

단일 홉 릴레이 협력 스펙트럼 센싱의 성능 분석

이미선*, 김윤현*, 김진영** 정회원

Performance Analysis of Single Hop Cooperative Relay Spectrum Sensing

Mi Sun Lee*, Yoon Hyun Kim*, and Jin Young Kim** *RegularMembers*

요 약

본 논문에서는 인지무선 통신의 스펙트럼 센싱을 위해 PU와 CR 사용자의 수신단 사이에 릴레이를 적용하여 가상의 공간 다이버시티이득(Spatial Diversity Gain)을 얻는 협력 릴레이 센싱 모델 중 여러개의 single hop AF 릴레이를 사용하는 기존 시스템 모델의 센싱 성능을 올리고자, 릴레이의 채널 상태에 따라 릴레이의 사용 유무를 선택함으로써 신뢰도 높은 다이버시티 이득을 얻는 모델을 제안하였다. 이는 Hidden terminal 환경이나, 또는 음영지역에 위치한 릴레이의 불분명한 정보를 줄임으로써 최적의 다이버시티를 얻을 수 있게 된다. 신호 검출 확률을 보임으로써 센싱 성능 향상을 보인다.

Key Words : Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Relay Selection, Diversity Gain, MRC

ABSTRACT

In this paper, we proposed spectrum sensing using cooperative relay to solve problem of sensing performance degradation due to CPE (Customer-Primise equipments) which causes low SNR (signal-to-noise ratio) problem. This system model is expected that cooperative relay scheme guarantees the high sensing performance by its diversity gain. Based on these backgrounds, in this paper, we apply to cooperative relay scheme to the CR (cognitive radio) system, and simulation results show comparison of the sensing performance combining method EGC and MRC.

I. 서 론

최근 무선 통신 서비스의 발달과 스마트 폰의 보급에 따른 데이터 트래픽 급증으로 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다 [1]. 기존의 주파수 사용정책은 각 나라별 주파수 정책에 따라서 법적으로 분배되어 주파수를 할당 받은 면허 사용자가 해당주파수 사용에 관한 독점권을 가지고 있다. 즉, 면허 사용자에게 할당된 주파수는 현재 사용 중이지 않더라도 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 해당 주파수를 사용할 수 없다. 그러나 연방 통신 위원회 (FCC: Federal Communications Commission)의 조사결과에 따르면 면허 사용자에게 할당된 주파수 자원은 시간 및 위치에 따라 많게는 85%에 이르는 주파수 자원이 효율적으로 사용되지 않고 있다. 이와 같은 주파수의 비효율적 사용을 완화시키기 위해 주파수 자원의 효율적 사용에 대한 관심이 높아지고 있으며 [2-3], 이러한 주파수 사용의 활용을 높이기 위해 J. Mitola에

의하여 인지 무선 시스템 (CR, Cognitive Radio System)이 제시되었다. 즉, 면허 사용자가 사용하지 않는 유휴 주파수를 비 면허 사용자가 임시적으로 사용하도록 하는 시스템으로서 주변의 상황을 탐색하고 변화된 상황에 시스템을 적절하게 적용하도록 하는 지능적인 차세대 무선 통신 시스템이다 [4-5]. 주로 주파수 정책에 따라 주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자는 소 출력 무선통신 기기 및 임시적으로 주파수를 할당 받아 사용하는 기기들로서 이들이 주로 인지 무선 시스템의 서비스를 가장 많이 받을 것으로 예상된다. 따라서, 비 면허 사용 기기들이 개별적으로 주변 상황을 인지하고 신뢰도 높게 유휴주파수를 탐색하는 스펙트럼 센싱의 중요성이 높아진다. 릴레이 협력 통신은 셀 가장자리 및 음영 지역에서 기지국과 단말간의 수신 신호-대-간섭 및 잡음비 저하를 극복하여 셀 경계에서의 성능을 확보하고 경제적인 셀 커버리지확장을 위한 요소기술로서, IEEE 802.16m 및 3GPP LTE-Advanced 등의 차세대 통신 시스템 규격에 채택되어

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2012-0007025) 광운대학교 전자공학과 소속 유비쿼터스 통신 연구실 *(mesunny777@gmail.com), *(yoonhyun@kw.ac.kr), *(jinyoung@kw.ac.kr) 접수일자 : 2012년 7월 23일, 수정완료일자 : 2012년 8월 6일, 최종 게재확정일자 : 2012년 8월 13일

활발한 연구가 진행되고 있다. 릴레이 시스템을 인지무선 통신에 적용한다면 신호의 신뢰성 향상으로 센싱 성능의 향상시킬수 있다. 예를 들어 선택적 주파수 페이딩, 셀룰라 시스템에서는 셀간 간섭 등의 문제로 CR기기의 낮은 SNR 상태에 있을때 센싱의 신뢰성을 보장할수 없어 센싱성능의 열화가 발생하게 되는데, 이는 셀을 작은 공간으로 나누어 채널 용량을 극대화시키는 릴레이 시스템을 이용할 경우 CR기기의 SNR을 높임으로써 BER이 낮아지는 효과를 얻을수 있기 때문에 센싱 신뢰도가 높아지게 된다. 또한 음영지역에 CR 사용자가 위치하여 발생하는 Hidden node 문제를 릴레이 CR 사용자를 통한 다이버시티 이득을 얻음으로써 해결할 수 있다. 또한 별도의 기지국과 같은 시스템 없이 CR사용자가 무선신호를 전달함으로 비용이 절약된다. 따라서 본 논문에서는 릴레이 시스템을 적용한 협력 릴레이 스펙트럼 센싱에 대한 검출 확률을 보여줌으로 센싱 성능의 향상을 입증하려고 한다. 여러개의 single hop 릴레이 방식을 사용하여 여러 CPE들이 서로의 안테나를 공유하여 분산 방식으로 공간다이버시티를 실현하여 SNR이 좋지 않은 단말기의 센싱을 향상시키는 기존 협력 릴레이 센싱 성능을 높이기 위해 직접경로 다이버시티와 릴레이 노드로 부터의 다이버시티를 비교하여 불확실한 노드의 신호를 무시하여 결합하여 검출 확률을 높이는 시스템 모델을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 제안한 인지 무선 기반 에서 협력 릴레이 선택 스펙트럼 센싱에 대한 시스템 모델에 대해 설명한다. 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 기법을 설명하고, IV장에서는 모의실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV장에서 언급하였다.

II. 시스템 모델

그림 1.은 단일 셀에서 셀 가장자리에 높은 인지무선 단말의 성능을 높이기 위한 시나리오으로써 다수개의 협력 릴레이 노드를 사용한다고 가정한다. 이때 셀 내의 모든 릴레이 노드들은 상호간 간섭이 없도록 시분할이나 주파수 분할에 의해 직교성을 유지한다고 가정한다. 또한 PU의 전력의 세기 P_1 과 릴레이의 전력의 세기를 P_2 로 나타내고 이를 알고 있다고 가정한다.

기존의 릴레이 적용 스펙트럼 협력센싱은 릴레이의 채널 상태의 구분없이 모든 정보를 센싱하는데 사용하였다. 이는 불확실한 노드까지도 포함할 수 있기 때문에 오정보로 인해 센싱 성능이 저하 될수 있다. 따라서 다음과 같은 협력 릴레이 사용 스펙트럼 센싱을 제안한다.

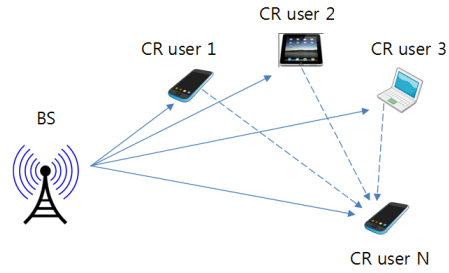
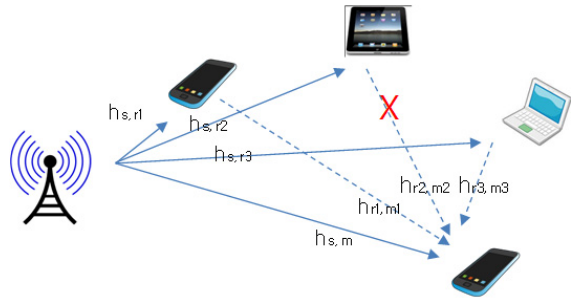


그림 1. 기존의 릴레이 적용 협력 센싱 시나리오



직접경로 신호의 세기와 비교해서 낮은 경로는 무시하여 MRC

그림 2. 제안된 릴레이 적용 협력 센싱 시나리오

그림 2는 제안된 스펙트럼 센싱 모델이다. 모든 릴레이의 다이버시티를 사용하는 것이 아닌 직접경로와 비교하여, 그보다 높은 SNR을 갖는 신호를 결합하여 에너지 센싱함으로써, 모든 다이버시티를 사용함으로써 오는 오정보를 줄여 신뢰성을 높일 수 있다. 각 릴레이들은 채널 정보를 알 수 있다고 가정하였다. 각 노드의 지점에서 에너지 센싱을 통하여 센싱결과를 전송하게 된다. 이때 채널은 $h_{s,rk}$ 와 $h_{rk,md}$ 그리고 $h_{s,d}$ ($k = 1, 2, 3, \dots, N$)으로 구성되고 모든 채널은 $h_{a,b}$ ($a \in r_k, b \in r_{k,d}$) 각각 평균이 0이고 분산이 $\sigma_{a,b}^2$ 인 복소 가우시안 분포를 따른다고 한다. $h_{a,b} \sim CN(0, \sigma_{a,b}^2)$ 이다. 그리고 각 채널에는 평균이 0이고 분산이 N_0 인 독립적인 가우시안 잡음이 더해진다고 가정하며 이 잡음들은 $n_{a,b}$ 라고 나타낸다. 즉 $n_{a,b} \sim CN(0, N_0)$ 이다. 신호의 유무를 결정하는 에너지 센싱의 임계치는 수신신호의 power 별로 신호가 가지는 에너지를 이용해서 임계치를 정하는 것하게 된다. 수신신호의 power가 좋으면 임계치 값을 낮추고, power가 안 좋으면 임계치 값을 높여서 센싱 성능을 보장해주는 것이다.

III. 본문

AF 기법은 relay에서 수신되는 신호의 파워만 증폭시켜 재전송하는 기법이다. 수신 신호의 파워를 정규화하고 이를 relay에서 전송할 수 있는 파워 레벨로 증폭시켜 전송하는 것으로 구현 측면에서는 간단하다 [6-8]. 본 논문에서는 여

러개의 single hop으로 구성된 AF 릴레이를 사용하여 실험하여 사용하였다. 1단계에서 PU로부터 릴레이가 수신한 신호 그리고 CR유저에 직접경로를 통해 수신된 신호는 다음과 같이 나타낼수 있다.협력하고자 하는 릴레이 수는 k ($k=1,2,\dots,K$)로 나타낸다.

$$y_{s,r_k} = \sqrt{P_1} h_{s,r_k} x + n_{s,r_k} \quad (1)$$

$$y_{s,d_1} = \sqrt{P_1} h_{s,d_1} x + n_{s,d_1} \quad (2)$$

한편 릴레이에서 수신한 신호 y_{s,r_k} 는 임의의 처리과정 $q(\cdot)$ 을 수행한후 2단계에서 CR 사용자에게 전송되며 이는 다음과 같이 수신된다.

$$y_{r,d_k} = \sqrt{P_2} q(y_{s,r_k}) + n_{r,d_k} \quad (3)$$

식 (3)에서의 $q(\cdot)$ 는 RS의 전송 프로토콜에 의해 정해지며 AF프로토콜 사용시 수신신호 스케일링한 후에 증폭하여 전송하는 방식으로서 다음과 같이 송신신호 전력을 수신신호 전력에 반비례하도록 스케일링 함으로써 BS RS간 채널에서 겪는 페이딩의 영향을 등화시킬 수 있다.

$$q(y_{s,r_k}) = \frac{\sqrt{P_2}}{\sqrt{P_1|h_{s,r_k}| + N_0}} y_{s,r_k} \quad (4)$$

릴레이가 AF프로토콜을 사용할 때 CR사용자는 PU로부터 직접 수신한 신호와 $y_{s,d}$ 릴레이로부터 수신한 신호 y_{r_k,d_k} 를 다음과 같이 비교하여 나타낼수 있다.

$$y_{d_1} = \beta_1 y_{s,d_1} \quad (5)$$

$$y_{d_k} = \beta_2 y_{r_k,d_k} \quad (6)$$

β_1, β_2 , 는 수신신호의 신호대 잡음비를 최대로 하는 Maximum Ratio Combining(MRC)계수로써 각각 다음과 같이 주어진다.

$$\beta_1 = \frac{h_{s,d}^*}{|h_{s,d}|^2} \quad (7)$$

$$\beta_2 = \frac{h_{s,r_k}^* h_{r_k,d}^*}{|h_{s,d_1} h_{r_k,d_k}|^2} \quad (8)$$

식 (7)에 따라 직접 경로로 수신된 신호와 릴레이를 통해 수신된 신호의 순시 신호대 잡음비는 각각 다음과 같이 주어진다.

$$SNR_{s,d_1} = \frac{P_1|h_{s,d_1}|^2}{N_0} \quad (9)$$

$$SNR_{r_k,d_k} = \frac{P_1 P_2 |h_{s,r_k}|^2 |h_{r_k,d_k}|^2}{(P_1|h_{s,r_k}|^2 + P_2|h_{r_k,d_k}|^2 + N_0)N_0} \quad (10)$$

이때 $SNR_{s,d_1} > SNR_{r_k,d_k}$ 인 릴레이 신호를 무시하고 결합한다.

$$y_{selected} = y_{d1} + \sum_1^{K-n} \beta_2 y_{r_k,d_k} \quad (11)$$

n 은 SNR이 낮아서 제거된 릴레이다 수이다. $y_{selected}$ 는 따라서 CR 사용자가 수신한 신호의 크기이다. 이 신호의 크기는 융합된 신호는 릴레이를 통해 얻어진 신호는 에너지 검출기반으로하여 센싱을 진행하게 된다. 1차 사용자가 주파수 대역을 사용 중인 경우를 H_1 이라하고, 사용 중이지 않은 경우를 H_0 라 할 때, k 번째 CR 사용자로부터 수신된 신호 $y_{selected}$ 는 각각 식 (12) 및 (13)과 같이 나타낼 수 있고.

$$H_1 : y_{selected}(k) = h(k) \otimes s(k) + n(k) \quad (12)$$

$$H_0 : y_{selected}(k) = n(k) \quad (13)$$

여기서 $h(k)$ 는 무선 채널의 impulse 응답이고, \otimes 는 컨볼루션(Convolution) 연산을 나타낸다. 그리고 $n(k)$ 는 평균이 0 이고 분산이 σ_N^2 인 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN, Additive White Gaussian Noise)를 나타낸다. 무선 채널을 가우시안 채널로 가정하면 H_1 과 H_0 의 확률 밀도 함수(PDF : Probability Density Function)는 각각 식 (14) 및 (15)와 같이 표현할 수 있다.

$$f_{Y_{selected}}(y|H_1) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_N^2}} \exp\left(-\frac{(y - \mu_s)^2}{2\sigma_N^2}\right) \quad (14)$$

$$f_{Y_{selected}}(y|H_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_N^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_N^2}\right) \quad (15)$$

여기서 μ_s 1차 사용자 신호의 평균값이다. 여기서 $\gamma(SNR)$ 은 네트워크의 채널의 수신신호 power에 따라 결정되는 임계값을 나타낸다. 식 (8)에서 $z = \frac{y - \mu_U}{\sigma_U}$ 로 치환하면, 식 (9)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P_d = \int_{\frac{\gamma(SNR) - \mu_U}{\sigma_U}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (16)$$

$$= Q\left(\frac{\gamma(SNR) - \mu_U}{\sigma_U}\right)$$

여기서 $Q(\cdot)$ 는 Q 함수를 나타낸다. 1차 사용자가 주파수를 사용하지 않는 경우, 오경보 확률 (False Alarm Probability)은 식 (17)과 같이 계산할 수 있다.

$$P_{fa} = \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} f_{Y_U}(y|H_0) dy \quad (17)$$

$$= \int_{\gamma(SNR)}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_U^2}} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right) dy$$

식 (10)에서 $z = \frac{y}{\sigma_U}$ 로 치환하면, 식 (18)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{fa} = \int_{\frac{\gamma(SNR)}{\sigma_U}}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right) dz \quad (18)$$

$$= Q\left(\frac{\gamma(SNR)}{\sigma_U}\right)$$

III. 모의 실험 및 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 협력 릴레이 센싱 성능을 모의실험 결과를 통하여 알아본다. 본 논문에서의 실험은 표 1.의 파라미터를 따른다.

표 1. 모의실험 파라미터

Parameters	Value
Channel model	AWGN / Rayleigh
FA probability	10%
Modulation scheme	BPSK
Combining method	EGC / MRC
Relay method	AF

우선 채널 모델은 백색 잡음 채널(AWGN, additive white Gaussian noise)과 Rayleigh 채널 모델을 고려하였다. 센싱된 결과를 결합하기 위해서는 EGC(Equal Gain Combining) MRC(Maximum Ratio Combining)를 사용하였으며, 신호 센싱 성능을 보이기 위해 오 경보 확률(False alarm probability, false alarm probability)을 10%로 설정하였고, 각 인지 무선 기반 네트워크 단말들의 변조 방식은 BPSK (Binary Phase Shift Keying)을 사용한다고 가정하였다. SNR이 낮은 기기의 센싱한 정보와 릴레이된 정보를 무시하는 방식이다. CR 사용

자가 센싱한 정보를 취합하는 방식으로 모든 릴레이의 동일 이득 처리 EGC결합 결과와 정보에 가중치를 두어 데이터를 융합하는 MRC 방법을 사용하여 성능을 비교 하였다.

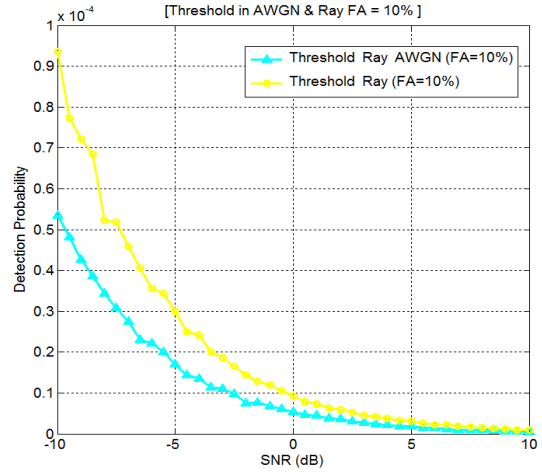


그림 3. AWGN과 Rayleigh 채널에 따른 FA(False Alarm) 확률 그래프

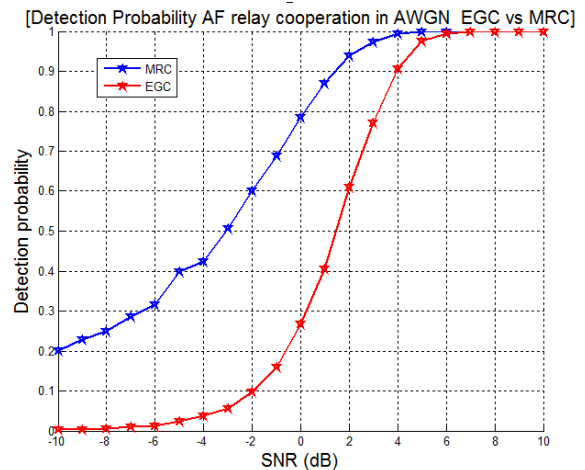


그림 4. AWGN 채널에서의 협력 릴레이 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교

그림 3은 Rayleigh 채널과 AWGN 채널일 경우의 각각에 수신된 파워에 대한 SNR(signal-to-noise ratio)에 따른 임계치 (threshold) 값을 보여준다. 본 논문의 모의실험 결과인 신호 센싱 확률은 그림 3의 Threshold를 바탕으로 주 사용자의 신호를 유무를 검출하는 기준으로 삼는다. AWGN 에 비해 채널상태가 좋지 않은 Rayleigh 채널의 임계치가 높은 것을 알 수 있다. 이는 같은 조건, 즉 같은 SNR에서는 Rayleigh 채널이 AWGN 채널에 비해 신호 검출 성능이 낮음을 알 수 있다. 그림 4는 AWGN 채널에서 일반적인 AF 협력 릴레이를 적용하였을때 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교한 그래프이다.

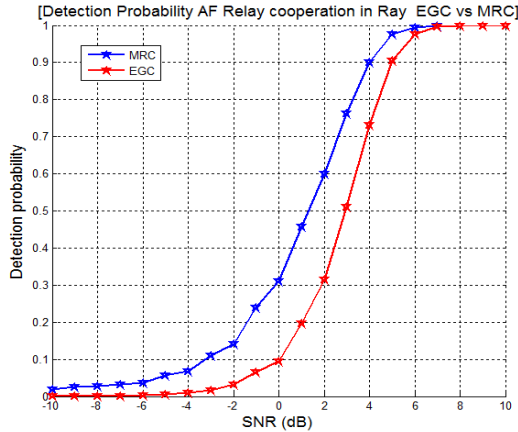


그림 5. Ray 채널에서의 협력 릴레이 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교

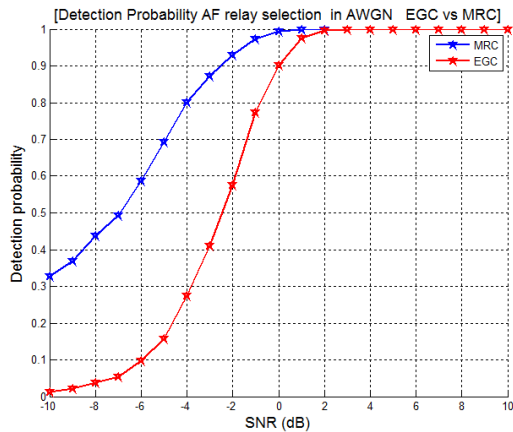


그림 6. AWGN 채널에서의 제안된 선택 다이버시티 협력 릴레이 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교

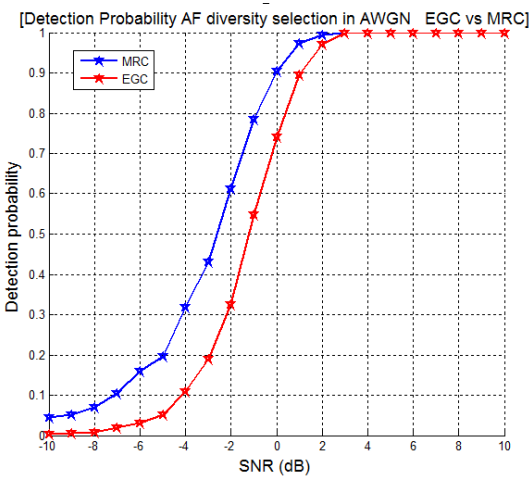


그림 7. Ray 채널에서의 제안된 선택 다이버시티 협력 릴레이 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교

그림 4는 Rayleigh channel에서의 AWGN 채널에서 일반적인 AF 협력 릴레이를 적용하였을 때 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교한 그래프이다.

그림 6는 본문에서 제안된 시스템 모델의 성능분석이다. AWGN 채널에서 릴레이들의 에너지값을 직접경로와 비교

한 뒤 협력 릴레이를 적용하였을 때 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교한 그래프이다. 그림 4와 비교했을 때 검출 성능이 향상됨을 알 수 있다. 그림 7은 Rayleigh 채널에서의 제안된 협력 다이버시티 성능 결과이다.

V. 결론

본 논문에서는 다이버시티 선택 AF 협력 릴레이 기법을 이용한 센싱 성능을 보여주었다. 모의실험 결과를 통하여 AF 협력 릴레이의 모든 다이버시티를 사용하였을 때 사용자를 센싱 하였을 때 성능보다 다이버시티를 선택하여 결합한 뒤 센싱하였을 때 검출 성능이 높게 나왔음을 알 수 있었다. 본 논문에서는 AWGN 채널뿐만 아니라 페이딩이 심한 Rayleigh 채널에서, 기존 협력 센싱 기법과 협력 릴레이 기반의 센싱 알고리즘의 성능을 비교하였다. 또한, 협력하고자 하는 릴레이들의 정보를 결합 방법 중 MRC와 EGC를 사용하였고, 그에 따른 센싱 성능을 나타내었다. 본 논문에서 제안한 직경로를 통한 다이버시티 선택 AF 협력 릴레이 기법을 사용하였을 때 센싱 성능이 향상되었음을 알 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Y. Kim, Cognitive Radio Systems, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008.
- [3] FCC, "Spectrum Policy Task Force," Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.
- [3] I. F. Akyildiz, W. Y. Lee, M. Vuran, and S. Mohant, "Next generation/dynamic spectrum access/cognitive radio wireless networks: a survey," Computer Networks, vol. 50, no. 13, pp. 2127 - 2159, May 2006.
- [4] J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal," IEEE Personal Commun., vol. 6, no. 4, pp. 13-18, 2005.
- [5] Charles E. Perkins, Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001.
- [6] J. Y. Kim, "Cooperative Wireless Communication Systems," GS Interscience Publishers, Seoul, Korea, 2009.
- [7] T. Cover and A.E. Gamal, "Capacity theorems for the relay channel," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 25, no. 5, pp. 572 - 584, Sept. 1979.
- [8] G. Kramer, M. Gastpar, and P. Gupta, "Cooperative strategies and capacity theorems for relay networks," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 51, no. 9, pp. 3037 - 3063, Sept. 2005.

저자

이 미 선(Mi Sun Lee)



- 2011년 8월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2011년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> : 디지털 통신, 협력통신, Cognitive Radio

김 윤 현(Yoon Hyun Kim)



- 2006년 2월 : 광운대학교 전자공학과 졸업
- 2008년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사 졸업
- 2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> : 디지털 통신, 협력통신, 가시광 통신, Cognitive Radio

김 진 영(Jin Young Kim)



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2000년 : 미국 Princeton University Associate
- 2001년 : SK 텔레콤 네트워크 연구소 책임연구원

- 2009년 ~ 2010년 2월 : 미국 M.I.T 공대 Visiting Scientist
- 2001년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화

정회원