

다중 중계기가 존재하는 무선 인지 차량 네트워크에서 지연된 채널 상태 정보의 영향

*이주현 **이재홍

서울대학교

*ljh1112@snu.ac.kr

Impact of Outdated Channel State Information
for Cognitive Vehicular Networks with Multiple Relays

*Lee, Juhyun **Lee, Jae Hong

Department of Electrical and Computer Engineering and INMC

Seoul National University

요약

기존 연구에서 무선 인지 네트워크의 성능 분석에 관한 연구는 많았지만 다중 사용자가 존재하는 무선 인지 네트워크에 차량 통신을 접목시킨 무선 인지 차량 네트워크의 성능 분석에 관한 연구는 많지 않았다. 또한 최근 실질적인 채널환경을 고려하기 위해 지연된 채널 상태 정보를 가진 시스템에서의 성능 분석에 대한 연구가 많이 진행되고 있는데, 다중 중계기가 존재하는 무선 인지 차량 네트워크에서 지연된 채널 상태 정보의 영향에 대한 연구는 아직 진행되지 않았다.

본 논문에서는 다중 중계기가 존재하는 무선 인지 차량 네트워크에서 지연된 채널 상태 정보의 영향을 분석한다. 본 논문에서는 스펙트럼 공유(spectrum sharing) 무선 인지 네트워크를 가정하고 차량간 통신이 일어나는 2차 사용자 네트워크의 채널들을 double Rayleigh fading으로 모델링 한다. 성능 분석의 지표로 불능 확률을 사용하고 컴퓨터 모의실험을 통해 지연된 채널 상태 정보의 영향을 확인한다.

1. 서론

무선 인지 네트워크(cognitive radio network)는 한정된 자원의 채널 대역폭의 사용을 효과적으로 할 수 있게 도와주기 때문에 최근에 활발히 연구되고 있다. 이러한 무선 인지 네트워크에는 1차 사용자가 사용하지 않는 스펙트럼을 2차 사용자가 감지하여 사용하는 스펙트럼 센싱(spectrum sensing) 방식과 1차 사용자가 허용할 수 있는 간섭 이내에서 2차 사용자가 1차 사용자의 스펙트럼을 동시에 사용하는 스펙트럼 공유(spectrum sharing) 방식이 있다[1].

한편 더블 레일리 페이딩(double Rayleigh fading) 채널 모델은 수신기와 송신기 주변에 형성된 독립적인 산란체(scatterer) 그룹들로 인해 두 개의 레일리 페이딩 채널이 존재한다고 가정하는 모델이다[2]. 이러한 더블 레일리 페이딩 채널 모델은 차량 통신에서의 채널 모델 중의 하나로 관심을 받았고 이를 적용한 통신 시스템에 대한 분석이 많이 이루어졌다.

최근 실질적인 채널환경을 고려하기 위해 지연된 채널 상태 정보(outdated channel state information)를 가진 시스템에서의 성능 분석에 대한 연구가 많이 진행되고 있다 [3]. 따라서 다중 중계기가 존재하는 무선 인지 차량 네트워크에서 지연된 채널 상태 정보의 영향을 분석하는 연구 또한 필요하다.

본 논문에서는 다중 존재하는 무선 인지 네트워크 기반 차량통신

에 대한 물리계층에서의 분석한다. 차량통신은 이중 홉 중계기법을 사용하며 성능 분석의 척도로 불능확률을 이용한다. 또한 모의실험을 통해 분석결과를 검증한다.

2. 본론

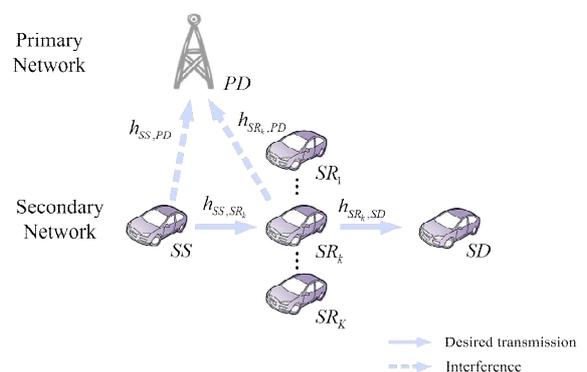


그림 1. 시스템 모델

본 논문에서 고려하고 있는 시스템 모델은 그림 1과 같다. 그림을 보면 알 수 있듯이, 2차 사용자 네트워크는 한 쌍의 송·수신 차량, K개의 중계 차량으로 구성되어 있고 노변 상에 고정되어 있는 1차 사용자

의 스펙트럼을 공유함으로써 1차 사용자 수신기에게 간섭을 주게 된다. 1차 사용자 송신기로부터 2차 사용자 네트워크로 가해지는 간섭의 영향은 없다고 가정한다. 본 논문에서는 스펙트럼 공유 무선 인지 네트워크를 가정하고 있기 때문에, 2차 사용자 네트워크로부터 1차 사용자 수신기로의 간섭 영향이 특정 값 Q 를 넘지 않도록 전력을 조절하여 차량통신을 하게 된다. 각 채널에 대한 채널 계수는 그림 1에 표기한 것과 같고, 차량통신이 이루어지는 2차 사용자 네트워크상의 채널 모델은 double Rayleigh fading으로, 차량과 PD 사이의 채널은 일반적인 Rayleigh fading으로 모델링하였다.

일반적인 무선 인지 네트워크 환경에서는 2차사용자가 2차 사용자 와 1차 사용자 사이의 채널 정보를 정확하게 얻기 힘들다. 그래서 본 논문에서는 2차 사용자가 2차 사용자 네트워크의 채널에 대해서는 완전한 정보를 가지고 있고 1차 사용자로의 간섭 채널에 대해서는 불완전한 정보를 가진다고 가정을 하였다. 따라서 $h_{SS,PD}, h_{SR_k,PD}$ 는 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$h_{i,PD} = \rho \widehat{h_{i,PD}} + \sqrt{1-\rho^2} \widetilde{h_{i,PD}} \quad i \in \{SS, SR_1, \dots, SR_K\} \quad (1)$$

여기서 ρ 는 상관계수이고 $\widehat{h_{i,PD}}$ 는 $h_{i,PD}$ 의 outdated 채널 정보이며 $\widetilde{h_{i,PD}}$ 는 복소 가우시안 랜덤 변수이다. $g_{i,PD} = |h_{i,PD}|^2$ 로 정의할 때, $g_{i,PD}, \widehat{g_{i,PD}}$ 에 대한 결합확률밀도함수는 다음과 같다[4].

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

여기서 $\lambda_{i,PD}$ 는 $g_{i,PD}$ 의 평균이고 $I_0(x)$ 는 zeroth-order modified Bessel function이다.

2차 사용자 네트워크에서 차량통신을 위해 다중 중계기 중 최선의 중계기가 선택되어 SS로부터 받은 신호를 복호후재전송 기법을 이용하여 SD에 전달한다고 가정한다. SS에서의 전송전력을 P_{SS} SR_k 에서의 전송전력을 P_{SR_k} 라고 할 때 복호후재전송의 가정으로부터 SD에서의 SNR을 다음과 같이 나타낼 수 있다[5].

$$\gamma_{SD} = \max_k \min \left\{ \frac{P_{SS} |h_{SS,SR_k}|^2}{N_0}, \frac{P_{SR_k} |h_{SR_k,SD}|^2}{N_0} \right\} \quad (3)$$

여기서 N_0 는 복소 가산 백색 가우시안 잡음의 분산이다. 그러므로 최대전송률을 R 이라고 할 때 불능확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P^{out} = \Pr \left[\frac{1}{2} \log \{1 + \gamma_{SD}\} \leq R \right] \quad (4)$$

본 논문에서는 언더레이 무선 인지 네트워크를 가정하므로 PD의 QoS 를 보장하기 위해서 다음과 같은 간섭 확률 제한을 둔다[6].

$$P_0 \geq 1 - \Pr [g_{i,PD} P_i \leq Q] \quad i \in \{SS, SR_1, \dots, SR_K\} \quad (5)$$

수식 (2), (5)를 이용하여 P_{SS}, P_{SR_k} 를 구한 뒤 수식 (4)에 대입하여 수식을 전개하면 최종적인 불능확률을 얻을 수 있다.

3. 모의실험

모의실험에 사용된 시스템 모델에서 R은 1bps/Hz로 가정하였고 각 사용자 네트워크에 대한 채널 계수의 분산 값은 같다고 가정하였다. 그림 2는 ρ 값이 1일 때 불능확률을 Q/N_0 에 대하여 도시한 것이다. 그림을 보면 알 수 있듯이 중계기 수가 증가함에 따라 불능 확률이 감

소함을 알 수 있다.

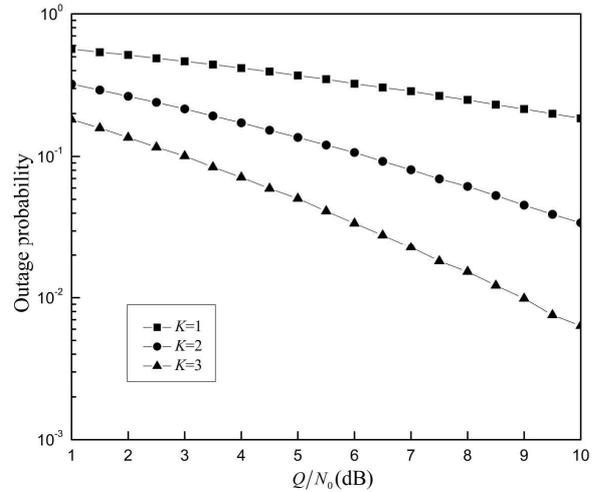


그림 2. 불능 확률

4. 결론

본 논문에서는 불완전한 채널정보가 존재하는 인지 차량 네트워크의 성능 분석을 하였다. 성능 분석의 지표로 불능확률을 사용하였고 모의실험을 통해 간섭량의 변화에 따른 불능확률의 변화를 확인하였다.

감사의글

이 논문은 2014년도 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] M. Seyfi, S. Muhaidat, J. Liang, and M. Uysal, "Relay selection in dual-hop vehicular networks," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 18, no. 2, pp. 134-137, Feb. 2011.
- [3] H. A. Suraweera, P. J. Smith, and M. Shafi, "Capacity limits and performance analysis of cognitive radio with imperfect channel knowledge," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 59, no. 4, pp. 1811-1822, May 2010.
- [4] J. Chen, J. Si, Z. Li, and H. Huang, "On the performance of spectrum sharing cognitive relay networks with imperfect CSI," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 7, July 2012.
- [5] A. Bletsas, H. Shin, and M. Z. Win, "Cooperative communications with outage-optimal opportunistic relaying," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 9, pp. 3450-3460, Sep. 2007.
- [6] L. Musavian and S. Aissa, "Fundamental capacity limits of cognitive radio in fading environments with imperfect channel information," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 57, no. 11, Nov. 2009.