

# 불완전한 채널 정보가 존재하는 무선 인지 차량 네트워크에서의 성능 분석

\*이주현 \*\*이재홍

서울대학교

\*ljh1112@snu.ac.kr

## Performance Analysis for Cognitive Vehicular Networks with Imperfect Channel State Information

\*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 무선 인지 네트워크에 차량 통신을 접목시킨 무선 인지 차량 네트워크의 성능 분석에 관한 연구는 많지 않았다. 또한 최근 실질적인 채널환경을 고려하기 위해 불완전한 채널정보를 가진 시스템에서의 성능 분석에 대한 연구가 많이 진행되고 있는데 무선 인지 차량 네트워크에서의 연구는 아직 진행되지 않았다.

본 논문에서는 불완전한 채널정보가 존재하는 인지 차량 네트워크의 성능 분석을 한다. 본 논문에서는 언더레이(underlay) 무선 인지 네트워크를 가정하고 차량간 통신이 일어나는 2차 사용자 네트워크의 채널들을 double Rayleigh fading으로 모델링한다. 성능 분석의 지표로 불능 확률을 사용하고 컴퓨터 모의실험을 통해 분석된 불능확률 값이 상관계수가 변화함에 따라 어떠한 변화가 있는지 확인하였다.

### 1. 서론

무선 인지 네트워크는 한정된 자원인 채널 대역폭의 사용을 효과적으로 할 수 있게 도와주기 때문에 최근에 활발히 연구되고 있다 [1]. 이러한 무선 인지 네트워크에는 1차 사용자가 사용하지 않는 스펙트럼을 2차 사용자가 감지하여 사용하는 방법과 1차 사용자가 허용할 수 있는 간섭량 이내에서 2차 사용자가 사용하는 방법이 있다. 이러한 무선 인지 네트워크를 차량통신에 접목시키려는 연구는 최근 들어서 진행되었지만 물리계층 영역에서의 분석은 아직 미비한 수준이다 [2].

물리계층에서의 차량통신 연구는 최근 들어 활발히 연구되고 있으며 특히 차량간 통신에서 좀 더 정확한 분석을 위해 다양한 채널 모델들이 제안되었다. 그 중 double Rayleigh fading 모델은 small scale fading 채널 모델 중에 하나로 연구되고 있다 [3].

최근 실질적인 채널환경을 고려하기 위해 불완전한 채널정보를 가진 시스템에서의 성능 분석에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. [4]에서는 중계기가 존재하지 않는 언더레이 무선 인지 네트워크에서 불완전한 채널정보의 효과에 대해 분석을 하였다. [5]에서는 중계기가 존재하는 언더레이 무선 인지 네트워크에서 각 노드의 파워를 조절했을 때 1차 사용자에서의 간섭 확률을 분석하였다.

본 논문에서는 불완전한 채널정보가 존재하는 무선 인지 네트워크 기반 차량통신에 대한 물리계층에서의 분석한다. 차량통신은 이중

중계기법을 사용하며 성능 분석의 척도로 불능확률을 이용한다. 또한 모의실험을 통해 분석결과를 검증한다.

### 2. 본론

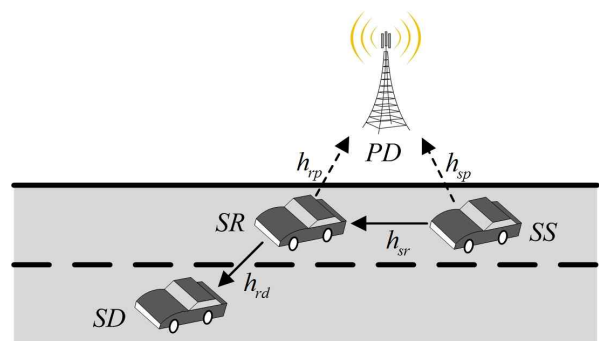


그림 1. 시스템 모델

본 논문에서 고려하고 있는 시스템 모델은 그림 1과 같다. 그림을 보면 알 수 있듯이, 1차 사용자의 수신기인 PD와 차량통신을 하는 2차 사용자 네트워크로 구성되어 있다. 차량통신에서는 데이터를 보내고자 하는 차량인 SS가 중계기 역할을 하는 차량인 SR의 도움을 받아 다른 차량 SD로 데이터를 전송한다. 또한 1차 사용자의 데이터 전송을 보장

하기 위해 PD에서 차량통신으로부터 발생하는 간섭의 영향이 특정 임계값  $Q$  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  $h_{sp}, h_{sd}$ 에 대해서는 완전한 정보를 가지고 있고  $h_{sp}, h_{rp}$ 에 대해서는 불완전한 정보를 가진다고 가정을 하였다. 따라서  $h_{sp}, h_{rp}$ 는 다음과 같이 모델링 할 수 있다.

$$h_{sp} = \rho \widehat{h}_{sp} + \sqrt{1-\rho^2} \widetilde{h}_{sp} \quad (1)$$

$$h_{rp} = \rho \widehat{h}_{rp} + \sqrt{1-\rho^2} \widetilde{h}_{rp} \quad (2)$$

여기서  $\rho$ 는 상관계수이고  $\widehat{h}_{sp}, \widehat{h}_{rp}$ 는  $h_{sp}, h_{rp}$ 의 outdated 채널 정보이며  $\widetilde{h}_{sp}, \widetilde{h}_{rp}$ 는 복소 가우시안 랜덤 변수이다.  $g_{sp} = |h_{sp}|^2$ ,

$g_{rp} = |h_{rp}|^2$  로 정의할 때,  $g_{sp}, g_{rp}$ 에 대한 결합확률밀도함수는 다음과 같다.

$$f_{g_{sp}, \widehat{g}_{sp}}(x, y) = \frac{e^{-\frac{x+y}{(1-\rho^2)\lambda_{sp}}}}{(1-\rho^2)\lambda_{sp}^2} I_0\left(\frac{2\rho\sqrt{xy}}{(1-\rho^2)\lambda_{sp}}\right) \quad (3)$$

여기서  $\lambda_{sp}$ 는  $g_{sp}$ 의 평균이고  $I_0(x)$ 는 zeroth-order modified Bessel function이다. 유사하게  $g_{rp}, \widehat{g}_{rp}$ 에 대한 결합확률밀도함수는 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$f_{g_{rp}, \widehat{g}_{rp}}(x, y) = \frac{e^{-\frac{x+y}{(1-\rho^2)\lambda_{rp}}}}{(1-\rho^2)\lambda_{rp}^2} I_0\left(\frac{2\rho\sqrt{xy}}{(1-\rho^2)\lambda_{rp}}\right) \quad (4)$$

SR은 SS로부터 받은 신호를 복호후재전송 기법을 이용하여 SD에 전달한다고 가정한다. SS에서의 전송전력을  $P_S$ , SR에서의 전송전력을  $P_R$ , 최대전송률을  $R$ 이라고 할 때 불능확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P^{out} = \Pr\left[\frac{1}{2} \log\left[1 + \min\left\{\frac{P_S}{N_0}|h_{sr}|^2, \frac{P_R}{N_0}|h_{rd}|^2\right\}\right]\right] \leq R \quad (5)$$

여기서  $P_S, P_R$ 는 SS와 SR에서의 전송파워이고  $N_0$ 는 복소 가산 백색 가우시안 잡음의 분산이다. 본 논문에서는 언더레이 무선 인지 네트워크를 가정하므로 PD의 QoS를 보장하기 위해서 다음과 같은 간섭 확률 제한을 둔다. [6]

$$P_0 \geq 1 - \Pr[g_{sp}P_S \leq Q] \quad (6)$$

$$P_0 \geq 1 - \Pr[g_{rp}P_R \leq Q] \quad (7)$$

수식 (3), (4), (6), (7)를 이용하여  $P_S, P_R$ 를 구한 뒤 수식 (5)에 대입하여 수식을 전개하면 최종적인 불능확률을 얻을 수 있다.

### 3. 모의실험

모의실험에 사용된 시스템 모델에서 R은 0.5bps/Hz로 가정하였고 각 채널 이득의 평균값은 같다고 가정하였다. 그림 2는  $\rho$  값의 변화에 따른 불능확률을  $Q/N_0$ 에 대하여 도시한 것이다. 그림을 보면 알 수

있듯이  $\rho$  값이 감소함에 따라 불능 확률이 증가함을 알 수 있었다.

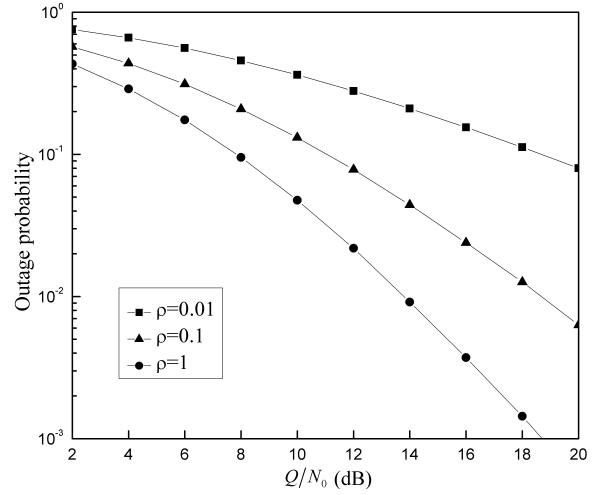


그림 2. 불능 확률

### 4. 결론

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

### 감사의글

이 논문은 2013년도 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. Pan, P. Li, and Y. Fang, "Cooperative communication aware link scheduling for cognitive vehicular networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 30, no. 4, pp. 760 - 768, May 2012.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] 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.
- [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.