

고밀도 네트워크에서 트래픽 예측을 이용한 스몰셀 범위 조정 알고리즘

조영준, 유현민, 김유빈, 이성진, 홍인기
경희대학교 전자정보융합공학과

rkdtmd34, yhm1620, dbqls15, 2018104048, ekhong@khu.ac.kr

Small Cell Coverage Adjustment Algorithm Using Traffic Prediction In Ultra-Dense Network

Young-Jun Cho, Hyeon-Min Yoo, Yu-Vin Kim, Sung-Jin Lee, Een-Kee Hong
Dept. of Electronics and Information Convergence Engineering Kyung Hee University

요약

UDN (Ultra-Dense Network) 환경은 5G 통신에서 중요한 부분으로, 대규모 트래픽이 발생하는 특정 지역 (사무실, 학교, 주거 지역, 공항 등의 인구 밀집 지역)에 복수 개의 스몰셀을 밀집하게 배치하여 초고속, 초저지연 데이터 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 특정 지역에는 사용자가 많고, 이동성이 강해 트래픽 수요량이 시간에 따라 급격하게 달라지므로 UDN 환경의 스몰셀 간에 load imbalance를 초래한다. 이는 모든 사용자의 QoS (Quality of Service)를 보장하지 못하는 현상으로 이어진다. 따라서 본 논문에서는 트래픽 예측을 이용한 UDN 환경 스몰셀 간 load balancing 향상 기법을 제안한다. 트래픽 예측을 이용해 스몰셀 간 처리할 트래픽 양을 파악하여, LTE 이기종 네트워크에서 스몰셀의 coverage를 조절했던 CRE (Cell Range Expansion) 기술과 접목하여 coverage를 조정하면, load의 imbalance를 줄일 수 있다. 시뮬레이션 결과, SNR이 저하되는 경향이 있지만, capacity 측면에서 개선된 것을 확인했다.

I. 서론

이동통신 기술의 발전에 따라 통신이 필요한 서비스 (VR, OTT 서비스, 자율주행 등)가 많이 등장하였다. 이를 이용하는 사용자도 증가하고 있으므로, 1인당 평균 데이터 사용량은 기하급수적으로 증가하고 있다. 트래픽이 증가함에 따라 네트워크 장애가 빈번하게 발생하게 되었고, 이를 방지하기 위한 목적으로 LTE Release 10에서는 면적 당 셀 capacity를 증가시켜 QoS를 향상할 수 있는 이기종 네트워크 구조가 처음 탄생했다 [1]. 이후, 구축 비용이 적은 스몰셀의 중요성이 커졌고, 트래픽이 집중되는 지역에 복수 개의 스몰셀을 밀집하게 배치하는 UDN (Ultra-Dense Network) 환경이 5G NR에서 소개됐다.

LTE 이기종 네트워크에서 스몰셀의 coverage를 조절하는 기술 중 하나는 CRE (Cell Range Expansion) 기술이다 [2]. 이를 이용하면 매크로 셀의 과부하를 줄일 수 있고 음영 지역에서의 통신도 가능하게 한다. 하지만 UDN 환경에서는 인접한 스몰셀들 사이의 간섭, 시공간적 트래픽 수요의 급격한 변화로 인해 스몰셀 간 imbalance는 지금의 CRE 기술만으로는 처리하는 데 한계가 있다 [3].

따라서 본 논문은 UDN 환경의 스몰셀들 사이에 load balancing을 구현하기 위해 트래픽 예측을 한 후, 이를 반영한 CRE 기술을 사용하는 기법을 제안한다. 기존의 CRE는 급격한 변화에 따른 즉각적 대응이 좋지 않다. 따라서 그림 1과 같이 각 스몰셀의 미래 특정 시간 동안 트래픽 양을 예측한 후, 예측값을 기반으로 bias 값을 계산하여, 미래의 해당 시간 동안 계산된 bias값을 적용해 스몰셀들의 coverage를 수정하는 과정으로 진행했다.

II. 본론

본 논문에서는 예측률을 100%로 가정하고, 단말기가 사용하는 데이터는 임의로 만들었다. 표 1과 같이 시간당 어플리케이션 데이터 사용량 추정값을 목록화했다.

표 1. 시간당 어플리케이션 데이터 사용량 추정값

Application	Value
Internet	0.53 GB
SNS	1.49 GB
Video	22.5 GB
Music	2.86 GB
Video Chat	10 GB
Game	0.79 GB

단말기는 각 시간 순서마다 어플리케이션을 선택해 사용할 수 있게 설정하여 데이터 사용값을 배열로 저장했다. 랜덤으로 지정했으므로, 각 단말이 시간당 사용하는 데이터 사용량은 다양하게 분포되어 있다. 이 배열을 통해 기지국은 자신이 처리해야 할 트래픽 양을 정확히 알 수 있도록 시뮬레이션을 구성했다. 표 2는 시뮬레이션 환경 구축에 사용한 파라미터를 정리한 것이다. 기지국과 단말기의 위치는 homogeneous Poisson point process를 이용해 그림 2와 같이 분포시켰다.

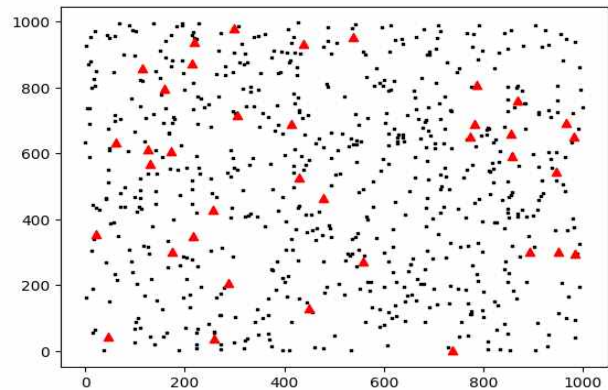


그림 2. 기지국과 단말기 배치도

$$Pathloss(d_s, f_c) = 10\alpha \log_{10}(d_s) + \beta + 10\gamma \log_{10}(f_c) + X_o \quad (1)$$

식 (1)은 표 2의 path loss model 수식에 해당한다 [4]. 위 식의 파라미터는 표 3의 값으로 적용했다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Number of UEs	667
Number of SBSs	37
Covered Area	1000*1000 m ²
Total simulation time	10 hours
Predict period	1 hour

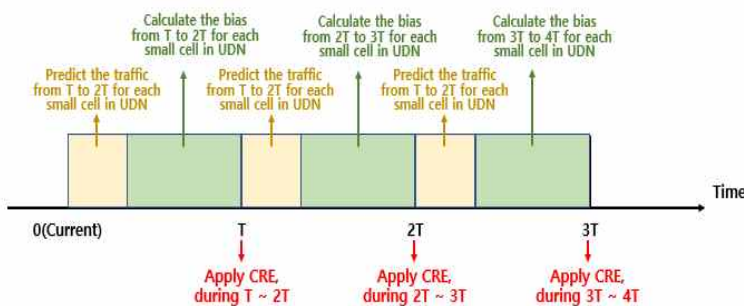


그림 1. 트래픽 예측을 이용한 load balancing 향상 기법

Carrier frequency	28 GHz
Transmit power	30 dBm
Antenna gain	18 dBi
Bandwidth	800 MHz
Noise spectral density	-174 dBm / Hz
Path loss model	ITU-R P.1411-10

표 3. ITU-R P.1411-10 α, β, γ Shadowing Factor Path loss Model

	α	β	γ	σ
NLOS	4.00	10.2	2.36	7.60

Algorithm 1. Bias Adjustment using Traffic Inverse Number (BATIN)

```

Initialize number of UEs with  $N_{UE}$ 
Initialize number of SBSs with  $N_{SBS}$ 
Initialize number of Predict Period with  $T$ 
let current =  $xT$ ,  $x \geq 0$ 
// Suppose the current time is  $xT$ 
for  $a \in \{1, \dots, N_{SBS}\}$  do
  for  $b \in \{\text{current} + T, \dots, \text{current} + 2T\}$  do
     $Traffic_a = Traffic_a + Traffic_{a,b}$ 
    // Calculate SBS traffic  $Traffic_a$  during
    //  $(\text{current} + T)$  to  $(\text{current} + 2T)$ 
  end for
   $Total = Total + \frac{1}{Traffic_a}$ 
end for
for  $a \in \{1, \dots, N_{SBS}\}$  do
   $Bias_a = N_{SBS} * (\frac{1}{Traffic_a}) * \frac{1}{Total}$ 
  If  $Bias_a \geq 1$  then
     $Bias_a = Bias_a$ 
  else
     $Bias_a = 1$ 
  endif
end for
// Apply biases each SBS during  $(\text{current} + T)$  to  $(\text{current} + 2T)$ 

```

$$K = \frac{1}{\frac{1}{N_{SBS}} \sum_{j=1}^{N_{SBS}} \frac{1}{Traffic_j}} \times N_{SBS}, \quad Bias_i = \begin{cases} K, & \text{if } K \geq 1 \\ 1, & \text{if } K < 1 \end{cases} \quad (2)$$

$$RP_i = Bias_i * Received Power_i, \quad \text{for } i = 1, 2, \dots, N_{SBS} \quad (3)$$

$$Connected BS_j = \arg \max_i (RP_i), \quad \text{for } j = 1, 2, \dots, N_{UE}$$

식 (2)는 그림 1의 설명 중 바이어스 계산에 해당하는 수식이다. 알고리즘 1은 식 (2)가 구체적으로 어떻게 쓰이는지, 기지국 별로 적용시키는 과정을 설명한 것이다. 시간 xT 기준에서, 단말기와 기지국의 연결을 토대로 T 이후부터 $2T$ 이후까지 각 기지국에 연결된 단말기들이 사용할 트래픽 양의 합을 계산한다. 각 기지국마다 총 트래픽 양을 파악할 때, 큰 수를 가질수록 과부하 상태가 될 것이라 예상할 수 있다. 큰 숫자를 역수(Inverse Number)로 두면 작은 숫자가 되는 점을 이용하여, BATIN(Bias Adjustment using Traffic Inverse Number) 알고리즘을 기획했다. 이렇게 계산한 bias 값은 식 (3)과 같이, 단말기가 기지국 연결 기준으로 사용하는 수신 신호 파워 측정에 적용시킨다. 각 기지국마다 다른 bias 값을 가지므로, 단말기는 이를 반영해 인접한 기지국들에서 받은 수신 신호 파워를 측정한다. 이 중, 제일 큰 파워로 수신하게 한 기지국을 선택해서 handover 한다. 그림 3은 BATIN 알고리즘 도입 여부에 따라 SNR과 capacity를 비교한 그래프이다. 왼쪽의 두 그래프를 봤을 때는 balancing 여부에 따른 차이가 잘 보이지 않는다.

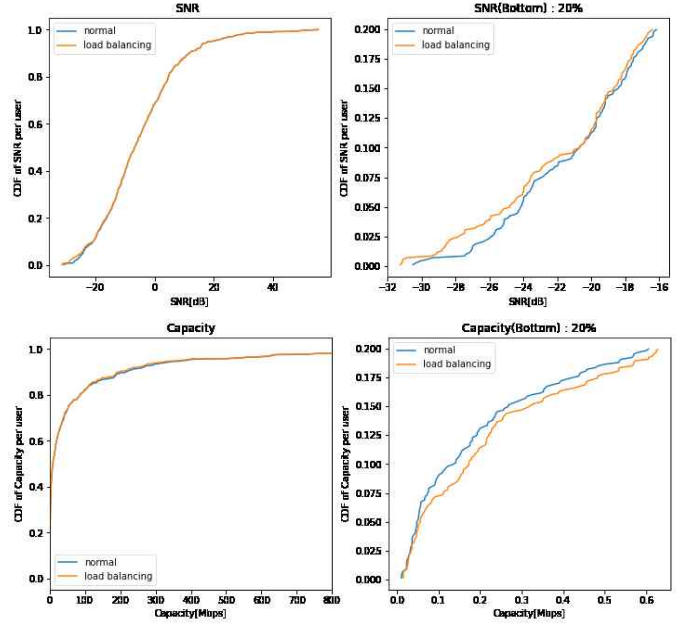


그림 3. 시뮬레이션 결과 그래프

하지만 하위 20%의 단말기들을 관찰한 오른쪽 두 그래프를 보면 차이를 확인할 수 있다. Bias의 영향으로 더욱 먼 거리의 기지국에 연결되는 경우가 존재해 SNR이 소폭 하향되는 경향을 보이지만, capacity 측면에서는 성능이 향상된 것을 확인할 수 있다.

III. 결론

트래픽 예측을 활용한 BATIN 알고리즘은 UDN 환경 스몰셀들의 coverage 조정에 이용한다. Load가 많은 셀에 접속하려는 사용자는 인접한 지역의 다른 셀로 연결함으로써 트래픽을 분산시키고, 셀 경계에 있는 사용자들에 대한 capacity 효율을 증가시키는 것을 확인했다. 강화학습과 최적화 이론 등을 이용해 더욱 체계적인 알고리즘을 고안하면 SNR의 손실은 줄이고 capacity 효율을 더욱 높일 수 있을 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2021-0-02046)

참고 문헌

- [1] Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold, "4G: LTE / LTE -Advanced for Mobile Broadband(Second Edition)", Academic Press, 2014, Pages 387-401, ISBN 9780124199859, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-419985-9.00016-7>.
- [2] J. G. Andrews, S. Singh, Q. Ye, X. Lin and H. S. Dhillon, "An overview of load balancing in hetnets: old myths and open problems," in IEEE Wireless Communications, vol. 21, no. 2, pp. 18-25, April 2014, doi: 10.1109/MWC.2014.6812287.
- [3] Y. Zhang, K. Sun, X. Gao, W. Huang and H. Zhang, "Load Balancing and User Association Based on Historical Data," 2021 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), 2021, pp. 1-6, doi: 10.1109/GLOBECOM46510.2021.9685782.
- [4] Recommendation ITU-R P.1411-10 (08/2019), "Propagation data and prediction methods for the planning of short-range outdoor radiocommunication systems and radio local area networks in the frequency range 300 MHz to 100 GHz," ITU-R, Tech. Rep., 2019.