

자가학습 기반 Hybrid MAC 을 적용한 군용 UAV 통신 모델 연구

김규선¹, 이현수^{2*}, 정소이^{3**}, 김재현^{3**}, 김중헌^{2*}
 인하대학교¹, 고려대학교^{2*}, 아주대학교^{3**}

kingdom0545@inha.edu¹, hyunsoo@korea.ac.kr^{2*}, sjung@ajou.ac.kr^{3**}, jkim@ajou.ac.kr^{3**},
 joongheon@korea.ac.kr^{2*}

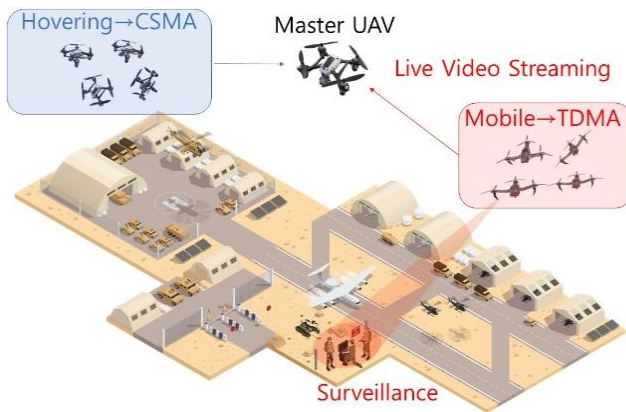
Self-Learning-Based Hybrid MAC for Military UAV Networks

Gyuseon Kim¹, Hyunsoo Lee^{2*}, Soyi Jung^{3**}, Jae-Hyun Kim^{3**}, Joongheon Kim^{2*}
 Inha Univ.¹, Korea Univ.^{2*}, Ajou Univ.^{3**}

요 약

UAV 는 빠른 기동성과 적진 깊숙이 들어갈 수 있는 장점을 지녀 군용으로 많이 연구되고 있다. 특히 UAV 가 군용으로 운용될 경우, 임무수행 특성상 군집 비행과 안정적인 통신 기술을 고려하지 않을 수 없다. 이에, 본 논문에서는 전장에서 군집 비행 상황을 가정하고, UAV 의 움직임에 따라 통신방식(CSMA/TDMA)을 달리하여, 다중 UAV 의 군집 비행에서도 빠른 속도로 통신할 수 있는 Hybrid MAC UAV 모델을 제안한다. 9 개의 sensor parameter 로 외부환경을 습득하고 이를 기반으로 한 자가학습 기반 Hybrid MAC 구현을 목표로 한다. Raspberry PI 로 UAV 를 제작하고 실제 비행 실험을 통해 구현하여, 적용한 알고리즘의 실질적인 통신 우수성을 평가함과 동시에 전장에서의 활용 가능성을 제시한다.

I. 서 론

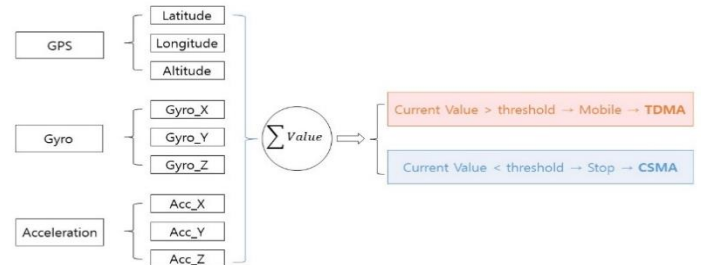


[그림 1] System model

Unmanned Aerial Vehicle (UAV)은 5G/6G 무선 통신 기술의 발전과 함께 빠르게 발전하고 있는 분야 중 하나로, 군용/농업용/운송용 등 다양한 산업 군에서 이미 활약 중에 있다. 특히 빠른 기동성과 사람이 들어갈 수 없는 군시설까지 들어갈 수 있는 UAV 는 적군 얼굴 인식/정찰/자폭 등 군용으로 많이 이용되고 있다[1]. 최근 우크라이나-러시아 전쟁에서도 군용 UAV 가 크게 중용되었다. 우크라이나가 자국 영토를 다시 탈환하는 데 있어, 정찰/자폭 목적의 군용 UAV 가 큰 역할을 하였다. 우크라이나-러시아 전쟁은 전시상황에서 군집 UAV 의 활용이 필수라는 사실을 보여준다 [2].

본 논문에서는 9 개의 UAV 가 적진에서 군집 비행을 하여, 적의 중요 영상 정보를 서버로 보내는, 특수한 전시상황을 가정하여 군용 UAV 의 통신 성능을 평가한다. UAV 움직임에 최적화된 통신방식인 Hybrid MAC 을 실제로 구현하여, 군용 UAV 의 통신 기술 발전 방안을 제시한다. [그림 1]은 본 논문의 시스템 모델로, UAV 의 이동성에 따른 통신방식과 현재 UAV 의 상태 및 감시영상을 서버로 보내는 군용 UAV 시스템을 함께 나타낸다. CSMA 는 녹화/교란 및 자폭용 UAV 로 활용이 가능하며, TDMA 는 적군의 감시영상을 서버에 송신한다.

II. Hybrid CSMA/TDMA MAC



[그림 2] System configuration

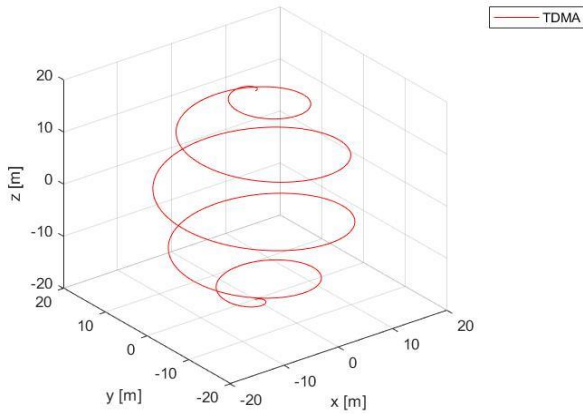
Hybrid CSMA/TDMA MAC 의 핵심은 UAV 의 이동성에 따라 통신방식을 다르게 하여, CSMA 구간에서 경쟁을 벌이는 UAV 의 수를 줄이는 것이다. 9 개의 UAV 가 모두 CSMA 로 통신할 경우, 채널 경쟁 과부하로 인한 불규칙한 지연 및 충돌로 인해 네트워크 성능이 낮아진다. 한편 CSMA 는, UAV 가 움직이는 경우에 통신 성능이 크게 열화되는 성질을 보인다. 이러한 문제점을 보완하기 위해 프로토콜을 UAV 의 움직임에 따라 분할하여, 통신 성능을 향상시킬 수 있다. 움직이는 UAV 는 TDMA 로 통신하고, 제자리에서 호버링하는 UAV 는 CSMA 로 통신하며, 처리량을 높이는 것을 목표로 한다. 이는 군집 UAV 환경 속에서 영상 및 상태 정보를 빠르게 전송해야 하는 정찰 목적의 군통신 시스템에 특히 적합하다 [3].

TDMA 는 각 UAV 에게 고유한 time slot 을 할당하는 다중접속 프로토콜로, UAV 간 충돌이 발생하지 않고 일정 간격으로 데이터를 전송할 수 있어 실시간 영상 전송에 많이 사용된다. 움직이는 UAV 가 TDMA 로 통신하며, 현재 자신의 상태 정보 및 적군의 감시영상을 실시간으로 서버에 송신한다. 영상 전송을 위한 TDMA 시스템의 총 처리량은 식 (3)과 같다 [4]. $S_{d,low}$, $S_{d,high}$ 는 각각 패킷 발생률이 작거나 클 때의 처리량이다. N 은 UAV 의 수, α 및 β 는 패킷 도착 확률, M_d 은 time slot 의 개수, S 는 하나의 time slot 에서의 처리량을 의미한다. 처리량(S_d)은 α 가 작고 β 가 클수록 증가한다.

$$S_{d,low} = NS + (M_d - N - [\alpha M_d])S \quad (1)$$

$$S_{d,high} = (2N - [\alpha M_d])S \quad (2)$$

$$S_d = \beta S_{d,low} + (1 - \beta)S_{d,high} = (2N - [\alpha M_s])S \quad (3)$$



[그림 3] UAV의 이동성에 따른 통신방식 (TDMA)



[그림 4] 실제 비행 실험 데이터

III. UAV의 이동성을 판단하는 sensor parameter

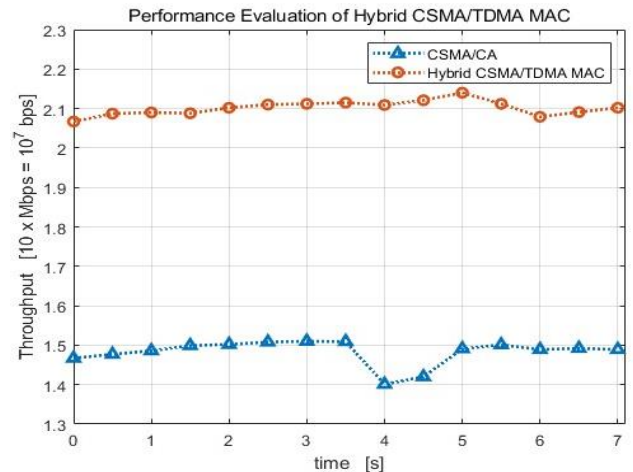
UAV는 총 3개의 sensor에서 9개의 parameter를 가져온다. GPS에서 위도/경도/고도를, 자이로와 가속도 센서에서는 3-axis 각축에 대한 자이로/가속도 값을 받아온다. GPS뿐만 아니라, 자이로/가속도 센서를 사용하여 외부환경을 습득하기 때문에, 지하벙커와 같이 GPS 신호가 잡히지 않는 군사시설에서도 무리 없이 임무를 수행할 수 있다. UAV가 센서로 외부환경을 습득하고, 환경에 따라 통신방법을 다르게 하는 방식은 [그림 2]와 같다.

9개의 parameter 중 어느 하나라도 미리 설정해 놓은 threshold보다 커지게 되면, UAV는 움직인 것으로 간주되어 TDMA 통신을 하고 그 외에는 CSMA 통신을 수행한다. UAV의 움직임을 파악할 수 있는 parameter가 총 9개이기 때문에 매우 정확하게 UAV의 움직임을 파악할 수 있다. [그림 3]은 UAV의 움직임에 따른 통신방식을 나타낸다. UAV가 해당 경로를 쉬지 않고 움직였을 때, 계속해서 TDMA 통신을 하는 것을 확인할 수 있다.

IV. 비행 실험

UAV는 실시간으로 자신의 GPS 좌표와 자이로/가속도 값 및 각 축에 대한 자세각을 서버로 전송하는데, ground controller는 이를 통해 UAV의 현재 상태를 파악할 수 있다. 그래서 ground controller는 실제 현장에 있지 않아도, UAV로부터 전송받은 sensor parameter를 통해 UAV의 현재 상태를 추정할 수 있다. 실제 비행 실험을 통해 실시간으로 UAV의 상태 정보를 송수신하는 것은 [그림 4]를 통해 확인할 수 있다. CSMA의 경우, UAV가 정지한 상태이기 때문에 값이 비교적 정적이고, TDMA는 움직이는 상태이기 때문에 비교적 동적인 것을 확인할 수 있다. [그림 4]는 좌측부터 CSMA/TDMA 통신 여부, 각축에 대한 자이로값 및 피치 각(y-axis)/롤 각(x-axis)을 나타낸다.

V. Hybrid UAV 성능평가



[그림 5] 비교군과 Hybrid UAV의 성능평가

다중 UAV가 모두 CSMA로 통신을 할 때 보다, 이동성에 따라 Hybrid CSMA/TDMA MAC을 적용했을 때, 40%가량 더 좋은 통신성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 4초 부근에서 UAV가 급격히 이동하였을 때, CSMA는 처리량이 조금 내려간데 반해, Hybrid CSMA/TDMA MAC은 일정한 처리량을 보인다.

VI. 결론

본 논문에서는 CSMA/TDMA 다중접속 프로토콜의 한계점과 장점을 분석하고, 이를 UAV의 이동성에 따른 통신 방식에 접목시켜, 군용 UAV의 전장에서 활용 가능성에 대해 연구하였다. 현대전에 있어 군용 UAV의 중요성이 커지는데 가운데, UAV의 이동성에 따라 통신방식을 각각 다르게 하여, UAV 통신 시스템의 처리량을 약 40% 향상시켰다. 향후 피탐지성을 위해 Sub 1GHz 주파수를 적용하여 군용 UAV에 더욱 적합한 통신환경에서 실험을 진행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 한국연구재단 기초 연구실 지원 사업 (2021R1A4A1030775)의 연구비 지원 및 과학기술 정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학 ICT 연구센터 육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2022-2017-0-01637*). 본 논문의 교신저자는 정소이, 김재현, 김중현임.

참고 문헌

- [1] W. J. Yun et al., "Cooperative Multiagent Deep Reinforcement Learning for Reliable Surveillance via Autonomous Multi-UAV Control," *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, vol. 18, no. 10, pp. 7086-7096, October 2022.
- [2] 이현수, 정소이, 김중현, "Unity 기반 자폭용 드론 공격의 강화학습 시각화 및 시뮬레이션 연구", 한국통신학회 하계종합학술대회, 2022년 6월
- [3] 이왕중, 이승형, "제한적 CSMA를 이용한 Hybrid TDMA/CSMA MAC의 성능 향상", 한국 ITS 학회논문지 8(1), pp. 102-109, 2009년 2월.
- [4] 이종관, "전술데이터링크의 동적 TDMA와 정적 TDMA 성능 분석", 한국군사과학기술학회지, 21(4), pp. 489-496, 2018년 10월.