유무인 편대통신 네트워크 시간동기화 알고리즘

김민식 [1], 박지홍 [1], 김태윤 [1], 조현종 [2], 이상필 [3], 이충희 [3], 김신구 [3], 김재현 [4]
아주대학교 AI 융합네트워크학과 [1], 국방과학연구소 항공기술연구원 2 부 [2], LIG Nex1[3],
아주대학교 전자공학과 [4]

{qq01025[1], jihong1215[1], xodbsxogjs[1], jkim[4]}@ajou.ac.kr,
hccho@add.re.kr[2], {leesangpill[3], choonghee.lee[3], shingu.kim[3]}@lignex1.com

Manned and unmanned formation communication network time synchronization algorithm

Min-Sik Kim[1], Ji-Hong Park[1], Tae-Yoon Kim[1], Hyun-Chong Cho[2], Sang-Pill Lee[3],
Choong-Hee Lee[3], Shingu Kim[3], Jae-Hyun Kim[4]

Department of Artificial Intelligence Convergence Network, Ajou Univ[1],
Aerospace Technology Research Institute 2nd Dep., Agency for Defense Development[2],
LIG Nex1, Gyeonggi-do, Republic of Korea[3],
Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou Univ[4].

요 약

유무인 편대는 주로 time division multiple access (TDMA) 방식을 통해 서로 연결된다. 네트워크의 망 동기화를 위해서 일반적으로 global positioning system (GPS)가 동기화 참조 신호로 사용되지만, GPS 신호가 방해받는 상황에서 유무인 비행체 간의 메시지 송수신만으로 시간동기화를 수행할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 GPS 신호를 사용할 수 없을 때, 유무인 편대통신 네트워크 시간동기화 알고리즘을 제안한다.

Ⅰ. 서 론

최근, 유인기와 편대를 이룬 무인 비행체가 유인기를 지원 및 호위하며 임무를 수행하는 유무인 편대비행에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다 [1]. 유무인 비행체간 신뢰성 있는 통신을 위해 주로 time division multiple access (TDMA) 방식을 사용하기 때문에 비행체 간의 시간동기화가 중요하다 [2]. 일반적으로 global positioning system (GPS) 신호가 정상인 경우, 유무인 편대의 정확한 시간동기화가 가능하지만, 전시상황에는 적군의 jammer 혹은 항법장치 고장 등에 의해 유무인 편대 자체 시간동기화 알고리즘이 필수적이다.

따라서, 본 논문에서는 높은 이동성과 통신 거리에 따른 전파지연을 고려한 환경에서 자체 시간동기화 방식을 분석하고 타임 슬롯 간 충돌을 방지하는 알고리즘을 제안한다.

Ⅱ. 본 론

1. 시스템 모델

본 논문에서는 메시지의 신뢰성 확보가 중요한 telecommand (TC) 메시지와 telemetry (TM) 메시지는 TDMA를 사용하여 multicast 방식으로 송수신한다. 무인 비행체에서 유인기로 전송되는 영상데이터는 다중 동시 전송을 위해 frequency division multiple access (FDMA)를 사용한다. 유인기가 먼저 TC, TM 메시지를 전송하고 무인 비행체는 순서대로 TM 메시지를 전송한다. 그 후, 모든 비행체가 영상데이터를 전송하고 해당과정을 반복한다. 시스템 모델은 그림 1 과 같이 유인기 1 대와 무인 비행체 4 대가 편대비행을 하면서 메시지를

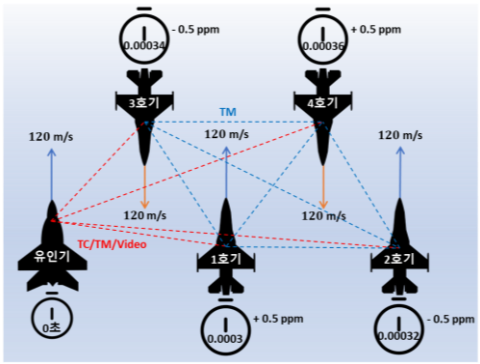

그림 1. 유무인 편대통신 토폴로지

주고받는 상황으로 구성된다. GPS 신호는 차단되어 각 비행체는 위치와 시간을 정확히 알 수 없으며, 속력은 x m/s 로 유인기와 1 호기, 2 호기는 같은 방향, 3 호기와 4 호기는 반대 방향으로 편대 비행을 한다. 또한 각 무인 비행체의 내부 클럭의 정확도는 유인기 기준으로 $\pm k$ ppm 기울기만큼 차이 난다고 가정한다.

2. 제안하는 유무인 편대 네트워크 시간동기화 알고리즘

유무인 편대의 시간동기화는 주로 단방향과 양방향 두가지 방식으로 나뉜다. 단방향 동기화는 무인 비행체가 유인기의 시간 정보가 포함된 TC 메시지를 기반으로 시계를 업데이트 하는 것이고, 양방향 동기화는 시간 차이인 clock offset 을 수식 (1)과 같이 계산하여 조정한다 [3].

$$offset = ((T_2 - T_1) + (T_3 - T_4))/2, \quad (1)$$

표 1. 시뮬레이션 파라미터

비행체	초기 XY 좌표	초기 clock	클럭 정확도 k
유인기	{OO, OO} km	0 μs	0 ppm
1 호기	{OO, OO} km	300 μs	+ 0.5 ppm
2 호기	{OO, OO} km	320 μs	−0.5 ppm
3 호기	{OO, OO} km	340 μs	−0.5 ppm
4 호기	{OO, OO} km	360 μs	+ 0.5 ppm

T_1 은 무인 비행체가 TM 메시지를 전송한 시각, T_2 는 유인기가 해당 TM 메시지를 수신한 시각, T_3 는 유인기가 해당 무인 비행체에 TC 메시지를 전송한 시각, T_4는 해당 TC 메시 지를 무인 비행체가 수신한 시각이다.

하지만, 단방향 동기화 만으로는 유인기와 무인 비행체 간의 거리 차이로 인해 완벽한 동기화가 불가능하며, 양방향 동기화는 TDMA 에서 전송 순서로 인해 동기화까지 시간이 필요하므로 초기 clock offset 에 의한 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 단방향 동기화를 통해 먼저 무인 비행체 간의 clock offset 을 줄여서 TM 메시지의 충돌을 방지하고, 양방향 동기화를 통해 유인기와 무인 비행체 간의 clock offset 을 완벽히 보완하여 영상메시지와 TC 메시지 간의 충돌을 방지하는 알고리즘을 제안한다.

Ⅲ. 성능분석

본 논문에서는 MATLAB을 기반으로 동기화가 없는 경우와 단방향 동기화, 양방향 동기화, 제안하는 알고리즘 4가지 방식에 따른 타임 슬롯 충돌 시간을 분석하였다. 각각의 동기화 방식에 유무인 편대의 TC, TM, 영상데이터 송수신 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 파라미터는 표 1을 기반으로 100초 동안 진행하며, 모든 비행체의 속력 x는 120 m/s이고 고도 5 km에서 비행하고 클럭 정확도 k는 ± 0.5 ppm이다.

그림 2는 4가지 동기화 방식에 따른 타임 슬롯 충돌 시간을 분석한 결과이다. 양방향 동기화와 동기화가 없는 경우는 1호기가 초기 offset에 의해 유인기 TM메시지를 수신함과 동시에 TM메시지를 전송하면서 충돌이 발생한다. 이후, 양방향 동기화는 다음 주기의 유인기 TC메시지로 offset을 조정하여 더 이상 충돌이 발생하지 않지만, 동기화가 없는 경우에는 클럭 정확도만큼 무인 비행체의 시계가 계속 틀어지면서 충돌 시간이 점점 증가한다. 단방향 동기화의 경우 처음 유인기 TC 메시지의 시간 정보를 바탕으로 무인 비행체들이 동기화를 진행하므로 유인기와 1호기 간의 충돌은 발생하지 않았다. 하지만 무인 비행체들은 TC 메시지를 거리만큼 지연되어 수신하므로 clock offset이 발생하고, 동기화가 틀어진 상태에서 무인 비행체들이 TM 메시지와 영상데이터를 전송하게 된다. 따라서 유인기는 무인 비행체의 영상데이터를 두 배의 전파 지연 시간만큼 뒤에 수신하게 되면서 충돌이 발생한다.

그림 3은 제안하는 알고리즘에 따른 유무인 비행체 간의 시간차이 이며, 초기에는 유인기와 무인 비행체의 clock offset만큼 시간 차이가 발생한다. 이후, 유인기의 TC메시지를 수신한 무인 비행체는 단방향 동기화를 진행하여 유인기와의 거리만큼 전파 지연에 의한 offset이 나타나지만 무인 비행체 간의 clock offset이 줄어서 충돌은 발생하지 않는다. 그 후, 양방향 동기화를 통해 완벽히 동기를 얻기 전까지는 영상메시지를 전송하지 않고 대기하여 충돌을 방지하였다. 다음 유인기 TC메시지를 수신하여 양방향 동기화를 진행하면, 유인기와 무인 비행체 간의 시간 차이를 최대 330 ns에서 최소 9 ns 정도로 유지하였다.

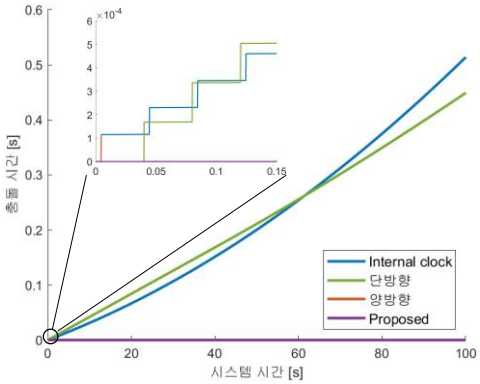

그림 2. 유무인 편대통신의 타임 슬롯 충돌 시간

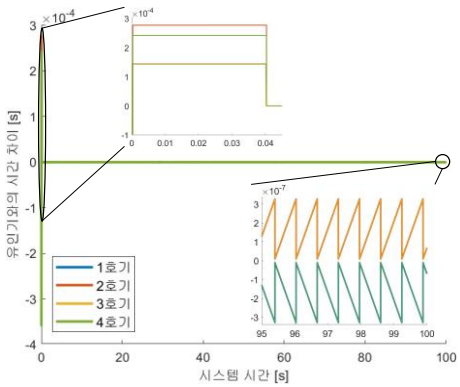

그림 3. 제안하는 알고리즘에 따른 유무인 비행체 간의 시간차이

Ⅳ. 결론

본 논문에서는 높은 이동성과 통신 거리에 따른 전파지연을 고려한 유무인 편대의 시간동기화 알고리즘을 제안하였다. 단방향 동기화를 통해 무인 비행체 간의 TM메시지 충돌을 방지하고 양방향 동기화 전까지 영상데이터 전송을 대기하여 유인기와 비행체 간의 충돌을 방지하였다. 시뮬레이션 결과 유무인 편대는 충돌없이 통신을 수행하였으며, 유인기와 무인 비행체 간의 clock offset은 최대 330 ns 에서 최소 9 ns 를 유지하였다. 추후에는 더 많은 무인 비행체와 부분적으로 단절된 상황 및 다양한 토폴로지의 구성에서도 동기화하는 알고리즘을 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2022 년 정부의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구 결과임

참 고 문 헌

[1] 대한항공, “대한항공, 차세대 스텔스 무인 비행체 개발센터 설립: 저피탐 무인 비행체 분야 기술력 고도화 본격 추진,” 국방과 기술, 제 521 호, pp. 23-24, 2022 년 7 월.

[2] H. R. Cheon, J. W. Cho, and J. H. Kim, "Dynamic Resource Allocation Algorithm of UAS by Network Environment and Data Requirement," *in Proc. International Conference on ICT Convergence 2017*, Jeju, Korea, Oct. 2017.

[3] Y. Weng, and Y. Zhang, "A survey of secure time synchronization," Applied Sciences, vol. 13, no. 6, Mar. 2023.