

인지 무선 통신을 위한 협력 릴레이 센싱 성능

이미선*, 김윤현*, 김진영* 정회원

Performance of Spectrum Sensing Using Cooperative Relay for Cognitive Radio System

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

요 약

본 논문에서는 인지무선통신에서 중요한 기술 중 하나인 스펙트럼 센싱의 Hidden node의 문제나 셀룰라 시스템에서 셀 경계에서 CPE(Customer-Prime equipments)의 낮은 SNR(Signal to Noise Ratio)로 인한 센싱 성능 저하를 해결하기 위해 CPE들의 협력 릴레이 기법을 사용한 협력 스펙트럼 센싱을 제안하고 검출확률 성능을 분석한다. 송신단과 수신단 사이의 릴레이(Relay) 적용된 협력 스펙트럼 센싱은 가상의 공간 다이버시티이득(Spatial Diversity Gain)을 얻을 수 있어 센싱 성능이 향상된다. 협력 통신 기법 중 AF(Amplify and Forward)와 DF(Decoded and Forward)방식이 대표적이다. 따라서 이 두가지 협력통신 기법을 적용하여 협력 스펙트럼 센싱의 검출확률의 성능을 비교하고 분석한다.

Key Words : Cognitive Radio, Spectrum Sensing, Cooperative Relay, AF, DF

ABSTRACT

In this paper, we proposed spectrum sensing using cooperative relay to solve problem of sensing performance degradation due to CPE (Customer-Prime equipments) which causes low SNR (signal-to-noise ratio) problem. In cooperative communication system, AF (amplify-and-forward) and DF (decoded-and-forward) is widely used for relay mechanism. Also, it 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 between AF and DF.

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 다른 사용자 (주파수를 할당 받지 못한 비 면허 사용자)는 해당 주파수를 사용 할 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 사용

을 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]. 인지 무선 기술을 차세대 이동통신 시스템에서 각 사용자에 대한 다양한 서비스를 제공 하기 위해서는 구성 되어야할 기술로는 물리계층과 MAC 계층에서 다양한 스펙트럼 검출, 동적 주파수 선택, 전력제어 QoS, 적응형 제어 등이 구현되어야 한다. 이와 같은 기술 이슈에도 불구하고 [6] 미국의 FCC는 CR 기술의 활용 가능성을 인정하여 2008년 11월 UHF(Ultra High

* 이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2011-0025983)

*광운대학교 전파공학과 (mesunny777@gmail.com, yoonhyun@kw.ac.kr, jinyoung@kw.ac.kr), 교신저자 : 김 진영

접수일자: 2012년 1월 22일, 수정완료일자: 2012년 3월 26일, 최종 게재확정일자 : 2012년 6월 19일

Frequency) TV 대역에서 CR 기기의 사용을 허용 하였고 [7], 이에 따라 CR 시스템 관련 표준화 작업들이 속도를 내고 있다 [8-9]. 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 유희주파수를 탐색하는 스펙트럼 센싱의 중요성이 높아진다. 하지만 단일 센싱으로는 hidden node의 문제, 선택적 주파수 페이딩, 셀룰라 시스템에서는 셀간 간섭 등의 문제로 CPE들이 낮은 SNR 상태에 있을 때 센싱의 신뢰성을 보장할수 없기 때문에, 협력 스펙트럼 센싱은 CR 사용자의 음영 지역 및 잠복 터미널 등에 의하여 성능의 열화가 발생하게 되는데, 이 같은 문제를 해결하고 스펙트럼 센싱의 신뢰성 및 정확도를 높일 수 있는 방법을 이용하여 해결하고자 하는 노력들이 있다. 본 논문에서는 cooperative relay를 적용한 협력 스펙 트럼 센싱의 검출 확률을 보여줌으로 센싱 성능의 향상을 입증하려고 한다. 릴레이 방식을 사용하여 여러 CPE들이 서로의 안테나를 공유하여 분산 방식으로 공간다이버시티를 실현하여 SNR이 좋지 않은 단말기의 센싱을 향상시키는 방식이다. 본 논문에서는 릴레이 방식으로 목적지에서 노드에서의 오류 성능을 최소화 하는 전력할당을 계산 할 수 있으며 이를 통해 최적의 릴레이 노드 위치를 선택 할 수 있다고 가정한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장에서는 본 논문에서 제안한 인지 무선 기반 에서 cooperative relay 시스템 모델에 대해 설명한다. 제 III장에서는 본 논문에서 제안한 기법에 대한 모의실험 결과를 보여주고, 마지막으로 본 논문의 결론을 제 IV장에서 언급하였다.

II. 시스템 모델

인지무선 시스템은 1차 사용자에게 간섭 없이 2차 사용자가 사용해야 하므로 1차사용자의 사용유무를 결정하는 스펙트럼 센싱 기술은 높은 신뢰성을 우선으로 하여야 한다. 셀룰라 시스템에 인지무선을 적용하기 위해서는 Hidden node 문제를 겪는 CPE, 또는 셀 경계에 위치하는 CPE들 신뢰도 높은 센싱이 가능해야한다. 아래의 그림1은 이상적 셀모양으로 인지무선을 적용 하였을때 발생 할 수 있는 문제들을 나타낸 그림이다. CPE3 은 장애물로 인한 Frequency shadowing문제로 PU의 신호를 잘못 판단할수 있다. 또 CPE 2와 같이 셀 경계에 위치한 CPE들은 PU로부터 멀리 떨어져 있고 또한 근접한 셀간 간섭으로 인해 SNR 낮아지게 되어 신뢰성 높은 센싱이 어렵다. 즉, 1차 사용자와 가장 가까운 CPE를 선택하는 것은 1차 사용자의 존재 유무를 센싱함에 있어서 가장 신뢰성 있는 높은 신호 센싱 확률을 보

일 수 있다. 하지만 PU와 CPE들의 사이가 멀어질수록 채널 상태는 보장할 수 없다.

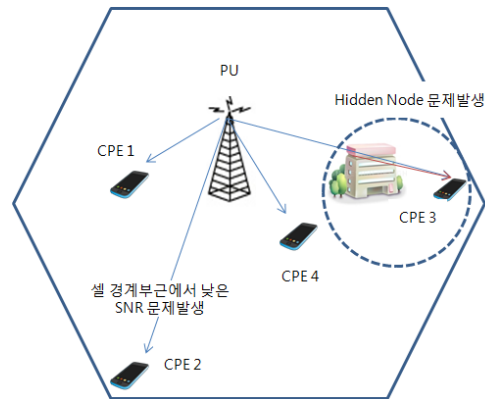


그림 1. 단일 센싱 문제 발생

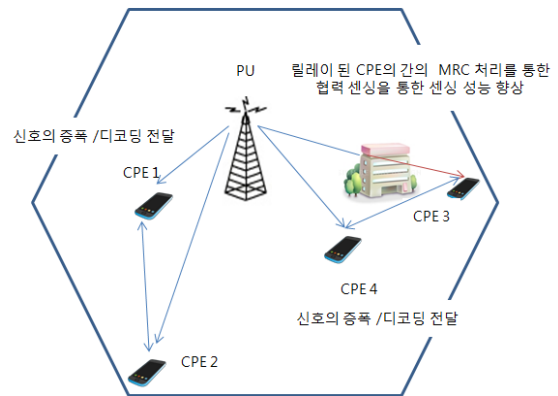


그림 2. 릴레이 적용 협력 센싱 시나리오

이러한 문제를 해결하고 cooperative relay 기법을 이용하여 인지 무선 기반 네트워크에서 센싱 성능을 보완하는 알고리즘을 제안하였다. 그림 2 에서 보는 바와 같이 그룹을 이루고 있는 CR기기들을 relay 그룹으로 선정한다. 따라서 본 논문에서는 cooperative relay 방식 중 널리 알려진 AF 와 DF 기법을 적용하여 CPE들의 SNR을 높여 신뢰도를 높이는 센싱 방식을 제안한다. 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 간단하나 부가된 잡음이 증폭되는 단점을 지니고 있다 [10-12]. AF를 사용한다면 source는 신호 x를 relay와 destination에 동시에 전송하게 되고, relay는 source의 신호를 받아서 단순히 증폭시킨 후 destination에 동시에 전송하게 되고, relay는 source의 신호를 받아서 단순히 증폭시킨 후 destination에게 증폭시킨 신호를 재전송한다. DF를 적용한다면 받은 신호x에 autocorrelation을 취해 신호를 Decoding 한후 증폭하여 전달하게 된다.

즉, AF에 비해 DF는 받은 신호를 Decoding 시켜 증폭 시킴으로써 더욱 좋은 CPE의 SNR을 얻을 수 있다. 따라서 공

간다이버시티를 이용하여 원래의 미약한 신호에 협력된 릴레이정보를 MRC 처리하여 검출 확률을 높이는 시스템 모델을 제안하였다. 그림 2는 릴레이를 적용한 협력 센싱 시나리오를 나타낸다. cooperative relay 기법을 사용하지 않는 센싱 성능과 relay 기법을 사용한 센싱 성능을 서로 비교하기 위해, 먼저 그림 2과 같이 PU(primary user)와의 가장 가까운 CR기기를 선정된 시스템 모델을 생각해 볼 수 있다.

III. 본문

릴레이 협력 통신은 셀 가장자리 및 음영 지역에서 지구국과 단말간의 수신 신호-대-간섭 및잡음비 저하를 극복하여 셀 경계에서의 성능을 확보하고 경제적인 셀 커버리지확장을 위한 요소기술로서, IEEE 802.16m 및3GPP LTE-Advanced 등의 차세대 통신 시스템 규격에 채택되어 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 절에서는 협력 그룹내의 모든 릴레이 단말이 원천 단말이 전송하는 첫 패킷을 올바르게 복원한다고 가정하고, 한 패킷의 최대 전송 횟수까지 페이딩 값이 바뀌지 않는 블록 페이딩 환경에서 적응 재전송 기법을 제시한다. 변조 방식으로 BPSK를 적용할 경우 PU로부터 전송된 신호를 x 라 할 때 AF기법을 이용하는 relay를 통하여 destination CPE2와 CPE3에 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$y_D = \alpha h_{SR} h_{RD} x + \beta h_{RD} n_R + n_D, \quad (1)$$

여기서 N 은 h_{SR} 과 h_{RD} 은 각각 source와 relay, relay와 destination 사이의 채널이고 n_R 과 n_D 는 각각 relay와 destination의 수신 안테나에 부가되는 잡음으로 동일한 분포를 지나 서로 독립인 관계이다. 또한 α 와 β 는 채널 계수로서 다음과 같이 표현 된다 [10].

$$\alpha = \sqrt{\frac{E_{SR} E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}}, \quad (2)$$

$$\beta = \sqrt{\frac{E_{RD}}{|h_{SR}|^2 E_{SR} + n_S n_D}}, \quad (3)$$

그리고 식 (2),(3)에서 수신 신호의 유효 SNR, ρ_{eff} 는 다음과 같이 계산 된다.

$$\rho_{eff} = \frac{\rho_{SR} \rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}}, \quad (4)$$

AF를 사용하는 경우는 relay에서 파워의 증폭으로 인하여

상대적으로 부가 잡음의 파워가 함께 증가함으로써 채널 용량은 다음과 같이 계산된다.

$$C_{AF} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{SR} \rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}} \right), \quad (5)$$

DF를 사용하는 협력 스펙트럼 센싱의 경우 센싱을 하고자 하는 CPE는 PU와 relay로부터 받은 신호를 combining 하여 원래 신호를 복구한다. relay에서는 파워를 증폭하고 복원하므로 상대적으로 AF에서의 단순 증폭보다는 더 나은 신호를 보낼수 있어 센싱 성능이 향상된다. DF를 적용 하였을 때 destination에 수신된 신호는 최소 식 (1)과 같게 되고 두 번째 시간 슬롯에서 얻게 되는 신호 복호로 인해 최대 $\rho_{Decoding}$ 한 만큼의 채널 용량을 얻을수 있게 된다.

$$C_{DF} = \frac{1}{2} \log_2 \left(1 + \frac{\rho_{SR} \rho_{RD}}{1 + \rho_{SR} + \rho_{RD}} + \rho_{Decoding} \right), \quad (6)$$

위와 같은 신호 릴레이를 통해 얻어진 신호는 에너지 검출기반으로하여 센싱을 진행하게 된다. 검출을 위해 사용된 사용자가 k ($k=1,2, \dots, K$)명 이라면 측정치를 수집하여, MRC 처리되고 그값은 T_k 이다.

$$T_k = \sum_{n=1}^N \begin{cases} H_1 & |y_{Dk}|^2 \geq \gamma_k \\ H_0 & |y_{Dk}|^2 < \gamma_k \end{cases} \quad (k=1,2,\dots,K) \quad (7)$$

γ_k 는 센싱 임계치를 나타낸다. $P(H_0 | H_1, \gamma_k)$ 는 spectrum hole의 검출 확률을 나타내고, $P(H_0 | H_0, \gamma_k)$ 는 간섭 확률을 나타낸다.

IV. 모의 실험 및 결과

이번 장에서는 본 논문에서 제안한 인지 무선 기반 cooperative relay 기법을 이용한 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 / DF

우선 채널 모델은 백색 잡음 채널 (AWGN, additive white Gaussian noise)과 Rayleigh 채널 모델을 고려하였다. 센싱된 결과를 결합하기 위해서는 MRC를 사용하였으며, 신호 센싱 성능을 보이기 위해 오 경보 확률 (FA 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 취합하는 방식이다. CR 기기가 센싱한 정보를 취합하는 방식으로 유리한 정보에 가중치를 두어 데이터를 융합하는 MRC (maximum ratio combine)방법을 사용하였다. 본 논문에서 사용한 기법인 relay 방법으로는 AF 방식과 DF방식을 사용하였다. 그림 3는 Rayleigh channel과 AWGN channel일 경우의 각각에 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 channel의 임계치가 높은 것을 알 수 있다. 이는 같은 조건, 즉 같은 SNR에서는 Rayleigh channel이 AWGN channel에 비해 신호 검출 성능이 낮음을 알 수 있다. 그림 4는 AWGN channel에서의 AWGN 채널에서 DF/AF/Conventional 협력스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교한 그래프이다. 신호를 복호하여 전송된 릴레이를 사용하는 DF사용 협력 센싱 모델이 가장 높은 검출 확률을 높음을 확인 할 수 있다. 다음으로는 AF릴레이방식을 사용한 협력 스펙트럼 방식이며, 마지막으로 신호의 증폭 또는 복호 없이 협력하여 검출한 Conventional 모델이 가장 낮은 검출 확률을 가짐을 알 수 있다.

그림 5는 Rayleigh channel에서의 DF/AF/Conventional 협력스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교한 그래프이다. 그래프에서 보는 것과 같이 AWGN 채널에서의 검출확률보다 낮은 확률을 갖지만 DF방식의 릴레이를 사용한 센싱 결과가 가장 높은 확률을 나타낸다. 4개의 Branch를 각각 MRC 하는 것 보다는 릴레이 기법을 사용하여 센싱 하는 것이 성능이 향상 되었음을 보였다. 그림 6은 2개의 Branch를 사용하여 MRC 하였을 경우의 검출 확률이다. 4개의 Branch를 사용 하였을 때 보다는 확실히 낮은 검출 확률을 갖으나, Branch의 갯수가 많아질수록 데이터 처리를 위한 시간이 증가하기 때문에, Branch의 갯수를 최적화 할 필요가 있다. 즉 4개의 Branch를 사용하기 위해서 필요한 추가적 데이터 처리가 필요하게 되므로 최소한으로 갖은 성능을 갖는다면 전체적 시스템 성능을 높일수 있다. 그래프를 보면 AF방식을 사용한 4개의 Branch의 검출 확률 결과와 2개의 Branch를 DF 릴레이를 협력하여 검출 하였을때 검출 확률이 비슷함을 알 수 있다. 그림 7은 Rayleigh채널 환경에서 2개의 Branch를 사용했을 때의 결과이다. 즉, MRC를 이용하는 단순한 협력 모델이 아닌 cooperative relay기법을 사용한 모델의 경우에 월등히 성

능이 좋아짐을 볼 수 있었다.

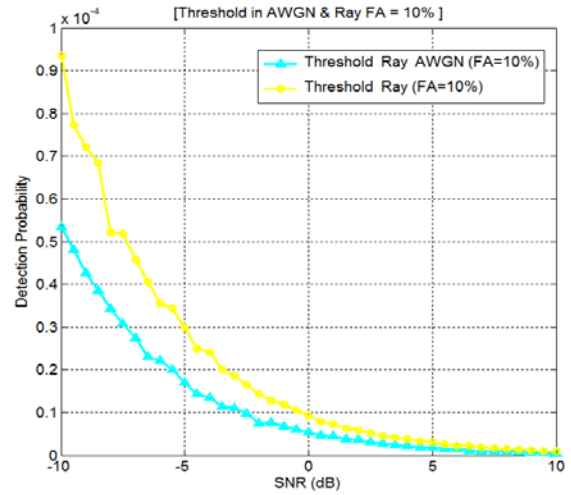


그림 3. AWGN과 Rayleigh 채널에 따른 FA(False Alarm) 확률 그래프

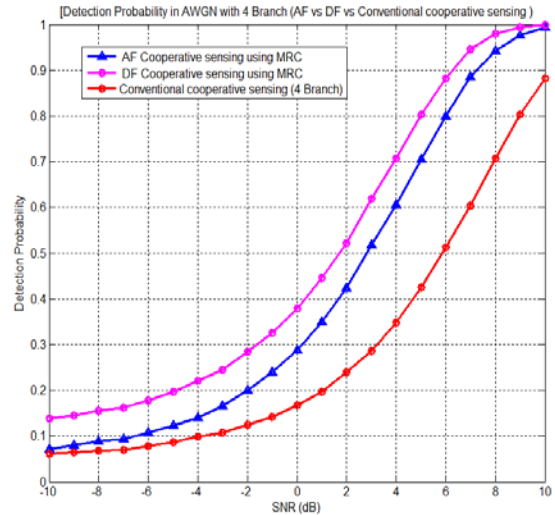


그림 4. 4개의 Branch 사용 AWGN 채널에서 AF/DF/Conventional 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교

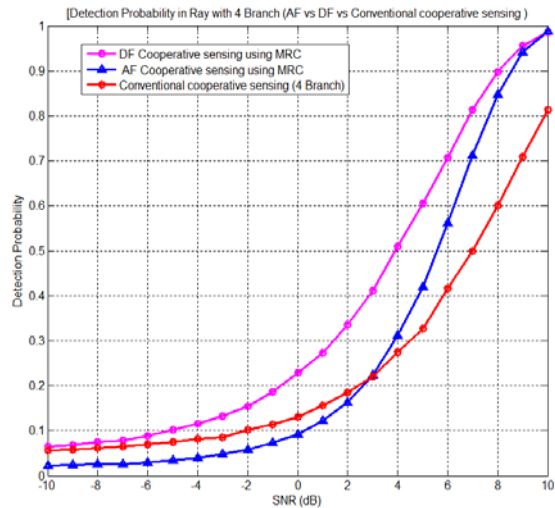


그림 4. 4개의 Branch 사용 Rayleigh 채널에서 AF/DF/Conventional 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교

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, Aug. 1999.

[5] Charles E. Perkins, Ad Hoc Networking, Addison-Wesley, 2001.

[6] J. Mitola and G. Q. Maguire, "Cognitive Radio: Making Software Radios More Personal," IEEE Personal Communications, Vol.6, No.4, pp.13-18, Aug. 1999.

[7] IEEE 802.22, "Draft Standard for Wireless Regional Area Networks Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Bands," IEEE 802.22-D2.0, July 2009.

[8] ECMA TC48-TG1, "MAC and PHY for Operation in TV White Space," ECMA 1stDraft Standard, Oct.2009.

[9] G. Ganesan, Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," in Proc. of IEEE DySPAN 2005, pp. 137-143, Nov. 2005.

[10] J. Y. Kim, "Cooperative Wireless Communication Systems," GS Interservice Publishers, Seoul, Korea, 2009.

[11] 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.

[12] 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.

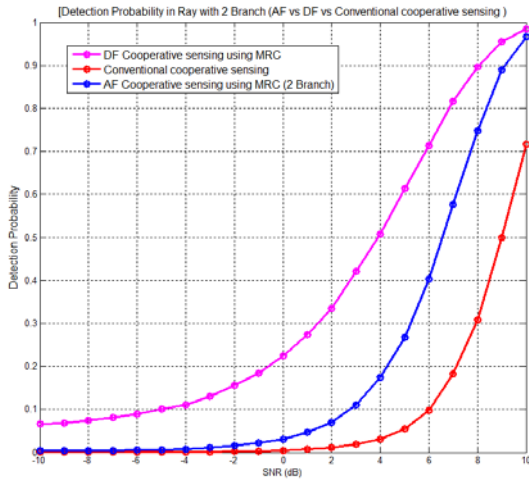


그림 6. 2개의 Branch 사용 AWGN 채널에서 AF/DF/Conventional의 협력 센싱의 검출 확률 비교

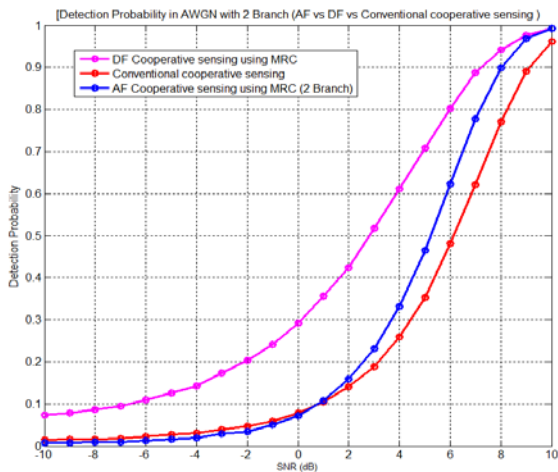


그림 7. 2개의 Branch용 Rayleigh 채널에서 AF/DF/Conventional 협력 센싱의 검출 확률 비교

V. 결론

본 논문에서는 cooperative relay 기법을 이용한 센싱 성능을 보여주었다. 모의실험 결과를 통하여 기존에 인지무선 기반 셀 네트워크에서 다수의 CPE 사용자를 센싱 하였을 때 성능보다 cooperative relay 기법을 이용하여 센싱이 성능면에서 높게 나왔음을 알 수 있었다. 본 논문에서는 AWGN channel뿐만 아니라 페이딩이 심한 Rayleigh channel에서, 기존 협력 센싱 기법과 cooperative relay 기반의 센싱 알고리즘의 성능을 비교하였다. 또한, 협력하고자하는 CPE들의 정보를 combine method 방법 중 MRC를 사용하였고, 그에 따른 센싱 성능을 나타내었다. 기존의 셀 네트워크에서의 센싱 주변의 많은 셀간섭이나 또는 장애물로 인해 센싱 성능이 많이 저하 되었으나, 본 논문에서 제안한 cooperative relay 기법을 사용한 센싱이 그러한 문제점을 해결하는데 좋은 해결책이 되었다.

저자

이 미 선(Mi Sun Lee)



· 2011년 8월: 광운대학교 전파공학과 졸업
 · 2011년 9월~현재: 광운대학교 전파공학과 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)

정회원



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

- 2009년~2010년 2월: 미국 MIT 공대 Visiting Scientist
- 2001년~현재 : 광운대학교 전자공학과 교수

<관심분야> : 디지털 통신, 무선통신, 채널부호화