

다수의 1 차 사용자가 존재하는 무선 인지 네트워크에서의 2 차 사용자 다중 홉 통신 연구

이주현, 홍승근, 이재홍
서울대학교
ljh1112@snu.ac.kr

Multi-Hop Secondary Transmission in Cognitive Radio Networks Having Multiple Primary Sources

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

요 약

본 논문에서는 다수 1 차 사용자가 다수 존재하고 2 차 사용자들이 다중 홉 통신을 하는 스펙트럼 공유 방식 무선 인지 네트워크를 분석한다. 다수의 1 차 사용자로부터의 간섭신호를 고려하여 각 2 차 사용자에서의 수신 신호대간섭잡음비를 분석하고 이를 바탕으로 2 차 사용자 네트워크의 불능확률을 구한다. 모의실험을 통해 1 차 사용자의 수가 감소함에 따라 불능확률이 감소한다는 것을 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. 이러한 무선 인지 네트워크에는 1 차 사용자가 사용하지 않는 스펙트럼을 2 차 사용자가 감지하여 사용하는 스펙트럼 센싱(spectrum sensing) 방식과 1 차 사용자가 허용할 수 있는 간섭 이내에서 2 차 사용자가 1 차 사용자의 스펙트럼을 동시에 사용하는 스펙트럼 공유(spectrum sharing) 방식이 있다[1] 스펙트럼 공유 방식의 경우 1 차 사용자에서 2 차 사용자로부터의 간섭량을 제한하기 위해 2 차 사용자의 전송 전력을 조절하게 된다[2].

다중 홉(multi-hop) 통신은 경로 손실, 페이딩 등의 무선 채널환경에서의 성능 저하를 줄이기 위한 방안으로 많이 연구되고 있다. 이러한 다중 홉 통신을 무선인지 네트워크에 적용하여 2 차 사용자의 성능을 향상시키기 위한 연구가 최근 들어 진행되고 있다. 하지만 이에 대한 연구의 대부분은 1 차 사용자 송신기와 수신기가 하나가 존재한다고 가정하고 있다. 1 차 사용자 송신기가 다수 존재할 경우 각 2 차 사용자에서 다수의 간섭 신호가 수신되는데 이러한 간섭 신호의 영향을 분석한 연구는 현재까지 진행되지 않았다.

본 논문에서는 다수 1 차 사용자가 다수 존재하고 2 차 사용자들이 다중 홉 통신을 하는 스펙트럼 공유 방식 무선 인지 네트워크를 분석한다. 해당 시스템 모델을 설계하고 수식적으로 모델링 한 뒤 2 차 사용자 네트워크의 불능확률(outage probability)를 분석한다. 모의실험을 통해 2 차 사용자 전력량 변화에 따른 불능확률의 변화를 분석한다.

2. 시스템 모델 및 불능확률

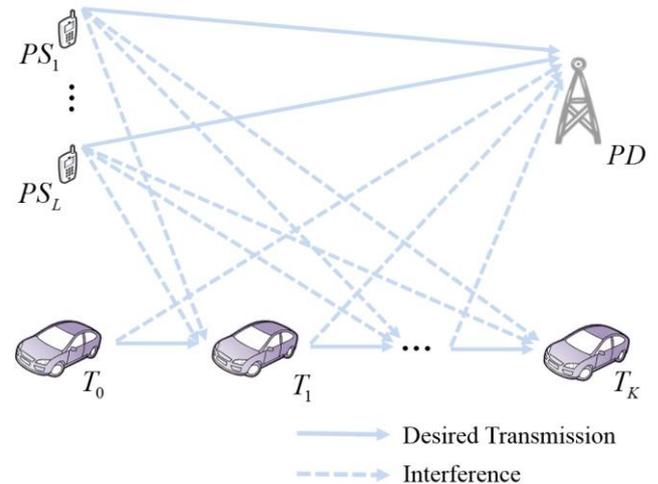


그림 1. 시스템 모델

본 논문에서 고려하고 있는 시스템 모델은 그림 1 과 같이 1 차 사용자 네트워크와 2 차 사용자 네트워크가 공존하는 스펙트럼 공유방식 무선 인지 네트워크를 가정하고 있다. 1 차 사용자 네트워크는 L 개의 사용자 PS , 하나의 기지국 PD 가 존재하고 2 차 사용자 네트워크에는 $K+1$ 개의 사용자들이 존재한다. 스펙트럼 공유 방식 무선 인지 네트워크이므로 1 차 사용자들의 신호 전송은 각 2 차 사용자에게 간섭으로, 2 차 사용자들의 신호 전송은 1 차 기지국에게 간섭으로 작용한다.

본 논문에서는 1 차 기지국은 M 개의 안테나를 가지고 있고 나머지 사용자들은 한 개의 안테나를 가지고 있다고 가정한다. 또한 2 차 사용자들의 신호전송은 T_0 부터 T_k 까지 K 개의 단계에 동안 이루어지며 각 2 차 사용자들은 복호후재전송 방식을 이용하여 홉간 전송을 한다.

k 번째 단계에서는 T_{k-1} 이 T_k 로 신호를 전송을 하게 되며 이때 T_k 가 받는 수신 신호는 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$y_{T_k} = h_{r_{k-1}, T_k} \sqrt{P_{T_{k-1}}} x_{T_{k-1}} + \sum_{i=1}^L h_{PS_i, T_k} \sqrt{P_{PS_i}} x_{PS_i} + n_{T_k} \quad (1)$$

여기서 $h_{i,j}$ 는 i 와 j 사이의 채널계수, P_i 는 i 의 전송전력, x_i 는 i 의 전송신호이며 n_i 는 평균이 0 이고 분산이 N_0 인 i 에서의 가우시안 잡음이다. (1)로부터 T_k 에서의 수신 신호대간섭잡음비는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\gamma_{T_k} = \frac{P_{T_{k-1}} |h_{T_{k-1}, T_k}|^2}{\sum_{i=1}^L P_{PS_i} |h_{PS_i, T_k}|^2 + N_0} \quad (2)$$

스펙트럼 공유방식에서는 2 차 사용자의 전송전력은 PD 에서의 최대 허용 간섭량 \bar{I} 와 각 사용자의 최대 전송전력 P_{max} 에 의해 제한을 받는다. 이에 따른 T_{k-1} 의 전송전력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{T_k} = \min \left\{ P_{max}, \min_{m=1, \dots, M} \frac{\bar{I}}{|h_{T_k, PD^m}|^2} \right\} \quad (3)$$

2 차 사용자 네트워크의 불능은 T_0 와 T_k 사이의 상호정보량이 목표 전송률 R 보다 작을 경우 발생하게 된다. 불능확률을 구하기 위해 먼저 T_{k-1} 와 T_k 사이의 상호정보량을 구하면 다음과 같다.

$$C_{T_k} = \frac{1}{K} \log_2(1 + \gamma_{T_k}) \quad (4)$$

각 2 차 사용자는 복호후재전송을 이용하기 때문에 T_0 와 T_k 사이의 상호정보량은 다음과 같이 구할 수 있다[4].

$$C = \min\{C_{T_1}, C_{T_2}, \dots, C_{T_k}\} \quad (5)$$

따라서 2 차 사용자 네트워크 불능의 정의에 의해 불능확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} P_{out} &= \Pr\{C < R\} \\ &= \Pr\{\min\{C_{T_1}, C_{T_2}, \dots, C_{T_k}\} < R\} \\ &= 1 - \{1 - F_{\gamma_{T_k}}(2^{KR} - 1)\}^K \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $F_{\gamma_{T_k}}(x)$ 는 T_k 에서의 수신 신호대간섭잡음비에 대한 누적분포함수(CDF)이다. 따라서 수신 신호대간섭잡음비에 대한 누적분포함수만 구하면 최종적으로 2 차 사용자 네트워크의 불능확률을 구할 수 있다.

3. 모의실험 및 결론

본 모의실험에서는 1 차 사용자의 수와 1 차 기지국의

수신안테나 수가 같도록 설정하였고 $P_{PS_i} = \bar{I}$ 로 설정하였다. 목표 전송률은 1 bps/Hz 로 설정하였고 2 차 사용자의 수는 7 개로 설정하였다. 이와 같이 시스템을 설정한 상황에서 2 차 사용자 네트워크의 불능확률을 모의실험한 결과 그림 2 와 같은 결과를 얻었다. 모의실험을 통해 1 차 사용자 수가 증가할수록 2 차 사용자에서의 간섭량 증가로 인해 불능확률이 증가함을 확인하였고 P_{max} 가 증가함에 따라 불능확률이 감소하다가 고정된 최대 허용 간섭량에 의해 불능확률이 일정해지는 구간이 있음을 확인하였다.

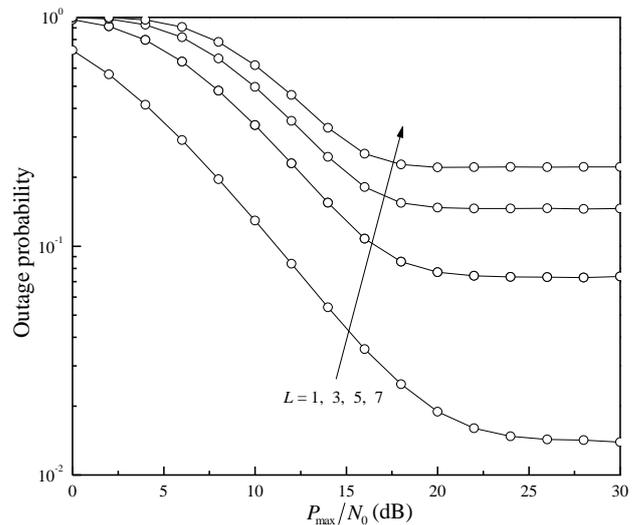


그림 2. 2 차 사용자 네트워크의 불능확률.

감사의 글

이 논문은 2015 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2009-0083495, 2011-0017437).

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] C. Jang and J. H. Lee, " Outage analysis and optimization of DF-based multi-hop transmission for fading channels with large path-loss exponent," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 61, no. 9, pp. 4183-4189, Nov. 2012.