

초고밀도 셀 환경에서 에너지 효율 증대를 위한 송신전력 제어기법

박재성*

Transmission Power Control Method for Enhancing Energy Efficiency of a UDN

Jaesung Park*

요약

본 논문에서는 자율적으로 운영되는 소형기지국들로 구성된 UDN의 에너지 효율 증대를 위한 기지국의 송신전력 제어기법을 제안한다. 제안기법은 소수게임을 응용하여 설계되므로 각 기지국은 타 기지국과 메시지 교환 없이 자신의 에너지 효율의 변화 추이만을 이용하여 송신전력을 결정한다. 또한 모의실험을 통해 귀납적으로 송신전력을 결정하는 제안기법이 기존 기법들에 비해 UDN의 에너지 효율을 높인다는 것을 보였다.

Key Words : Energy Efficiency, Minority Game, Inductive Reasoning

ABSTRACT

In this paper, we propose a transmit power control method for enhancing energy efficiency of a UDN composed of autonomous small base stations. Since the proposed method is inspired by the minority game, each base station decides its transmit power based on the change history of its energy efficiency without a message exchange with other base stations. Through simulations, we showed that compared to conventional methods, our method can increase the energy efficiency of a UDN by

determining transmit power with inductive reasoning.

I. 서론

소형 기지국들이 초고밀도로 포설된 UDN은 네트워크의 주파수 효율을 경제적으로 증가시키기 위한 기술로 각광받고 있다¹. 그러나 기지국들의 밀도가 높아질수록 네트워크의 에너지 소모량은 증가하므로 SE 뿐만 아니라 네트워크의 에너지 효율 증대 방안이 요구된다. 이에 따라 기지국들 사이에 메시지 교환을 통한 자원관리 기법들이 제안되었다¹¹. 그러나 셀 간 간섭 현상은 기지국의 밀도가 증가할수록 더욱 복잡해지므로 기지국 사이의 전략적 상호 작용을 분석하기 어렵다. 또한 기지국 사이의 메시지 교환은 백열 네트워크의 부하를 증가시키므로 UDN의 확장성을 저해한다. 따라서 본 논문에서는 소수게임(Minority Game)¹²을 이용하여 UDN의 에너지 효율을 향상시키기 위한 송신전력 제어 기법을 제안한다. 소수게임은 게임 참여자들이 이전 게임 결과들만을 이용하여 자신의 이득을 최대화 할 수 있는 행동을 귀납적으로 결정할 수 있는 방안을 제공한다. UDN에서 각 기지국은 다른 기지국의 송신전력에 의해 간섭을 받으며 이로 인해 자신의 에너지 효율이 영향을 받는다. 각 기지국은 자신의 에너지 효율을 측정할 수 있으나 타 기지국들과의 메시지 교환 없이는 이들이 사용한 송신전력을 알 수 없다. 따라서 본 논문에서는 소수게임을 이용하여 각 기지국들이 타 기지국이나 제어기와의 메시지 교환 없이 자신의 과거 에너지 효율의 변화 추이만을 이용하여 송신전력을 결정할 수 있는 기법을 설계한다. 또한 모의실험을 통해 제안기법은 기존 기법들에 비해 UDN의 에너지 효율을 증대시킬 수 있다는 것을 보였다.

II. 송신전력 결정기법

UDN을 구성하는 소형 기지국들의 집합을 N , 소형기지국 i 가 서비스하는 단말의 집합을 U_i 로 표기한다. 시간은 주기 T 단위로 이산화되어 있다고 가정하고 k 번째 시구간에서 기지국 i 의 송신전력을 $p_i(k)$,

* 이 논문은 2018년도 한국연구재단의 국제협력사업의 지원 (NRF-2018K2A9A2A08000101)을 받아 수행되었습니다.

• First Author : (ORCID: 0000-0001-8976-6480)University of Suwon Department of Information Security, jaesungpark@suwon.ac.kr, 종신회원

논문번호 : 201811-355-B-LU, Received November 6, 2018; Revised November 20, 2018, 2014; November 20, 2018

i 와 단말 $j \in U_i$ 사이의 평균 채널 이득을 $g_{i,j}(k)$, 잡음전력을 N_0 로 표기하면 단말 j 에서의 SINR은 다음과 같이 주어진다.

$$s_{i,u}(k) = \frac{p_i(k)g_{i,j}(k)}{\sum_{x \in \mathcal{M}} p_x(k)g_{x,j}(k) + N_0}$$

각 기지국이 단말을 순차순환대기 (round-robin) 방식으로 서비스한다고 가정하고 기지국의 최대 자원량을 a_M 로 표기하면 k 번째 시구간에서 i 가 j 에게 제공하는 하향링크 데이터 전송율은 다음과 같다.

$$r_{i,j}(k) = a_M / |U_i| \log_2(1 + s_{i,j})$$

따라서 k 번째 시구간에서 기지국 i 의 처리율은 $B_i(k) = \sum_{j \in U_i} r_{i,j}(k)$ 가 된다. 또한 기지국의 안테나 수를 m_A , 고정 소모 전력을 P_0 , 부하에 따른 소모 전력의 기울기를 δ_p , 기지국이 수면모드에서 소모하는 전력을 P_S 로 표기하면, [3]에 따라 기지국의 상태에 따른 소모전력은 다음과 같이 주어진다.

$$P_i(k) = \begin{cases} m_A P_0 + \delta_p p_i(k) & , active \\ m_A P_S & , sleep \end{cases}$$

따라서 기지국 i 의 에너지 효율은 $E_i(k) = B_i(k) / P_i(k)$ 로 정의된다.

매 시구간 k 의 끝에서 각 기지국은 $E_i(k) - E_i(k-1) \geq 0$ 이면 $c_i(k)=1$ 로 그 외의 경우 $c_i(k)=-1$ 로 기록한다. 이후 $c_i(k)$ 로 k 번째 송신전력 결정 게임의 결과로 부른다. 또한 각 기지국은 $H_i(k) = \{c_i(k), \dots, c_i(k-h+1)\}$ (즉, 과거 h 개의 c_i 들)와 자신의 전략 테이블에 따라 현재 송신 전력의 증감여부를 결정한다. 전략 테이블은 과거 h 개의 게임 결과가 가질 수 있는 2^h 개의 이진조합 각각을 기지국의 송신전력 증감여부를 나타내는 변수 a 와 매핑한다 ($a=1$: 증가, $a=-1$: 감소). 각 기지국 i 는 초기화된 후 가능한 2^{2^h} 개의 가능한 전략 테이블 중에서 x 개의 전략 테이블을 임의로 선택하여 전략 집합 S_i 를 구성한다. 즉, i 가 선택한 m 번째 전략 테이블을 s_m^i 로 표기하면 $S_i = \{s_1^i, \dots, s_x^i\}$ 가 된다.

기지국이 S_i 의 원소 중 어떤 전략 테이블을 이용할 것인지를 결정하기 위해 각 전략 테이블의 선호도는 점수 v_m^i 로 정량화 한다. k 번째 시구간의 끝에서 결정된 s_m^i 에 의해 선택한 행동을 $a_m^i(k)$, s_m^i 의 선호도를 $v_m^i(k)$ 로 표기하면 $v_m^i(k)$ 은 s_m^i 가 $p_i(k)$ 를 결정하기 위해 사용되었는지 여부와 무관하게 다음과 같이 갱신된다.

기지국 i 가 $(k-1)$ 번째 시구간의 끝에서 $H_i(k-1)$ 와 s_x^i 를 사용하여 $a_x^i(k)$ 를 선택하고 이를 이용하여 $p_i(k)$ 를 결정한 경우 k 번째 시구간의 끝에서 $c_i(k) = 1$ 이 되면 s_x^i 의 선호도 $v_x^i(k)$ 를 이전값에 비해 하나 증가시킨다. 또한 i 의 다른 모든 전략 테이블 $\forall s_y^i \in S_i$ 에 대해서도 $H_i(k-1)$ 에 의해 결정되는 $a_y^i(k)$ 가 $a_x^i(k)$ 와 같은 경우 $v_y^i(k)$ 를 하나 증가시킨다. 반대로 $c_i(k) = -1$ 인 경우 s_x^i 의 선호도 및 $a_y^i(k)$ 가 $a_x^i(k)$ 와 동일한 모든 s_y^i 의 선호도 값은 갱신되지 않으며 $a_y^i(k)$ 가 $-a_x^i(k)$ 인 모든 전략 테이블들의 선호도 값은 1만큼 증가된다.

따라서 각 기지국은 매 시구간 k 의 끝에서 선호도가 가장 큰 전략 $s_{m^*}^i = \operatorname{argmax}(v_m^i(k))$ 를 선택한 후 $H_i(k)$ 와 $s_{m^*}^i$ 에 따라 $a_{m^*}^i(k)$ 를 결정한다. 활성 상태인 기지국의 최대 송신전력을 p_M 으로 표기하고 송신전력 증감량을 Δ_i 로 표기하면 $p_i(k) + a_{m^*}^i(k)\Delta_i < P_S$ 인 경우 기지국 i 는 휴면모드로 천이한다. 반면에 $p_i(k) + a_{m^*}^i(k)\Delta_i > p_M$ 인 경우 다음번 시구간에서 사용할 송신 전력 $p_i(k+1)$ 는 p_M 으로 설정되며 그 외의 경우 $p_i(k+1) = p_i(k) + a_{m^*}^i(k)\Delta_i$ 가 된다.

III. 성능 평가

모의실험을 위해 HPPP에 따라 100mx100m 영역에 40개의 소형 기지국들과 20개의 단말들을 포설하였다. 소형 기지국은 3GPP TR 36.931에 따라 $a_M = 50$, 안테나 이득은 2dBi로 설정하였다. 또한 3GPP TR36.932에 따라 무선 채널의 경로손실은 $38.0 + 30.0 * \log_{10}(d)$, 웨도우 페이딩은 평균이 0이고 분산이 6dB인 로그 정규분포로 설정하였다. 소형 기지국

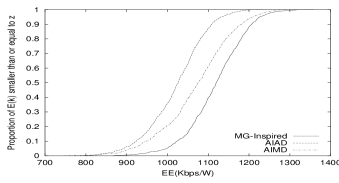


그림 1. UDN 에너지 효율의 누적분포
Fig. 1. CDF of UDN energy efficiency.

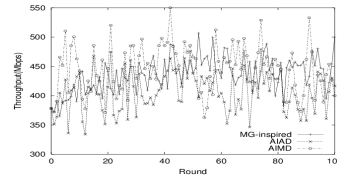


그림 2. UDN의 처리율 변화
Fig. 2. Variation of UDN throughput.

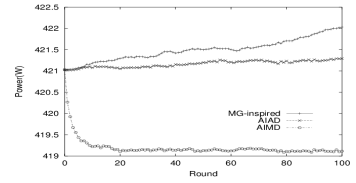


그림 3. UDN의 소모전력 변화
Fig. 3. Variation of UDN power consumption.

의 소모 전력은 [3]의 Pico 모델에 따라 $m_A=2$, $p_M=0.13W$, $P_0=6.8W$, $\delta_p=4$, $P_S=4.3W$ 로 설정하였다. 또한 단말의 안테나 이득을 2dBi, 시구간의 길이 T 를 10ms로 설정하였고, 초기 기지국의 송신 전력을 균일 분포에 따라 $[P_S, p_M]$ 에서 임의로 설정하였다. 각 기지국은 가능한 전략 테이블 중 3개를 임의로 선택하여 전략집합을 구성하고 ($x=3$) [2]에 따라 $h = \lfloor 0.34 \log_2 M \rfloor$ 로 설정하였다.

제안기법 성능 검증을 위해 AIAD기법과 AIMD기법과 비교하였다. AIAD 기법은 매 시구간의 끝에서 $E_i(k)$ 의 증감여부에 따라 $p_i(k+1)$ 를 $p_i(k) + c_i(k)\Delta_i$ 로 설정하며 AIMD 기법은 $c_i(k)=1$ 인 경우 AIAD와 같이 송신전력을 증가시키지만 $c_i(k)=-1$ 인 경우 다음번 송신 전력은 현재 송신전력의 반으로 설정한다. 각 기법을 동일한 환경에서 성능 비교를 위해 $\Delta_i = p_M/100$ 으로 설정하였다.

매 시구간의 끝에서 $E(k) = \sum_{i \in N} E_i(k)$ 를 1,000번 측정하고 $E(k)$ 의 누적분포를 그림 1에 도시하였다. 그림의 x축은 $E(k)$ 의 값을 나타내며 y축은 측정된 모든 $E(k)$ 중에서 $E(k) \leq z$ 인 비율을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 제안기법인 MG-inspired 기법이 AIAD와 AIMD에 비해 UDN의 에너지 효율 $E(k)$ 를 높여준다. 이와 같은 원인 분석을 위해 UDN의 처리율 $B(k) = \sum_{i \in N} B_i(k)$ 와 UDN의 소모전력 $P(k) = \sum_{i \in N} P_i(k)$ 의 시간에 따른 변화를 그림 2와 그림 3에 각각 도시하였다. 그림에서 보는 바와 같이 제안기법의 소모 전력은 다른 기법들에 비해 상대적으로 높다. 그러나 제안기법은 타 기법들에 비해 UDN의 처리율을 증가시킨다. 제안기법은 $E_i(k)$ 가 증가하더라도 항상 송신전력을 증가시키는 것이 아니라 최근 h 번의 $E_i(k)$ 의 증감여부 기록과 자신의 전략 테이블에 따라 확률적으로 다음번 송신전력의 증감여부를 결정하므로 기지국들 사이

의 송신전력 증감동작의 내포적 동기화를 방지한다. 이에 따라 제안기법의 경우 소모전력 증가로 인한 에너지 효율의 감소양보다는 UDN의 처리율 증가로 인한 에너지 효율 증가량을 다른기법들에 비해 크게 만들기 때문에 UDN의 에너지 효율을 향상시킨다.

IV. 결론

본 논문에서는 소수게임 이론을 응용하여 UDN의 에너지 효율 증대를 위한 소형 기지국의 송신전력 제어기법을 제안하였다. 각 기지국들은 소수게임을 통한 주변 환경 학습을 통해 귀납적으로 송신전력을 결정하므로 제안기법은 기지국들 사이의 메시지 교환을 요구하지 않는다. 또한 모의실험을 통해 제안기법은 각 기지국들이 자신의 에너지 효율을 증가시키기 위해 독자적으로 송신전력의 증감여부를 결정하더라도 기존 기법들에 비해 UDN의 에너지 효율을 증가시킬 수 있다는 것을 보였다.

References

- [1] J. Park, "Autonomous load balancing method in a wireless network inspired by synchronization phenomena in the nature," *J. KICS*, vol. 40, no. 11, pp. 2230-2237, Nov. 2015.
- [2] A. C. C. Coolen, "The mathematical theory of minority games," Oxford Univ. Press, 2005.
- [3] G. Auer, E-L Munich, V. Giannini, C. Desset, I. Godor, P. Skillermark, M. Olsson, M. A. Imaran, D. Sabella, M. J. Gonzalez, O. Blume, and A. Fehske, "How much energy is needed to run a wireless network," *IEEE Wirel. Commun. Mag.*, vol. 18, no. 5, pp. 40-49, Oct. 2011.