

지향성 무선 네트워크에서의 임계값 기반 간섭 노드 관리 기법

추은미*, 이형주*, 박재돈*, 정방철*

Threshold-Based Interference Nodes Management Scheme in Directional Wireless Networks

Eunmi Chu*, Hyungjoo Lee*, Jaedon Park*,
 Bang Chul Jung*

요약

본 논문은 지향성 안테나를 사용하는 간섭 노드들이 확률 기하론에 따라 2차원 공간상에 분포되어 있을 때, 임계값 기반으로 간섭 노드들을 제거하고 무선 네트워크를 구성하는 기법을 제안한다. 기존에는 간섭 노드들이 포아송 포인트 프로세스 (Poisson point process, PPP) 혹은 마턴 하드 코어 프로세스 (Matern hard-core process, MHCP)에 따라 무선 네트워크를 구성했다. 하지만, PPP와 MHCP는 무지향성 안테나를 고려하여 제시된 모델로 지향성 무선 네트워크에 적용 시 성능 감쇄가 발생한다. 본 논문에서는 지향성 안테나는 이상적 섹터 안테나로 가정하고, 동일한 간섭 노드 밀도 환경에서 기존의 PPP와 MHCP 기반의 무선 네트워크와 제안한 기법간의 성능을 비교한다.

Key Words : Directional antenna, Matern hard-Core process (MHCP), interference, stochastic geometry

ABSTRACT

In this letter, we propose a threshold-based interference management scheme in directional

wireless networks to cancel strong interference when interference nodes are distributed in 2-dimensional space by stochastic geometry (SG). Conventionally, interference nodes are configured in a directional wireless network according to PPP or MHCP distributions. However, these existing PPP and MHCP are suitable schemes for interference nodes with omni-directional antenna. When the existing schemes are applied to a directional wireless network, performance degradation occurs. Thus, in this letter, we assume an ideal sector antenna and compare the performance of existing PPP and MHCP with that of the proposed scheme under the same density of interference nodes.

1. 서론

일반적으로 확률 기하 이론에서는 간섭을 일으키는 노드들의 위치를 2차원 포아송 프로세스 (Poisson Point Process, PPP)로 모델링하고 수신 노드에서 간섭 노드들로부터 도착하는 신호의 전력을 더하여 간섭의 통계적 특성을 도출한다^[1]. 이 경우에 간섭 노드들이 매우 인접할 경우 간섭 신호가 급격히 증가하여 통신 성능이 열화 된다. 따라서, 실제 무선 네트워크에서는 간섭 노드가 존재할 수 있는 최소 거리를 적용하여 간섭 양을 조절하는 마턴 하드 코어 프로세스 (Matern hard-core process, MHCP)가 무선 네트워크 모델링에 많이 사용되고 있다^[2]. 하지만, PPP와 MHCP는 무지향성 안테나 기반에서 모델링이 되었기 때문에 지향성 안테나를 가진 간섭 노드들로부터 들어오는 강한 간섭을 피하기에는 한계가 있다.

따라서, 본 논문에서는 강한 간섭 노드를 제거하기 위해 임계값 기반의 간섭 노드 관리 기법을 제안한다. 지향성 안테나는 이상적 섹터 안테나로 가정하고, 동일한 간섭 노드 밀도 환경에서 기존의 PPP와 MHCP에 의해 생성된 무선 네트워크를 비교 대상으로 간섭 신호의 CDF와 전송 성공 확률 관점에서 시뮬레이션 수행을 통해 비교 분석한다.

※ 이 연구는 국방과학연구소 (ADD)의 지원을 받았습니다. This research was supported by the Agency for Defense Development (ADD)

• First Author : (OCID:0000-0003-4529-0569)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, emchu@cnu.ac.kr, 정회원

◦ Corresponding Author : (OCID:0000-0002-4485-9592)Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, bcjung@cnu.ac.kr, 종신회원

* Agency for Defense Development (ADD), {lhj, jaedon2}@add.re.kr, 정회원

논문번호 : 201812-396-A-LU, Received December 28, 2018; Revised January 10, 2019; Accepted January 10, 2019

II. 제안 시스템 모델

임계값 기반 지향성 무선 네트워크 생성 과정은 그림 1과 같이 4단계 과정을 수행한다. 단계 1과 단계 2는 MHCP와 동일하게 수행이 된다. 단계 1에서 영역 A 에 PPP 분포로 밀도 λ_p 로 간섭 노드를 생성한다. 단계 2에서 간섭 노드들에게 자신의 표식 값으로 $[0,1]$ 사이의 랜덤 값을 부여한다. 단계 3에서 간섭 노드들로부터 자신에게 들어오는 간섭의 양이 설정한 임계값 θ_{th} 보다 크면 자신의 표식 값과 간섭 노드의 표식 값을 비교를 한다. 자신의 표식 값이 가장 작으면 네트워크에 잔류 표식을 하고, 그렇지 않으면 삭제 표식을 한다. 단계 4에서 삭제 표식이 된 노드를 모두 삭제한다. 그림 1의 단계 4 그림은 0.8의 표식 값을 가진 노드가 간섭 양을 측정을 했을 때 임계값 보다 큰 간섭 노드들 빨간색 점선으로 표시된 2개 인데, 하나는 표식 값이 0.35인 노드이고 다른 하나는 표식 값이 0.3인 노드이다. 자신의 표식 값 0.8이 다른 간섭 노드의 표식 값보다 크기 때문에 자신의 삭제가 되어야 할 노드로 표시가 되어 단계 4에서는 삭제가 된다. 노드들을 삭제 후, 잔류된 노드들의 밀도는 초기 밀도 λ_p 에서 λ_{prop} 로 감소한다.

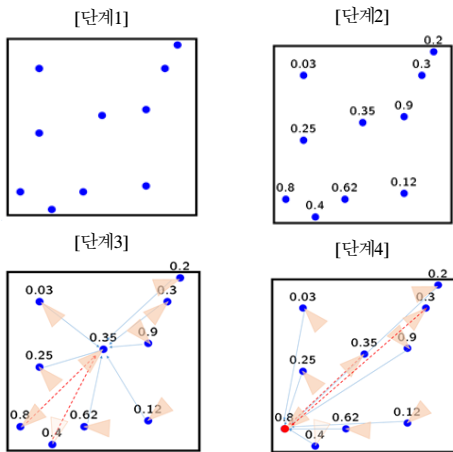


그림 1. 임계값 기반 지향성 무선 네트워크 생성 과정
 Fig. 1. The process of a threshold-based directional wireless network

III. 시뮬레이션 과정 및 결과

본 장에서는 A 를 $300\text{km} \times 300\text{km}$ 로 가정하고, 전송 전력 P_t 는 1Watt , 경로 손실 지수 α 는 3, 지향성

안테나의 메인 빔 이득은 $g_1^{[3]}$, 사이드 빔 이득 g_2 가 0.05, I 번째 송수신 노드간의 거리 $d_{i,j}$ 는 10km , A 영역에 분포된 평균 간섭 노드 수 $E[M]$ 는 100개, 200개, 간섭 노드 밀도 $\lambda_p = N/A$, 지향성 안테나 빔폭 ω 는 $10^\circ, 30^\circ, 60^\circ$, 간섭 임계값 θ_{th} 는 잡음 N_o 대비 1/4배, 1배, 4배로 $N_o/4, N_o, 4N_o$ 로 설정한다.

PPP 모델과 MHCP 모델, 제안한 임계값 기반 모델의 노드 밀도를 동일하게 λ_{prop} 로 맞추기 위해서 PPP 모델은 λ_{prop} 의 밀도로 간섭 노드를 생성하고, MHCP는 수식 (1)에 따라 λ_{mhcp} 가 λ_{prop} 와 동일한 값이 나오는 마틴 하드코어 거리 δ 를 유도한다.

$$\lambda_{mhcp} = \frac{1 - \exp(-\lambda_p \pi \delta^2)}{\pi \delta^2}, \quad (1)$$

그림 2는 제안한 임계값 기반 모델에서 빔폭 ω 와 임계값 θ_{th} 에 따른 간섭 신호의 CDF를 보여준다. $\omega = 10^\circ$ 일 때, θ_{th} 이 $N_o/4$ 의 경우는 허용되는 간섭이 양이 적기 때문에 -130dB 이상 되는 간섭이 제거되고 있으며, θ_{th} 이 $4N_o$ 의 경우는 -120dB 까지 간섭 신호가 생겼음을 확인할 수 있다. $\omega = 60^\circ$ 으로 증가하게 되면 간섭 양이 커지기 때문에 CDF곡선이 오른쪽으로 이동됨을 보여준다.

그림 3는 θ_{th} 가 $N_o/4$ 이고, $E[M]=200$ 일 때, PPP 모델, MHCP 모델, 제안 모델에 대한 간섭 신호의 CDF를 보여준다. MHCP와 PPP는 간섭이 강한 간섭이 제거되지 않기 때문에 CDF 곡선의 꼬리가 오른쪽으로 길게 늘어져 있음을 알 수가 있다. $\omega = 60^\circ$ 보다 $\omega = 10^\circ$ 에서의 오른쪽으로 더 길게 늘어져 있으며, 빔폭이 작으면 극소수의 강한 간섭이 들어오기 때문이다. 하지만, 제안 모델에서는 임계값 기반으로 강한 간섭 신호가 제거되기 때문에 $\omega = 10^\circ$ 에서 극 소수로 발생하는 강한 신호들이 모두 제거되고 있어서 빔폭이 작을 수록 좋은 성능을 보여주고 있다.

그림 4는 최소 요구되는 SINR 설정 값에 따른 전송 성공 확률을 보여준다. 송수신 노드들은 데이터를 주고받기 위해서 안테나의 빔방향을 사전에 조율한다고 가정을 하면, 데이터 수신 신호의 전력은 메인빔의 이득의 제곱 g_1^2 만큼 증가하게 된다. 이로인해 ω 가 작아질수록 수신 신호 전력은 급격하게 증가하게 되며, ω 가 작아 질수록 강한 간섭 신호보다 데이터 수신 신호의 증가량이 훨씬 크기 때문에 SINR이 향상된다. 또한, 제안 모델은 간섭 신호의 CDF에서 보듯이 간섭

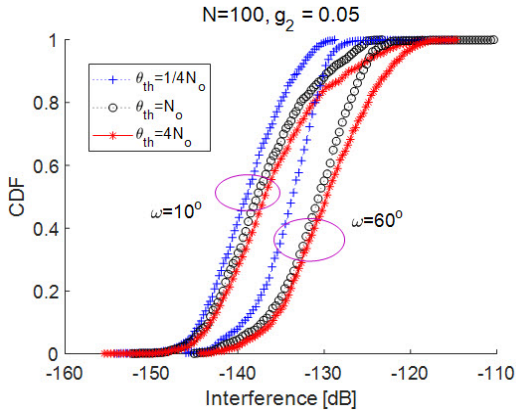


그림 2. 제안한 모델의 빔폭(ω)과 임계값(θ_{th})의 변화에 따른 간섭의 누적 분포 함수
 Fig. 2. CDF of Interference according to beamwidth and threshold in a proposed model

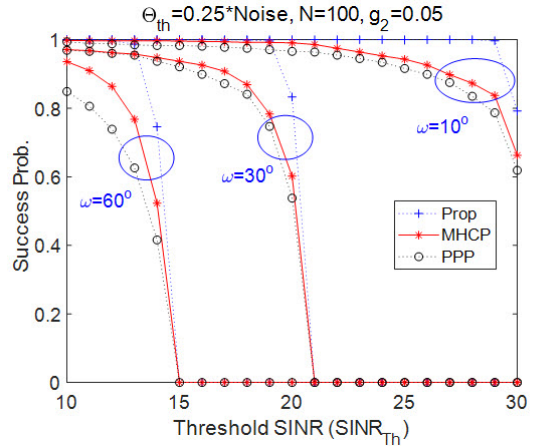


그림 4. 최소 요구 SINR값의 변화에 따른 전송 성공 확률
 Fig. 4. Transmission Success Probability for varying the minimum required SINR

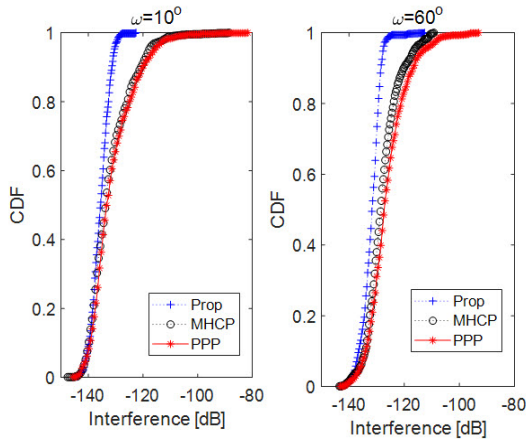


그림 3. PPP, MHCP, 제안 모델에서의 빔폭(ω)과 임계값(θ_{th})의 변화에 따른 간섭의 누적 분포 함수
 Fig. 3. CDF of Interference according to beamwidth and threshold in PPP, MHCP, and a proposed models

신호도 약화시켰기 때문에 기존의 PPP 모델과 MHCP 모델에 비해서 전송 성공 확률 성능이 월등히 향상을 시켰음을 보여주고 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 지향성 안테나를 활용하는 무선네트워크에서 임계값을 이용하여 간섭 노드를 관리하여 무선 네트워크를 구성하는 방법을 제안했다. 시뮬레이션을 통해서 제안한 기법이 기존의 PPP나 MHCP 방식과 비교해서 간섭 신호의 누적 분포 함수와 전송 성공 확률 측면에서 제안한 기법이 성능이 향상됨을 보여주었다.

References

- [1] E. Chu, J. S. Park, H. Lee, and B. C. Jung, "Interference analysis in poisson wireless networks with directional antennas," *J. KICS*, vol. 42, no. 12, pp. 2263-2266, Dec. 2017.
- [2] M. Haenggi, "Mean interference in hard-core wireless networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 15, no. 8, Aug. 2011.
- [3] E. Chu, B. C. Jung, D.-J. Jung, and H. Lee, "Interference analysis of directional wireless networks based on matern hard-core process," *KICS Summer Conf.*, p. 269, Jun. 2018.