

Spectrum Sensing 기술 동향

민준기 · 황성호 ·

김기흥 · 황신환

삼성전기 중앙연구소

I. 서 론

현재 4세대 무선통신 표준화를 앞두고 무선 인터넷, 데이터 통신, 긴급 재난 구조, 방위산업 등의 모든 분야에서 주파수 할당이 확대되고 있으며, 또한 광대역, 고품질 멀티미디어 서비스의 수요가 계속적으로 증가함에 따라 주파수의 부족 문제와 주파수 확장 요구가 전 세계적으로 점차 대두되고 있는 실정이다. 특히 전파 전파 특성이 우수한 주파수 대역에서는 상당 부분이 미점유 주파수 사용 구간내지는 이공 효율이 떨어지고 있어 이러한 대역들의 효율적 사용 방안에 대한 필요성이 강조되고 있다. 주파수 사용 효율의 극대화와 부족 문제를 해결하기 위해서는 국가의 주파수 정책에 따른 주파수 지정 및 허가 없이도 사용 가능하도록 하는 개방된 주파수 할당이 필요로 되어지며, 이를 위해 인지 무선(CR: Cognitive Radio)과 같은 주파수 공유 기술이 급부상하고 있다.

인지 무선 기술은 1998년 J. Mitola에 의해 제안된 개념으로 통신 단말기 혹은 네트워크가 주위의 무선 환경을 인지하여 사용자 요구에 따른 지능적 판단으로 최적의 통신을 하도록 하는 기술이다^[1].

동적 스펙트럼 접속(Dynamic Spectrum Access)이 가능한 인지 무선 기술은 기존 주파수 대역을 사용하는 1차 사용자(IU: Incumbent User)가 해당 주파수 대역에서 점유하지 않는 채널을 2차 사용자(secondary user)가 스펙트럼 감지를 통해 유휴 채널 확보 후 다른 무선 데이터 통신의 용도로 활용이 가능하다. 만일 이 유휴 채널을 사용 중에 스펙트럼 감지를 통하여 다시 1차 사용자가 나타나게 되면 주파수 우선권

을 갖는 1차 사용자에게 통신 간섭을 주어서는 안되므로 2차 사용자는 1차 사용자가 사용하지 않는 또 다른 유휴 채널로 변경하여 계속적으로 통신하게 된다. 따라서 인지 무선에서는 스펙트럼 감지를 통해 1차 사용자 절대적 보호와 2차 사용자의 추가 유휴 채널 확보를 위한 지속적이고 신속한 스펙트럼 감지 기술이 핵심이라 할 수 있다^[2]. 이와 같이 주파수 공유 기술을 적용하게 되며 사용 효율이 떨어지는 주파수에서 기존 1차 사용자 서비스에 간섭을 주지 않으면서도 주파수를 공유하면서 사용할 수 있기 때문에 주파수 이용 효율이 향상될 것이다. 또한, 시·공간의 제약 없이 어떠한 상황에서도 통신 수단으로 접근할 수 있는 가능성을 가진 혁신적인 통신 시스템으로 지식 정보화 시대의 국가 경쟁력 향상에 중요한 비중을 차지할 것으로 기대되고 있다.

이러한 추세에 맞추어 여러 선진국에서는 수 년 전부터 다양한 국가 프로젝트를 통해 무선 인지 기술과 같은 주파수 공유 기술 개발에 적극적인 지원을 하고 있으며, 공유 기술 활용을 위한 주파수 정책 변화를 계획하고 있다. 전 세계적으로 54 MHz에서 862 MHz까지의 주파수 대역은 주로 방송용으로 활용되어 왔으며, 2010년을 전후로 하여 세계적으로 추진될 DTV 전환을 앞두고 전환후의 유휴 주파수 자원 활용에 대한 검토가 활발히 논의되고 있다. 특히 미국 연방통신위원회(FCC: Federal Communications Commission)에서는 2003년 12월에 관련 기술에 대한 입법 예고를 단행하여 이에 대한 법률적 토대를 마련하였으며, 지난 2008년 11월 FCC의 2nd R&O^[3]에서 DTV 전환 후 지역별 유휴 TV 채널을 활용한 비면허

방식 서비스의 허용을 공식 발표하였다.

이러한 TV 방송 대역을 “White Space”라 불리는 데, 이는 지역별로 시간에 따라 허가된 서비스에 활용되지 않는 TV 방송 대역을 사용한 비면허 방식의 단말장치의 사용에 관한 FCC의 의견서^[4]를 기반으로 한 2004년 공시된 NPRM(Notice of Proposed Rule Making) 내용에서 Intel이 제출한 의견서 내용 중 비사용 TV 방송 대역을 ‘White Space’라고 처음 언급하였다. 이후 FCC Proceeding 04-186(Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands)과 관련된 비사용 TV 대역을 통칭 White Space라 하였으며, 이 대역에서의 사용을 목적으로 하는 단말 장치를 WSD(White Space Device)라 하였다.

현재 진행 중인 표준화로는 54~862 MHz에서의 고정형(fixed) 서비스를 위한 IEEE802.22와 휴대용(portable) 서비스 모델을 적용한 ECMA TC48-TG1(Cog-NeA)이 진행 중에 있다. IEEE802.22에서는 VHF/UHF TV 대역에서 cognitive radio 기술을 기반으로 하는 고정형(fixed) 광대역 무선 인터넷 서비스와 멀티미디어 스트리밍을 제공하는 WRAN(Wireless Regional Area Network) 시스템을 위한 PHY/MAC 표준화로 많은 부분의 기술 표준 제정이 완료되어 가고 있다. 또한, IEEE802 ECSG(Executive Committee Study Group)를 결성하여 TV white space 이용한 IEEE 802.11/18/19/21 등의 계열에서 참여하여 FCC 규격에 적합한 모델들로 출력 전력에 따른 use case들을 소개하고 있다. 여기서 소출력인 50 mW 이하에서는 geo-location database 없이 스펙트럼 센싱만으로 WSD를 구성할 수 있으나 FCC의 추가 엄격한 테스트를 거치도록 하였다. 그리고 ECMA TC48-TG1에서의 서비스 모델로는 홈네트워크 통신과 Ad-hoc을 적용한 단말간의 통신 등을 고려하고 있다.

본 논문에서는 이러한 무선 인지 기술에서 중요하게 언급되고 있는 스펙트럼 센싱에 대하여 IEEE 802.22 표준안^[5]의 부록에 수록된 기법들을 포함한

센싱 기법들을 소개하고 지난해 관련 참여 업체들이 FCC에 제출된 유휴 TV채널용 시험 단말(WSD) 프로토타입을 FCC 산하 OET(Office of Engineering and Technology)에서 테스트한 2차 결과의 성능 평가에 대해 설명하고 있다. 마지막으로 스펙트럼 센싱에 관련하여 중요한 요소들에 대한 향후 이슈들에 언급하고자 한다.

II. Spectrum Sensing의 요구 사항

IEEE 802.22 표준안을 결정하기 위한 기능 요구문서(FRD: Functional Requirement Document)에는 1차 사용자에게 해당하는 디지털 TV(ATSC), 아날로그 TV(NTSC), 무선 마이크론 등의 신호에 대한 검출 임계값과 DFS(Dynamic Frequency Selection) 타이밍 요구사항들을 <표 1>과 <표 2>에서 보여주고 있다^{[2],[6]}.

- Channel Availability Check Time

해당 TV 채널을 WRAN 사용자가 사용하기 이전에 채널 사용이 가능한가를 검사하는 시간이고, TV 채널에서 허가받은 1차 사용자 신호의 유무를 점검 하는 시간이며, 이 시간 동안에는 WRAN 통신의 전송이 이루어져서는 안 된다.

- Non-Occupancy Period

1차 사용자 신호가 검출된 채널에 대해서는 WRAN 사용자의 전송을 하지 말아야 하는 시간이며, 또한 이 채널을 사용하지 말아야 한다.

- Channel Detection Time

WRAN 사용자가 TV 채널을 사용하는 동안 1차 사용자가 발생한 경우 검출해 내야 하는 최대 시간으로 오경보 확률이 10 % 이하에서 1차 사용자 신호 검출률이 90 % 이상 되어야 한다.

- Channel Setup Time

WRAN이 동작하기 위한 WRAN 단말과 기지국 간에 설정되는 시간으로 channel opening transmission 시간을 포함하고 있다.

- Channel Opening Transmission Time
Channel Setup하는 시간동안 제어 정보를 전송하는 시간이다.
- Channel Move Time
WRAN이 동작 중에 1차 사용자가 검출되어 TV 채널을 전환하기 위해 전송을 중단하는 과정의 시간으로 channel closing transmission 시간을 포함하고 있다.
- Channel Closing Transmission Time
Channel Move하는 시간동안 제어 정보를 전송하는 시간이다.
- In-Service Monitoring
WRAN이 동작하는 동안 1차 사용자의 존재 여부를 지속적으로 감시하는 것이다.
- Incumbent Detection
1차 사용자 검출 임계값 이상의 신호를 인지하

<표 1> DFS 타이밍 파라미터

DFS Parameter	Value for Part 74 Devices	Value for TV Broadcasting
Channel Availability Check Time	30 sec(recommended)	30 sec(recommended)
Non-Occupancy Period(minimum)	10 minutes(recommended)	10 minutes(recommended)
Channel Detection Time	<=2 sec to >=90 % Probability of detection with a false alarm rate of <=10 %	<=2 sec to >=90 % Probability of detection with a false alarm rate of <= 10 %
Channel Setup Time	2 sec(maximum, NTE)	2 sec(maximum, NTE)
Channel Opening Transmission Time (Aggregate transmission time)	100 msec(maximum, NTE)	100 msec(maximum, NTE)
Channel Move Time (In-service monitoring)	2 sec(maximum, NTE)	2 sec(maximum, NTE)
Channel Closing Transmission Time (Aggregate transmission time)	100 msec(maximum, NTE)	100 msec(maximum, NTE)
Incumbent Detection Threshold	-107 dBm(200 kHz BW)	-116 dBm(6 MHz BW) for DTV

<표 2> 1차 사용자의 검출을 위한 임계값

Sensing thresholds	DTV	NTSC	Part74	Beacon
Reference sensing thresholds(dBm)	-116	-94	-107	-120
Channel bandwidth(MHz)	6	6	0.2	0.01
Reference sensing antenna gain(dBi)	0	0	0	0
Omni antenna aperture(m ²)	0.02	0.02	0.02	0.02
Reference power-flux-density(dB(W/m ²))	-128.7	-106.7	-119.7	-132.7
Reference field strength(dB(uV/m))	17.1	39.1	26.1	13.1
Maximum field strength for service protection(dB(uV/m))	41.0	64.0	-30.0	13.1
Proposed reference field strength for sensing(dB(uV/m))	17.1	39.1	26.1	13.1
Margin for the sensing threshold(dB)	24.0	25.0	-56.1	0.0

여 1차 사용자의 유무를 검출하는 것

- Incumbent Detection Threshold

허가받은 1차 사용자의 유무를 검출하기 위한 동적 주파수 선택에 의해 사용되는 수신 전력 레벨(dBm)

2008년 10월 FCC의 WSD 2차 테스트 결과 후 2008년 11월 FCC 위원회에서 WS 대역에서 고정형과 휴대형 단말을 이용한 비면허 방식의 서비스 허용을 의결하였다^[3].

이와 관련하여 최종 결정이 고시되었으며, 주요 사항으로는 <표 3>과 같다.

- 서비스 허용 범위: 고정형 및 휴대형 기기의 비면허 방식 운용 허용
- 기존 사용자 보호 방안: Geolocation DB + 센싱, 모든 비면허 기기들은 Geolocation DB에 접속 기능이 있어야 하고(접속 후 운용), DB의 운용은 제3자가 맡는 방식을 채택

III. Spectrum Sensing을 위한 기법

3-1 Blind Sensing

3-1-1 Energy Detection 기법

에너지 검출 기반의 sensing 방법 중에 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용할 수 있으며 FFT 수가 증가하게 되면 주파수 해상도가 증가하게 되어 협대역에 있는 신호도 검출해 낼 수 있다. 수신 신호에 대해 FFT 연산 및 평균을 취한 후, 그 에너지를 구하여 특정 임계값과 비교하는 방법을 통해 해당 주파수 채널 내에 존재하는 신호의 검출을 수행한다. 그러나 에너지 검출 기반의 Sensing 방법은 매우 간단한 시스템 구조를 갖지만 다음과 같은 단점도 있다. 첫째, 1차 사용자 신호의 정확한 검출을 위해 요구되는 검출 임계값은 시간에 따라 변화하는 잡음 레벨

<표 3> FCC 서비스 모델별 운용 방안

	고정형 기기	휴대형 기기
운용 채널	채널 2~51 (채널 3, 4, 37 제외)	채널 21~51 (채널 37 제외)
송신 출력	4 W EIRP (max.)	- Geolocation + 센싱 기기 :100 mW(일반 채널), 40 mW(인접 채널) - 센싱-only 기기 :50 mW(일반 채널), 40 mW(인접 채널)
센싱 레벨	-114 dBm	-114 dBm

에 매우 민감하고 해당 채널 내에 존재하는 간섭 신호의 영향을 피할 수 없게 되며, 심각한 주파수 선택적 페이딩을 겪는 환경일 경우에도 검출 임계값의 설정이 어렵게 된다. 둘째, 에너지 검출만을 통해서 1차 사용자의 신호, 간섭 신호, 그리고 잡음 성분 간의 구분이 어려워지는 문제를 가지고 있다.

3-1-2 Eigenvalue Sensing 기법

이 기법은 상관 행렬의 고유값을 이용하는 방법으로 센서는 수신된 신호의 Autocorrelation 함수를 통해 최대와 최소의 고유값을 계산하게 된다. 이 고유값을 이용하여 수신 신호($R_{yy}(m)$)로부터 계산된 최대 고유값과 최소 고유값의 비율이 임계값보다 클 경우 신호가 존재한다고 판단하는 기법이다. 상관행렬은 식 (1)과 같다.

$$R = \begin{pmatrix} R_{yy}(0) & \dots & R_{yy}(L-1) \\ R_{yy}(0) & \dots & R_{yy}(L-2) \\ \vdots & & \vdots \\ R_{yy}(L-1) & & R_{yy}(0) \end{pmatrix} \quad (1)$$

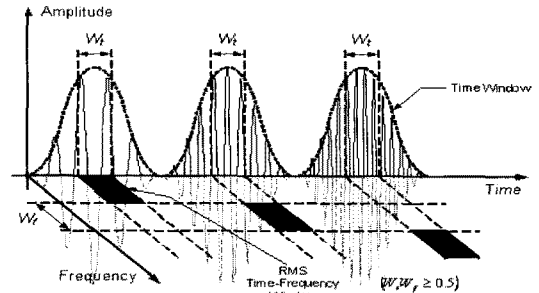
이 상관행렬은 수신 필터의 주파수 응답에 대해 공분산 행렬 Q 에 의해 $\bar{R} = Q^{-1} R Q^{-H}$ 로 변환

되고 행렬 \mathcal{R} 의 고유값이 이용되게 된다^[7].

3-1-3 Multi-resolution Sensing 기법

다중 해상도 스펙트럼 검출(Multi-Resolution Spectra Sensing: MRSS)로 알려진 다중 해상도 검출 특성을 제공하는데 웨이블릿 펄스 생성(Wavelet Pulse Generator)를 사용하였다. 비정밀 검출 모듈을 이용한 MRSS의 사용은 하드웨어의 부담을 증가시키지 않고 유연한 검출 해상도를 가능하게 한다. [그림 1]은 다중 해상도 스펙트럼 검출 시스템의 블록도이다^[8].

웨이블릿 변환은 시 변동 신호(time-variant signal)와 웨이블릿 변환에 대한 웨이블릿 펄스로서 적용되는 함수 사이의 상관관계를 결정하기 위해 주어진 시 변동 신호에 적용될 수 있으며, 이렇게 결정된 상관관계는 웨이블릿 변환 계수로 알려져 있다. MRSS와 함께 사용된 웨이블릿 변환에 대한 베이스로 적용된 웨이블릿 펄스는 MAC 모듈을 통해 변경되거나 설정되게 된다. 특히 웨이블릿 변환에 대한 웨이블릿 펄스는 대역폭, 캐리어 주파수, 주기가 변동될 수 있다. 웨이블릿 펄스의 폭, 캐리어 주파수, 주기의 변동에 의해 주어진 신호에 대한 웨이블릿 변환 계수를 통해 제공되는 스펙트럼 정보는 가변 해상도 또는 다중 해상도로 나타낼 수 있다. 예를 들어 일정 시간 간격 동안 유지한 후 웨이블릿 펄스폭 및 캐리어 주파수를 변동함으로써 웨이블릿 변환 계수는 시변동 신호의 스펙트럼 정보의 분석을 하게 된다. [그림 2]는 적절한 웨이블릿 펄스를 선택할 때 고려될 수 있는 웨이블릿 펄스폭(W_t)과 웨이블릿 펄



[그림 2] 펄스폭 및 펄스 주파수 사이의 상충관계

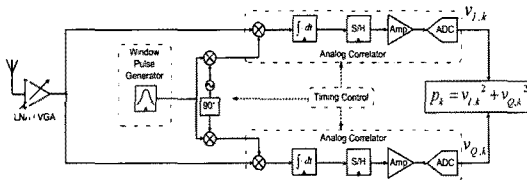
스 주파수(W_f)의 상충관계(tradeoff)를 도시한다. 즉, 웨이블릿 펄스폭이 증가함에 따라 웨이블릿 펄스 주파수는 일반적으로 감소한다. [그림 2]와 같이 웨이블릿 펄스폭은 웨이블릿 펄스 주파수와 반비례하게 된다. 불확실성 부등식(uncertainty inequality)이 웨이블릿 펄스폭과 해상도 주파수의 선택에 적용된다. 일반적으로 불확실성 부등식은 웨이블릿 펄스의 특정 형식에 대한 웨이블릿 펄스폭과 해상도 대역폭의 범위를 제공하게 된다.

불확실성 부등식은 웨이블릿 펄스폭과 해상도 대역폭의 곱이 0.5보다 크거나 동일한 경우(즉, $W_t \times W_f \geq 0.5$)에 사용될 수 있다. 웨이블릿 펄스가 가우시안 웨이블릿 펄스(Gaussian wavelet pulse)인 경우에 등호가 성립하게 된다. 따라서 가우시안 웨이블릿 펄스에 대해, 웨이블릿 펄스폭과 해상도 주파수는 불확실성 부등식에 따라 그 곱이 0.5가 되도록 웨이블릿 변환에 사용되는데 선택된다.

3-2 Signal Specific Sensing

3-2-1 ATSC Signature Sequence Correlation 센싱 기법

ATSC 데이터 필드는 여러 PN(Pseudo random Noise) 수열을 포함하는데, 이 ATSC 신호는 313의 세그먼트로 구성된다. 이 세그먼트 중 하나가 데이터 필드 동기이며, PN 수열들을 포함하고 있다. 이 필드는 511-bit PN 수열(PN511)과 63-bit PN 수열(PN63)을



[그림 1] MRSS 시스템의 블록도

포함하고 있다. 63-bit PN 수열 중 하나는 매 데이터 필드에서 Polarity는 서로 교차하게 된다. 이러한 PN 수열은 ATSC 신호를 검출할 때의 특징으로 사용될 수 있다. 이 ATSC 특징 검출 기법은 상관기를 포함하고 있으며, 두 개의 PN63 수열과 PN511 수열의 조합으로 한 초기 설정된 수열은 수신된 기저대역 신호와 서로 상관을 취하게 된다. 하나의 ATSC 데이터 필드 동기 검출은 상관기 출력과 임계값을 비교하게 된다. 상관기는 ATSC 데이터 필드 동기는 24.2 ms 이다. [그림 3]과 [그림 4]는 각각 ATSC DTV 신호 데이터 세그먼트와 필드 동기 세그먼트의 구조이다.

이 DTV 신호는 8-VSB(8-Vestigial Sideband)로 변조되고 8개의 레벨에서 2레벨(Binary)에 4개의 심볼(Symbol) 데이터 세그먼트 동기는 각 데이터 세그먼트 시작점에 삽입되어 있다. 완전한 세그먼트는 데이터 세그먼트 동기의 4개 심볼과 828개의 데이터 심볼들로 총 832개로 구성되어 있다^{[5],[9]}.

3-2-2 ATSC FFT-based Pilot 센싱 기법

ATSC 방송 신호는 수신 복조시 이용되는 파일럿(Pilot) 신호를 가지고 있는데, 디지털 변환이 완료된 후 두 개만의 파일럿 주파수(309440.6/ 328843.6 Hz)가 존재하게 된다. 파일럿 주파수의 허용 오차는

± 10 [Hz]이며, TV 채널 내에서 낮은 주파수 측에 위치하고 이 두 개의 파일럿 주파수의 차는 대략 19.4 [kHz]이다. 이 기법은 파일럿 주파수 근처의 전력 스펙트럼 밀도(PSD: Power Spectral Density)를 이용하는데 두 파일럿 주파수 사이의 중간 주파수가 DC로 하향 변환되며 신호는 협대역 저역 통과 필터에 의해 여과된다. 필터의 대역폭은 두 파일럿 사이의 주파수인 19.4 [kHz] 이상이어야 하고 수신기의 LO(Local Oscillator) 주파수 정확도를 고려하여 필터 대역폭을 25 [kHz]로 설계되어야 한다.

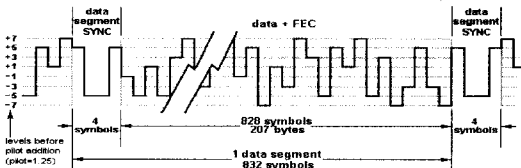
전력 스펙트럼 밀도는 DFT(Discrete Fourier Transform)를 기반으로 하는 periodogram을 사용하여 측정되고 FFT(Fast Fourier Transform)를 사용하여 효율적으로 구현될 수 있다.

$$P(\omega) = \frac{1}{M} \left| \sum_{m=0}^{M-1} y(m) e^{-j\omega m} \right|^2 \quad (2)$$

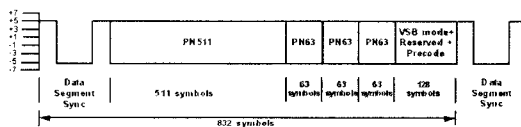
SNR(Signal-to-Noise Ratio)은 periodogram의 시퀀스를 평균을 취하여 향상시킬 수 있게 된다. 이러한 협대역 파일럿의 검출은 Rayleigh 페이딩에 취약하여 AWGN 채널보다 페이딩 채널에서 더 약하다. 또한, 이 처럼 파일럿을 이용하여 파일럿 에너지 검출과 파일럿 위치 검출을 할 수 있다^[10].

3-2-3 High Order Statistics 이용한 ATSC Pilot 센싱 기법

가우시안 잡음 통계를 기반으로 한 고차 통계는 테스트 통계의 분포가 가우시안 분포와 유사 정도를 확인하는데 이용될 수 있다. 수신 신호는 기저 대역으로 변환 및 여과되고 ATSC 파일럿 주파수는 다시 협대역 필터에 의해 여과된다. 그 신호는 FFT를 사용하여 주파수 도메인으로 변환되게 된다. 2,048개의 FFT가 요구되고 또한 이것은 OFDM의 변조와 복조에 이용된다. 그리고 주파수 신호의 실수부와 허



[그림 3] ATSC DTV 신호 데이터 세그먼트



[그림 4] ATSC DTV 신호 필드 동기 세그먼트

수부의 고차 모멘트와 누적(2차 이상의 고차)이 계산이 되는데, 만일 잡음만이 존재하게 된다면 주파수 신호의 실수부와 허수부 모두가 가우시안이다. 따라서 이 고차 누적은 0이 되고 이 기법에서 정규화 테스트는 고차 누적의 값을 기반으로 수행된다. 만일 신호가 정규화 테스트를 실패하게 되면 이 기법은 ATSC 파일럿 신호가 존재한다고 판단하게 된다^{[11][12]}.

3-2-4 ATSC PLL-based Pilot 센싱 기법

이 기법은 ATSC 파일럿 주파수를 찾는 2개의 블록으로 구성되어 있으며, 여러 형태 중에 Costas루프 형태의 디지털 PLL(Phase Lock Loop)를 사용한다. 이 파일럿 주파수를 추적하는 하나는 파일럿 주파수에서 위의 30 [kHz], 또 다른 하나는 아래의 30 [kHz]에서 초기화 된다. 각 주파수 최종 추적 주파수의 차이가 임계값 이상이면 ATSC 파일럿 신호가 존재하는 것으로 판단하게 된다. 또한, 이 기법은 약 50~75 ms가 요구되며, 파일럿 주파수에 근접한 페이딩 특성에 크게 의존된다. 그러나 다중 경로 채널들의 수를 평균을 이루면 민감도는 약 -12~-14 dB 정도이다^[10].

3-2-5 Wireless Microphone Covariance 센싱 기법

이 기법은 Eigenvalue 센싱과 유사하며 공분산 행렬을 계산하게 된다. 잡음은 모든 주파수에서 나타나기 때문에 잡음만의 경우에서 공분산 행렬은 대각선 행렬에 근접하다. 첫 번째 테스트에서 $T=T_1/T_2$ 으로, T_1 은 공분산의 모든 성분들에 크기의 합이며 T_2 는 공분산의 대각선 성분에 크기의 합이다. T_1 과 T_2 신호가 white일 때 근사하게 같아지게 된다. 그러나 무선 마이크로폰이 존재할 경우 신호는 더 이상 white가 아니므로 더 이상 1에 가까워지지 않는다.

또 다른 테스트는 첫 번째와 유사한데, 차이는 T_1 과 T_2 에 T_3 과 T_4 가 놓인 것으로 이 새로운 함수들은 행렬 전체 성분들과 대각 성분들의 각각 제곱 크기

의 합이 되는 경우이다. 이 기법의 검출 시간은 약 10 ms이고, 민감도는 약 -23 dB SNR이다^[10].

3-2-6 Spectral Correlation 센싱 기법

일반적으로 1차 사용자의 변조 신호에 대한 특성을 살펴보면, 단일 반송파 시스템의 경우 정현파, 대역 확산 시스템의 경우 CP(Cyclic Prefix) 등과 같이 고유의 주기성을 갖는 성분들을 포함하고 있다. 이러한 주기적인 성분들은 전형적으로 수신기에서 반송파 위상, 펄스 타이밍, 다중 경로 도착 등의 파라미터 추정을 위해 의도적으로 사용된다. 따라서 비록 전송 데이터는 Stationary Random Process 성격을 갖고 있으나 변조된 신호는 그 평균과 자기 상관함수 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 Cyclo-Stationary한 특성을 나타내게 된다. N 이 증가할수록 스펙트럼 해상도가 세밀해져 주파수 해상도가 우수해지므로 상대적으로 협대역 신호의 인지가 용이해지며, 또한 평균 시간 T 가 길어질수록 잡음 성분의 상쇄를 통해 잡음 전력의 레벨을 낮출 수 있기 때문에 해당 채널에서의 SNR이 향상되는 장점을 갖는다.

주기적 스펙트럼, 즉 스펙트럴 상관 함수 측면에서 보면 변조된 1차 사용자 신호의 시간 관련 파라미터에 해당하는 위상 및 주파수 정보는 그대로 보존하게 된다. 또한, 변조 방식에 대해서도, 예를 들어 BPSK와 QPSK의 경우 동일한 PSD를 갖는 반면에 각각의 스펙트럴 상관 함수는 확실히 구분됨으로 스펙트럼상의 높은 자기 상관성을 제공하는 독특한 고유의 스펙트럴 상관 함수 형태를 지니게 된다. 반면에 잡음 성분 및 간섭 신호의 경우에는 스펙트럴 상관 이 거의 존재하지 않게 됨으로 인해 매우 작은 상관 값을 갖게 된다. 결과적으로 스펙트럴 상관을 이용한 신호 검출을 통해 출력되는 정보는 1차 사용자의 채널 내에 존재하는 신호의 수, 시스템의 심볼 전송률, 채널 내 간섭 신호의 유무 등의 특징들을 검출할 수 있다^[13].

IV. WSD 프로토타입의 FCC 2차 테스트 결과

WSD의 신호 검출 성능과 DTV 신호 간섭 측정을 위해 FCC에서 1차 테스트가 이미 진행되었는데, 신호 검출을 위한 목표 시스템은 DTV 신호와 무선 마이크 신호의 두 가지 유형이었다. 측정 대상의 WSD 프로토타입으로 Microsoft(Prototype A)와 Philips (Prototype B)이었으며, Prototype B의 경우 Transmit 기능이 구현되어 있지 않아 DTV 수신기에 대한 송신 간섭 테스트를 진행하지 못했다. 1차 테스트 결과 FCC에서는 전반적으로 WSD의 성능이 예상에 미치지 못하는 결과를 공표하였고, 또한, 테스트에 사용된 WSD가 테스트에 필요로 하는 적절한 기능이 구현되어 있지 못함에 따라 성능을 평가하기에 충분한 시험결과를 얻지 못하였다고 발표하였다. 이러한 이유로 개선된 성능을 갖는 WSD를 대상으로 한 2차 테스트가 필요하게 되었고, 지난 2008년 10월 FCC OET(Office of Engineering and Technology)에서 WSD 2차 테스트가 진행되게 되었다. 2차 테스트를 위하여 Microsoft, I2R, Adaptrum, Motorola, Philips 등 5개의 기관에서 WSD 프로토타입을 제출하였다^[4].

4-1 WSD Prototype들의 특징

4-1-1 Adaptrum WSD Prototype

Adaptrum의 프로토타입은 UHF 대역(21~51채널)으로 설계되었으며, 직접화된 하드웨어와 소프트웨어 개발 시스템이다. 이 시스템은 신호 형상, 인증, 신호 크기, 네트워크 레벨 협력 검출을 포함하는 다양한 TV 신호를 검출하며 아날로그와 디지털 TV 모두를 검출하지만 무선 마이크로폰은 검출하지 않는다. 또한, TV 대역에서 신호 전송시 신호 형태, 변조 방식, 그리고 대역폭 가변이 가능하고 인접 채널 간섭을 낮추기 위해 송신 전력 제어 및 선형성을 고려하여 설계하였다. 최대 송신 전력은 100 mW(20 dBm)

이며, [그림 5]는 Adaptrum의 프로토타입 사진이다.

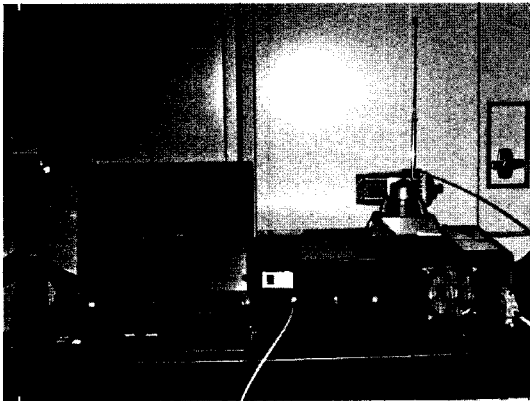
Adaptrum 프로토타입의 특징으로는 첫째, 광대역(400 MHz~1 GHz)/ 넓은 동적 영역 가지는 RF 송수신기, 둘째, 고속 ADC와 고밀도 FPGA 기반의 개발 보드는 CR 기저대역과 프로토클러스 기능을 수행하도록 구현되었다. 셋째, Matlab 기반의 직접화 개발 환경(IDE: Integrated Development Environment)으로 CR 하드웨어 기능은 Matlab 스크립트와 그래픽 사용자 연결(GUI: Graphical User Interface)을 사용하여 제어 되도록 하고 있다.

4-1-2 I²R WSD Prototype

I²R의 프로토타입은 UHF 대역(21~51채널)에서 아날로그 및 디지털 TV 신호와 무선 마이크로폰 신호를 검출한다. 이 프로토타입은 TV 신호를 받는 상용화 TV 튜너, ADC/하향변환/필터링을 수행하는 혼합 신호 디지털 처리 보드, GUI를 위한 컴퓨터, 그리고 고정형 휘프(Whip) 수신 안테나로 구성되어 있다. 테스트 모드로는 신호에 따라 DTV/ All 모드와 테스트 환경에 따라 Lab/ Field 모드로 나누어져 있으며, DTV 신호(DTV 모드)만을 또는 마이크로폰 신호(All 모드)만 검출하게 되며, 유선 또는 안테나를 이용해 방사된 신호를 수신하도록 했다. [그림 6]은 I²R의



[그림 5] Adaptrum WSD prototype 실물 사진



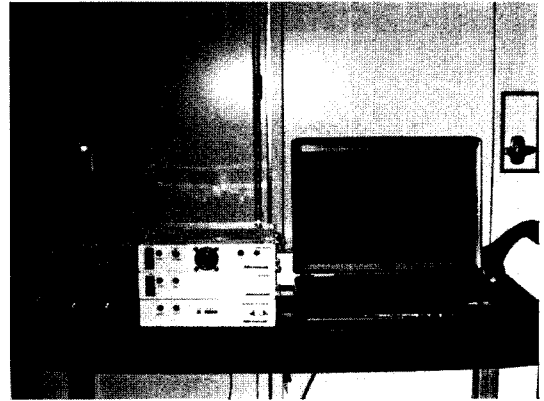
[그림 6] I²R WSD prototype 실물 사진

프로토타입 사진이다.

4-1-3 Microsoft WSD Prototype

마이크로소프트 프로토타입도 21~51 채널에서 아날로그 및 디지털 TV 신호와 무선 마이크로폰 신호를 검출할 수 있다. 이 시스템은 두 개의 핵심 시스템으로 구성되어 있는데, 첫째, 광대역 스펙트럼 스캐너(Scanner), 네트워크 프로세서 및 가변 UHF 듀플렉서 송수신기와 둘째 윈도우 기반의 컴퓨터와 이더넷(Ethernet)을 통해 명령과 제어를 하도록 하고 있다.

스캐너(센서)는 광대역(521~698 MHz) 컴퓨터 제어 주파수 스캐너와 6 MHz 대역으로 21~51 채널을 스캔하기 위한 고속 Digitizer로 구성되어 있다. 시간 축에서 디지털화된 정보는 2048-FFT 처리가 되도록 되어 있다. DTV/아날로그 TV 및 마이크로폰의 채널 점유 유무를 판단하기 위해 FFT 출력을 순차적으로 비교 판독하여 점유되지 않은 경우 사용 가능한 white space 채널로 간주되어 Laptop PC에 결과를 표시하게 된다. UHF 송수신기는 S-band(2.4 GHz) 802.11g OFDM 모뎀과 S-band를 UHF로 변환하는 장치, 그리고 주파수와 출력을 제어하는 네트워크 프로세서로 구성되어 있다. [그림 7]은 Microsoft 플랫폼의 사진이다.



[그림 7] Microsoft WSD prototype 실물 사진

4-1-4 Motorola WSD Prototype

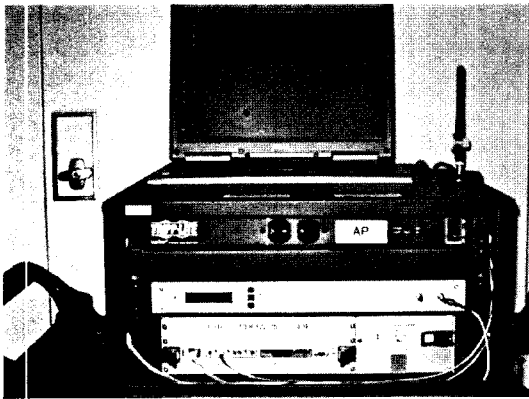
Motorola 프로토타입은 21~51채널에서 DTV 신호의 geo-location 및 검출을 하며 아날로그 TV 및 마이크로폰 신호는 검출하지 않는다. 시스템 구성은 Cognitive Radio 랙(Rack)과 이더넷을 통한 Laptop PC host와 연결되어 있다. 또한, CR 랙은 UHF 송수신기와 두 개의 PRO-3500 캐리어 보드는 PCI(Peripheral Component Interconnect) 각 부에 같이 구현되어 있다.

이 프로토타입은 점유 채널을 판단하는데 있어 geo-location DB를 우선적으로 수행하고 있으며, geo-location 정보는 사용자가 지역을 직접 입력하게 되어 있으며, 특수한 지형에 있어서는 FCC의 TV 데이터 베이스를 다운로드하게 되어 있다. [그림 8]은 Motorola의 프로토타입 실물 사진이다.

4-1-5 Philips WSD Prototype

Philips의 프로토타입은 아날로그/ 디지털 TV 신호 및 무선 마이크로폰 신호를 21~51채널에서 검출을 한다. 이 WSD 플랫폼은 상용화 TV 튜너와 ADC 및 프로세싱을 위한 DSP 보드, 그리고 검출 결과를 저장 및 GUI를 하기 위한 PC로 구성되어 있다.

또한, Philips에서는 UHF 대역인 21~51채널에서 ATSC(DTV)와 NTSC(Analog TV), 그리고 무선 마이



[그림 8] Motorola WSD prototype 실물 사진

크로폰에 대해 -114 dBm(6 MHz TV 대역폭)을 검출할 수 있을 것이라고 했다. [그림 9]는 Philips사의 WSD 플랫폼의 실물 사진을 보여주고 있다.

4-2 DTV Scanning/Spectrum Sensing Capability Tests

4-2-1 Clean DTV 신호를 이용한 측정

Clean DTV 신호 측정은 왜곡되지 않은 DTV 신호를 이용하여 제출된 WSD 프로토타입의 검출 성능을 평가하기 위한 것이다. 이때 입력 신호로는 Rhode & Schwarz DTV Test Broadcast System(SFU)을 이용하여 동축 케이블을 통해 WSD 프로토타입의 안테나

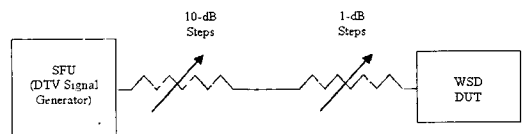


[그림 9] Philips WSD prototype 실물 사진

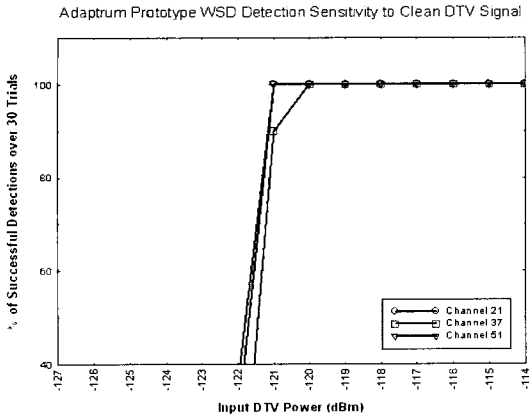
입력으로 인가하였으며, 외부 가변 감쇠기를 사용해 신호전력을 [그림 10]과 같이 구성한 후 조정하면서 테스트가 다음과 같은 순서로 진행되었다^[15].

- ① [그림 10]과 같이 구성하되 WSD DUT가 아닌 스펙트럼 분석기의 RF 입력에 연결한다.
- ② 가변 감쇠기는 0 dB로 하고 SFU 출력 전력을 조정하여 -60 dBm/6 MHz로 설정후 S/N 가 적어도 20 dB가 되도록 하여 RMS 검출기와 평균을 취하여 신호 전력을 확인한다.
- ③ 확인한 후 스펙트럼 분석기로의 동축 케이블을 제거하고 이를 WSD DUT에 연결한다.
- ④ 외부 가변 감쇠기를 조금씩 낮추어 테스트하며 추가 54 dB의 감쇠를 주게 되면 -114 dBm를 WSD에 인가되게 된다.
- ⑤ 가장 낮은 21번 채널에서 30번에 걸쳐 검출 테스트를 진행하여 검출 성공 횟수를 기록한다.
- ⑥ 만일 30번의 검출에서 100 %의 성공률이었다면 가변 감쇠기를 1 dB 낮추어 입력 신호 전력을 감소시키며 반복 테스트를 진행한다.
- ⑦ 만약 30번의 검출 시도에서 100 %의 성공률을 얻지 못하면 가변 감쇠기를 1 dB 높여 입력 신호 전력을 높이면서 반복 테스트를 진행한다.
- ⑧ 이 반복적인 테스트는 100 %의 성공률로 더 이상 신호 점유를 검출하지 못 할 때까지 진행하게 된다.
- ⑨ 추가적으로 중간 채널(36번)과 상위 채널(51번)들도 각각 반복 테스트를 진행한다.

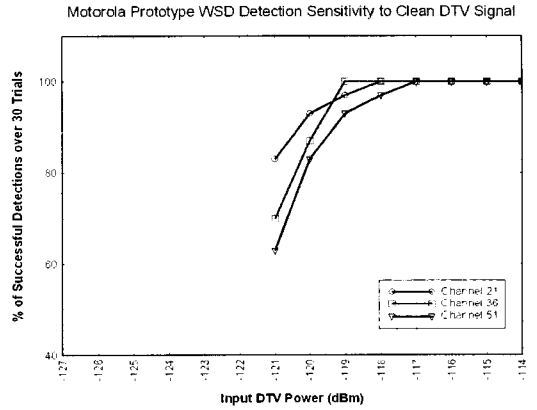
아래의 [그림 11]~[그림 15]는 각 기관별로 FCC에 제출된 WSD 프로토타입의 신호 검출 결과 그래



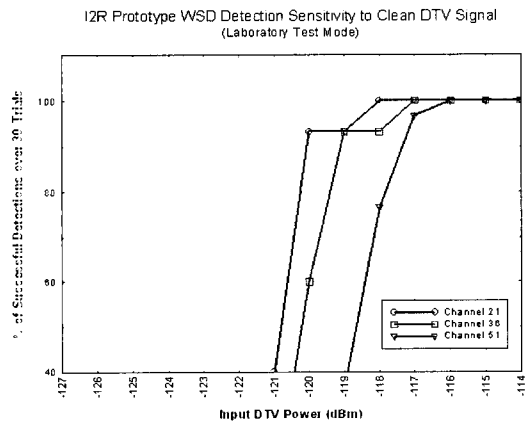
[그림 10] Clean DTV 신호 측정 장비 구성도



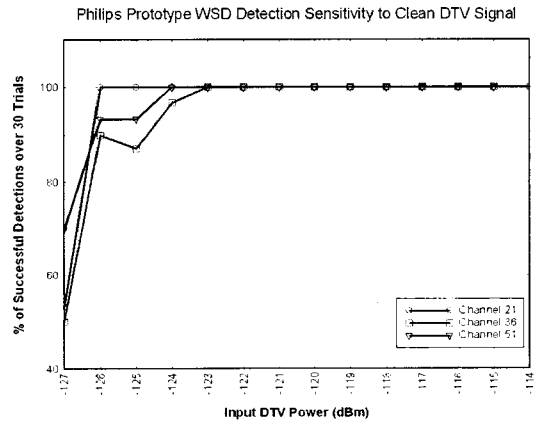
[그림 11] Adaptrum WSD의 clean 신호 검출 결과



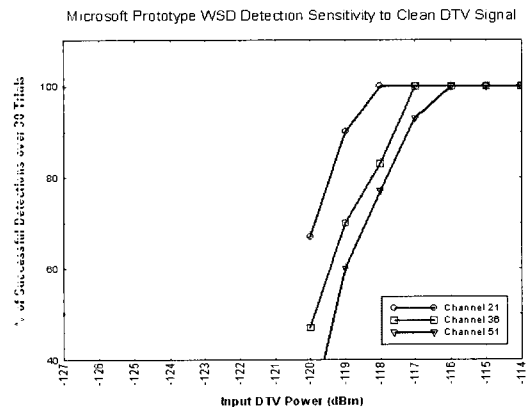
[그림 14] Motorola WSD의 clean 신호 검출 결과



[그림 12] I²R WSD의 clean 신호 검출 결과



[그림 15] Philips WSD의 clean 신호 검출 결과



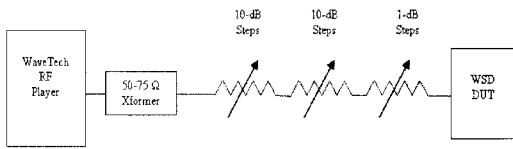
[그림 13] Microsoft WSD의 clean 신호 검출 결과

포이다.

4-2-2 Recorded DTV 신호를 이용한 측정

Recorded DTV 신호 측정은 반사파와 다중 경로 페이딩, 그리고 다른 신호 왜곡 성분들을 고려한 실제 무선 환경에서 발생된 신호를 캡처하여 제출된 WSD 프로토 타입의 검출 성능을 평가하기 위한 것이다.

이 신호는 IEEE 802.22 subcommittee에서 선정한 12개의 DTV 신호를 캡처한 것으로 <표 4>와 같이 구분되어 있다. 테스트 구성은 [그림 16]과 같고 진행 방법은 Clean DTV 신호 측정과 유사하다^{[16],[17]}.



[그림 16] Recorded DTV 신호 측정 장비 구성도

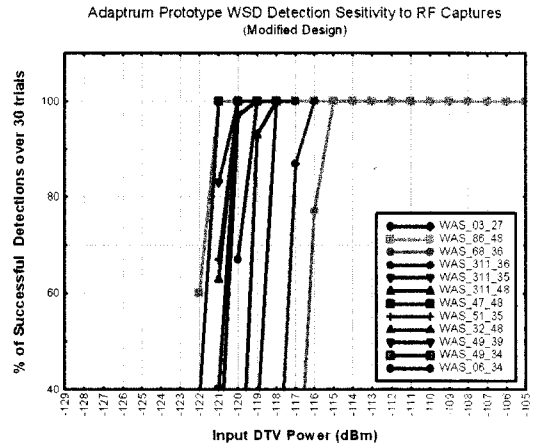
[그림 17]~[그림 22]는 Recorded DTV 신호를 검출한 각 사별 성능을 나타내고 있으며, Adaptrum의 경우 주파수 오프셋 Pilot tone을 가지는 DTV 신호로 인해 신호 검출이 어려운 이슈가 있어 SW 변경을 통해 향상되었다. Motorola는 시험 횟수를 추가한 테스트 결과를 보여 주었다.

이번 2차 테스트 중에서 4개의 기관에서 제출한 WSD의 Field 테스트에서의 신호 검출 결과를 MSTV에서 보고한 내용이 <표 5>에 나타나 있다^[18].

4-2-3 인접 채널 간섭 측정

인접 채널에 다른 DTV 신호가 발생할 경우, 발생

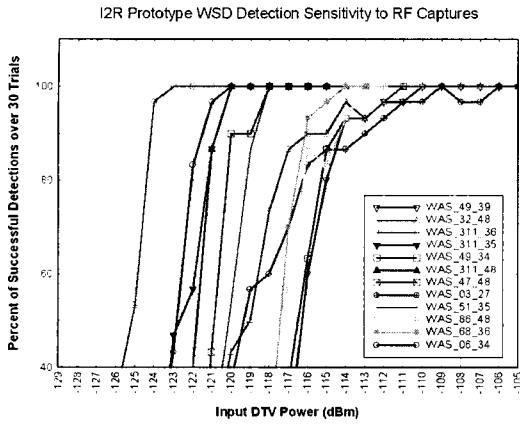
한 인접 채널 신호 크기에 따른 수신 감도의 테스트가 진행되었다. 검출 임계값의 측정은 첫 번째 인접 채널(N±1)과 두 번째(N±2) 인접 채널을 추가하여 진행하였으며, 인접 채널의 신호 전력은 각각 -28 dBm (High), -53 dBm(Moderate), -68 dBm(Low)을 인가



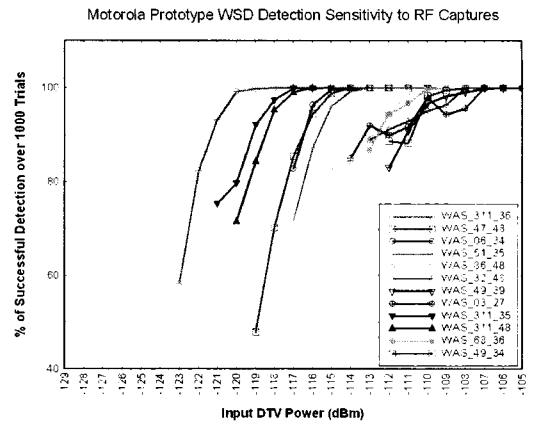
[그림 17] Adaptrum WSD의 recorded 신호 검출 결과

<표 4> RF recorded 신호 정보

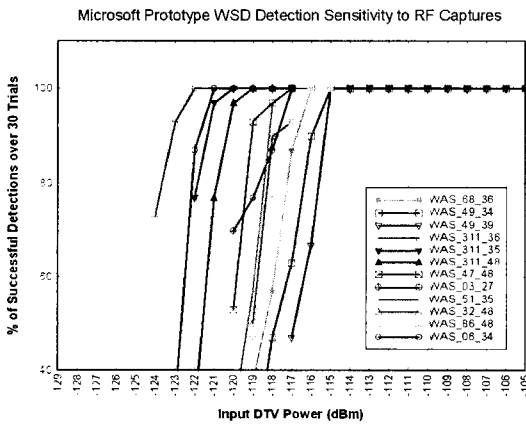
Waveform	Type of Capture	Lower Adjacent Channel	Upper Adjacent Channel	Close-in Echo (es)	Multiple Echo (es)	Deep Notch (es)	Wide Notches	Flat Fading	Band Edge Distortion	Pilot Notch
WAS_06_34	Outdoor - 30'	None	ATSC	-	-	-	-	-	-	-
WAS_03_27	Outdoor - 30'	NTSC	None	-	Y	Y	-	-	-	Y
WAS_311-35	Outdoor - 30'	ATSC	ATSC	-	Y	-	-	Y	-	-
WAS_311-36	Outdoor - 30'	ATSC	None	-	Y	Y	Y	-	-	-
WAS_311_48	Outdoor - 30'	None	None	-	Y	Y	Y	-	-	-
WAS_32_48	In-home	None	None	-	Y	Y	Y	-	-	-
WAS_47_48	In-home	None	None	-	Y	-	-	Y	-	-
WAS_49_34	In-home	None	ATSC	-	Y	Y	-	Y	Y	-
WAS_49_39	In-home	None	None	-	Y	Y	-	-	-	-
WAS_51_35	Outdoor - 30'	ATSC	ATSC	-	-	-	-	Y	-	-
WAS_68_36	Outdoor - 30'	ATSC	None	-	-	-	-	Y	-	-
WAS_86_48	Outdoor - 30'	None	None	-	-	-	-	-	-	-



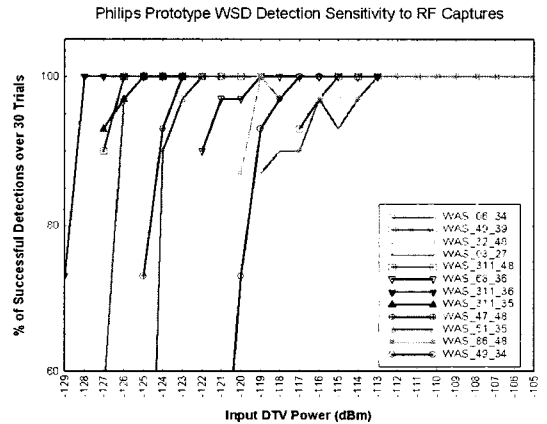
[그림 18] I²R WSD의 recorded 신호 검출 결과



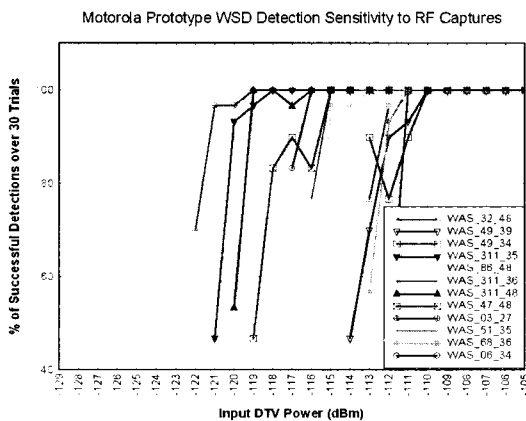
[그림 21] Motorola WSD의 recorded 신호 결과(1000-trials)



[그림 19] Microsoft WSD의 recorded 신호 검출 결과



[그림 22] Philips WSD의 recorded 신호 검출 결과



[그림 20] Motorola WSD의 recorded 신호 결과 (30-trials)

하였다. 테스트 환경으로 R&S SFU 장비가 인접 채널 DTV 신호로 사용되었으며, Clean DTV 신호는 Wave-tech player가 이용되었다.

테스트 방법은 신호 검출 방법과 동일하게 30번의 검출에서 100% 성공시 신호 전력을 낮추어 진행하고 만일 30번의 검출 시도에서 100%의 성공률을 얻지 못한다면 신호 전력을 높여 가면서 반복 테스트가 진행되었다. 이 반복 테스트에서 100%의 성공률로 더 이상 신호 점유를 검출하지 못할 때까지 진행하게 되었다.

테스트 결과는 <표 6>과 같으며, 인접 채널에서의

<표 5> FCC의 TV 신호 검출에 대한 MSTV 보고

Device	Best performance	Worst performance	Total errors/scans	% Error rate
Motorola(Detects DTV channels only)	1 errors/20 channels	14 errors/22 channels	195/724	26.9 %
Philips	3 errors/31 channels	15 errors/31 channels	353/1302	27.1 %
Adaptrum (2 hr. scan time)	4 errors/31 channels	14 errors/31 channels	204/682	30 %
I ² R (Some tests analog scan only)	4 errors/31 channels	22 errors/31 channels	3735/1000	37.3 %

<표 6> 각 기관별 인접 채널 테스트 결과

Prototype WSD	Detection Thresholds in the Presence of DTV-Occupied Adjacent Channels (dBm)											
	N+1			N-1			N+2			N-2		
	H	M	L	H	M	L	H	M	L	H	M	L
Adaptrum	A	-108	-120	-100	A	A	-108	-120	-120	-105	-119	-120
I ² R	-97	-117	-119	A	A	-117	-118	-118	-118	-118	-118	-117
Microsoft	-67	-110	A	B	B	B	-76	-118	-120	B	B	B
Motorola	-52	-97	-114	-47	-68	-109	-79	-115	-114	-76	-115	-114
Motorola (w/modification)	-102	-111	-110	-73	-98	-110	-96	-112	-112	-96	-112	-112
Philips	A	A	-122	A	A	-122	A	-122	-124	A	A	-123

Notes:

H = High adjacent signal level(-28 dBm);

M = Moderate adjacent signal level(-53 dBm);

L = Low adjacent signal level(-68 dBm).

A = Insufficient receiver selectivity and/or receiver desensitization prevented collection of meaningful data.

B = Device malfunction prevented collection of data.

간섭이 유입될 경우 대부분의 기기가 모두 상당한 정도의 신호 검출 성능의 저하를 보였으며, 이러한 성능 저하는 방송 서비스 구역 내에서의 방송 신호 검출 성능에 영향을 주게 될 것이다.

V. 결 론

현재 한정된 주파수 대역의 효율을 극대화할 수 있는 기술로서 유휴 주파수 재활용이 가능한 무선

인지 기술이 급부상하고 있다. 이러한 무선 인지 시스템은 유휴 주파수를 감지하여 최적의 통신이 가능하도록 하는 핵심 기술이 스펙트럼 센싱이다. 이 기술의 검증을 위해 미국 연방통신위원회(FCC)에서 지난 2008년 11월에 진행된 WSD 2차 성능 시험 결과에 대해 FCC가 발표한 시험 결과는 목표로 했던 WSD 운용 계획의 개념을 충족시켜줄 수 있는 수준까지 만족시켰다고 언급하고 있다.

이에 따라 스펙트럼 검출과 Geo-location DB 방식

을 혼용하여 기존 사용자를 보호하는 동시에 유휴 채널에서 서비스를 제공할 수 있다는 결과를 얻었으며, 또한 이 결과를 바탕으로 향후 있을 수 있는 추가적인 기기들 중 특히 센싱 기능 만에 의지하는 경우, 개발과 승인에 관련된 기술적인 문제들을 해결할 수 있을 것으로 평가하였다.

본 논문에서는 무선 인지 시스템의 핵심 기술인 스펙트럼 센싱 기술이 1차 사용자(incumbent user) 신호인 디지털/아날로그 TV 및 무선 마이크로폰 등에 대한 신호 유무 검출에 따른 다양한 검출 기법들과 테스트 결과들을 소개하였다. 실제 무선 환경에서의 Field 테스트까지는 추가 기술적인 부분의 보완이 필요하며, 이와 같이 중요한 요소 기술들이 충분히 고려되어진다면 향후 무선 인지 기술을 이용한 진보된 통신 서비스의 도입을 앞당기게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Mitola III, *Cognitive Radio Architecture*, Wiley-interscience, 2006.
- [2] Carl R. Stevenson et al., "Functional requirements for the 802.22 WRAN standard", IEEE802.22-05-007-48-0000, Nov. 2006.
- [3] FCC-08-260, "Second report and order", Nov. 2008.
- [4] FCC-02-328A1, "Additional spectrum for unlicensed devices below 900 MHz and in the 3 GHz band", Dec. 2002.
- [5] IEEE P802.22, Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Policies and procedures for operation in the TV Bands.
- [6] Gerald Chouinard, "Sensing Threshold", IEEE 802.22-06-0051-08-0000, Jul. 2006.
- [7] Y. Zeng et al., "I2R Sensing", IEEE802.22-06-0187-01-0000, Nov. 2006.
- [8] K. Lim, "MRSS simulation", IEEE802.22-07-0143-00-0000, Mar. 2007.
- [9] H. S. Chen et al., "Signature based sensing", IEEE 802.22-07-0028-00-0000, Jan. 2007.
- [10] Steve Shellhammer, "Spectrum Sensing in IEEE 802.22", CIP 2008, Jun. 2008.
- [11] J. M. Mendel, "Tutorial on higher order statistics (spectra) in signal processing and systems theory: Theoretical results and some applications," *Proc. of IEEE*, pp. 278-305, Mar. 1991.
- [12] Apurva Mody, "Spectrum sensing of the DTV in the vicinity of the pilot using higher order statistics", IEEE802.22-07-0370-03-0000, Aug. 2007.
- [13] H. S. Chen, "Thomson cyclostationarity based sensing", IEEE802.22-07-0133-00-0000, Mar. 2007.
- [14] FCC DA-08-2243A3, "Evaluation of the performance of prototype TV- band white space devices phase II", *OET Report*, Oct. 2008.
- [15] FCC DA-08-2243A4, "RF Capture Information", *OET Report*, Oct. 2008.
- [16] Victor Tawil, "DTV_signal_Captures", IEEE802.22-06-0038-00-0000, Mar. 2006.
- [17] FCC, "RF Capture Information", DA-08-2243A5, *OET Report*, Oct. 2008.
- [18] Victor Tawil, "FCC Report on Sensing of TV Channels", IEEE802.22-09-0024-00-0000, Jan. 2009.

≡ 필자소개 ≡

민준기



2000년: 광운대학교 전자공학과 (공학사)
2002년: 광운대학교 전파공학과 (공학석사)
2007년: 광운대학교 전파공학과 (공학박사)
2007년 3월~현재: 삼성전기 중앙연구소

책임연구원

[주 관심분야] 무선인지(Cognitive Radio) 기술, 스펙트럼 센싱 기술, 광대역 RF 시스템

김기홍



1987년: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1989년: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
2005년 12월: Georgia Tech., ECE. Ph.D.
1989년 5월~1998년 6월: 한국전자통신연구원 이동통신연구단 선임연구원

2005년 11월~현재: 삼성전기 중앙연구소 수석임원연구원

[주 관심분야] 무선인지(Cognitive Radio)기술, 이동통신 전송 기술, 스펙트럼 센싱 기술

황성호



1996년: 경일대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
1998년: 경북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
2003년: 경북대학교 컴퓨터공학과(공학박사)
2004년 2월: POSTECH 박사후 연구원

2004년 11월~2006년 12월: Georgia Tech. 박사후 연구원

2007년 2월~현재: 삼성전기 중앙연구소 책임연구원

[주 관심분야] 무선인지(Cognitive Radio), 다중접속기술(MAC), 4세대 이동통신 기술

황신환



1986년: 서울대학교 제어계측과 (공학사)
1988년: 서울대학교 제어계측과 (공학석사)
1993년: 서울대학교 제어계측과 (공학박사)
2008년 10월~현재: 삼성전기 중앙연구소 UM솔루션 Lab장(상무)

[주 관심분야] 이동통신 기술, 디지털 신호/ 이미지 처리 기술