

技術論文

DOI: <http://dx.doi.org/10.5139/JKSAS.2011.39.11.1042>

복수 무인기 네트워크 통합 운영 시스템 개발

김성환*, 조상욱*, 김성수*, 유창경*, 최기영**

Development of Operation System for Network of Multiple UAVs

Sunghwan Kim*, Sang-Ook Cho*, Sung-Su Kim*, Chang-Kyung Ryoo* and Keeyoung Choi**

ABSTRACT

In this paper, a total operating environment equipped with onboard wireless communication systems and ground-based mission control systems is proposed for simultaneous operation of multiple UAVs. A variety of operating structures are studied and classified systematically based on types and usages of the components. For each operating system, the strength, weakness and reliability aspects are investigated. Based on these results, a proper operating system configuration is determined and components are developed for mission formation flight. Proposed system can make a formation flight of various UAVs, execute complex missions decentralizing mission to several UAVs and cooperate several missions.

초 록

본 논문에서는 복수 무인기의 편대 비행을 위한 탑재 무선 통신 및 임무통제 네트워크(지상관제시스템)를 포함하는 통합 운영 시스템의 구성 방안을 제시한다. 이를 위해 편대비행을 위한 무인기에 탑재되는 시스템들의 구성 형태에 따라 다양한 운영 시스템들을 분류하였다. 또한 각각의 운영 시스템에 대한 장단점 및 고장에 대한 신뢰성을 파악하였다. 이 결과를 바탕으로 편대기의 임무비행을 수행하는데 있어 적절한 운영 시스템의 형태를 결정하고 구성 요소들을 개발하였다. 제안된 운영 시스템을 이용하면, 이종의 비행체로 편대를 구성할 수 있으며, 복잡한 임무를 여러 무인기에 나누어 수행 가능하고, 단일 임무의 협업 또는 다양한 임무의 동시 수행이 가능하다.

Key Words : UAV(무인항공기), Formation Flight(편대비행), Mission Control System(임무 통제 시스템), Ground Control System(지상관제), Formation Operating System(편대 운영 시스템), UAV Network(무인기 네트워크)

1. 서 론

최근 무인기의 활용 범위가 기본적인 정찰 임무에서 공대공 및 공대지 공격 임무 등의 다양하고 복합적인 영역으로 확대되고 있다. 복합적인

임무는 한 대의 소형 무인기가 수행하기에 유상하중의 제한으로 여러 지원 시스템들을 탑재하기 어렵다. 그러나 다수의 소형 무인기들로 네트워크를 구성하고 다양한 세부 임무를 협업이 가능한 여러 무인기에 분산하면 소형 무인기들로도 복잡한 임무 요구에 대처할 수 있다. 또한 여러 대의 소형 무인항공기를 사용하여 임무를 분산 수행할 경우, 한 대의 대형 항공기를 이용할 때보다 다중화 관점에서 고장에 대해 신뢰성이 높아지게 되므로, 일부 무인기가 고장을 일으켜도 전체 임무가 실패하지 않고, 일부의 임무는 수행

† 2011년 5월 25일 접수 ~ 2011년 10월 26일 심사완료

* 정회원, 인하대학교 항공우주공학과 대학원

** 정회원, 인하대학교 항공우주공학과

교신저자, E-mail : kchoi@inha.ac.kr

인천시 남구 용현동 인하대학교 항공우주공학과

이 가능하다는 장점이 있다. 다수의 무인기 편대 운영과 관련된 최근 연구 동향을 살펴보면, 개별 무인기의 정밀제어와 자동 편대비행, 충돌회피기동 및 비행시험과 같이 편대기의 직접적인 운영 측면에 대해 초점이 맞춰져있다.[1-4] 이에 반해 실제 무인 편대기를 운용하는데 중요한 요인인 무인기간의 데이터 통신과 관제를 위한 시스템 구성 방안에 관한 연구는 수행된 바가 없었다. 따라서 본 논문에서는 무인 편대기를 운영하는데 요구되는 통신 네트워크의 다양한 형태를 분류하고 각각의 성능과 장단점을 파악하는데 초점을 맞추고 있다.

소형 무인기들의 네트워크 운영에 있어 가장 중요한 목적은 복잡한 임무를 다수의 무인기에 분산하여 수행하고, 단일 임무를 다수의 무인기가 협업하거나, 또는 다양한 여러 임무를 단일 또는 복수의 무인기가 동시에 수행하는 것이다. 추가로 무인기 간의 무선 데이터 중계를 통해 통신 거리를 확장하거나 임무 영역을 확대할 수 있다. 이러한 운영 목적에 부합하기 위해서는 여러 임무 통제 시스템(MCS: Mission Control System) 간의 임무 관련 정보를 교류하기 위한 네트워크와 무인기 간의 데이터 전송을 위한 네트워크가 마련되어야 한다. 이러한 네트워크 구성은 전체 운영 시스템의 형태를 결정짓는 가장 중요한 인자이다. 소형 무인기들의 편대 운영을 위한 통합 시스템은 크게 비행체, 탑재제어시스템, 탑재임무장비, 무선통신 네트워크, MCS 그리고 MCS 네트워크시스템으로 구성된다.[5] 여기서 무선통신 네트워크는 무인기 간의 편대비행, 충돌회피 및 협업 등을 위한 데이터 송수신과 MCS에서 계획된 임무 명령을 전달하는 경로이다. 또한 무인기들을 개별 관리하기 위한 다수의 MCS들은 서로 UDP 네트워크를 통해 연결되며, MCS들의 전체 네트워크를 편대 운영을 위한 지상관제시스템으로 볼 수 있다.

본 논문에서는 일반적인 소형 무인기에서 사용 가능한 통신 시스템의 제한된 무선 운영 거리 및 데이터 전송률 등을 기준으로 운영 시스템의 고장 상황까지 고려한 효율적인 무인기 네트워크 구성 및 운영 방안을 제시한다. 이를 위해 우선 무인기 편대를 운영하기 위한 시스템을 구성 형태에 따라 분류하였다. 운영 시스템은 크게 무인기 간의 데이터 교류를 위한 통신 형태와 개별 무인기의 임무 관리를 위한 지상관제 시스템의 두 부분으로 나뉘지며, 각각은 다시 구성 요소의 세부 연결 구조에 따라 세분화시켜 분류하였다. 이렇게 분류된 각각의 시스템은 고장에 대한 신

뢰성 수준을 확인하였고, 이를 바탕으로 복수 무인기의 통합 운영 시스템 구성을 결정하였다. 또한 전체 운영 시스템의 하위 구성 요소에 대한 각각의 개발 내용을 기술하였으며, 통합 운영 시스템의 연결 구조에 따른 통신 시간 지연에 대한 시험을 수행하고 분석하였다. 그리고 구성된 운영 시스템의 편대 운영개념과 부분적인 통신 장애에 대해 대처하는 방법에 대해 기술하였다.

II. 본 론

2.1 복수 무인기 운영 시스템 분류

복수 무인기의 운영에 있어 통신 전달 경로는 크게 두 가지로 분류될 수 있다. 첫째는 무인기 간의 통신이고, 둘째는 개별 무인기의 운영을 위한 관제시스템과의 통신이다. 이러한 연결 형태에 따라 통신 시스템 구성을 분류하기 위해 본 논문에서는 표 1과 같은 약어를 규정하였다.

정의된 약어표현을 이용해 무인기 통합 운영 시스템을 표현하는 방법을 아래에 예시하였다.

예) AA/DS/1N — MA/RM/11

예)의 약어 표현을 설명하면, AA는 무인기 간의 통신을 의미하며, DS는 무인기 간의 직접 통신에 단일 주파수를 적용한 것이다. 또한 1N은

표 1. 통신 형태 약어

구분	약어	설 명
통신 형태	AA	Airplane to Airplane : 무인기간 데이터 통신
	MA	MCS to Airplane : 임무제어장비와 무인기간 통신
중계기 유무	R	Repeater : 두 터미널 사이에 중계기를 이용하는 통신 방법
	D	Direct : 중계기를 사용하지 않고 터미널 간에 직접 통신 방법
주파수 사용	S	Single : 터미널 간에 단일 주파수를 이용한 무선 통신
	M	Multi : 터미널 마다 별도의 다중 주파수를 이용한 무선 통신
통신 체계	11	터미널 간에 일대일 데이터 전송
	1N	터미널 간에 일대다 데이터 전송
	NN	터미널 간에 다대다 데이터 전송

한 대의 무인기에서 데이터를 전송하면 나머지 무인기들이 동시에 데이터를 수신할 수 있는 방송 형태의 데이터 송신 방법을 말한다. 다음으로 MA는 무인기와 관제간의 통신을 나타내고, 중계기를 통한 다중 주파수 연결을 의미한다. 또한 MCS와 무인기가 일대일로 데이터를 송수신하는 형태를 의미한다.

2.2 무인기간 무선 통신

2.2.1 무인기간 무선 통신 요구조건

현재 상용화된 유·무인기들의 항법 정보 교환을 위한 통신 장비들은 Transponder, TCAS, ADS-B 등이 있다[6-7]. 이러한 통신 장비는 소형 무인기에 적용하기에는 장비의 크기와 연결 그리고 구성의 복잡도 등의 문제가 있다. 때문에 본 논문에서는 일반적인 무선 통신 장비를 이용해 무인기 간의 네트워크를 구현하였다.

무인기 간의 통신 네트워크의 구성에 가장 기본적으로 요구되는 되는 것은 무인기 간의 데이터 송수신 기능으로 상대 항공기의 위치, 속도, 자세 등의 정보를 획득하는 것이다. 다음으로 요구되는 점은 편대를 이루는 무인기의 추가 또는 제거와 같은 편대 구성의 변화에 대해 유연하게 대처해야 하고, 통신 네트워크를 구성하는 일부 무인기가 손실되어도 전체 네트워크 기능을 유지 가능해야 한다.

본 논문에서 제안된 결과를 적용할 편대 운용에서 무인기 간의 통신 네트워크의 성능 요구는 다음과 같다. 개별 무인기들은 상대 무인기의 위치정보, 자세정보, 속도정보 등의 확인을 위한 Header, Checksum 등으로 이루어진 최소 30bytes 이상의 데이터 전송이 요구된다. 또한 데이터 전송에 주파수 간섭 또는 데이터 충돌을 방지하기 위해 시간 동기화가 1 msec 이하의 정확도로 이루어져야 한다. 그리고 근접 편대 비행을 위해 상태 정보 전송율은 탑재 GPS의 갱신율인 10Hz를 기준으로 무선통신상의 데이터 손실을 고려해 최소 20Hz 이상이 요구되며, 탑재될 편대유도 알고리즘의 기준에 맞춰 무선 통신 최소 통달 거리는 500m로 고려하고 있다. 이러한 기준에 맞춰 무인기간 통신에는 2.4Ghz의 Zigbee 모델을 선정하였다. 참고로 무인기와 지상관제에는 900Mhz의 모델을 사용한다.

2.2.2 무인기간 무선 통신 분류

선정된 모델을 기준으로 구성 가능한 무인기 간 통신 네트워크 형태를 다음과 같이 분류하였

다. 무인기 간의 위치 정보를 전달하기 위한 통신은 중계기(임무 통제 시스템)를 통한 간접 통신 방식(AA/R), 무인기 간의 직접 통신 방식(AA/D) 그리고 두 가지를 혼용하는 방식(AA/R&D)으로 나눌 수 있다.

• AA/R(M or S)

AA/R은 중계기를 이용한 무인기 간의 간접 통신이다. 이 경우 무인기는 항상 중계기를 통해서만 서로 데이터를 주고받을 수 있다. AA/R의 통신 방식은 무인기 네트워크상의 모든 데이터 흐름을 중계기가 직접 통제할 수 있다. 또한 개별 무인기들은 중계기와만 데이터 교류를 하기 때문에 통신 부하가 적다는 장점을 가지고 있다. 단점은 모든 무인기간의 통신이 중계기를 통해서만 이뤄지기 때문에, 중계기의 고장이 전체 편대의 손실로 확대될 수 있다.

무인기 간의 간접 통신 방식은, 중계기와 무인기의 탑재 통신 시스템이 주파수를 사용하는 방식에 따라 AA/RM과 AA/RS의 두 가지 형태로 분류된다. 다중 주파수를 사용하는 AA/RM의 경우는 개별 무인기마다 별도의 통신 주파수를 할당해야 하므로 중계기에 운영되는 무인기 수에 따라 다수의 통신 장비가 필요하지만, 동시에 모든 무인기에 데이터 통신이 가능하다. 이에 반해 AA/RS의 경우는 단일 주파수로 개별 무인기와 통신을 하기 때문에 통신 장비는 줄어들지만, 중계기와 특정 무인기 간에 통신이 수행되는 동안에 나머지 무인기는 대기해야 하므로, 무인기 네트워크상에 데이터 송수신시 지연시간이 많아져 무인기 간에 송수신 데이터양에 한계가 있다.

• AA/D(M or S)

AA/D는 무인기의 직접 통신이다. 중계기가 없어 데이터 전달 경로가 짧고 무인기 간에 데이터 송수신에 시간지연이 최소화 될 수 있다. 통

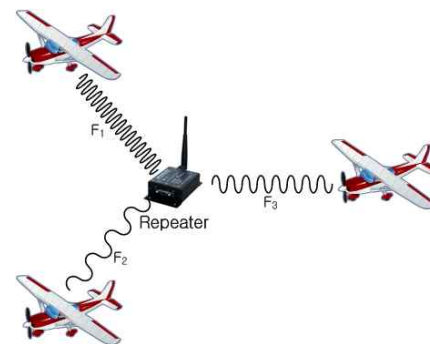


그림 1. 무인기간 통신 : AA/R

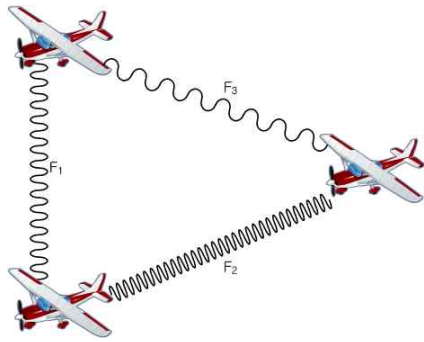


그림 2. 무인기간 통신 : AA/D

신 거리를 확대를 위해 한 대의 무인기가 두 무인기 사이에서 중계 역할을 할 수 있다.

AA/D는 전체 편대에 하나의 통신 주파수를 적용하는 AA/DS와 두 무인기 간에만 동일한 주파수를 사용하는 AA/DM이 있다. AA/DS의 통신 방식은 전체 네트워크의 운영이 반이중 통신 방식처럼 작동하기 때문에 통신 네트워크상에 무인기 수가 많아지면 송수신 데이터가 포화되는 단점이 있다. 그러나 한 대의 무인기가 데이터를 전송하면 통달 거리 이내에 있는 모든 무인기가 같은 정보를 얻을 수 있어 무인기간 충돌회피와 같은 운영에서는 장점이 된다. AA/DM의 경우는 두 대의 무인기마다 주파수를 할당해 운영하기 때문에 개별 무인기는 자신을 제외한 전체 편대기 수의 통신 장비를 탑재해야한다.

• AA/R&D(M or S)

무인기 간의 AA/R&D 통신은 특정 무인기 간의 통신에 장애가 생겨도 중계기를 이용한 간접 통신이 가능하다. 다시 말하면 이중의 통신 네트워크를 구현한 시스템으로 신뢰도가 증가하는 장점이 있다. AA/R&D의 경우도 R과 D에 각각 다중 주파수와 단일 주파수를 적용할 수 있다. 이것은 아래의 관제 시스템과도 연관된 내용으로 보편적으로 AA/RS&DM의 형태로 구현한다.

2.3 복수 무인기 관제 시스템

2.3.1 복수 무인기 관제 요구조건

단일 무인기 관제 시스템은 임무를 계획하고 무선 통신으로 대상 무인기에 전달하는 것이 기본이다. 이에 반해 편대를 운영하기 위한 관제 시스템은 다른 편대와 정보를 공유하고 여러 가지 다양한 임무의 협업하는 것이 가능해야 한다. 때문에 개별 무인기를 담당하는 MCS들은 서로 원활한 데이터 교류가 요구된다. 또한 특정

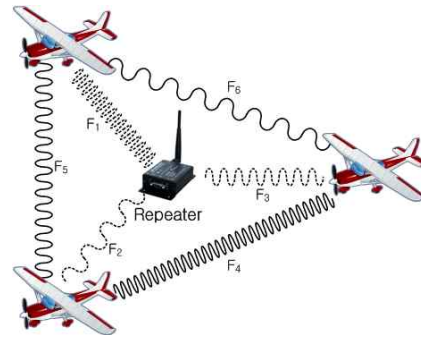


그림 3. 무인기간 통신 : AA/R&D

MCS의 고장이 해당 무인기의 손실과 직결되지 않도록 고장이 발생하면 즉각 네트워크상의 다른 MCS로 무인기 제어 업무를 인계해야 한다.

2.3.2 관제 시스템 구성 분류

개별 무인기를 MCS를 통해 운영하는 관제 시스템의 형태는 다음과 같이 분류될 수 있다.

• MA/11

각각의 무인기에 대해 개별적으로 MCS가 연결되는 관제 시스템 구성이다. 이 경우 단일 무선 주파수를 사용하는 S의 경우는 데이터 송수신 시 다른 MCS들과 데이터 충돌을 피할 방법이 없기 때문에 M 옵션으로만 구현 가능하다. 이러한 관제 시스템의 장점은 MCS의 연결 구조가 간단하다. 반면에 MCS간에 데이터 교류가 불가능하기 때문에 편대비행의 구현이 불가능하다.

• MA/1N

단일 MCS로 관제 시스템을 구성하는 형태이다. 장점은 관제 인력을 축소할 수 있고 모든 무인기의 동시 모니터링이 가능하며 관제 시스템을 단순하게 구성 가능하다. 반면에 관제 시스템이

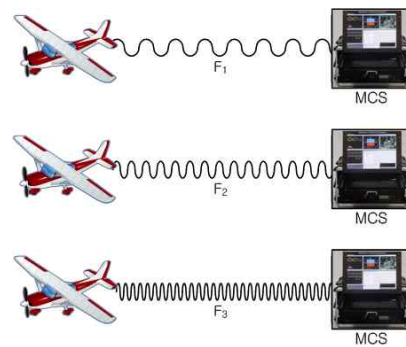


그림 4. 관제 시스템 구성 : MA/11

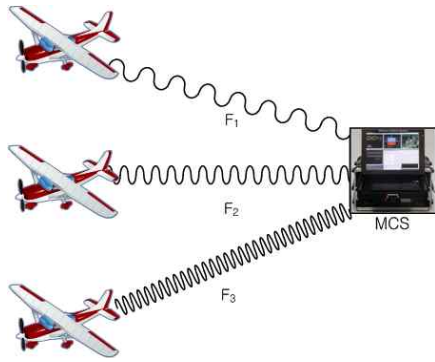


그림 5. 관제 시스템 구성 : MA/1N

하나이기 때문에 무인기의 개별 임무를 동시에 할당할 수 없고 관제 인력의 업무가 증가되며 MCS의 고장이 전체 무인기 손실로 연결될 수 있다. 이 경우 단일 무선 주파수를 사용하는 S의 경우는 데이터 송수신 시 다른 무인기들은 대기 상태에 있어야 하기 때문에 데이터 송수신량에 제한이 있다. M 옵션의 경우는 동시에 각각의 무인기에 데이터 송신이 가능하고 데이터 송신 시점을 동기화 할 수 있다.

• MA/N1

각각의 무인기에 대해 개별 관제가 이루어지는 시스템이다. 이 경우 MCS와 한 대의 무인기 간에만 무선 통신을 하기 때문에 무인기 간에 직접 통신 AA/D가 필수적으로 구현되어야 한다. 이 시스템 구성은 MCS와 무인기 간의 무선 통신 시스템이 단순하고 관제 시스템 간에 데이터 교류가 용이해 각각의 관제 시스템에서 다른 무인기의 위치 파악이 가능한 장점이 있다. 하지만, MCS와 연결된 특정 무인기와의 통신 또는 탑재 시스템의 고장이 전체 시스템의 고장으로 확대될 우려가 있다. MA/N1 시스템 구성에 나타난 Communication Host는 MCS들의 네트워크를 관리하고 개별 MCS 시스템의 데이터를 수집하여 무인기와 통신을 관리하기 위한 시스템으로 네트워크 Hub와 같은 기능을 한다.

• MA/NN

이 시스템은 무인기와 Communication Host의 연결에 단일 주파수 S와 다중 주파수 M의 두 가지 옵션이 가능하다. M의 경우는 개별 무인기 운영에 별도의 주파수를 이용하기 때문에 무선 통신 부하가 감소하고 개별 무인기를 동시에 여러 관제 시스템에서 접속이 가능하다. 또한 관제 시스템의 구성을 상황에 따라 유연하게 변경할

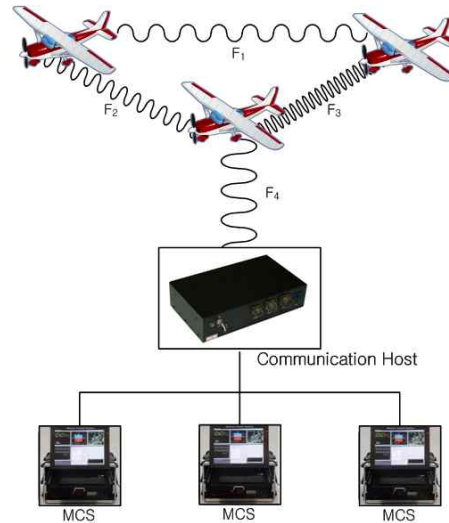


그림 6. 관제 시스템 구성 : MA/N1

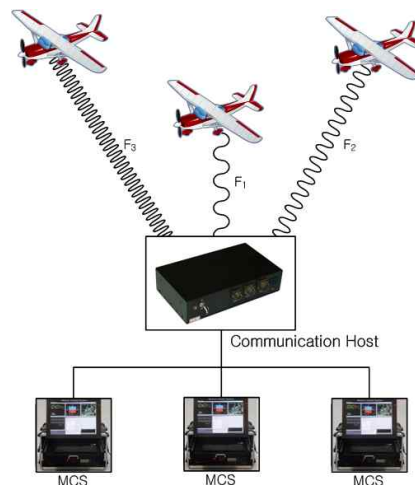


그림 7. 관제 시스템 구성 : MA/NN

수 있다. 반면에 MCS 구성이 복잡해지고 MCS 네트워크의 손상이나 Communication Host의 고장이 전체 무인기 손실을 야기할 수 있다. 이러한 구성은 참고논문 [5]에서 찾아 볼 수 있다.

2.4 관제 시스템 구성에 따른 신뢰성 분석

관제 시스템 구성을 위해 앞서 제시된 시스템 구조들의 신뢰도를 분석하였다. 신뢰도 분석은 항공기와 MCS를 하나의 시스템으로 설정하고, RBD(Reliability Block Diagram) 기법을 적용하였다. 무인항공기는 통신장비를 포함한 탑재체의 고장률을 포함해 10 failure/10⁶을 적용하였다. 이 값은 Predator의 전체 시스템 고장률로 알려

진 300 failure/10⁶을 기준으로 상대적으로 매우 낮은 수치로 가정한 것이다. MCS의 MTBF는 일반적인 PC의 고장율과 지상 통신장비의 고장률을 포함해 33 failure/10⁶로 가정하였다. 또한 Host의 고장률은 매우 높다고 가정하여 신뢰성 해석 모델에는 MCS와 무인기간 무선 통신선로의 스위칭 역할만을 고려하였다. 이것은 만일 Host의 고장률이 다른 부분에 비해 낮게 설정되면 MA/N1과 MA/NN의 네트워크 구성에 대한 특징을 해석할 수 없기 때문이다. 일반적인 신뢰성 해석기법과 같이, 프로그램의 오류에 대한 부분은 고려하지 않았다. 이렇게 가해진 값들은 실제 시스템의 정확한 고장률은 아니지만 전체 시스템 해석에 있어 모델 구성에 따라 신뢰성 변화의 경향성을 파악하기 위해 가해진 것이다.

2.4.1 시스템의 해석 모델 정의

MA/11 : 개별 항공기와 MCS를 일대일 직렬 시스템으로 구성하고, 이렇게 구성된 시스템이 3중 병렬시스템으로 연결된다.

MA/1N : 3대의 항공기는 3중 병렬시스템으로 구성되고 하나의 MCS에 직렬로 연결된다.

MA/N1 : 3대의 항공기는 직렬시스템으로 연결되고, 3대의 MCS는 3중 병렬시스템으로 연결

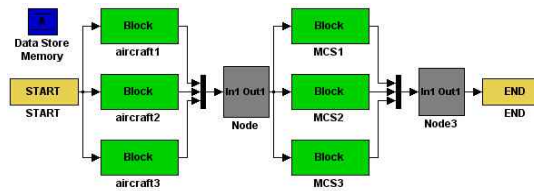


그림 11. MA/NN RBD 해석 모델

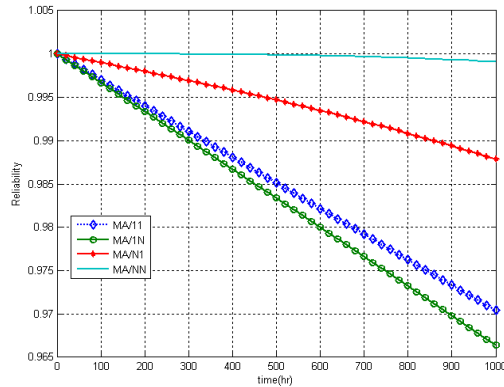


그림 12. 신뢰도 해석 결과

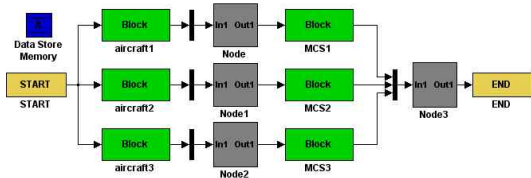


그림 8. MA/11 RBD 해석 모델

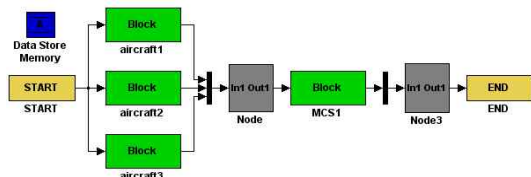


그림 9. MA/1N RBD 해석 모델

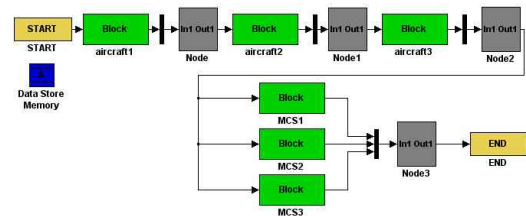


그림 10. MA/N1 RBD 해석 모델

되는 구조다.

MA/NN : 3대의 항공기는 3중 병렬시스템으로 연결되고, 3대의 MCS도 3중 병렬시스템으로 연결되어 서로 직렬시스템으로 연결된다.

2.4.2 신뢰도 해석

위의 신뢰도 해석 모델을 이용하여 관제 시스템의 신뢰도를 해석하면 다음과 같은 결과를 예측할 수 있다. 신뢰도 분포는 MA/NN > MA/N1 > MA/1N > MA/11의 순서로 MA/NN 구조로 시스템을 구성할 경우 신뢰도가 가장 높음을 알 수 있다. MA/N1, MA/NN 구조는 지상관제를 담당하는 MCS가 병렬연결 다중구조이므로 비교적 높은 신뢰도를 갖게 된다. 하지만 MA/1N 구조의 경우 항공기는 직렬연결과 동일한 구조이므로 3대의 항공기 중에서 한 대의 항공기에서 통신에 대한 고장이 발생할 경우 전체 시스템의 고장으로 발전하기 때문에 MA/NN에 비해 낮은 신뢰도를 갖게 되는 것이다. 신뢰도 해석 결과를 바탕으로 본 논문에서는 MA/NN 시스템 구조를 선택하였다.

2.5 복수 무인기 통합 운영 시스템 구현

그림 13에 앞서 제시한 결과를 활용해 선택된 복수 무인기 운영 시스템 구성에 대한 개략도를

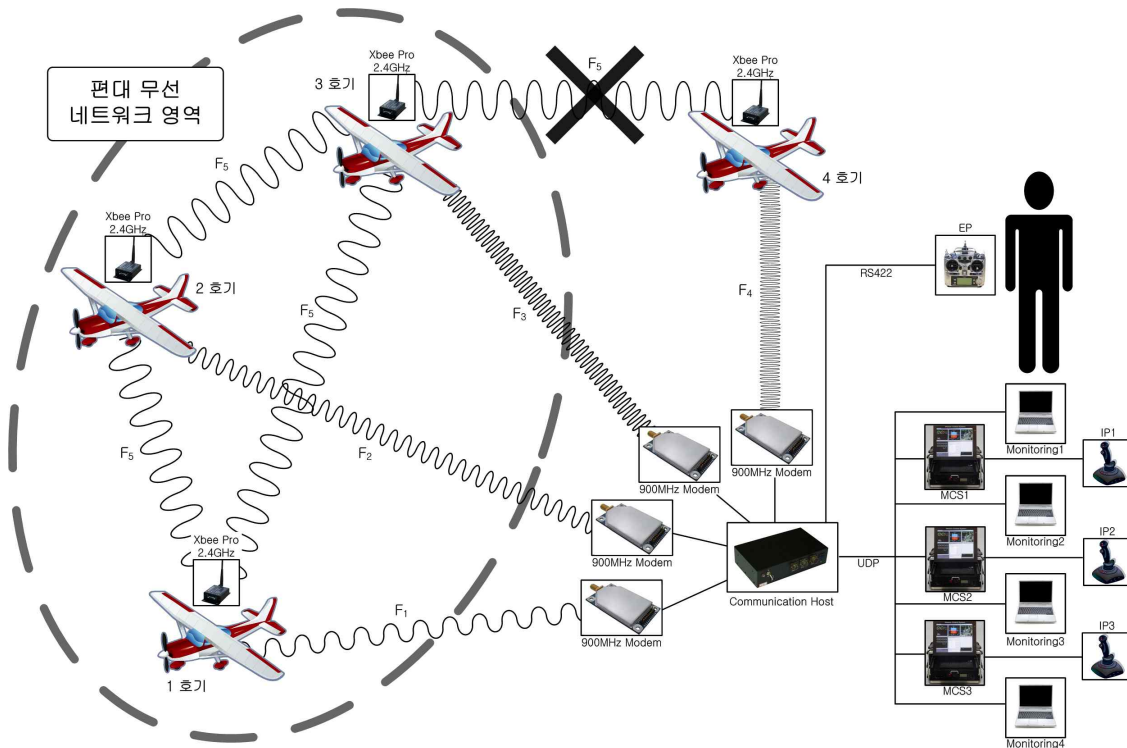


그림 13. 복수 무인기 운영 시스템 개략도

나타내었다. 편대기 간의 데이터 교환을 위한 무선 네트워크는 2.4Ghz 대역의 단일 주파수를 사용하여 1호기를 기준으로 일정 시간 간격으로 데이터를 전송하고 지상관제와 편대기의 통신에는 900Mhz 대역의 다중 주파수를 사용하고 지상에서는 동시에 각각의 무인기에 데이터를 전송한다. 무선 통신상의 전송률은 250Kbps이다.

2.5.1 무인기간 통신 구성

본 논문에서 채택한 무인기 간의 통신은 AA/R&D 이다. 이유는 이 시스템이 편대기 구성의 변화에 가장 유연하게 대처할 수 있는 방법이기 때문이다. 무인기 간의 직접 통신에는 단일 주파수를 이용하는 S 방식을 이용한다. 이는 무인기간 통신 요구조건의 데이터 통신량이 단일 채널로도 충분히 만족시킬 수 있기 때문이다.

무인기간 통신에는 무인기와 무선통신의 실시간 관리를 위해 개발된 Communication Host가 추가적으로 사용된다. 이 시스템은 관제 시스템 구성의 일부분으로 편대기 간의 통신을 보완할 수 있는 개념이다. 그림 13에서 편대 무선 네트워크 영역 밖에 있는 4호기에 대해 무인기 간의 데이터 전송이 필요한 경우 Communication

Host를 통해 데이터가 전달될 수 있는 구조이다. 또한 1호기와 Communication Host의 무선통신이 고장을 일으킨 경우 1호기를 담당하는 MCS1의 명령은 전달될 수 없다. 이 경우 2호기를 담당하는 MCS2를 이용해 Communication Host간의 통신을 통해 1호기에 전달될 명령을 2호기로 전달하고 2호기는 수신된 데이터를 편대 무선 네트워크를 통해 1호기에 전달하는 것이 가능하다.

2.5.2 관제 시스템 구성

관제 시스템은 MA/R/M/NN 구성으로 채택하였다. 관제 시스템의 구성에 가장 중요한 목표는 MCS 간의 네트워크를 통해 개별 편대기들의 운영과 관련된 모든 데이터를 공유하고 MCS와 각 무인기와의 연결을 유연하게 변경할 수 있도록 하는 것이다.

개별 MCS는 Communication Host를 통해 편대를 구성하는 모든 무인기에 각각 제어 명령을 전달할 수 있다. 또한 Communication Host는 모든 무인기로부터 전송되는 데이터를 모아 각각의 MCS에게 전달하기 때문에 네트워크상의 모든 MCS는 편대 전체의 정보를 얻을 수 있다. 비상시 무인기를 수동 조종하기 위한 외부조종사

(EP: External Pilot)는 Communication Host에 연결되는 구조이다. 조종사는 상황에 따라 EP 조종기의 설정을 변경해, 선택적으로 특정 무인기를 수동으로 조종할 수 있다. 또한 관계 시스템 네트워크상에 Monitoring 시스템을 구현해 MCS를 거치지 않고도 전체 비행 상황을 모니터 할 수 있다.

2.5.3 시스템 구성 요소 개발

• Communication Host

MCS 네트워크의 관리와 편대기간 통신에서 중계기 역할을 하는 Communication Host는 그림 14와 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.

• MCS

MCS는 현재 운영되고 있는 전체 무인기의 상황을 파악하기 위한 지도, 선택된 무인기의 상태



그림 16. 탑재 제어 시스템

정보를 나타내는 표시창, 임무 할당창과 Knob로 구성된다. 또한 버스 상의 모든 MCS는 특정 항공기를 선택해 제어하는 것이 가능하다.

• 탑재 제어 시스템

각각의 편대기에는 동일한 탑재 제어 시스템이 적용된다. 탑재제어 시스템은 관성센서, 대기 자료장치, GPS 등의 센서를 포함하는 센서 통합형 비행제어컴퓨터로, 시스템 단독 운영만으로 무인기 자율 비행이 가능하다.[8]

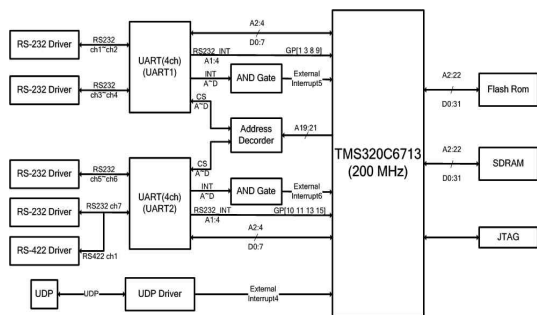


그림 14. Communication Host 개략도

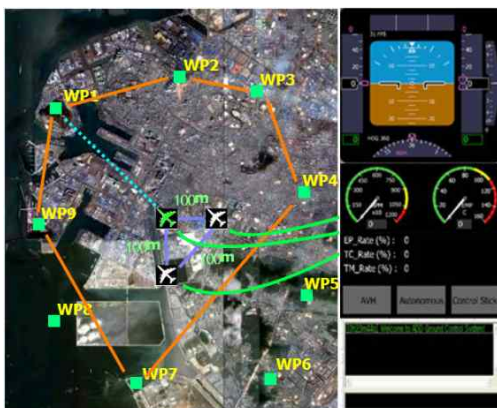


그림 15. MCS 화면 구성

2.6 통합 운영 시스템 시험

그림 13의 복수 무인기 운영 시스템 개략도에서 보면, Communication Host의 하위 지상관제 네트워크로부터 항공기의 서보모터까지 전달되는 경로가 가장 시간지연이 많이 일어난다. 통합 운영 시스템의 시험은, 직접 무선조종 방식에 비해 시간 지연이 크면 IP 또는 EP 모드로 무인기를 수동으로 비행하는 경우 조종성이 크게 떨어질 수 있어 이에 대한 분석이 가장 중요하다. MCS의 항법 명령 전달과 같은 경로의 시간 지연은 시스템에 미치는 영향이 크지 않기 때문에 시험에서 제외하였다.

통합 운영 시스템을 통한 조종 명령 전달의 시간지연을 비교하기 위해 그림 17(경로 1)에 도시한 일반적인 RC 조종용 항공기의 명령 전달 경로를 구현하였다. 또한 전체 운영 시스템의 전달 경로는 그림 18(경로 2)와 같다. 경로2의 RC 조종기는 일반 조종기와는 달리 PPM 신호를 RS422 Bus의 디지털 데이터로 변환하는 자체 개발된 시스템을 장착하고 있다.

경로 1과 경로 2에 대한 응답지연을 측정하기 위해 함수발생기를 이용해 조종입력을 생성하였다. EP 조종사의 입력과 근사시키기 위해 다양한 주파수 대역의 삼각파를 생성해 반복적으로 시험하였다. 시험결과 조종 입력 주파수에 따라 시스템 응답지연 시간은 달라지지 않았다.

그림 19과 20의 좌측 절대차 값을 보면 경로

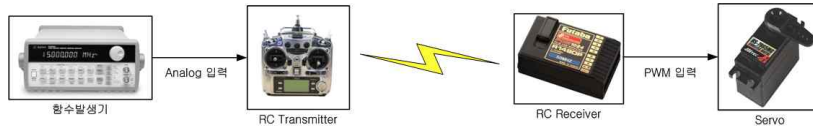


그림 17. RC 조종 입력 전달(경로1)

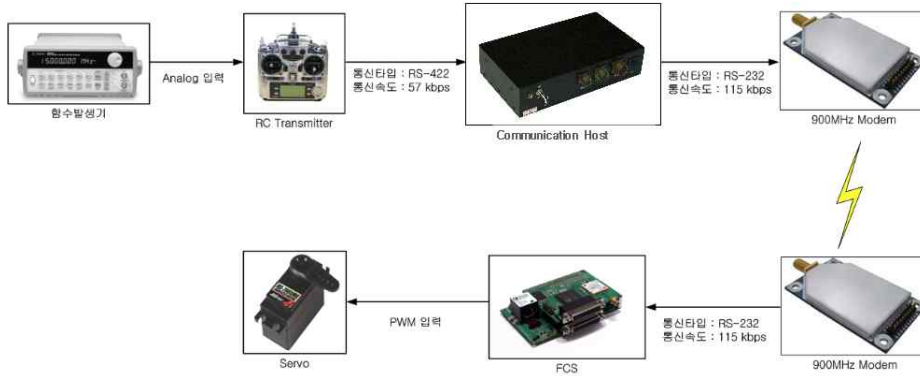


그림 18. EP 조종 입력 전달(경로2)

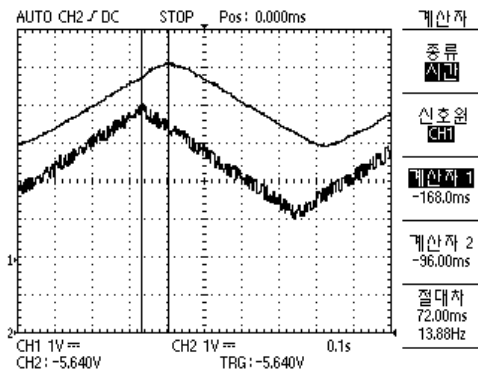


그림 19. 경로1(1.2Hz)

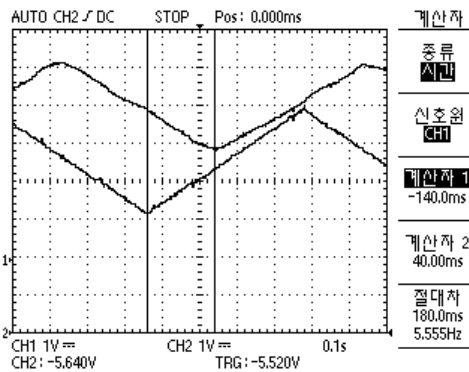


그림 20. 경로2(1.2Hz)

1은 72msec의 지연시간이 발생하였다. 이에 비해 경로2에서는 조종사의 조종신호가 PPM 변환기, Communication Host, 무선통신시스템, 탑재 제어 시스템을 거쳐 서보모터로 전달되는 동안 시스템 구성 1보다 약 100msec의 지연시간이 더 발생하였다.

지연 시간은 약 30~40msec가 900Mhz 무선 통신 장비에서 자체적인 프로토콜을 가지고 데이터 송수신의 무결성 검사 과정에서 발생한 것으로 확인되었고, 20msec는 Communication Host와 PPM 신호변환기에서 샘플하고 디지털 데이터로 변환해 송신하는 과정에서 지연되는 시간이다. 이제 나머지 40~50msec는 탑재 제어 시스템에서

데이터를 수신하고 이를 PWM 출력으로 만드는 과정에서 발생된 것이다. 이러한 응답 지연시간은 조종 명령이 여러 전달 단계를 거치기 때문에 생성된 것으로 시스템 구조를 전혀 다른 형태로 변경하지 않고는 크게 줄일 수 없다. 그러나 그림 13에 나타난 통합 운영 시스템을 이용해 단일 기체에 대한 비행시험을 수행한 결과, 100msec의 지연시간은 EP 조종사가 수동으로 무인기를 조종하는데 문제가 없었다.

III. 결론

본 논문에서는 복수 무인기의 자동 편대비행

시험을 위한 통합 운영 시스템의 가장 적합한 구성을 찾고 이를 개발·시험하는 과정을 기술하였다. 운영 시스템에 대해 구성 가능한 다양한 형태에 대하여 기능과 통신형태의 특징에 따라 분류하고, 분류된 각각의 시스템 구성에 대한 장단점 및 고장에 대한 신뢰성 분석을 수행하였다. 이러한 결과를 바탕으로 편대비행을 위한 복수 무인기 운영 시스템 최종 구성안을 결정하고 시스템을 구성하는 하위 시스템들을 개발하였다.

개발된 운영 시스템은 편대비행을 수행하기 위해 요구되는 무인기간 데이터 전송률, MCS와 무인기 간의 데이터 전송률 그리고 MCS간의 데이터 전송률을 만족하도록 설계되었다. 각각의 주요 통신 경로에 대한 시스템 구성을 파악하여 무인 편대기 운영에 데이터 송수신시 지연 시간이 크게 문제가 될 것으로 판단되는 EP 조종 신호 전달 과정에 대한 지연 시간의 시험을 수행하고 통신 지연 시간에 대한 원인을 분석하였다. 또한 EP 수동 조종을 통한 실제 비행시험을 수행하여 이러한 100msec의 조종 신호 송수신 지연이 조종사의 수동 비행에 영향을 파악하였다. 추후 편대기를 구성하는 모든 비행체들이 준비되면 편대 제어 알고리즘에 대한 PILS 시험을 수행하고 전체 운영 시스템의 편대 비행 운영 시험과 임무 비행의 수행에 대한 능력을 평가할 계획이다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구입니다(2010-0027511).

참고문헌

- 1) 서증보, 안채익, 김유단, "리더가 없는 방식의 다수 무인기 편대비행 제어와 안정성 해석", 한국항공우주학회지, 제36권 제10호, 2008. 10, pp. 988~995.
- 2) 김성환, 유창경, 박춘배, "거리 정보를 이용한 되먹임 선형화 기법 무인기 편대 비행제어", 제어·로봇·시스템학회 논문지, 15권 1호 2009.1, pp. 23~30.
- 3) M. J. Tahk, C. S. Park, and C. K. Ryoo, "Line-of-Sight Guidance Laws for Formation Flight," *Journal of Guidance, Control, and Dynamics*, vol. 28, no. 4, pp. 708-716, 2005.
- 4) 송용규, 허창환, 이상준, 김정환, "다수 무인항공기의 자동 편대비행 시험", 한국항공우주학회지, 제38권 제3호 2010.3, pp. 264~273.
- 5) 진인수, 하영석, 백윤혁, 이원기, 문우근, 조종래, "정찰용 무인기 복수제어를 위한 지상통제장비에 관한 연구", 한국항공우주학회 추계학술발표회 논문집, 2006.11.
- 6) TCAS II CAS 67A Pilot's Guide Honeywell Collision Avoidance System 006-08499-000 Rev7
- 7) 조신제, 장대수, 탁민제, 구훤준, 김종성, "TCAS-II를 응용한 무인항공기의 충돌회피기동 연구", 한국항공우주학회지, 제34권 제4호 2006.4, pp. 33~39.
- 8) 김성수, 김성환, 조상욱, 김창환, 정명진, 유창경, 최기영, 박춘배, "무인항공기용 고성능 비행제어시스템 개발", 2008 제어자동화시스템 심포지엄, 2008.11.