

군집무인기 조종통제 네트워크 CSMA 성능 분석

안재하, 서난솔, 주재우, 이재문, 이민*, 허진*

국방과학연구소, *LIG넥스원

anjaha@add.re.kr, solbba@add.re.kr, jwjoo@add.re.kr, xhxhfh@add.re.kr

*mlee@lignex1.com, *heojin77@lignex1.com

Performance analysis of CSMA for Drone Swarm Control Networks

Jaeha Ahn, Nansol Seo, Jaewoo Joo, Jaemoon Lee, Min Lee*, Jin Heo*

Agency for Defense Development, *LIG Nex1

요약

본 논문은 군집 네트워크 중 조종통제 네트워크가 CSMA 다중접속 방식을 사용했을 때 패킷 손실율과 시간 초과 폐기율, 지연에 대한 분석을 수행했다. 시뮬레이션을 위해 50대 무인기 최대거리 5 km에서 동작하는 환경에 맞게 MAC 파라미터를 조정했으며 이를 바탕으로 시뮬레이션을 수행했다. 시뮬레이션 결과 조종통제 네트워크 구간비율에 따라 최적의 성능을 내는 CW크기가 다름을 확인할 수 있었으나 목표 성능으로 설정한 패킷손실율 10% 이하를 만족하는 경우는 구간비율이 60%, CW 크기가 127일 때에만 해당하는 것을 확인할 수 있었다.

I. 서론

군집무인체계는 동일 목적을 가진 다수의 무인체가 정보교류를 통해 통합 운영되어 성능이 향상시킬 수 있는 체계다. 군집 네트워크는 군집무인체계의 핵심 기술요소 중 하나로 군집제어/협업의 임무수행을 위해 정보교환 통신망을 구성하는 역할을 한다[1-2]. 군집네트워크는 동일 임무 수행하는 동안 상호 정보 교환과 무인기 간 충돌회피를 위해 제한된 주파수 자원 안에서 동작이 가능하며 확장 가능하고 생존성 향상을 위해 분산적으로 설계되어야 한다. 이를 만족하는 다중접속방식은 IEEE 802.11에서 채택하고 있는 CSMA 방식이 적합하다.

본 논문에서는 군집 네트워크 중 무인기 간 충돌회피를 위한 정보교환 역할을 하는 조종통제 네트워크에 대한 CSMA 방식에 대한 성능을 분석하고자 한다.

II. 본론

본 논문에서는 50대의 무인기가 존재하는 군집네트워크를 환경으로 지상 통제기와 무인기 간의 최대 거리는 20 km, 무인기와 무인기 간의 최대 거리는 5 km를 고려한다. 군집 네트워크는 조종통제 네트워크와 수집정보전송 네트워크로 구성되며 각각의 네트워크는 독립적으로 동작하며 또한 조종통제 네트워크와 수집정보전송 네트워크는 동일한 대역을 사용하기 위해 슈퍼프레임 구조를 통해 시분할로 나누어 동작한다.

조종통제 네트워크는 CSMA 다중접속방식으로 동작하며 유통되는 트래픽은 무인기 간의 충돌을 방지하기 위한 트래픽으로써 크기가 55 Byte, 전송 주기는 50 ms 이하를 만족해야 한다. 전송주기 요구조건을 만족하기 위해서 슈퍼프레임의 길이는 50 ms로 가정했다. 또한 군집네트워크의 거리 환경과 하드웨어 사양을 고려한 CSMA MAC 파라미터를 설정했다.

표1의 파라미터는 기존 IEEE 802.11 표준에서의 파라미터를 조종통제 네트워크의 상황에 적합하게 수정한 값이다. 또한 무인기 노드 한 대당 유통시키는 프레임 길이는 100 us 로 설정했다.

슈퍼프레임 중 조종통제 네트워크 구간에서는 남은 구간이 트래픽 프레임

길이보다 작을 경우 다음 슈퍼프레임 조종통제 네트워크 구간에서 즉시 전송을 수행한다.

MAC 파라미터	값[us]	MAC 파라미터	값[us]
CCATime	8.4375	MACProcessingDelay	10
AirPropagationTime	33.36	SlotTime	100
RxTxTurnaroundTime	48	DIFS	100

표 1 MAC 파라미터

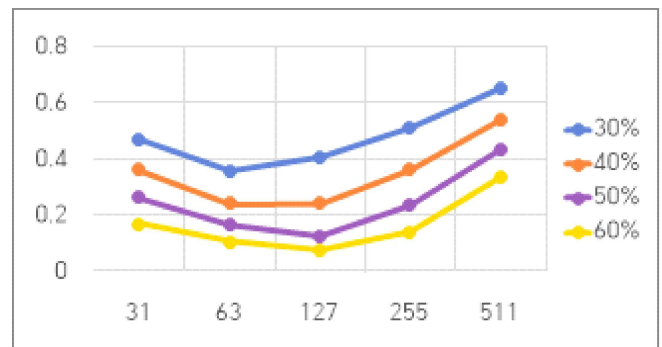


그림 1 CW크기에 따른 패킷손실율

50대 모든 무인기 노드가 1홉 환경에 있어 모든 노드가 조종통제 네트워크 구간에서의 CSMA 경쟁을 한다. 시뮬레이션을 위해 다음과 같이 파라미터를 설정하였다. 시뮬레이션 시간은 10분, 5회를 반복 수행하였고 노드의 조종통제 네트워크 시작은 1~3초 시간 사이에 임의적으로 발생시켰다. 트래픽은 앞서 말했듯이 크기 55 Byte, 주기 50 ms를 설정하였다. 이 때 Contention Window(CW) 크기를 31, 63, 127, 255, 511만큼 변화를 주었으며 조종통제 네트워크 구간의 비율을 30%(15 ms) ~ 60%(30 ms) 변화시키며 시뮬레이션 수행을 했다. 성능지표로서 패킷손실율은 총생성패킷수 대비 전송실패패킷수를 나타내고 시간초과폐기율은 총생성패킷수 대비 생성 후 50 ms를 초과하여 폐기된 패킷수를 나타낸다. 지연은 패킷 생성 후 수신하기까지의 시간을 나타낸다. 이 때 모델의 오류는 없는 것으로 가정했다.

또한 패킷 손실은 시간 초과로 인한 패킷 폐기를 포함하는 지표이다. 목표 성능으로는 패킷 손실을 10% 이하로 설정했다.

구간 비율	30%	40%	50%	60%
최적 CW	63	63	127	127
패킷 손실율	35.6%	23.9%	12.5%	7.2%
초과 시간 폐기율	0.04%	0%	0%	0%
평균 지연 (ms)	18.7	13.5	13.8	9.5

표 2 조종통제 네트워크 구간 비율에 따른 최적 성능 지표

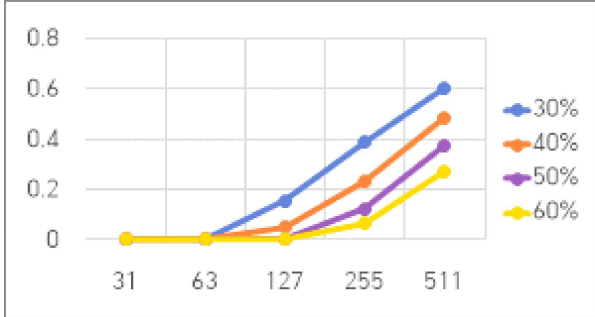


그림 2 CW크기에 따른 시간초과폐기율

시뮬레이션 결과, 그림1과 같이 CW크기에 따라 패킷손실율이 변화되며 조종통제구간 비율이 50~60%인 경우에는 CW 크기가 127일 때, 30~40%인 경우에는 63일 때 패킷손실율이 최소가 되었다. 그림2는 CW크기에 따른 시간초과폐기율을 나타내는 그림으로 CW 크기가 증가함에 따라 시간초과폐기율이 증가함을 보였으며 구간 비율이 증가할수록 시간초과폐기율은 감소하는 경향을 나타냈다. 그림3은 CW크기에 따른 지연시간을 나타내는 그림으로 CW가 증가함에 따라 지연시간도 증가함을 확인했고 구간 비율이 증가할수록 지연시간은 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 표2에서 보이는 바와 같이 목표성능으로 고려하는 패킷손실율 10% 이하를 만족하는 경우는 60%일 때에만 해당되었다.

III. 결론

본 논문에서는 군집무인기 조종통제 네트워크에서 CSMA 다중접속방식을 사용했을 때의 패킷손실율, 시간초과폐기율 및 지연시간에 대한 성능 분석을 확인했다. 시뮬레이션 결과로 알 수 있듯이 조종통제 네트워크 구간 비율에 따라 최적의 성능지표를 갖는 CW 크기가 다름을 확인할 수 있었다. 하지만 목표성능으로 설정한 패킷손실율 10%를 만족하는 경우는 구간 비율이 60%(30 ms), CW크기가 127일 경우에만 만족했다. 이는 100 us 트래픽 50개를 보내는데 5 ms 시간의 트래픽 유통시간 외에 경쟁으로 인한 Back-off 시간이 나머지를 차지한다고 해석할 수 있다. 군집 네트워크 상황을 고려한 MAC 파라미터 환경에서는 기존 IEEE802.11와는 다르게 경쟁하는 Time slot 크기에 따른 Back-off 시간이 매우 크게 되어 야기한 결과로 볼 수 있다. 따라서 수집정보전송 네트워크의 구간을 확보하기 위해서는 기존 CSMA 방식 외에 다른 방식으로 조종통제 네트워크 구간을 감소시킬 필요가 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022년 정부(방위사업청)의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(912959201)

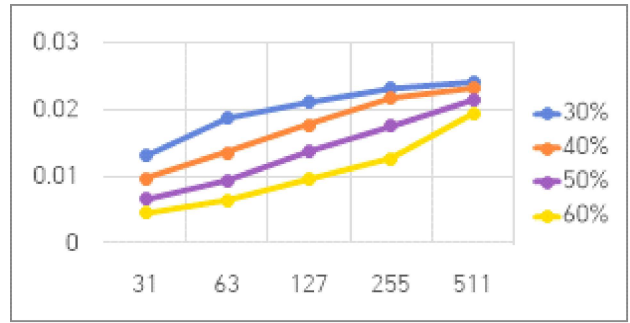


그림 3 CW크기에 따른 지연

참 고 문 헌

- [1] 서난술, 이재문, 주재우, 안재하, 이희수, 김재신, "소형무인기 군집비행을 위한 군집통신 시스템 연구," 한국항공우주학회 2018년도 추계 학술대회, pp. 439-440, 2018년 11월.
- [2] 서난술, 이재문, 최재영, 이용, "무인기 활용 공중통신망 발전방향 및 효과도 분석," 대한전자공학회지, pp. 68-78, 2017년 4월