

무인기 상호운용시스템에서 실용적인 데이터링크 설계방안 연구

이규환^{*,1)} · 오명근¹⁾ · 김지훈¹⁾¹⁾ 국방과학연구소 항공기술연구원

Study on Practical Design of Datalink in Interoperable UAV Systems

Kyu-Hwan Lee^{*,1)} · Myeonggeun Oh¹⁾ · Jihoon Kim¹⁾¹⁾ Aerospace Technology Research Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 7 November 2023 / Revised 3 December 2023 / Accepted 2 January 2024)

Abstract

Unmanned aerial vehicle(UAV) systems have been used in various fields including industry and military. According to increasing the number of UAVs, the attention on interoperable UAV systems is increasing. In this paper, we propose the practical design of datalink in interoperable UAV systems. For practical design, we firstly review the operational scenarios in the interoperable UAV system. We then propose the system model of the datalink in interoperable UAV system. Consequently, the technical components such as the design of the network, the link management, the support of the multicast transmission, the support for autonomous mission and flight safety, and the datalink security are derived and reviewed for the practical design.

Key Words : Unmanned Aerial Vehicle(무인기), Interoperability(상호운용), Datalink(데이터링크), Connection(통제권), Ground Control System(지상통제시스템)

1. 서론

최근 무인기(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)는 지상 통제시스템(GCS: Ground Control System)에서 원격으로 감시·정찰 임무를 수행할 수 있을 뿐 아니라 지상타격도 가능하므로 현대전에서 게임체인저 역할을 수행하고 있다¹⁻⁴⁾. 인공지능, 통신, 항공기술등의 발전으로 무인기는 소형드론부터 고고도 무인기까지 다양한 형

태로 국방 분야뿐 아니라 민간 분야(비행촬영, 재난감시/지원, 운송 등)에서도 다양하게 활용되고 있다¹⁻⁴⁾. 향후에는 수직이착륙 기술의 보편화로 도심항공교통(UAM: Urban Air Mobility)에 다양한 무인기 시스템들이 활용될 예정이다⁵⁾.

기존의 무인기 시스템(UAS: Unmanned Aerial System)은 개별적으로 전용의 지상통제시스템, 데이터링크, 비행체를 개발했기 때문에 각 플랫폼마다 연동이나 통합관리가 어려웠다. 하지만 점차 다양한 플랫폼의 무인기와 운용하는 수량이 많아지면서 효율적인 무인기 운용이나 통합관리를 위해서 무인기 상호운용

* Corresponding author, E-mail: drkhlee@add.re.kr

Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 요구사항들을 해결하기 위해서 상호운용에 대한 표준의 필요성이 생겨났고 북대서양 조약기구(NATO: North Atlantic Treaty Organization) 표준협정(STANAG: Standardization Agreement)등에서 무인기 시스템 아키텍처와 메시지, 데이터링크, 임무데이터(정지영상, 동영상)의 메타데이터 등의 표준등을 제시하고 있다^[6-9]. 무인기 상호운용 표준화 기술을 적용하면 무인기 플랫폼에 상관없이 지상통제시스템에서 다수의 다양한 무인기를 제어하고 관리할 수 있으며 최근에는 상호운용기술을 기반으로 유인기(유인항공기, 헬기 등)에서 무인기와 팀을 이루어서 임무를 수행하는 유·무인기협업(MUM-T: Manned-Unmanned Teaming) 기술로 발전하고 있다^[10].

무인기 상호운용을 위해서는 상호운용을 수행하려는 무인기 시스템 간의 데이터링크 공통화가 필수적이다. 기술적으로는 공통 웨이브폼과 주파수 대역을 사용하면 물리적 통신이 가능하므로 서로 다른 무인기 시스템 간 상호호환하여 통신이 가능하다. 정책적으로는 공통으로 사용할 주파수를 할당받고 관리·운영하는 기관이 존재하여 주파수를 시간이나 지역에 따라 할당해주고 회수하면 상호운용도 가능하고 주파수를 효율적으로 사용할 수 있다. NATO STANAG 표준에서는 임무데이터를 송수신할 수 있는 대용량링크와 무인기 제어·통제 메시지를 송수신할 수 있는 C2(Command and Control)링크에 대한 표준을 NATO 회원국들에게 비공개로 제공하여 상호운용을 수행하고 있다^[11,12]. 미군의 경우 지역주파수 할당 부서에서 중심주파수와 대역폭을 통제하여 임무 전 사전 할당하여 사용하고 있다.

무인기 상호운용에 대한 관심이 높아지면서 무인기 상호운용에 관한 다양한 연구가 진행되고 있다^[6-16]. 참고문헌 [6]에서는 군용 무인기 시스템의 상호운용을 위한 STANAG-4586에 대한 연구를 수행했다. 참고문헌 [7]에서는 STANAG-4586과 MAVLink간 상호운용성에 대한 연구를 진행했다. 참고문헌 [8]에서는 소형 드론 시스템에서 STANAG-4586을 적용하여 상호운용성을 향상하는 연구를 진행했다. 참고문헌 [13]에서는 안전성 평가 기반 무인기 핸드오버 요구사항에 관해서 연구를 수행했다.

기존 연구에서는 실제 무인기 상호운용 시스템에서 무인기 데이터링크 관점으로 구현에 필요한 요소들을 분석하고 필요 기술을 제시한 연구는 없었다. 그러므로 본 논문에서는 무인기 상호운용시스템에서 데이터

링크 설계방안 연구를 수행한다. 본 논문에서는 실용적인 시스템 설계를 위하여 실제 많이 활용될 이기종 무인기 통합 운용과 다중 통제권 연결이 고려된 무인기 상호운용 시나리오를 고려하여 데이터링크 시스템 모델을 제안하고 실제 무인기 상호운용 시스템의 구현과 운용 등에 필요한 데이터링크 구성요소(네트워크, 링크 관리, 멀티캐스트 데이터 유통, 무인기 자율화 비행안전, 통신 데이터 암호화) 별 설계 기술에 대하여 검토해본다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 무인기 상호운용과 관련된 NATO STANAG 표준에 대해서 살펴본다. 3장에서는 무인기 상호운용 시나리오를 검토하며, 4장에서는 논문에서 고려하는 무인기 상호운용시스템에서 데이터링크 설계 방안을 제시하고, 5장에서는 결론을 맺는다.

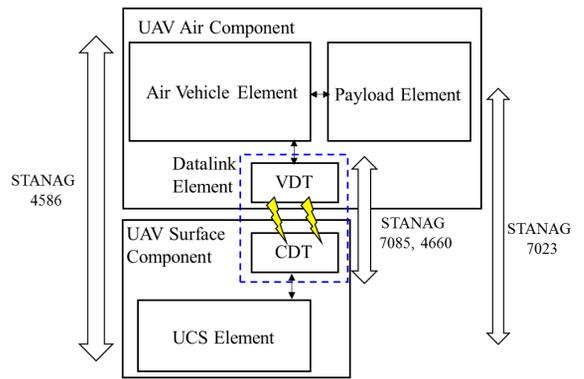


Fig. 1. UAV system architecture in STANAG-4586

2. NATO STANAG 표준

초기의 무인기 시스템은 무인기와 지상통제시스템 간에 전용의 메시지와 통신방식으로 설계·운용되어, 다양한 이기종 무인기 시스템을 운용하기 위해서는 “stove-pipe” 형태로만 운용할 수 있었다^[6-9]. 하지만 무인기의 종류와 수가 증가하면서 하나의 통합된 지상통제시스템에서 임무 수행을 위한 상호운용성 표준의 필요가 요구되었고, 연합작전 수행이 필요한 미국과 NATO 가입국들을 중심으로 2004년 STANAG-4586 Edition 1이 최초로 기술되었다. STANAG-4586에서는 무인기 시스템의 표준 아키텍처와 표준 메시지를 포함한 표준 프로토콜을 제시하고 있다. 현재는 2017년

도에 발표한 STANAG-4586 Edition 4 Volume II가 가장 최신이며 2025년도에 차기 버전에 발표될 예정이다. Fig. 1은 STANAG-4586에서 제시하고 있는 무인기 시스템의 기본 구조를 나타낸다. Fig. 1에서 보는 것처럼 무인기 시스템은 공중부와 지상부로 나뉘며 공중부는 비행시스템부(Air Vehicle Element), 데이터링크부(Datalink Element), 임무수행부(Payload Element)로 구성되고, 지상부는 데이터링크와 지상통제부(UAV Control System(UCS) Element)로 구성된다. 공중부와 지상부는 데이터링크(VDT: Vehicle Data Terminal, CDT: Control Data Terminal)를 통해서 무선으로 통신할 수 있으며 STANAG-4586에서 제시하는 표준 메시지를 유통하여 무인기 제어·통제를 수행한다. 무인기 상호운용 시스템 관련하여 NATO STANAG에서는 데이터링크와 임무데이터(정지영상, 동영상)등의 표준도 같이 제시하고 있다¹⁶⁻⁸⁾. STANAG-7085에서는 무인기 제어·통제 메시지와 임무데이터를 전송할 수 있는 대용량 데이터링크에 대해서 웨이브폼을 포함한 데이터링크 프로토콜에 관하여 기술하고 있고, STANAG-4660에서는 무인기 제어·통제 메시지를 송수신할 수 있는 C2링크의 프로토콜에 대해서 기술하고 있다. STANAG-7085와 STANAG-4660은 NATO 회원국에서만 열람이 가능한 비공개 문서이며, STANAG-7085의 경우에는 FDD(Frequency Division Duplex) 기반 PTP(Point to Point) 방식이고, STANAG-4660은 TDMA(Time Division Multiple Access) 방식의 네트워크를 제공하는 것으로 알려져 있다. STANAG-7023의 경우 정지영상에 대한 메시지 포맷과 프로토콜등에 대해서 제시하고 있고, 일반적으로 많이 사용하는 상용표준을 기반으로 하고 있다.

Table 1. Level of interoperability in STANAG-4586

LOI	정의
1	임무장비 데이터 간접 수신 가능
2	임무장비 데이터 직접 수신 가능
3	임무장비 데이터 직접 수신 및 임무장비 통제 가능
4	비행체 통제 가능(이착륙 통제 제외)
5	이착륙 통제 가능

STANAG-4586에서는 Table 1에서 보는 것처럼 지상 통제시스템과 비행체, 임무장비 간 상호운용성 수준을

표시하기 위해 LOI(Level of Interoperability)라는 개념을 사용한다. LOI 1~3은 UAV에 탑재된 임무장비에 대한 상호운용성 수준을 LOI 4~5는 비행체 통제에 대한 상호운용성 수준을 나타낸다. 그러므로 상위 레벨이 하위 레벨을 반드시 포함하는 개념은 아니다. 비행체와 임무장비 통제권(connection)은 통제모드(control), 모니터링모드(monitering)으로 획득할 수 있는데 통제모드의 경우엔 해당 장비의 제어권을 갖는 것을 의미하고 모니터링모드의 경우에는 해당 장비의 상태 정보만 수신할 수 있는 통제권을 의미한다.

3. 무인기 상호운용 시나리오

본 장에서는 무인기 상호운용 시나리오에 관하여 데이터링크 설계 관점으로 기술한다. Fig. 2는 무인기 기본 운용 시나리오를 나타낸다. Fig. 2에서 보는 것처럼 무인기 기본 운용은 이착륙을 담당하는 지상통제 시스템에서 무인기를 이륙하고 임무지로 이동하면서 임무를 수행하는 지상통제시스템으로 통제권 변경을 수행한다. 임무 종료 후엔 착륙을 위해 기지로 복귀하면서 이착륙을 담당하는 지상통제시스템으로 다시 통제권 변경하여 기지에 착륙하면 무인기 운용이 종료된다^{13,14)}.

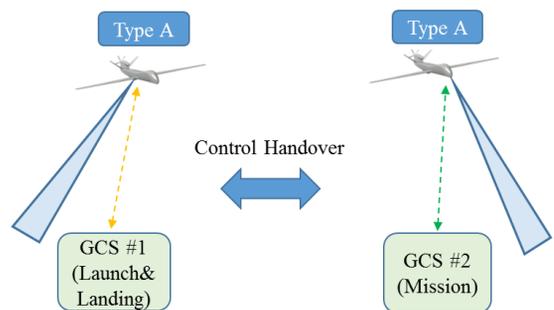


Fig. 2. General UAV operation procedure

무인기 상호운용 시스템에서는 Fig. 3과 같이 지상 통제시스템에서 이기종 무인기 통합 운용 시나리오가 가장 많이 활용될 수 있다. Fig. 3에서 보는 것처럼 데이터링크와 프로토콜 표준화등을 통해서 이기종의 무인기를 하나의 지상통제시스템에서 통합하여 운용할 수 있다. 다수 무인기를 운용하기 위한 데이터링크 구성은 다음과 같이 가능하다.

- 대용량링크 사용(High-rate LOS(Line of Sight) Link): 대용량링크만으로 연동을 구성할 때 대용량 데이터 링크는 안테나 지향이 필요한 PTP 방식이기 때문에 운용하고자 하는 무인기 대수만큼 지상 데이터링크 장비가 필요함.
- C2링크 사용: C2링크 연동을 구성할 때 C2링크는 다중접속방식 기반의 네트워크를 제공하기 때문에 한 대의 지상 데이터링크 장비로 다수의 무인기 운용 가능하고 필요한 경우 2홉 통신도 제공할 수 있어서 통신 음영지역에 대해서도 운용 범위 확장 가능함. 하지만 제어·통제 메시지나 저용량 임무데이터(정지영상, 저용량 동영상)만 유통 가능.
- 대용량링크와 C2링크 혼합 사용: 대용량링크와 C2링크를 혼합하여 연동을 구성할 경우에는 무인기 성능이나 임무에 따라서 고화질 동영상 전송이 필요한 무인기는 대용량링크로 연동하고 그 외 저용량 임무데이터나 임무지로 이동중인 무인기들은 C2링크로 연동하는 구성이 가능함.

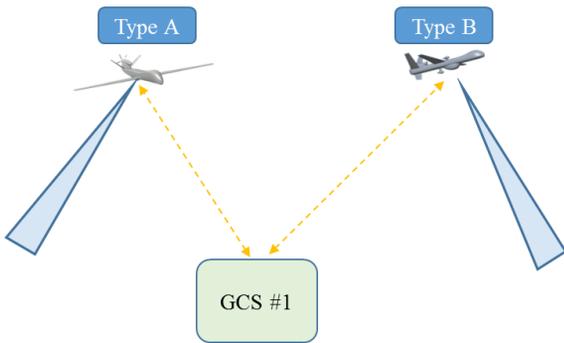


Fig. 3. Control for Heterogeneous UAVs in GCS

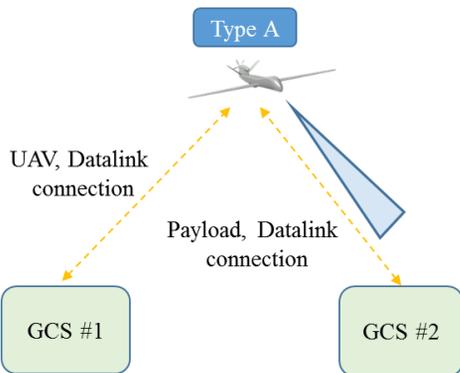


Fig. 4. Multiple connection in UAV for Multiple GCSs

무인기 상호운용시스템에서는 무인기와 임무장비의 통제권을 따로 관리할 수 있으므로 Fig. 4와 같이 다수의 지상통제시스템에서 한 대의 무인기에 다중 통제권 연결 시나리오를 제공할 수 있다. Fig. 4와 같은 시나리오에서는 지상통제시스템#1에서는 무인기와 C2링크 통제권을 가지고 무인기를 운용하고, 지상통제시스템#2에서는 임무장비와 대용량링크의 통제권을 가져서 임무장비를 운용하고 임무데이터를 내려받을 수 있다. 실제 상호운용 무인기 시스템에서는 Fig. 3의 이기종 무인기 통합 운용 시나리오와 Fig. 4의 다중 통제권 연결 시나리오가 혼재되어 사용될 수 있다. 하지만 본 논문에서는 데이터링크 관점에서 시나리오가 혼재되어도 Fig. 3과 4에서 고려된 시나리오와 기능상으로 동일하기 때문에 복합 시나리오를 추가적으로 고려하지는 않는다.

4. 상호운용 시스템에서 데이터링크 설계 방안

4.1 데이터링크 시스템모델

Fig. 5는 본 논문에서 제안하는 데이터링크 시스템 모델을 나타낸다. Fig. 5에서 보는 것처럼 데이터링크 시스템은 데이터링크 제어기와 대용량링크와 C2링크를 포함한 각각의 링크들로 구성된다. 추가적으로 기종에 따라 위성링크가 추가될 수도 있다. 지상통제시스템과 지상데이터링크 시스템 간의 유선으로 연동되고 탑재데이터링크 시스템과 비행체 내부 간도 유선으로

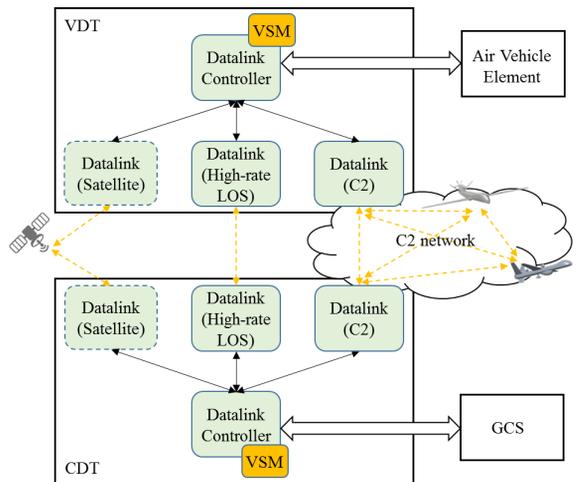


Fig. 5. Proposed datalink system model

Table 2. Comparison of characteristic for each datalink (high-rate datalink and C2 datalink)

	대용량링크	C2링크
링크형태	PTP	TDMA기반 네트워크
주파수대역	OO GHz	< O GHz
전송률	OO Mbps ~ OOO Mbps	< O Mbps
안테나지향	필요(지향성 안테나 사용)	불필요(무지향성 안테나 사용)
통신가능 무인기 대수	1대 (지상통신장비 1대당 하나의 무인기만 통신 가능)	2대 이상 (지상통신장비 1대당 다수의 무인기 통신 가능)
무선구간 데이터 브로드캐스팅	불가능	가능
비행체 간 통신지원	미지원	지원
데이터 암호화 지원	가능	가능 (네트워크 내 동일 암호화키 사용 필요)
유통데이터	고용량 임무데이터 (고화질영상, SAR 이미지 등), TC/TM	TC/TM, 저용량 임무데이터 (정지영상, 저용량영상 등)

로 연동된다. 지상통제시스템과 무인기 간은 데이터링크를 통해서 무선으로 데이터를 송수신한다. 데이터링크 제어기는 각각의 데이터링크를 제어하고 관리하는 장치로 지상통제시스템과 표준메시지를 통해서 제어·통제 가능하며 비행체특정모듈(VSM: Vehicle Specific Module)을 통하여 데이터링크 통제권 관리나 표준메시지 처리를 수행한다^[5]. 시스템모델에서 대용량링크와 C2링크등은 웨이브폼과 프로토콜이 표준화되어 상호운용이 가능하다고 가정한다.

Table 2는 각 링크의 특성을 정리한 표이다. 링크

별 특징을 살펴보면 대용량링크는 PTP 방식으로 안테나 지향이 필요하므로 높은 전송률은 제공할 수 있으나 지상에서 동시에 여러대의 무인기들과 통신한다던가 비행체 간 통신지원 기능은 제공하지 않는다. C2링크의 경우에는 전송률은 낮지만 다중접속 방식으로 네트워크를 구성하기 때문에 무선으로 데이터를 브로드캐스트할 수 있는 기능이 있으므로 무인기 상호운용 시스템과 향후 무인기 자율화를 위한 무선구간 데이터 브로드캐스팅과 무인기 간 데이터공유 기능 등을 지원할 수 있다. 무인기 상호운용시스템에서는 무인기 상호운용을 위해서 사용할 무인기를 탐색하는 Discovery와 무인기의 통제권을 획득하는 Connection 절차의 수행이 필요하다^[6,9]. Discovery 절차의 경우 사용할 수 있는 무인기를 찾기 위해서 관련 메시지를 브로드캐스팅해야 하는데 C2링크가 활용될 수 있다. 무인기 시스템에서 제어·통제 메시지(TC: Telecommand, TM: Telemetry)는 비행 안전과 연관되어 있기 때문에 데이터링크에서 전송될 때 암호화가 필수적이다. 무인기가 군용으로 활용될 때 영상 데이터와 같은 임무장비에서 전송하는 데이터도 암호화되어 전송되어야 한다^[6]. 그러므로 대용량링크와 C2링크에서도 암호화가 적용되어야 한다. C2링크의 경우에는 데이터를 암호화해서 원활하게 통신하기 위해서는 네트워크 내 동일 암호화키 사용이 필요하다.

다음장에서는 무인기 상호운용시스템의 데이터링크에서 구성요소 별 실용적인 설계 기술에 대해서 검토해본다.

4.2 구성요소 별 실용적인 설계 기술 검토

4.2.1 네트워크 설계

기존의 각 플랫폼마다 독립된 무인기를 운용한 시스템에서는 복잡한 네트워크 설계가 필요하지 않았다. 하지만 무인기 시스템이 상호운용 시스템으로 발전하면서 C2링크의 경우 단순한 PTP가 아닌 네트워크 형태로 발전하고 있다. 상호운용 무인기 시스템 전체를 All IP(Internet Protocol) 네트워크로 설계를 한다고 하면 IP 연동성이 향상될 순 있지만 각 구성품마다 라우터가 추가되어야 하므로 비용이나 무게가 증가한다. 하지만 무인기 시스템에서는 중단 간 통신하는 주체는 지상통제시스템과 비행체이고 무인기 시스템 외 다른 시스템을 위한 통신로 제공 기능이 필요하지는 않기 때문에 라우터까지 추가된 네트워크 구성은 불필요하다.

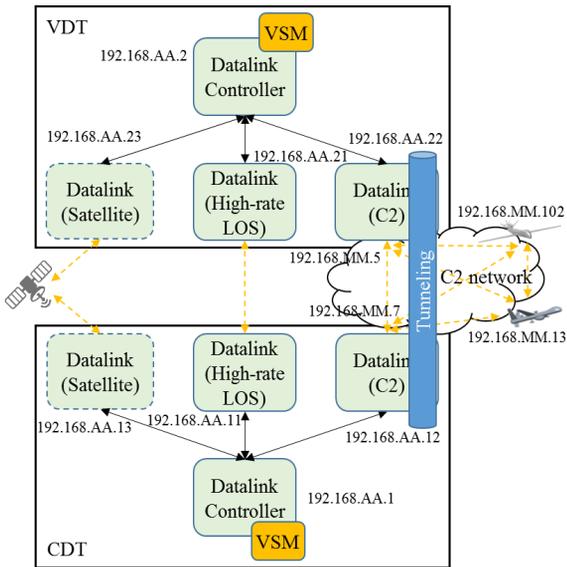


Fig. 6. Example of VPN network architecture in UAV systems

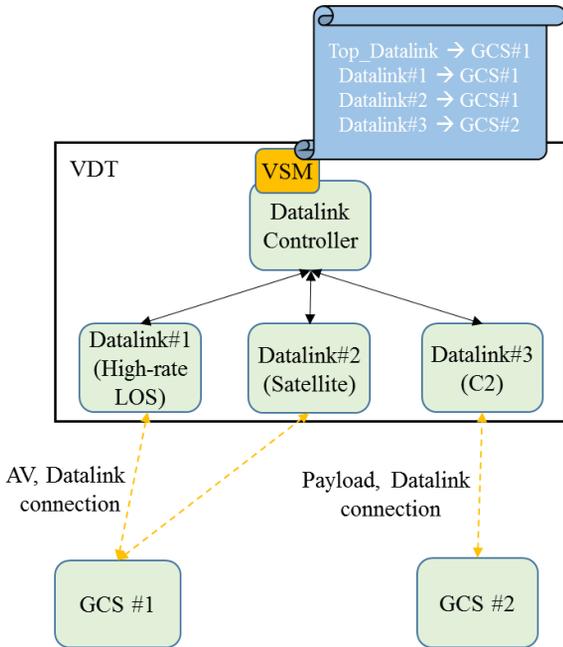


Fig. 7. Example of control management for datalink

그러므로 본 논문에서는 Fig. 6에서 보는 것처럼 중간 간은 PTP로 구성된 VPN(Virtual Private Network) 형태의 네트워크 구성을 제안한다¹⁷⁾. Fig. 6의 예시에

서 보는 것처럼 C2링크 네트워크로 연결되는 구성 사용 시 지상 데이터링크제어기와 탑재 데이터링크제어기 사이를 터널링으로 네트워크를 구성하면 C2링크 네트워크의 장점도 활용할 수 있으면서 네트워크 전체 구조를 간단하고 고정적으로 가져갈 수 있다(C2링크 네트워크 내부 라우팅 알고리즘을 통해 2hop 통신 지원 가능). 이를 위해서는 추가적으로 데이터링크제어기와 C2링크 장비에서 응용계층 ID와 IP를 맵핑하는 연동이 추가적으로 필요하고 C2링크를 통한 영상 멀티캐스팅의 경우 멀티캐스팅 IP를 사용하여 멀티캐스팅을 지원할 수 있도록 데이터링크제어기와 C2링크 장비에서 추가적인 데이터 처리가 필요하다.

4.2.2 링크 관리 설계

무인기 시스템의 데이터링크는 통신 신뢰성 향상을 위해 링크 이중화 설계 반영이 필요하고 상호운용 무인기 시스템에서는 다중 통제권 제공이 필요한 상황도 발생하기 때문에 추가적으로 데이터링크 통제권이 각각 다른 지상통제시스템이 가질 경우도 설계에 고려해야 한다. 그러므로 본 논문에서는 Fig. 7에서 보는 것처럼 데이터링크 통제권 관리 기법을 제안한다. Fig. 7은 다중 통제권 상황 시 데이터링크 통제권 관리에 대한 예시를 나타내며 지상통제시스템#1에서는 대용량링크와 위성링크의 통제권과 비행체의 통제권을 가지고 있고, 지상통제시스템#2에서는 C2링크와 임무장비의 통제권을 가지고 있는 상황이다. 이러한 경우에 링크 이중화 및 다중 통제권을 지원하기 위해서 데이터링크 각각의 식별자 뿐만 아니라 데이터링크 총괄 통제권을 관리하기 위한 추가적인 식별자가 필요하다. Fig. 7에서는 이를 위한 식별자를 Top_Datalink로 표시하고 있으며 비행체 통제권을 가진 지상통제시스템에서 Top_Datalink의 통제권도 갖는다고 가정하였다. 일반적으로 비행체 통제권을 가지면 비행체를 통제하기 위한 메시지가 데이터링크에서 유통되기 때문에 링크 이중화를 위한 링크 신뢰성 향상이 필요하다. Fig. 7과 같이 데이터링크의 통제권을 관리하게 되면 Top_Datalink 통제권을 가지고 있는 지상통제시스템#1에서는 Datalink#1(대용량링크)와 Datalink#2(위성링크)의 통제권을 가지고 있으므로 링크 이중화를 제공할 수 있으며 Datalink#3(C2링크)의 통제권을 지상통제시스템#2에서 가지고 있으면서 임무장비를 제어하면서 임무데이터를 수신할 수 있으므로 다중 통제권 기능도 제공할 수 있다.

무인기 시스템에서 데이터링크 관리를 위해서는 링크 별 두절정보등의 관리가 필수적이다. 두절정보는 링크 이중화 시 주링크로 사용중인 링크가 두절되면 예비링크를 주링크로 활용해야 하기 때문에 실시간 관리가 필요하다. 기존 무인기 시스템의 경우 PTP 형태이고 사용하는 링크가 고정되어 있기 때문에 간단하게 관리할 수 있었지만 상호운용 무인기 시스템에서는 사용하는 링크가 유동적으로 바뀔 수 있고, C2 링크의 경우엔 네트워크 형태로 연결성이 다양해지므로 정보 관리가 복잡해질 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 제안한 데이터링크 통제권 관리 기법에서 통제권을 가지고 있는 링크에 대해서만 링크 두절 정보를 관리한다.

4.2.3 멀티캐스트 데이터 유통 설계

상호운용 무인기 시스템에서는 다양한 형태의 멀티캐스트 데이터 유통이 필요하다. 링크 이중화 설계를 지원하기 위한 멀티캐스팅을 위해서는 데이터링크 제어기에서 각각의 링크로 TC/TM 메시지를 복제하여 전송하는 것으로 간단하게 구현할 수 있다. 상호운용을 위해서 Fig. 8과 9에서 보는 것처럼 C2링크를 통해서 멀티캐스팅 데이터 유통이 필요한데 이를 위해서는 추가적인 설계가 반영되어야 한다. Fig. 8에서 보는 것처럼 상호운용 무인기 시스템에서는 지상통제시스템에서 운용하고자 하는 무인기를 탐색하는 과정을 수행하는데 이때 지상통제시스템에서는 Discovery 메시지를 주변의 무인기들에게 멀티캐스팅이 필요하다. Fig. 9에서 보는 것처럼 무인기에서는 통제권을 가지고 있는 지상통제시스템이나 주변 무인기들에게 자신의 상태정보를 멀티캐스팅이 필요할 수가 있다. 본 논문에서는 멀티캐스팅 IP로 데이터를 전송하면 C2링크 장비에서는 브로드캐스팅 모드로 데이터를 전송하는 실용적인 설계를 고려한다. 이때 C2 네트워크에서 무분별한 데이터 브로드캐스팅 전송 방지를 위해 흡수 제한 설계가 필요하다.

4.2.4 무인기 자율화 및 비행안전 지원

운용하는 무인기의 수가 증가하면서 무인기 비행안전에 대한 관심이 높아지고 있다^[18]. 또한, 다수의 무인기들이 자율 임무 비행을 수행하는 기술에 대한 연구 활발히 진행중이다^[19]. 예를 들어 Rafael사의 BNET 장비의 경우 무인기 간 충돌회피를 위해 자신의 현지 위치를 주기적으로 주변 무인기들과 주고받아서 충돌

회피 알고리즘에 활용하는 기술이 구현되어 있다^[17]. 이러한 기술을 구현하기 위해서는 비행체 간 통신이 필수적이다. 실용적으로 구현을 위해서는 Fig. 9와 같이 C2링크의 브로드캐스팅 모드를 활용하면 주변 무인기들과의 필요한 데이터를 손쉽게 주고받을 수 있다.

4.2.5 통신 데이터 암호화 설계

무인기 시스템에서 데이터 암호화는 비행안전등을 위해 필수적이다. 하지만 실제 무인기 시스템마다 다른 암호화키나 암호방식을 사용할 수 있는데 이는 상호운용성을 저해할 수 있다. 무인기는 탑재 무게나 전력량등의 한계가 있고 원격통제 상태에서 다양한 종류의 암호방식을 탑재하기 어려운 실정이다. 그러므로 데이터링크에서 데이터 암호화를 제공하면서 상호운용을 위해서는 지상 데이터링크 장비에서 이기종 암호화 연동 기술등이 고려되어야 한다^[20].

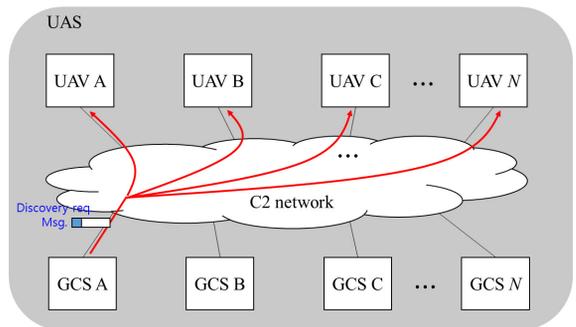


Fig. 8. Example of Multicast(Uplink) in UAV system via C2 networks

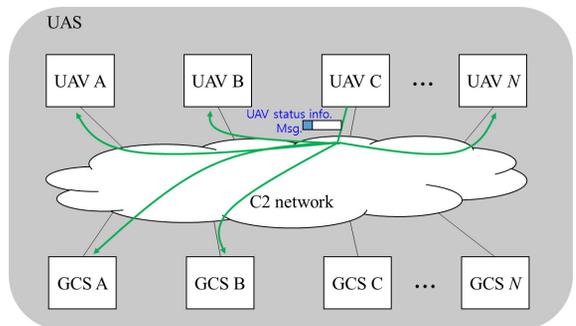


Fig. 9. Example of Multicast(Downlink) in UAV system via C2 networks

5. 결론

본 논문에서는 실제 무인기 상호운용 시나리오를 고려하여 상호운용 무인기 시스템에서 데이터링크 시스템모델을 제시하고 실용적인 설계에 대해 검토하고 필요 요소기술들을 도출하고 검토해보았다. 상호운용 무인기 시스템을 원활하게 운용하기 위해서는 기존 단순한 데이터링크 시스템에서 C2링크와 같은 네트워크 형태의 데이터링크도 고려해야 하고 단순히 웨이브폼이나 메시지 표준화뿐 아니라 본 논문에서 제시한 것처럼 네트워크, 링크 관리, 멀티캐스트 데이터 유통, 무인기 자율화 및 비행안전 지원, 통신 데이터 암호화등이 데이터링크 시스템 설계에 반영이 필요하다는 것을 살펴볼 수 있었다. 향후 무인기 시스템은 자율화나 인공지능 기술의 발전으로 더욱 고도화될 것이고 그에 따라 지상통제시스템과 무인기 간 통신뿐 아니라 무인기간 통신 수요도 증가할 것으로 예상되기 때문에 데이터링크의 역할이 더욱 중요해질 것이다. 그러므로 본 논문에서 도출한 필요 요소기술들이 상호운용 무인기 시스템의 데이터링크에 잘 반영된다면 실용적인 시스템이 설계에 도움이 될 수 있을 것이다.

후 기

이 논문은 2019년 정부(방위사업청)의 재원으로 수행된 연구 결과임

References

- [1] K. Meng et al., "UAV-Enabled Integrated Sensing and Communication: Opportunities and Challenges," in *IEEE Wireless Communications*, doi: 10.1109/MWC.131.2200442.
- [2] K. H. Lee, "Selection Scheme of Backhaul Link Based on Location Information and QoS in UAV Communications," *Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers*, Vol. 57, No. 6, pp. 3-10, 2020.
- [3] S. C. Yeo, B. W. Kang, K. H. Bae and C. B. Yoon, "Study on Data-link Antenna System for UAV," *The*

Journal of the Korea institute of electronic communication sciences, Vol. 14. No. 1, pp. 9-14, 2020.

- [4] S. W. Hong and Y. K. Kim "Design of TM/TC data protocol of Military Unmanned Aerial Vehicles," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 22, No. 3, pp. 506-512, Mar. 2018.
- [5] A. Bauranov and J. Rakas, "Designing airspace for urban air mobility: A review of concepts and approaches, *Progress in Aerospace Sciences*," Vol. 125, 2021.
- [6] H. J. Kim, C. B. Yoon, S. W. Hong, W. S. Lee, I. D. Yoo and S. H. Jo, "Application of STANAG-4586 Ed. 4 based Standardization for Up-to-Dated Interoperability of Military UAV System," *Journal of The Korea Society of Computer and Information* Vol. 24 No. 6, pp. 99-107, June 2019.
- [7] G. Nam, J. Go, C. Kwon and S. Jeong, "A Study on the Analysis and Improvement of STANAG 4586/MAVLink Protocol for Interoperability Improvement of UAS," *Journal of the KIMST*, Vol. 23, No. 6, pp. 618-638, 2020.
- [8] J. Lee, T. Park, K. Seong, G. Nam and J. Moon, "Interoperability Design and Verification of Small Drone System Applying STANAG 4586," *Journal of Aerospace System Engineering*, Vol. 16, No. 6, pp. 74-80, 2022.
- [9] NATO STANDARD, "AEP-84 Volume II - STANDARD INTERFACES OF UNMANNED AIRCRAFT (UA) CONTROL SYSTEM (UCS) FOR NATO UA INTEROPERABILITY - INTERFACE CONTROL DOCUMENT," Apr. 2017.
- [10] S. Kim and Y. Kim, "Development of an MUM-T Integrated Simulation Platform," in *IEEE Access*, Vol. 11, pp. 21519-21533, 2023.
- [11] J. Bae, S. Baek, J. Ohm S. Lee and C. Song, "DVB-S2-based T4 class common data link performance improvement plan for UAV system application," *Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering*, Vol. 26, No. 12, pp. 1846-1854, Dec. 2022.
- [12] J. W. Joo, S. H. Jeon, J. H. Kim, and H. S. Lee,

- “Waveform Design Suitable for Command and Control Link for UASs,” Conference of KICS, pp. 822-823, 2022.
- [13] Y. M Seung, K. S. An and W. S. Kim, “The Propose of Requirements Based on Safety Assessment for UAV Handover,” Journal of The Korea Society of Computer and Information, Vol. 24, No. 4, pp. 91-97, April, 2019.
- [14] S. Jo, T. Kim H. Lee, N. Kim S. Kim and K. H. Lee, “Development of Operational Requirements for Army UAV Interoperability Based on Operation Scenario,” KSAS 2022 Spring Conference, pp. 446-447, 2022.
- [15] J. Kim, K. H. Park, S. H. Kim and Y. Jo, “Development of Vehicle Specific Module(VSM) for UAV Interoperability based on the Standard UAS Protocol,” KSAS 2022 Spring Conference, pp. 448-449, 2022.
- [16] B. K. Kim, S. H. Hong and J. Kang, “The proposal of a cryptographic method for the communication message security of GCS to support safe UAV operations,” Journal of the Korea Institute of Information and Communication Engineering, Vol. 25, No. 10, pp. 1353-1358, Oct. 2021.
- [17] M. S Lee, J. T. Park, U. J. Baek, J. W. Choi and M. S. Kim, “Importance Analysis of Traffic Statistics Information for VPN/NoN-VPN Classification,” The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol. 47, No. 11, pp. 1768-1775, 2022.
- [18] Rafael, BNET Tactical Communication, <https://www.rafael.co.il/worlds/land/tactical-communications/> Accessed 17, May, 2023.
- [19] T. Uhm, J. W. Lee, G. T. Kim, S. G. Yang, J. Y. Kim, J. K. Kim and S. Kim, “Decision-Making System of UAV for ISR Mission Level Autonomy,” J. Korean Soc. Aeronaut. Space Sci., Vol. 49, No. 10, pp. 829-839, 2021.
- [20] K. H Lee, J. Kim and K. H. Park, “Study on Operation Scheme of Group Key in Datalink for UAV interoperability,” KSAS 2022 Spring Conference, pp. 446-447, 2022.