

# 멀티홉 무선네트워크 환경에서의 저전력 간섭 신호 공격 구현을 위한 파워 할당 기법

김시환, 최지환\*

대구경북과학기술원, \*한국과학기술원

rlatlg@dgist.ac.kr, \*jhch@kaist.ac.kr

## Power allocation scheme for implementing low power interference signal attack in multi-hop wireless networks

Sihwan Kim and Jihwan P. Choi\*

DGIST, \*KAIST

### 요약

무선 네트워크상에서 고도화된 작전이 이루어지는 사이버전장에서, 고출력의 전자파를 이용한 간섭 신호 공격은 원거리 전자 탐지 기능에 탐지되어 무력화되기 쉽다. 이에 미래 전장에서는 적은 파워로 구성된 간섭 신호를 이용하면서, 동시에 통신기의 성능 저하를 극대화할 수 있는 저전력 간섭 신호 공격 기술이 요구된다. 본 논문에서는 멀티홉 무선 네트워크 환경에서 원하는 outage probability를 달성하기 위한 최소한의 간섭 신호 파워와 각 간섭 신호 발생기 별 파워 구성을 최적화를 통해 도출한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 간섭 신호 파워 할당 기법은 무작위로 간섭 신호 파워를 할당하였을 때보다 약 5dB 뛰어난 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

### I. 서론

미래 전장에서는 악성코드를 통한 사이버 공간 정보 탈취 및 교란을 수행하는 사이버전 기술과, 고출력 무선 전자 송출을 통해 통신 시스템 성능 저하를 유발하는 전자전 기술이 융합된 사이버전자전이 수행될 것이다 [1].

사이버전자전에서, 지능화된 사이버 위협에 대비하기 위해 통신기는 통신 시스템의 성능 저하를 감지하고, 원거리 전자파 탐지 기능을 이용하여 간섭 및 교란 신호가 인가되었는지 여부를 판단하는 감지 기준을 설정할 수 있다. 간섭 및 교란 신호가 인가되었다고 판단될 경우, 통신기는 간섭 신호 공격을 무력화시킬 수 있다. 따라서 효과적인 공격을 위해서는 낮은 파워로 구성된 간섭 신호를 사용하여 통신기의 간섭 신호 감지 기준을 회피하면서, 동시에 통신기의 성능 저하를 극대화할 수 있는 간섭 신호 공격 기술이 요구된다.

본 논문에서는 이러한 사이버전자전 소요기술의 일환으로, 멀티홉 무선 네트워크 환경에서 원하는 outage probability를 달성하기 위한 최소한의 간섭 신호 파워와 각 간섭 신호 발생기 별 파워 구성을 최적화 문제를 통해 제시한다.

### II. 본론

본 논문에서는  $K$ -hop route  $\Lambda = \langle l_1, \dots, l_K \rangle$ 를 통해 source  $S$ 에서 destination  $D$ 까지 멀티홉 전송이 이루어지는 네트워크를 고려한다. 이 때 source-destination outage probability는 다음과 같이 표현할 수 있다

$$p_{out}^{SD} = 1 - \prod_{1 \leq k \leq K} (1 - p_{out}^k). \quad (1)$$

여기서  $p_{out}^k$ 은  $l_k$  링크의 outage probability를 의미한다. 각 링크의 통신은 각각  $P_\varphi$ 의 파워를 가지는  $\Phi$ 개의 간섭 신호 발생기와  $N_0$ 의 파워를 가진 잡음에 의해 성능저하가 발생하게 되며, 따라서  $p_{out}^k$ 은 다음과 같이 표현할 수 있다 [2]

$$p_{out}^k = \mathbb{P} \left\{ \frac{P_k |h_k|^2 / d_k^\alpha}{N_0 + \sum_{\varphi \in \Phi} P_\varphi |h_{\varphi,k}|^2 / d_{\varphi,k}^\alpha} < \gamma \right\} \quad (2)$$

$$\approx 1 - \frac{e^{-\frac{\gamma N_0 d_k^\alpha}{P_k}}}{\prod_{\varphi \in \Phi} \left( 1 + \gamma \frac{P_\varphi / d_{\varphi,k}^\alpha}{P_k / d_k^\alpha} \right)}. \quad (3)$$

여기서  $h_k, d_k, h_{\varphi,k}, d_{\varphi,k}$ 는 각각  $l_k$  링크의 채널 계수와 거리,  $\varphi$ 번째 간섭 신호 발생기와  $l_k$  링크의 수신기 노드 사이의 채널 계수와 거리를 의미하며,  $\alpha$ 는 경로 손실 그리고  $\gamma$ 는 링크 처리량의 threshold를 의미한다. 채널 페이딩 파워가 지수분포를 따르며  $E[|h_k|^2] = 1$ ,  $E[|h_{\varphi,k}|^2] = 1$ 라 가정할 때, (2)의  $p_{out}^k |h_{\varphi,k}|^2$ 을  $|h_{\varphi,k}|^2$ 에 대해 평균을 취해주는 것으로 (3)을 얻을 수 있다. 한편,  $x \geq 0$ 일 때  $e^x \geq 1 + x$ 가 성립하므로 (3)은 아래의 부등식을 만족한다

$$p_{out}^k \leq 1 - e^{-\frac{\gamma d_k^\alpha}{P_k} \left( N_0 + \sum_{\varphi \in \Phi} \frac{P_\varphi}{d_{\varphi,k}^\alpha} \right)}. \quad (4)$$

본 논문에서는  $\pi$  이상의  $p_{out}^{SD}$ 를 달성하는 최소한의  $\sum_{\varphi \in \Phi} P_{\varphi}$ 를 구하기 위해, 다음의 문제를 설계한다

$$\text{minimize } \sum_{\varphi \in \Phi} P_{\varphi} \quad (5)$$

$$\text{subject to: } p_{out}^{SD} = 1 - \prod_{1 \leq k \leq K} (1 - p_{out}^k) \geq \pi. \quad (6)$$

(6)에 (4)를 대입하여 정리하면

$$\sum_{l_k \in \Lambda} \frac{d_k^{\alpha}}{P_k} (N_0 + \sum_{\varphi \in \Phi} \frac{P_{\varphi}}{d_{\varphi,k}^{\alpha}}) \geq \frac{-\ln(1-\pi)}{\gamma} \quad (7)$$

의 부등식을 얻을 수 있으며, 부등식의 좌변은  $P_{\varphi}$ 에 따라 증가하는 함수이므로  $\sum_{\varphi \in \Phi} P_{\varphi}$ 를 최소화하는 경우는 등호 조건이 성립하는 경우가 될 것이다. 따라서 (5)-(6)의 최적화 문제는 아래의 linear program (LP)으로 재표현할 수 있으며, LP를 계산함으로써  $\sum_{\varphi \in \Phi} P_{\varphi}$ 를 최소화하는  $P_{\varphi}$ 를 얻을 수 있다

$$\text{minimize } \sum_{\varphi \in \Phi} P_{\varphi} \quad (8)$$

$$\text{subject to: } \sum_{l_k \in \Lambda} \frac{d_k^{\alpha}}{P_k} (N_0 + \sum_{\varphi \in \Phi} \frac{P_{\varphi}}{d_{\varphi,k}^{\alpha}}) = \epsilon. \quad (9)$$

본 논문에서는 30개의 시스템 노드와 5개의 간섭 신호 발생기가 존재하는 네트워크 환경에서 제안된 간섭 신호 공격 기법의 성능을 평가하였다.  $\alpha = 2, \gamma = 1$ 로 설정하였으며, 간섭 신호 공격 기법의 성능 평가에 집중하기 위해 signal to noise ratio (SNR)을 40dB로 설정하여 잡음의 영향이 적은 환경에서 시뮬레이션을 진행하였다. 그림 1은 멀티홉 전송이 이루어지는 네트워크를 묘사한다. 간섭 신호 발생기는 붉은색 별표, 각 노드들은 푸른색 원으로 표현되었다. 그림 2는 무작위로 간섭 신호 발생기의 파워를 할당하였을 때와, 제안된 간섭 신호 파워 할당 기법에 기반하여 간섭 신호 발생기의 파워를 할당하였을 때의 outage probability별 Interference to signal ratio (ISR)  $ISR_{dB} = (\sum_{\varphi \in \Phi} P_{\varphi})_{dB} - (\sum_{l_k \in \Lambda} P_k)_{dB}$ 을 나타낸 것이다. 제안된 간섭 신호 파워 할당 기법은 무작위로 간섭 신호 파워를 할당하였을 때와 비교하여 평균적으로 약 5dB 적은 파워로도 동일한 outage probability를 달성할 수 있음을 관찰할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 멀티홉 무선네트워크 환경에서 저전력 간섭 신호 공격을 구현하기 위해, 원하는 outage probability를 달성하기 위한 최소한의 간섭 신호 파워와 각 간섭 신호 발생기 별 파워 구성을 최적화 문제를 통해 도출하였다. 제안된 간섭 신호 발생기 파워 할당 기법은 무작위로 간섭 신호 파워를 할당하는 경우에 비해 평균적으로 약 5dB 적은 전력으로도 동일한 outage probability를 달성할 수 있음을 시뮬레이션 결과를 통해 확인할 수 있었다.

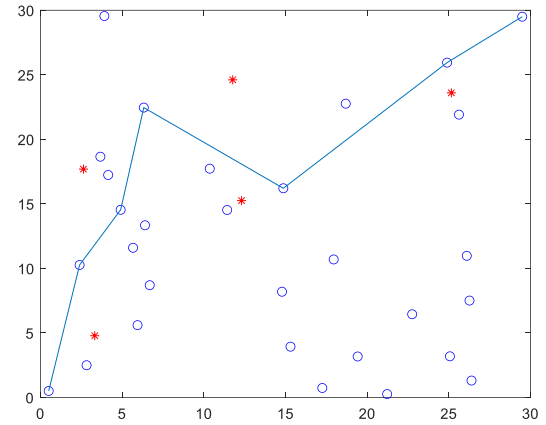


그림 1 멀티홉 전송이 이루어지는 네트워크 스냅샷

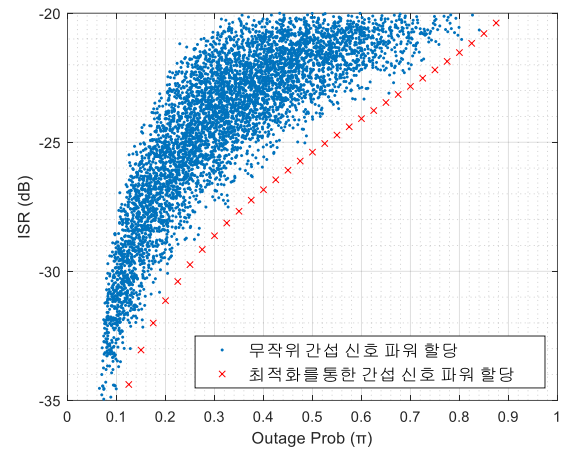


그림 2 간섭 신호 발생기의 파워 구성 별 outage probability 비교

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] Kim Soyeon, Kim Seongpyo, Park Beom Joon, Jeong Un Seob, Choo Hunwoo, Yun Jeong, Kim Jinyong. "Cyber Electronic Warfare Technologies and Development Directions," in J. Korean Inst. Electromagn. Eng. Sci. 2021;32(2):119-126.
- [2] A. Sheikholeslami, M. Ghaderi, H. Pishro-Nik and D. Goeckel, "Energy-Efficient Routing in Wireless Networks in the Presence of Jamming," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 15, no. 10, pp. 6828-6842, Oct. 2016, doi: 10.1109/TWC.2016.2591016.