

기계학습을 사용한 밀리미터파 다중셀 성능 분석

김조은, 권태수

서울과학기술대학교

worth3910@naver.com, tskwon@seoultech.ac.kr

MmWave Multicell Performance Evaluation Using Machine Learning

Joeun Kim, Taesoo Kwon

Seoul Natioanl Univ. of Science & Technology

요약

5G를 통해 대용량 데이터를 사용하는 서비스들이 가능하게 되었다. 이에 따라 더 많은 데이터를 다룰 수 있는 밀리미터파 대역에 대한 성능 분석이 활발해졌다. 확률 기하를 기반으로 한 분석은 복잡한 수학적식을 다루야 하고 시뮬레이션은 많은 시간을 필요로 한다는 한계점이 존재한다. 따라서 본 논문에서는 밀리미터파 대역에서의 SINR 확률 분포를 Generalized Logistic Function 기반의 Curve-fitting을 통해 근사화할 수 있고 이를 활용해 인공지능경망을 학습시킴으로써 신속하게 다중셀 네트워크 성능을 도출할 수 있음을 보인다.

I. 서론

5G가 등장하면서 더 큰 용량의 데이터들을 사용하는 서비스가 가능해졌다. 특히 기존 대역보다 넓은 28GHz를 사용할 수 있게 되면서 이를 서비스에 활용하기 위해 밀리미터파 대역에 대한 연구가 활발해졌다. 하지만 밀리미터파 대역에서는 주변 방해물들의 영향과 빔포밍 송수신으로 인해 확률 기하 모델은 수학적식이 복잡하여 분석이 어렵고, 시스템 레벨 시뮬레이션은 네트워크 환경의 매개변수 간 상관관계가 복잡하여 시간이 많이 소요된다는 한계가 존재한다.

[1]에서는 밀리미터파 대역에서의 시스템 모델을 정립하고 확률 기하 기반으로 분석하였다. 하지만 여전히 복잡한 수학적식을 가진다는 한계가 있다. [2]-[3]에서는 순방향 네트워크에서의 성능을 기계학습을 기반으로 하여 분석하였으나, 상대적으로 네트워크 환경이 복잡한 밀리미터파 대역에서의 분석은 이뤄지지 않았다.

본 논문에서는 Generalized Logistic Function으로 Curve-fitting하여 SINR(signal to interference plus noise ratio) 확률 분포를 근사화한다. 또한 이를 통해 데이터 셋을 확보하여 인공지능경망을 학습시킴으로써 여러 시나리오에서 빠른 성능 분석을 할 수 있게 한다.

II. 시스템 모델 및 인공지능경망

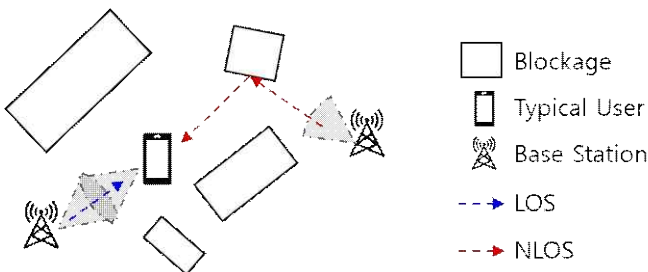


그림 1. 밀리미터파 대역 순방향 네트워크 모델

그림 1은 밀리미터파 대역 순방향 네트워크에서의 시스템 모델을 보여주

고 있다. 기지국은 밀도 λ 를 가지는 균일 프아송 점 과정(Poisson Point Process, PPP)에 따라 분포되며, 단말은 원점에 위치한다고 가정한다. 방해물은 사각형 형태로 무작위 과정에 따라 분포하고 관통될 수 없다. 이에 따라 채널 환경이 LoS(Line of Sight), NLoS(Non Line of Sight)로 구분되며 경로감쇄 또한 달라져 각각 경로감쇄지수 α_L, α_N 을 갖는다.

밀리미터파 대역은 주파수가 큰 만큼 경로 감쇄에 따른 손실이 큰 대신 짧은 파장으로 안테나 이득을 얻을 수 있다. 안테나 이득은 섹터화 된 안테나 모델로 근사화되며 각 송수신 장치의 메인 로브 이득 G , 사이드 로브 이득 g , 빔 폭 θ 에 의해 결정된다. 즉, 안테나 이득은 확률 $\{\frac{\theta\theta_r}{4\pi^2}, \frac{\theta_r(2\pi-\theta_r)}{4\pi^2}, \frac{(2\pi-\theta_r)\theta_r}{4\pi^2}, \frac{(2\pi-\theta_r)(2\pi-\theta_r)}{4\pi^2}\}$ 를 가지는 $\{G_t G_r, G_t g_r, g_t G_r, g_t g_r\}$ 값이다.

본 논문에서는 SINR 확률분포를 근사화하기 위해 Curve-fitting에 Generalized Logistic Function을 사용할 것을 제안한다. 점근적 상한은 1, 점근적 하한은 0이고 곡선의 성장률을 나타내는 매개변수를 $\nu \triangleq (\nu_0, \nu_1, \nu_2)$ 라고 할 때, 식은 다음과 같다.

$$\Pr\{SINR > \tau_{dB}\} \approx \frac{1}{(1 + \exp(-\nu_1 \tau_{dB} - \nu_0))^{\nu_2}} \quad (1)$$

(1)의 매개변수 ν 를 도출하기 위해서 $\lambda, \alpha_L, \alpha_N$ 을 입력으로 하는 인공지능경망을 설계한다. 인공지능경망은 총 7개의 hidden layer를 가지고 있으며 각각 20개, 16개, 8개, 8개, 5개, 3개, 2개의 뉴런들을 사용한다. 입력 변수는 표1과 같이 설정하였고 훈련 세트는 전체 데이터의 80%를 사용하였다. 또한 활성화함수는 Leaky-Relu를, 비용함수는 MSE(Mean Square Error)를 활용하였다. 전체 데이터 수는 n , Curve-fitting 값은 y_i , 인공지능경망을 통해 관찰한 값은 \hat{y}_i 라고 할 때 MSE 식은 다음과 같다.

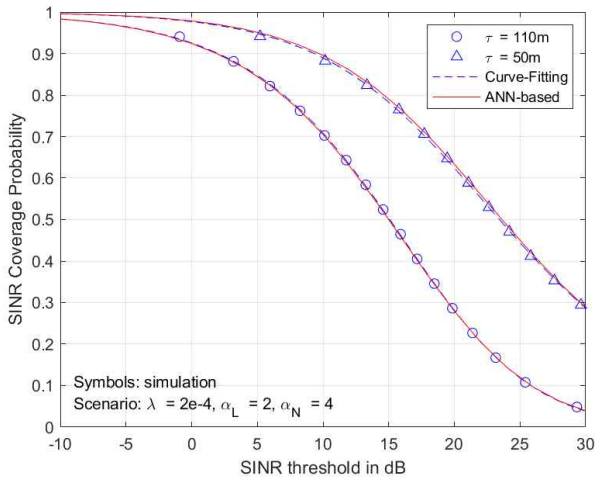
$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (2)$$

표 1. 네트워크 환경변수

변수	값
$\log \lambda$: 기지국 밀도의 로그값	$[\log(10^{-6}) : 0.04 : \log(2 \times 10^{-4})] m^{-2}$
α_L : LoS 경로감쇄지수	[2:0.1:2.5]
α_N : NLoS 경로감쇄지수	[3.5:0.1:4.5]
G_t, g_t, θ_t : 송신 안테나 매개변수	18 dB, -2 dB, 180 degrees
G_r, g_r, θ_r : 수신 안테나 매개변수	0 dB, 0 dB, 360 degrees

III. 성능 분석

표1의 네트워크 환경변수를 사용하여 시뮬레이션을 통해 SINR 확률 분포를 구하였고, 그 결과를 가지고 비선형 최소자승법(Non-linear least square)을 기반으로 하는 Curve-fitting을 통해 총 3828개의 데이터 세트를 확보하여 인공신경망을 학습시켰다. 그림 2는 평균 LoS 범위 τ 가 서로 다른 시나리오에서 ANN을 학습시킨 결과를 나타낸 그래프이다.



그래프에서 시뮬레이션 결과와 Curve-fitting의 결과가 일치하는 것을 확인할 수 있고, 이는 Generalized Logistic Function은 SINR 확률 분포를 잘 근사화하는 할 수 있음을 보인다. 또한 인공신경망도 일치하는 모습을 보여주는데, 이는 1에 가까운 값일수록 높은 신뢰도를 나타내는 R-square 값을 통해 평가할 수 있다. 두 인공신경망 모두 R-square 값이 0.9 이상이고 MSE가 10^{-3} 수준이므로 제안된 인공신경망을 통해 구한 값들을 신뢰할 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서의 다중셀 순방향 SINR 확률 분포는 Generalized Logistic Function을 통해 잘 Fitting될 수 있음을 보였다. 또한 인공신경망을 학습시켜 성능 분석을 잘 예측할 수 있음을 확인하였다. 이를 통해 여러 네트워크 환경에서 빠르게 SINR 확률 분포들을 얻을 수 있다. 향후 기계학습을 기반으로 더 다양한 네트워크 환경 변수들을 반영하여 정확한 네트워크 동작 변수를 설정할 수 있도록 연구해 나갈 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 2020년도 과학기술정보통신부의 재원으로 한국연구재단의 지

원을 받아 수행된 연구임(No.NRF-2019R1F1A1062870).

참 고 문 헌

- [1] T. Bai, R. W. Heath, "Coverage and rate analysis for millimeter-wave cellular networks," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 14, no. 2, pp. 11100-11114, Feb. 2015.
- [2] H. E. Hammouti, M. Ghogho, and S. A. R. Zaidi, "A machine learning approach to predicting coverage in random wireless networks," in *Proc. IEEE Globecom'18*, Abu Dhabi, Dec. 2018.
- [3] H.-K. Park, J. Um, S. Park and T. Kwon, "Downlink performance approximation of cellular networks via stochastic geometry and machine learning," *Journal of KICS*, vol. 45, no. 3, pp. 492-495, Mar. 2020.