Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (2012) 18(5):433-438
http://dx.doi.org/10.5302/J.ICROS.2012.18.5.433 ISSN:1976-5622 eISSN:2233-4335

소형 무인기들의 군집비행을 위한 운영 네트워크 시스템과 PILS 개발

Development of Operation Network System and Processor in the Loop Simulation for Swarm Flight of Small UAVs

김 성 환, 조 상 욱, 조 성 범, 박 춘 배*
(Sunghwan Kim[1], Sangook Cho[1], Seong-Beom Cho[1], and Choon-Bae Park[1])
[1]Inha University

Abstract: In this paper, a operation network system equipped with onboard wireless communication systems and ground-based mission control systems is proposed for swarm flight of small UAVs. This operating system can be divided into two networks, UAV communication network and ground control system. The UAV communication network is intend to exchange the informations of navigation, mission and flight status with minimum time delay. The ground control system consisted of mission control systems and UDP network. Proposed operation network system can make a swarm flight of various UAVs, execute complex missions decentralizing mission to several UAVs and cooperte several missions. Finally, PILS environments are developed based on the total operating system.

Keywords: swarm flight, mission control system, ground control system, UAV communication network, process in the loop simulation, UAV

I. 서론

최근 무인기의 임무 범위가 기본적인 정찰 임무에서 무인기간 또는 유무인기의 공중전 및 공대지 폭격 등의 다양하고 복합적인 임무로 그 영역이 확대되고 있다. 이러한 복합적인 임무로 인해 무인기는 다양한 형태의 임무지원 장비를 탑재하고 운영하는 것이 요구된다. 그러나 소형 무인기의 경우 유상하중의 제한으로 이렇게 복합적인 임무수행에 요구되는 여러 임무장비들을 탑재하기 어렵다. 반면에 이미 개발되어 운영되고 있는 많은 소형 무인기들을 군집비행 형태로 운영하면 이러한 복합적인 임무에 대해서도 대처하는 것이 가능하기 때문에 최근 군집비행과 관련된 많은 연구가 수행되고 있다[1-3].

다수의 소형 무인기들을 네트워크를 통해 유기적으로 연동하여 군집비행 형태로 운영하면, 복합적인 임무를 세부 분할해 할당하는 것이 가능하기 때문에 여러 임무장비를 무인기들에 분산해 탑재하고 협업을 통해 임무를 수행하도록 운영하는 것이 가능하다. 또한 이렇게 여러 대의 소형 무인기의 군집비행을 이용하여 임무를 분산 수행할 경우, 한 대의 대형 무인기를 이용할 때보다 고장에 대해 신뢰성이 높아지게 된다. 다시 말해 군집을 형성하는 일부 무인기가 손실되어도 전체 임무가 실패하지 않고, 일부의 임무는 수행 가능하다는 장점이 있다. 이와 같이 다수의 무인기를 활용한 군집비행 운영과 관련된 최근 연구 동향을 살펴보면, 개별 무인기의 정밀제어와 충돌회피기동 및 비행시험과 같이 무인기의 직접적인 운영 측면에 관해 초점이 맞춰져 있다[4,5]. 이에 반해 무인기의 군집비행에 있어 중요한 요인인 무인기간 데이터 통신과 개별 또는 복수 무인기의 관제를 위한 시스템 개발에 대한 연구는 극히 드물다[6].

소형 무인기들의 군집비행을 구현하기 위해 본 논문에서 제안하는 무인기 운영 네트워크 시스템은 두 개의 네트워크로 구성된다. 첫 번째는 무인기간의 직접 통신을 위한 네트워크로, 기본적으로 군집을 형성하는 무인기간의 충돌 방지를 위한 개별 무인기들의 항법, 임무 및 상태 정보를 최소한의 시간지연을 갖고 교환하기 위한 기능을 우선적으로 수행하기 위한 것이다. 두 번째는 개별 무인기들을 통제하는 임무 통제 시스템(MCS: Mission Control System)들 간의 정보를 교류하기 위한 네트워크이다. 이렇게 MCS 상호간에 네트워크를 형성해야 개별 무인기의 임무할당 내용을 다른 MCS에서도 확인 가능하다. 본 논문에서는 MCS 네트워크를 포함하는 전체 지상 운영 시스템을 지상 관제 시스템(GCS: Ground Control System)으로 정의하였다. 이러한 각각의 네트워크 구성은 복수 무인기의 군집비행을 구현하기 위한 운영 시스템의 형태를 결정짓는 가장 중요한 인자이다.

본 논문에서는 무인기의 군집비행을 위한 네트워크 운영 시스템과 이를 기반으로 사전에 발표된 논문[1]의 알고리즘 검증을 위한 PILS 시스템을 개발하고 시스템의 안정성을 확인하는데 초점을 맞추고 있다. 또한 전체 운영 시스템의 하위 구성 요소인 MCS, Communication Host, IP Knob, EP RS422 Module에 대한 각각의 개발 내용을 기술하였다.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수: 2012. 2. 26., 수정: 2012. 3. 20., 채택확정: 2012. 3. 27.
김성환, 조상욱, 조성범, 박춘배: 인하대학교 항공우주공학과
(dokgogizon@hotmail.com/ooks-80@daum.net/jsb.felix@gmail.com/parkcb@inha.ac.kr)
※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음(계약번호 UD100048JD).

Copyright© ICROS 2012

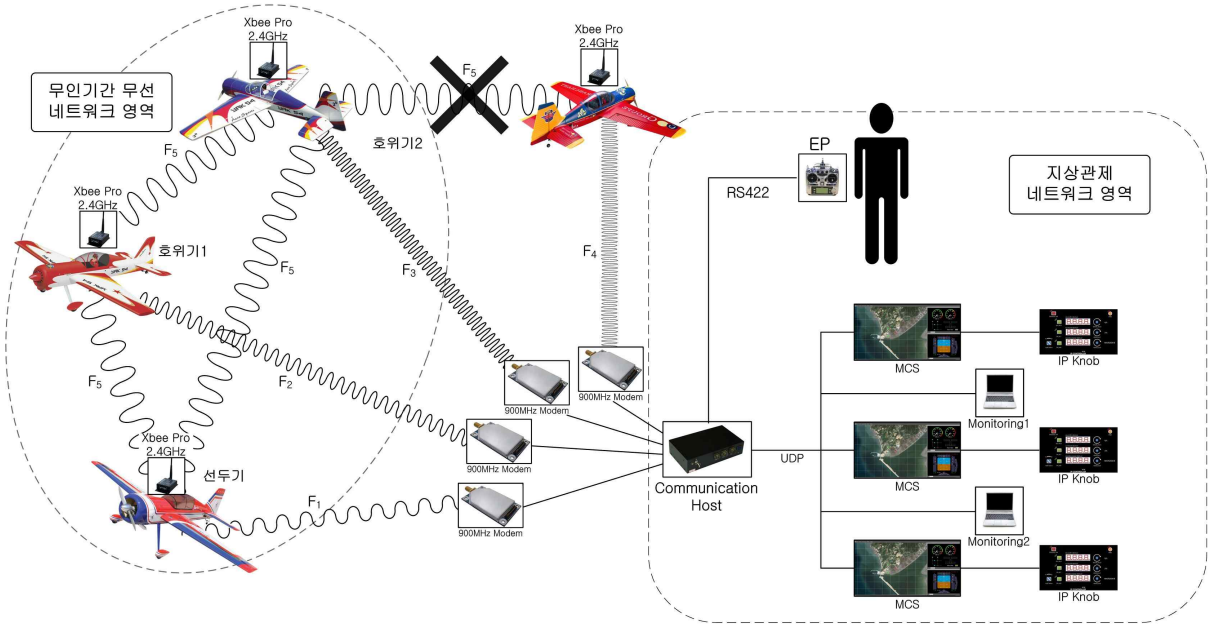


그림 1. 전체 운영 네트워크 시스템 구성.

Fig. 1. Total operation network system configuration.

II. 운영 네트워크 시스템 설계

1. 무인기간 통신 네트워크

군집비행을 구성하는 개별 무인기들 간의 무선 통신 네트워크에 가장 기본적으로 요구되는 것은 상대 항공기의 비행 상태정보와 임무관련 데이터의 송수신 기능이다. 또한 군집비행에 참여하는 무인기의 구성 수량 변화에 대해 유연하게 대처 가능해야 하고, 네트워크상의 특정 무인기의 통신이 마비되어도 전체 네트워크의 통신은 가능해야 한다. 개별 무인기들은 상대 무인기의 위치정보, 비행경로각 속도 정보, 그리고 무선통신의 무결성 검사를 위한 header와 checksum을 포함하는 최소 30 bytes 이상의 데이터 전송이 요구된다. 또한 무인기간 데이터 전송에는 단일 채널을 사용하기 때문에 무인기간 데이터 전송에 충돌을 방지하기 위한 다른 무인기와의 시간 동기화가 1 msec 이하의 정확도로 이루어져야 한다. 이를 위해 개별 무인기는 Communication Host로부터 번호를 부여하고 그 부여된 번호에 따라 탑재 GPS의 PPS 신호를 기준으로 자신의 데이터 전송 시점을 결정한다. 그리고 군집 비행의 밀집도를 높이기 위해 상태정보 갱신률은 최소 20 hz 이상이 요구되며, 무선 통신 최소 통달 거리는 500 m 이다. 본 논문에서는 이러한 요구조건을 모두 충족하는 무선 통신 장비로 2.4 Ghz의 Zigbee Pro 무선 모뎀을 선정하였다. 여기서 무인기간 무선 주파수를 2.4 Ghz로 선정한 이유는 지상관제국과 무인기간의 무선통신에 900 Mhz 대역이 사용되기 때문에 이와는 별개의 상용 주파수 대역을 사용하고자 함이다. 또한 이 무선장비의 경우 각각의 단말들과의 통신 방법이 편대기 수의 변화에 따라 구성이 용이하고 데이터 송 · 수신에 방송(broadcasting) 모드를 지원한다는 장점이 있다. 본 논문에서 적용하고 있는 무인기 간의 직접 통신은 그림 1의 좌측에 점선 부분과 같다.

2. 지상 관제 네트워크

일반적인 형태의 단일 무인기 관제 시스템은 임무를 계획하고 무선 통신으로 대상 무인기에 전달하는 것이 기본이다. 이에 반해 군집비행에 참여하는 모든 무인기를 운영하기 위한 관제 시스템은 다른 무인기들과 정보를 공유해야하고 여러 가지 다양한 임무의 협업하는 것이 가능해야 한다. 때문에 개별 무인기를 담당하는 MCS들은 실시간 데이터 교류가 요구된다. 또한 특정 무인기 운영을 담당하는 해당 MCS에 고장이 발생하는 경우 즉각 네트워크상의 다른 MCS를 통해 비상 임무를 전송 가능하도록 구성해 특정 MCS의 고장이 해당 무인기의 손실 또는 제어 불능과 직접적으로 연결되지 않도록 운용 가능한 형태로 구성되어야 한다. 이러한 모든 요구조건을 만족하도록 설계된 지상관제 네트워크 구성은 그림 1의 우측 점선과 같다.

3. 운영 시스템 구성 요소 개발

3.1 Communication Host

군집비행을 구성하는 개별 무인기들에는 기본적으로 MCS가 한 대씩 배치된다. 때문에 운영시스템에서 무인기 수와 MCS의 수는 동일하다. 이렇게 다수의 MCS간의 네트워크의 관리와 편대기간 통신에서 중계기 역할을 하는 Communication Host는 그림 2와 같이 설계하였다. 개별 무인기와 통신을 위한 RS232 채널이 7개, EP를 연결하기 위한 RS422 채널이 1개, MCS 네트워크의 UDP 통신 채널이 1개 적용되었다. 프로세서는 TI사의 TMS320C6713을 사용하였고, 탑재 프로그램은 DSP/BIOS 실시간 운영체제 기반으로 개발되었다.

Commuication Host의 기본 기능은 크게 두 가지로 나뉜다. 첫 번째는 지상관제와 무인기간의 무선 통신을 연결하는 것이다. Host는 7개의 RS232 채널을 가지고 있기 때문에 최대 7기의 무인기를 동시에 운용하는 것이 가능하다.

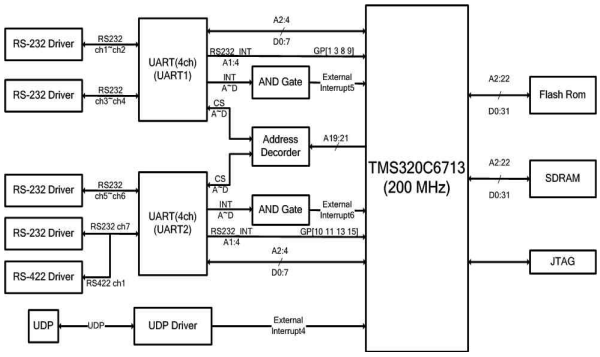


그림 2. Communication host.

Fig. 2. Communication host.

또한 실시간 운영체제를 적용하였기 때문에 동시에 모든 RS232 채널에 명령을 전송하는 것이 가능하기 때문에 개별 무인기들의 데이터 통신에 동기화가 쉽고 갱신주기를 정확히 유지할 수 있다. Host의 두 번째 기능은 UDP 통신을 기반으로 하는 MCS 네트워크를 관리하는 것이다. 이때 RS232를 통해 수신된 모든 무인기들의 정보와 Host와 직접 연결된 RS422 채널의 EP 정보 그리고 개별 MCS들의 임무 관련 데이터를 한데 묶어 UDP 상에 방송모드로 전체 데이터를 전송한다. 이 기능을 통해 네트워크상의 모든 MCS들은 다른 MCS들의 임무 데이터와 무인기들의 상태정보 그리고 EP의 조종 명령 등을 동시에 확인할 수 있다.

3.2 MCS

MCS는 현재 운영되고 있는 전체 무인기의 상황을 파악하기 위한 지도, 선택된 무인기의 상태 정보를 나타내는 PFD, 임무 할당창과 IP Knob로 구성된다. 또한 버스 상의 모든 MCS는 특정 항공기를 선택해 제어하는 것이 가능하다. 또한 일반적인 MCS들과 구분되는 특징은 동시에 비행 공역에 운영 중인 모든 무인기의 데이터를 수신할 수 있고, 이를 바탕으로 전체 무인기를 개별 MCS에서 관측할 수 있다. 또한 개별 MCS는 상황에 따라 제어대상 무인기를 선택적으로 스위칭하는 것이 가능하다. 이러한 모든 기능의 구현이 가능한 이유는 Communication Host에서 모든 무인기들의 데이터를 하나의 Packet으로 구성해 UDP상에 방송모드로 전송해 주기 때문이다.

3.3 IP Knob

군집비행을 제어하는 각각의 MCS들은 추가 외부 장치로 IP Knob가 RS232를 통해 연결된다. MCS는 20 msec 주기로 Knob에 무인기의 속도, 고도, 뱅크각, 비행경로각의 정보와 Knob 활성화 신호를 보낸다. Knob는 평소 화면에 MCS로부터 수신된 무인기 정보를 표시하다가 MCS로부터 Knob 활성화 명령이 수신되면 IP의 Dial 조종에 따라 속도, 고도, 비행경로각 명령을 생성해 MCS로 전송한다.

그림 3. 임무 제어 시스템 화면 구성.

Fig. 3. Display panel configuration of mission control system.

그림 4. IP Knob.

Fig. 4. IP Knob.

3.4 EP RS422 Module

Communication Host는 외부장치로 EP 조종기가 RS422로 연결된다. 운영 시스템에서는 외부 조종사가 친숙한 조종기를 제공하고자 Futaba FF9 RC Controller를 사용하고 있는데 여기서 출력되는 PPM 신호는 전달거리가 상대적으로 짧기 때문에 비행 시험 시 조종사의 움직임에 제약이 발생한다. 이와 같은 문제점을 해결하고자, 무인기 편대 운영시스템에서는 PPM 신호를 RS422 신호로 변경하는 시스템을 개발해 장착하고 EP 조종명령은 Host에 연결된 900 Mhz RF 모뎀을 통해 탑재 제어 시스템(FCC: Flight Control Computer)에 전달된다.

3.5 탑재 제어 시스템

탑재 제어 시스템은 센서 및 임무장비를 관장하는 장치관리시스템과 제어 프로그램 및 임무 수행 알고리즘을 연산하는 제어연산시스템의 두 부분으로 구성된다. 장치관리시스템의 탑재 프로그램은 TI사의 DSP/BIOS 실시간 운영체제를 기반으로 개별 센서 및 외부 임무장비를 위한 시스템 드라이버들과 각각의 서브시스템 관리를 위한 태스크들

그림 5. 통합 비행제어 시스템.

Fig. 5. Integrated flight control system.

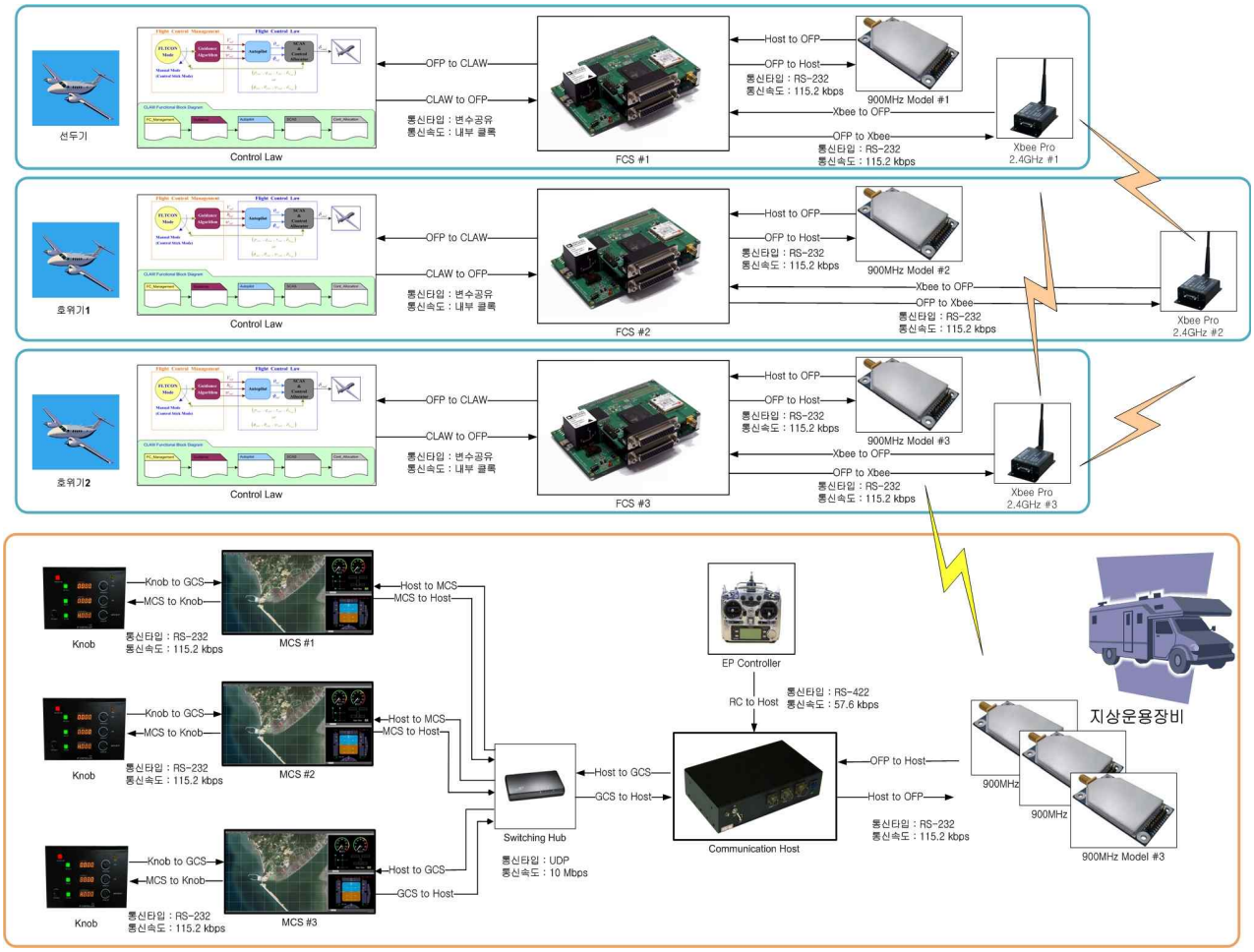


그림 6. 운영 네트워크 시스템 구성.

Fig. 6. Operation network system configuration.

로 구성된다. 제어연산시스템의 프로그램은 모델기반 개발 기술을 이용한 자동 코드 생성 기술을 적용하였다. 탑재 제어 시스템 개발과 관련된 보다 상세한 내용은 사전에 발표된 논문[7]을 참고하기 바란다.

III. PILS 시스템

PILS는 가상의 독립적인 프로세서들을 사용하여 개발된 시스템의 운용과 유사하게 실시간 시뮬레이션하는 것으로 정의되며, 반면에 HILS는 실제 시스템의 하드웨어를 적용하여 센서와 작동기를 포함한 전체 시스템을 실시간 시뮬레이션을 수행하는 것이다. 본 논문에서 제안하는 PILS 시스템은 실제 비행시험에 사용되는 환경과 최대한 동일하도록 구현되었다. 운동모델 컴퓨터에서 생성된 센서데이터를 UDP를 통해 FCC의 장치관리시스템의 프로세서에 전달하는 것과 편대기 통합 네트워크에서 무선모뎀을 통해야 하는 경로 대신에 유선을 사용한 부분을 제외하면, 모든 시스템이 실제 비행시험 상황과 일치한다.

1. PILS 시스템 구성

PILS 시스템은 크게 Communication Host, FCC, 운동모델, MCS로 구성된다. 본 논문에서 구현하는 PILS 시스템은 군집비행 운영을 검증하기 위한 것이기 때문에 앞서 발표한 논문[1]의 알고리즘을 적용하여 운영 시스템의 안정성을 확인하였기 때문에 기본적으로 FCC, 운동모델 그리고 MCS는 각각 3대씩 연결하여 구성하였다. 이러한 구성은 그림 1의 운영 시스템과 기본적으로 동일한 구성이며 3대의 무인기에 대한 운영 네트워크 시스템 구성을 통신연결에 따라 그림 6에 상세도를 나타내었다. 이러한 통신 연결에 무인기의 비행을 모사하기 위한 비선형 운동모델 부분을 추가하고 이를 계산하기 위한 컴퓨터를 추가해 최종적인 PILS 환경을 그림 7과 같이 구현하였다.

2. PILS 시험

PILS 시험은 참고논문[1]의 알고리즘을 개별 FCC에 탑재하고 사전에 정의된 Way-point Navigation을 수행하는 1번기에 대해 나머지 2대가 편대를 형성해 운영되는 것을 시뮬레이션하였다.

그림 8에 나타낸 바와 같이 3대의 무인기를 제안된 운영 네트워크 시스템을 통해 복수 무인기의 운영 가능성을 확인하였다. 또한 실제 비행환경과 통신 및 비선형 운동모델을 이용한 센서데이터 획득을 제외하고는 실제 비행시험 환경과 동일한 조건에서 PILS를 수행한 것이기 때문에 실제 무인기 군집비행 시험을 위한 시스템 검증이 완료되었다.

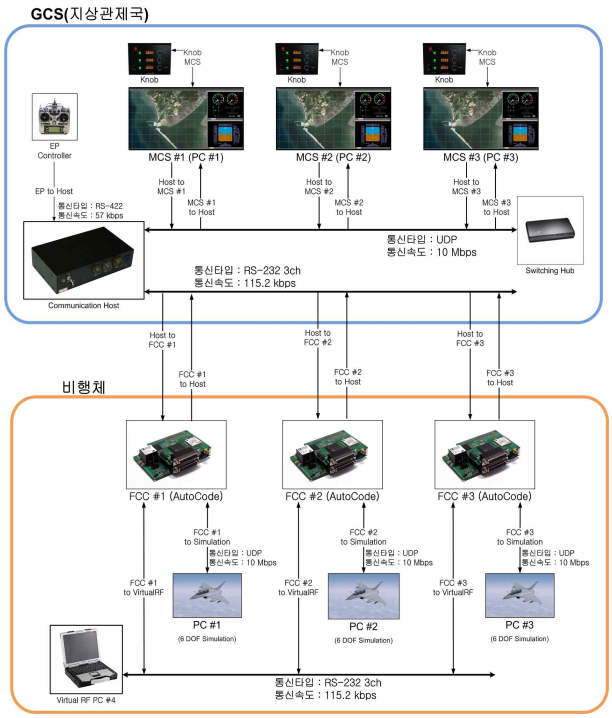


그림 7. PILS 환경 구성.

Fig. 7. PILS environment configuration.

그림 8. PILS 시뮬레이션 상황.

Fig. 8. PILS simulation condition.

IV. 결론

본 논문에서는 소형 무인기들의 군집비행을 통해 복잡한 임무를 분산 수행하기 위한 전체 운영시스템 구성을 제안하였다. 또한 이를 기반으로 PILS 시스템을 구현하고 사전에 발표된 논문의 알고리즘을 탑재하여 운영 시스템의 안정성을 확인하였다. 군집비행에 있어 개별 무인기들을 제어하는 MCS들의 정보를 네트워크상의 모든 MCS들이 실시간으로 확인 가능하도록 시스템을 구성하였으며, 탑재 시스템 간의 통신에 시간지연을 최소화하기 위한 무선 통신 네트워크를 구현하였다. 구현된 시스템을 활용하면 군집비행을 수행하는데 있어 무인기간의 상대 거리를 보다 밀접하게 유지할 수 있다. 앞으로 제안된 운영시스템을 활용해 소형 무인기들의 군집비행을 실제 비행시험을 통해 구현할 계획이다.

참고문헌

[1] S. H. Kim, S. B. Jo, S. H. Park, D. W. Kim, and C. K. Ryoo, “A formation guidance law design Based on relative-Range information for swarm flight,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 18, no. 2, pp. 87-93, Jan. 2012.

[2] Y. K. Song, C. H. Heo, S. G. Lee, and J. H. Kim, “Autonomous formation flight tests of multiple UAVs,” *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences (in Korean)*, vol. 38, no. 3, pp. 264-273, Mar. 2010.

[3] D. M. Kim, S. H. Park, S. H. Nam, and J. Y. Suk, “A modified nonlinear guidance logic for a leader-follower formation flight of two UAVs,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 1, pp. 8-14, Jan. 2009.

[4] D. I. You and H. C. Shim, “Autonomous formation flight test of multi-micro aerial vehicles,” *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 61, pp. 321-337, Nov. 2011.

[5] S. H. Kim, C. K. Ryoo, and C. B. Park, “Multi-UAV formation based on feedback linearization technique using range-only measurement,” *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems (in Korean)*, vol. 15, no. 1, pp. 23-30, Jan. 2009.

[6] E. W. Frew and T. X. Brown, “Networking issues for small unmanned aircraft systems,” *Journal of Intelligent and Robotics Systems*, vol. 54, pp. 21-37, 2008.

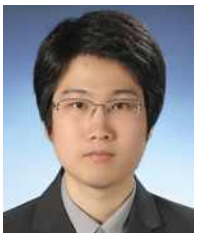
[7] S. H. Kim, S. O. Cho, S. S. Kim, C. K. Ryoo, and K. Y. Choi, “Development of embedded program for UAV flight control system using RTOS and model-based auto code generation,” *Journal of The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences (in Korean)*, vol. 39, no. 10, pp. 979-986, Oct. 2010.

김 성 환

2002년 인하대 항공우주공과(공학사) 졸업. 2004년 동 대학원 석사. 2012년 동 대학원 박사. 2007년~2009년 한국항공우주연구원 연구원. 관심분야는 비행제어시스템, 실시간 운영체제, 편대비행 유도항법.

조 상 욱

2009년 인하대 항공우주공학과(공학사) 졸업. 2008년 동 대학원 석사. 2008년~현재 인하대학교 항공공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 고정익기 유도제어, 무인기 시스템 개발.



조 성 범

2009년 인하대 항공우주공학과(공학사) 졸업. 2011년 동 대학원 석사. 2011년~현재 인하대학교 항공공학과 박사과정 재학중. 관심분야는 회전익기 유도제어, 지상관제 운영시스템 개발.

박 춘 배

1974년 서울대 항공우주공학과(공학사) 졸업. 1976년 동 대학원 석사. 1976년~1980년 공군사관학교 교관(전임강사). 1989년 서울대학교 항공우주공학과(공학박사) 졸업. 1980년~현재 인하대학교 교수. 2007년~2012년 인하공업전문대학 총장. 현재 인하대학교 총장. 관심분야는 항공전자. 비행제어, 시뮬레이터.