

임무 중심 멀티 홉 UAV 네트워크를 위한 적응적 TDMA 데이터 슬롯 할당 기법

곽옥수, 금두호, 고영배

{rhkrdrnrt111, dooho1000, youngko}@ajou.ac.kr

AI 융합네트워크학과, 아주대학교

Adaptive TDMA data slot allocation technique for mission-driven multi-hop UAV networks

Uk Su Kwak, DooHo Keum, Young-Bae Ko*(Ajou Univ.)

요 약

멀티 홉 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)환경에서는 드론의 임무가 다양해지고 고도화되면서 특정 임무 목표를 달성하기 위한 자원할당 스케줄링 기술이 요구된다. 드론은 군 환경, 재난환경 등의 환경에서 주요 임무를 수행하는데 활용되고 있으며 특정 상황에 따라 데이터가 긴급하고 신속하게 전달되어야 한다. 그러나 특정 임무 목표 성능을 달성하기 위한 데이터 슬롯 할당 기술 연구는 여전히 해결해야 할 문제이다. 본 논문에서는 임무에 따라 탐색 임무 드론과 중계 임무 드론을 구분하고 임무에 대한 목표를 달성하기 위한 데이터 슬롯 할당 기술을 제안한다. 성능평가를 위해 OPNET 네트워크 시뮬레이터를 통해 기본 TDMA의 고정 할당 방식과 비교하여 성능을 검증하고 지연시간을 줄이는 결과를 도출하였다.

I. 서 론

최근 재난환경, 군 환경, 민간 서비스 환경 등의 분야에서 다양한 목적으로 드론들을 활용하는 사례가 증가하고 있다. 드론들은 소형화, 저가화되고 있으며 효율적인 관리를 위해 적은 에너지를 소모하면서 성능을 보장하기 위한 기술 연구가 활발하게 이루어지고 있다[1]. 또한 멀티 드론 활용을 위해 FDMA(Frequency Division Multiple Access), TDMA(Time-Division Multiplexing Access), CDMA (Code Division Multiple Access) 등 여러 MAC(Medium Access Control) 프로토콜을 활용하여 효율적으로 자원할당을 하기 위한 연구가 진행되고 있다[1,2]. 하지만 특정 임무의 목표 성능을 달성하기 위한 데이터 슬롯 할당 기술 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 특히 많은 데이터가 요구되는 환경에서는 병목현상 등으로 인해 주요 데이터에 대한 지연이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 특정 임무를 수행하는 환경을 설정하고 임무에 따라 드론을 구분하여 자원을 효율적으로 할당하는 기술을 제안한다. 본 기술을 통해 임무 목표를 달성하기 위한 지연시간을 줄이는 결과를 확인할 수 있었다.

II. 관련연구

멀티 홉 드론 노드들의 효율적인 데이터 전송을 위해서는 효율적인 데이터 슬롯 할당 기술이 필요하며 이를 위해 다양한 연구가 이루어지고 있다. TDMA 방식은 FDMA에 비해서 적은 전력을 사용해야 하는 소형 UAV 환경에서 효율적으로 사용될 수 있다[3]. 하지만 기존의 TDMA 방식을 통한 소형 UAV 운용과 관련된 연구들은 타임 슬롯을 머신 러닝 혹은 특수한 알고리즘을 통해 최대한 효율적으로 사용하는데 집중해 있다[4]. 그 외에도 상대적으로 적지만 프레임의 데이터 슬롯을 얼마나 효율적으로 할당 및

사용하는지에 따라 통신 성능이 크게 영향을 받을 있는지 연구한 연구도 있다[2]. 하지만 빈 데이터 슬롯을 재활용한다는 내용이며 해당 내용에 대해서도 자세히 다루지 않았다. 본 논문은 이러한 문제점을 인식하고 TDMA MAC 프로토콜의 효율성을 증가시키기 위한 프레임의 데이터 슬롯 할당 알고리즘을 제안한다.

III. 제안기법

멀티 홉 드론 네트워크 환경에서의 수집된 데이터들을 목적지로 전송하기 위해 임무에 따라 두가지 노드로 분류할 수 있다. 첫번째는 탐색 노드로 탐색 지역에서 기지국으로 전송할 다양한 센서정보를 수집한다. 두번째는 중계 노드로 탐색 노드에서 수집한 데이터를 기지국으로 전달하는 역할을 한다. 이때 데이터의 효율적인 전송을 위해 기지국에서는 각 노드들의 타임 슬롯과 데이터 슬롯을 할당할 수 있다. 기존의 TDMA는 프레임 별 전송을 처리할 때 비콘 메시지 교환 및 데이터 슬롯을 할당할 때 지연시간이 발생할 수 있으며 이러한 문제를 해결하기 위해 지연시간을 줄여 데이터 전송을 더욱 신속히 할 수 있는 멀티 프레임 구조를 제안한다.

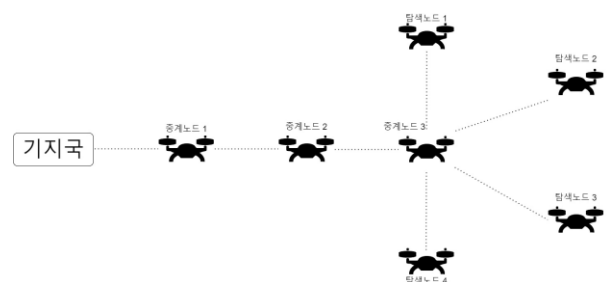


그림 1. 구성 토폴로지

본 논문에서는 한 프레임 당 할당할 수 있는 데이터 슬롯의 개수를 44 개로 설정하였으며 중계 및 탐색 임무 시 최대 88 개의 데이터 슬롯을 사용하여 기지국이 데이터를 수집하는 상황을 가정하였다. 특히, 효율적인 슬롯 할당을 위한 가용 가능한 슬롯에서 적응적으로 슬롯을 할당하는 방식을 제안한다. 적응적으로 슬롯을 할당하는 이유는 탐색 임무를 수행하는 노드에 따라 높은 화질의 영상, 온도, 기상 정보와 같은 다양한 크기의 센서 값을 사용할 수 있기 때문이다. 따라서 본 논문에서 그림 1 과 같이 구성된 토폴로지에서 기지국은 일부 탐색 노드에게 가용한 슬롯에 따라 더 많은 슬롯을 할당하거나 적은 슬롯을 할당할 수 있다.

적응적 데이터 슬롯 할당을 하기 위해 기지국은 탐색 작업을 실행할 탐색 노드에게 현재 기지국이 수신하고 있는 데이터의 크기와 해당 데이터를 송신하는 노드의 정보를 기반으로 사용할 데이터 슬롯을 알려준다. 전송할 데이터의 크기가 클수록 많은 데이터 슬롯을 할당 받게 되지만 다른 탐색 노드들이 보내는 데이터가 더 크면 상대적으로 적은 슬롯을 할당 받게 된다. 하지만 이런 경우 전송 데이터의 크기가 작지만 중요한 정보가 늦게 전송될 수 있다. 이를 방지하기 위해 기지국은 탐색 노드 중 높은 중요도의 임무를 수행하는 탐색 노드에 더 많은 데이터 슬롯을 할당해준다. 또한 새로 사용할 탐색 노드에게만 슬롯을 할당하는 것이 아닌 이미 데이터를 전송하고 있는 다른 탐색 노드들에게도 데이터 전송을 위한 새로운 크기의 슬롯을 할당해준다. 이러한 제안 방법을 통해 탐색 노드에서 수집한 데이터를 기지국으로 빠르게 전송할 수 있으며 추가적인 탐색 노드가 생겼을 때도 데이터 전송 충돌을 방지할 수 있다.

IV. 성능평가

본 논문에서는 성능평가를 위해 OPNET 네트워크 시뮬레이터 18.0.3 버전을 활용하여 구현 및 검증 진행하였다. 시뮬레이션 환경은 1 개의 BS 노드와 3 개의 중계 임무 드론 및 4 개의 탐색 임무 드론을 배치하였으며 탐색 임무 드론은 주기적으로 영상 데이터를 발생하도록 설정하였다. 중계 임무 드론 노드는 특정 위치로 이동하여 하버링 하며 중계 임무를 수행하고 탐색 임무 드론 노드는 일정 탐색 범위를 이동하며 탐색 임무를 수행한다. 그림 2 는 시뮬레이션 시작 후 20 초부터 기지국으로 영상 데이터 트래픽이 발생시켜 측정한 지연시간 결과를 나타내며 가로축은 경과시간, 세로축은 단-대-단 지연시간을 의미한다. TDMA 데이터 슬롯 균등 분할 방식은 약 78ms 의 지연시간이 발생한 반면 제안 기법은 약 30ms 의 낮은 지연시간을 보이는 결과를 나타낸다. 그 이유는 데이터의 전송이 필요할 때 적응적 TDMA 스케줄링 기법을 통하여 데이터 슬롯을 필요한 양에 따라 적응적으로 할당했기 때문이다.

하지만 200 초대를 보면 제안 기법의 지연시간이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 기존의 트래픽보다 작은 트래픽이 추가적으로 발생한 경우로 해당 트래픽은 임무 중요도가 낮은 상황을 가정했기 때문에 실제로는 기존 TDMA 와 유사한 성능을 내는 것을 알 수 있다. 하지만 앞에서 말한 크기가 작은 데이터이더라도 중요한 데이터와 같은 경우라면 우선순위에 따른 데이터 슬롯 할당 또한 고려되어야 한다.

정리하자면 성능평가 결과 멀티 홉 탐색 임무 네트워크 환경에서 본 논문에서 제안하는 스케줄링 기술을 적용하면 효과적인 결과를 얻을 수 있으며 이를 위해서는 트래픽의 크기, 전송 데이터의 우선순위 같은 요소들이 고려되어야 한다.

V. 결론

본 논문에서는 멀티 홉 UAV 임무 탐색 환경에서 발생할 수 있는 지연시간을 줄이기 위해 멀티 프레임 구조와 데이터 슬롯의 유동적 할당 방법을 제안하였다. 그 결과 성능평가에서 지연시간을 비교스킵 대비 현저하게 줄이는 결과를 도출하였다. 향후에는 토폴로지의 확장성을 넓히고 다양한 데이터 트래픽을 발생시켰을 때의 성능을 심층 분석할 것이다.

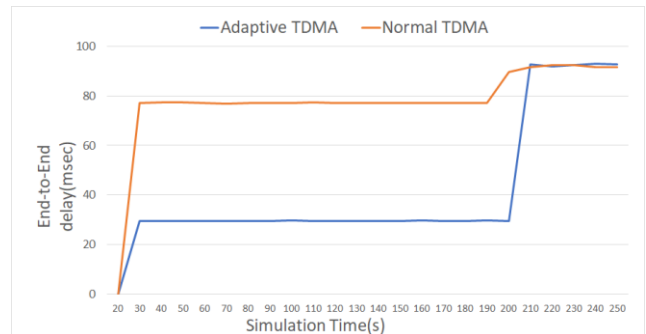


그림 2. TDMA 및 제안 기법 단-대-단 지연시간 비교

참 고 문 헌

- [1] Bekmezci, O. K. Sahingoz, Ş. Temel, 2013, Flying Ad-Hoc Networks (FANETs): A survey
- [2] C. Cai, J. Fu, H. Qiu, and Y. Lu, "An Active Idle Timeslot Transfer TDMA for Flying Ad-Hoc Networks," in 2020 IEEE 20th International Conference on Communication Technology (ICCT), 2020.
- [3] S. Yin, Y. Zhao, and L. Li, "Resource Allocation and Basestation Placement in Cellular Networks With Wireless Powered UAVs," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 68, no. 1, pp. 1050– 1055, Jan. 2019.
- [4] M. Y. Yi and Y. Hwang, "Predicting the use of web-based information systems: self-efficacy, enjoyment, learning goal orientation, and the technology acceptance model," International Journal of Human-Computer Studies, vol. 59, no. 4, pp. 431– 449, Oct. 2003.