

<http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.4.31>

JIWIT 2012-4-5

인지 무선 통신에서 AF 협력 릴레이를 이용한 스펙트럼 센싱 성능

Performance of Spectrum Sensing Using AF Cooperative Relay for Cognitive Radio System

이미선*, 김윤현*, 김진영**

Mi-Sun Lee, Yoon-Hyun Kim, Jin-Young Kim

요약 본 논문에서는 인지무선통신에서 중요한 기술 중 하나인 스펙트럼 센싱의 Hidden node의 문제나 셀룰라 시스템에서 셀 경계에서 CPE(Customer Premises 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 다중안테나를 적용한 AF(Amplify and Forward) 고정형 중계기를 사용하여 다이버시티이득을 얻는 시스템 모델을 제안하고, 검출 성능 향상을 분석한다.

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. 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

Key Words : Dual spectrum sensing mode, Cognitive Radio (CR), Cooperative Relay, AF

1. 서론

최근 무선 통신 서비스의 발달과 스마트 폰의 보급에 따른 데이터 트래픽 급증으로 주파수 자원의 부족현상이 나타나고 있다 [1]. 연방 통신 위원회 (FCC : Federal Communications Commission)에 따른 2002년 주파수 정책 보고서에는 현재 할당된 주파수 대역의 이용률이 15~85%정도로 비효율적으로 활용되고 있음을 발표하였

다 [2]. 이와 같은 고정된 주파수 할당 정책의 비효율성의 문제를 줄이기 위한 방안으로 FCC는 2003년 12월 Notice of Proposed Rule Making (NPRM)을 통하여 유휴 주파수에 대한 중복 사용을 허용하는 기술인 무선 인지 기술 (Cognitive Radio : CR)에 대한 내용을 발표하였다 [3]. 인지무선 통신의 가장 핵심 기술은 주파수 스펙트럼 환경을 검출하여 주파수 사용 현황을 감지하는 스펙트럼 센싱으로 CR센서가 장착된 CR사용자는 지속적으로 주

*정희원, 광운대학교 전자공학과

**정희원, 광운대학교 전자융합공학과

접수일자 : 2012년 6월 20일, 수정완료 : 2012년 7월 29일

게재확정일자 : 2012년 8월 10일

Received: 20 June 2012 / Revised: 29 July 2012 /

Accepted: 10 August 2012

**Corresponding Author: jinyoung@kw.ac.kr

Dept. of Wireless Engineering, Kwangwoon University, Korea

변환경을 인식하여 변화된 상황에 따라 시스템을 적절하게 적용하도록 한다. 스펙트럼 센싱 기술은 크게 에너지 검출방식, 정합필터 검출방식, 특성검출방식 으로 나눌 수 있으며 그중 가장 복잡도가 낮고 간단한 시스템인 에너지 검출 방식이 주로 사용되고 있다 [4]. 실제 무선 통신 환경에서는 음영 지역 및 잠복 터미널 등에 의하여 CPE의 성능의 열화가 발생된다. 즉, CPE가 낮은 SNR을 갖는 상태에 있을때 센싱의 신뢰성을 보장 할 수 없다. 이와 같은 문제를 해결하고 스펙트럼 센싱의 신뢰성 및 정확도를 높이기 위해 다수의 CPE들이 센싱 정보를 공유하는 협력 스펙트럼 센싱기술이 제안되었다 [5-7]. 본 논문에서는 센싱성능을 향상시키고자 cooperative relay를 적용한 협력 스펙 트럼 센싱 알고리즘을 제안하고, 검출 성능 향상을 시뮬레이션을 통하여 검증한다. 협력 릴레이 통신은 중계 채널을 기반으로 발전한 통신 기술로서 데이터를 주고받는 송신기와 수신기 사이에 중계 역할을 하는 단말을 이용하여 채널 용량을 증가시키고 경로 손실을 줄임으로써 수신 성능도 향상시킬 수 있는 기술이다 [8]. 릴레이 협력통신은 AF(Amplify-and-forward)방식DF (Decode-and-forward) 방식이 대표적이다. AF 방식은 릴레이에서 신호를 증폭하여 최종단으로 신호를 전송하는 방식이며, 복잡도는 DF 방식보다 낮지만 노이즈가 증폭이되는 단점을 지니고 있고, DF 방식은 복잡도에 있어서는 AF 방식 보다 크지만 복호하는 방식을 적용하여 뛰어난 성능을 얻을 수 있다. 하지만 본 논문에서는 가장 간단한 방식인 AF방식을 인지무선 통신에 적용하여 보았다. 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. 아래의 그림1은 인지무선 적용시 발생 할 수 있는 문제들을 나타낸 그림이다. CPE3은 장애물로 인한 Frequency shadowing문제로 낮은 SNR을 가질수 있으며 이는 정확한 센싱이 어려울 수 있다. CPE2와같은 경

우는 셀경계에서 다른 셀간섭의 영향으로 낮은 SNR을 지닐수 있다. 또한 PU와 CPE들의 사이가 멀어질수록 채널 상태는 보장할 수 없다. 이러한 문제를 해결하기 위해 cooperative relay 기법을 이용하여 인지 무선 기반 네트워크에서 센싱 성능을 보완하는 방법을 제안한다. Cooperative relay 방식 중 널리 알려진 AF 기법을 적용하면 CPE들의 SNR을 높여 신뢰도를 향상시킬수 있다. AF 기법은 relay에서 수신되는 신호의 파워만 증폭시켜 재전송하는 기법이다. 하지만 본 논문에서는 단일 사용자가 아닌 여러 사용자의 정보를 Majority 하는 방법으로 협력 센싱을 진행하게 되므로 신뢰도를 보완 할 수 있다. 그림 2는 Ad-hoc네트워크와 같이 기기끼리의 통신이 가능했을때 AF방식을 적용한 협력 센싱 개념도이다. 하지만 본 논문에서는 안테나 다이버시티를 적용하여 2개의 대역을 동시에 센싱 할 수 있게 하기 위하여 고정된 위치에서 정보를 AF하여 전달하는 기기가 있다고 가정하고 실험을 진행하였다. 그림 3과 같이 안테나를 2개 가진 AF기기가 고정된 위치에서 똑같은 신호를 보냈을때 CPE이 얻는 공간 다이버시티를 얻을수 있으며, 또한 다중안테나를 사용하여 다른 신호를 보내게 된다면 안테나 다이버시티 이득을 얻을수 있게 되고 또한 2개의 대역이 동시에 센싱 가능해 진다.

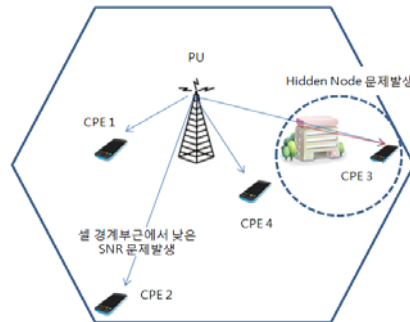


그림 1. 단일 센싱 문제 발생
Fig. 1. Problems of Single sensing



그림 2. Ad-hoc 기반 AF 센싱 개념도
Fig. 2. Concept of AF cooperative Sensing based on Ad-hoc network

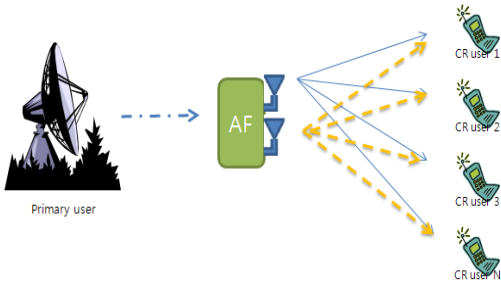


그림 3. 제안된 시스템 모델
Fig. 3. Proposed system model

III. 본문

릴레이 협력 통신은 셀 가장자리 및 음영 지역에서 지국과 단말간의 수신 신호-대-간섭 및 잡음비 저하를 극복하여 셀 경계에서의 성능을 확보하고 경제적인 셀 커버리지 확장을 위한 요소 기술로서, IEEE 802.16m 및 3GPP LTE-Advanced 등의 차세대 통신 시스템 규격에 채택되어 활발한 연구가 진행되고 있다. 본 절에서는 릴레이 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 에 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 가지나 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.

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

위와 같은 신호 릴레이를 통해 얻어진 신호는 에너지 검출기반으로하여 협력 센싱을 진행하게 된다. 협력 스펙트럼 센싱은 그림 1에서와 같이 면허 사용자 (Licensed user)와 4명의 비 면허 사용자 (CPE1, CPE2, CPE3, CPE4)와 이들의 검출 결과를 융합하는 융합센터 (Fusion center)로 이루어져있다. 협력 스펙트럼 센싱은 각 비면허 사용자가 수신한 신호의 에너지 값을 통해 면허 사용자의 존재를 판단한다. 이때 i 번째 비 면허 사용자의 에너지 $E_i (i=1,2,\dots,4)$ 는 다음과 같다.

$$E_i = |y_{D_i}|^2, \quad (6)$$

$$E_{i_M} = \sum_{i=1}^4 (M_i * |y_{D_i}|^2), \quad (7)$$

각 에너지에 가중치를 곱해준뒤 더하여 식 (7)과 같이 계산된 에너지 값이 임계값 (γ_i)과 비교되고, 이렇게 비교되어 나오는 결과가 각 비면허 사용자의 개별 센싱 결과는 다음과 같이 계산된다. 식 (7)는 CPE에 들어온 신호를 처리하여 융합한 결과이다.

$$T_i = \sum_{M=1}^M |y_{D_i}|^2 < \begin{matrix} H_1 \\ \gamma_i \\ H_0 \end{matrix} \quad (i=1,2,\dots,4), \quad (8)$$

식(8)에서의 M 은 데이터 융합 처리를 위한 M 개의 데이터를 MRC 한 뒤 임계치와 비교하여 신호의 유무를 결정짓게 된다. γ_i 는 센싱 임계치를 나타낸다. H_1 은 면허

사용자가 사용대역을 사용하고 있을 때를 나타내고, H_0 는 채널에 따른 노이즈만 존재할때 상태를 나타낸다. 따라서 검출 확률은 $P(H_0 | H_1, \gamma_i)$ 는 spectrum hole의 검출 확률을 나타내게 된다.

$$T_i = H(E_{iM} - r_i), \quad (9)$$

식 (9)는 센싱 결과를 나타내는 $H(\cdot)$ 함수는 Heaviside Step Function이다. 즉, E_{iM} 이 임계값 (γ_i)보다 크거나 같으면 $T_i = 1$ 이고, E_{iM} 가 임계값 (γ_i)보다 작으면 $T_i = 0$ 이다. 각 CR사용자의 개별 센싱은 융합 센터로 보내지게 되고 최종 판정 결과를 받아 이면 면허 사용자가 존재한다고 판단 비 면허 사용자는 해당 스펙트럼을 사용할 수 없고, 이때 T_i 는 Majority 방식을 따르게 된다. 즉 4개의 결과중 2개 이상이 0의 값을 가질때 유효대역으로 판단하게 되며 해당 스펙트럼을 사용할 수 있는 권한을 갖게 된다.

IV. 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. 실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters

Parameter	전송모드 I
Channel model	AWGN Rayleigh
Modulation scheme	BPSK
Decision rule	Majority decision
Combining method	MRC
False alarm probability	5%
Relay method	AF

우선 채널 모델은 백색 잡음 채널 (AWGN, additive white Gaussian noise)과 Rayleigh 채널 모델을 고려하였다. 센싱 결정 방법으로는 Majority decision 을, 신호

센싱 성능을 보이기 위해 오 경보 확률 (FA probability, false alarm probability)을 5%로 설정하였고, 각 인지 무선 기반 단말들의 변조 방식은 BPSK (binary phase shift keying)을 사용한다고 가정하였다. 그리고 인지무선기기의 데이터 처리는 MRC (maximum ratio combine)를 하였으며, 듀얼안테나를 가진 AF (amplify and forward) 방식의 중계 단말기를 통해 신호를 전달 받은 신호로 센싱을 진행한다.

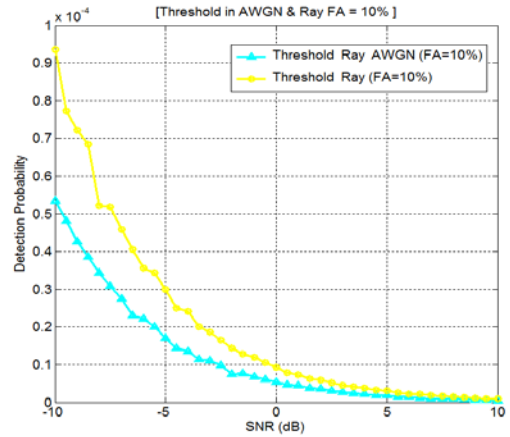


그림 4. AWGN과 Rayleigh 채널에 따른 FA (False Alarm) 확률 그래프

Fig. 4. Threshold with 5% False Alarm Probability in AWGN vs Ray

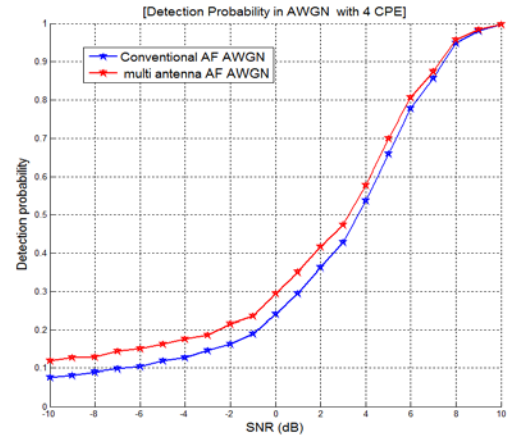


그림 5. 4개의 CPE 협력 AWGN 채널에서 AF /Dual_ antenna 사용 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교

Fig. 5. Detection Probability in AWGN with 4 of CR User

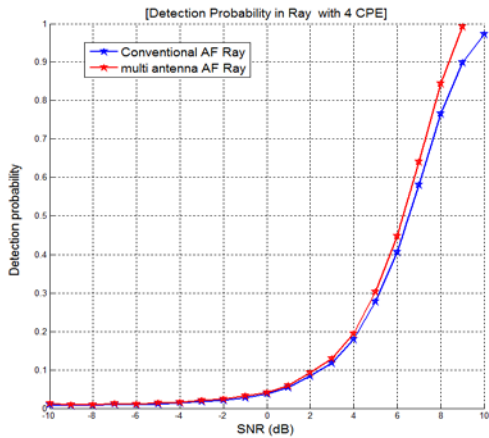


그림 6. 4개의 CPE협력 Rayleigh 채널에서 AF/Dual antenna 스펙트럼 센싱의 검출 확률 비교
 Fig. 6. Detection Probability in Rayleigh with 4 of CR User

그림 4는 AWGN channel과 Rayleigh channel일 경우의 각각에 대한 SNR(signal-to-noise ratio)에 따른 임계치(threshold) 값을 보여준다. 본 논문의 모의실험 결과인 신호 센싱 확률은 그림 4의 threshold를 바탕으로 주 사용자의 신호를 검출하는 기준으로 삼는다. 그림 4에서 보듯이, AWGN에 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. 모의 실험은 AWGN과 Rayleigh Noise 모델을 사용하여 실험하였으며, 면허사용자의 신호는 BPSK 신호를 사용하였다. 협력 스펙트럼을 위한 다수의 CR사용자의 거리는 모두 다르다고 가정하였으며, 사용자의 유무를 알기 위한 센싱 방법으로 가장 간단한 에너지 검출을 사용하였다. 그림 5는 AWGN channel에서 MRC 처리된 신호를 사용 시 각각의 스펙트럼 센싱을 비교한 그래프이다. 파란색 삼각형 모양의 선의 4개의 CPE를 사용하여 한개의 안테나로 센싱하였을때 검출 성능을 나타내었으며, 빨간색 그래프는 4개의 CPE이 두개의 안테나로 2개의 대역을 AF전송 받았을때의 검출확률을 나타낸다. 두개의 검출확률은 거의 다르지 않으며, 만약 듀얼 안테나로 듀얼 밴드를 센싱하게 된다면 한번에 두 밴드를 센싱할수 있으므로 더욱 효율적인 시스템이 될수 있다. 그림 6은 Rayleigh Channel에서의 검출확률 비교이다. AWGN 채널환경보다는 검출확률이 좋지 못하나, 다중 안테나를

사용하였을 때 성능이 향상되었으며, 이 또한 듀얼 밴드를 한번에 센싱할수 있으므로 효율적인 시스템을 설계할 수 있다. 다수의 CPE를 사용 하였을 때보다 AF적용 센싱을 하는 것이 성능을 향상시켰으며, AF 적용한 듀얼 안테나를 사용하였을때 센싱의 성능은 Single 센싱 성능과 비슷한 성능을 지님을 확인 할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 cooperative relay 기법을 이용한 센싱 성능을 보여주었다. 모의실험 결과를 통하여 기존에 인지 무선 기반 셀 네트워크에서 다수의 CPE 사용자를 센싱하였을 때 성능보다 cooperative relay기법을 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 CPE의 신호처리를 위해 combine method 중 MRC를 사용하였다. 또한 각 CPE들의 정보를 Majority 처리함으로써 기존의 셀 간섭 또는 장애물로 인한 센싱 성능 저하의 문제를 보완하고, 센싱성능 역시 향상 되었음을 알수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Y. Kim, Cognitive Radio Systems, Gyobo Publishers, Seoul, Korea, 2008T.
- [2] FCC, "Spectrum policy task force," Rep. ET Docket no. 02-135, Nov. 2002.
- [3] FCC, "Facilitating opportunities for flexible, efficient and reliable spectrum use employing cognitive radio technologies," Notice of Proposed Rule Making, ET Docket No.03-332, Dec. 2003.
- [4] T. Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications," IEEE Commun. Surveys and Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, 2009.
- [5] Yucek and H. Arslan, "A survey of spectrum sensing algorithms for cognitive radio applications,"

- IEEE Commun. Surveys and Tutorials, vol. 11, no. 1, pp. 116-130, 2009.
- [6] Z. Quan, S. Cui, and A.H. Sayed, "An optimal strategy for cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," in Proc. of IEEE GLOBECOM 2007, pp. 2947-2951, Nov. 2007.
- [7] G. Ganesan, Y. Li, "Cooperative spectrum sensing in cognitive radio networks," in Proc. of IEEE DySPAN 2005, pp. 137-143, Nov. 2005.
- [8] A. Nosratinia, T. E. Hunter and A. Hedayat, "Cooperative communication in wireless networks", IEEE Communication Magazine, Vol. 42, Issue 10, Oct. 2004, pp. 74-80

※ 본문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업 연구임 (No. 2011-0025983)

저자 소개

이 미 선



- 광운대학교 전자공학과 공학사
- 광운대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야: 디지털 통신, 협력통신, 인지 무선 통신>

김 윤 현



- 광운대학교 전자공학과 공학사
- 광운대학교 전자공학과 공학석사
- 광운대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야: 전력선통신, 가시광통신, 협력통신, 인지 무선 통신>

김 진 영(정회원)



- 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 서울대학교 반도체공동연구소 특별연구원
- 미국 Princeton University, Research Associate
- SK텔레콤 중앙연구원 책임연구원
- 미국 Massachusetts Institute of Technology (MIT 공대), Visiting Scientist

• IEEE Senior Member
 • 現) 광운대학교 전자융합공학과 교수
 <관심분야: 전력선 통신, 스마트 그리드, 가시광 통신, UWB, LED-ID, DMB, RFID/USN 기술, 이동무선통신, 통방융합기술, 인지 무선 통신>