

지능형 교통 시스템을 위한 인지무선 협력 스펙트럼 센싱의 성능 분석

Performance Analysis of Cognitive Radio Cooperative Spectrum Sensing for Intelligent Transport System

김진영* 백명기**
(Jin-Young Kim) (Myung-Kie Baek)

요약

인지무선(CR: Cognitive Radio) 기술은 최근의 스펙트럼 부족 문제 때문에 사용하지 않는 스펙트럼 대역을 효과적으로 사용하기 위해서 제안되었다. 인지무선 기술에서 스펙트럼 센싱 기술은 주요 이슈 중의 하나이고, 비면허 사용자는 1차 사용자에게 할당된 빈 스펙트럼 자원을 확인하고 활용할 수 있다. 본 논문에서는 협력 스펙트럼 센싱 기술을 지능형 교통 시스템(ITS: Intelligent Transport System)에 적용하여 신호 검출의 성능을 분석한다. 그리고 협력 신호 검출을 위해서 OR-rule과 AND-rule을 사용하여 신호 검출의 성능과 신뢰성을 향상시킨다.

Abstract

Cognitive Radio (CR) technology is proposed for using the unused spectrum band efficiently because of the spectrum scarcity problems. Spectrum sensing technology is one of the key challenge issues in cognitive radio technologies, which enables unlicensed users to identify and utilize vacant spectrum resource allocated to primary users. In this paper, the cooperative spectrum sensing technologies apply the ITS(Intelligent Transport System) and performance of signal detection analyzes. Then, we utilize the OR-rule and AND-rule for the cooperative signal detection. These data fusion rules improve the performance and reliability of the signal detection.

Key words: Cognitive radio, ITS, cooperative spectrum sensing, data fusion rule

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
(ITA-2008-C1090-0803-0002)

* 주저자 : 팽운대학교 전파공학과 교수

** 공저자 : 팽운대학교 전파공학과 석사과정

† 논문접수일 : 2008년 11월 20일

‡ 논문심사일 : 2008년 12월 17일(1차), 2008년 12월 24일(2차)

† 게재확정일 : 2008년 12월 26일

1. 서 론

무선 통신 및 방송 기술의 발달과 함께 최근의 정보 통신 서비스는 사용자의 고속화 및 실시간 멀티미디어 서비스의 요구에 맞추어 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 기술이 활발히 연구되고 있다.

인지무선 기술은 효율적인 주파수 관리 및 사용을 위하여 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 특성에 의한 채널 특성과 같은 상황을 능동적으로 인지하고, 이러한 정보를 토대로 사용 가능한 다양한 무선 자원 즉, 시간, 공간, 주파수 등을 사용자 또는 서비스가 요구하는 데이터 전송률, 용량 및 신호 대 간섭비 등과 서비스별 QoS를 만족시키기 위해 지능적으로 무선 자원을 할당하고 활용하는 기술을 다루고 있다. 현재 인지무선 기술은 표준화가 활발히 진행되고 있으며 2009년 2월에 상용 제품 출시를 목표로 하고 있다 [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. 인지무선 기술을 사용하여 잉여 주파수 대역을 확보하기 위해서는 우선적으로 스펙트럼 센싱을 통하여 면허권을 가진 1차 사용자의 신호를 검출할 수 있어야 하며, 1차 사용자의 신호 검출을 위한 여러 가지 방법들이 연구되고 있다 [6-8]. 그리고 최근에는 단일

스펙트럼 센싱을 통한 신호 검출 성능의 한계를 극복하고, 신호 검출의 신뢰성 확보를 위하여 협력 통신 기반의 신호 검출 방법이 많이 제안되고 있다 [9-11].

본 논문에서는 향후 다양한 시스템에 적용이 가능한 인지무선 기술의 성능을 분석하기 위해서 현재 우리나라뿐만 아니라 선진국에서 개발에 박차를 가하고 있는 지능형 교통 시스템 신호를 스펙트럼 센싱을 통하여 신호 검출의 성능을 분석한다. 지능형 교통 시스템은 교통 네트워크에 정보통신 네트워크 기술을 적용하여 교통시설을 보다 효율적으로 운영하고 통행자에게 유용한 정보를 제공하여 보다 안전하고 편리한 통행을 가능하게 하고, 최대한의 효율을 가지도록 하는 교통 부분의 정보화 시스템이다. 도로와 차량 등의 하드웨어 중심의 기반 시설에 통신과 전자, 제어, 컴퓨터 기술 등의 소프트웨어 기술을 결합하여 지능형 교통 시스템을 실현하게 된다 [12, 13].

본 논문에서는 지능형 교통 시스템이 동작하는 5.8GHz 대역을 스펙트럼 센싱을 통하여 신호 검출의 성능을 분석한다. 지능형 교통 시스템의 기지국 및 중계기에서 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 신호를 브로드캐스팅 한다고 가정하고, 지능형 교통 시스템의 신호를 에너지 검출 방법과 cyclostationary 신호 검출 방법을 사용하여 신호의 검출 성능을 살펴보고, 신호 검출의 성능 향상 및 신뢰성 향상을 위해 협력 통신을 이용한 신호 검출 방법의 성능을 분석한다. 협력 통신 기반의 신호 검출 방식으로는 중앙통제 방식을 사용하고 data fusion rule은 OR-rule과 AND-rule을 사용하여 [14], 시뮬레이션을 통해 단일 신호 검출 방법과 비교하여 성능 향상 정도를 비교한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제 II장에서는 시스템 모델에서 전송 신호와 신호 추정 방식에 대해서 설명하고, 제 III장에서는 단일 신호 검출 모델 중에서 에너지 검출 방법과 cyclostationary 검출 방법에 대해 살펴본다. 그리고 제 IV장에서는 협력 신호 검출 방법에 대해 알아보고, 제 V장에서는 시뮬레이션을 통한 신호 검출의 성능을 분석하

고, 끝으로 제 VI장에서는 본 논문의 결론으로 구성한다.

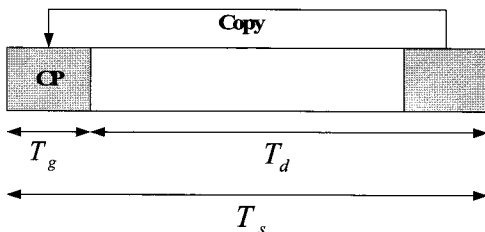
II. 시스템 모델

1. 전송 신호

검출하려는 지능형 교통 시스템의 전송 신호는 OFDM 신호이다. OFDM은 현재 WiBro, DMB, HSDPA 등 다수의 고속 멀티미디어 서비스에 채택되어 사용되고 있으며, OFDM 신호는 광대역 주파수 채널을 다수의 협대역 채널로 나누어 전송하는데 고속의 전송 심볼을 다수의 부반송파로 저속 병렬 전송하게 되면 주파수의 효율이 좋아지는 장점을 가지고 있어 고속 데이터 전송 및 멀티미디어 서비스에 적합한 전송 신호 구조이다. 그리고 OFDM 기반의 시스템은 임펄스 잡음과 같은 다중 경로 페이딩 채널에 강한 특성을 보인다. 이는 OFDM의 각각의 부반송파가 주파수 선택적 페이딩이 아닌 플랫 페이딩 채널을 거치게 됨으로써 가능하게 된다. 식 (1)은 OFDM 신호 $x(t)$ 를 표현하는 식이다.

$$x(t) = \sum_{k=1}^K X_k[n] e^{j2\pi k \Delta f t} \quad (1)$$

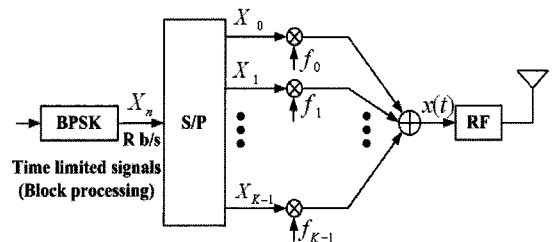
여기서 K 는 부반송파의 수, Δf 는 부반송파 주파수 간격, $X_k[n]$ 은 k 번째 부반송파에서 n 번째 전송 심볼을 나타낸다. 그리고 $n = t/T_s$ 이고, T_s 는 심볼 길이이다.



<그림 1> OFDM 심볼 구조
<Fig. 1> OFDM symbol structure

<그림 1>에서 OFDM 심볼 T_s 는 신호 데이터 T_d 와 CP(Cyclic Prefix) T_g 로 구성된다. OFDM 전송 신호를 위해서 본 논문에서는 부반송파의 수는 256으로 하고, CP 길이는 신호 데이터 길이의 1/8로 설정한다. 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. OFDM 신호는 모든 직교 부반송파가 동시에 전송되고, 전체 할당된 채널은 협대역 부채널들의 합과 같다. 따라서 OFDM 신호는 여러 개의 i.i.d (independent and identically distributed) 확률 변수들의 구성으로 볼 수 있다.

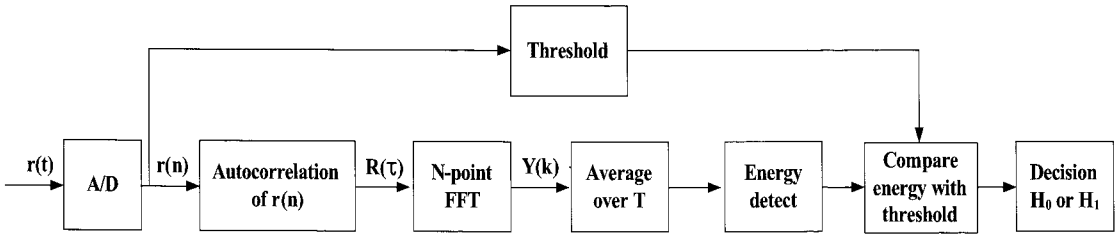
<그림 2>는 OFDM의 개념을 설명하는 블록도이다. 그림에서 나타난 바와 같이 OFDM의 전송신호는 푸리에 변환에 의해서 표현이 가능하기 때문에 OFDM의 대역통과 필터와 오실레이터 बैं크는 IFFT와 FFT에 의하여 구현이 가능하게 된다. 그리고 송신 신호는 블록 단위로 이루어지기 때문에 주파수 영역에서 각 subchannel의 스펙트럼은 sinc function으로 주어지게 된다.



<그림 2> OFDM 개념 블록도
<Fig. 2> OFDM block diagram

2. 신호 추정

일반적으로 신호 검출에서 에너지 검출 테스트는 식 (2)와 같이 신호의 존재 유무를 구별하기 위해서 이진 가설 (binary hypothesis) 테스트로 공식화할 수 있다 [15].



<그림 3> 에너지 검출 방법의 구조
 <Fig. 3> Block diagram of energy detection method

$$\begin{aligned} H_0 : Y[k] &= W[k], \\ H_1 : Y[k] &= X[k] + W[k]. \end{aligned} \quad (2)$$

$$P_{md} = P(D_0|H_1). \quad (4)$$

$$P_d = P(D_1|H_1). \quad (5)$$

위의 식에서 $k = 1, 2, \dots, N$ 이고, k 은 신호의 관찰 구간을 의미한다. 잡음 성분 $W[k]$ 는 평균값 0과 편차 σ_w^2 을 가지는 AWGN(Additive White Gaussian Noise)이라고 가정한다. $Y[k]$ 는 인지 무선 시스템이 가능한 단말에서의 수신 신호이고, 가설 H_0 는 채널에 잡음 성분만이 존재한다고 가정하고, 가설 H_1 은 전송 신호 $X[k]$ 와 잡음 성분이 함께 존재한다고 가정한다.

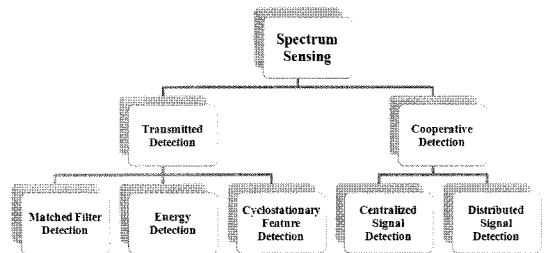
이진 가설 테스트를 이용하여 검출기에서 신호의 존재 유무를 결정할 때 오경보 확률(False alarm probability), 미검출 확률(Miss detection probability)과 검출 확률 (Detection probability)을 이용한다. 오경보 확률 P_{fa} 는 식 (3)와 같이 채널이 비어있을 때, 검출기에서는 채널이 비어있지 않다 (D_1)고 판단하는 경우이고,

$$P_{fa} = P(D_1|H_0), \quad (3)$$

미검출 확률 P_{md} 는 식 (4)와 같이 채널을 1차 사용자가 사용하고 있을 때, 검출기에서는 채널이 비어있다(D_0)고 판단하는 경우이고, 검출 확률은 식 (5)와 같이 1차 사용자가 주파수 대역을 사용하고 있을 때, 검출기에서 정상적으로 신호가 존재한다고 판단(D_1)하는 경우이다.

III. 단일 신호 검출

스펙트럼 센싱을 이용한 신호 검출 방식은 <그림 4>와 같이 나타낼 수 있다. 단일 신호 검출 방식은 정합필터 검출 방식, 에너지 검출, cyclostationary 신호 검출 방식으로 나눌 수 있고, 협력 신호 검출 방식은 centralized 신호 검출 방법과 distributed 신호 검출 방법으로 나눌 수 있다. Centralized 신호 검출 방법은 협력 신호 검출을 위해서 모든 정보를 수집, 통제, 결정하는 기지국이 따로 존재하고, distributed 신호 검출 방법은 ad-hoc 네트워크와 같이 인접 단말 간에 서로 정보를 공유하고, 네트워크에서 필요에 따라 마스터와 슬레이브가 결정되게 된다. 본 논문에서는 협력 신호 검출을 위해서 centralized 신호 검출 방법을 사용하고, 협력 신호 검출에 참여하는 각각의 인지무선 단말은 에너지



<그림 4> 스펙트럼 센싱의 종류
 <Fig. 4> Spectrum sensing types

검출 방법과 cyclostationary 신호 검출 방법을 사용한다고 가정한다.

1. 에너지 검출 방법

에너지 검출 방법은 송신 신호의 정보가 없어도 수신 에너지와 미리 설정된 특정 임계값과의 비교를 통하여 원하는 주파수 대역의 신호의 존재 유무를 판단할 수 있다. <그림 3>은 에너지 검출 방법의 구조를 보여준다.

에너지 검출 방법은 <그림 3>과 같이 수신된 신호를 샘플링을 통해 디지털화 하고 autocorrelation 블록을 통과시킨다. 여기서 autocorrelation 블록은 전송 신호와 잡음 성분을 증가시키지만 전체적인 SNR을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. FFT 연산과 평균을 취한 후에 수신 신호의 에너지를 검출하여 그 결과를 특정 임계값과 비교하는 방법으로 해당 주파수 대역 내에 존재하는 신호의 검출을 수행하는 간단한 구조를 갖는다.

수신 신호를 $r(t)$ 라고 할 때, A/D 변환을 통해 샘플링 된 신호는 $r(n)$ 으로 표현할 수 있고, 샘플링은 Nyquist 샘플링을 사용한다. 샘플링 된 신호의 자기상관 함수는 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$R_{rr}(\tau) = E[r(n)r^*(n-\tau)], \tag{6}$$

여기서 평균을 strict sense에서 각 신호의 샘플의 평균이라고 하면, 에르고딕(ergodic) 신호로 처리할 수 있고 에르고딕 신호의 자기상관 함수는 식 (7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_{rr}(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T r(t+\tau)r^*(t)dt. \tag{7}$$

그리고 FFT 블록을 통과한 후의 신호 $Y(k)$ 는 식 (8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y(k) = \sum_{n=0}^{N-1} R_n(\tau)e^{-j2\pi nk}, \tag{8}$$

위의 식에서 $Y(k)$ 는 수신 신호의 주파수 샘플이고, N 은 FFT 사이즈, k 는 k 번째 주파수이다. 이것은 PSD(Power Spectrum Density)를 구하는 순서이고, 관찰 구간 동안 수신된 신호의 파워를 평균을 취해서 수신 신호의 에너지를 구할 수 있다. 그리고 에너지 검출 방법은 관찰 구간을 증가시킴으로써 신호 검출의 성능을 향상시킬 수 있다. 에너지 검출 방법의 마지막 단계는 구한 에너지 값과 미리 설정된 임계값과의 비교를 통해 검출하고자 하는 주파수 대역에서의 1차 사용자의 주파수 사용여부를 결정할 수 있다.

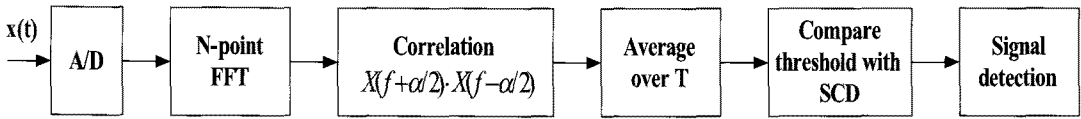
2. Cyclostationary 신호 검출 방법

송신기에서 최종적으로 전송되는 신호는 변조와 반송파 등의 영향으로 그 평균과 자기상관 함수 등이 통계적으로 주기성을 갖게 되므로 cyclostationary 특성을 가지게 된다. 일반적으로 stationary 랜덤 프로세스의 신호 성분을 분석하기 위해서는 자기상관 함수와 PSD를 이용하게 되지만, cyclostationary 신호는 그 주기적 특성으로 인해 주파수 성분 간의 상관성이 존재하게 되어 SCF (Spectral Correlation Function)을 이용할 수 있다. 따라서 잡음의 경우 주파수 영역에서 cyclostationary 특성을 가지지 않기 때문에 스펙트럼 센싱을 통해 1차 사용자의 존재 유무를 판단할 수 있다. 주기 T 를 가지는 임의의 신호의 평균과 자기상관 함수는 식 (9), (10)과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_x(t) = m_x(t-T), \tag{9}$$

$$R_x(t+T+\frac{T}{2}, t+T-\frac{T}{2}) = R_x(t+\frac{T}{2}, t-\frac{T}{2}). \tag{10}$$

Cyclostationary 신호의 분석을 위해서 시간 도메인과 주파수 도메인에서의 두 가지의 함수를 이용한다. 시간 도메인에서의 cyclostationary 신호의 분



<그림 5> Cyclostationary 신호 검출의 구조
 <Fig. 5> Block diagram of cyclostationary signal detection

식은 식 (11)과 같은 CAF(Cyclic Autocorrelation Function)을 이용하고, 주파수 도메인에서의 분석은 식 (12)와 같이 CAF를 푸리에 변환한 SCD (Spectral Correlation Function)을 이용한다.

$$R_x^\alpha = \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_{-\Delta t/2}^{\Delta t/2} x(t + \frac{\tau}{2}) x(t - \frac{\tau}{2}) e^{-j2\pi\alpha t} dt, \quad (11)$$

$$S_x^\alpha(f) = \lim_{\Delta f \rightarrow \infty} \lim_{\Delta t \rightarrow \infty} \frac{1}{\Delta t} \int_{-\Delta t/2}^{\Delta t/2} \Delta f X_{1/\Delta f}(t, f + \frac{\tau}{2}) X^{*v\alpha}(t, f - \frac{\tau}{2}) dt, \quad (12)$$

$$X_{1/\Delta f}(t, v) = \int_{t - \frac{1}{2\Delta f}}^{t + \frac{1}{2\Delta f}} x(u) e^{-j2\pi v u} dt, \quad (13)$$

여기서 식 (13)은 중심주파수 v 와 대역폭 Δf 를 가지는 신호 $x(t)$ 의 구간 $[t+1/2\Delta f, t-1/2\Delta f]$ 에서의 복소 포락선으로 푸리에 계수를 나타낸다. 이와 같은 cyclostationary 특성을 이용한 신호 검출은 FFT를 이용하여 간략화 할 수 있다. <그림 5>는 일반적인 cyclostationary 검출 방식의 구조를 나타내고 있다. 채널을 통과하여 수신된 신호 $x(t)$ 는 A/D 블록을 통과한 후에, FFT를 거쳐 시간 신호에서 주파수 신호로 변환된다. 그리고 α 간격의 주기 주파수 간격으로 스펙트럼 상관관계를 구하고, 주기 T만큼의 평균을 구한 후에 특정 임계값과 SCD 값을 비교하여 스펙트럼 센싱 구간에서 1차 사용자의 신호의 존재 유무를 판단할 수 있다.

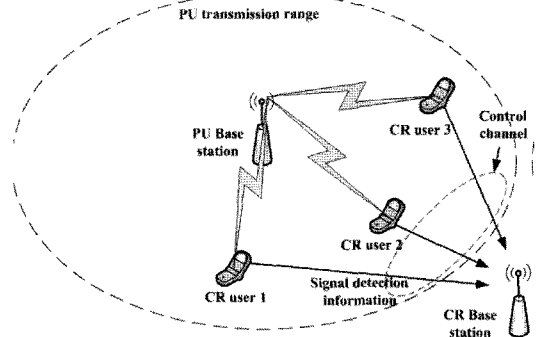
IV. 협력 신호 검출

협력 통신을 이용한 신호 검출은 단일 신호 검출

의 성능에 비해 신호 검출 확률을 향상시키고, 신호 검출에 대한 신뢰성을 확보하기 위해서 사용된다. <그림 6>은 협력 통신을 이용한 신호 검출 방식을 보여준다. 각각의 인지무선 사용자들은 단일 신호 검출을 수행하고, 인지무선 기지국으로 신호 검출에 대한 정보를 전달하여 최종적으로 인지무선 기지국에서 1차 사용자의 신호의 존재 유무를 판단하게 된다.

협력 신호 검출은 시스템 오버헤드를 줄이기 위하여 각각의 인지무선 사용자의 신호의 존재 유무를 판단하는 1비트의 데이터만을 통제 채널을 통해 전송한다. 각각의 단말은 신호가 존재한다고 판단할 때 H1의 정보를 보내고, 신호가 존재하지 않는다고 판단할 때 H0의 1비트의 정보만을 공유하는 방식을 Hard decision 방식이라고 한다.

1차 사용자의 신호 검출 확률을 높이기 위해서 인지무선 기지국에서 한 명의 인지무선 사용자라도 신호가 존재한다고 판단할 때, 기지국에서 신호가 존재한다고 판단하는 decision-rule을 OR-rule이라고 한다. OR-rule의 수식은 식 (14), (15)와 같다. 아래의



<그림 6> 협력 신호 검출 블록도
 <Fig. 6> Block diagram of cooperative signal detection

식에서 P_d 와 P_{fa} 는 각각의 인지무선 단말에서의 신호 검출 확률과 오경보 확률을 의미한다.

$$P_d = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - P_{d,k}), \quad (14)$$

$$P_{fa} = 1 - \prod_{k=1}^n (1 - P_{fa,k}). \quad (15)$$

AND-rule은 인지무선 기지국에서 모든 신호 검출 정보를 수집하여 모든 정보가 신호가 존재한다고 판단하였을 때, 기지국에서 최종적으로 신호가 존재한다고 판단한다. AND-rule은 식 (16), (17)과 같이 나타낼 수 있다. AND-rule의 경우 수집된 모든 신호가 신호에 대한 검출을 할 수 있어야 하기 때문에 신호 검출의 신뢰성을 향상시키기 위해서 사용할 수 있다.

$$P_d = \prod_{k=1}^n P_{d,k}, \quad (16)$$

$$P_{fa} = \prod_{k=1}^n P_{fa,k}. \quad (17)$$

V. 시뮬레이션 결과

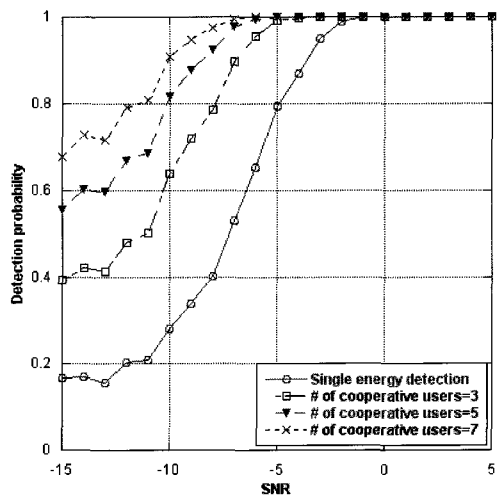
본 논문에서 협력 신호 검출에 참여하는 신호 검출 방법은 에너지 검출 방법과 cyclostationary 신호 검출 방법이고, data fusion rule에 따른 신호 검출 성능을 분석한다. 성능 분석을 위해서 ITS 주파수 대역인 5.8GHz 대역의 OFDM 신호를 사용한다. 시뮬레이션을 위한 기본 파라미터는 <표 1>과 같다.

n 의 인지무선 사용자와 하나의 인지무선 기지국이 존재하고, 각각의 인지무선 사용자는 1차 사용자로부터 같은 SNR의 i.i.d 채널을 통과한 신호를 수신하게 된다. 인지무선 네트워크에서 각각의 사용자들은 컨트롤 채널을 통해서 기지국으로부터 채널 정보를 얻고, 각각의 채널을 통해서 임계값을 설정한다. 그리고 인지무선 기지국은 신호의 존재 여부를 판단하기 위해서 OR-rule과 AND-rule를 사용

한다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터
<Table 1> Simulation parameters

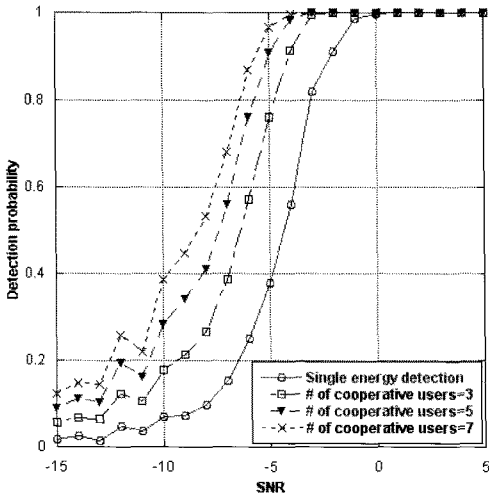
Carrier frequency	5.8 GHz
Signal type	OFDM
FFT size	256
Modulation type	BPSK
Channel model	Rayleigh fading
False alarm probability	1%, 10%
# of cooperative users	3, 5, 7



<그림 7> 각각의 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용했을 때 OR-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=10\%$)

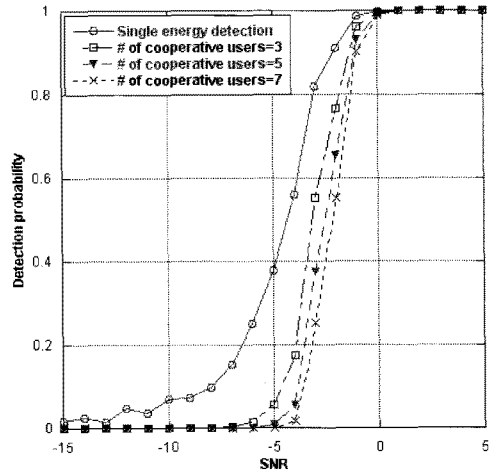
<Fig. 7> Performance of cooperative signal detection when each user uses energy detection method and OR-rule decision then false alarm probability is 10%

<그림 7>은 각각의 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용하고, 인지무선 기지국에서 OR-rule을 사용하여 신호 존재 유무에 대한 최종 판단을 했을 경우의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 7명의 협력 사용자들이 협력 신호 검출을 할 경우에, 단일 에너지 검출 방법에 비해서 90%의 신호 검출 확률에서 약 7 dB의 신호 검출이 성능이 향상됨을



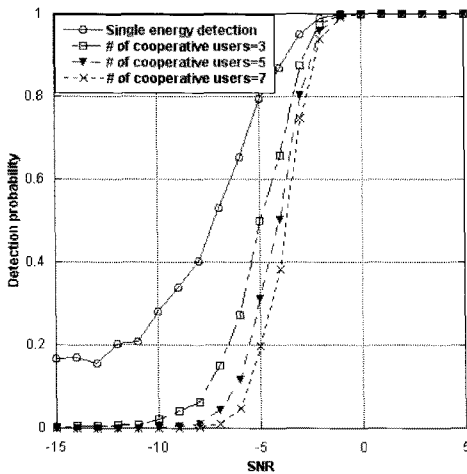
<그림 8> 각각의 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용했을 때 OR-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=1\%$)

<Fig. 8> Performance of cooperative signal detection when each user uses energy detection method and OR-rule decision then false alarm probability is 1%



<그림 10> 각각의 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용했을 때 AND-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=1\%$)

<Fig. 10> Performance of cooperative signal detection when each user uses energy detection method and AND-rule decision then false alarm probability is 1%



<그림 9> 각각의 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용했을 때 AND-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=10\%$)

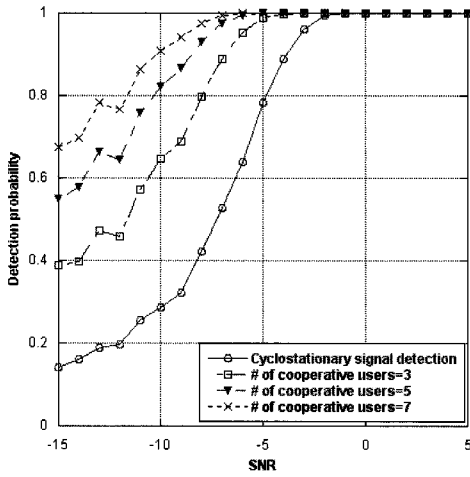
<Fig. 9> Performance of cooperative signal detection when each user uses energy detection method and AND-rule decision then false alarm probability is 10%

확인할 수 있다.

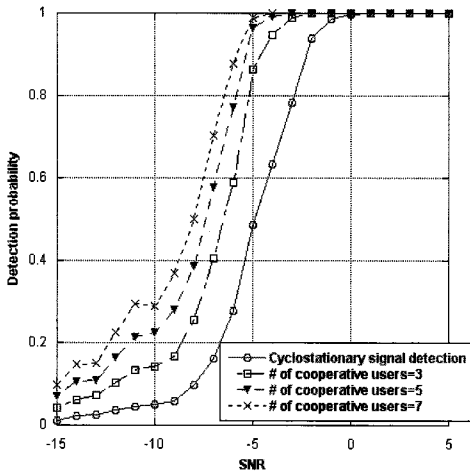
<그림 8>은 <그림 7>과 비교해서 오경보 확률을 1%로 설정했을 때의 결과를 보여주는데, 협력 신호 검출의 경우 약 4 dB의 신호 검출 성능 향상을 보여주고 있다. 오경보 확률이 높을수록 신호 검출 성능이 높아지기 때문에 협력 신호 검출에서도 비슷한 성능의 향상을 기대할 수 있다.

<그림 9와 10>은 각각 10%, 1%의 오경보 확률에서 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용하고, 인지무선 기지국에서 AND-rule을 사용하여 신호 존재 유무에 대한 최종 판단을 했을 경우의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. AND-rule의 경우에는 신호 검출 성능 향상보다는 신호 검출의 신뢰성 향상을 위한 방법으로써 협력 사용자의 수가 증가할수록 일정 SNR 값으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다.

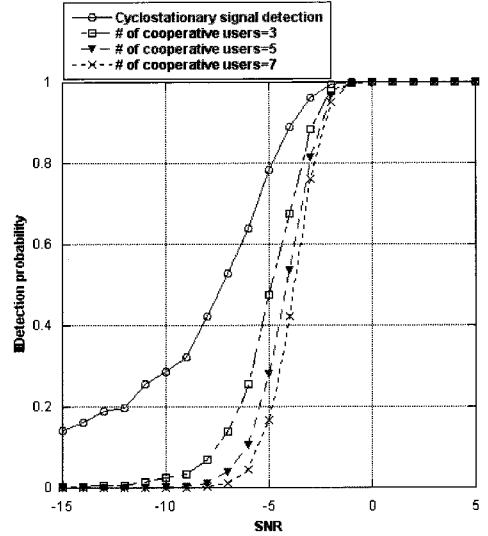
<그림 11>에서 <그림 14>는 cyclostationary 신호 검출 방법을 사용했을 때의 협력 신호 검출의 성능을 보여준다. 이 경우에도 오경보 확률이 증가할수록 신호 검출 성능이 향상됨을 확인할 수 있고, 전



〈그림 11〉 각각의 인지무선 사용자가 cyclostationary 신호 검출 방법을 사용했을 때 OR-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=10\%$)
 <Fig. 11> Performance of cooperative signal detection when each user uses cyclostationary signal detection method and OR-rule decision then false alarm probability is 10%

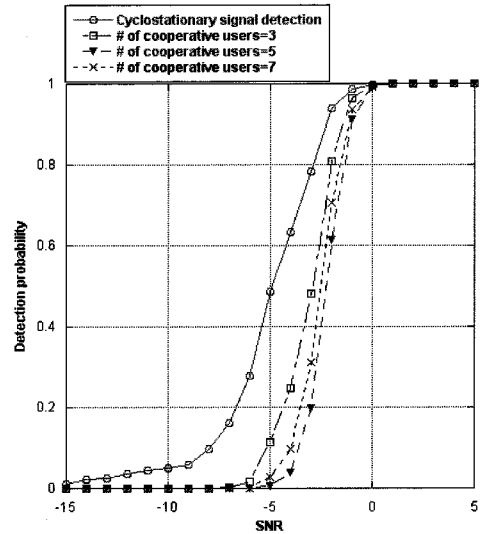


〈그림 12〉 각각의 인지무선 사용자가 cyclostationary 신호 검출 방법을 사용했을 때 OR-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=1\%$)
 <Fig. 12> Performance of cooperative signal detection when each user uses cyclostationary signal detection method and OR-rule decision then false alarm probability is 1%



〈그림 13〉 각각의 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용했을 때 AND-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=10\%$)

<Fig. 13> Performance of cooperative signal detection when each user uses cyclostationary signal detection method and AND-rule decision then false alarm probability is 10%



〈그림 14〉 각각의 인지무선 사용자가 에너지 검출 방법을 사용했을 때 AND-rule의 협력 신호 검출 성능 ($P_{fa}=1\%$)

<Fig. 14> Performance of cooperative signal detection when each user uses cyclostationary signal detection method and AND-rule decision then false alarm probability is 1%

체적인 시스템 성능은 에너지 검출 방법과 마찬가지로 각각의 설정에 따라 성능이 달라짐을 확인할 수 있다. 따라서 전체적인 네트워크의 오버헤드와 성능을 고려했을 경우에는 각각의 단말들이 에너지 검출 방법을 사용했을 경우에 협력 신호 검출에 더 적합하다고 할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 에너지 검출 방법과 cyclostationary 신호 검출 방법을 사용했을 경우에 협력 신호 검출의 성능을 확인하였다. 협력 신호 검출은 오경보 확률이 증가할수록 신호 검출 성능이 향상 되지만, 오경보 확률은 미검출 확률을 증가시키기 때문에 적절한 설정이 필요하다. 그리고 data fusion rule에서 에너지 검출 방법과 cyclostationary 신호 검출 방법은 OR-rule을 사용했을 경우에는 신호 검출의 성능이 향상됨을 확인할 수 있었고, AND-rule을 사용했을 경우에는 신호 검출의 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 논문을 통해서 이론적인 신호 검출의 성능을 확인할 수 있었고, 향후에는 실제적인 채널 모델과 환경 파라미터의 설정을 통해 실제적인 통신 환경을 고려한 환경에서의 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, Sept. 2006.
- [6] D. Cabric, S. M. Mishar, and R. W. Brodersen, "Implementation issues in spectrum sensing for cognitive radios," in *Proc. Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computer*, vol. 1, pp. 772-776, Nov. 2004.
- [7] D. Cabric and R. W. Brodersen, "Physical layer design issues unique to cognitive radio systems," *Proc. of IEEE PIMRC '05*, vol. 2, pp. 759-763, Sept. 2005.
- [8] D. Cabric, A. Tkachenko, and R. W. Brodersen, "Spectrum sensing measurements of pilot, energy, and collaborative detection," *Proc. IEEE MILCOM '06*, pp. 1-7, Oct. 2006.
- [9] C. Sun, W. Zhang, and K. B. Letaief, "Cooperative spectrum sensing for cognitive radios under bandwidth constraints," *Proc. IEEE WCNC '07*, pp. 11-15, Mar. 2007.
- [10] G. Ganesan and Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," *Proc. of IEEE DySPAN '05*, pp. 137-143, Nov. 2005.
- [11] H. Matsui, H. Shiba, K. Akabane, and K. Uehara, "A novel cooperative sensing technique for cognitive radio," *Proc. IEEE PIMRC '07*, pp. 1-5, Sept. 2007.
- [12] M. Yasunaga, "ITS research and development activities in TAO, JAPAN," *Proc. Telecommu. Workshop for ITS*, vol. 24, no. 81, pp. 3-8, May 2000.
- [13] D. Hiang, V. Taliwal, A. Meier, W. Holfelder, and R. Herrtwich, "Design of 5.9 GHz DSRC-based vehicular safety communication," *Wireless Commun. IEEE*, vol. 13, pp. 36-43, Oct. 2006.

[14] P. K. Varshney, *Distributed detection and data fusion*, New York, Springer-Verlag, 1997.

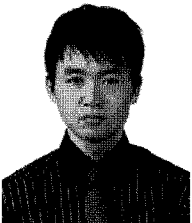
[15] H. L. Van Trees, *Detection, Estimation, and Modulation Theory, Part I*, Wiley, 1967.

저자소개



김진영 (Kim, Jin-Young)

1998년 서울대학교 전자공학과 공학박사 (전자공학전공)
1998년~2000년 : 미국 Princeton University, Research Associate
2000년~2001년 : SK텔레콤 네트워크 연구원 책임연구원
2001년~광운대학교 전파공학과 교수



백명기 (Baek, Myung-Kie)

2000년 광운대학교 전자공학부 공학사 (전자공학전공)
2007년~광운대학교 전파공학과 공학석사과정 (전자공학전공)