
Rayleigh 페이딩 채널에서 CR 시스템의 외부대역 협력 스펙트럼 센싱

강범주*

Out-of-band Collaborative Spectrum Sensing of CR System
in Rayleigh Fading Channel

Bub-Joo Kang*

이 논문은 2008년도 KOTEF 지역혁신인력양성사업의 연구비를 지원받았음

요 약

본 논문에서는 다중 주파수 채널이 운용중인 CR 기지국에서 외부대역 협력 스펙트럼 센싱 방식을 제안하였다. 그리고 ATSC 디지털 TV 신호인 경우에 대한 신호검출결과를 제시하였고 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널에서 외부대역 협력 센싱 방법에 대한 신호검출확률과 오경보 확률을 유도하였다.

수치해석 결과로는 CR 기지국에서 통신 중인 다중 주파수 채널의 CR 단말기들이 측정한 incumbent 신호의 채널 전력이 유사한 경우에는 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 시행함으로써 incumbent 신호의 센싱 성능이 향상됨을 보여주고 있다.

ABSTRACT

In this paper, we propose out-of-band collaborative spectrum sensing scheme in the cognitive radio (CR) base station operated by the multiple frequency channels. Also this paper presents the signal detection results for ATSC digital TV signal as an incumbent signal and derives signal detection probability and false alarm probability for the out-of-band collaborative spectrum sensing scheme in frequency selective Rayleigh fading channel.

Numerical results demonstrate that the sensing performance is improved by the out-of-band collaborative spectrum sensing in the case that the incumbent signal powers measured by the CR terminals of the multiple frequency channels are almost similar.

키워드

signal detection, spectrum sensing, cognitive radio

I. 서 론

제한된 주파수 자원은 국가의 소중한 무형 자산으로써 무선통신의 발전 그리고 무선통신 서비스의 보급이 급격하게 증가함에 따라 주파수 자원의 가치가 더욱 커지고 있다. 최근 전파이용이 무선인터넷, 교통, 재난구조 등 생활 전 분야로 확대되고 광대역 멀티미디어 서비스의 이용 수요가 증대됨에 따라 주파수의 부족 문제가 대두되고 있다. 특히 전파특성이 양호하고 무선통신 서비스에 가장 유리한 3 GHz 이하 대역의 주파수 자원의 부족 문제가 심각해지고 있는 상황이다. 그렇지만 이미 분배된 주파수는 상당 부분이 사용치 않거나 주파수이용 효율이 떨어지고 있어, 이들 대역의 사용 방안을 강구할 필요가 있다[1].

이러한 추세에 맞추어 미국 FCC는 스펙트럼 사용 효율을 높이고 새로운 서비스 도입을 용이하게 하기 위해 TV대역을 대상으로 주파수를 공유하는 CR(Cognitive Radio)를 적용하기로 하고 관련 규정에 관한 제정 작업을 진행하였고, 이러한 방침을 뒷받침하기 위해 IEEE에서는 802.22 WG을 신설하고 CR 기술을 이용한 TV 대역 고정 무선통신망인 Wireless Regional Area Network (WRAN)에 대한 PHY/MAC 표준화 작업이 진행 중에 있다[2],[3].

본 논문에서 주로 다루고자 하는 것은 CR 기술에서 스펙트럼 센싱에 관한 것이다. CR 시스템에서 스펙트럼 센싱의 주요 목적은 크게 두가지로 구분할 수 있는데, 첫번째 목적은 CR 사용자가 통신채널을 확보하기 위함이고 두번째 목적은 현재 통신 중인 채널에 대하여 incumbent 사용자의 출현여부를 확인하기 위함이다. 본 논문에서는 두번째 목적인 현재 통신중인 채널에서 incumbent 사용자의 출현여부를 확인하는 센싱과정에서 효율적인 외부대역 협력 센싱 방안을 제안하고 있다.

기존의 논문들은 다수 CR 사용자간의 협력센싱 기술과 협력센싱에 의해 향상되는 incumbent 신호의 검출 성능을 보여주고 있다[4],[5].

그런데 본 논문에서는 다중 주파수 채널의 CR 기지국이 운용 중일 때 기존의 동일 채널을 사용하는 TDMA, CDMA, 그리고 OFDMA의 다수 CR 사용자간의 협력센싱 방법에서 다중 주파수 채널을 사용하고 있는 모든 CR 사용자들이 전송휴지기간에 협력 센싱에 참여

하는 방안을 제안하고 있다. 기존 논문들은 하나의 주파수 채널에서 통신 중인 다수의 CR 사용자들 간의 협력 센싱기술을 다루고 있는 반면에 본 논문에서 CR 기지국에서 다수의 주파수 채널을 운용 중에 있을 때 서로 주파수 채널간에 전송휴지기간의 위치를 알게 하여 각각의 주파수 채널으로 통신 중인 모든 CR 가입자들이 협력센싱에 참여하는 방안과 이에 대한 신호검출 성능을 보여주고 있다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 제II절에는 ATSC 디지털 TV 신호에 대한 센싱구조 및 신호검출 결과를 해석하고 제III절에서는 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에 관한 알고리즘을 제시하고 있다. 그리고 제IV절에서는 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 적용하였을 경우 신호검출확률과 오경보확률을 유도하고 제V절에서 WRAN 채널환경에서 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에 관한 성능을 수치해석 결과로 분석하고 제VI절에서 결론을 제시하고 있다.

II. ATSC(Advanced Television Systems Committee) 디지털 TV 신호의 신호검출 해석

현재 CR 기술에 대한 표준화는 WRAN 및 CogNeA 등으로 기존의 TV 대역을 이용한 시스템들의 표준화가 진행 중에 있다. 그래서, 현재 표준화가 진행 중인 CR 기술의 incumbent 신호는 ATSC 디지털 TV 신호이고, 본 논문에서는 이에 대하여 스펙트럼 센싱에 관한 신호 검출기를 구성하고 있다.

ATSC 디지털 TV 신호의 구조를 살펴보면, 디지털 TV 신호의 데이터 프레임은 313 세그먼트로 구성되었고, 하나의 세그먼트는 4개의 데이터 세그먼트 동기 심벌과 828개의 RS 부호화된 심벌들로 구성되어 있다. 그리고 데이터 세그먼트 동기 심벌 패턴은 "1001"으로 이진 레벨로써 표현된다. ATSC 디지털 TV 신호의 데이터 프레임은 24.2ms으로써 313 세그먼트로 구성되어 있는데, 이 중에서 맨 처음의 세그먼트는 필드 동기 심벌 패턴으로써 매 프레임마다 동일한 패턴으로 832심벌들이 반복된다. 이들의 832심벌들의 패턴의 내용은 그림1과 같이 511 코드칩 길이의 PN 코드 시퀀스와 63 코드심벌 길이의 PN 코드 시퀀스가 3번 반복된 형태로 구성된다[6].

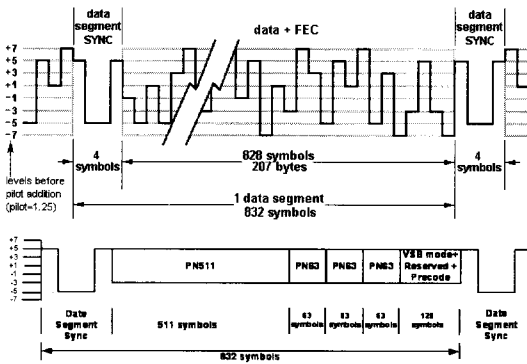


그림 1. ATSC 디지털 TV 신호의 VSB 데이터 프레임[6]

Fig. 1 VSB data frame of ATSC digital TV signal[6]

그림1의 ATSC 디지털 TV신호에 대하여 특정 코드 시퀀스 상관기를 이용한 검출방법은 세가지 종류로 구분할 수 있다. 첫번째 방법은 데이터 세그먼트 동기 심벌 패턴을 이용하는 방법, 두번째로는 PN511 코드 시퀀스를 이용하는 방법, 그리고 세번째로는 PN63 코드 시퀀스를 이용하는 방법 등으로 구분하여 검출 방법을 구성할 수 있다.

본 논문에서는 외부대역 협력 스펙트럼 센싱 방안을 제안하고 이의 성능을 분석하는 것이 주요 목적이므로 ATSC 디지털 TV 신호 검출을 위한 센싱구조로는 PN511 코드 시퀀스를 이용한 정합여파기(MF: matched filter) 형태의 MF상관기를 신호검출기 구조로 구성하였다. 또한 외부대역 협력센싱에서 incumbent 신호의 검출 성능을 분석함에 있어, 본 논문에서 고려한 CR 시스템은 다중 주파수 채널이 운용되고 채널환경은 가장 열악한 경우로써 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널로 가정하여 넉코히런트 MF 상관기 구조의 신호검출 결과를 해석하고 있다.

f-번째 주파수 채널의 채널이득이 α_f 이고 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널에서 넉코히런트 MF 상관기의 출력, Z_i 은

$$Z_i \square \begin{cases} N^2 E_s \alpha_f^2 \sum_{j=1}^{N_f} \alpha_j^2 R^2(\lambda_j) + NN_0, & H_{1i}, i=1,2,\dots,I \\ NN_0, & H_0 \end{cases} \quad (1)$$

으로 주어진다. 여기서 N과 E_s 은 각각 코히런트 상관길이와 심벌에너지이고, α_j 와 λ_j 는 각각 j-번째 경로의 이

득과 i-번째 경로와의 경로차이며, N_0 는 배경잡음을 포함한 간섭 잡음 전력밀도이다. 그리고 $R^2(\lambda_j)$ 는 시간제한 필터(time-limited filter)인 경우에는

$$R(\lambda_j) = \begin{cases} 1 - |\lambda_j|/T_s, & |\lambda_j| < T_s \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

으로 주어진다. 여기서 $\lambda_j = |\tau_i - \tau_j|$ 이고 τ_i 와 τ_j 는 각각 i 번째 경로의 경로지연이고 j번째 경로의 경로지연이다.

III. 외부대역 협력 스펙트럼 센싱 방법

CR 시스템의 스펙트럼 센싱의 주요 목적은 크게 두가지로 구분할 수 있는데, 첫번째 목적은 CR 사용자가 통신채널을 확보하기 위함이고 두번째 목적은 현재 통신 중인 채널에 대하여 incumbent 신호의 출현여부를 확인하기 위함이다. 본 논문에서는 두번째 목적인 현재 통신 중인 채널에서 incumbent 신호의 출현여부를 확인하는 센싱 과정에서 효율적인 외부대역 협력 센싱 방안을 제안하고 있다.

현재 통신 중인 주파수 채널에 대하여 incumbent 신호의 존재여부를 센싱하는 경우, CR 시스템에서는 센싱하고자 하는 해당 주파수 채널의 통신을 일시적으로 중지하는 전송휴지기간(QP: quiet period)을 설정하여 이의 전송휴지기간 내에 incumbent 신호를 센싱하여야 한다. 전송휴지기간이 길거나 혹은 자주 설정하게 되면 incumbent 신호의 검출확률이 높아진다. 그렇지만 CR 사용자의 통신 데이터 전송의 일시적인 중단이므로 평균적인 데이터 전송속도(throughput)는 낮아지게 된다.

기존의 논문들은 다수 CR 사용자간의 협력센싱 방법과 협력센싱에 의해 향상되는 incumbent 신호의 검출 성능을 보여주고 있다[3][4]. 그런데 기존의 논문에서는 다수의 통신 중인 채널에 대하여 전송휴지기간을 설정하여 incumbent 신호를 검출하는 방법을 제시하지 않고 일반적인 다수의 센서들에 의해 수행된 협력 센싱에 의하여 센싱성능이 향상되는 것을 보여주고 있다.

본 논문에서는 다중 주파수 채널의 CR 시스템이 운용 중일 때 기존의 동일 채널을 사용하는 TDMA, CDMA,

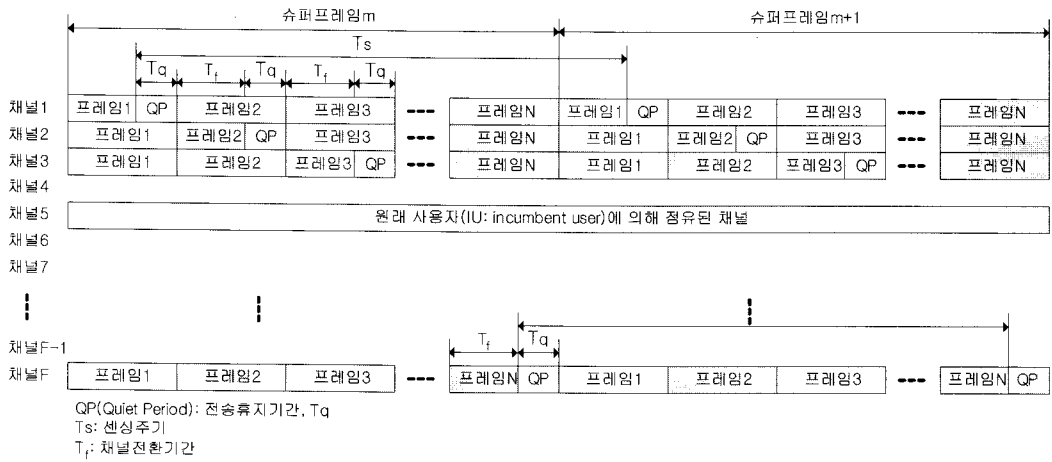


그림 2. 다중 채널이 운용 중인 경우 외부대역 협력센싱을 위한 슈퍼프레임 구조
 Fig. 2 Superframe structure of out-of-band collaborative spectrum sensing in case of the multiple-channel communication

그리고 OFDMA의 다수 CR 사용자간의 협력센싱 방법에서 다중 주파수 채널을 사용하고 있는 모든 CR 사용자들이 전송휴지기간에 협력 센싱에 참여하는 방안을 제안하고 있다.

그림2는 각각의 주파수 채널에 TDMA, CDMA, OFDMA 등의 다중접속 방식이 적용되었을 때 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 위한 슈퍼프레임 구조이다. 기존의 연구에서는 대역내 협력 스펙트럼 센싱 즉, 동일 주파수 채널상에 다수의 CR 사용자들이 통신을 수행중일 때 협력 스펙트럼 센싱 방법을 제시하고, 이에 대한 센싱성능을 분석하였다. 그림2의 외부대역 스펙트럼 센싱이 가능하기 위해서는 F개의 통신 중인 주파수 채널간에 타이밍 동기가 이루어져야 한다. 그리고 각 주파수 채널의 전송휴지기간(QP: quiet period)의 위치에 대한 정보를 모든 CR 사용자들이 알고 있어야 한다. 이러한 전제조건에 대해 중앙 집중 협력 센싱 방법은 AP(access point) 혹은 BS(base station)에서 슈퍼프레임마다 슈퍼프레임 헤더를 이용하여 운용 중인 주파수 채널의 전송휴지기간의 위치를 알려줄 수 있다. 이에 반해 분산 협력 센싱 방법의 경우에는 CR 사용자들이 사용하고 있는 채널들간의 타이밍 동기가 요구된다. 운용 중인 채널간에 타이밍 동기가 수립되었다면, 중앙집중 협력센싱과 동일한 방법에 의해 외부대역 협력센싱

이 가능하게 된다.

또한 외부대역 협력 센싱이 시행되기 위해서는 CR 단말기의 수신기 구조는 통신을 위한 수신기와 스펙트럼 센싱을 위한 신호검출기 등을 모두 갖추고 있어야 한다. 그림2에서 채널F를 협력센싱하기 위해서는 채널1, 채널2, 그리고 채널3을 사용하고 있는 CR 단말기들의 경우 채널1, 채널2, 채널3 등으로 통신을 수행하고 동시에 채널F에 대하여 협력센싱을 수행하여야 함으로써 서로 다른 두개의 주파수 채널들을 동시에 수신할 수 있는 RF 수신 경로가 필요하게 된다. 그림2에서 T_s 는 사용 주파수 채널의 센싱주기이고, T_f 와 T_q 는 각각 채널전환시간과 전송휴지기간이다.

그림3은 중앙 집중형 외부대역 협력 스펙트럼 센싱의 수행과정을 보여주고 있다. CR 기지국 혹은 AP는 현재 셀 내에서 운영 중인 주파수 채널들을 파악하고 채널전환시간(T_f)과 현재 셀 내에서 운영 중이지 않은 주파수채널들에 대한 센싱을 고려하여 각 주파수채널의 QP(quiet period) 위치를 결정하고 각 주파수 채널의 QP 위치정보를 기지국내에 있는 모든 CR 단말기에 전송함으로써 외부대역 협력 스펙트럼 센싱은 동작하게 된다.

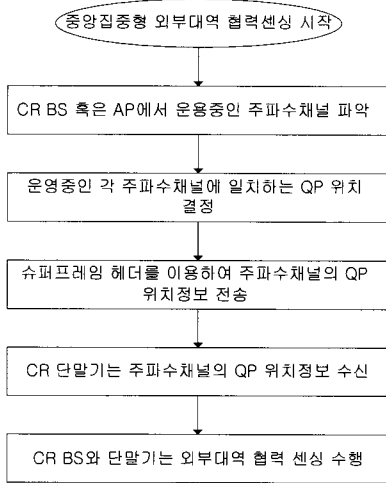


그림 3. 중앙집중형 외부대역 협력 스펙트럼 센싱 과정

Fig. 3 The procedure of centralized out-of-band collaborative spectrum sensing

IV. 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에서의 신호 검출 및 오경보 확률

스펙트럼 센싱에서 신호 검출 확률은 incumbent 신호의 출현여부를 검출하는 확률이고 오경보 확률은 incumbent 신호가 존재하지 않는 상황에서 incumbent 신호가 존재한다고 오류로 판단할 확률이다.

본 논문에서의 ATSC 디지털 TV신호에 대한 스펙트럼 센싱 구조는 그림1의 PN511 코드 시퀀스를 이용한 넌코히런트 MF(matched filter) 상관기를 이용하여 구성하고 있다. 따라서 PN511 코드 시퀀스의 코드동기가 완료된 상황에서 PN511 MF 상관기의 출력에 대하여 임계치와 비교하여 incumbent 신호의 존재를 검출하게 된다.

ATSC 디지털 TV 신호에 대한 신호검출확률을 유도함에 있어 다음의 세가지 가정을 고려하여 incumbent 신호 검출 성능을 해석하고자 한다[8].

- 1) 본 논문에서 전송휴지기간(QP: quiet period)을 ATSC 디지털 TV 신호의 데이터 프레임과 동일하게 24.2ms으로 설정한다. 이는 하나의 데이터 프레임 내에 어느 위치에서 스펙트럼 센싱이 시작하는 것과 상관없이 한 데이터 프레임에 걸쳐 신호검출을 수행하게 된다.
- 2) 넌코히런트 MF 상관기를 이용한 센싱방법이 그림

1의 데이터 필드 동기심벌에 대한 상관으로 ATSC 디지털 TV 신호의 검출여부를 판정하므로 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널과 코드심벌 주기, T_s 가 93ns인 PN 칩 기간에 의해 I 개의 H_i 셀들이 존재하는 상황이고 24.2ms 내의 모든 시험셀(test cell)에서 신호검출이 시작될 확률은 동일하다.

3) CR 기지국은 다수의 주파수 채널들이 운용 중이고 이들 주파수 채널의 채널이득은 서로 독립적이다.

위의 세가지 조건을 고려하여 H_1 hypothesis 경우, 즉 PN 코드 생성기의 코드 위상이 수신 신호의 코드 위상과 한 개의 PN 코드 심벌 이내로 일치하는 경우, 즉 $H_{1i}, i=1,2,\dots,I$ 에 일치하는 넌코히런트 MF 상관기 출력의 평균들 $V_{F_i}, i=1,2,\dots,I$ 은[8]

$$V_{F_i} = N^2 E_s E[\alpha_f^2] \sum_{j=1}^{N_f} E[\alpha_j^2] R^2(\lambda_{ij}) + NN_0, i=1,2,\dots,I \quad (3)$$

으로 주어진다. 여기서 α_f 는 f-번째 주파수 채널의 채널이득이고, N 과 E_s 는 각각 코히런트 적분길이와 PN 코드 심벌 에너지이다. 그리고 N_f 와 α_j 는 페이딩 채널의 다경로 성분 수와 j-번째 경로의 이득이며 λ_{ij} 는 H_{1i} 셀에 일치하는 PN 코드 심벌 시퀀스와 j번째 경로와의 타이밍 에러(timing error)이다. 식 (3)을 이용하여 H_1 hypothesis 경우의 $\eta(=Z_i)$ 에 대한 확률 밀도 함수는

$$f_\eta(\eta|H_{1i}) = \frac{1}{V_{F_i}} e^{-\frac{\eta}{V_{F_i}}}, i=1,2,\dots,I \quad (4)$$

으로 주어진다. f-번째 주파수 채널의 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널에서 각각의 H_{1i} 셀에 대하여 incumbent 신호를 검출할 확률은

$$P_{D_i}^f = \int_0^\infty f_\eta(\eta|H_{1i}) d\eta, i=1,2,\dots,I \\ = e^{-\theta/V_{F_i}} \quad (5)$$

으로 주어진다. 여기에서 θ 는 incumbent 신호의 검출여부를 판정하는 임계치이다.

그런데 본 논문에서는 통신 중인 채널의 스펙트럼 센싱을 위한 전송휴지기간이 하나의 데이터 프레임과 동일하므로 다수 H_i 셀인 경우에 대하여 신호검출확률, $P_{D_i}^f$ 은

$$P_{D_i}^f = \sum_{i=1}^I P_{D_i}^f \prod_{j=1}^{i-1} (1 - P_{D_j}^f) \quad (6)$$

으로 주어진다.

또한 incumbent 신호가 존재하지 않은 상황에서의 오경보 확률은

$$P_{F_i}^f = \int_0^\infty f_\eta(\eta | H_0) d\eta = e^{-\theta/V_N} \quad (7)$$

으로 주어진다. 여기에서, H_0 hypothesis 경우의 $\eta (= Z_i)$ 에 대한 확률 밀도 함수는

$$f_\eta(\eta | H_0) = \frac{1}{V_N} e^{-\frac{\eta}{V_N}} \quad (8)$$

으로 주어지고, $V_N = NN_0$ 이다.

다중 채널 CR 시스템에서 N_F 개의 주파수 채널들이 사용 중이고, CR 시스템이 TDMA, CDMA, 그리고 OFDMA 등의 다중접속방식으로 운용되는 경우 각 주파수 채널당 사용자수가 $U_f, f = 1, 2, \dots, N_F$ 으로 주어졌을 때 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에 의한 신호검출확률과 오경보 확률은

$$P_{D_2} = 1 - \prod_{f=1}^{N_F} (1 - P_{D_i}^f)^{U_f} \quad (9)$$

$$P_{F_2} = 1 - \prod_{f=1}^{N_F} (1 - P_{F_i}^f)^{U_f} \quad (10)$$

으로 각각 표현할 수 있다.

V. 수치 해석 결과

본 논문에서는 다중 주파수 채널을 운영하는 CR 시스템 환경에서 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 제안하고 이에 대한 성능을 IEEE802.22 WRAN 채널[9]에 대하여 해석하였다. IEEE 802.22 WRAN 채널에서 제시하고 있는 프로파일A와 프로파일B 등을 ATSC 디지털 TV 신호

의 코드심벌 주기인 93ns의 PN칩 기간을 고려하여 다중 경로 프로파일을 재구성하였는데 각각의 다중경로 프로파일 중에 신호세기가 우세한 세개의 경로들을 선택하면, 다경로 프로파일A인 경우에는 0.8123, 0.1621, 0.0257 등의 신호세기를 갖는 경로들로 구성되고 다경로 프로파일B인 경우에는 0.8123, 0.1621, 0.0257 등의 신호세기를 갖는 경로들로 구성된다. 여기서, 프로파일A와 프로파일B에 각각 구성된 경로들의 신호전력의 합은 1로써 정규화하였다.

본 논문에서 외부대역 스펙트럼 센싱에 관한 성능은 식(9)와 식(10)을 이용하여 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 적용한 경우에 대한 신호검출확률과 오경보 확률을 도출하였다.

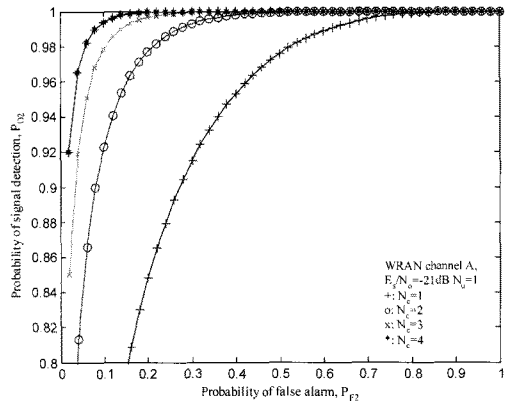


그림 4. WRAN 채널A에서의 외부대역 협력 스펙트럼 센싱의 ROC

Fig. 4 ROC of collaborative out-of-band spectrum sensing in the WRAN channel A

그림4는 WRAN 채널에서의 서로 다른 주파수 채널로 통신 중인 CR 가입자들을 이용한 외부대역 협력 스펙트럼 센싱의 ROC를 보여주고 있다. WRAN 채널의 대역폭이 TV 채널과 동일한 6MHz이라고 할 경우, 그림4에서 N_c 는 통신 중인 CR 주파수 채널들의 수이고 N_u 는 주파수 채널당 CR 가입자들의 수이다. 그림4에서 N_c 가 1인 경우에는 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 수행하지 않는 경우이고, N_c 가 2이상인 경우에는 CR 기지국이 사용 중인 채널이 2개 이상으로 협력 스펙트럼 센싱을 수행하는 경우로써 협력 스펙트럼 센싱에 참여하는 채널 수가 증가할수록 센싱 성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

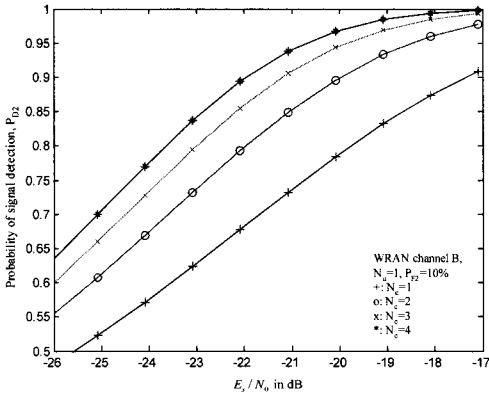


그림 5. WRAN 채널 B에서 E_b/N_0 대 incumbent 신호 검출확률
 Fig. 5 Detection probability of incumbent signal vs. E_b/N_0 in the WRAN channel B

그림5는 WRAN 채널A에서의 서로 다른 주파수 채널로 통신 중인 CR 가입자들을 이용한 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에 대한 결과로서 오경보확률이 10%인 경우에 대한 incumbent 신호의 검출확률을 보여주고 있다. 그림5에서도 N_c 가 1인 경우에는 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 수행하지 않는 경우이고, N_c 가 2이상인 경우에는 CR 시스템이 사용 중인 채널이 2개 이상으로 협력 스펙트럼 센싱을 수행하는 경우로서 협력 스펙트럼 센싱에 참여하는 채널수가 증가할수록 incumbent 신호의 검출성능이 향상됨을 확인할 수 있다.

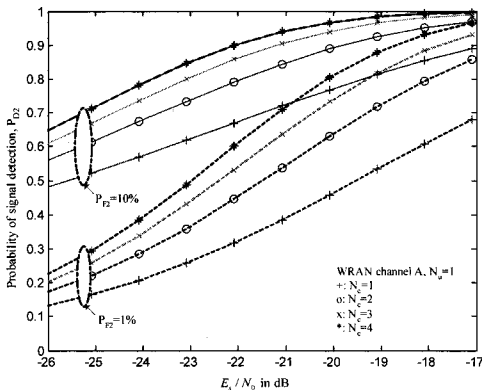


그림 6. 오경보 확률의 변화에 따른 E_b/N_0 대 incumbent 신호의 검출확률

Fig. 6 Detection probability of incumbent signal vs. E_b/N_0 according to the change of false alarm probability

그림6은 WRAN 채널A에서의 서로 다른 주파수 채널로 통신 중인 CR 가입자들을 이용한 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에 대한 결과로서 오경보확률이 10%와 1%인 경우에 대한 incumbent 신호의 검출확률들을 보여주고 있다. 그림6에서는 오경보확률이 1% 이하인 경우에는 낮은 E_b/N_0 인 경우보다 높은 E_b/N_0 인 경우에 외부대역 협력 스펙트럼 센싱으로 인한 성능이 더 크게 향상됨을 확인할 수 있다.

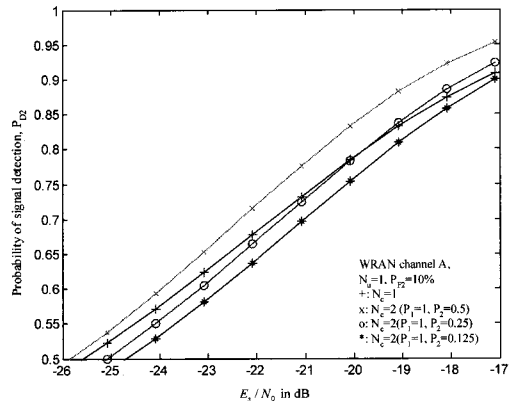


그림 7. 채널 전력들의 차이에 따른 E_b/N_0 대 incumbent 신호의 검출확률

Fig. 7 Detection probability of incumbent signal vs. E_b/N_0 according to the difference of channel powers

그림7은 WRAN 채널A에서 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에 참여하는 두개의 주파수 채널들의 수신전력들이 서로 다른 경우에 오경보확률이 10%일 때 incumbent 신호의 검출확률들을 보여주고 있다. 여기에서 N_c 는 통신 중인 주파수채널들의 수이고 N_p 는 주파수 채널당 CR 가입자들의 수이다. 그림7에서는 두개의 서로 다른 주파수채널들이 외부대역 협력 스펙트럼 센싱에 적용되었을 때 두개의 채널간의 incumbent 신호에 대한 수신 전력의 차이가 3dB 이하인 경우에는 외부대역 협력 센싱 방법을 적용함으로써 센싱성능이 향상되지만, 두개의 채널간의 수신 전력의 차이가 6dB 이상인 경우에는 외부대역 협력 센싱 방법을 적용함으로써 센싱 성능이 오히려 저하되는 결함손실이 발생함을 확인할 수 있다. 따라서 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 적용하는 경우에는 통신 중인 주파수 채널들을 이용하는 CR 단말기들이 측정된 incumbent 신호의 채널 수신 전력들과 센싱 결

과들을 이용하여 CR 기지국에서 incumbent 신호의 검출 여부를 판단하는 방법을 적용해야 한다.

VI. 결론

본 논문에서는 다중 주파수 채널들이 운용중인 CR 시스템에서 외부대역 협력 스펙트럼 센싱 방식을 제안하였다. 그리고 incumbent 신호가 ATSC 디지털 TV 신호인 경우에 대한 신호 검출기 구조를 제시하였고 주파수 선택적 Rayleigh 페이딩 채널에서 외부대역 협력 센싱 방법을 적용한 경우에 대한 신호 검출 확률과 오경보 확률을 유도하였다.

수치해석 결과로는 CR 기지국에서 통신 중인 다중 주파수 채널에서 incumbent 신호의 채널전력이 유사한 경우에는 외부대역 협력 스펙트럼 센싱을 시행함으로써 센싱 성능이 향상됨을 확인하였으나 측정된 incumbent 신호의 채널전력이 6dB 이상의 채널전력이 차이가 나는 경우에는 외부대역 스펙트럼 센싱을 수행함으로써 센싱 성능이 저하됨을 확인하였다. 따라서 외부대역 협력 센싱에서 다수의 CR 단말기에서 측정된 incumbent 신호의 채널 전력 세기에 따라 결합여부를 판단하는 선택적 결합 방법을 적용해야 한다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 한국산업기술재단 지역혁신인력양성사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계 부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 김창주, "Cognitive Radio 기술 및 응용," 전자과학회지 제17권 2호, pp.3-8, 2006년 4월.
- [2] IEEE 802.22, "Functional Requirements for the 802.22 WRAN Standard," IEEE 802.22-05/007r46, September 2005.
- [3] IEEE 802.22 WG, Draft standard for wireless regional area networks part 22, IEEE P802.22/ D0.3, May 2007.

- [4] A. Ghasemi and E. Sousa, "Collaborative spectrum sensing for opportunistic access in fading environments," IEEE DYSAN, Maryland, pp.131-136, November 2005.
- [5] D. Cabric, A. Tkachenko, and R. Brodersen, "Spectrum sensing measurements of pilot, energy, and collaborative detection," in Proc. IEEE Military Commun. Conf., Washington, DC, pp.1-7, October 2006.
- [6] ATSC(advanced television systems committee), ATSC Digital Television Standard (A/53) Revision E with Amendment No.1, April 2006.
- [7] H. Arslan, Cognitive radio, software defined radio, and adaptive wireless systems, Spinger 2007.
- [8] B. J. Kang, H. R. Park, C. E. Kang, and J. Y. Son, "Performance evaluation of parallel acquisition in cellular DS/CDMA reverse link", IEICE Trans. Commun., vol. E79_B, pp. 1301-1308, September 1996.
- [9] E. Sofer and G. Chouinard, "WRAN Channel Modeling," IEEE 802.22-05/0055r7, August 2005.

저자소개

강법주(Bub-Joo Kang)



1983년: 경희대학교 전자공학과
공학사

1985년: 연세대학교 전자공학과
공학석사

996년: 연세대학교 전자공학과 공학박사

1988년2월-2001년2월: ETRI 책임연구원(팀장)

2001년3월-현재: 동국대학교 정보통신공학과 부교수

※관심분야: 무선인지기술, 이동통신시스템, 무선통신시스템