비직교 다중접속 전력선 통신 네트워크에서의 보안 정전 확률 분석

진세영, Roger Kwao Ahiadormey† , 이경재*

국립한밭대학교 전자공학과*, CSIR-INSTI†

jsy748@gmail.com, † rogerkwao@gmail.com, *kyoungjae@hanbat.ac.kr

Analysis of Secrecy Outage Probability in Non-Orthogonal Multi-Access Power Line Communication Network

Chin Seyung, Roger Kwao Ahiadormey† , Lee Kyoung-Jae*

*Hanbat National University, † CSIR-INSTI

요 약

본 논문은 비직교 다중접속 전력선 통신 네트워크(NOMA PLC Networks)를 사용할 때 하나의 전력선을 통해 정보를 전송하는 성질이 있다. 이러한 성질에 의해 정보원(Source)이 특정 사용자(User)에게 정보를 보내게 되면 사용자와 근거리에 있는 도청자(Eavesdropper)가 그 정보를 가로챌 수 있기 때문에 보안에 취약한 성향을 보인다. 따라서 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 비직교 다중 접속(NOMA) 전력선 통신을 할 때 정보원과 정보를 받는 사용자와의 거리를 고정하여 설정하고, 도청자의 거리를 파라미터로 하여 보안 정전 확률(Secrecy Outage Probability)이 SNR대비 어떻게 변하는지 확인한다. 마지막 시뮬레이션을 통하여 정보원과 도청자의 거리가 멀어질수록 보안 정전 확률이 작아지는 것을 확인할 수 있다.

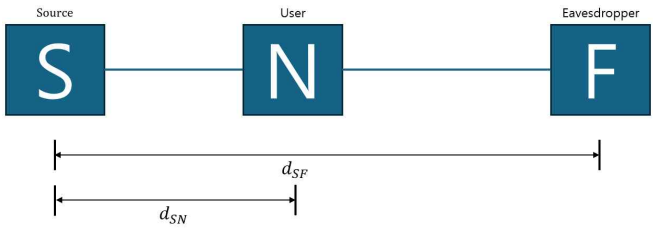
Ⅰ. 서 론

데이터 통신을 위해 기존의 전력선 통신(PLC)을 사용하는 개념은 최근 몇 년 동안 업계와 학계에서 새로운 관심을 받고 있다. 이를 적용한 비직교 다중접속 전력선 통신 네트워크(NOMA PLC Network : Non-Orthogonal Multiple Access Power line Communication Networks)기술은 하나의 전력선을 가지고 다른 사용자에게 정보를 보내는 기술이다. 그러나 이 기술은 NOMA의 특성에 의해 보안성이 취약한 성향을 보이며, 사용자 이외의 다른 사용자(도청자)가 정보원의 정보를 도중에 가로챌 수 있어서 보안이 강화되어야 한다는 연구가 진행되었다[1]. 이 기술의 PLC 채널과 노이즈는 각각 상관관계가 있는 로그 정규 페이딩과 베르누이-가우시안 분포에 의해 모델링을 적용한다[2][3].

본 논문은 보안 정전 확률 분석에 크게 영향을 미치지 않는 임펄스 잡음이 일어날 확률을 최적의 상태로 설정하고 거리의 변화에 따라 결과가 어떻게 바뀌는지를 확인하기 위해 시스템을 모델링하고 시뮬레이션 결과를 분석한다.

Ⅱ. 본론

2.1 시스템 모델



[그림 1] 한 명의 사용자와 도청자가 있는 비직교 다중접속 전력선 통신 네트워크 시스템

[그림 1]은 본 논문에서 시뮬레이션 하기 위한 비직교 다중접속 전력선 통신 시스템 모델을 나타낸다. 이 시스템은 하나의 전력선과 정보원S가 있고, 사용자N과 도청자F가 있다. 이때 정보원S는 하나의 전력선을 통하여 사용자N에게 정보를 보내려고 하지만, 이때 도청자F는 정보원S로부터 사용자N으로 전송되는 정보를 도중에 가로채려고 한다. 이러한 상황에서, 본 연구에서는 전력선의 보안 유지를 위해 정보원S에서 사용자 N까지 거리인 d_{SN}을 50m로 설정하고, 도청자F까지 거리인 d_{SF}를 파라미터로 하여 비직교 다중접속 전력선 통신의 보안 정전 확률을 계산한다.

2.2 신호 모델

이때 정보는 한 번에 두 사용자에게 정보를 전달하게 되는데, 가까운 사용자S와 도청자F가 각각 수신한 신호는 식 (1)과 (2)와 같이 정의 된다.

$$y_N = (\sqrt{\beta_N P_S}x_N + \sqrt{\beta_F P_S}x_F)\alpha_{SN}h_{SN} + n_N \quad (1)$$

$$y_F = (\sqrt{\beta_N P_S}x_N + \sqrt{\beta_F P_S}x_F)\alpha_{SF}h_{SF} + n_F \quad (2)$$

위 식에서 β_N, β_F는 사용자N과 F의 대한 전력 할당, P_S는 정보원의 송신 전력, x_N, x_F는 전송 심볼, α_{SN}, α_{SF}는 신호 감쇠 계수, h_{SN}, h_{SF}은 정보원과 사용자 N, F간의 채널, n_N, n_F는 각각 사용자 간의 잡음이며 이것은 베르누이 분포와 가우시안 분포를 따르며 평균은 0, 분산은 임펄스 잡음이 발생할 확률일 때 $\sigma_G^2 + \sigma_I^2$ 이고, 임펄스 잡음이 발생하지 않을 확률일 때는 σ_G^2이다[2][3].

2.3 SNR

위의 식을 y_N, y_F의 정보들이 사용자N으로 갈 때 x_F에 대해 디코드되고, 그 후 x_F의 대한 정보를 지우고, x_N에 대해 디코드를 하게 되면 신호 대 잡음비(SNR : Signal to Noise Ratio)을 표현할 수 있는데, SNR은 각각 식 (3), (4)와 같이 표현된다.

$$\gamma_{N\to x_N} = \frac{\beta_N P_S \alpha_{SN}^2 h_{SN}^2}{\sigma_N^2} \tag{3}$$

$$\gamma_{F\to x_N} = \frac{\beta_N P_S \alpha_{SF}^2 h_{SF}^2}{\sigma_F^2} \tag{4}$$

2.4 SOP

보안 정전 확률(SOP : Secrecy Outage Probability)은 보안이 정전 될 확률을 의미하며 이것은 식(5)와 같이 표현된다.

$$SOP = \Pr\{C_S < R_S\} \tag{5}$$

이때 C_S는 즉각적인 보안율, R_S는 사용자N의 보안율이다.

식(5)의 C_S는 다음 식(6)과 같이 표현이 된다.

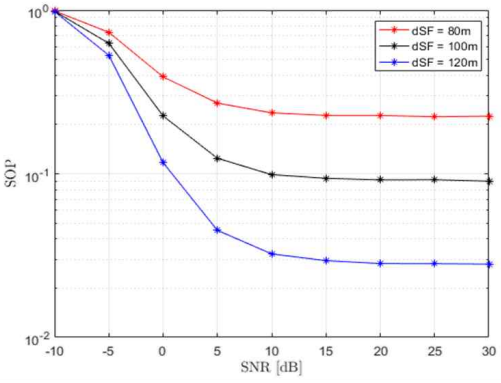
$$C_S = [C_{N\to x_N} - C_{F\to x_N}]^+ \tag{6}$$

여기서 $C_{N\to x_N}$, $C_{F\to x_N}$ 은 아래 식 (7)과 식(8)과 같이 표현할 수 있는데,

$$C_{N\to x_N} = (1-p)\log_2(1+\gamma_{N\to x_N}) \tag{7}$$

$$C_{F\to x_N} = (1-p)\log_2(1+\gamma_{F\to x_N}) \tag{8}$$

이것은 각각 사용자N, F의 채널의 용량을 의미하며, p는 임펄스 잡음이 일어날 확률이다.



[그림2] 시뮬레이션결과

2.5 시뮬레이션

앞의 결과를 이용하여 SNR의 변화에 따른 SOP의 성능이 어떤 식으로 나오는지와, d_{SF}의 거리가 멀어짐에 따라 변하는 결과를 확인한다. 이 시뮬레이션에서 적용한 조건은 $R_S = 0.1\ bps/Hz$, $p = 0.001$으로 설정하며, 정보원S와 사용자N의 거리를 50m로 고정하고, 도청자F까지의 거리는 80m, 100m, 120m로 설정한 것이다. **[그림2]**는 SNR의 변화에 따라 보안 정전 확률의 변화에 대한 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 실험 결과는 정보원S에서 도청자F의 거리가 멀어짐에 따라 보안 정전 확률 성능이 눈에 띄게 좋아지는 것을 그래프로써 보여주고 있다. 반대로 정보원S에서 도청자F의 거리가 가까울수록 보안 정전 확률이 높게 나오는 것을 시뮬레이션을 통하여 확인할 수 있다.

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 비직교 다중접속 전력선 통신에서, 비직교 다중접속의 단점인 보안의 성능을 확인하고자 도청자의 거리에 따라 보안 정전 확률의 변화를 실험하였다. 결과적으로 사용자와 도청자의 거리가 멀수록 보안 정전 확률이 작아지며, 이는 더 좋은 성능임을 내포한다. 사용자와 가까워지게 되면 보안 정전 확률이 더 커짐으로 성능이 떨어지는 것을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported in part by Korea Electric Power Corporation(Grant number : R22XO02-29), and in part by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ICAN (ICT Challenge and Advanced Network of HRD) program (IITP-2024-RS-2022-00156212) supervised by the IITP (Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation).

참 고 문 헌

[1] R. K. Ahiadormey, P. Anokye, H. -S. Jo, C. Song and K. -J. Lee, "Secrecy Outage Analysis in NOMA Power Line Communications," IEEE Communications Letters, vol. 25, no. 5, pp. 1448-1452, May 2021.

[2] M Abolpour, M Mirmohseni, M. R Aref , "On the secrecy Performance of NOMA Systems with both External and Internal Eavesdroppers" in arXiv:1906.03929 , Jun. 2019.

[3] R. K. Ahiadormey, P. Anokye and K.-J. Lee, "Cooperative non-orthogonal multiple access over log-normal power line communication channels", Electronics, vol. 8, no. 11, pp. 1254, Nov. 2019.

[4] Hassan, E. S., & Elsafrawey, A. S. “Cooperative Secrecy Techniques for Improving Physical Layer Security in NOMA-Based PLC Networks” IETE Technical Review, 40(6), 755 - 766. (2023)