밀집 네트워크 환경에서 에너지 효율 향상을 위한 바이너리 지수 전력 제어 기법

이원석, 정방철*, 이호원
한경대학교 전기전자제어공학과, *충남대학교 전자공학과
longtimep@hknu.ac.kr, *bcjung@cnu.ac.kr, hwlee@hknu.ac.kr

Binary exponential power control for improving energy efficiency in dense networks

Wonseok Lee, Bang Chul Jung* and Howon Lee
Hankyong National University, *Chungnam National University

요 약

5G 이동통신에서는 사용자가 폭발적으로 증가할 것이다. 사용자가 증가하는 것을 충족시키기 위해 기지국도 증가할 것이고, 증가하는 기지국만큼 네트워크에서 소비하는 에너지도 증가하게 된다. 본 논문에서는 네트워크에서 증가하는 기지국과 사용자 환경에서 기지국의 에너지 소비를 줄이기 위해 사용자의 아웃티지를 분석하여 그에 따라 기지국 전송파워를 바이너리 지수적으로 증가시키기나 감소시키는 방안을 제안하고, 기존의 전력 제어를 하지 않는 방안, 보르노이 셀 영역의 최대거리를 고려한 전력제어 방안들과 제안방안의 성능을 Stochastic geometry 모델링 기반 시뮬레이션을 통해 비교 분석하였다.

Ⅰ. 서 론

미래 네트워크에 들어서면서 사용자 디바이스들이 급격하게 증가할 것이고[1-2], 이를 충족시키기 위해 피코 셀과 펨토 셀 같은 수많은 스몰 셀 기지국들이 도입될 것이다[3-4]. 또한 통신주파수의 포화로 인하여 사용 주파수 대역이 점점 높아지고 있고, 최근 밀리미터파를 이용한 통신기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 이에 따라 기지국의 전송영역은 작아지는 추세를 보인다[5]. 증가하는 기지국에 따라 에너지 소비 또한 늘어날 것이고, 에너지를 효율적으로 절약하기 위한 방안이 필요하다. 기본적인 전력 제어를 하지 않는 방안을 생각해볼 수 있고, 에너지 효율을 증가시키기 위해 기지국의 전송영역 가장자리에 있는 사용자에게 최소 수신 파워를 보장해주기 위해 기지국의 전력을 적응적으로 제어하는 방안을 고려해볼 수 있다. 기지국이 전력을 항상 최대로 사용하고 있는 상황에서는 위와 같은 방안이 좋은 효율을 보일 수 있지만 미래에는 스몰 셀 기지국들이 증가 할 것이고, 이러한 스몰 셀 기지국들은 마크로 기지국에 비해서 크지 않은 전력을 가지고 있다. 그래서, 본 논문에서는 스몰 셀 환경에서 사용자의 Signal-to-Interference plus Noise Ratio(SINR)에 따라 기지국의 전력을 바이너리 지수적으로 증가시키거나 감소시키는 방안을 제안한다. 성능분석은 네트워크의 특징을 직관적이고 간략하게 반영할 수 있으며 수학적인 접근을 통해 네트워크의 성능을 평가 할 수 있는 Stochastic geometry를 이용하여 수행하였다[6].

Ⅱ. 사용자 SINR을 이용한 기지국 전력 제어 방안

Ⅱ-A. 네트워크 모델

일반적으로 사용자와 기지국은 일정한 간격을 두고 배치되어 있지 않으며 이러한 현실적인 상황을 고려하기 위한 시스템 모델링 방법으로 Poisson Point Process(PPP)가 주로 사용된다. PPP에서 기지국들의 영역은 보르노이 다이어그램에 의해서 나누어지게 된다. 본 논문에서는, 다운링크 전송을 고려하였으며, 사용자들은 자신과 가장 가까운 기지국으로부터 데이터를 수신한다. 그림 1을 보면 네트워크 모델의 예가 나와 있다.

λ_b와 λ_u는 각각 기지국과 사용자의 밀도(density)를 의미하고, PPP에 의해서 기지국(사용자)이 생성 된다. n명의 기지국(사용자)이 있을 확률은 식 (1)에 기지국과 사용자의 밀도(density)를 대입하면 알 수 있다.

$$P(n) = \frac{(\lambda S)^n}{n!} e^{-\lambda S}. \quad (1)$$

보르노이 다이어그램에 의해 만들어지는 각 보르노이 셀 영역의 공간 분포 S는 형상모수(shape parameter) = 3.5, 평균(mean) $1/\lambda_b$ 인 감마

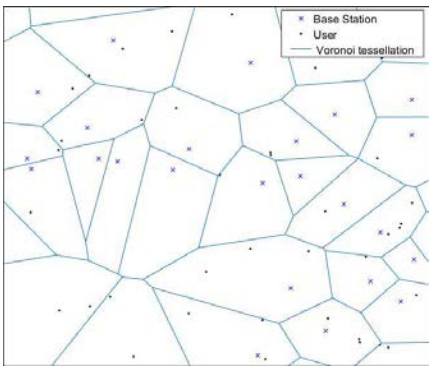

그림 1. Voronoi tessellation

분포로 표현될 수 있으며, 식 (2)와 같다[7].

$$f_S(s) \approx \frac{3.5^{3.5}}{\Gamma(3.5)} \lambda_b^{3.5} s^{2.5} e^{-3.5\lambda_b s}. \quad (2)$$

보로노이 셀 영역에 사용자가 없을 확률은 식 (3)과 같이 정의 되고, 기지국영역에 사용자가 없으면 기지국은 통신을 하지 않는다[8].

$$P_{empty} = \int_0^\infty e^{-\lambda_u x} f_S(s) ds \approx \left(1 + \frac{\lambda_u}{3.5\lambda_b}\right)^{-3.5}. \quad (3)$$

기지국에서 소비하는 파워는 $P_{BS} = P_t/\eta + P_c + P_0$와 같이 정의된다[9]. P_t는 전송 파워, P_c는 RF회로에서 소비되는 파워, P_0는 기지국이 유지되는데 필요한 파워, η은 증폭 효율을 의미한다.

수신기 y가 송신기 x로부터 받는 신호의 SINR은 식 (4)과 같이 정의된다.

$$\gamma(y) = \frac{P_t(x_0) A h_{x_0 y} \|x_0 - y\|^{-\alpha}}{\sum_{x \in I} P_t(x) A h_{xy} \|x - y\|^{-\alpha} + N}. \quad (4)$$

여기서, Pt는 전송파워, A는 전파 상수, h는 채널 이득, ||.||은 유클라디안 거리, α는 path-loss exponent, N은 노이즈를 의미한다. SINR을 기반으로 커버리지와 아웃티지 확률이 결정되어지는데 커버리지 확률은 SINR이 임계 값(θ)보다 높다는 것을 의미하고 커버리지 확률 P_c = P[SINR $\geq$ θ], 아웃티지 확률 $P_o = 1 - P_c$과 같이 정의된다.

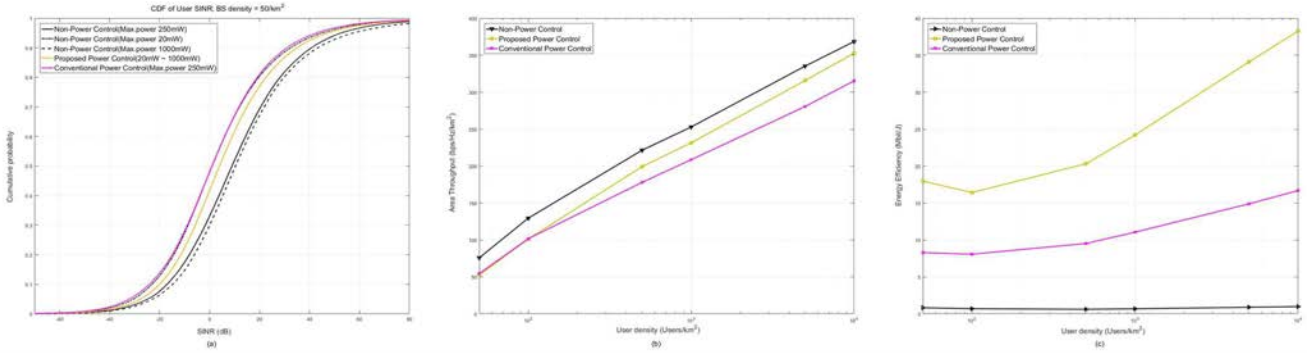

그림 2. (a) User SINR CDF; (b) Area Throughput vs. User density; (c) Energy Efficiency vs. User density

Ⅱ-B. 바이너리 지수 전력 제어 방안

전송파워를 두 배로 올리거나 두 배로 줄이는 방안이며, 조건은 다음과 같이 정의되며, 식 (5)와 같이 표현된다.

(1) 보르노이 셀 영역에 사용자들의 SINR이 임계 값(θ)보다 높은 사용자가 N_{th}명 이상 있을 때 기지국의 전송파워를 1/2 감소시킨다.

(2) 보르노이 셀 영역에 사용자들의 SINR이 임계 값(θ)보다 높은 사용자가 N_{th}명 이상 있지 않을 때 기지국의 전송파워를 두 배 증가시킨다.

$$BS_{Power} = \begin{cases} \frac{1}{2} \times P_{ref} \ , & when \quad m \geq N_{th} \\ 2 \times P_{ref} \ , & when \quad m < N_{th} \end{cases}. \qquad (5)$$

P_{ref}는 피코 셀의 전송파워 250mW이고, m은 SINR이 임계 값(θ)보다 높은 사용자 수를 의미한다. 또한, 기지국에서 변할 수 있는 파워 범위는 [20mW(펨토 셀 전송파워)~1000mW]이다.

BS의 파워가 증가할 확률은 식 (6)과 같이 표현된다.

$$P_{BS} = \sum_{i=N_{th}}^{\infty} \frac{(\lambda_u S)^i}{i!} e^{-\lambda_u S} \times \left(\sum_{m=N_{th}}^{i} {}_iC_m P_c^m (1-P_c)^{i-m} \right). \qquad (6)$$

사용자의 수가 i명이 있을 때 i명중에 Nth명 이상이 커버리지 확률이고 나머지의 사용자가 아웃티지 확률일 때를 의미한다.

위와 같은 상황에서 전체 네트워크에서 기지국의 전송파워가 증가 할 확률은 식 (7)과 같이 표현된다.

$$P_u(N_{th}) = \int_0^{\infty} \left[\sum_{i=N_{th}}^{\infty} \frac{(\lambda_u S)^i}{i!} e^{-\lambda_u S} \times \left(\sum_{m=N_{th}}^{i} {}_iC_m P_c^m (1-P_c)^{i-m} \right) \right] f_S(s) ds. \qquad (7)$$

Ⅲ. 성능 평가 및 결론

시뮬레이션 시, 기지국의 밀도는 50/km^2, θ는 -5dB, 전체 사용자 수는 50~10000 으로 하였다. 또한, 성능 평가는 용량(Capacity)/면적(Area)인 Area Throughput과 용량(Capacity)/파워(Power)인 Energy Efficiency 두 가지에 대해서 하였고, 성능 비교는 전력제어를 하지 않는 방안(Non-Power Control)과 보로노이 셀 영역의 최대거리를 고려하는 전력제어 방안(Conventional Power Control), 그리고 사용자 SINR을 고려하여 아웃티지를 분석하고 적응적으로 전력을 제어하는 제안방안(Proposed Power Control), 이렇게 세 가지에 대해서 비교하였다. 이를 순서대로, 전력제어가 없는 기존방안, 전력제어가 있는 기존방안, 그리고 전력제어가 있는 제안방안으로 명시하였다.

그림 2.(a)를 보면 각 주제에 대한 SINR CDF 그래프를 볼 수 있는데, 전력 제어가 있는 기존방안과 함께 제안방안의 사용자 SINR이 전력 제어가 없는 기존방안보다 낮은 것을 볼 수 있는데, 이는 전송파워를 줄임으로써 SINR이 낮아지게 되기 때문이다. 사용자 SINR이 낮아지므로 전체 네트워크에 용량도 함께 낮아지게 되는 현상이 발생하고, 그림 2.(b)에서 보는 것과 같이 전력제어가 있는 기존방안과 제안방안의 Area Throughput이 낮아지게 되는 현상을 볼 수 있다. 또한, 그림 2.(b)에서 전력제어가 있는 제안방안이 전력제어가 있는 기존방안보다 Area Throughput이 높게 나오는 것을 볼 수 있는데, 이는 전력제어가 있는 기존방안의 방식은 기지국의 전송영역에 맞게 전송파워를 줄이기만 하여 사용자 SINR이 안 좋아질 수밖에 없기 때문이다. 반면에, 전력제어가 있는 제안방안의 방식은 사용자의 SINR이 임계 값(θ)보다 낮은 사용자가 많을 때 기지국의 전송파워를 높여서 사용자의 SINR을 높게 만드는 방식이기 때문에 전력제어가 있는 기존방안보다는 Area Throughput이 좋아지게 된다. 그림 2.(c)를 보면 전력제어를 하는 방안이 전력제어를 하지 않는 방안보다 에너지 효율이 상대적으로 높은 결과를 볼 수 있는데, 이는 기지국에서 두 배의 전송파워를 줄여도 용량이 두 배 감소하지 않다는 것을 의미한다. 즉 전력과 용량간의 관계가 선형적이지 않다는 것을 의미하는 것이다. 또한, 전력제어가 있는 제안방안이 전력제어가 있는 기존방안보다 에너지 효율이 높은 것을 볼 수 있는데, 전력제어가 있는 기존방안의 경우 보로노이 다이어그램에 의해 나누어진 보로노이 셀 영역에서 기지국과 보로노이 셀 영역의 최대거리(Cell edge)가 기지국에서 최대전송파워로 사용하였을 때 도달할 수 있는 거리보다 작을 때 기지국의 전력을 줄일 수 있다. 즉, 기지국이 가지고 있는 전력이 작다면 기지국의 밀도가 높아야지만 전력을 줄일 수 있는 한계점이 있다. 전력제어가 있는 제안방안에서는 기지국 밀도에 영향을 받지 않고 스몰 셀 기지국과 같이 전력이 작은 상황에서 사용자 SINR을 고려하여 아웃티지를 분석하고 적응적으로 전력을 결정하는 방식이기 때문에 제안방안의 에너지효율이 높게 나오는 것을 볼 수 있다.

따라서, 제안하는 방안이 미래의 네트워크 환경에서 네트워크의 에너지 효율을 높일 수 있는 방안이 될 수 있을 것이다. 향후에는, 사용자의 밀집도를 고려하는 상황에서 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있는 방안에 대해서 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1272, 단말 협업형 Giga급 스마트 클라우드릿 핵심기술 개발]

참 고 문 헌

[1] ITU-R, "IMT vision-framework and overall objectives of the future development of IMT for 2020 and beyond," ITU-R WP 5D working document, Oct. 2013.

[2] H. Lee et al., "Performance Evaluation of Device-to-Device Communications Based on System-Level Simulation in Cellular Networks," ISSN 1226-4717, vol. 38B, no. 4, pp. 229-239, 2013.

[3] I. Hwang et al., "A holistic view on hyper-dense heterogeneous and small cell networks," IEEE Commun. Mag., vol. 51, no. 6, pp. 20-27, June 2013.

[4] H. Lee et al., "Paradigm Shift in 5G Services," The Magazine of the IEIE, Apr. 2016

[5] D. Maamari et al., "Coverage in mmWave Cellular Networks WIth Base Staton Co-operation," IEEE Transactions on Wireless Communication., vol. 15, no. 4, pp. 2981-2994, Jan. 2014.

[6] H. ElSawy et al., "Stochastic Geometry for Modeling, Analysis, and Design of Multi-Tier and Congnitive Cellular Wireless Networks: A Survey," IEEE Communications Surveys & Tutorials., vol. 15, no.3, pp. 996-1019, June. 2013.

[7] J. S. Ferenca et al., "On the size distribution of Poisson Voronoi cells," Physica A: Stat. Mechanics and its App. , vol. 385, no. 2, pp. 518-526, 2007.

[8] I. Ashraf et al., "Sleep mode techniques for smallcell deployments," IEEE Commun. Mag., vol. 49, no. 8, pp. 72-79, Aug.2011.

[9] G. Auer et al., "How much energy is needed to run a wireless network?," Wireless Commun., vol. 18, no. 5, pp. 40-49, Oct. 2011.