한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집 제27권 제2호 (2019. 7)

다중 드론 운용 시뮬레이션을 위한 순서 기반 동기화 기법

김덕엽[O], 서강복[*], 이권철[*], 이우진[*]
경북대학교 컴퓨터학부, 소프트웨어기술연구소[O]
경북대학교 컴퓨터학부, 소프트웨어기술연구소[*]
e-mail: ejrduq77@naver.com[O], dating1227@gmail.com[*], ekc1467@naver.com[*], woojin@knu.ac.kr[*]

Sequence based Synchronization for Multi Drone Operation Simulation

Deok Yeop Kim[O], Kang Bok Seo[*], Gwoncheol Lee[*], Woo Jin Lee[*]
School of CSE & SWRC, Kyungpook National University[O]
School of CSE & SWRC, Kyungpook National University[*]

● 요 약 ●

드론은 여러 센서를 사용할 수 있고 자율적으로 비행 가능하다는 이점 때문에 다양한 분야에 활용할 수 있다. 그러나 단일 드론으로는 수행할 수 있는 작업이나 미션이 제한적이기 때문에 최근에는 다중 드론을 활용한 군집 비행 기술 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 드론은 테스트를 통해 동작 검증이 이루어지는데 테스트 비용이 크고 파손의 위험이 있기 때문에 시뮬레이션을 이용한 사전 검증이 먼저 이루어진다. 그런데 다중 드론을 이용한 군집 비행 시뮬레이션의 경우 드론들이 밀집해 있기 때문에 시뮬레이션 중 드론의 충돌 사고가 발생할 수 있다. 동기화가 제대로 이루어지지 않은 시뮬레이션은 각 드론 소프트웨어의 정확한 동작을 보장할 수 없기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 순서 기반의 동기화 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존 동기화 기법과는 달리 순서 기반의 동기화로 시뮬레이션 오버헤드를 줄이며 다중 드론의 군집 비행 시뮬레이션에서 예상하지 못한 드론의 동작을 최소화 할 수 있다.

키워드: 드론(drone), 동기화(synchronization), 시뮬레이션(simulation)

I. Introduction

드론은 다양한 분야에서의 활용 가능성 때문에 관련 연구들이 활발히 진행되고 있다. 과거에는 주로 비행 제어나 운용 기술 등 단일 드론에 대한 연구가 이루어졌으나 최근에는 단일 드론으로는 불가능한 임무를 수행하기 위해 다중 드론을 이용한 군집 비행 관련 기술 연구가 이루어지고 있다[1-2].

기술 연구가 진행되면서 드론의 동작이 정상적으로 이루어지는지 검증하기 위해 테스트를 수행한다. 그러나 드론의 테스트는 드론 하드웨어, 소프트웨어, 제어 능력, 지상제어시스템 등이 요구되며 비행 중 드론의 파손 위험이 있어 비용이 매우 크다. 따라서 실제 환경에서의 테스트 전 시뮬레이션을 통해 사전에 드론 동작을 검증한다[3-4].

다중 드론을 이용한 군집 비행 시뮬레이션은 운용하는 드론이 많으면 HIL 시뮬레이션 구성이 어렵기 때문에 주로 SIL 시뮬레이션으로 이루어진다[5]. 그런데 군집 비행 시뮬레이션의 경우 많은 드론들이 밀집해있기 때문에 시뮬레이션 중 예상하지 못한 드론의 움직임이 발생해 드론의 충돌이 발생할 수 있다. 시뮬레이션의 동기화가 제대로 이루어지지 않으면 각 드론 소프트웨어의 정확한 동작을 보장할 수 없기 때문이다. 이러한 문제 해결을 위해서는 시뮬레이션에 동기화가 이루어져야 한다.

따라서 본 논문에서는 다중 드론을 운용하는 SIL 시뮬레이션에서의 순서 기반 동기화 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 기존 동기화 기법과는 달리 순서를 기반으로 한 동기화 기법이며 시뮬레이션 오버헤드를 줄여 시뮬레이션 비용을 감소시키고 군집 비행 시뮬레이션 중 예상하지 못한 드론의 동작을 최소화하여 안정성을 높일 수 있다.

II. Related works

2.1 다중 드론 운용 시뮬레이션

대부분의 드론 제어 시뮬레이터가 네트워크로 인한 오버헤드와 통신 장애를 고려하지 않은 점을 보완하여 드론 제어 시뮬레이터와 네트워크 시뮬레이터를 연계한 드론 네트워크 시뮬레이터에 대한

연구다[6]. 다중 드론을 운용하기 때문에 SIL 시뮬레이션 형태로 이루어지며 드론 운용 기술 시나리오에 따라 드론 제어 동기화 모듈이 드론 제어 시뮬레이터로 제어 신호를 보내 시뮬레이션을 수행한다. 드론들의 제어는 중앙 집중식이나 비중앙 집중식 또는 분산 제어 등의 방법으로 가능하며 제어 방법에 따라 제어 신호가 드론에 직접 전달될 수도 있고 브로드캐스트 할 수도 있다. 따라서 동기화가 이루어지지 않은 경우 제어 신호 수신 주기, 제어 신호 수신 타이밍, 동작 제어 주기 등의 요인들로 명령한 제어 동작이 제각각 다른 타이밍에 수행되어 충돌이 발생할 수 있다.

2.2 표준 동기화 프로토콜을 이용한 시간 동기화

IEEE 1588 표준에서 정의한 분산 시스템에 대한 시간 동기화 프로토콜을 이용한 시간 동기화 기법이다[7]. 시스템들이 각각 지역 시계를 가지고 있으며 하나의 전역 시계를 이용한다. 시스템이 패킷을 주고받으면서 도착시간 등의 정보로 지역 시계의 시간을 계산하는 방식으로 동기화한다. 그러나 동기화에 4개의 메시지를 사용하기 때문에 메시지를 주고받는 작업이 많은 시간을 소요한다. 또 전역 시계의 동기화 주기가 각 시스템들의 지역 시계 동작 제어 주기들의 공약수로만 가능하다는 한계가 있다. 따라서 동작 제어 주기가 다른 드론들이 있는 군집 비행 환경에서 전역 시계 동기화 주기가 빨라 드론 자원을 소모하여 드론 제어에 영향을 끼칠 수 있다.

2.3 분산 어플리케이션의 순서 기반 시간 동기화

SIL 시뮬레이션을 위한 분산 어플리케이션의 순서 기반 시간 동기화 기법에 대한 연구다[8]. 기존 시간 동기화와 같이 분산 시스템들이 각각의 지역 시계를 가지고 있을 때 하나의 전역 시계를 이용해 동기화한다. 그러나 기존 기법과는 달리 SIL 시뮬레이션 환경에 국한하여 순서를 기반으로 동일한 시간에 대한 동기화 횟수를 감소시켜 시뮬레이션 효율을 높였다. 또 2개의 메시지로 동기화를 수행하여 동기화에 소요되는 시간이 적어져 시뮬레이션의 속도를 향상시켰다. 그러나 이 기법은 감지 시스템과 구동 시스템이 있는 분산 어플리케이션 환경에서의 동기화 기법이기 때문에 여러 편대로 나뉠 수 있는 분산 드론 환경에 적용하기 위해서는 다른 방식의 접근이 필요하다.

III. The Proposed Scheme

3.1 분산 환경에서 순서 기반의 동기화

기존의 순서 기반 시간 동기화 기법은 표준 동기화 프로토콜 방식처럼 전역 시간을 사용하며 감지 시스템과 구동 시스템으로 이루어진 환경에서 구동 시스템에 우선순위를 두고 동기화하여 두 시스템이 함께 수행되는 시점에 구동 시스템을 먼저 수행시킨다. Fig 1은 구동 시스템에 우선순위를 준 기존의 순서 기반 동기화 기법을 나타낸다.

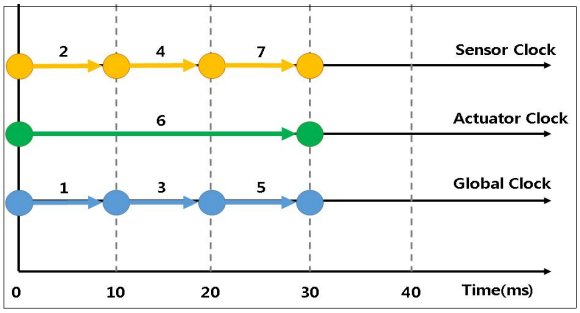

Fig. 1. 구동 시스템 우선의 순서 기반 동기화

감지 시스템의 제어 주기가 10ms, 구동 시스템의 제어 주기가 30ms인 경우이며 전역 시계의 동기화 주기는 두 시스템 주기의 최대공약수인 10ms이다. 전역 시간이 30ms 일 때 감지 시스템과 구동 시스템이 둘 다 수행되어야 하지만 우선순위에 따라 구동 시스템의 시간 동기화가 먼저 일어난다.

다중 드론 운용 환경에서는 순서 기반의 동기화를 위해 군집 비행에서의 드론 위치에 따라 우선순위를 둔다. 위치상 가장 먼저 움직여야 하는 전위나 가장 바깥쪽 드론들의 우선순위를 높게 하고 후위나 안쪽 드론들의 우선순위는 낮게 주는 것이다. 여러 드론에 같은 우선순위를 적용할 수도 있으며 일부 리더나 중계 역할을 위해 제어 주기가 다른 드론도 동일하게 적용하여 우선순위가 높은 드론들이 먼저 동작하도록 한다. 이렇게 드론에 우선순위를 부여할 경우 우선순위가 높은 드론들의 시간 동기화가 먼저 일어나기 때문에 군집 비행에서 후위나 안쪽 드론의 예상하지 못한 움직임을 최소화하여 충돌이 발생하는 것을 막을 수 있다. Fig 2는 다중 드론 운용에서의 순서 기반 동기화 기법을 나타낸다.

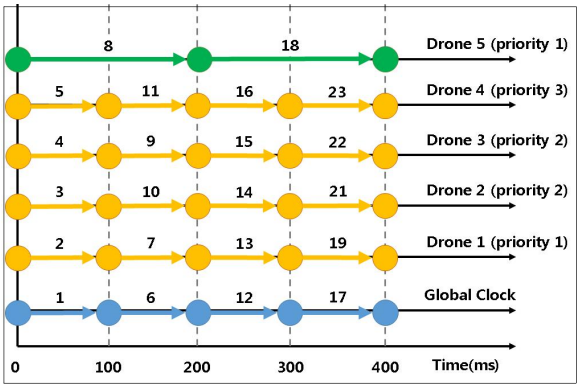

Fig. 2. 다중 드론 운용에서의 순서 기반 동기화

드론 1~4는 동작 제어 주기가 100ms이며 드론 5의 경우 동작 제어 주기가 200ms다. 따라서 전역 시계의 동기화 주기는 100ms가 되며 드론들의 동기화 순서는 각 드론에 주어진 우선순위를 기준으로 이루어진다. 드론 1~4는 우선순위가 가장 높은 드론 1부터 동기화가 이루어지며 드론2와 드론3은 우선순위가 같으므로 둘 중 어느 드론이 먼저 동기화되던 상관없다. 드론 5의 경우 제어 주기가 200ms이지만 우선순위가 1이므로 매 주기마다 드론 1과 함께 가장 먼저 동기화가 이루어진다.

전역 시계 동기화 역할은 지상제어시스템이나 리더 드론 또는 중계 드론이 수행할 수 있으며 제어 방식에 따라 달라질 수 있다. 전역 시계는 우선순위 정보를 바탕으로 각 드론들에 메시지를 보낸다. 각 드론들이 전역 시계로부터 메시지를 받으면 현재 전역 시간이 다음 지역 시간보다 크거나 같을 경우 지역 시간을 변경하고 동작을 수행한다. 그리고 완료 메시지를 전역 시계로 보낸다. Fig 3은 다중 드론 운용 환경에서의 순서 기반 동기화 알고리즘을 나타낸다.

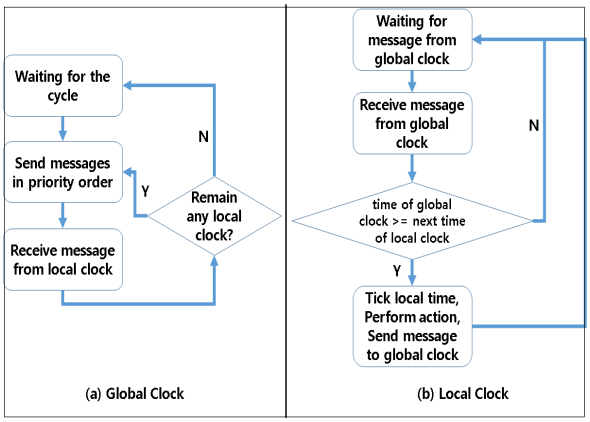

Fig. 3. 다중 드론 운용에서의 순서 기반 동기화

3.2 순서 기반의 동기화를 이용한 다중 드론 운용 시뮬레이션

본 논문에서 제안하는 순서 기반의 동기화는 다중 드론 운용 시 단일 편대 또는 여러 편대에 따라 적용 방식을 다르게 적용할 수 있다. 그리고 제어 방식에 따라 전역 시계 역할을 지상제어시스템 또는 리더 드론이 수행할 수 있다. Fig 4는 단일 편대의 중앙 집중제어 방식에서 리더 드론이 전역 시계 역할을 하는 순서 기반 동기화를 나타낸다.

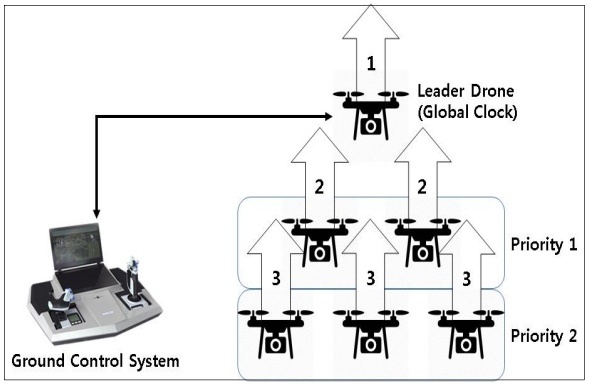

Fig. 4. 단일 편대 리더 드론에 의한 순서 기반 동기화

중앙 집중제어 방식이므로 지상제어시스템은 리더 드론과 통신하며 리더 드론은 편대의 드론들에게 제어 신호를 전송한다. 리더 드론은 지상제어시스템으로부터 제어 신호를 받으면 바로 전역 시계 동기화를 진행하며 제어 동작을 수행한다. 편대의 드론들은 드론 위치에 따른 우선순위 부여로 중위에 있는 드론이 후위의 드론보다 먼저 동기화되어 제어 동작을 수행한다.

다중 편대에서의 동기화는 드론 수가 많아져 부여되는 우선순위도 많고 동기화에 많은 시간과 자원이 소요될 수 있기 때문에 지상제어시스템과 각 편대의 리더 드론 간 동기화와 편대 내 리더 드론에 의한 동기화 구조로 수행할 수 있다. Fig 5는 다중 편대에서의 순서 기반 동기화를 나타낸다.

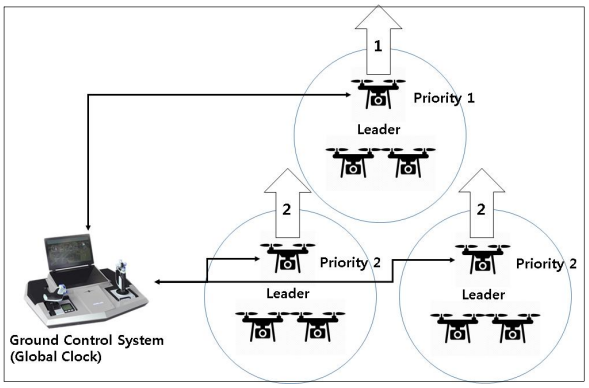

Fig. 5. 다중 편대 순서 기반 동기화

지상제어시스템은 각 편대의 리더 드론들과 통신하며 각 리더 드론들이 우선순위를 가진다. 리더 드론 동기화가 이루어지면 단일 편대 방식과 동일하게 리더 드론이 편대 내 드론들의 동기화를 수행한다. 다중 편대의 경우도 편대 제어 방식이나 우선순위 부여 방식에 따라 다르게 적용할 수 있다.

IV. Conclusions

다중 드론 운용을 위한 군집 비행은 테스트 비용이 크기 때문에 SIL 시뮬레이션을 통해 사전에 비행 동작 검증이 이루어진다. 그러나 군집 비행은 드론들이 밀집해있어 동기화가 이루어지지 않을 경우 각 드론들의 소프트웨어의 정확한 동작을 보장할 수 없어 예상하지 못한 움직임 수행으로 충돌이 발생할 수 있다. 기존 분산 환경에서의 동기화 방법들은 자원이 한정적인 드론 시스템에 적용하기 어렵거나 우선순위 부여 기준에 차이가 있어 다른 적용 방식이 필요하다. 본 논문에서는 동기화를 위해 드론의 편대 내 위치에 따른 우선순위를 부여하는 순서 기반의 동기화 기법을 제안했다. 제안한 기법은 시뮬레이션 오버헤드를 줄여 시뮬레이션 비용을 감소시키고 군집 비행 시뮬레이션 중 예상하지 못한 드론의 동작을 최소화하여 안정성을 높일 수 있다.

ACKNOWLEDGEMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구결과로 수행되었으며(2015-0-00912) 또한 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No.NRF-2017R1D1A3B04035880).

REFERENCES

[1] Chuangchuang Zhu, Xiaolong Liang, Lvlong He and Liu Liu, "Demonstration and verification system for UAV formation control," IEEE International Conference on Control Science and Systems Engineering, pp. 56-60, 2017.

[2] Jialong Zhang, Jianguo Yan, Pu Zhang, Dongli Yuan and Xiaolei Hou, "Design and flight stability analysis of the UAV close cooperative formation control laws," Chinese Control And Decision Conference, pp. 142-147, 2018.

[3] Xue Pengbo, Jin Guodong, Lu Libin, Tan Lining and Ning Jigan, “The key technology and simulation of UAV flight monitoring system,” IEEE Advanced Information Management, Communicates, Electronic and Automation Control Conference, pp. 1551-1557, 2016.

[4] Mitsuru Enomoto and Yoshio Yamamoto, “Modelling, simulation and navigation experiments of Unmanned Aerial Vehicle,” IEEE International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 482-487, 2015.

[5] Zbyněk Obdržálek, “Software environment for simulation of UAV multi-agent system,” International Conference on Methods and Models in Automation and Robotics, pp. 720-725, 2016.

[6] Woong Gyu La, Seongjoon Park and Hwangnam Kim, “D-MUNS: Distributed multiple UAVs` network simulator,” Ninth International Conference on Ubiquitous and Futre Networks, pp. 15-17, 2017.

[7] “1588-2008 - IEEE Standard for a Precision Clock Synchronization Protocol for Networked Measurement and Control Systems,” IEEE STD 1588-2008, IEEE Instrumentation and Measurement Society, 2008.

[8] Sunghee Lee, Bueng Il Hwang, Kang-Bok Seo and Woo Jin Lee, “Relative Time Synchronization of Distributed Applications for Software-in-the-Loop Simulation,” IEEE Intl Conference on Computational Science and Engineering and IEEE Intl Conference on Embedded and Ubiquitous Computing and Intl Symposium on Distributed Computing and Applications for Business Engineering, pp. 753-756, 2016.