

IoT 환경에서 UAV-BS와 저궤도 위성을 활용한 효율적인 태스크 오프로딩 기법 연구

강석원[○], 홍충선*
경희대학교 컴퓨터공학과
{dudntdud, cshong}@khu.ac.kr

Efficient Task Offloading using UAV-BS and LEO Satellite in IoT Network Environment

SeokWon Kang[○], Choong Seon Hong*
Department of Computer Science and Engineering, Kyung Hee University

요 약

최근 IoT 및 5G 네트워크의 빠른 발전과 함께 대량의 컴퓨팅 리소스의 수요 또한 증가하고 있다. 이러한 자원 수요의 급증에 대응하기 위해 모바일 에지 컴퓨팅 방식이 활용되고 있지만 교외지역 및 급증하는 수요 장소마다 소형 셀 기지국을 설치하는 것은 비효율적이다. 이에 따라 유연하게 설치할 수 있는 UAV-BS 및 넓은 커버리지에 대응할 수 있는 저궤도 인공위성을 활용하여 IoT 노드의 연결을 제공 할 뿐만 아니라 태스크 오프로딩을 통해 각 IoT 노드들의 어플리케이션 처리를 빠르게 돕는다. 본 논문에서는 UAV를 K-menas 클러스터링을 통해 배치하고, UAV-BS와 저궤도 인공위성에 연결되어있는 클라우드 서버의 VM을 활용하여 각 연결되어 있는 IoT 노드들의 태스크 오프로딩 요청을 처리함으로써 기존의 환경보다 좀 더 빠른 어플리케이션 처리를 제공 할 수 있음을 보인다.

1. 서 론

최근 Internet of Things (IoT) 및 5G 네트워크의 빠른 발전과 함께 인터넷 사용자들의 가상현실, 고화질 영상 스트리밍과 같은 대량의 컴퓨팅 리소스를 고신뢰도, 저 지연 환경에서 제공하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다[1][2]. 이러한 자원 수요의 급증에 대응하기 위한 방식으로 모바일 에지 컴퓨팅 (MEC) 방식이 활용되며, 기하급수적으로 증가하는 에지 컴퓨팅 리소스를 제공할 수 있는 매크로/소형 셀 기지국을 배치한다. 그러나 이러한 방식은 교외지역 및 수요가 일시적으로 급증하는 장소까지 서비스를 제공하기 힘들뿐더러 기지국을 설치하는데 비용 및 시간 측면에서 비효율적이기 때문에 급증하는 데이터 수요에 유연하게 반응하기 위하여 모바일 에지 컴퓨팅을 제공할 수 있는 UAV-BS를 활용한다. 그러나 여전히 네트워크 커버리지의 범위 혹은 UAV-BS의 부족한 컴퓨팅 리소스가 IoT 노드의 태스크 오프로딩 문제를 해결함에 있어 제약이 남아있다. 이러한 UAV-BS가 제공하기 힘든 문제를 해결하기 위해 저궤도 (Low Earth Orbit) 인공위성과 백홀망을 통해 연결된 클라우드 서버를 통해 빠르고 강력한 컴퓨팅 리소스를 제공할 수 있을 뿐 아니라 커버리지 문제 또한 해결 할 수 있다[3].

본 논문의 2장에서는 IoT 노드와 연결된 UAV-BS, 그리고 저궤도 인공위성의 네트워크 모델 및 IoT 노드의 오프로딩 요청의 최적화와 IoT 노드들의 태스크 처리 최소화를 위한 목적 함수를 설정하며, 본 논문에서 제안하는 모듈을 설명한다. 3장에서는 제안된 시스템 모델과 환경변수를 설정한 후에 기존의 알고리즘과 비교하기

위한 시뮬레이션을 진행하며 성능을 평가하고, 5장에서 결론 및 향후 방안을 제시한다.

2. 제안사항

그림 1은 본 논문에서 제안하는 시스템 구성도이며, 다음과 같이 IoT 노드, UAV-BS 그리고 저궤도 인공위성 및 백본 네트워크로 연결된 클라우드 서버로 이루어져 있다. 여기서 IoT 노드는 $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$, UAV-BS는 $U = \{1, 2, 3, \dots, u\}$ 으로 나타낼 수 있으며 저궤도 인공 위성은 $S = \{1, 2, 3, \dots, s\}$ 이다. 또한 IoT 노드 n 이 실행하는 태스크는 $I_n = \{1, 2, 3, \dots, i\}$ 과 같이 나타낼 수 있다.

2.1 Network Model

본 논문에서의 네트워크 모델은 Satellite와 UAV-BS 사이의 네트워크 모델 및 UAV-BS와 IoT 노드 사이의 네트워크 모델을 정의한다.

그림 2는 UAV-BS와 IoT 노드 사이의 변수를 나타내며, d 는 UAV-BS와 IoT 노드간의 거리, R 은 UAV의 커버리지 거리, H 는 UAV-BS의 높이이며 $U(x,y)$ 는 UAV-BS의 좌표를 나타낸다. 본 논문에서는 Air-to-Ground 채널 모

이 논문은 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(No.2019-0-01287, 분산 엣지를 위한 진화형 딥러닝 모델생성 플랫폼)과 2020년도 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 Grand ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2020-2015-0-00742)

*Dr. CS Hong is the corresponding author

델을 사용하며 논문 [4]에 따라 공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

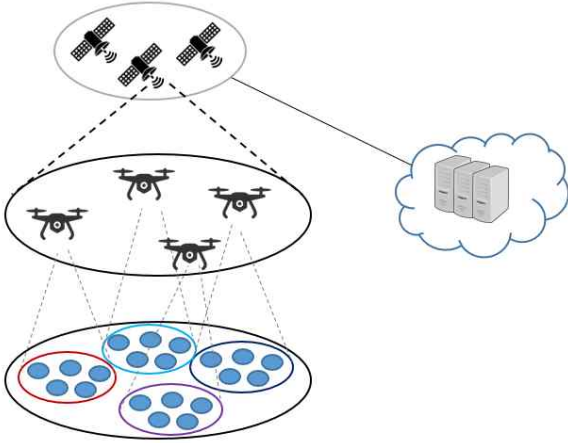


그림 1. 시스템 모델

$$P_{LoS}(H, r_{ij}) = \frac{1}{1 + a \exp(-b(\frac{180}{\pi} \tan^{-1}(\frac{H}{r_{ij}}) - a))}, \quad (1)$$

$$P_{NLoS}(H, r_{ij}) = 1 - P_{LoS}(H, r_{ij}) \quad (2)$$

$$PL(dB) = 20 \log_{10}(\frac{4\pi df}{c}) + P_{LoS}(H, r_{ij}) + P_{NLoS}(H, r_{ij}), \quad (3)$$

여기서 r_{ij} 는 UAV-BS와 n 사이의 거리를 나타내며, c 는 빛의 속도를 나타낸다. 식 (1), (2), (3)을 통해 신호 대비 잡음비와 신호세기, 그리고 IoT 노드와 UAV-BS 사이의 데이터 전송속도를 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r(d) = P_t + G_t - PL - G_r - L, \quad (4)$$

$$SNR = \frac{\text{signal power}}{\text{noise power}} = \frac{P_r(d)}{N}, \quad (5)$$

$$c^{UAV} = B_{UAV} \log_2(1 + SNR_{ij}^{UAV}), \quad (6)$$

위와 같은 방법으로 저궤도 위성과 UAV-BS간의 데이터 전송속도를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

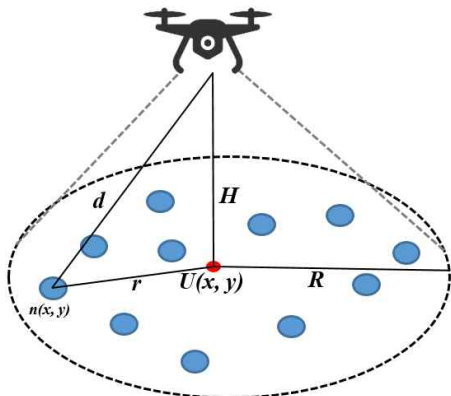


그림 2. UAV-BS 및 IoT 네트워크 모델

$$c^{Satellite} = B_{Satellite} \log_2(1 + SNR^{Satellite}), \quad (7)$$

$$t^{UAV} = \frac{a}{c^{UAV}}, \quad t^{Satellite} = \frac{a}{c^{Satellite}} \quad (8), (9)$$

여기서 a 는 전송하는 데이터의 크기를 의미한다. 식 (6), (7), (8)과 (9)를 통해 IoT 노드가 태스크를 오프로딩할 때 걸리는 지연시간을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t^{transmission} = t_{un}^{transmission} x_u + t_{su}^{transmission} x_s \quad (10)$$

여기서 $x_u \in \{0, 1\}$ 및 $x_s \in \{0, 1\}$ 는 각각 UAV-BS 혹은 저궤도 인공위성에 태스크 오프로딩을 하게 되었을 경우에 1이며 그렇지 않을 경우에는 0이다.

2.2 Cost Model

각 UAV-BS 및 저궤도 인공위성과 연결된 클라우드 서버는 IoT 노드가 오프로딩을 요청한 태스크를 처리하기 위해 VM을 할당 할 수 있다. 여기서 Z_i 는 태스크 i 가 실행되는데 필요한 자원 크기이며, C_s, C_u, C_n 는 각각 저궤도 인공위성, UAV-BS, IoT 노드의 컴퓨팅 리소스이다.

즉 태스크 i 를 실행하기 위하여 걸리는 시간은 $\frac{Z_i}{C_s}$,

$\frac{Z_i}{C_u}$ 그리고 $\frac{Z_i}{C_n}$ 로 나타낼 수 있다. 즉 IoT 노드 n 이 태스크 오프로딩을 위해 필요한 시간은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$t_i^{offloading} = t^{transmission} + \frac{Z_i}{C_s} x_s + \frac{Z_i}{C_u} x_u + \frac{Z_i}{C_n} x_n \quad (11)$$

식 (11)에 따라 각 IoT 노드의 태스크 처리를 최소화시키기 위한 공식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\min \sum_{k=1}^i t_k^{offloading} \quad (12)$$

각 IoT 태스크 처리를 최적화하기 위하여 IoT 노드의 로컬 실행, UAV-BS 및 클라우드 서버의 VM 개수로 이루어진 행렬 W 를 정의하고, 행렬 요소의 값 x 를 $t_i^{offloading}$ 로 할당한 후에 헝가리안 알고리즘을 통하여 최적화된 배치를 설정한다.

2.3 System Module

그림 3은 본 논문에서 제안하는 시스템 모듈의 구성도이다. UAV-BS는 연결된 IoT 노드들의 태스크 크기 및 요청 태스크 개수 I 를 수집하고, 이 정보를 토대로 Offloading Module은 본 논문에서 제안하는 모델을 토대로 클라우드 서버에서 처리될 것인지 UAV-BS에서 처리할 것인지를 결정한다. 만약 UAV에서 처리될 경우에는 VM Allocation Module이 해당 태스크에 맞게 VM을 할당하고 태스크를 실행하고 결과를 해당 IoT 노드에게 반환한다. 클라우드 서버에서도 마찬가지로 UAV-BS가

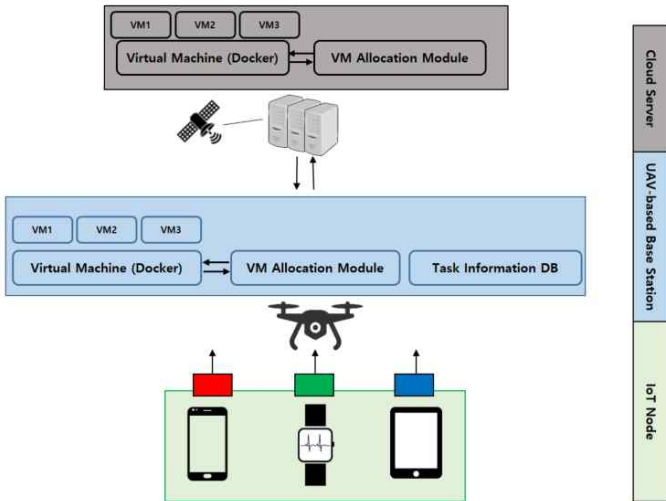


그림 3. 시스템 모듈

태스크 오프로딩을 요청해왔을 경우에 VM Allocation 모듈은 해당 태스크에 맞게 VM을 할당하고 실행한 후에 결과값을 UAV-BS를 통해 해당 IoT 노드에 송신한다. Virtual Machine의 경우에는 Docker를 활용하여 구성하였다.

3. 성능평가

본 논문에서 제안하는 시스템을 평가하기 위한 방법으로 랜덤하게 오프로딩하는 상황, Greedy 알고리즘과 비교하여 성능평가 하였다. 데이터셋은 [5]를 활용하였으며, IoT 노드는 Poisson Point Process에 따라 1km X 1km 거리에서 랜덤하게 100명의 유저를 배치하였다. 또한 UAV는 5대로 설정하였으며, UAV-BS의 위치는 동등한 IoT 노드의 개수에 연결 제공을 위해 K-means 클러스터링을 통하여 위치를 선정하였으며 이는 그림 4와 같다.

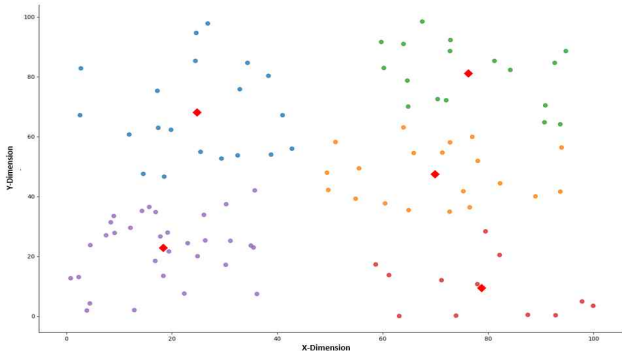


그림 4. K-means 클러스터링을 통한 UAV 배치

시뮬레이션을 위해 이렇게 배치된 저궤도 인공위성, UAV-BS 및 IoT 노드의 컴퓨팅 리소스 크기는 각각 $C_s=10GC/s$, $C_u=3GC/s$, $C_n=200MC/s$ 로 설정되었다. 이렇게 설정된 환경에서 100명의 IoT 노드가 가지고 있는 태스크를 끝내기 위해 필요한 시간은 그림 5와 같이 나타낼 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 UAV-BS와 저궤도 인공위성을 활용한 프레임워크를 제안하고 이를 활용하여 IoT 노드들의 태스크를 오프로딩하여 처리시간을 최적화하였다. 저궤도 인공위성은 커버리지뿐만 아니라 백홀망을 통해 연결된 클라우드 서버를 통해 IoT 노드들에게 강력한 컴퓨팅을 제공할 수 있을 뿐만 아니라 커버리지 또한 넓어 교외 지역의 연결까지 해결 할 수 있다. 그러나 본 논문에서는 UAV 및 IoT 노드들의 에너지 효율이 고려되어있지 않은 상황이며 또한 IoT 환경에서는 각 태스크 별 실행 제한 시간을 고려해야한다. 이러한 문제들을 향후 개선하여 본 시스템 모델에 적용할 예정이다.

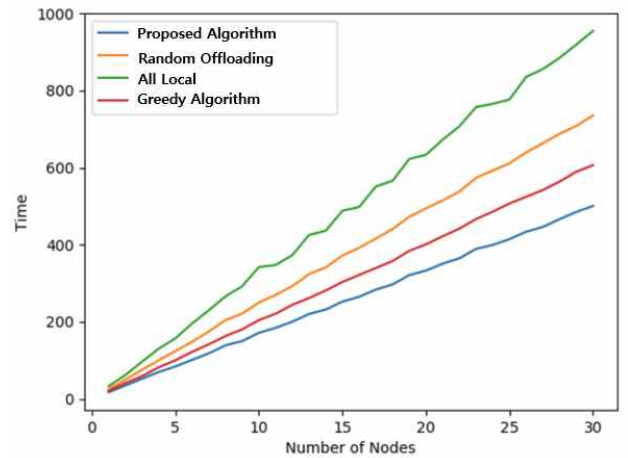


그림 5. 시뮬레이션 결과

5. 참고문헌

- [1] P. Zhang, J. K. Liu, F. R. Yu, M. Sookhak, M. H. Au and X. Luo, "A Survey on Access Control in Fog Computing," in IEEE Communications Magazine, vol. 56, no. 2, pp. 144-149, Feb. 2018.
- [2] Sarder Fakhrol Abedin, Md. Golam Rabiul Alam, S. M. Ahsan Kazmi, Nguyen H. Tran, Dusit Niyato, and Choong Seon Hong, "Resource Allocation for Ultra-reliable and Enhanced Mobile Broadband IoT Applications in Fog Network," IEEE Transactions on Communications, Vol.67, Issue 1, pp.489-502, January 2019
- [3] Doya Di, Hongliang Zhang, Lingyang Song, Yonghui Li and Geoffrey Ye Li, "Ultra-Dense LEO: Integrating Terrestrial-Satellite Networks Into 5G and Beyond for Data Offloading.," in IEEE Transactions on Wireless Communications, vol 18, Issue 1, Jan. 2019
- [4] Yumin Park, Minkyung Lee and Choong Seon Hong. "Multi-UAVs Collaboration System based on Machine Learning for Throughput Maximization", The 20th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium(APNOMS), Sep. 18-20, 2019, Matsue, Japan
- [5] Juan Sebastian Rojas Melendez, Alvaro Rendon, Juan Carlos Corrales, "Personalized Service Degradation Policies on OTT Applications Based on the Consumption Behavior of Users", International Conference on Computational Science and Its Applications 2018, pp. 543-557, July 2018