므로 협력 센싱에 대한 기술 기준을 제정하여 은닉 노드 문제를 방지해야 한다. 협력 센싱에서 고려되어야 할 요소로는 융합센터에서의 판정기법, 로컬 센싱의 수가 충분하지 않을 때 DB 접속 방안 등이 있다.

제 4 절 스펙트럼 센싱의 활용 서비스 모델 도출

1. 인지무선 센서 네트워크

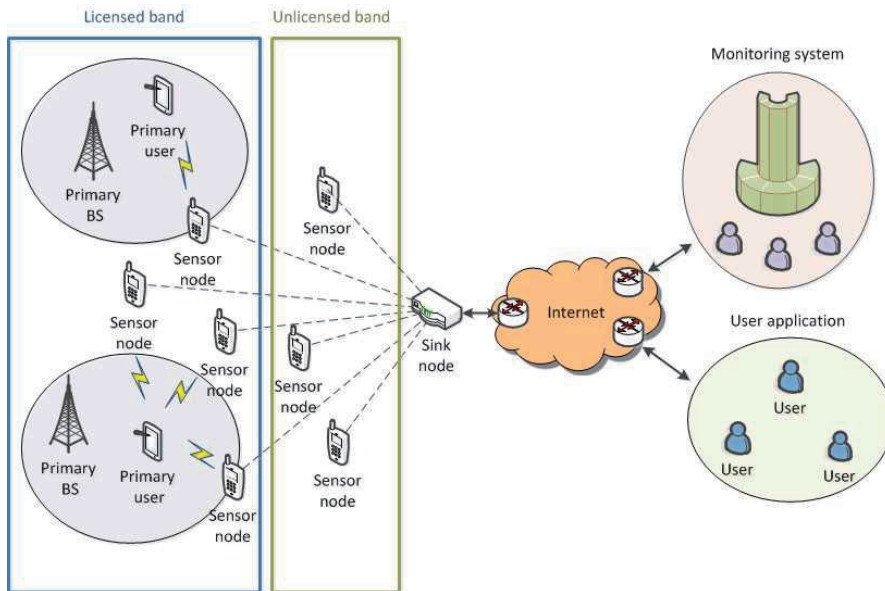


그림 7-8. 인지 무선 센서 네트워크 시나리오

센서 네트워크(Sensor network)는 사물에 내장된 전파 식별(Radio frequency identification ; RFID) 및 센서 노드(Sensor node)를 통해 정보를 수집하고, 수집된 정보는 싱크 노드(Sink node)를 통해 무선으로 전송한다. 메쉬 네트워크 이용자는 보내진 데이터를 통해 재난, 의료, 기후, 교통정보 등을 실시간으로 모니터링 할 수 있다. 센서 네트워크에서는 ISM(Industrial, Scientific and Medical) 대역과 같은 비면허 대역에서 다수의 사물에 센서가

부착되어 수집된 정보를 전송하므로 상당한 양의 데이터 트래픽을 요구하게 되며, 이는 데이터 간 충돌(collision), 데이터 손실로 인한 통신의 신뢰성(Reliability) 감소뿐 아니라 재전송으로 인한 과도한 에너지 소비 및 패킷 딜레이(Delay)를 초래한다. 따라서 센서 노드들은 스스로 간섭원이 될 수 있으며, 서로 간 간섭을 방지하기 위해 스펙트럼 센싱을 이용한 인지 무선 기술 도입이 필요하다.

인지무선 기능이 접목된 센서 네트워크를 인지 무선 센서 네트워크(Cognitive radio sensor network)라 한다. 센서 노드는 기존의 ISM 대역 외에 스펙트럼 센싱을 통해 면허대역을 기회적으로 점유함으로써 다른 센서 노드 간의 간섭의 효과를 완화할 수 있다. 또한, 주변 환경에 따라 능동적으로 통신 파라미터를 변경함으로써 통신 신뢰성과 에너지 소비의 효율성 증을 향상시킬 수 있다. 무선인지 센서 네트워크는 다수의 센서 노드 간 협력 센싱을 통해 1차 사용자 서비스에 대한 감지 성능을 향상시킨다.

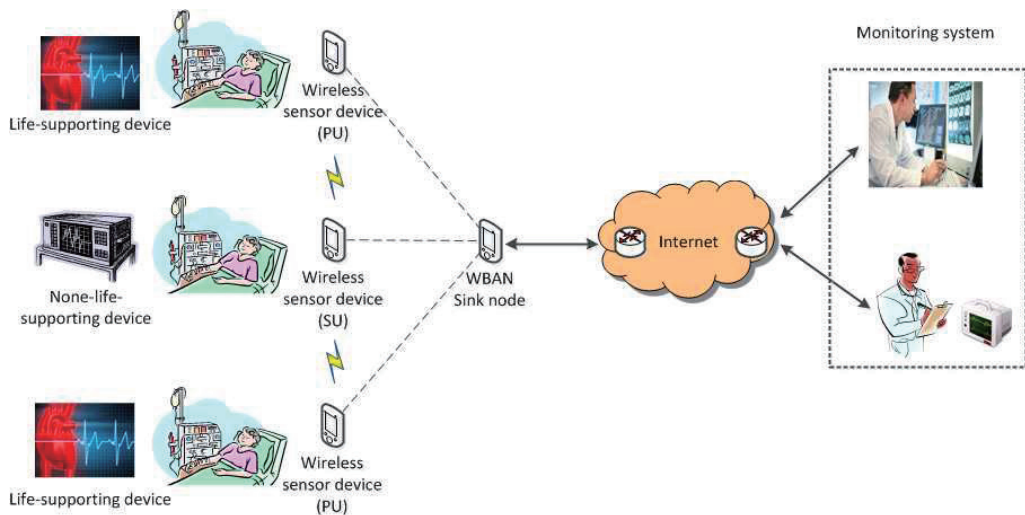


그림 7-9. 무선 인지 센서 네트워크

○ WBAN

WBAN(Wireless body area network)는 사람이 착용하거나 인체 내에 센서가 내장된 여러 디바이스를 부착하여 네트워크를 구성하고, 센서로부터 수집된 정보를 어플리케이션을 통해 확인하는 네트워크이다. 주로 인공지능

나 캡슐형 내시경 장비를 몸속에 이식하여 환자의 몸 상태를 모니터링하거나 센서가 부착된 의류장비나 의류를 통해 운동 시 몸 상태 정보를 수집하고 분석할 때 이용된다. 많은 의료 기기는 전자 방해 잡음(Electromagnetic interference ; EMI)⁸⁾에 민감하므로 무선 통신을 사용하는 의료기기는 다른 의료 기기에 대한 간섭을 피하기 위해 전송 전력 및 주파수를 조절하는 전자적 양립성⁹⁾(Electromagnetic compatibility ; EMC) 조건을 만족해야 한다. 또한, 같은 지역 내에 무선 의료기기들이 함께 사용될 수 있으므로 무선 의료 기기 간 공존이 가능해야 한다. 이러한 조건은 인지 무선 기술을 통해 효과적인 제어가 가능하다.

2. 인지 무선 매쉬 네트워크

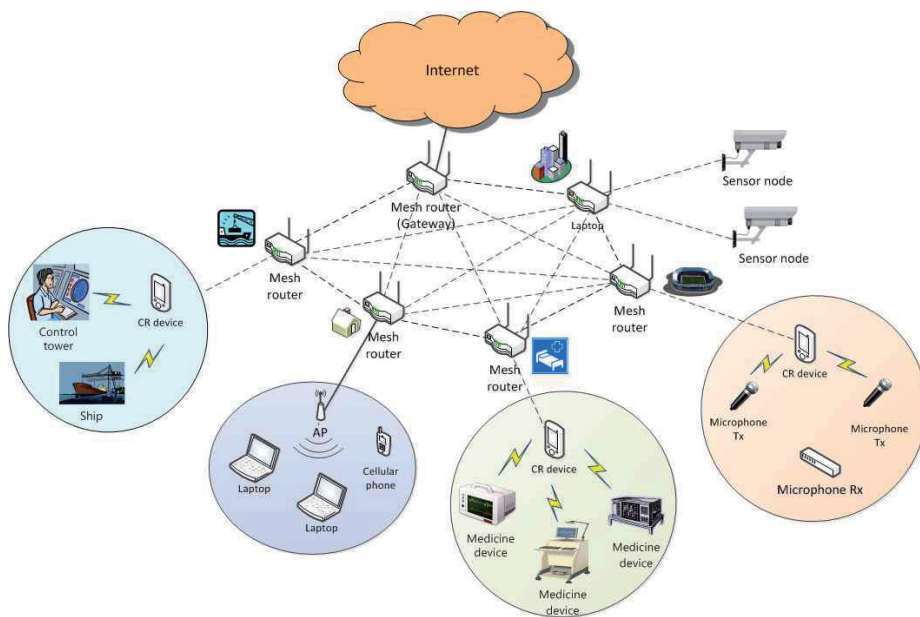


그림 7-10. 인지 무선 매쉬 네트워크

무선 매쉬 네트워크(Wireless Mesh Network)는 일종의 애드혹 네트워크(Ad-hoc network)로서 스스로 네트워크 환경을 인지하고 구성할 뿐만 아니

8) 전자 방해 잡음(Electromagnetic interference; EMI):전기, 전자 기기로부터 직접 방사 또는 전도되는 전자파가 다른 기기의 전자기 수신 기 능에 장애를 주는 것.

9)전자적 양립성(Electromagnetic compatibility ; EMC): 전자기기에서 발생하는 Noise를 감소하여 다른 전자기기의 동작에 영향을 주지 않도록 하는 한편, 다른 전자기기에서의 Noise 영향도 차단하도록 설계하여 기기로서의 기능을 발휘하는 능력.

라 각 노드들이 그물망처럼 연결되어 특정 노드 간 연결이 끊어지더라도 다른 노드 간 연결을 통해 링크를 유지할 수 있는 특징이 있다. 이러한 메쉬 네트워크는 유선 네트워크 인프라가 부족한 지역에서 적은 구축비용을 통해 네트워크 구축이 용이하다는 장점이 있다. 무선 메쉬 네트워크는 와이파이와 결합을 통해 광대역 모바일 서비스를 제공할 수 있을 것으로 기대되고 언제 어디서나 네트워크에 접속할 수 있는 U-시티 구현을 위한 촉매제로 급부상하고 있다. 무선 메쉬 네트워크는 다양한 어플리케이션이 공존하는 이종 네트워크(Heterogenous network)이며, 서비스를 끊어짐 없는 서비스의 제공과 시스템의 복잡성을 효율적으로 관리하기 위해 자가 조직화(Self-organization), 자가 최적화(Self-optimization) 기능을 요구한다. 이러한 기능의 필요성은 주변의 환경 정보를 획득하고 능동적으로 네트워크를 최적화하는 인지무선 기술이 무선 메쉬 네트워크와 접목되는 계기가 되었다. 인지 무선 기술과 접목된 메쉬 네트워크를 인지 무선 메쉬 네트워크(Cognitive radio mesh network; CogMesh)라고 한다.

제 9 장 결론

본 보고서에서는 스펙트럼 센싱 기반 인지무선 기술의 표준화 동향, 연구 프로젝트 그리고 주요국의 제도도입 현황에 대한 연구를 진행하였다. 세계 최초로 스펙트럼 센싱 기반의 인지무선 기술 표준화를 완성한 ECMA-392를 필두로 다양한 표준 단체에서 인지무선 기술의 표준을 제정하고 있으며, 스펙트럼 센싱을 이용한 인지무선 기술은 TVWS 뿐만 아니라 5GHz와 3.6GHz 등 다양한 주파수 대역에서도 그 필요성이 강조되고 있는 추세이다. 이미 표준이 완성된 IEEE 802.11h와 IEEE 802.11y는 간섭을 피하기 위한 동적주파수선택 기술이나 단말의 네트워크 접속을 동적으로 제어하고 재구성하는 동적기지국접속관리와 같은 간섭 회피 기술이 포함되어 있다. 상기 기술들은 스펙트럼 센싱과 부합하는 측면이 강하고 향후 인지무선 기술로의 확장이 가능할 것이다. 다양한 대역에서의 인지무선 기술의 적용을 위해 스펙트럼 센싱 기반의 인지무선 기기의 개발이 절실히 필요한 상황이지만 현재의 스펙트럼 센싱 기술은 규제기관의 엄격한 감지 성능 조건에 가로막혀 상용화에 어려움을 겪고 있다. 현재의 상황을 타개하고자 다양한 연구기관 및 산업체에서는 스펙트럼 센싱과 DB를 연동하는 방식과 압축 센싱과 같은 센싱 알고리즘에 대한 연구를 진행되고 있다. ECC에서는 스펙트럼 센싱과 DB를 결합하는 방식을 통해 더욱 향상된 1차 사용자 신호 감지를 확인하였다. COGEU에서는 무선 마이크 신호 검출을 위해 다양한 공분산 행렬 기반 비 특성 검파 알고리즘의 시뮬레이션을 알고리즘의 성능을 비교 분석하는 연구를 진행하고 더 나아가 프로토타입 개발을 통해 실제 무선 환경에서의 공존을 위한 성능을 검증하였다. 이러한 노력에 발맞춰 우리나라에서도 스펙트럼 센싱의 감지 성능을 향상과 더불어 센싱 단독 기기를 구현하기 위해 하드웨어적으로 값싸고 적은 전력 소모를 가능하게 하는 새로운 스펙트럼 센싱 기술의 개발이 시급하다. 뿐만 아니라 간섭 온도기반의 공존 모델 연구를 통해 동일 네트워크 내에 면허 사용자에게 미치는 비면허 사용자의 간섭량을 정량화하고 분석하여 동일 네트워크 내에 비면허 기기의 수가 증가해도 면허 기기가 최적의 서비스 품질을 유지하는 방안도 도출할 수 있을 것이다.

명령과 통제 주파수 정책에서 공존과 공유로의 주파수 패러다임의 변화는 스펙트럼 센싱 도입의 중요성을 잘 반영하고 있다. 이러한 사회적, 기술적 변화에 비추어 볼 때 본 보고서에서 연구한 스펙트럼 센싱 기술의 이용

방안 연구는 단기적으로는 주파수의 효율적 활용이라는 측면에서 다양한 무선 접속 망에 적용될 것으로 예상되며, 중장기적으로는 주파수 개방화 정책의 본격화와 함께 차세대 무선 통신의 새로운 패러다임을 이끌어 갈 핵심 키워드가 될 것으로 전망된다.

참고문헌

- [1]Presidential Memorandum (2010). Unleashing the Wireless Broadband, Revolution, June. 2010
- [2]President's Council of Advisors on Science Technology(PCAST), Realizing the Full Potential of Government-Held Spectrum to Spur Economic Growth at an event at the White House, November 2012
- [3]J. Mitola III, "Cognitive Radio for Flexible Mobile Multimedia Communications," IEEE Mobile Multimedia Conf., 1999, pp.3-10.
- [4]Ustok, R.F., Ozbek, B., Spectrum sensing based on cyclostationary feature detection for cognitive radios with multiple antennas, Signal Processing and Communications Applications (SIU), April 2011
- [5]Tevfik Yücek and Hüseyin Arslan, A Survey of Spectrum Sensing Algorithms for Cognitive Radio Applications, IEEE communications surveys & tutorials, vol. 11, no. 1, 2009
- [6]Zhi Tian , Giannakis, G.B., Compressed Sensing for Wideband Cognitive Radios, Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. 4, April 2007
- [7]U.S. FCC, Notice of Proposed Rulemaking, ET Docket ET Docket 04-186, May 2004.
- [8]U.S. FCC, Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, ET Docket 08-260, November 2008.
- [9]U.S. FCC, Second Memorandum Opinion and Order in the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, ET Docket 10-174, September 2010
- [10]Ofcom, "Digital Dividend Review," Dec. 2007.

- [11]Ofcom, B. S Randhawa, Z. Wang, and I. Parker, Analysis of Hidden Node Margins for Cognitive Radio Devices Potentially Using DTT and PMSE Spectrum, January. 2009
- [12]Ofcom, Digital Dividend: Cognitive Access, Consultation, February. 2009
- [13]Ofcom, Digital Dividend: Cognitive Access, Statement, July. 2009.
- [14]Ofcom, Digital Dividend: Geolocation for Cognitive Access, Consultation, July 2009.
- [15]COGEU, D4.2 Sensing algorithms for TVWS operations, January 2009.
- [16]ECC report 185, Definition of technical and operational requirements for WSD in 470–790 MHz , January 2013
- [17]W. Zhang, R. K. Mallik, and K. B. Letaief, Optimization of Cooperative Spectrum Sensing with Energy Detection in Cognitive Radio Networks, IEEE Transactions on Wireless Communications., vol. 8, no. 12, December 2009
- [18]ECC Report 186 ,Technical and operational requirements for WSD under geo-location approach, January 2013
- [19]IEEE Std 802.22–2011 TM, Standard for Wireless Regional Area Networks. Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operationin the TV Bands, July 2011
- [20]IEEE 802.11h–2003, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications – Amendment 5: Spectrum and Transmit Power Management Extensions in the 5GHz Band in Europe, IEEE Std., 2003.
- [21]IEEE 802.11y–2008, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements Part 11: Wireless LAN

Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications – Amendment 3: 3650.3700 MHz Operation in USA, IEEE Std., November 2008.

[22]IEEE Std 802.11af/D1.01, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: TV White Spaces Operation, 2011.

[23]IEEE Std 802.11e, Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer Specifications: Amendment 8: Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements, 2005

[24]IEEE Std 802.11k, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 1: Radio Resource Measurement of Wireless LANs, June 2008

[25]IEEE Std 1900.1 for Definitions and Concepts for Dynamic Spectrum Access: Terminology Relating to Emerging Wireless Networks, System Functionality, and Spectrum Management, September 2008

[26]IEEE Std 1900.4 for Architectural Building Blocks Enabling Network-Device Distributed Decision Making for Optimized Radio Resource Usage in Heterogeneous Wireless Access Networks, February 2009.

[27]IEEE P1900.5 PAR, Policy Language Requirements and System Architectures for Dynamic Spectrum Access Systems, Mar. 2008

[28]IEEE Std 1900.6 for Spectrum Sensing Interfaces and Data Structures for Dynamic Spectrum Access and other Advanced Radio Communication Systems, April 2011

[29]ECMA-392, MAC and PHY for Operation in TV White Space, 1st Edition, December 2009.

[30]Jinsuk Pak, JungSun Um, HoiYoon Jung, ByungJang Jeong, "Advanced Cognitive Radio Test-bed with Carrier Aggregation

- in TV White Space", the 1st ACM workshop on Cognitive radio architectures for broadband, pages : 33-40, 2013.
- [31]Chunyi Song, Harada, H., "A spectrum sensing prototype for Japanese digital television signals", Global Communications Conference (GLOBECOM), 2012 IEEE, pages : 1271 ~ 1276, December 2012.
- [32]OET Report(FCC/OET 08-TR-1005), "Evaluation of the Performance of Prototype TV- Band White Space Devices Phase II", October 15, 2008.
- [33]Chen Lei, Qiu Jing, Viessmann, A., Kocks, C., Bruck, G.H., Jung, P., , "A Spectrum Sensing Prototype for TV White Space in China", Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 2011), pages: 1 ~ 6, 2011.
- [34]Raamkumar Balamurthi, Harshit Joshi, Cong Nguyen, Ahmed K. Sadek, Stephen J. Shellhammer and Cong Shen. "A TV White Space Spectrum Sensing Prototype", 2011 IEEE international symposium on Dynamic Spectrum Access Networks(DySPAN), pages : 297 ~ 307, 2011.
- [35]D. Cabric, S. Mishra, and R. Brodersen, Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios, in Proc. Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers, vol. 1, Pacific Grove, California, USA, November 2004
- [36]Y.-C. Liang, Y. Zeng, E. Peh, A.T. Hoang, Sensing-throughput tradeoff for cognitive radio networks, IEEE Transactions on Wireless Communications vol. 7, April 2008
- [37]Tang, C.F.T., Liu, K.J.R. "A novel systolic array processor for MVDR beamforming", Acoustics, Speech, and Signal Processing, 1992. ICASSP-92., 1992 IEEE International Conference on, Volume: 4, Pages: 477 ~ 480, 1992
- [38]ITU-R, "Cognitive radio systems [(CRS) applications] in the

land mobile service", June 2012

[39]Federal Communications Commission, "Facilitation opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies" Notice of Proposed Rule Making and Order, ET Docket no. 03-289, December 2003

스펙트럼센싱 기술 이용방안 연구



140-848 서울시 용산구 원효로 41길 29

발 행 일 : 2013. 11. 22

발 행 인 : 서 석 진

발 행 처 : 미래창조과학부 국립전파연구원

전 화 : 02) 710-6644

인 쇄 : 김영인쇄

Tel. 02) 123-1234

ISBN : 978899752557793560 〈비매품〉

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.

