

# 군집 드론 내의 CSMA/CA 및 TDMA 통신 알고리즘 구현

박문기, 김도현, 김대훈, 유지나\*, 김재현

아주대학교 전자공학과, \*아주대학교 AI융합네트워크학과

{plmu0104, dott1007, dhk1474, \*jinal114, jkim}@ajou.ac.kr

## Implementation of CSMA/CA and TDMA Communication Algorithm in Cluster Drones

Moon-Kie Park, Do-Hyeon Kim, Dae-Hun Kim, Jina Yu\*, Jae-Hyun Kim

Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University,

\*Department of Artificial Intelligence Convergence Network, Ajou University

### 요약

본 논문에서는 Ad Hoc 구조로 연결된 드론 간 Wi-Fi 소켓 통신을 활용하여 carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA) 및 time division multiple access (TDMA)에 기반을 둔 영상 전송 알고리즘을 제안한다. 영상 전송 결과 CSMA/CA 및 TDMA 방식을 활용한 드론 간 영상 전송 모두 100%의 전송률을 보인다. 영상의 전송 시간은 CSMA/CA 방식에서 영상 크기가 큰 클라이언트가 먼저 송신할 시 평균 25.39초, 반대의 경우 평균 22.49초로 나타나며, TDMA 방식에서는 평균 14.89초로 나타난다. 이를 분석한 결과, 송신하는 영상 사이의 크기 차이가 클 경우 TDMA 방식을, 작을 경우 CSMA/CA 방식을 사용하는 것이 효율적임을 확인할 수 있었다.

### I. 서론

최근 드론은 여러 분야에서 활용되지만, 단일 운용으로는 수용 능력에 한계점을 가진다. 이에 따라 여러 대를 동시에 운용하는 무인 항공기 (unmanned aerial vehicle, UAV) 네트워크가 고려된다 [1]. 하지만 무선 통신의 한계로 드론이 동시에 영상을 송신하게 될 때 프레임 충돌로 인한 영상 손실이 발생한다. 따라서 접속 충돌을 회피하며 자원을 효율적으로 송수신할 수 있는 매체 접속 제어 프로토콜의 필요성이 대두된다 [2].

본 논문에서는 Ad Hoc 구조로 연결된 드론 간 소켓 통신을 활용하여 단일 운용으로서의 한계점을 개선한다. 또한 그 과정에서 발생하는 프레임의 충돌을 carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA) 및 time division multiple access (TDMA) 방식에 기반을 둔 알고리즘으로 최소화하여 영상 손실 문제의 효과적인 개선법을 제안한다.

### II. 본론

#### 가. 군집 드론

드론은 Raspberry Pi 3 B+를 탑재하며 F450 프레임을 사용한 쿼드콥터로 MT2216/KV880 모터를 장착하고 있다. Pixhawk 오픈 하드웨어를 장착하여 PX4 오픈 소프트웨어를 활용해 여러 시뮬레이션 및 드론 원격 조종이 가능하다. 같은 하드웨어를 가진 3대의 드론 중 1대를 마스터 드론으로, 2대를 슬레이브 드론으로 하여 그림 1과 같은 Ad Hoc 구조의 군집을 형성한다. 드론은 소켓 통신을 통해 영상을 주고받으며, 이 과정에서 일어나는 충돌은 CSMA/CA 및 TDMA 기반 알고리즘을 통해 제어한다. 이때 마스터 드론을 서버로, 슬레이브 드론을 클라이언트로 정의한다.

#### 나. 소켓 통신

서버와 클라이언트 간의 통신 방식 중 하나인 소켓 통신은 특정 포트를 통해 연결을 유지하며, 실시간으로 양방향 통신이 가능하다. 본 논문에서

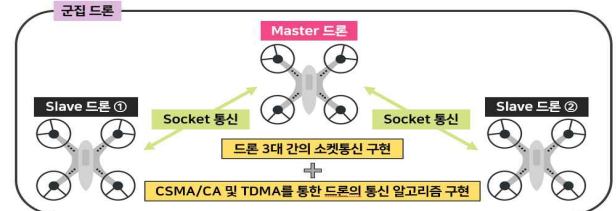


그림 1. 군집 드론의 구조

는 드론 간의 연결을 유지하며 실시간으로 영상을 전송하기 위해 소켓 통신을 적용한다. 하나의 소켓으로 서버와 여러 클라이언트를 연결하기 위해 쓰레드를 사용한다. 하나의 클라이언트가 영상을 전송하는 도중에는 다른 클라이언트들을 대기시키거나 종료시킨다. 이후 해당 클라이언트만을 실행시키는 과정을 통해 CSMA/CA 및 TDMA 알고리즘을 적용한 소켓 통신을 구현한다.

#### 다. CSMA/CA

CSMA/CA는 송신 시작까지의 랜덤한 시간을 할당하여 대기시키고, 다른 반송파가 없다면 데이터를 송신하는 방식이다. 그림 2는 CSMA/CA의 동작 원리를 나타낸다 [3]. 이를 소켓 통신에 적용하기 위해 쓰레드 리스트 내의 요소가 클라이언트 개수인 2에 도달할 경우  $0 \sim 2^{(x-1)}$ 의 random backoff 구간에서 숫자를 부여받도록 한다. 이때의  $x$ 는 random backoff 구간을 증가시키기 위한 상수이며 초기  $x$  값은 4이다. 각 클라이언트가 부여받은 숫자가 하나라도 겹치면  $x$ 를 최대 11까지 증가시켜  $0 \sim 2^{10}$ 의 구간 내의 숫자를 다시 부여한다. 독립적인 숫자가 부여되었을 경우, 가장 작은 수를 contention window로 설정하여 대기 후 해당 클라이언트의 영상이 서버로 송신된다. 이때 남은 클라이언트의 숫자도 contention window만큼 감소한다. 전송을 완료한 클라이언트는 다시

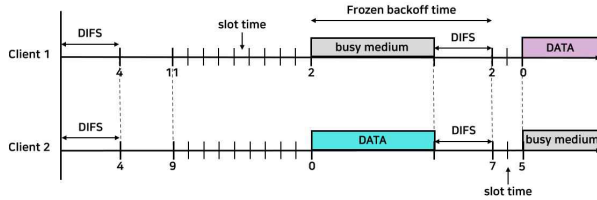


그림 2. CSMA/CA의 동작 원리 [3]

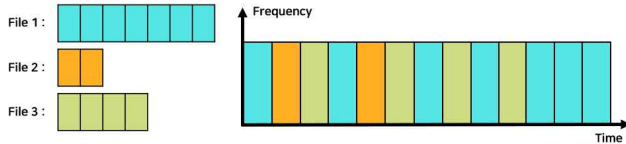


그림 3. TDMA의 동작 원리 [4]

$0 \sim 2^3$  사이의 숫자를 부여받아 경쟁한다. 한 번의 전송이 완료되면 다음 데이터를 바로 송신하지 않고 inter frame space (IFS) 동안 잠시 대기를 한 다음, 다시 전송하기 위한 경쟁이 반복된다. CSMA/CA를 응용한 소켓 통신을 통해 충돌을 회피하여 대역폭의 낭비를 줄이고, 에러의 제어를 용이하게 하며, 공정성을 부여하도록 한다.

#### 라. TDMA

TDMA는 일정 주파수 대역을 시간상으로 나누어 할당된 시간 슬롯 내에 디지털 신호들을 번갈아서 송신하는 방식이다. 그림 3은 TDMA의 동작 원리를 나타낸다 [4]. 여러 쓰레드가 송신과 대기를 반복해야 하는 만큼 mutual exclusion (mutex)의 구조를 사용한다. 각 쓰레드는 할당된 시간에 critical section에 락 (lock)을 걸고 접근하여 영상을 프레임 단위로 나누어 송신한다. 송신 이후 락을 풀어 대기 중인 쓰레드가 송신할 수 있도록 한다. 작업을 완료한 쓰레드는 영상을 송신하지 않고, 아직 송신할 영상이 남은 쓰레드만 영상을 송신한다. 이는 전송하고자 하는 파일의 크기가 비교적 작은 클라이언트가 다른 클라이언트의 영상 송신이 모두 완료될 때까지 기다리는 비효율적인 상황을 개선해준다.

### III. 성능평가

#### 가. 전송률

전송률을 (서버가 수신한 프레임 개수 / 클라이언트가 송신한 프레임 개수)로 정의한다. 클라이언트1이 599개의 프레임, 클라이언트2가 445개의 프레임을 갖는 영상을 전송하도록 한다. 그림 4는 OpenCV의 frame count 기능을 사용하여 출력한 각 영상의 프레임 개수이다. 표 1은 그림 4를 통해 작성한 기존 영상의 프레임 개수와 서버에서 송신 받은 영상의 프레임 개수이다. CSMA/CA 및 TDMA 방식에서 기존의 프레임 개수와 서버에서 송신 받은 프레임 개수가 모두 같다는 것을 통해 전송률이 100%임을 알 수 있다.

#### 나. 전송 시간

전송 시간은 (전송이 완료된 시간 - 전송 요청을 한 시간)으로 정의한다. 표 2는 simulation을 50번 반복하여 평균 낸 CSMA/CA 및 TDMA의 클라이언트별 전송 시간이다. CSMA/CA는 먼저 전송하는 클라이언트에 따라 전송 시간이 달라져 두 가지 경우로 나누어 진행된다. CSMA/CA 방식에서 클라이언트1이 먼저 전송될 시 클라이언트1의 영상은 19.53초, 클라이언트2의 영상은 31.24초의 전송 시간을 보인다. 반대의 경우 클라이언

표 1. CSMA/CA 및 TDMA를 통해 송수신한 영상의 프레임 개수

	Original Frame	Received Frame	
		By CSMA/CA	By TDMA
Client1	599개	599개	599개
Client2	445개	445개	445개

표 2. CSMA/CA 및 TDMA 각각의 클라이언트별 전송 시간

		Client1 (599 프레임)	Client2 (445 프레임)
CSMA/CA	Client1 First	19.53 sec	31.24 sec
	Client2 First	31.66 sec	13.32 sec
TDMA		18.25 sec	11.54 sec

```
pi@raspberrypi:~$ python3 test.py
frame count CSMA_file1.mp4 : 599.0
frame count CSMA_file2.mp4 : 445.0
frame count TDMA_file1.mp4 : 599.0
frame count TDMA_file2.mp4 : 445.0
pi@raspberrypi:~$
```

그림 4. 수신한 영상의 프레임 개수

트1의 영상은 31.66초, 클라이언트2의 영상은 13.32초의 전송 시간을 보인다. TDMA 방식에서 클라이언트1의 영상은 18.25초, 클라이언트2의 영상은 11.54초의 전송 시간을 보인다. CSMA/CA는 영상의 크기가 큰 클라이언트가 먼저 전송하면 영상의 크기가 작은 클라이언트가 오래 대기해야 한다는 단점을 보였고, 이를 TDMA로 보완할 수 있음을 알 수 있다.

### IV. 결론

본 논문에서는 1대의 마스터 드론과 2대 이상의 슬레이브 드론으로 구성되는 군집 드론에서 소켓 통신을 통해 영상을 전송하도록 한다. 이 과정에서 발생할 수 있는 충돌을 CSMA/CA 및 TDMA 알고리즘을 응용하여 줄이는 방법을 제안한다. 전송률은 CSMA/CA 및 TDMA 모두 100%로, 영상의 손실 없이 전송되는 것을 확인했다. 전송 시간은 CSMA/CA에서 영상 크기가 큰 클라이언트가 먼저 송신할 시 평균 25.39초, 영상 크기가 작은 클라이언트가 먼저 송신할 시 평균 22.49초, TDMA는 평균 14.89초이다. 이를 통해 송신하는 영상 사이의 크기 차이가 클 경우 TDMA 방식을, 작을 경우 CSMA/CA 방식을 사용하는 것이 효율적임을 확인했다. 향후 파일의 크기 차이를 서버에서 먼저 수신하여 기준보다 클 시 TDMA를, 작을 시 CSMA/CA를 사용하는 알고리즘을 개발할 예정이다.

### 참 고 문 헌

- [1] H. H. Choi, H. W. Lee and K. M. Kang, "Idleless Slotted ALOHA Protocol for Drone Swarm Identification," J.KICS, vol. 45, no. 9, pp. 1527-1538, Sep. 2020.
- [2] J. W. Cho, H. R. Cheon, W. S. Lee, J. C. Ahn, S. Y. Jin and J. H. Kim, "MAC Protocol Technology Trends for UAV Networks," J. KICS, vol. 42, no. 6, pp. 1216-1224, Jun. 2017.
- [3] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.
- [4] H. K. Choi and H. S. Oh, "Delay Analysis of TDMA protocols depending on Input data rate," KICS, vol. 60, pp. 1253-1254, Jun. 2016.