

위성 에지 컴퓨팅 오프로딩: 소개 및 연구 동향 조사

김가현, 이동현, 원동욱, 허동현, 홍성훈, 임유진*, 백정엽, 조성래
중앙대학교, *숙명여자대학교

{ghkim, dhlee, dwwon, dhur, shhong}@uclab.re.kr, *yujin91@sookmyung.ac.kr,
jpaek@cau.ac.kr, srcho@cau.ac.kr

Satellite Edge Computing Offloading : Introduction and Research Trends Survey

Kim Gahyun, Lee Donghyun, Won Dongwook, Hur Donghyeon, Hong Seonghun, Lim Yujin*, Paek Jeongyeup, Cho Sungrae
Department of Computer Science and Engineering, Chung-Ang Univ, *Sookmyung Univ.

요 약

위성 에지 컴퓨팅(Satellite Edge Computing)은 차세대 네트워크 유망 기술로 저궤도 위성을 사용하여 더 넓은 범위에서 통신을 가능하게 한다. 위성 에지 컴퓨팅을 효율적으로 사용하기 위해서는 컴퓨팅 작업을 오프로드할 시기와 방법을 결정하는 전략이 필수적으로 필요하다. 본 논문에서는 위성 에지 컴퓨팅에서의 효율적인 오프로딩 알고리즘을 소개하고, 알고리즘의 최신 연구 동향을 제시한다. 소개된 알고리즘은 시스템 지연을 낮추고 효율적인 오프로딩을 수행한다는 것을 보여준다.

I. 서론

위성 기술의 지속적인 발전에 따라 수많은 저궤도(Low Earth Orbit) 위성이 우주에 배치되어 차세대 위성-지상 통합 네트워크의 필수 구성 요소가 되었다. [1] 저궤도 위성 통신은 대용량, 장거리 통신, 재해에 대한 내성이라는 장점을 갖고 있으며, 기존 지상망을 보조해 미래 위성-지상 통합망(STIN)을 형성할 수 있는 잠재력을 보여준다.[2] 그러나 기존 저궤도 위성 통신은 긴 전파 지연, 제한된 에너지 공급 등 여러 문제에 직면해 있어 차세대 네트워크 시스템 아키텍처에 변화를 가져왔다. [3]

다중 액세스 에지 컴퓨팅(Multi-Access Edge Computing) 기술에서 영감을 받아 클라우드 서버의 계산 리소스를 저궤도 위성 네트워크의 에지로 싱크하는 위성 에지 컴퓨팅(Satellite Edge Computing)이 제안되었다.[4] 위성 에지 컴퓨팅은 지상 인프라가 구축되지 않은 곳에서도 더 넓은 적용 범위에서 오프로드된 더 많은 컴퓨팅 작업을 수용할 수 있으며, 풍부한 자원을 저궤도 위성 에지로 싱크함으로써 중단 간 전송을 줄여 낮은 지연을 달성할 수 있다.[2]

우주에서의 효율적인 작업 처리를 위해서 최근 연구에서는 위성에서 생성된 데이터를 지상국으로 전송하는데 중점을 두고 있다. 특히 계산 집약적이고 지연에 민감한 작업의 에너지 소비가 증가하기 때문에 위성 네트워크의 에너지 효율성은 중요한 고려 대상이 되었다.[5] 에너지 효율성은 결합된 오프로드 결정, 자원 할당과 연관되어 있어 새로운 오프로드 알고리즘이 연구되고 있다.

본 논문에서는 위성 에지 컴퓨팅에서 사용되는 효율적인 오프로딩 알고리즘을 제시하고, 연구 동향을 소개하고 있다.

II. 본론

[6]의 저자들은 위성 간 컴퓨팅 리소스 및 통신 기능 공유를 고려하는 저궤도 위성 네트워크의 궤도상 작업 처리를 위한 효과적인 컴퓨팅 오프로딩 프레임워크를 설계한다.

제안된 알고리즘에서 각 위성은 로컬 데이터 세트를 저장하고 있으며, 데이터 전송 지연과 계산 지연을 최소화하도록 최적화한다. 이때, 비선형성으로 인해 마스터 문제와 두 개의 서브 문제로 분할하여, 각 서브 문제는 보조 변수를 도입하고 라그랑주 함수와 KKT 조건을 적용하여 변환된 형태로 해결되며, 최적의 전송 및 계산 전력 값을 도출한 후 이를 기반으로 오프로드 크기를 최적화한다.

성능 향상을 검증하기 위해 Local Computing(LC) 방식과 Sequential Computing Offloading(SCo) 방식과 비교 시뮬레이션을 진행하였다. 제안된 알고리즘은 세 가지 방식 중 항상 가장 좋은 성능을 보여주며, 시스템 지연 최적화 측면에서 데이터량이 많을수록 더욱 효과적이다. 또한, 동일한 전력 제약이 적용될 때 다른 방식보다 시스템 지연이 낮아 효율적임을 보인다.

[7]의 저자들은 비용 효율적인 태스크 오프로딩 알고리즘을 연구한다. 해당 알고리즘은 새로운 측정 지표를 임계값으로 제시해 오프로딩 문제를 저궤도-

지상국 링크의 통신 속도와 임계값을 비교하는 문제로 변환한다.

제안된 알고리즘의 오프로딩 절차는 다음과 같다

1) 저궤도 위성이 시스템 매개변수를 수집하고 임계값을 얻는다.

2) 저궤도 위성이 위성-지상 링크의 통신 속도를 추정한다. 계산에 사용되는 SNR 은 장거리 전파로 인해 위치 정보에 따라 저궤도-지상국 거리에서 대략적으로 얻을 수 있다.

3) 단계 2 에서 얻은 통신 속도를 임계값과 비교하고, 지상국에서의 원격 처리 모드 혹은 저궤도 위성에서의 로컬 처리 모드를 선택한다.

제안된 오프로딩 전략은 에너지 소비와 작업 지연을 고려하여 최적화 문제를 처리하며, 데이터 처리에 대한 비용이 적은 모드를 선택한다. 또한, 임계값 기반 솔루션은 계산 복잡성을 간소화하고, 대부분의 시스템 매개변수를 LEO 위성에서 지역적으로 얻거나 예측하여 전파 지연을 줄인다.

시뮬레이션 결과에서 두 개의 모드 모두 최저점에서 최저 비용을 달성하는 것을 확인하였다. 도출된 임계값을 사용하였을 때, 통신 속도와 임계값의 교차점에서 원격 처리 모드와 로컬 처리 모드의 전환을 수행하고, 출력-입력 비율이 작을수록 더 많은 시간동안 저궤도 위성에서의 로컬 처리 모드를 유지하는 것을 보여준다. 제안된 알고리즘은 낮은 복잡성으로 향상된 에너지 지연을 달성하여 비용 효율적인 방식으로 오프로딩을 진행한다.

III. 결론

본 논문에서는 위성 에지 컴퓨팅을 효율적으로 활용하기 위한 오프로딩 알고리즘을 소개하고 그 성능 효율성을 보여준다.

첫 번째 알고리즘은 위성 간 컴퓨팅 리소스 및 통신 기능의 효과적인 공유를 고려하여 작업 처리를 최적화하는 프레임워크를 제안한다. 두 번째 알고리즘은 비용 효율적인 태스크 오프로딩을 위한 임계값 기반의 솔루션을 제안한다.

해당 알고리즘들은 위성 에지 컴퓨팅 오프로딩을 효과적으로 수행하며, 시스템 지연과 비용 효율적인 측면에서 향상된 성능을 보인다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

[1] "Solutions for NR to support non-terrestrial networks (NTN)", vol. 16.1.0, May 2021.

[2] J. Liu, X. Du, J. Cui, M. Pan and D. Wei, "Task-oriented intelligent networking architecture for space-air-ground-aqua integrated network", IEEE Internet of Things Journal, no. 99, pp. 1-1, 2020.

[3] N. Hassan, C. Huang, C. Yuen, A. Ahmad and Y. Zhang, "Dense small satellite networks for modern terrestrial communication systems: benefits infrastructure and technologies", IEEE Wireless Commun., vol. 27, no. 5, pp. 96-103, Oct. 2020.

[4] Fangmin Xu, Fan Yang, Chenglin Zhao and Sheng Wu, "Deep reinforcement learning based joint edge resource management in maritime network", China Communications, vol. 17, no. 5, pp. 211-222, 2020.

[5] R. Liu, M. Sheng, K. S. Lui, X. Wang, Y. Wang and D. Zhou, "An analytical framework for resource-limited small satellite networks", IEEE Communications Letters, vol. 20, no. 2, pp. 1-1, 2016.

[6] Z. Zhai, S. Yu, F. Zhang and X. Chen, "An On-orbit Computation Offloading Framework for Satellite Edge Computing," 2022 IEEE/CIC International Conference on Communications in China (ICCC), Sanshui, Foshan, China, 2022, pp. 1062-1067

[7] X. Yang and B. Hong, "Cost-Efficient Task Offloading for Satellite Edge Computing Systems," 2022 International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Shenzhen, China, 2022, pp. 1-5,