

에너지 효율적인 시맨틱 통신 시스템에 관한 최신 동향 연구

원동욱, 이동현, 허동현, 오준석, 조성래, 경연웅*

중앙대학교, *공주대학교

{dwwon, dhlee, dhur, jsch}@uclab.re.kr, srcho@usclab.re.kr, *ywkung@kongju.ac.kr

A Comprehensive Survey on Energy-Efficient Semantic Communication Systems

Dongwook Won, Donghyun Lee, Donghyeon Hur, Junsuk Oh, Sungrae Cho, *Yeunwoong Kyung

Department of Computer Science and Engineering, Chung-Ang Univ.

Division of Information & Communication Engineering, Kongju National Univ.

요약

본 논문은 에너지 효율적인 시맨틱 통신 시스템에 관한 최신 연구 동향을 조사한다. 무선 네트워크와 IoT 환경에서 시맨틱 정보 추출 및 자원 할당 문제를 중심으로, 에너지 소비를 최소화하면서 통신 성능을 극대화하는 방법들을 다룬다. 최근 연구들은 확률 그래프를 통한 다중 수준의 시맨틱 정보 추출, 비율 분할 방식의 하향 전송, 그리고 인지 UAV를 활용한 IoT 통신 시스템의 최적화 알고리즘을 제안하고 있다. 본 논문에서는 이러한 기술들의 주요 기여를 분석하고, 에너지 효율성을 개선하기 위한 향후 연구 방향을 제시한다.

I. 서론

에너지 효율성은 현대 통신 시스템에서 점점 더 중요한 주제가 되고 있다. 데이터 전송의 양이 급격히 증가함에 따라, 전통적인 데이터 중심의 통신 방식은 한계에 도달하고 있으며, 이는 환경적 및 경제적 부담을 초래한다. 시맨틱 통신은 데이터의 의미에 중점을 두어 불필요한 데이터 전송을 줄임으로써 이러한 문제를 해결할 수 있는 잠재력을 가지고 있다. 특히, 모바일 엣지 컴퓨팅과 결합된 시맨틱 통신은 통신 및 계산 자원의 효율적 할당을 통해 에너지 소비를 최소화하고 지연을 줄이는 데 중요한 역할을 한다. 본 논문은 시맨틱 통신 시스템에서의 에너지 효율성 향상을 위한 최신 연구 동향을 조사하고, 이들 연구가 제안하는 다양한 기법들의 장단점을 비교 분석한다.

II. 본론

[1]에서는 무선 네트워크에서 에너지 효율적인 시맨틱 통신을 위한 무선 자원 할당 및 시맨틱 정보 추출 문제를 다루었다. 고려된 모델에서 기지국은 대규모 데이터에서 시맨틱 정보를 추출한 후 이를 각 사용자에게 전송하여 사용자가 자신의 로컬 공통 지식을 바탕으로 원본 데이터를 복구했다. 기지국 측에서는 확률 그래프를 사용하여 다중 수준의 시맨틱 정보를 추출했으며, 하향 전송에서는 비율 분할 방식을 채택하여 작은 크기의 시맨틱 정보는 개인 메시지를 통해, 공통 지식은 공통 메시지를 통해 전송했다. 제한된 무선 자원으로 인해 계산 에너지와 전송 에너지가 모두 고려되었으며, 이 공동 계산 및 통신 문제는 계산, 지연, 송신 전력 제약 하에서 네트워크의 총 통신 및 계산 에너지 소비를 최소화하는 최적화 문제로 공식화되었다. 이 문제를 해결하기 위해 시맨틱 정보 추출 비율과 계산 주파수에 대한 폐쇄형 해를 각 단계에서 얻는 교대 알고리즘을 제안했으며, 수치 결과는 제안된 알고리즘의 효율성을 검증했다.

[2]에서는 비율 분할을 통한 무선 네트워크에서 에너지 효율적인 시맨틱 통신을 위한 무선 자원 할당 및 시맨틱 정보 추출 문제를 다루었다. 고려

된 모델에서 기지국은 대규모 데이터에서 시맨틱 정보를 먼저 추출한 후, 이를 각 사용자에게 전송하고 사용자는 로컬 공통 지식을 기반으로 원본 데이터를 복구했다. 기지국 측에서는 확률 그래프를 사용하여 다중 수준의 시맨틱 정보를 추출하였고, 하향 전송에서는 비율 분할 방식을 채택하여 작은 크기의 시맨틱 정보는 개인 메시지를 통해, 공통 지식은 공통 메시지를 통해 전송했다. 제한된 무선 자원으로 인해 계산 에너지와 전송 에너지가 모두 고려되었으며, 이 공동 계산 및 통신 문제는 계산, 지연, 송신 전력 제약 하에서 네트워크의 총 통신 및 계산 에너지 소비를 최소화하는 최적화 문제로 공식화되었다. 이 문제를 해결하기 위해, 시맨틱 정보 추출 비율과 계산 주파수에 대한 폐쇄형 해를 각 단계에서 얻는 교대 알고리즘을 제안했으며, 수치 결과는 제안된 알고리즘의 효율성을 검증했다.

사물인터넷(IoT)의 확산과 함께, 무인항공기를 기반으로 한 IoT가 최근 많은 관심을 받고 있다. IoT에서 인지 무인항공기는 스펙트럼 부족 문제를 해결할 뿐만 아니라 엣지 노드의 통신 품질을 향상시킬 수 있다. 그러나 방대한 양의 중복된 IoT 데이터 생성으로 인해 무인항공기와 지상 노드 간의 상호 이해를 실현하기 어렵다. 동시에, 무인항공기의 성능은 배터리 용량에 크게 제한된다. 자율적이고 에너지 효율적인 IoT 시스템을 구축하기 위해, [3]에서는 에너지 효율성을 최대화하기 위해 시맨틱 기반의 인지 무인항공기 네트워크를 조사했다. 인지 무인항공기 지원 IoT 통신을 위한 시맨틱 장치 모델을 구축하였으며, 에너지 효율성을 극대화하기 위해 무인항공기의 센싱 시간, 비행 속도 및 통신 범위를 공동 최적화하였다. 최적화 문제를 해결하기 위해 효율적인 교대 알고리즘을 제안하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 알고리즘을 검증하였다. 시뮬레이션 결과, 제안된 알고리즘 기반의 공동 최적화 방식이 일부 기존 방식에 비해 시스템 성능을 크게 향상시킬 수 있음을 보여주었다.

III. 결론

본 논문에서는 에너지 효율적인 시맨틱 통신 시스템에 관한 최신 연구

동향을 분석하였다. 무선 네트워크와 IoT 환경에서 시맨틱 정보 추출 및 자원 할당 문제를 해결하기 위한 다양한 접근법들이 제안되었으며, 이들 접근법들은 에너지 소비를 최소화하고 통신 성능을 향상시키는 데 크게 기여하고 있다. 특히, 확률 그래프를 통한 시맨틱 정보 추출, 비율 분할 방식의 하향 전송, 그리고 인지 무인항공기를 활용한 최적화 알고리즘 등이 주목할 만하다. 시맨틱 통신 시스템의 효율성을 높이기 위한 이러한 기법들은 미래의 6G 네트워크와의 통합 가능성을 제시하며, 향후 연구에서 다루어야 할 과제와 해결책을 논의하였다. 이러한 연구는 에너지 효율적인 통신 시스템을 구현하는 데 중요한 기반이 될 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2024-RS-2022-00156353, IITP-2024-RS-2023-00258639)

참 고 문 헌

- [1] Cang, Yihan, et al. "Online resource allocation for semantic-aware edge computing systems." *IEEE Internet of Things Journal* (2023).
- [2] Yang, Zhaohui, et al. "Energy efficient semantic communication over wireless networks with rate splitting." *IEEE Journal on Selected Areas in Communications* 41.5 (2023): 1484-1495.
- [3] Gu, Yilong, et al. "Energy efficiency optimization of cognitive UAV-assisted edge communication for semantic Internet of Things." *Wireless Communications and Mobile Computing* 2021 (2021): 1-12.