

5G 이동통신 환경에서 음영지역의 전파손실 측정 관한 연구

김동옥

ICT폴리텍대학

dokim9432@daum.net,

A Study on Measuring Propagation Loss in Shadow Areas under 5G Mobile Communication Environments

Kim Dong Ok

ICT Polytechnic College

요약

본 논문은 5G 이동통신 환경에서 밀리미터파(mmWave) 주파수 대역의 전파 특성을 음영(shaded) 조건에서 실측하고 분석한 결과를 제시한다. 밀리미터파는 초고속 전송과 초저지연 통신을 가능하게 하지만, 강한 직진성과 낮은 투과력으로 인해 건축물, 수목, 차량 등에 의해 발생하는 음영 지역에서 심각한 신호 감쇠가 나타났다. 음영 환경에서 가시선(LOS) 대비 환경별 RSRP 차이를 측정한 결과로 도심 (Urban, n=3.5) 가장 급격히 감소, 건물·장애물로 인한 경로 손실이 큼, 교외 (Suburban, n=3.0) 완만하게 감소, 장애물은 있으나 도심보다 덜 심함, 실내 (Indoor, n=2.0) 가장 완만하게 감소, 경로 손실 지수가 낮은 것을 알 수 있음을 확인하였다.

또한 빔포밍과 지능형 반사면(Intelligent Reflecting Surface, IRS)의 적용이 음영 지역에서의 신호 품질을 확인하였다. 본 연구는 향후 5G 네트워크 설계 및 운용에서 음영 지역을 고려한 최적화 전략 마련에 기초 자료로 활용될 수 있는 결과를 확인하였다.

키워드: 5G, 3GPP, 통신, Massive MIMO, 초고속·초저지연·초신뢰

I. 서 론

5G 네트워크는 초고속 전송, 초저지연, 초연결을 실현하기 위해 밀리미터파 대역을 적극 활용한다. 그러나 밀리미터파는 높은 직진성과 낮은 투과 특성으로 인해 건축물, 수목, 차량 등에 의해 쉽게 차단되며, 이로 인해 음영지역에서 신호 품질이 급격히 저하된다. 따라서 음영지역의 전파 특성을 실측하고 분석하는 것은 안정적인 5G 네트워크 설계와 커버리지 확보에 필수적이다. 음영 환경에서의 전파 측정 및 분석은 5G 네트워크의 안정성과 효율적 운용을 위해 5G 기술의 보급과 함께 더욱 높은 주파수 (mmWave)의 활용이 증가하고 있다. [1][2]

5G 서비스 확대에 따라 음영지역(shaded/NLOS)에서도 안정적인 통신 품질 확보가 중요하다. 특히 mmWave 대역을 포함한 고주파수 영역에서는 장애물, 벽, 나무, 건물 구조 등에 의한 차단, 회절, 반사, 흡수 효과가 커서 신호 세기가 급감한다. 이 때문에 음영지역 전파손실 모델이 정확해야 기지국 배치, 커버리지 예측, 링크버짓(link budget) 설계, 빔포밍 및 중계장치 활용 등이 효과적일 수 있다.[3]

전파 손실을 음영지역 특화된 실측 연구를 위해 인천시 도시 환경에서 음영지역의 전파 손실 특성을 실측 → 기존 모델과 비교 → 음영지역 예측을 위한 보완된 모델 제안하고자 한다.[4]

II. 본론

2.1 전파경로손실(Propagation Path Loss)모델

대표적인 전파 모델로는 프리 스페이스 경로 손실(FSPL), COST 231 모델, 3GPP TR 38.901 모델이 있으며, LOS와 NLOS 환경을 구분하여 특성

을 설명한다. 그러나 실제 음영 지역의 특성을 충분히 반영하지는 못한다. 전파 경로 손실(Path Loss)은 무선 신호가 송신기에서 수신기로 전달되는 과정에서 신호 강도가 감소하는 현상을 말한다. 이는 무선 통신 환경에서 발생하는 필연적인 물리적 현상으로, 송신 전력과 수신 전력 간의 비율로 표현되며, 통신망 설계와 성능 분석에 있어 중요한 요소로 간주된다. 전파 경로 손실은 송수신 간의 거리, 지형(도심 또는 교외 등), 반송파 주파수, 전파 매체의 특성, 그리고 안테나의 높이와 위치 등 다양한 요인에 의해 영향을 받는다[5]

1) 자유 공간 경로 손실 모델 (Free Space Path Loss, FSPL)

자유 공간 경로 손실 모델 (Free Space Path Loss, FSPL)은 무선 신호가 장애물이 없는 개방된 공간에서 전파될 때 신호 강도를 예측하는 기본 모델이다. 이 모델은 송신기와 수신기 사이의 가시선(LOS) 조건을 가정하며, 전파거리와 주파수에 따라 감쇄하는 현상을 설명한다. 자유 공간 경로 손실은 다음과 같은 공식으로 자유 공간 경로 손실로 계산된다.

$$PL = 20\log_{10}(d) + 20\log_{10}(f) + 32.45 \quad ---(1)$$

PL 은 경로 손실(dB), d 는 송신기와 수신기 사이의 거리(km), f 는 반송파주파수(MHz), 32.45는 자유 공간 전파 상수를 의미한다. 이 모델은 환경적 요인을 고려하지 않기 때문에 실질적인 통신 환경에서는 한계가 있지만, 기본적인 경로 손실 계산에 유용하다[30-35].

2) 오쿠모라 모델 (Okumura Model)

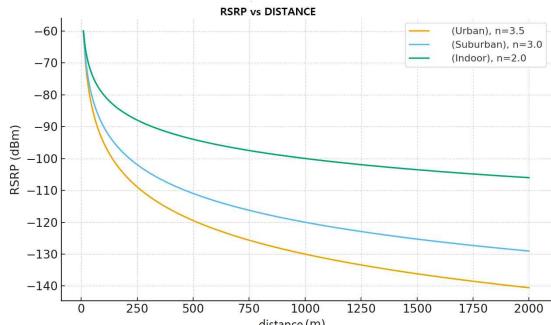
오쿠모라 모델 (Okumura Model)은 실험 데이터를 기반으로 한 경험적

경로 손실 모델로, 도시, 교외, 시골 환경의 전파손실을 예측하기 위해 개발되었다. 이 모델은 송신기와 수신기 사이의 거리, 주파수, 송신안테나와 수신 안테나의 높이뿐만 아니라, 지역 환경 특성까지 반영한다[30-35]

$$PL = L_{50} + A_{urban} + T_{Tx} - G_{Rx} \quad \text{---(2)}$$

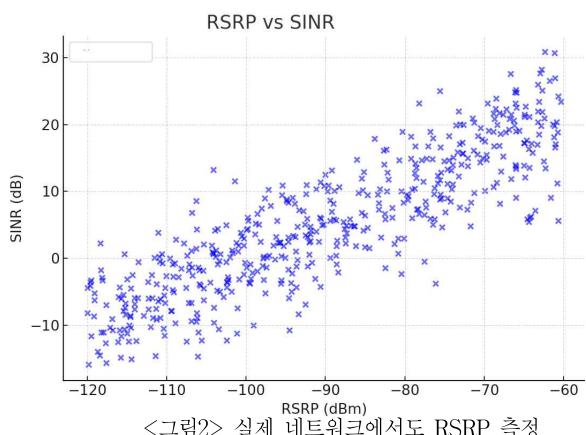
PL 은 기준 경로 손실, A_{urban}

은 도시 환경 손실, T_{Tx} , G_{Rx} 는 송수신 안테나 이득을 의미한다. 오크모라 모델은 도시와 교외 환경에서의 전파손실을 정확히 예측할 수 있지만, 계산 과정이 복잡하다는 단점이 있다.



<그림1> 환경별 RSRP 측정

그림1은 환경별 RSRP 차이를 측정한 결과로 도심(Urban, n=3.5)은 가장 급격히 감소, 건물·장애물로 인한 경로 손실이 큼, 교외 (Suburban, n=3.0)인 경우는 완만하게 감소, 장애물은 있으나 도심보다 덜 심함, 실내 (Indoor, n=2.0)는 가장 완만하게 감소, 경로 손실 지수가 낮음
이 그래프를 통해 환경별 RSRP 차이를 직관적으로 비교할 수 있었다.

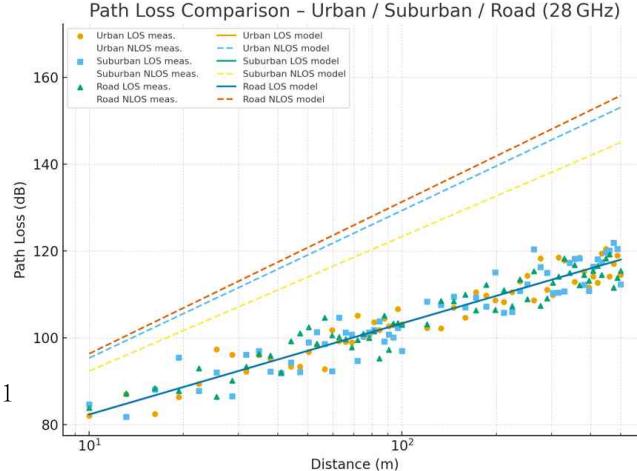


<그림2> 실제 네트워크에서도 RSRP 측정

X축은 RSRP (dBm), Y축은 SINR (dB)의 양의 상관관계가 보이지만, 간섭·잡음으로 인해 분산이 존재한다.

실제 네트워크에서도 RSRP가 높을수록 보통 SINR도 좋아지는 경향을 알 수 있었다.

그림3 그래프에서 볼 수 있듯이, LOS 구간에서는 실측 결과가 자유공간 모델과 3GPP UMi LOS 모델과 근접하게 나타났으며, NLOS 구간에서는 거리 증가와 함께 손실이 급격히 증가하고 변동 폭이 커지는 특성을 보였다. 이는 고층 건물에 의한 다중경로, 차폐, 산란 효과가 주요 원인으로 분석된다.



<그림3> 도시·교외·도로 환경의 5G(28 GHz) 경로 손실 비교

III. 결론

본 연구는 5G 밀리미터파 환경에서 음영지역의 전파 특성을 실측하고 그 영향을 분석하였다. 음영지역에서 추가 손실, 지연 확산, 동적 페이딩 등이 발생함을 확인하였으며, 이를 개선하기 위해 소형 셀 밀집 배치, 적응형 빔 관리, IRS 활용, Sub-6 GHz와의 융합 운용이 필요함을 제시하였다. 향후 연구에서는 머신러닝 기반 음영 예측 모델 개발과 지능형 빔포밍 기법을 적용하여 안정적인 5G 통신 품질 확보를 목표로 한다.

ACKNOWLEDGMENT

ICT폴리텍대학의 연구비 지원으로 연구되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Sun, T. A. Thomas, T. S. Rappaport, H. Nguyen, I. Z. Kovács, I. Rodrigue, "Path Loss, Shadow Fading, and Line-Of-Sight Probability Models for 5G Urban Macro-Cellular Scenarios," arXiv, 2019.
- [2] T. Xu, N. Xu, J. Gao, Y. Zhou, H. Ma, "Path Loss Prediction Model of 5G Signal Based on Fusing Data and XGBoost-SHAP Method," Sensors, 2025 Davies R. W. "The Data Encryption standard in perspective," Computer Security and the Data Encryption Standard, pp. 129-132.
- [3] Miles E. Smid, "From DES to AES," 2000, 3GPP TR 38.901, Study on channel model for frequencies from 0.5 to 100 GHz. Rappaport, T. S., et al., "Millimeter wave mobile communications for 5G cellular: It will work!", IEEE Access, 2003.
- [4] MacCartney, G. R., & Rappaport, T. S., "Millimeter-wave base station diversity for 5G coordination.", IEEE ICC, 2010.
- [5] Shamir, A. "On the security of DES," Advances in Cryptology, Proc.Crypto '85, pp. 280-285, Aug. 2015.
- [6] NIST, "Announcing the Advanced Encryption Standard(AES)," FIPS PUB ZZZ, 2019,
- [7] Daemen, J., and Rijmen, V. "AES Proposal: Rijndael, Version2.," Submission to NIST, March 2011.