

# 우주-공중-지상 통합 네트워크에서의 엣지 컴퓨팅 시나리오

정수엽, 유준규

위성광역인프라연구실, 한국전자통신연구원

jung2816@etri.re.kr

## Edge Computing Scenario in Space-Air-Ground Integrated Network

Sooyeob Jung, Joon Gyu Ryu

Satellite Wide-Area Infra Research Section, ETRI

### 요 약

본 논문은 우주-공중-지상 통합 네트워크에서의 엣지 컴퓨팅 시나리오에 대해서 기술한다. 지상에서는 IoT 센서가 데이터 수집을 목적으로 넓은 지역에 다량으로 분포되어 있으며, 수집된 데이터는 공중에서 UAV가 IoT 센서 위를 날아다니면서 전달받고 이를 엣지 컴퓨팅을 통해 최종 어플리케이션을 위해 처리한다. 하지만 UAV는 에너지 및 처리용량의 한계가 있어 이를 분담하고자 저궤도 위성의 클라우드 서버에게 일부를 오프로딩하여 클라우드 컴퓨팅을 통해 처리하고자 한다.

### I. 서 론

본 논문에서는 우주-공중-지상 통합 시나리오에서 지상 IoT (Internet of Things) 센서로부터 수집된 데이터의 실시간 활용을 위한 UAV (Unmanned Aerial Vehicle) 및 LEO (Low-Earth Orbit) 위성이 지원하는 계산 오프로딩 방식에 대해 제시한다. UAV와 LEO 위성의 연산 자원은 각각 IoT 데이터의 실시간 활용을 위한 엣지 서버와 클라우드 서버가 사용된다. 지금까지 LEO 위성을 통한 지상 클라우드 서버의 사용이 일반적으로 제안되어 왔지만, 이러한 통신 경로는 전송 지연을 크게 증가시켜 지상 사용자의 실시간 요구 사항을 충족하기 어려웠다. 따라서 전송 지연을 줄이기 위해 클라우드 서버가 탑재된 LEO 위성을 적용한다.

### II. 본론

우주-공중-지상 통합 네트워크 시나리오의 시스템 모델에서는 클라우드 서버가 있는 LEO 위성의 빔 커버리지에서 엣지 서버가 있는 UAV는 다중개의 IoT 센서에서 프레임 데이터들을 수집한다. IoT 센서와 UAV 사이, UAV와 LEO 위성 사이의 통신 링크는 상향링크와 하향링크에 대해 동일한 대역폭을 갖는 주파수 분할 다중접속 방식을 적용한다. IoT 센서에서는 처리할 입력 정보 비트의 수를 정의한다. 클라우드 서버와 엣지 서버의 계산 작업은 각각 입력 비트당 생성되는 출력 비트 수 및 컴퓨팅을 위한 입력 비트당 CPU 사이클 수의 특징으로 나타낼 수 있다. 이러한 모든 작업이 정의된 프레임 시간내에 계산되어야 한다고 가정한다. 채널 모델은 IoT-UAV와 UAV-LEO 사이의 LOS (Line-Of-Sight)가 주요하게 작용하는 통신 채널이 고려될 수 있으며, 이 때, UAV-LEO 사이의 긴 거리로 인해 큰 전송 파워 소모가 발생할 수 있다.

앞서 설명된 시스템 모델에서 UAV 에너지를 최소화하도록 문제를 공식화하고, 관련된 제약조건을 정의할 수 있다. 이러한 최적화 문제는 이중 분해를 통한

closed-form 솔루션 또는 CVX와 같은 표준 convex 최적화 solver를 통해 UAV 경로와 수집된 데이터의 비트 할당과 같은 최적화된 변수 값을 찾음으로써 UAV 에너지를 최소화할 수 있다.

위 최적화 문제에서 UAV 에너지는 비행 에너지, 자체 계산 에너지, LEO 위성으로의 오프로딩 에너지로 구성된다. 제약조건으로는 IoT 센서에서 UAV로의 데이터 전송 에너지 제약, UAV 최대 비행 속도 제약, IoT 센서로부터 수집된 데이터보다 그 다음 단계의 데이터 처리 과정에서의 전달 및 계산 비트 수가 더 작아야 한다는 크기 제약이 있을 수 있다. 그 밖에도 UAV 데이터 처리 능력을 초과하는 수집 데이터가 전달되었을 때, 오프로딩이 이루어지도록 기준점 설정이 필요하며, LEO 위성에서의 접속 여부도 최적화 과정에서 중요한 요소로 작용할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 우주-공중-지상 통합 네트워크에서의 엣지 컴퓨팅 시나리오를 정의하고 있으며, 이러한 시나리오에서 UAV 에너지를 최소화하기 위한 최적화 문제와 제약조건에 대해서 기술하고 이에 대한 해결책을 제시하였다.

### ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부 국제공동개발사업으로 지원된 연구임. [P0011927, 저궤도위성 5G/6G 대응 지상장비(모뎀) 한·스페인 양자개발]

### 참 고 문 헌

- [1] Q. Tang, Z. Fei, B. Li, and Z. Han, "Computation Offloading in LEO Satellite Networks With Hybrid Cloud and Edge Computing," IEEE Internet Things J., vol. 8, no. 11, pp. 9164-9176, Jun. 2021.