DBpia

TV White Space에서 채널 본딩된 다양한 CR 시스템의 효율적인 검출 알고리즘

정회원 임 선 민*, 정 회 윤*, 정 병 장*

The Efficient Detection Algorithm of Various CR signals using Channel Bonding in TV White Space

Sun-min Lim*, Hoi-yoon Jung*, Byung-Jang Jeong* ***Regular Members***

요 약

FCC는 디지털 방송 전환 후 발생되는 TVWS에서의 효율적인 스펙트럼 활용을 위해 비면허 시스템의 주파수 사용을 허용하였다. 다양한 면허 사용자 및 비면허 CR 사용자가 공존하는 환경에서 최적 채널 선택을 위해서는 우선 채널 사용 현황 파악이 요구된다. 데이터베이스를 통해 제공되는 면허 사용자 채널 정보 외에는 센싱 알고리즘을 통한 검출이 필요한데 본 논문에서는 단일 채널 수신만으로 채널 본딩된 비면허 CR 신호까지 검출할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 전산 모의 실험 결과 IEEE 802.11af 신호는 단일 채널의 경우에는 SNR=-18dB, 8 채널 본딩 신호의 경우에는 SNR=-7dB에서 검출 확률이 90% 이상으로 나타났으며, 동일 조건에서 ECMA 392 신호는 단일 채널의 경우에는 SNR=-14dB, 8 채널 본딩 신호의 경우에는 SNR=-6dB로 나타났다. 결과적으로 제안 알고리즘을 통해 단일 채널 수신만으로 채널 본딩 신호의 검출이 가능해짐으로써 전채널 센싱 소요 시간의 감소 및 시스템 오버헤드를 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

Key Words : TV White Space; Cognitive Radio; Spectrum Sensing; Channel Bonding; OFDM

ABSTRACT

For efficient utilization of spectrum resources in TV white space after DTV transition, FCC allowed usage of the spectrum for CR system. The CR system is required to cognize channel usage state for utilizing the unused spectrum in TV white space which coexists various primary and secondary systems. In the meantime, as a demand for high throughput communication had been increased recently, CR systems also consider to adopt channel bonding technology, thus spectrum sensing for channel bonded system is essentially required. In this paper, we propose a novel spectrum sensing algorithm for channel bonding system using a single channel receiver. For IEEE 802.11af signal, the proposed algorithm provide detection probability of 90% with false alarm probability 10% at SNR -18dB for single channel system and at SNR -7dB for 8 channel bonded system, respectively. Utilizing the proposed scheme, we can detect channel bonded signal using only a single receiver, therefore system overhead for spectrum sensing can be reduced significantly.

※ 본 연구는 지식경제부, 방송통신위원회 및 한국산업기술평가관리원의 산업원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음 [10035585, UHF TV White Space 이용 CR 통신기술 개발]

* 한국전자통신연구원 방송통신융합부문 인지무선연구팀 (smlim@etri.re.kr)

논문번호 : KICS2010-11-529, 접수일자 : 2010년 11월 4일, 최종논문접수일자 : 2011년 4월 20일

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

2008년 11월 미국 통신방송규제기관인 FCC (Federal communications commision)는 TV white space (TVWS)에 대해 비면허 사용자가 사용할 수 있도록 주파수 개방을 결정하였다[1]. FCC R&O 10-174[2]에서는 면허 사용자 보호를 위해 TV와 무선 마이크폰 신호의 경우 데이터베이스를 이용하도록 규정하고 있으나 데이터베이스에 접속할 수 없는 경우이거나 비면허 사용자 신호에 대해서는 스펙트럼 센싱을 통해 채널 점유 상황을 판단해야 한다. 따라서 스펙트럼 센싱은 면허 사용자로의 간섭 방지와 이기종 시스템과의 공존 그리고 최적 통신 채널 선택을 위해 사용된다[3-4]. 기존 비면허 CR 사용자에 대한 스펙트럼 센싱 알고리즘은 대부분 단일 채널 수신을 가정하여 제안되었다[5-8]. 그러나 전송율 향상을 위해 IEEE 802.11af, ECMA 392에서 채널 본딩 시스템을 검토하고 있으므로 채널 본딩 신호에 대한 검출 알고리즘이 요구되며 하드웨어 복잡도를 낮추기 위해 단일 채널 수신 구조를 변경하지 않고 검출할 수 있는 알고리즘이 요구된다.

본 논문에서는 2장에서 TVWS에서 공존하는 다양한 비면허 시스템의 검출을 위해 성능 개선된 싸이클로-스테이셔너리 특성을 이용한 검출 알고리즘을 제안하였고, 3장에서는 신호 검출 결과 채널 본딩을 지원하는 시스템인 경우 본딩된 채널 개수를 판단할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 4장에서는 전산 모의실험을 통해 제안 알고리즘의 성능을 검증하고 5장에서 결론으로 마무리하였다.

Ⅱ. TVWS에서 싸이클로-스테이셔너리 특성을 이용한 다양한 CR 신호 검출

2.1 OFDM 신호의 싸이클릭 자기상관 함수

복소 기저대역 OFDM 신호 s[n]은 다음과 같다[9]

$$s[n]=\sum_{u=-\infty}^{\infty} g[n-uN_s]\left(\sum_{i=0}^{N_c-1} d[u,i]e^{i2\pi\frac{i-(N_c-1)/2}{N_u}n}\right) \quad (1)$$

N_c는 서브캐리어의 개수, N_u는 FFT 의 개수를 나타낸다. $N_s(=N_u+N_g)$는 싸이클릭 프리픽스 (cyclic prefix)가 포함된 OFDM 심볼의 샘플수를 나타낸다. $d[u,i]$는 u번째 심볼에서 i번째 서브캐리어를 나타내는데 QAM 변조된 신호의 경우에는 통계적으로 서로 상관성이 존재하지 않는다. 위 식에서 $g[n]$은 다음과 같이 정의된다.

$$g[n]=\begin{cases}1, 0\le n<N_s\\ 0, otherwise\end{cases} \quad (2)$$

$s[n]$의 자기 상관 함수 $R_{ss}[n,l]$ 다음과 같이 쓸 수 있다

$$R_{ss}[n,l]=\sigma_d^2 A[l]\sum_n g[n-uN_s]g[n-uN_s+l] \quad (3)$$

$$A[l]=\sum_{i=0}^{N_c-1} e^{-j2\pi\left[\frac{i-(N_c-1)/2}{N_u}\right]l} \quad (4)$$

$$\sigma_d^2=E\{d[n,i]d^*[n,i]\} \quad (5)$$

식(3)으로부터 $R_{ss}[n,l]$는 N_s의 주기를 갖는 주기 신호이며 따라서 OFDM 신호은 다음과 같은 싸이클릭 주파수에서 싸이클로-스테이셔너리 특성을 나타낸다.

$$A=\left\{\alpha_k|\alpha_k=\frac{k}{N_sT_0}, k=0,\pm1,\pm2,\cdots\right\}, T_0=\frac{1}{F_s} \quad (6)$$

자기 상관 함수인 식(3)의 푸리에 계수는 싸이클릭 자기상관 함수 (cyclic autocorrelation function)라고 불리며 싸이클릭 주파수 α_k와 시간차 l로 식(7)과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned}R_{ss}^{\alpha_k}[l]&=\lim_{N\to0}\frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1}R_{ss}[n,l]e^{-j2\pi\frac{nk}{N}}\\&=\left\{\begin{array}{ll}\sigma_d^2A[l]\dfrac{\sin[\pi\alpha_k(N_s-|l|)]}{\pi k}, & \text{for } |l|\le N_s\\ 0, & otherwise\end{array}\right\}\end{aligned} \quad (7)$$

일반적으로 신호의 존재 유무는 다음 식을 통해 결정된다.

$$D=\begin{cases}1, \left|R_{ss}^{\alpha_k}[l]\right|\ge thr\\ 0, otherwise\end{cases} \quad (8)$$

2.2 다양한 CR 시스템의 검출 및 분류 알고리즘

현재 TVWS에서 표준화가 진행중이거나 완료된 CR 시스템은 IEEE 802.22, ECMA 392, IEEE 802.11af가 있다. 위 시스템은 모두 OFDM 변조 방식

www.dbpia.co.kr

을 사용하므로 앞서 설명된 CAF 특성을 이용하여 신호를 검출할 수 있으며 식(6)으로부터 N_s와 F_s에 따라 싸이클로-스테이셔너리 특성을 나타내는 싸이클릭 주파수가 결정되므로 신호 종류를 구분할 수 있다[10,11]. 표 1은 3가지 신호의 시스템 파라미터 및 싸이클릭 주파수를 나타낸 것이다. 그림 1은 IEEE 802.11af 신호의 CAF 특성을 나타낸 그림으로 α축은 N_s로, l축은 N_u로 정규화하여 나타냈다. 싸이클로-스테이셔너리 특성을 이용한 신호 검출 알고리즘은 검출 및 분류 성능이 우수한 대신 계산 복잡도가 높은 단점이 존재한다. 만약 표 1의 모든 신호를 다 검출할 수 있도록 하려면 IEEE 802.22의 싸이클릭 프리픽스 율이 1/16일 때와 1/32일 때를 구분할 수 있을 정도의 해상도까지 지원해야하므로 식(7)에서의 N값을 매우 크게 해야 한다. 그러나 이러한 경우 많은 계산량이 요구되므로 본 논문에서는 계산 복잡도를 감소시키기 위해 식(7)을 약간 변형시켜 동일 주파수 간격으로 싸이클릭 주파수를 계산하는 것이 아니라 관심 싸이클릭 주파수에 대해서만 계산하는 것으로 변경하는 방법을 제안하였다. TVWS에서의 검출 대상 신호는 정해져 있으므로 표 1과 같이 α=0인 3가지 종류의 l값과 $\alpha \neq 0$이 아닌 경우의 8가지 종류의 싸이클릭 주파수에 해당하는 특성값만을 계산하여 신호의 검출에 이용하면 계산 복잡도를 낮출 수 있다. 송신 샘플링 주파수와 수신 샘플링 주파수가 다른 경우 l값은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$l = \left\lceil \frac{F_{s_RX}}{F_{s_TX}} \times N_u \right\rceil \tag{9}$$

앞서 설명된 11개 특성값은 신호 검출 및 종류 분

표 1. TVWS에 공존하는 3가지 CR 시스템 파라미터 및 싸이클릭 주파수

	FFT 사이즈	싸이클릭 프리픽스율	싸이클릭 주파수 (Hz)
IEEE 802.11af	64	1/4	62,500
ECMA 392	128	1/8	47,619
		1/16	50,420
		1/32	51,948
IEEE 802.22	2048	1/4	2,679
		1/8	2,976
		1/16	3,151
		1/32	3,247

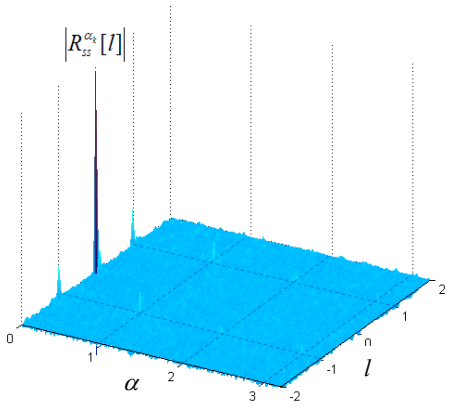


그림 1. IEEE 802.11af 신호의 싸이클로-스테이셔너리 특성

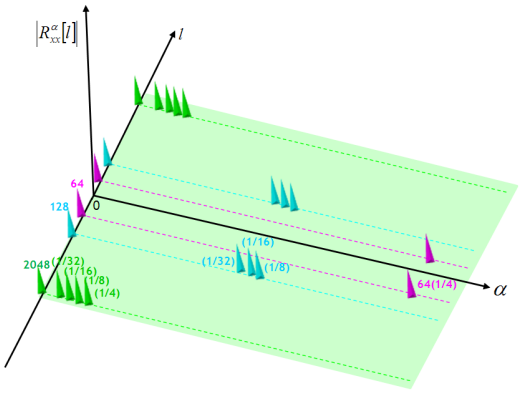


그림2. 3가지 시스템 검출을 위한 11개 싸이클릭 주파수에서의 특성값

류를 위해 5가지 특성치로 재정의 될 수 있으며 이는 다음과 같이 정리된다.

① α가 0일 때의 특성값이 임계값 이상인 경우
② α가 0이 아닐 때의 특성값이 임계값 이상인 경우
③ 모든 α에서의 특성값이 임계값 이상인 경우
④ ① 혹은 ② 의 값이 임계값 이상일 때 ①의 특성값 중 최대값을 가지는 경우의 FFT size와 ②의 특성값 중 최대값을 가지는 경우의 FFT size가 동일한 경우
⑤ α=0인 경우의 특성값을 FFT size가 같은 $\alpha \neq 0$경우의 특성값에 가중치로 적용하였을 때의 값이 임계값 이상인 경우

5가지 방법 중 ①~③의 경우에는 일반적으로 많이 사용되는 방법이며, ④, ⑤의 경우는 본 논문에서 새로 제안한 방법이다.

www.dbpia.co.kr

Ⅲ. 채널 본딩된 CR 신호 검출

IEEE 802.11af, ECMA 392 시스템의 경우에는 높은 전송률을 제공하기 위해 채널 본딩 (channel bonding)에 대한 검토가 이뤄지고 있으므로 채널 본딩 신호를 검출할 수 있는 알고리즘이 필요하다[12,13]. 만약 센싱 수신기에서 단일 채널 수신만으로 채널 본딩에 대한 정보를 알 수 있다면 본딩된 나머지 채널에 대해서는 센싱을 수행할 필요가 없으므로 결과적으로 전 채널 센싱 시간이 감소하며, 부가적으로 전송되는 채널 본딩 정보 없이도 센싱이 가능하므로 시스템 오버헤드를 줄일 수 있다. 본딩을 지원하는 시스템의 경우는 두 가지로 나뉘는데 IEEE 802.11af 시스템과 같이 FFT 사이즈를 고정시키는 방법과 ECMA 392 시스템과 같이 서브캐리어 간격을 일정하게 유지시키는 방법이 있다. 단일 채널 수신기의 샘플링 주파수를 48/7MHz라고 가정했을 때 IEEE 802.11af 본딩 신호를 단일 채널 수신기로 수신한 경우에는 표 2와 같이 식 (6)으로부터 본딩 채널 수에 따라 주기가 달라지므로 다른 싸이클릭 주파수 값을 가진다. 따라서 고정 FFT size를 가지는 시스템의 경우에는 싸이클로 스테이셔너리 특성으로부터 신호 검출 및 종류 분류 그리고 본딩 채널 개수에 대한 정보까지 파악할 수 있다.

반면에 서브캐리어 간격을 유지시키기 위해 본딩 채널 수에 따라 FFT 사이즈를 증가시키는 방법은 단일 채널 수신기로 수신한 경우 본딩 채널 수와 상관없이 같은 싸이클릭 주파수에서 특성이 나타나므로 채널 본딩 여부를 판단할 수 없다. 따라서 이러한 경우 채널 본딩 여부를 판단하기 위해서는 다른 방법이 요구되는데 본 논문에서는 본딩된 채널 수에 따라 가드 밴드(guard band)의 대역폭이 달라지므로 이를 이용하는 방법을 제안한다. 표 3은 ECMA 392 신호의 본딩 채널수에 따른 가드 밴드를 정리한 것이다.

그림 3은 채널 본딩 CR 시스템의 신호 검출 흐름도를 나타낸 것이다. 싸이클로-스테이셔너리 특성 계산을 통해 FFT 크기가 고정인 경우에는 첫번째 경로

표 2. IEEE 802.11af 채널 본딩 신호를 단일 채널수신기로 수신한 경우 본딩 채널 수에 따른 싸이클릭 주파수

본딩 채널수	l (샘플수)	싸이클릭 주파수 (Hz)
1	88	62,500
2	44	125,000
4	22	250,000
8	11	500,000

표 3. 본딩 채널 수에 따른 가드 밴드 대역폭

신호 종류	본딩 채널수	가드 밴드 (MHz)
ECMA 392	1	0.27
	2	0.54
	4	1.07
	8	2.14

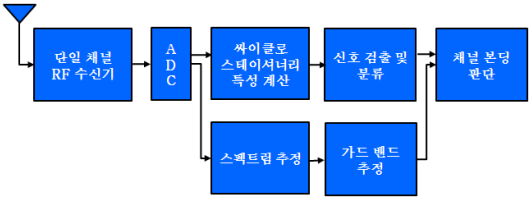


그림 3. 제안된 채널 본딩을 지원하는 CR 시스템의 신호 검출 알고리즘

만으로도 신호 검출 및 종류 분류 그리고 채널 본딩 여부까지 파악할 수 있으며 서브캐리어 간격을 고정시키는 방법이더라도 아래 두 번째 경로의 가드 밴드 추정으로 본딩된 채널수를 파악할 수 있으므로 종류에 상관없이 스펙트럼 센싱이 가능하다.

가드 밴드 추정은 채널을 협대역으로 분할한 후 각 협대역의 에너지를 측정하여 가드 밴드를 판단하는 방법을 이용하였다. 협대역 단위의 에너지 측정하는 방법은 다위상 필터 뱅크를 이용한 에너지 검출 방식을 사용하였으며 각 본딩 채널에 대한 참조 신호와의 비교를 통해 본딩 채널 수를 판단한다. 그림 4는 단일 채널 수신기를 가정한 ECMA 392 신호의 가드 밴드 추정을 위한 참조 신호 $E_{ref}(k,i)$를 나타낸 것이다. 샘플링 주파수 48/7MHz을 64개로 분할하여 신호 부분은 1, 가드 밴드는 -1 그리고 6MHz 대역 외의 부분은 0으로 값을 할당하였다. 여기서 k는 본딩된 채널 개수를 나타내며, i는 64개 샘플의 인덱스를 의미한다. $n(k)$는 k개 채널 본딩된 경우 신호 부분을 나타내는 샘플수를 의미하는 것으로 예를 들어 8채널 본딩의 경우에는 그림 4 (d)로부터 36이 된다. $E_r(i)$는 수신 신호로부터 64 FFT를 가지는 다위상 필터 뱅크를 사용하여 계산된 에너지라 할 때 본딩 채널수를 판단하는 특성값 $C(k)$은 다음과 같이 정의하였다.

$$C(k)=\sum_{i=1}^{64}\frac{E_{ref}(k,i)\ \bullet\ \widehat{E}_r(i)}{n(k)},\ k=1,2,4,8 \qquad (10)$$

여기서 $\widehat{E}_r(i)=E_r(i)-E_N$으로 E_N은 잡음 에너지

www.dbpia.co.kr

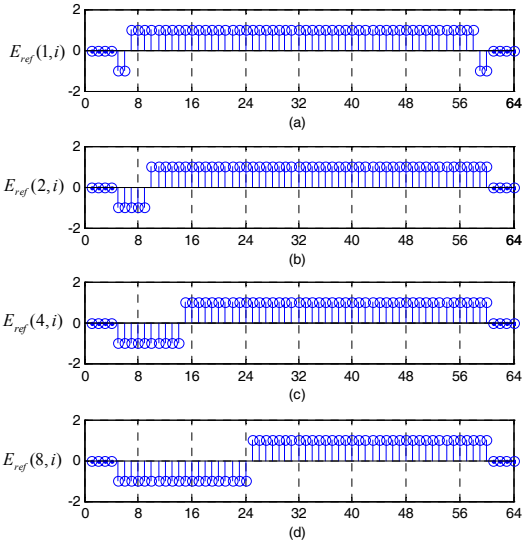


그림 4. ECMA 392 신호의 가드 밴드 추정을 위한 참조 신호 (a) 1 채널 (b) 2 채널 (c) 4 채널 (d) 8 채널

기준값을 의미하며 따라서 $\widehat{E_r}(i)$은 잡음 에너지를 기준으로 측정 에너지의 상대적인 값으로 나타난다. 채널의 시작 위치에는 항상 가드 밴드가 존재하고 가드 밴드는 잡음 레벨과 같으므로 $E_N = E(5)$로 설정하여 계산될 수 있다. 최종적으로 4개의 k로부터 계산된 $C(k)$로부터 최대값 비교를 통해 본딩 채널 수가 결정된다.

Ⅳ. 전산 모의 실험

본 절에서는 2절과 3절에서 제안된 알고리즘의 성능 검증을 위하여 전산 모의 실험을 수행하였다. 우선 단일 채널 신호의 센싱 알고리즘으로 2.2절에 기술된 5가지 신호 검출 기법에 대해 전산 모의 실험을 수행하였다. 모의 실험에 사용된 신호는 싸이클릭 프리픽스율이 1/8인 ECMA 392 신호로써 데이터 캡쳐 시간은 10.2ms이다. 그림 5는 전산 모의 실험의 성능 결과를 나타낸 것으로 싸이클로-스테이셔너리 특성값의 크기를 이용한 1~4번까지의 알고리즘의 경우 거의 같은 성능을 나타냈으나 가중치를 적용한 5번 알고리즘의 경우에는 P_D=0.9를 기준으로 다른 알고리즘에 비해 약 SNR=1.5~2dB 정도의 성능 개선 효과가 나타났다.

다음은 채널 본딩 신호를 단일 채널 수신기로 수신한 경우에 대한 신호 종류 검출 성능 및 본딩 채널 개수 검출에 대한 전산 모의 실험으로 IEEE 802.11af,

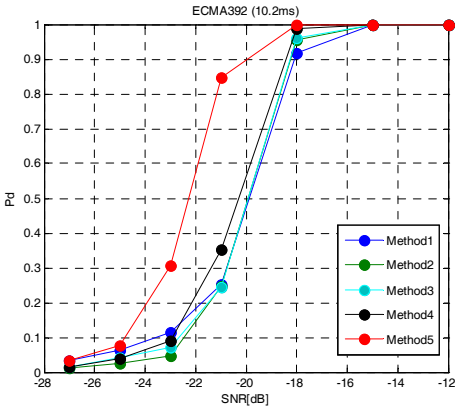
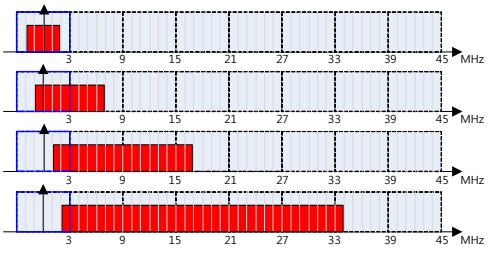


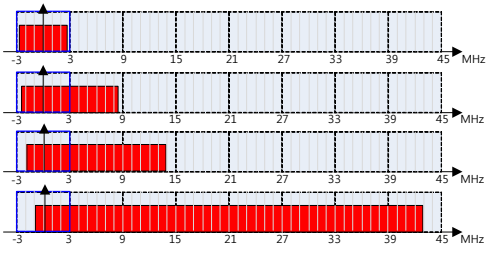
그림 5. 5가지 신호 검출 알고리즘의 검출 성능

ECMA 392 두가지 시스템에 대해 4가지 채널 본딩의 경우를 가정하였다. 알고리즘은 그림 3의 순서대로 수행되는데 수신 데이타는 그림 6의 채널 본딩 신호에서 첫 번째 채널에 해당하는 신호를 수신한 경우를 가정한 것으로 파란 선으로 표현하였다.

그림 7은 IEEE 802.11af 신호의 4가지 채널 본딩 경우에 대해 5.1ms 데이터 수신하였을 때의 검출 성능을 나타낸 것이다. 그림 5의 결과로부터 5번째 특성치를 이용한 검출 알고리즘의 성능이 가장 우수하므로 이를 이용하였다. 그림에서 실선 CHN_D는 N채널 본딩된 신호를 단일 채널 수신기로 수신하여 검출 알고리즘 수행 결과 표 1, 표 2로부터 IEEE 802.11af라



(a) 4가지 종류로 채널 본딩된 IEEE 802.11af 신호의 스펙트럼



(b) 4가지 종류로 채널 본딩된 ECMA 392 신호의 스펙트럼

그림 6. 채널 본딩 신호의 스펙트럼

www.dbpia.co.kr

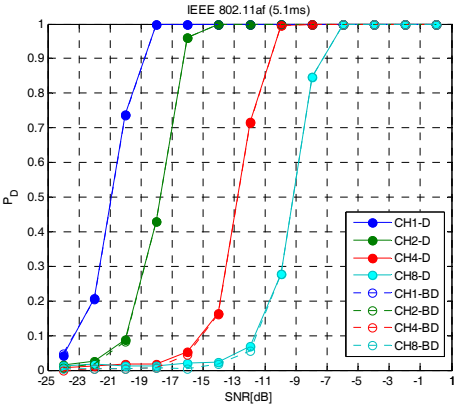


그림 7. IEEE 802.11af 신호의 검출 성능

고 판단한 경우를 나타내며, 점선 CHN_BD는 N채널 본딩된 신호에 대해 신호종류 및 본딩 채널 수까지 정확하게 판단한 경우를 나타낸다. 채널 수까지 정확하게 판단하는 경우를 검출 기준으로 할 때 모의 실험 결과 1 채널은 SNR=-18dB, 2 채널은 SNR = -16dB, 4 채널은 SNR = -10dB, 8 채널은 SNR = -7dB에서 $P_D \geq 0.9$을 만족하는 것으로 나타났다. 그림 8은 그림 7과 동일한 조건에서 실험 대상 신호만 ECMA 392 신호로 대체하고 3장에서 설명한 가드 밴드 추정을 통해 채널 본딩 여부를 파악하는 알고리즘을 적용한 경우로 1 채널은 SNR=-14dB, 2 채널은 SNR=-12dB, 4 채널은 SNR=-9dB, 8 채널은 SNR=-6dB에서 $P_D \geq 0.9$을 만족하는 것으로 나타났다. 현재는 비면허 기기에 대한 센싱 기준이 마련되지 않은 상황으로 무선랜의 센싱 요구치가 잡음 레벨 이상인 것을 감안하면 제안 알고리즘의 검출 성능이 잡음 레벨 이하의 신호까지 검출 가능하므로 비면허 기기의 채널 점유 상황 파악 및 상호 공존을 위해 유용

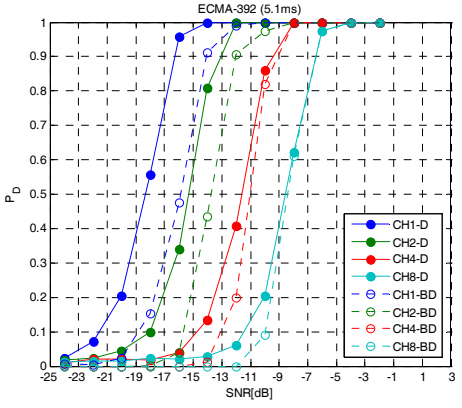


그림 7. ECMA 392 신호의 검출 성능

하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

V. 결 론

본 논문에서는 TVWS의 비면허 사용자 검출 알고리즘으로 싸이클로-스테이셔너리 특성과 가드 밴드 추정을 통해 단일 채널 수신만으로 채널 본딩된 비면허 CR 신호까지 검출할 수 있는 센싱 알고리즘을 제안하였다. 전산 모의 실험을 통해 5.1ms의 수신 데이터만으로도 8개 채널 본딩된 IEEE 802.11af 신호의 경우에는 SNR=-7dB에서, ECMA 392의 경우에는 SNR=-6dB에서 90%이상 검출 가능한 것으로 나타났다. 이 알고리즘을 이용하면 본딩된 나머지 채널에 대해서는 센싱을 수행할 필요가 없으므로 결과적으로 전 채널 센싱 시간이 감소하며, 부가적으로 전송되는 채널 본딩 정보 없이도 센싱이 가능하므로 시스템 오버헤드를 줄일 수 있는 장점을 가진다. 그리고 네트워크 초기 접속시 센싱 정보를 통한 빠른 접속이 기대된다.

참 고 문 헌

〔1〕 FCC, ET Docket No. 08-260, “Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order,” Nov. 2008.

〔2〕 FCC, ET Docket No.10-174, “Second Memorandum Opinion and Order,” Sep. 2010.

〔3〕 Stephen J. Shellhammer, Ahmed K. Sadek and Wenyi Zhang, Technical Challenges for Cognitive Radio in the TV White Space Spectrum

〔4〕 Stephen J. Shellhammer, A comparison of geo-location and spectrum sensing in cognitive radio, ICCCN, Aug. 2010

〔5〕 Hou-Shin Chen, Wen Gao, Daut. D. G., “Spectrum Sensing for OFDM Systems Employing Pilot Tones and Application to DVB-T OFDM,” IEEE International Conference on Communications ICC’08, May. 2008, pp.3421-3426.

〔6〕 Cong Wang, Xianbin Wang, Hao Li, Paul Ho, “Multi-window spectrum sensing of unsynchronized OFDM signal at very low SNR,” Globecom’09, Dec. 2009

〔7〕 X. Wang, H.W. Chen, Y. Wu, J. Chouinard, and C.L. Wang, “Identification of PCP-OFDM

www.dbpia.co.kr

Signals at Very Low SNR for Spectrum Efficient Communications,"in Proc. IEEE Vehicular Technology Conference VTC'09 Spring, April 2009,
〔8〕 F. Socheleau, P. Ciblat, and S. Houcke, "OFDM System Identification for Cognitive Radio Based on Pilot-Induced Cyclostationarity," in Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference WCNC'09, April 2009,
〔9〕 William A. Gardner, Statistical spectral analysis a nonprobabilistic theory , Prentice hall, 1988
〔10〕 Ning Han, Sung Hwan Sohn, Jae Moung Kim, "Cyclic autocorrelation based blind OFDM detection and identification for cognitive radio," Journal of Communication and Computer, Vol. 6, No.5, May 2009
〔11〕 Minseok Kim, Po Kimtho, Jun-ichi Takada,"Performance Enhancement of Cyclostationarity Detector by Utilizing Multiple Cyclic Frequencies of OFDM signals," IEEE DySPAN 2010
〔12〕 ECMA Std. 392, "MAC and PHY for Operation in TV White Space", Dec. 2009.
〔13〕 IEEE P802.11af/D1.0, "Draft Standard for Information Technology, Telecommunications and information exchange between systems, Local and metropolitan area networks Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications", Jan. 2011.

임 선 민 (Sun-min Lim) 정회원

2000년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학사)
2002년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학석사)
2010년 2월 충남대학교 정보통신공학과(공학박사)
2006년 9월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀
<관심분야> Cognitive Radio 및 스펙트럼 센싱, 비선형 시스템의 선형화

정 회 윤 (Hoi-yoon Jung) 정회원

2006년 2월 한국정보통신대학교 공학부(공학사)
2008년 2월 한국정보통신대학교 공학부(공학석사)
2008년 2월~현재 한국전자통신연구원 인지무선연구팀
<관심분야> Cognitive Radio 및 스펙트럼 센싱, 다중 안테나 시스템

정 병 장 (Byung-jang Jeong) 정회원

1988년 2월 경북대학교 전자공학과(공학사)
1992년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)
1997년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)
1996년~2003년 삼성종합 기술원 전문연구원
2003년~2010년 한국전자통신연구원 인터넷 연구부문 차세대이동통신 방식연구팀 책임 연구원
2010년~현재 한국전자통신연구원 방송통신융합부문 인지무선연구 팀장
<관심분야> Cognitive Radio, 통신신호처리 및 이동통신 물리계층

www.dbpia.co.kr