

에너지 수확 사물 인터넷을 위한 이웃 인식 비 직교 다중 접근 기법

김유미, 백민철, 김보경, 고한얼
고려대학교

{yumikim1201,fall123123,pink9120,heko}@korea.ac.kr

Neighbor-Aware Non-Orthogonal Multiple Access Scheme for Energy Harvesting Internet of Things

Yumi Kim, Minchol Paik, Bokyeong Kim, and Haneul Ko

Korea Univ

요약

비 직교 다중 액세스에서 사물 인터넷(IoT)장치는 transmission power를 높임으로써 높은 데이터 전송 속도(data rate)를 달성할 수 있다. 그러나 지나치게 높은 transmission power는 IoT 장치의 에너지 고갈을 야기하고 이웃 IoT 장치의 SINR(signal-to-interference-plus-noise ratio)을 감소시킬 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 각 IoT 장치가 자신의 에너지 수준과 다른 장치의 transmission power를 고려하여 최적의 transmission power로 기지국(BS)에 데이터를 전송하는 이웃 인식 비 직교 다중 접근 기법(NA-NOMA)을 제안한다. NA-NOMA의 성능 최적화를 위해 평균 에너지 고갈확률을 일정 수준 이하로 유지하면서 데이터 전송 속도를 최대화하는 목적을 갖는 linear programming (LP) 문제를 정의하고, 각 IoT 장치가 다른 장치들의 전송 패턴을 확인할 수 있는 best response dynamics 기반 알고리즘을 개발하였다.

I. 서론

사물 인터넷(IoT) 기반 시스템의 경우 IoT 장치의 제한된 배터리 용량이 주된 문제이다. 이 장애를 극복하기 위해, 에너지 수확에 대한 관심이 증가하고 있다 [1]. 에너지 수확을 통해 IoT 장치는 스스로 배터리를 충전할 수 있으므로 IoT 기반 시스템의 운영자는 작동 효율이 낮은 IoT 장치의 배터리를 교체하거나 재충전할 필요가 없다.

한편 많은 연구자들은 스펙트럼 효율성 때문에 비 직교 다중 액세스(NOMA)에 많은 관심을 가지고 있다 [2]. NOMA에는 1) power domain-multiplexing과 2) code domain multiplexing의 두 가지 유형이 있다. 첫 번째 유형(즉, power domain multiplexing)에서 기지국(BS)으로의 동시 전송에 대한 채널 조건을 고려하여 서로 다른 IoT 장치에 다른 전력을 할당한다. 한편, BS는 수신된 전력 격차와 고급 신호 처리 기술(예, 연속적인 간섭 제거(SIC))을 활용하여 원하는 신호를 검색할 수 있다. 두 번째 유형(즉, code domain multiplexing)에서, 다른 IoT 장치들은 서로 다른 코드를 사용하기 때문에, 그것들은 동일한 주파수 자원을 통해 multiplexing 될 수 있다. 일반적으로, power domain multiplexing은 code domain-multiplexing[3]에 비해 기존 네트워크의 중요한 변경 없이 간단히 구현될 수 있다. 따라서, 본 논문에서 power domain multiplexing을 고려한다.

Power domain NOMA에서, 각 IoT 장치는 transmission power를 높여 데이터 전송 속도를 높일 수 있다. 그러나 지나치게 높은 transmission-power는 IoT 장치의 에너지 고갈을 초래하고 인접 IoT 장치의 SINR를 감소시킬 수 있다. 이는 IoT 장치들의 데이터 전송 속도를 최대화하기 위해서는 각 IoT 장치가 적절한 transmission power를 선택해야 한다는 것을 의미한다. 중앙집중식 접근 방식이 IoT 장치의 transmission power를 결정하는데 도움이 될 수 있지만, 이 접근 방식은 높은 신호 오버헤드와 단일 병목/고장 문제를 일으킬 수 있다.

본 논문에서는 IoT 장치가 자신의 에너지 수준과 다른 장치의 transmission power를 고려하여 분산 방식으로 각 시점에서 BS에 데이터를 전송할 것인지 결정하는 neighbor aware NOMA (NA-NOMA)를 제

안한다. 그 후, NA-NOMA의 성능 최적화를 위해 평균 에너지 고갈확률을 일정 수준 이하로 유지하면서 데이터 전송 속도를 최대화하는 목적을 갖는 linear programming(LP) 문제를 정의하고, 각 IoT 장치가 다른 장치들의 전송 패턴을 확인할 수 있는 best response dynamics 기반 알고리즘을 개발하였다.

본 논문의 향후 구성은 다음과 같다. 2장에서 NA-NOMA에 대해 서술한다. 3장에서 성능평가를 보여준 뒤, 4장 결론에서 본 연구의 의의를 정리하고 향후 연구 방향을 제시하며 논문을 마친다.

II. 본론

2.1 NEIGHBOR-AWARE NON-ORTHOGONAL MULTIPLE ACCESS SCHEME (NA-NOMA)

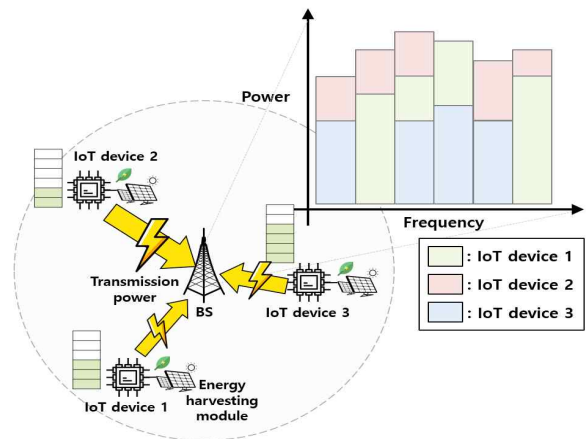


Figure 1. System model

Figure 1은 본 논문의 시스템 모델을 보여준다. 모든 IoT 장치에는 에너지 수확 기능이 있다. 즉, 외부 자원(예, 태양, 바람 등)에서 에너지를 수집하여 E_{max} 용량으로 배터리에 에너지를 저장한다. 또한 IoT 장치는 주기적으로 데이터(예, 온도 감지, 대상 모니터링 등)를 생성하고, 배터리에

저장된 에너지를 소비하여 이러한 데이터를 BS로 전송할지 여부를 결정한다. IoT 장치는 NOMA를 활용하기 때문에 transmission power를 높여 데이터 전송 속도를 높일 수 있다. 그러나 지나치게 높은 transmission-power는 IoT 장치의 에너지 고갈을 야기하고 인접 IoT 장치의 SINR을 감소시킬 수 있다. 에너지 고갈확률을 일정 수준 이하로 유지하면서 IoT 장치의 데이터 전송 속도를 최대화하기 위해 각 IoT 장치는 에너지 수준과 다른 장치의 transmission power를 고려하여 BS로 데이터를 전송할 것인지 여부와 transmission power를 신중하게 결정해야 한다. 이를 위해 우선 평균 에너지 고갈확률을 일정 수준 이하로 유지하면서 데이터 전송 속도를 최대화하는 목적을 갖는 linear programming(LP) 문제를 정의하였다.¹⁾ 그 후, 각 IoT 장치가 다른 장치들의 전송 패턴을 고려하여 transmission power를 결정할 수 있는 best response dynamics 기반 알고리즘을 개발하였다.

2.2 Best response dynamics 기반 알고리즘

Algorithm 1 Best response dynamics-based algorithm.

- 1: Initialize the policies π_i for $\forall i$.
- 2: repeat
- 3: for All IoT devices i do
- 4: Transmit the expected transmission power \bar{P}_i to other IoT devices
- 5: Calculate the expected SINR of IoT devices
- 6: Solve the LP problem to get the stationary best response policy π_i^*
- 7: end for
- 8: until Stationary policies of all EVs converge

Algorithm 1. Best response dynamics 기반 알고리즘

Algorithm 1은 best response dynamics 기반 알고리즘을 보여준다. 우선 모든 IoT 장치들의 정책을 초기화한다. 각 IoT 장치들은 다른 IoT 장치들에게 자신의 예상 transmission power를 전송하고 해당 power를 기반으로 예상 SINR을 계산한다. 그 후, 정의한 LP 문제를 풀어 최상의 대응 정책(즉, optimal transmission power)을 결정한다.

III. 결과

NA-NOMA의 성능을 평가하기 위해 다음 기법들과 비교를 진행한다. (1) Always는 항상 전송, (2) Random은 무작위로 전송, (3) P-Based는 모든 IoT 장치가 P의 확률로 전송(P = 0.3)을 의미한다. 기본 파라미터 설정은 Table 1에 정리되어있다.

Parameter	E_{max}	에너지 습득 확률
Value	5	0.7

Table 1. Default Parameter Settings

Figure 3(a), (b)는 에너지 고갈확률 임계 값에 따른 IoT 장치의 평균 에너지 고갈확률과 데이터 전송 속도의 변화를 보여준다. (a)와 (b)를 보면 에너지 고갈확률 임계 값이 증가함에 따라 NA-NOMA의 IoT 장치는 에너지 고갈확률이 증가하고 그로 인해 데이터 전송 속도가 증가하는 것으로 나타난다. 한편 다른 비교 기법들은 고정된 정책에 따라 전송 확률이 결정되므로 에너지 고갈확률에 관계없이 데이터 전송 속도가 일정한 것을 확인할 수 있다.

1) LP 문제의 구체적인 정의는 논문의 페이지 제한으로 인하여 생략하였다.

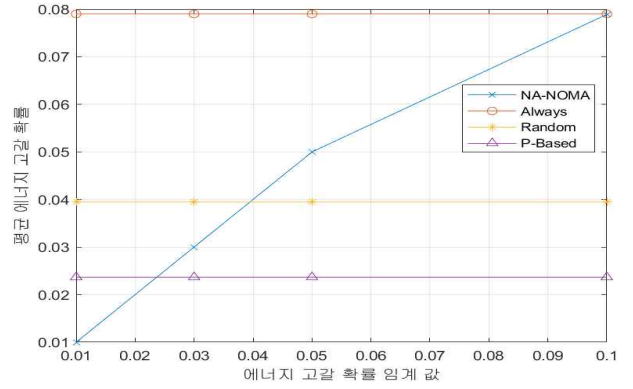


Figure 3(a). 에너지 고갈확률 임계 값에 따른 평균 에너지 고갈확률

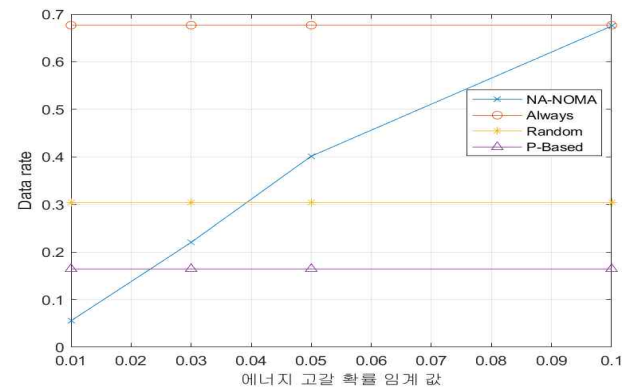


Figure 3(b). 에너지 고갈확률 임계 값에 따른 데이터 전송 속도

IV. 결론

본 논문에서는 IoT 장치가 에너지 수준과 다른 장치의 transmission-power를 고려하여 분산 방식으로 각 시기의 다른 장치에 대한 나쁜 영향을 최소화하고 평균 에너지 고갈확률을 일정 수준 이하로 유지하면서 데이터 전송 속도를 최대화하는 최적의 transmission power로 BS에 데이터를 전송할 것인지 결정하는 이웃 인식 비 직교 다중 접근 기법(NA-NOMA)을 제안하였다. 성능평가 결과는 에너지 고갈확률 임계 값에 따라 NA-NOMA의 IoT 장치가 에너지 고갈확률을 보장하면서 높은 데이터 전송 속도를 달성할 수 있음을 보여주었다. 향후 연구 계획으로는 다양한 환경에서 다양한 비교 기법과 성능평가를 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2019년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(과제번호: 2019R1C1C1004352)

참 고 문 헌

- [1] U. Saleem, S. Jangsher, H. Qureshi, and S. Hassan, "Joint Subcarrier and Power Allocation in Energy Harvesting-Aided D2D Communication Sign in or Purchase," IEEE Transactions on Industrial Informatics (TII), vol. 14, no. 6, pp. 2608 - 2617, Jun. 2018.
- [2] X. Liu, H. Ding, and S. Hu, "Uplink Resource Allocation for NOMA-based Hybrid Spectrum Access in 6G-enabled Cognitive Internet of Things," IEEE Internet of Things Journal (IoT-J), to appear.
- [3] M. Aldababsa, M. Toka, S. Gökçeli, G. Kurt, and O. Kucur, "A Tutorial on Nonorthogonal Multiple Access for 5G and Beyond," Wireless Communications and Mobile Computing (WCMC), vol. 2018, pp. 1 - 25, Jun. 2018.