

다수의 1 차 사용자가 존재하는 무선 인지 중계 네트워크에서의 불완전 채널 정보를 이용한 중계기 선택 기법

이주현, 홍승근, 이재홍
서울대학교
ljh1112@snu.ac.kr

Relay Selection Scheme Using Imperfect CSI in Cognitive Relay Networks With Multiple Primary Users

Juhyun Lee, Seung Geun Hong, and Jae Hong Lee
Department of Electrical and Computer Engineering, INMC
Seoul National University

요 약

본 논문에서는 다수의 1 차 사용자가 존재하는 무선 인지 중계 네트워크를 분석한다. 다수의 1 차 사용자들의 신호는 2 차 사용자에게 간섭으로 작용하고 2 차 사용자들의 신호 또한 1 차 사용자에게 간섭으로 작용하게 된다. 이러한 환경에서 불완전한 채널 정보를 이용하여 최적의 중계기를 선택하는 방법을 제안하고 이때의 2 차 사용자 네트워크에서의 불능 확률을 분석하였다. 또한 모의실험을 통하여 불완전 채널 정보의 상관 계수의 변화에 따른 불능 확률의 변화를 확인하였다.

1. 서론

무선 인지 네트워크(cognitive radio network)는 한정된 자원인 채널 대역폭의 사용을 효과적으로 할 수 있게 도와주기 때문에 최근에 활발히 연구되고 있다[1]. 무선 인지 네트워크에서는 2 차 사용자들이 1 차 사용자의 스펙트럼을 사용할 때 1 차 사용자들에게 전해지는 간섭이 일정 수준 이하가 되도록 전송 전력을 조절하게 되는데, 이에 따라 2 차 사용자는 낮은 전송 전력으로 신호 전송을 하게 되고 이는 2 차 사용자 네트워크의 성능 열화로 이어지게 된다. 이러한 2 차 사용자 네트워크의 성능 열화를 개선하기 위해 2 차 사용자의 신호 전송을 중계기가 도와주는 무선 인지 중계 네트워크 (cognitive relay network)에 대한 연구 또한 활발히 연구되고 있다[2].

무선 인지 중계 네트워크에서의 연구는 대부분 2 차 사용자들이 완벽한 채널 정보를 알고 있다고 가정하고 그 채널 정보를 바탕으로 전송 전력을 조절한다. 하지만 2 차 사용자들이 완전한 채널 정보를 얻는 것이 실질적으로 불가능하기 때문에 지연된(outdated) 채널 정보만으로 전력을 조절하는 연구도 꾸준히 진행되고 있다 [3].

본 논문에서는 무선 인지 중계 네트워크에서 2 차 사용자들이 불완전한 채널 정보만을 가지고 있는 경우 이를 이용한 중계기 선택 기법에 대하여 알아본다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 분석할 무선 인지 중계 네트워크의 시스템 모델을 살펴본 후, 3 절에서는 이러한 시스템 모델에 대한 불능확률을 분석한다. 4 절에서는 시스템 모델에 대한

불능확률을 모의실험을 통해 성능을 알아본 뒤에 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

2. 시스템 모델

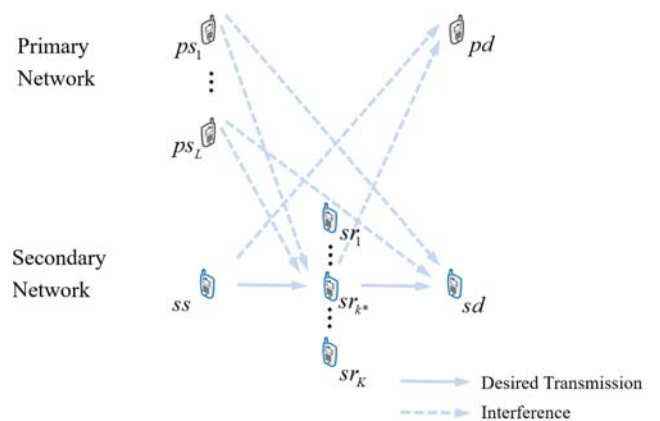


그림 1. 시스템 모델

본 논문에서 고려하고 있는 시스템 모델은 그림 1 과 같은 무선 인지 중계 네트워크이다. 1 차 사용자 네트워크에는 L 개의 송신기 및 하나의 수신기가 존재하고 2 차 사용자 네트워크에는 한 쌍의 송신기와 수신기, 그리고 K 개의 중계기가 존재한다. 2 차 사용자 송신기의 정보는 K 개의 중계기들 중 가장 성능이 좋은 한 개의 중계기에 의해서 복호후재전송 (decode-and-forward) 방식을 이용하여 2 차 사용자 수신기로 전송하게

된다.

본 논문에서 모든 채널은 레일레이 페이딩 채널로 가정한다. 따라서 노드 i 와 노드 j 사이의 채널 이득 $g_{i,j}$ 는 평균이 $1/\lambda_{i,j}$ 인 지수 분포를 따른다. 또한 본 논문에서는 2 차 사용자들끼리 자신들과 1 차 사용자들 사이의 채널정보를 정확하게 알지 못한다고 가정한다. 따라서 $g_{i,j}$ 에 대한 불완전한 채널 이득을 $\hat{g}_{i,j}$ 이라고 할 때 $g_{i,j}$ 와 $\hat{g}_{i,j}$ 에 대한 결합확률밀도함수는 다음과 같다[4].

$$f_{g_{i,j}, \hat{g}_{i,j}}(x, y) = \frac{e^{-\frac{x+y}{(1-\rho^2)\lambda_{i,j}}}}{(1-\rho^2)\lambda_{i,j}^2} I_0\left(\frac{2\rho\sqrt{xy}}{(1-\rho^2)\lambda_{i,j}}\right) \quad (1)$$

위 식에서 ρ 는 채널 상관 계수이고 $I_0(\cdot)$ 는 zeroth-order modified Bessel function 이다.

본 논문에서는 무선 인지 중계 네트워크를 다루고 있기 때문에 정보를 전송하는 2 차 사용자는 1 차 사용자 수신기에서 받는 간섭량이 \bar{I} 값 이하가 되도록 전력량을 조절하여 신호를 전송한다. 따라서 불완전 채널정보를 이용한 2 차 사용자의 전송 전력량은 다음과 같다.

$$P_i = \min\left\{P_i^{\max}, \frac{\eta_i \bar{I}}{\hat{g}_{i,pd}}\right\}, i \in \{ss, sr_k\}. \quad (2)$$

위 식에서 P_i^{\max} 는 각 2 차 사용자의 최대 전송 전력량이고 η_i 는 전력 조절 상수이다. 전력 조절 상수는 간섭 불능 확률이 특정값 ϵ 보다 작도록 조절되며 이를 수식적으로 표현하면 다음과 같다.

$$\Pr\{P_i g_{i,pd} \geq \bar{I}\} \leq \epsilon \quad (3)$$

따라서 수식 (2)를 수식 (3)에 대입하고 수식 (1)의 결합확률밀도함수를 이용하여 수식을 전개하면 원하는 전력 조절 상수를 구할 수 있다.

3. 불능 확률 분석

2 차 사용자 네트워크에서는 복호후재전송 기법을 이용하기 때문에 2 차 수신기에서의 SINR 값은 다음과 같다.

$$\gamma_{ss, sd} = \max_k \min\left\{\frac{P_{ss} g_{ss, sr_k}}{I_{psj, sr_k} + N_0}, \frac{P_{sr_k} g_{sr_k, sd}}{I_{psj, sd} + N_0}\right\} \quad (4)$$

위 식에서 $I_{ps, sr_k} = \sum_{l=1}^L P_{psl} g_{psl, sr_k}$, $I_{ps, sd} = \sum_{l=1}^L P_{psl} g_{psl, sd}$ 이다.

불능 확률을 상호정보량이 목표 전송률 R 이하가 될 확률로 가정했을 때 불능 확률은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} P^{out} &= \Pr\left[\frac{1}{2} \log_2(1 + \gamma_{ss, sd}) \leq R\right] \\ &= \Pr\left[\max_k \min\{U_k, V_k\} \leq \gamma_{th}\right] \\ &= \prod_{k=1}^K \{F_{U_k}(\gamma_{th}) + F_{V_k}(\gamma_{th}) - F_{U_k}(\gamma_{th})F_{V_k}(\gamma_{th})\} \end{aligned} \quad (5)$$

위 식에서 $\gamma_{th} = 2^{2R} - 1$, $U_k = \frac{P_{ss} g_{ss, sr_k}}{I_{ps, sr_k} + N_0}$, $V_k = \frac{P_{sr_k} g_{sr_k, sd}}{I_{ps, sd} + N_0}$ 이고

$F_X(\cdot)$ 는 랜덤변수 X 에 대한 누적분포함수이다. 각 채널은 지수 분포를 따르고 있기 때문에 지수 분포의 확률밀도함수를

이용하여 수식 (5)를 전개하면 2 차 사용자 네트워크의 불능 확률을 얻을 수 있다.

4. 모의실험 및 결론

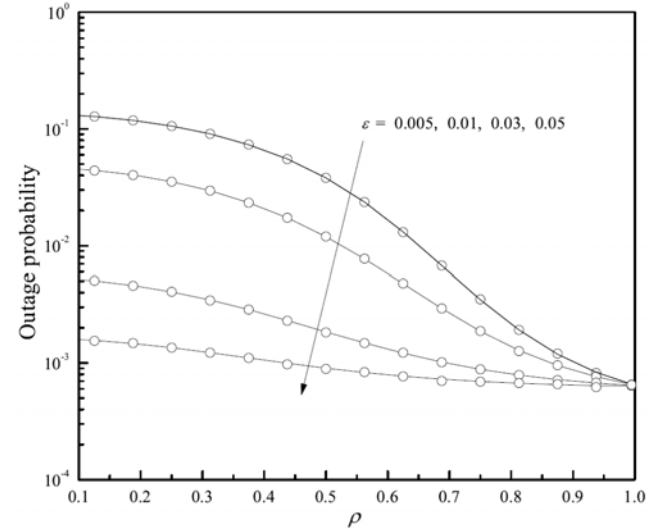


그림 2. 2 차 네트워크의 불능 확률

본 모의실험을 위해 실험 환경을 $\lambda_{ss, pd} = \lambda_{sr, pd} = \lambda_{ps, ss} = \lambda_{ps, sr} = 1/8$, $\lambda_{ss, sr} = \lambda_{sr, sd} = 1$, $L = 2$, $K = 3$, $\bar{I} / N_0 = 10\text{dB}$, $P^{\max} / N_0 = 10\text{dB}$ 로 가정하였다. 이 때 2 차 네트워크의 불능 확률은 그림 2 와 같다. 모의실험 결과 채널 상관 계수가 증가함에 따라 2 차 네트워크의 불능 확률이 낮아지고 1 차 사용자에서 허용 가능한 간섭 불능 확률이 높아질수록 2 차 네트워크의 불능 확률이 낮아짐을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 2016 년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1D1A1A01057563).

참고문헌

- [1] A. Goldsmith, S. Jafar, I. Maric, and S. Srinivasa, "Breaking spectrum gridlock with cognitive radios: an information theoretic perspective," *Proc. IEEE*, vol. 97, pp. 894- 914, May 2009.
- [2] J. Lee, H. Wang, J. G. Andrews, and D. Hong, "Outage probability of cognitive relay networks with interference constraints," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, pp. 390-396, Feb. 2011.
- [3] X. Zhang, J. Xing, Z. Yan, Y. Gao, and W. Wang, "Outage performance study of cognitive relay networks with imperfect channel knowledge," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 17, no. 1, pp. 27-30, Jan. 2013.