

# SINR 분포 및 경사 하강 알고리즘 기반 커버리지 최적화 기법

Chen Zhihui, Fu Zhilin, 이인규  
고려대학교

zhihui@korea.ac.kr, celynnfu@korea.ac.kr, inkyu@korea.ac.kr

## SINR distribution and Gradient Descent Algorithm based Coverage Optimization

Chen Zhihui, Fu Zhilin, and Inkyu Lee  
Korea Univ.

### 요약

본 논문은 대규모 페이딩 환경 시스템에서 신호 대 간섭 잡음비(Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio; SINR) 확률밀도함수(Probability density function; PDF)와 경사하강법을 이용하여 셀 커버리지를 최대화하는 기법을 다룬다. 서빙 및 간섭 셀로부터 수신되는 신호가 경로손실 및 log-normal shadowing 채널을 겪는다는 가정하에 다운링크에 대한 SINR PDF를 분석하고, 안테나 수직각의 기울기를 이용하여 경사하강법을 채택함으로써 커버리지비율(coverage ratio) 및 셀 안테나 수직각을 최적화하였다.

### I. 서론

최근, 모바일 데이터 트래픽의 폭발적인 증가는 셀룰러 네트워크의 커버리지와 용량에 대해 더 높은 요구 사항을 제시하고 있다. 이는 네트워크 관리자와 운영자가 어떻게 광범위한 사용자에게 서비스를 제공하고 만족도를 높여야 할지에 대한 중대한 과제로 이어진다[1].

이론적인 관점에서, 모바일 네트워크 계획 단계 또는 기존 네트워크 최적화 단계에서 CCO(Coverage and Capacity Optimization)는 기지국과 관련된 조정 가능한 매개 변수에 따라 수행된다. 그중에서도 기울기는 네트워크 자가 조정에 대해 매우 효율적인 매개변수로 취급된다.

CCO의 다양한 방법을 다루는 많은 연구에서는 주요한 목표인 신호 대 간섭 잡음비(Signal-to-Interference-plus-Noise Ratio; SINR)를 다룰 때 대규모 페이딩 환경 시스템을 타겟으로 잡고 있으나 경로손실만 겪는 채널을 가정하고 있다. 실제 통신 환경에서는 신호가 전송될 때 기지국과 단말 사이의 장애물의 영향을 받아 랜덤한 분포를 가지고 있다. 경로손실만 고려하는 대신 shadowing의 영향을 고려하여 SINR 확률밀도함수(Probability density function; PDF)를 추정하면 더 정확하고 신뢰할 수 있는 커버리지 추정을 얻을 수 있다. 이는 커버리지 최적화 알고리즘의 성능 및 신뢰성을 향상시키고 단말에 의해 인식되는 품질을 개선한다[2].

본 논문에서는 shadowing의 영향을 고려하여 SINR PDF를 구하고 해당 분포의 평균값의 수식으로 안테나 수직각에 대한 기울기를 구한 다음 이를 이용하여 경사하강법을 실행한다.

### II. 본론

본 논문에서는 서로 다른 전송력과 3개의 안테나를 가진 셀들의 집합으로 구성된 무선 네트워크를 고려한다.

각 단말은 서비스 안테나로부터 유용한 신호를 수신하고, 서비스 안테나를 제외한 기타 안테나로부터 간섭 신호를 수신한다.

$P_{tx}$ 를 셀 파워,  $G_{j,k}$ 를 안테나 이득,  $L_{j,k}$ 를 신호 손실이라고 정의하면, 단말  $k$ 가 안테나  $j$ 로부터 얻는 신호 크기는 아래와 같이 표시된다.

$$Pr_{j,k}|_{dBm} = P_{tx}|_{dBm} + G_{j,k}|_{dB} + L_{j,k}|_{dB} \quad (1)$$

셀룰러 네트워크의 모델링을 용이하게 하기 위해, 3GPP가 제안하는 단순화된 안테나 방사선 패턴을 채택하였다[3]. 안테나 이득은 단말과 안테나의 상대적 위치와 안테나 수평 및 수직각의 함수이다.

$$G_{j,k} = -\min\{-[G_H(\psi_{j,k}) + G_V(\phi_{j,k})], G_m\} + G_{max} \quad (2)$$

$$\psi_{j,k} = a_{j,k} - \alpha_j, \quad \phi_{j,k} = b_{j,k} - \beta_j \quad (3)$$

대규모 페이딩 중의 신호 손실은 경로손실과 log-normal 페이딩 두 부분으로 구성된다.

$$L_{j,k} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0}\right)^2 \left[\frac{d_0}{d_{j,k}}\right]^l 10^{\frac{\varepsilon_{j,k}}{10}}, \quad \varepsilon_{j,k} \sim N(0, \sigma_{j,k}^2) \quad (4)$$

기준 신호 수신 전력(Reference Signal Received Power; RSRP) 및 서비스 안테나는 다음과 같이 정의된다.  $J(n)$ 는 안테나 인덱스의 집합이고  $J$ 는 안테나 총 개수이다.

$$RSRP_k|_{dBm} = \max_{j \in J(n)} Pr_{j,k}|_{dBm} \quad (5)$$

$$s = \arg \max_{j \in J(n)} Pr_{j,k}|_{dBm} \quad (6)$$

따라서, 단말  $k$ 의 신호 대 간섭 잡음비는 아래와 같이 표시된다.

$$SINR_k = 10 \log_{10} \frac{RSRP_k|_{mW}}{\text{Noise}|_{mW} + \sum_{j \in J(k), j \neq s} Pr_{j,k}|_{mW}} \quad (7)$$

위의 수식들에 따라, 윌킨슨 방법[4]으로 SINR 분포의 수식을 얻으면 다음과 같다.

$$\text{SINR}_k|_{dB} \sim N(-m_x, \sigma_x^2) \quad (8)$$

$$\text{where } \begin{cases} m_x = \frac{1}{\eta} m_z = \frac{1}{\eta} \left( 2 \ln u_1 - \frac{1}{2} \ln u_2 \right) \\ \sigma_x = \frac{1}{\eta} \sigma_z = \frac{1}{\eta} \sqrt{\ln u_2 - 2 \ln u_1} \end{cases}$$

그중,  $u_1 = \sum_{j=1}^J e^{m_{Y_{j,k}} + \frac{1}{2} \sigma_{Y_{j,k}}^2}$ ,  $u_2 = \sum_{j=1}^J e^{2m_{Y_{j,k}} + 2\sigma_{Y_{j,k}}^2} + 2 \sum_{i=1}^{J-1} \sum_{j=i+1}^J e^{m_{Y_{i,k}} + m_{Y_{j,k}}} \cdot e^{\frac{1}{2}(\sigma_{Y_{i,k}}^2 + \sigma_{Y_{j,k}}^2 + 2\eta^2 \sigma_{s,k}^2)}$  이다.  $m_{Y_{j,k}}$  는 안테나 이득과 경로손실에 관한 함수이고  $\sigma_{Y_{j,k}}^2$  는 단말과 각 안테나 사이의 shadowing 크기의 함수이다.

RSRP 와 SINR 의 크기가 동시에 각 기준치를 만족할 때 셀 서비스 범위에 포함됨으로 정의하면 단말 k 의 커버리지 인디케이터는 아래와 같이 표시된다.

$$f_k \triangleq \min[u(\text{RSRP}_k - \text{TH}_{\text{RSRP}}), u(\text{SINR}_k - \text{TH}_{\text{SINR}})] \quad (9)$$

$$u(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq 0 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

S 를 단말의 총 개수로 정의하면, 해당 무선 네트워크의 커버리지비율은 다음과 같다.

$$C = \frac{\hat{S}}{S} = \frac{\sum_{k=1}^S f_k}{S} \quad (10)$$

따라서, 수직각  $\beta$  의 조정에 따른 커버리지 최적화 문제를 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\max_{\beta} C(\beta) = \frac{1}{S} \sum_{k=1}^S f_k(\beta) \quad (11)$$

$$\text{s.t. } \beta^L \leq \beta_j \leq \beta^U, 1 \leq j \leq J$$

### III. 모의실험 및 결론

성능 비교를 위해 [5]에서 제안된 파라미터 세팅을 이용하였으며 수식으로 얻은 SINR PDF, 수렴속도 및 수렴된 커버리지비율 관점에서 성능 비교를 수행하였다.

<그림 1>에서 수식으로 얻은 SINR PDF와 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 얻은 그래프의 성능을 비교한다. 이 실험에서 수신된 신호의 모든 shadowing은 독립적이고 동일한 표준 편차를 가지고 있다고 가정하였다. 실제 SINR의 그래프와 비교 분석해보면 성능이 전체적으로 매우 근접하게 나타내고 있으므로 관련 수식으로 커버리지 최적화 문제를 수행할 수 있음을 증명한다.

<그림 2>에서 완전탐색으로 찾은 커버리지 최대치와 부동한 배치 사이즈의 경사하강법으로 얻은 성능을 비교한다. 경사하강법으로 수렴된 커버리지 비율은 완전탐색으로 찾은 최대치의 95%까지 달성하였고, 배치 사이즈가 다름에 따라 성능과 안정성에서 차이가 나고 있음을 볼 수 있다. 배치 사이즈가 작을수록 빨리 수렴되지만 일정한 수치에 도달하면 수렴이 불안정해지고 성능이 저하하게 된다.

본 논문에서는 SINR 확률밀도함수와 커버리지 최적화 문제를 수학적으로 분석하여 수직각에 따른 경사하강법으로 커버리지비율을 최적화하였다. 얻은 SINR PDF는 실제 분포와 매우 흡사하고 경사하강법으로 얻은 성능도 완전탐색으로 얻은 최대치에 근접하므로 해당 연구는 실제 커버리지 최적화 문제에 있어서 참고 가치가 있음을 증명한다.

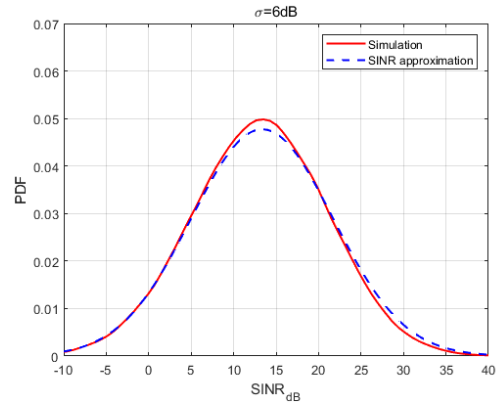


그림1. 랜덤유저의 SINR PDF 성능 비교 그래프

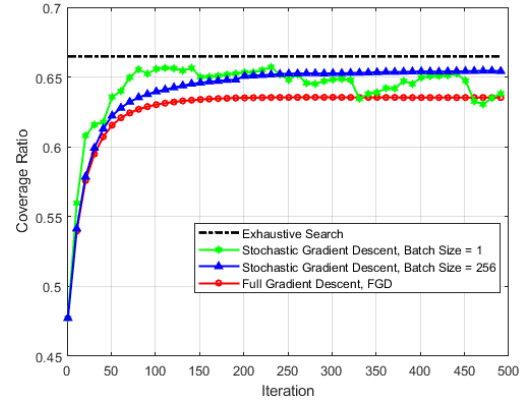


그림2. 부동한 배치 사이즈에서의 성능 비교 그래프

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2022 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(2021-0-01651,5G 표준 특허 기술 분석)과 한국연구재단의 지원을 공동으로 받아 수행되었음(No. 2022R1A5A1027646).

### 참 고 문 헌

- [1] N. Al-Falahy and O. Y. Alani, "Technologies for 5G Networks: Challenges and Opportunities," in IT Professional, vol. 19, no. 1, pp. 12-20, Jan.-Feb. 2017.
- [2] I. Hadj-Kacem, H. Braham and S. B. Jemaa, "SINR and Rate Distributions for Downlink Cellular Networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 19, no. 7, pp. 4604-4616, July 2020.
- [3] Further Advancements for E-UTRA Physical Layer Aspects, document TR 36.814, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), 3GPP, 2017.
- [4] L. Fenton, "The Sum of Log-Normal Probability Distributions in Scatter Transmission Systems," in IRE Transactions on Communications Systems, vol. 8, no. 1, pp. 57-67, March 1960.
- [5] Y. Liu, W. Huangfu, H. Zhang and K. Long, "An Efficient Stochastic Gradient Descent Algorithm to Maximize the Coverage of Cellular Networks," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol. 18, no. 7, pp. 3424-3436, July 2019.