

UDN을 위한 에너지 효율적 셀 접속 제어 기법

박재성*

Energy Efficient Cell Association Method for Ultra Dense Networks

Jaesung Park*

요약

네트워크 용량 증대를 위해 소형 셀들이 증가됨에 따라 네트워크 운영비를 절감하기 위한 에너지 효율적 제어 기법들이 요구된다. 셀 에너지 소모량은 셀에 접속한 단말의 수에 비례하므로 본 논문에서는 우선순위가 있는 매칭 기법을 이용하여 에너지 효율적인 셀과 단말간의 연결 관리 방안을 제안한다. 또한 모의실험을 통해 제안기법의 성능을 기존 단말 중심의 SINR 혹은 하향링크 데이터 전송율 기반 셀 연결 기법과 비교함으로써 제안기법의 타당성을 검증한다.

Key Words : Ultra Dense Network, Association Management, Energy Efficiency, Matching Problem

ABSTRACT

To increase network capacity, the number of small cells increases. Thus, energy efficient control methods are required to reduce network operating expense. Since the energy consumption of a cell is proportional to the number of UEs in the cell, we propose an energy efficient distributed association management method between cells and UEs by using a matching methods with ordinal preferences. Through simulations, we show the validity of the proposed method by comparing its performance with those of the existing methods in which UEs select a cell to be associated with based on SINR or downlink data rate.

I. 서론

급증하고 있는 무선 데이터 트래픽을 수용하기 위해 다양한 네트워크의 용량 증대 방안이 제안되고 있다^[1]. 그 중에서 소형셀을 밀도 높게 포설하여 단말(UE)과 셀 사이의 거리를 좁힘으로써 셀이 UE에게 제공하는 하향링크 데이터 전송율(DL rate)을 향상시키는 방안이 사업자들 사이에 많은 관심을 끌고 있다. 그러나 셀의 수가 증가됨에 따라 네트워크 운영비는 증가하게 된다. 네트워크 운영비의 많은 부분은 셀의 소모 전력과 관계가 있으므로 에너지 효율적인 네트워크 운영 방안이 요구된다. 셀의 소모 전력은 셀의 부하에 비례하여 증가하며^[2] 셀 부하는 셀이 서비스하는 UE의 수와 UE가 요구하는 최소 DL rate에 비례한다. 따라서 본 논문에서는 셀과 단말 간의 연결 관리를 통해 네트워크의 에너지 효율을 향상시키기 위한 기법을 제안한다.

이를 위하여 네트워크의 에너지 효율을 최대화하기 위한 문제를 UE와 셀 사이의 최적 연결 쌍을 결정하는 조합 최적화(combinatorial optimization) 문제로 모델링하고 우선순위가 있는 매핑 기법을 이용하여 최적화 문제를 해결하기 위한 분산적 연결 제어 방안을 제안한다.

II. 제안기법

본 논문에서는 밀집한 LTE 소형 셀 네트워크를 고려한다. 소형 셀의 집합을 C 로 UE의 집합을 U 로 표기하고 네트워크의 주파수 재사용 계수는 1이며 모든 셀의 송신 전력은 동일하다고 가정한다. UE u 와 셀 c 사이의 SINR을 $S_{u,c}$ 는 다음과 같다.

$$S_{u,c} = P_c G_{u,c} / (N_o + \sum_{i \in C - \{c\}} P_i G_{u,i}) \quad (1)$$

P_c 는 c 의 송신 파워, $G_{u,c}$ 는 u 와 c 사이의 채널 이득, N_o 는 잡음의 세기를 나타낸다. 셀이 단말에게 할당 가능한 자원량의 최소 단위인 PRB의 대역폭을 W_R , c 가 u 에게 할당한 PRB의 수를 $B_{u,c}$ 로 표기하면 u 가 c 로부터 제공받는 DL rate은 다음과 같이 결정된다.

* 이 논문은 2015년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원으로 (No.NRF-2015R1D1A1A01060117) 수행되었습니다.

• First Author : University of Suwon Department of Information Security, jaesungpark@suwon.ac.kr, 종신회원

논문번호 : KICS2017-10-319, Received October 23, 2017; Revised October 31, 2017; Accepted October 31, 2017

$$r_{u,c} = B_{u,c} W_R \log_2(1 + S_{u,c}) \quad (2)$$

따라서 c 가 제공하는 DL Rate r_c 는 $\sum_{u \in U} b_{u,c} r_{u,c}$ 가 된다. $b_{u,c}$ 는 UE u 와 셀 c 사이의 연결 상태를 나타내는 이진 표시기로 u 가 c 와 연결되어 있으면 1 이고 그렇지 않은 경우 0 이다. 셀 c 의 부하 ρ_c 에 따른 셀의 소모 전력 E_c 는 다음과 같이 주어진다^[2].

$$E_c = P_0 + \Delta \rho_c P_c \quad (3)$$

P_0 는 셀이 소모하는 고정 전력, Δ 는 셀 부하에 따른 소모 전력의 기울기를 나타낸다.

일반적으로 LTE 시스템은 가용 PRB를 모든 UE에게 제공하므로 PRB 이용율로 셀 부하를 정의하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 단말이 연결을 유지할 수 있는 최소 DL rate r_{th} 를 가정하며 $r_{u,c} \geq r_{th}$ 를 만족하는 최소 PRB의 수 $\widehat{B}_{u,c}$ 를 이용하여 셀 부하를 정의한다. x 보다 작지 않는 최소 정수를 $\lfloor x \rfloor$ 로 표기하면 식 (2)에 따라 $\widehat{B}_{u,c}$ 는 $\lfloor r_{th} / W_R \log_2(1 + S_{u,c}) \rfloor$ 가 되며 셀 부하는 다음과 같이 정의된다.

$$\rho_c = \sum_{i=1}^{|U|} b_{i,c} \widehat{B}_{i,c} / B_c \quad (4)$$

셀의 에너지 효율은 셀이 제공하는 전체 DL rate에 대한 에너지 소모량의 비율로 정의된다. 즉,

$$ee_c = \frac{r_c}{E_c} = \frac{\sum_{u \in U} b_{u,c} r_{u,c}}{P_0 + \Delta P_c \sum_{u \in U} b_{u,c} \widehat{B}_{u,c} / B_c} \quad (5)$$

따라서 네트워크의 에너지 효율을 최대화하기 위한 문제는 다음과 같이 UE와 셀 사이의 최적 연결 쌍을 결정하는 문제로 기술할 수 있다.

$$P_{ee} : \max_{b_{uc}} \sum_{c \in C} \sum_{u \in U} ee_c \quad (6)$$

Subject to:

$$\begin{aligned} \sum_{c \in C} b_{u,c} &\leq 1, \forall u \in U \\ \sum_{u \in U} \rho_c &\leq 1, \forall c \in C \end{aligned}$$

상용 시스템에서 UE는 최대 SINR을 제공하는 셀에 접속하려하며 셀은 ee_c 를 최대화 할 수 있는 단말을 서비스하려하기 때문에 P_{ee} 는 조합 최적화 문제이다. 따라서 본 논문에서는 P_{ee} 는 기본적으로 우선 순위가 있는 매칭 문제와^[3] 같다는 것에 착안하여 P_{ee} 를 해결하기 위한 분산 알고리즘을 제안한다. UE는 주변 셀들과의 하향링크 채널을 예측하여 $S_{u,c}$ 의 크기에 따라 선호 셀들을 결정한 후 선호도가 가장 높은 셀에게 연결 요청을 전송한 후 셀로부터 수락 여부를 기다린다.

시간 t 에서 UE u 로부터 연결 요청을 받은 셀 c 는 u 를 수락했을 때 자신의 에너지 효율 $\widehat{ee}_c(t)$ 를 u 수락 이전의 에너지 효율 $ee_c(t-1)$ 과 비교하여 $\widehat{ee}_c(t) > ee_c(t-1)$ 인 경우 u 를 수용한다. 그렇지 않은 경우 c 는 시간 t 이전에 서비스 중인 UE들의 집합 $U_c(t-1)$ 에서 u 와 대체할 UE가 있는지를 검색한다. 이를 위해 c 는 $U_c(t-1)$ 내의 UE v 대신 u 를 수용했을 때의 에너지 효율 $ee_{c,v}$ 를 다음과 같이 계산한다.

$$ee_{c,v}(t) = \frac{\sum_{i \in U_{c,v}(t)} r_{i,c}}{P_0 + \Delta P_c \sum_{i \in U_{c,v}(t)} \widehat{B}_{i,c} / B_c} \quad (7)$$

여기서 $U_{c,v}(t) = U_c(t-1) \cup \{u\} - \{v\}$ 이다. 셀 c 는 $U_c(t-1)$ 내의 UE들 중 $ee_{c,v}(t)$ 가 최대인 UE $x = \arg \max_{v \in U_c(t-1)} \{ee_{c,v}(t)\}$ 를 찾고 $ee_{c,x}(t)$ 를 $ee_c(t-1)$ 과 비교한다. $ee_{c,x}(t)$ 가 $ee_c(t-1)$ 보다 크다면 x 대신 u 를 수용함으로써 c 의 에너지 효율을 증가시킬 수 있으므로 c 는 u 의 연결 요청을 수락하고 x 에게 연결 해지를 통보한다. 반면 $ee_c(t-1) \geq ee_{c,x}(t)$ 인 경우 u 의 연결 요청을 거부한다.

연결 요청을 거부 받거나 연결 해지를 통보받은 UE는 자신의 선호 셀 리스트에서 c 를 제거하고 다음 번 선호도가 높은 셀에게 연결을 요청 하며, 이와 같은 과정이 모든 UE가 셀과 연결되거나 모든 UE의 선호 셀 리스트가 빌때까지 반복된다.

III. 성능 평가

성능 평가를 위해 100m x 100m 영역에 밀도 $\lambda_c = 20 \times 10^3 / \text{km}^2$ 인 homogeneous Point Poisson Process (HPPP)에 따라 소형셀들을 포설하였다. LTE 시스템 파라미터들은 3GPP TR 36.942와 TR 36.814에 따라 설정하였으며 주요 파라미터들의 값은 표 1과 같다. 동일 지역에 UE들을 HPPP에 따라 밀도 λ_{ue} 를 달리 하며 포설한 후 네트워크의 평균 에너지 효율을 측정하였다. 동일 환경에서 제안 기법의 성능을 SINR 기반 셀과 단말 간 연결 설정 방법과 UE의 DL Rate을 최대화 할 수 있는 연결 기법 (이후 DLRate으로 표기)들과 정량적으로 비교하여 제안 기법의 타당성을 검증하였다.

그림 1은 λ_{ue} 에 따른 각 기법들의 에너지 효율을 나타낸다. SINR 기법의 경우 UE와 셀 사이의 연결을 설정할 때 UE나 셀은 PRB의 효율성을 고려하지 않는다. DLRate 기법의 경우 UE의 DL rate을 최대화 하기 위한 (셀, UE) 쌍이 결정된다. 그러나 DLRate 기법의 경우 셀의 소모 전력을 고려하지 않으므로 제

표 1. LTE 시스템 파라미터들
Table 1. LTE system parameters

Parameters	Value	
System bandwidth	5MHz (25 PRBs)	
PRB bandwidth	180KHz	
TX power of a cell	21dBm	
Antenna Gain	Cell	3.0dBi
	UE	2.0dBi
Path loss	$140.7 + 36.7 \times \log_{10}(d)$	
log-normal shadow	avg.=0, var.=8dB	
Noise power	-111.45dBm	
Scheduler	Round-Robin	

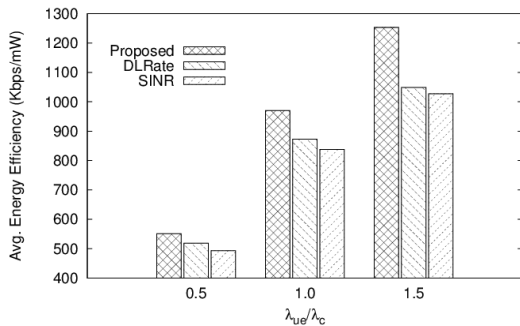


그림 1. 네트워크의 평균 에너지 효율
Fig. 1. Average energy efficiency of a network

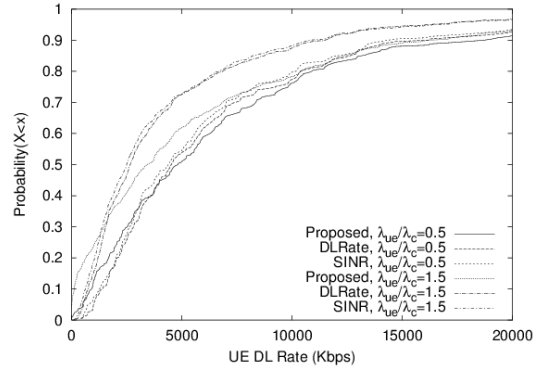


그림 2. UE DL Rate의 누적 확률 분포
Fig. 2. Cumulative probability distribution of UE DL Rates

안기법보다 네트워크의 에너지 효율이 낮다. 그림 2는 UE DL rate에 대한 누적 확률 분포를 나타낸다. UE의 수가 증가할수록 셀 자원을 공유하는 UE의 수가 많아지므로 각 UE에게 제공되는 DL rate이 작아진다. 제안 기법은 셀의 에너지 효율을 기반으로 UE와의 연결 여부를 결정한다. 따라서 제안기법은 DLRate 기법이나 SINR 기법 보다 셀들 사이의 부하를 보다 균등하게 부과하며 이로 인하여 동일 조건에서 UE의 DL rate을 향상시킨다.

IV. 결론

본 논문에서는 우선순위가 있는 매칭 기법을 이용하여 네트워크의 에너지 효율을 최적화할 수 있는 셀과 단말 사이의 분산적인 연결 관리 방법을 제안하였다. 또한 모의실험을 통해 제안 기법은 기존 기법들보다 네트워크의 에너지 효율과 단말에게 제공되는 하향링크 데이터 전송율을 증가시킨다는 것을 보였다.

References

- [1] S.-W. Jeon and B. C. Jung, "Interference neutralization for small-cell wireless networks," *J. KICS*, vol. 38, no. 12, pp. 1117-1124, Dec. 2013.
- [2] G. Auer, et al., "How much energy is needed to run a wireless network," *IEEE Wireless Commun. Mag.*, vol. 18, no. 5, pp. 40-49, 2011.
- [3] D. F. Manlove, *Algorithmics of Matching Under Preferences*, World Scientific, 2012.