

WiBro 시스템에서 다중 안테나를 이용한 인지 무선

스펙트럼 센싱

Spectrum Sensing of Cognitive Radio using Multiple Antennas in WiBro Systems

백명기*, 허시영**, 양재수***, 김진영*
(Myung Kie Baek*, Si Young Heo**, Jae soo Yang***, and Jin Young Kim*)

Abstract: Cognitive Radio (CR) technology is proposed for using the unused spectrum band efficiently because of the spectrum scarcity problems. Spectrum sensing is one of the most challenging issues in cognitive radio system. In this paper, we focus on the signal detection of WiBro system band. As most of the modulated signals can be treated as cyclostationary random process, we can detect the signal of the OFDM signals in WiBro system. OFDM symbols using WiBro system have several pilot subcarriers and periodic pilots have cyclostationary characteristic. To improve of the detection performance, we get diversity gain using multiple antennas.

Keywords: Cognitive radio, WiBro, OFDM, Cyclostationary

I. 서론

무선 통신 및 방송 기술의 발달과 함께 최근의 정보 통신 서비스는 사용자의 고속화 및 실시간 멀티미디어 서비스의 요구에 발맞추어 한정된 주파수 자원에 대한 수요가 증가하고 있다. 이러한 주파수 부족 현상의 이유로 현재의 스펙트럼 현황을 감지한 후 사용하지 않는 주파수 대역을 찾아 지능적으로 주파수의 사용을 가능하게 하는 인지무선(Cognitive radio) 기술이 활발히 연구되고 있다.

인지무선 기술은 효율적인 주파수 관리 및 사용을 위해서 IEEE Standard Association에서는 인지 함수들을 기본적으로 지원하고 주파수 대역에서 지역적으로 사용하지 않는 주파수 대역을 활용하여 광대역 무선 인터넷 서비스를 제공하기 위한 IEEE 802.22 WRAN (Wireless Regional Area Network)에서 표준화가 활발히 진행되고 있다 [1], [2]. 인지무선 기술은 지역적으로 각기 다른 주파수 및 시간 할당 분포, 고유한 주변 환경 특색에 의한 채널 특성과 같은 상황을 능동적으로 인지하고, 이러한 정보를 토대로 사용 가능한 다양한 무선 자원들 즉, 시간, 공간, 주파수 등을 사용자 또는 서비스가 요구하는 데이터 전송률, 용량 및 신호 대 간섭비 등과 서비스 QoS를 만족시키기 위해서 지능적으로 무선자원을 할당하고 활용하는 기술이다 [3-5].

인지무선 기술을 다양한 무선 시스템에 적용하기 위해서는 기존의 고정된 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해 사용하지 않는 주파수 대역을 찾아야만 한다. 인지무선 기술 중에서 스펙트럼 센싱을 통한 사용하지

않는 주파수 대역의 확보는 가장 우선시되는 기술이라고 할 수 있다 [6], [7]. 스펙트럼 센싱을 위한 여러 가지 방법들이 현재 활발히 연구되고 있고, 그 중에서 신호의 cyclostationary 특성 존재 여부를 이용하여 신호의 존재 여부를 확인하는 방법이 활발히 연구되고 있다. 일반적으로 데이터는 stationary 랜덤 프로세스의 성격을 가지나, 변조된 신호는 2차적 통계적 특성 즉, 자기 상관 함수 등이 통계적으로 주기성을 가지게 되므로 cyclostationary 특성을 가지게 된다 [8], [9].

본 논문에서는 WiBro 시스템의 신호 검출을 위해 OFDM (Orthogonal frequency division multiplexing) 변조 신호를 사용한다. Cyclostationary 특성은 WiBro 표준에서 정한 물리 계층의 파일럿 부반송파의 주기적인 위치 특성을 이용하여 WiBro 시스템 주파수 대역의 신호를 검출한다. 그리고 신호 검출의 성능 향상을 위해서 다중 안테나를 사용하여 다이버시티 이득을 얻는다. 신호 검출의 성능은 특정 오경보(False alarm) 확률에서 신호 대 잡음비에 따른 신호 검출 확률을 시뮬레이션을 통해 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 시스템 모델에 대해 자세히 설명하고, 3장에서는 시뮬레이션을 통한 실험 결과를 보여준다. 그리고 마지막으로 4장에서 결론을 맺도록 하겠다.

II. 시스템 모델

OFDM은 고속의 직렬 데이터 스트림을 IFFT(Inverse fast Fourier transform) 부반송파 개수만큼의 병렬 구조로 변환하여 전송한다. 이때 병렬 구조의 데이터 스트림은 저속의 심볼 전송률로 변조된다 [10]. 기저대역에서의 시변 OFDM 신호는 식 (1)과 같다.

$$x(t) = \sum_{n=1}^N X_n[k] \cdot e^{j2\pi n\Delta f t}, \quad (1)$$

여기서 N 은 사용된 FFT point의 수이고, Δf 는 부반송파 사이의 거리, $X_n[k]$ 는 n -번째 부반송파에서 k -번째 전송 심볼을 의미한다. 그리고 $n = t/T_0$ 이고, T_0 는 OFDM 심볼의 간격이다. 그림 1에서 OFDM 심볼 T_s 는 신호 데이터 T_d 와 Cyclic prefix(CP) T_g 로 구성된다. OFDM 전송 신호를 위해서 부반송파의 수는 256으로 하고, CP 길이는 신호 데이터 길이의 1/8로 설정하였다. OFDM 전송 시스템에서 CP의 삽입은 IFFT로 얻어진 각 데이터 블록의 마지막 부분 심볼들을 복사해서 각 데이터 블록 앞에 붙임으로써 Delay spread로 인한 ISI(Inter-symbol interference)를 방지할 수 있다.

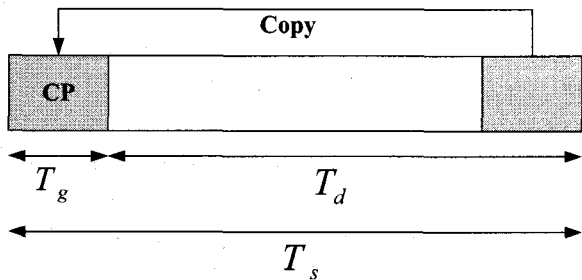


그림 1. OFDM 심볼 구조

Fig. 1 OFDM symbol structure

WiBro 시스템에서 업링크와 다운링크에서 전송되는 신호는 신호 데이터에 일정 간격으로 파일럿 부반송파를 삽입하여 채널의 상태와 동기를 맞추기 위해 사용된다. 그림 2는 파일럿 신호가 삽입된 OFDM 심볼의 주파수 도메인에서의 기본 구조를 나타내고 있다. 그리고

식 (2)는 WiBro의 다운링크에서 각각의 파일럿이 BPSK 변조된 신호와 심볼에서의 부반송파 위치를 나타낸다.

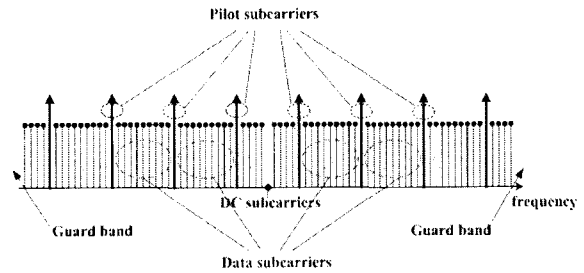


그림 2. OFDM 심볼의 파일럿 부반송파

Fig. 2 Pilot subcarriers of the OFDM symbol

$$\begin{aligned} c_{-88} = c_{-38} = c_{63} = c_{88} &= 1 - 2w_k \\ c_{-63} = c_{-13} = c_{13} = c_{38} &= 1 - 2\bar{w}_k, \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 w_k 는 파일럿 변조를 위해 사용되는 시퀀스이고, w_k 로부터 k -번째 OFDM 심볼을 위한 파일럿 변조 값을 구할 수 있다.

전송되는 OFDM 신호는 일정한 심볼 위치에서의 파일럿 부반송파로 인해 그 평균과 자기 상관 함수 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 cyclostationary 특성을 가지게 된다. 일반적으로 stationary 랜덤 프로세스의 신호 성분을 분석을 위해서는 자기 상관 함수와 PSD(Power spectral density)를 이용하게 되지만, cyclostationary 신호는 그 주기적 특성으로 인해 주파수 성분간의 상관성이 존재하게 되어 SCF(Spectral correlation function)을 이용할 수 있다. 그래서 잡음의 경우 주파수 영역에서 cyclostationary 특성을 가지지 않기 때문에 스펙트럼 센싱을 통해 스펙트럼의 사용 유무를 판단할 수 있다. 주기 T 를 가지는 임의의 신호의 평균과 자기 상관 함수는 식 (3), (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$m_x(t) = m_x(t - T), \quad (3)$$

$$R_x(t + T + \frac{\tau}{2}, t + T - \frac{\tau}{2}) = R_x(t + \frac{\tau}{2}, t - \frac{\tau}{2}). \quad (4)$$

Cyclostationary 신호의 분석을 위해서 시간 도메인과 주파수 도메인에서의 두 가지의 함수를 이용한다. 시간 도메인에서의 cyclostationary 신호의 분석은 식 (5)와 같은 CAF(Cyclic autocorrelation function)을 사용한다.

$$R_x^\alpha(\tau) = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_{-\Delta t/2}^{\Delta t/2} x(t + \tau/2)x(t - \tau/2)e^{-j2\pi\alpha t} dt. \quad (5)$$

주파수 도메인에서의 cyclostationary 신호의 분석은 CAF를 푸리에 변환한 SCD(Spectral correlation density)를 이용하고,

* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 20xx. x. x., 채택확정 : 200x. x. xx.

김윤현 : 광운대학교 전파공학과

(audri@kw.ac.kr)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심기술개발 사업의 일환으로 수행하였음. [2007-S-029-02, 가정용/기업용 WiBro 시스템 기술개발]

SCD는 식 (6)과 같다.

$$S_x^\alpha(f) = \limlim_{\Delta f \rightarrow \infty, \Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta f} \int_{-\Delta f/2}^{\Delta f/2} \Delta f \cdot X_{1/\Delta f}(t, f + \frac{\alpha}{2}) X_{1/\Delta f}^*(t, f - \frac{\alpha}{2}) dt \quad (6)$$

$$X_{1/\Delta f}(t, \nu) = \int_{-\frac{1}{2\Delta f}}^{\frac{1}{2\Delta f}} x(u) e^{-j2\pi\nu u} dt, \quad (7)$$

여기서 식 (7)은 중심주파수 ν 와 대역폭 Δf 를 가지는 신호 $x(t)$ 의 구간 $[t+1/2\Delta f, t-1/2\Delta f]$ 에서의 복소 포락선(Complex envelope)으로 푸리에 계수를 나타낸다. 이와 같은 cyclostationary 특성을 이용한 신호 검출은 FFT(Fast Fourier transform)를 사용하여 간략화 할 수 있다. 그림 3은 일반적인 cyclostationary 검출 방식의 구조를 나타내고 있다. 채널을 통과하여 수신된 신호 $x(t)$ 는 A/D(Analog to digital) 블록을 통과한 후에, FFT를 거쳐 시간 신호에서 주파수 신호로 변환된다. 그리고 α 간격의 주기 주파수(Cyclic frequency) 간격으로 스펙트럼 상관 관계를 구하고, 주기 T 만큼의 평균을 구한 후에 특정 임계값과 SCD 값을 비교하여 스펙트럼 센싱 구간에서 신호의 존재 여부를 확인할 수 있다.

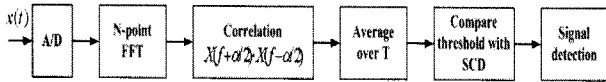


그림 3. Cyclostationary 검출 방식의 구조
Fig. 3 Structure of cyclostationary detection method

본 논문에서는 검출 성능의 개선을 위하여 2개의 안테나를 사용하여 다이버시티 이득을 얻는다. 수신단에 사용된 2개의 안테나에 수신되는 신호는 서로 독립적인 채널을 통과하여 수신되기 때문에 공간 다이버시티 이득을 얻어 기존의 방법에 비해 더 높은 신호 검출 확률을 얻을 수 있다. 그림 4는 제안하는 방식의 상관기의 구조를 보여준다.

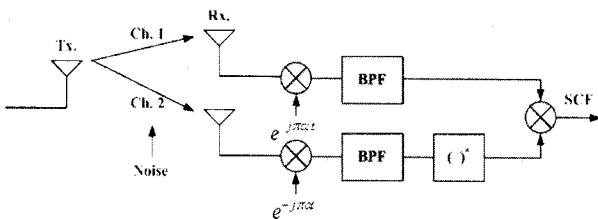


그림 4. 제안하는 방식의 상관기 구조
Fig. 4 Correlator structure of the proposed method

신호의 검출 방법은 특정 오경보 확률에서 신호 대 잡음비에 따른 신호의 검출 확률 혹은 미검출 확률을 통해 신호 검출의 성능을 평가한다. 일반적으로 신호의 존재 여부를 구별하기 위해서 식 (8)과 같이 이진 가설(Binary hypothesis) 테스트로 공식화할 수 있다 [11].

$$\begin{aligned} H_0 : Y[k] &= W[k] \\ H_1 : Y[k] &= X[k] + W[k], \end{aligned} \quad (8)$$

여기서 $k = 1, 2, \dots, N$ 이고, N 은 신호의 관찰 구간을 의미한다. $Y[k]$ 는 수신 신호, $X[k]$ 는 송신 신호이고, $W[k]$ 는 평균값 0과 편차 σ_w^2 을 가지는 AWGN(Additive white Gaussian noise)라고 가정한다. 가설 H_0 는 채널에 잡음 성분만이 존재하고, 가설 H_1 은 전송 신호와 잡음 성분이 함께 존재하는 경우이다.

이진 가설 테스트를 이용하여 스펙트럼 대역에서 신호의 존재 여부를 결정할 때, 오경보 확률, 검출 확률, 미검출 확률을 이용한다. 오경보 확률(P_{fa})은 식 (9)와 같이 채널이 비어 있을 때, 검출기에서 채널이 비어있지 않다(D_1)고 판단할 확률이고, 미검출 확률(P_{md})은 식 (10)과 같이 채널이 주파수 사용 권한을 가지는 사용자가 사용하고 있을 때, 검출기에서 채널이 비어있다(D_0)고 판단하는 경우이다.

$$P_{fa} = P(D_1 | H_0) \quad (9)$$

$$P_{md} = P(D_0 | H_1) \quad (10)$$

III. 실험 결과

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters

Carrier frequency	2.3 GHz
Signal type	OFDM
FFT point	256 point
CP length	1/8
Modulation type	BPSK
Channel model	AWGN
False alarm probability	10%

본 논문에서 제안하는 방식은 수신단의 안테나를 2개 사용하여 표 1의 파라미터에 근거하여 시뮬레이션을 하였다. OFDM 신호에 삽입된 파일럿 신호는 한 심볼당 8개의 파일럿 부분송파가 삽입되었고, 파일럿의 위치는 WiBro 표준에 맞게 설정하였다. 신호 검출 확률을 구하기 위한 임계값은 잡음 성분만이 존재할 때를 기준으로 10000개의 샘플을 통해 설정하였다.

기존의 방식과 제안하는 방식의 10% 오경보 확률에서의 신호 검출 확률은 그림 5에 나타나 있다. 제안한 방식이 다중 안테나를 사용하여 다이버시티 이득을 얻어 신호 검출 확률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 검출 성능은 제안하는 방식이 -12dB의 SNR까지 약 2dB 정도의 신호 검출 성능 향상을 보인다. 더 낮은 SNR에서는 두 방식이 비슷한 성능을 보이고 있다.

그림 6 은 제안하는 방식의 오경보 확률을 변화 시켰을 때의 신호 검출 확률을 나타내고 있다. 오경보 확률이 높을수록 신호 검출 확률이 높아지는 것을 확인할 수 있고 기존의 방법과 비교하였을 때, 제안하는 방식의 5%의 오경보 확률에서의 신호 검출 확률이 기존 방식의 10%의 오경보 확률에서의 신호 검출 확률과 비슷한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.

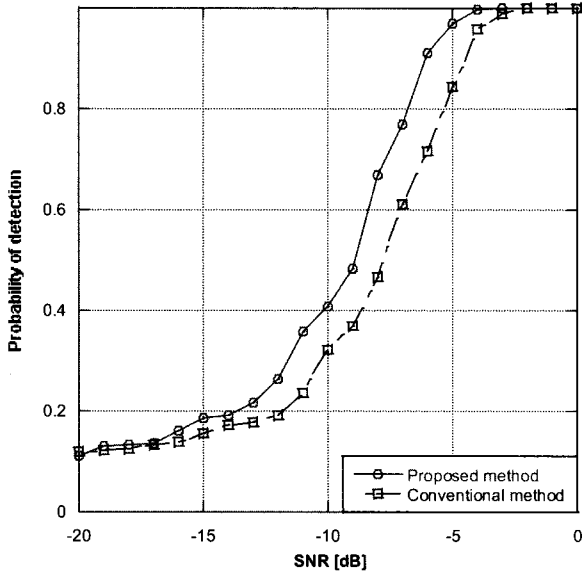


그림 5. 기존 방식과 제안하는 방식의 신호 검출 확률 (AWGN, $P_{fa} = 10\%$)

Fig. 5 Probability of the signal detection of conventional and proposed method (AWGN, $P_{fa} = 10\%$)

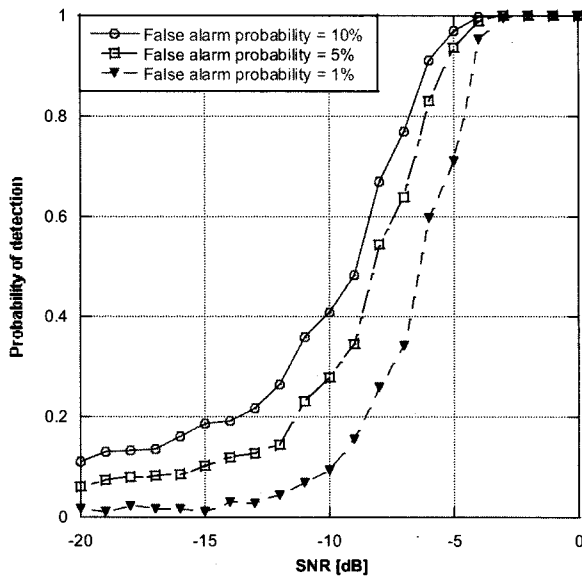


그림 6. 오경보 확률에 따른 신호 검출 확률 (AWGN)
Fig. 6 Probability of signal detection versus false alarm probability (AWGN)

IV. 결론

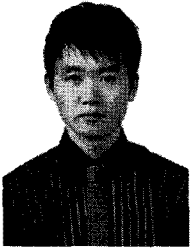
본 논문에서는 WiBro 시스템 대역의 신호를 검출하기 위해 다중 안테나를 사용하여 cyclostationary 특성 기반의 신호 검출의 성능을 분석하였다. 제안하는 방식이 기존의 방식에 비해 모든 SNR 구간에서 더 높은 신호 검출 확률을 보임을 확인할 수 있었다. 그리고 오경보 확률을 기준으로 제안하는 방식이 기존의 방식에 비해 3dB의 성능 향상을 확인할 수 있다. 하지만 제안하는 방식은 다중 안테나의 사용으로 전체적인 시스템의 복잡도가 증가하는 단점이 있다. 시뮬레이션 결과는 AWGN 채널을 통해 시뮬레이션 하였고, 향후 연구 과제로는 이동 통신 채널에 적합한 다중 경로 페이딩 채널에서의 신호 검출 성능 분석이 필요할 것이다.

참고문헌

- [1] Federal Communications Commission, "Spectrum policy task force report," *NPRM & Order*, ET Docket No.03-322, Dec. 2003.
- [2] "Facilitating opportunities for flexible, efficient, and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies," *NPRM & Order*, ET Docket No. 03-322, Dec. 2003.
- [3] J. Mitola, "Cognitive radio: an integrated agent architecture for software defined radio," *Ph. D thesis*, Royal Institute for Technology (KTH) and Sweden.
- [4] S. Haykin, "Cognitive radio: brain-empowered wireless communications," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 23, no. 2, pp. 201-220, Feb. 2005.
- [5] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. C. Vuran, and S. Mohanty, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," *Computer Networks*, vol. 50, pp. 2127-2159, Sep. 2006.
- [6] D. Cabric, S. M. Mishar, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," in *proc. of Conf. Record of the 38th Asilomar Conf. 2004*, vol. 1, pp. 772-776, Nov. 2004.
- [7] D. Cabric and R. W. Brodersen, "Physical layer design issues unique to cognitive radio systems," in *proc. of PIMRC 2005 of the IEEE 16th Int. Symp.*, vol. 2, pp. 759-763, Sept. 2005.
- [8] P. D. Sutton, K. E. Nolan, and L. E. Doyle, "Cyclostationary signatures for rendezvous in OFDM-based dynamic spectrum access networks," in *proc. of DySPAN 2007*, pp. 220-231, Apr. 2007.
- [9] P. D. Sutton, J. Lotze, K. E. Nolan, and L. E. Doyle, "Cyclostationary signature detection in multipath Rayleigh fading channels," in *proc. of IEEE Veh. Tech. Conf. 2007*, pp. 1-5, Oct. 2007.

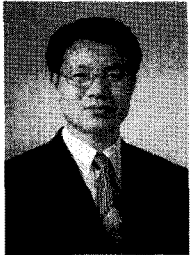
ing environments," in *proc. of CrownCom 2007. 2nd Int. Conf.*, pp. 408-413, Aug. 2007.

- [10] T. Yucek and H. Arslan, "OFDM signal identification and transmission parameter estimation for cognitive radio ap-



백 명 기

2007년 광운대학교 전파공학과 (공학사). 2007년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 인지 무선, 디지털통신, MIMO.

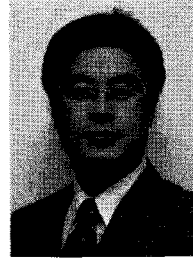


양 재 수

1981년 한국항공대학교 통신공학 과 (공학사). 1985년 건국대학교 전자 공학과 (공학석사). 1993년 미 NJIT 전기 및 컴퓨터공학 (공학박사). 1991년 서울대 MBA 수료. 2006년 ~ 현재 광운대학교 교수. 2007년 ~ 현재 경기도 정보화 보좌관. 관심분야 는 디지털통신, RFID/USN, 차세대 이동통신.

plications," in *proc. of GLOBECOM'07*, pp. 4056-4060, Nov. 2007.

- [11] H. L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I*, Wiley, 1967.



허 시 영

1997년 광주과학기술원 전기공학과 (공학석사). 1997년 ~ 현재 KT 인프라연구소 책임연구원. 관심분야는 WiBro 시스템개발, IPv6, 응용서비스 개발.



김 진 영

1998년 서울대 전자공학과 (공학박사). 1998년 ~ 2000년 미국 Princeton University, Research Associate. 2000년 ~ 2001년 SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원. 2001년 ~ 현재 광운대학교 전파공학과 교수. 관심분야는 디지털 통신, 신호처리, 채널 부호화.