

복수 무인기 운용을 위한 적응형 지상체 개발 및 운용자 과부하 분석

Development of Adaptive Ground Control System for Multi-UAV Operation and Operator Overload Analysis

오장진¹ · 최성환² · 임형진³ · 김승균^{1*} · 양지현³ · 김병수²

¹충남대학교 항공우주공학과

²경상대학교 기계항공공학부

³국민대학교 자동차공학과

Jangjin Oh¹ · Seong-Hwan Choi² · Hyung-Jin Lim³ · Seungkeun Kim^{1*} · Ji Hyun Yang³ · Byoung Soo Kim²

¹Department of Aerospace Engineering, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

²Department of Aerospace Engineering, Gyeongsang National University, Jinju 52828, Korea

³Department of Automotive Engineering, Kookmin University, Seoul 02707, Korea

[요 약]

일반적인 지상통제 시스템은 단일 무인항공기 운용을 위한 통제 및 정보 전시 기능을 갖추고 있다. 현대에서는 단일 지상통제 시스템을 사용하여 복수 무인항공기의 운용이 요구되고 있다. 이로 인하여 무인기 운용자는 과거보다 다양한 임무 수행이 요구되며, 임무 수행 중 다양한 요인에 의하여 임무과부하를 받게 된다. 본 연구에서는 복수무인기 운용자의 임무과부하 측정을 통해 운용자의 상태를 반영한 적응형 지상통제 시스템을 제안한다. 복수무인기를 운용할 수 있는 지상통제 소프트웨어를 개발하고, 또한 시뮬레이터를 구성하여 운용자가 지상통제 시스템의 운용을 통해 시스템의 기능을 검증한다. 적응형 지상체 실험을 분석한 결과, 비적응형 지상체 실험 결과와 대비하여 운용자의 동공지름이 감소하고, 임무 성능이 증가하는 등 적응형 지상체의 효용성을 확인하였다.

[Abstract]

The general ground control system has control and information display functions for the operation of a single unmanned aerial vehicle. Recently, the function of the single ground control system extends to the operation of multiple UAVs. As a result, operators have been exposed to more diverse tasks and are subject to task overload due to various factors during their mission. This study proposes an adaptive ground control system that reflects the operator's condition through the task overload measurement of multiple UAV operators. For this, the ground control software is developed to control multiple UAVs at the same time, and the simulator with six degree-of-freedom aircraft dynamics is constructed for realistic human-machine-interface experiments by the operators.

Key word : Ground control Station, Human machine interaction, Multiple-UAVs, Workload, Eye-tracking.

<https://doi.org/10.12673/jant.2017.21.6.529>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 22 November 2017; Revised 24 November 2017

Accepted (Publication) 11 December 2017 (30 December 2017)

*Corresponding Author; Seungkeun Kim

Tel: +82-42-821-6689

E-mail: skim78@cnu.ac.kr

1. 서론

무인시스템기술은 통신기술의 발전과 더불어 많은 영역에서 개발 및 연구가 진행 중에 있다. 최근에는 운용자가 직접적으로 제어하는 방식에서 무인화 시스템을 감시 제어하는 방향으로 상당한 발전이 이루어지고 있다. 특히 전장 환경에서 활용되는 무인 기술은 전 세계적으로 눈에 띄는 성장을 하였으며, 지속적으로 도입될 것으로 보인다. 이러한 경향은 단순한 무인기 운용의 양적인 증가뿐만 아니라, 기존에 사람이 직접 행하거나 운용자에 의해 수동으로 수행되던 전장 임무들이 무인기에 의해 대체되는 것에서 확실히 두드러진다. 무인시스템은 인력 및 유지비용 측면에서 많은 이점을 가지고 있어 현재 사용이 증가하는 추세이다. 하지만 무인기 사고도 동시에 증가하고 있으며, 안전문제가 대두되고 있다. 운용자와 시스템이 공간상에서 분리된 무인 운용환경에서 고려해야 할 여러 가지 인적요인들에 대한 연구의 중요성이 인지되어, 선진국을 중심으로 무인시스템의 기술 개발과 더불어 무인항공기 운용의 인적요인에 대한 연구가 같이 진행 중이다[1],[2],[3].

무인항공기의 연구와 더불어 이를 운용하기 위한 지상체 시스템에 대한 연구도 활발히 진행 중이다. IT 기술의 발전으로 인해 획기적인 통신거리의 확보 및 모바일 어플리케이션의 활용 등 많은 연구와 개발이 진행 중에 있다[4],[5]. 무인항공기의 임무 종류와 난이도가 높아짐에 따라 임무상황에 대하여 실시간으로 처리해야할 정보의 양이 증가하게 되었다. 이를 대처하기 위해 무인기의 자동화 기술 수준이 지속적으로 발전하였으며, 지상체에는 무인기의 비행, 통신, 페이로드 등의 획득한 정보를 가시화 하고, 처리 및 분석 할 수 있는 기능들이 추가되었다[3]. 이와 더불어 다수의 무인기 활용이 대두됨에 따라 이를 운용할 수 있는 지상체 개발이 국내에서도 활발히 수행 중에 있으며, 이 중 단일 지상체를 통해 복수의 무인기를 운용하는 연구가 수행 중이다. 복수의 무인기를 운용할 수 있는 통신 시스템의 개발, 최적의 GUI(graphic user interface) 설계, 모의 시뮬레이션 환경 구성 등이 있다[6],[7],[8].

미래 전장 환경에서 복수 무인기를 안전하고 효율적으로 운용하고 비상상황이나 임무 변화에 유연하게 대처하기 위하여, 최근 들어, 선진국을 중심으로 무인시스템을 운용하는 운용자의 상태에 대한 연구가 진행되고 있다. 지상체 운용자가 임무를 수행하는 정도를 분석하여 이를 통해 운용자 인지 과부하 지표를 설정하고, 시선 추적기와 심박수 측정기, 뇌파 변화 탐지 등을 활용하여 임무 상황 시 운용자의 생체 신호를 파악하여, 임무과부하를 추정하는 실험을 진행하기도 하였다[2],[9]. 이러한 연구와 동시에 실제 인터페이스를 개발하여 적용한 사례로는 미국 해군대학원에서 운용자의 임무부하에 따른 무인기 자동화 단계설정을 제공하고, 생체신호 측정 장비를 통해 운용자의 생체 신호와 임무 수행을 동시에 모니터링 할 수 있도록 기능을 구현하였다[10].

본 논문에서는 복수무인기를 운용하는 운용자에게 발생하

는 임무과부하를 감소시키는 기능을 적용한 적응형 지상체 시스템을 제안한다. 적응형 지상체 시스템 설계에 앞서 복수무인기 운용자의 임무과부하 판단 지표를 선정하기 위해 비적응형 지상체를 설계하여 실험을 진행한다. 최종적으로 복수무인기 운용을 위한 지상체를 소프트웨어적으로 구현하고, 복수무인기를 운용하는 운용자의 임무과부하 상태 분석 연구를 수행한다. 운용자의 임무과부하 상태 분석을 위한 생체 정보를 얻는 기구로 시선추적기를 사용하며, 이를 통한 생체 정보는 임무과부하 모듈을 통해 임무과부하 상태를 계산하여 도출한다.

II. 비적응형 지상체

본 연구에서는 적응형 지상체 개발에 앞서 복수무인기 운용자의 임무과부하지표를 선정하기 위해 운용자의 상태를 측정할 수 있는 복수무인기 운용을 위한 비적응형 지상체를 설계한다.

2-1 비적응형 지상체 시스템 구성

본 연구에서 복수무인기 운용자의 임무과부하 측정을 위한 비적응형 지상체 시스템의 구성은 다음과 같다. 운용자의 시선을 측정하는 시선추적기 카메라와 시선추적 데이터 처리를 위한 PC, 복수무인기 모델과 지상통제 소프트웨어 운용을 위한 PC와 모니터들로 구성한다.

시선추적기에서 수집한 시선데이터는 무인기 모델에서 UDP통신을 통해 받으며, 이 데이터는 Matlab 환경에서 수집된다. 최종적으로 Matlab 환경에서 내부 TCP/IP 통신으로 무인기 데이터와 시선데이터를 지상통제 소프트웨어로 전송한다.

복수무인기 운용자의 임무과부하 측정은 모니터 하단에 위치한 3개의 시선추적기를 사용하여 운용자가 어느 모니터의 어부분(무인기 제어화면 또는 지도가 있는 무인기 관제화면)에 시선을 두는지 측정하고, 지상체의 GUI를 통해 감시 정찰 및 타격임무 수행에 대하여 조작 순서와 임무수행 시간, 임무 성공 여부를 통해 수행된다. 이를 통해 운용자의 시선데이터와 임무수행데이터를 통해 임무과부하 분석을 수행한다.

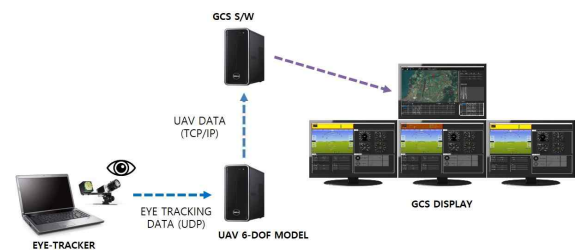


그림 1. 비적응형 지상체 시스템 구성도
 Fig. 1. Structure of multi GCS for a workload measurement.

2-2 비적응형 지상체 소프트웨어 및 UI 설계

본 지상체 시스템 소프트웨어는 Visual studio 2015 환경에서 개발 되었으며, 개발언어는 C#이다. 또한 오픈소스 지상체 소프트웨어인 MissionPlanner를 활용하여 복수무인기 지상체 소프트웨어를 개발하였다. C# 언어는 GUI(graphic user interface) 설계가 매우 수월하다는 장점을 통해 지상체의 GUI구현에 있어서 압도적인 성능 및 작업시간의 최소화를 이끌어냈다. 또한 윈도우 OS에서 운용한다는 점에서 호환성에 이점을 갖고 있다. 본 소프트웨어는 통신부, 지도화면, 무인기 제어화면을 각각 구성하는 Class 코드로 구현한다.

본 소프트웨어의 GUI는 시선추적기의 인식 범위 및 운용자가 복수무인기를 운용하는 동안 발생하는 임무에 대해 수행할 수 있도록 구성한다. 그림 2는 무인기 지도 및 정보전시 화면으로 초기 설정을 위한 아이콘 및 통신 설정 창, 지도, 경로점 정보, 장애물 정보, HMI 분석을 위한 메시지창, 시선추적기 데이터 정보 창으로 구성된다. 그림 3은 지상체의 무인기 제어화면으로 무인기 자세 정보를 전시하는 HUD(head-up display)와 계기판을 구현하였다. 운용자에게 발생하는 임무정보를 나타내는 임무정보 패널은 정찰과 타격 임무로 구분하여 정찰 임무 발생 시 노란색, 타격 임무 발생 시 적색으로 패널의 배경 색상을 변경하여 임무의 종류를 나타낸다. 시각적으로 임무에 따라 색상을 다르게 전시하도록 구현함으로써 운용자에게 임무 상황을 보다 수월하게 인식하도록 한다.

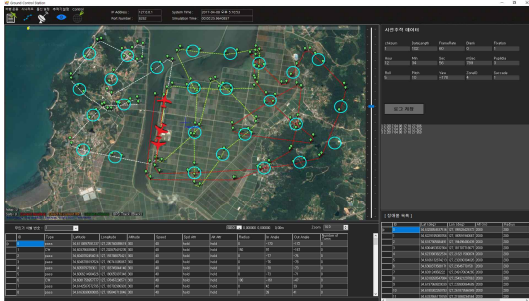


그림 2. 비적응형 지상체 무인기 지도화면
Fig. 2. Map GUI of Multi GCS.



그림 3. 비적응형 지상체 무인기 제어화면
Fig. 3. UAV control GUI of multi GCS.

운용자의 임무수행 방법은 버튼 조작을 통해 이루어진다. 정찰 임무와 타격 임무로 구분하여 버튼을 조작하도록 설계하였으며, 임무를 수행 시 발생하는 준비 시간을 측정하기 위한 임무 준비 버튼과 임무를 수행할 수 있는 수행 버튼이 있다. 준비 버튼을 2초간 클릭하면, 정찰 및 타격 임무를 수행할 수 있는 버튼이 활성화 되도록 설계하였다. 이를 통해 준비버튼을 2초간 클릭하지 못하는 경우와 임무 수행 버튼을 클릭하지 못하는 경우 임무 수행 실패로 간주하며, 두 단계로 구성된 절차를 모두 수행하는 경우만 임무 성공으로 간주한다.

2-3 무인기 동역학 모델

본 연구를 위해 설계한 비선형 시뮬레이션 모델은 유도제어 법칙을 포함한 6자유도 기반의 정찰형 무미의 항공기 모델이다. 유도제어법칙을 포함한 비선형 6자유도 무인기 모델의 구성은 그림 3과 같이 설정된 임무 정보로부터 항공기의 고도, 속도, 선회각 명령을 계산하는 유도법칙과, 유도법칙에서 출력된 명령을 추종하도록 조종면 입력을 계산하는 PID 기반의 제어 법칙, 그리고 조종면 입력에 따라 항공기의 상태를 모사하는 비선형 6자유도 모델로 구성되어 있다. 본 연구에 적용된 시뮬레이션 모델은 그림 4의 무인기 모델 3개를 하나로 구성하여, 각각의 무인기마다 위도, 경도, 고도, 자세각, 가속도, 임무상태를 하나의 패킷으로 구성하여 TCP/IP를 통해 GCS로 전송한다.

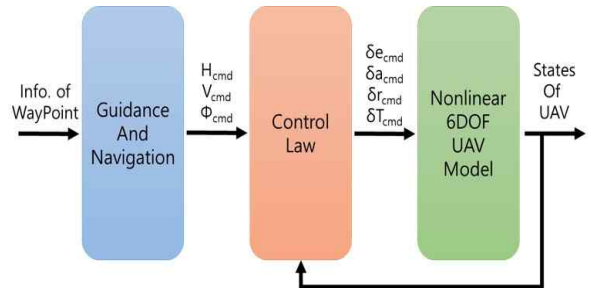


그림 4. 6자유도 비선형 무인항공기 모델 구성
Fig. 4. Nonlinear 6DOF UAV model with GNC.



그림 5 비적응형 지상체 실험 환경 구성
Fig. 5 Experiment environment of multi GCS.

2-4 실험 환경 구성

1) 실험 시나리오

실험 시나리오는 무인기 3대가 설정된 경로를 비행하며, 적 방공망이 존재한다는 가정 하에 정찰 및 타격을 수행하도록 구성한다. 지도화면 내에 무인기가 임무지역 내에 진입하면 무인기 제어 화면에 정찰 및 타격을 지시하도록 색상 변화 알림을 발생 시킨다. 복수무인기 운용자는 무인기 제어 화면에서 정찰 및 타격 준비 및 실행 버튼을 클릭하여 임무를 수행한다. 최종적으로 20분 간 실험이 진행되며 정찰 14회, 타격 10회, 총 24회의 임무 지시 알림이 발생한다.

2) 비적응형 지상체 본 실험 설계 및 진행

본 시나리오의 무인기 이동경로 내 구간은 임무미수행구간 및 임무수행구간, 2가지 구간으로 분류된다. 이 실험 설계는 구간에 따라 운용자의 부하유도 정도에 차이를 두려는 목적으로, 해당 실험의 독립변수는 ‘구간’, 즉 저/고로 분류된 ‘부하유도정도’가 된다. 결과적으로 임무미수행구간은 저부하유도구간이고, 임무수행구간은 고부하유도구간이다. 실험 결과 분석절에서는 종속변수인 운용자의 시선, 심박수 데이터 평균값을 구간 간 비교한다.

III. 적응형 지상체

본 연구에서 비적응형 지상체 설계 후 실험을 통해 임무과부하지표를 선정하였으며, 또한 실험 후 도출된 개선사항을 적용하여, 적응형 지상체 시스템을 구성한다.

3-1 적응형 지상체 시스템 구성

적응형 지상체 시스템은 비적응형 지상체와 마찬가지로 4대의 모니터로 구성되어 있으며, 각각의 서버 모듈은 TCP/IP 통신을 통해 서로 연동되어 있으며, 데이터를 송·수신하도록 구성된다. 기존 지상체 시스템과 다소 차이점을 갖고 있으며, 이는 무인기의 대수를 3대에서 6대로 증가시키면서 시스템 구성에 있어 변화가 도출되었다.

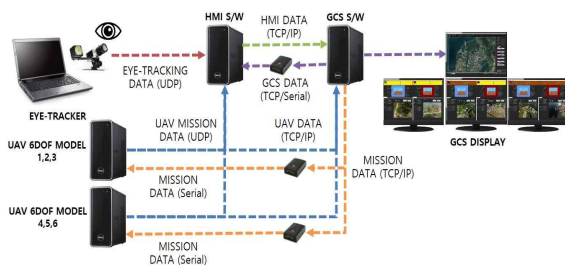


그림 6 적응형 지상체 시스템 구성도
Fig. 6 Structure of adaptive GCS.

적응형 지상체 시스템은 기존에 1대의 PC에서무인기 동역학 모델과 지상체 프로그램을 운용하던 방식에서 각 서버모듈별로 PC를 구축하고, 이로써 1대의 PC로 운용하여 발생하는 과부하를 최대한 줄이도록 한다. 지상체 소프트웨어 및 HMI모듈을 운용하는 1대의 PC와 무인기모델 1, 2, 3번기를 운용하는 PC와 4, 5, 6번기를 운용하는 PC 총 3대의 PC로 구성되어 있다.

시선추적기에서 수집한 시선데이터 및 각 무인기 모델의 임무 정보를 HMI 모듈에 UDP통신으로 전송하며, 무인기 모델의 데이터 및 HMI 모듈 정보를 지상체 소프트웨어에 TCP/IP 통신으로 전송한다. 또한 지상체에서 무인기 모델과 HMI 모듈에 데이터를 전송할 수 있도록 구축하여, 지상체 소프트웨어에서 임무 경로의 변경사항을 무인기 모델, 임무 통제 정보를 HMI 모듈에 각각 TCP/Serial 통신으로 전송한다. 이는 별도의 하드웨어 서버 구축을 통해 통신의 안정성을 보장하도록 한다[11].

3-2 적응형 지상체 소프트웨어 및 GUI 개선

본 적응형 지상체 시스템의 기능 구현을 위해 UI 재설계가 요구되며, 임무과부하 모듈의 추가를 통해 연동 인터페이스 개선 작업과 임무수행 방식을 변경한다. 비적응형 실험을 통해 기존 지상체의 불필요한 정보 및 개선사항을 수집하여 다음 그림 7과 그림 8와 같은 지도전시 화면과 무인기 제어화면의 GUI를 수정하였다.

그림 7 지도전시 화면의 GUI 변경으로는 첫째, 기존 지상체에서 운용자에게 불필요한 정보인 경로점 및 임무수행 지역을 표로 나타낸 데이터 창을 제거 하였으며, 이를 통해 지도 화면을 좀 더 확장 가능하다. 둘째, 각각의 무인기 및 경로점의 구분이 어렵다는 점을 수렴하여, 6개의 색상(흰색, 빨간색, 검은색, 파란색, 마젠타색, 노란색)을 선정하였다. 이는 지도 화면과 대비하여 운용자의 시안성에 중점을 두어 비교 분석 후 도출된 결과이다. 셋째, 적응형 기능을 온·오프 할 수 있도록 체크박스 구현하여 비적응형 실험과 적응형 실험을 수행하여 운용자의 임무수행율의 변화 사항을 점검할 수 있도록 한다. 마지막으로 우측 창에 무인기 경로점 변경 정보와 각각의 무인기 별로 임무수행 지역에 진입 시 임무 잔여 시간을 전시한다. 무인기 경로점 변경 시 변경 지점에 대한 경로점 번호와 위·경도 및 고도 등의 정보를 전시한다.

적응형 지상체의 무인기 제어화면은 그림 3과 비교하여 다소 변화가 있다. 첫째, 모니터 1대당 1대의 무인기 제어화면을 도출하던 것을 6대로 운용 대수가 증가함에 따라 모니터 1대에 두 대의 무인기 운용을 가능하도록 GUI를 설계한다. 둘째, 임무 상태 표시 패널의 색상 알림 기능은 유지하면서, 지도 화면에 전시되는 무인기의 색상과 동일한 이미지를 삽입하여 운용자에게 몇 번 무인기 제어 창인지 인식할 수 있도록 도움을 준다. 셋째, 기존 지상체에서 HUD화면과 계기판의 패널이 별도로 구성되어 있던 것을 하나로 정리하여 운용자에게 무인기 상태 정보를 직관적으로 전달할 수 있도록 한다. 최종적으로 임무수행 방식이 변화 함에 따라 임무 수행 GUI 또한 재설계 한다.

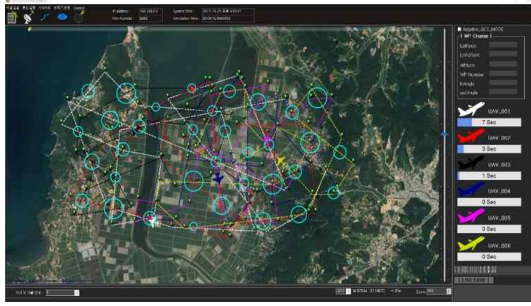


그림 7. 적응형 지상체 무인기 지도화면
Fig. 7. Map GUI of adaptive GCS.

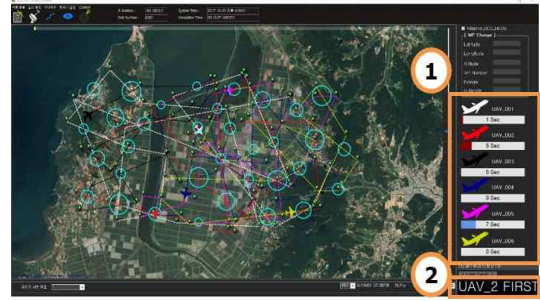


그림 9. 적응형 기능 활성화 지상체 무인기 지도 화면
Fig. 9. Map GUI of adaptive function activation GCS.



그림 8. 적응형 지상체 무인기 제어화면
Fig. 8. UAV control GUI of adaptive GCS.



그림 10. 적응형 기능 활성화 무인기 제어화면
Fig. 10. UAV control GUI of adaptive function activation GCS.

무인기 제어 화면 하단에 임무 지역 진입 시 사진 및 임무 명령 텍스트가 발생하도록 구현한다. 이를 통해 운용자는 명령 텍스트와 동일한 물체를 정찰하고, 타격하는 임무를 수행한다.

1) 무인기 모델-지상체 연동 인터페이스

기존 비적응형 지상체의 경우, 무인기 모델과 지상체의 연동은 무인기의 자세 및 경로 정보를 지상체가 일방적으로 수신하는 방식이다. 이러한 점을 보완한 연동 인터페이스를 구축하여, 운용자가 실시간으로 경로를 변경할 수 있도록 한다. 경로점 변경은 마우스를 통해 경로점을 드래그 앤 드롭하는 방식이다. 또한 데이터 패킷을 증가시켜, 임무 수행 중 잔여시간을 전송받아 이를 우측에 프로그레스 바 형태로 전시한다. 또한 적응형 기능을 활성화시켰을 시 프로그레스 바의 색상을 5초를 기준(5초 이상 파랑, 5초이하 빨강)으로 변화시킨다.

이와 같은 기준으로 무인기 제어화면의 HUD 배경 패널의 색상 변경을 통한 동일 기능을 적용하였다. 이를 통해 운용자는 잔여시간을 확인하여 임무 운용에 있어 판단 기준을 설정하는데 도움을 줄 수 있다.

2) 임무과부하 모듈-지상체 연동 인터페이스

임무과부하 모듈과 연동인터페이스 구축을 통해 복수무인기 운용자의 상태를 반영한다. 적응형 기능 활성화를 통해 지도 화면 우측 하단 패널에 운용자에게 제어가 우선적으로 수행되어야 하는 무인기의 번호를 전시한다.

이와 같은 기능은 임무과부하 모듈 내부에 구현된 알고리즘을 통해 도출된다. 복수의 무인기에 임무가 동시에 발생 시 알고리즘이 동작하며, 시선데이터와 임무 수행 잔여 시간을 계산하여 우선적으로 제어해야 할 무인기를 도출한다.

3-3 실험 환경 구성

1) 실험 시나리오

실험 시나리오는 무인기 6대가 각각 설정된 경로를 비행하며, 지도상에 표시된 임무지역(파란색 원)에서 도출되는 목표물을 운용자의 감독 하에 정찰 및 타격을 수행하도록 구성한다.



그림 11. 적응형 지상체 실험 환경 구성
Fig. 11. Experiment environment of Adaptive GCS.

표 1. 임무 수행 방법

Table 1. Mission Perform Process.

	Surveillance mission	Attack mission
Targets found	DETECT Button click	FIRE Button click
Targets not found	MISSED Button click	ABORT Button click

지도화면 내에 무인기가 임무지역 내에 진입하면 기존 지상체와 동일하게 무인기 제어 화면에 정찰 및 타격을 지시하도록 색상 변화 알림을 발생 시킨다. 복수무인기 운용자는 무인기 제어 화면 하단에 표시되는 사진과 해당 목표물을 탐색하라는 텍스트 명령을 보고 임무를 수행한다. 임무지역에 진입하여 표시되는 사진에 텍스트에서 내린 명령과 동일한 물체를 발견하는 경우와, 발견 못하는 경우에는 아래 표 2와 같은 방법으로 임무를 수행한다.

2) 적응형 지상체 본 실험 설계 및 진행

본 실험에서 실험참가자는 비적응형 지상체와 적응형 지상체에서 10분 씩 실험을 진행한다. 각 지상체 환경에서 운용자는 170개의 임무를 마주하며, 결과적으로 본 실험의 독립변수는 지상체의 종류(비적응형 지상체, 적응형 지상체)이다. 본 실험의 목적은 적응형 지상체가 운용자의 부하를 저감시키는 지 여부를 확인하는, 즉 적응형 지상체의 효용성을 검증하기 위한 실험으로, 실험 결과 분석 절에서 지상체 환경 간 운용자의 시선 및 임무 지표 결과 값을 비교한다.

IV. 실험 결과 분석

4-1 비적응형 지상체 실험 결과 분석

저부하유도구간 및 고부하유도구간에서 실험참가자 30명의 시선 및 심박수 데이터 평균값은 표 2과 같다. Blink rate, Fixation rate, Pupil diameter, Heart rate가 구간 간 유의미한 차이를 보였다. 저부하유도구간에 비해 운용자의 부하정도가 높은 고부하유도구간에서 운용자의 눈 깜빡임이 줄었으며, 특정 위치에 시선을 고정하는 비율이 증가했다. 동공지름의 평균값은 고부하유도구간에서 더 높게 나타났으며, 심박수는 저부하유도구간에서 오히려 높았다.

4-2 적응형 지상체 실험 결과 분석

비적응형 지상체 및 적응형 지상체에서 실험참가자 30명의 시선 및 임무 지표 데이터 평균값은 표 3과 같다. Pupil diameter, Mission conduct time, Mission success ratio가 지상체 간 유의미한 차이를 보였다. 비적응형 지상체와 비교한 결과, 운용자의 임무과부하 감소를 위해 설계된 적응형 지상체에서 동공 지름이 줄었으며, 운용자의 임무 성능이 높았다.

표 2. 비적응형 지상체 실험 결과

Table 2. Multi GCS conclusion.

	No mission	Mission	p-value
Blink rate (%)	10.59 (5.56)	4.98 (4.44)	0.000*
Fixation rate (%)	68.20 (11.61)	80.74 (6.37)	0.000*
Pupil diameter (mm)	3.80 (0.37)	4.05 (0.39)	0.000*
Heart rate (bpm)	78.68 (7.74)	77.45 (7.91)	0.000*

표 3. 적응형 지상체 실험 결과

Table 3. Adaptive GCS Conclusion.

	GCS	Adaptive GCS	p-value
Blink rate (%)	7.63 (4.03)	6.82 (3.97)	0.064
Pupil diameter (mm)	4.32 (0.48)	4.18 (0.47)	0.000*
Mission conduct time (sec)	3.20 (0.79)	2.93 (0.68)	0.000*
Mission success ratio (%)	88.44 (5.62)	90.36 (5.72)	0.002*

V. 결론

본 논문에서는 복수무인기 지상체를 단일 운용자가 운용 시 발생하는 임무과부하를 최소화 시키는 방안에 대한 시스템 설계를 진행하였다. 복수무인기 운용자의 임무과부하 및 인지 상태를 분석할 수 있는 지표를 적용하여, 비적응형 지상체 소프트웨어 프로토타입과 임무과부하 측정을 위한 시스템을 구성하였다. 따라서 복수무인기 운용자의 임무과부하 및 운용 상태를 측정하고, 획득된 데이터를 통해 운용자의 임무과부하 정도를 분석할 수 있다. 비적응형 지상체 타입을 통해 운용자의 임무과부하 판단기법을 획득하였고, 이를 통해 적응형 개념의 지상체 시스템 타입을 구성한다. 적응형 지상체 시스템은 복수무인기 운용자의 임무과부하를 감소시키는 방안에 관해 연구를 통해 설계한다. 본 적응형 지상체 실험을 통해 적응형 기능이 운용자의 임무과부하를 감소시키는데 유의미한 효과를 확인하였으며, 충분히 효용성을 갖고 있음을 실험을 통해 검증하였다.

Acknowledgments

본 연구는 국방과학연구소의 국방 특화연구실의 일환으로 수행하였음 [계약번호:UD150047JD. 지능 기반 무인기 제어].

References

- [1] D. C. Shin, "Remotely piloted aircraft system(RPAS) and human factors," *The Korean Journal of Aerospace and Environmental Medicine*, Vol. 26, No. 2, pp. 35-42, Aug. 2016.
- [2] M. L. Cummings and P. J. Mitchell, "Predicting controller capacity in supervisory control of multiple UAVs," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans*, Vol. 38, No. 2, pp. 451-460, Mar 2008.
- [3] J. J. Oh, E. C. Shin, and S. K. Kim, "Function analysis of ground control station for operation of multiple unmanned aerial vehicles," in *Proceeding of the 2016 KSAS Spring Conference*, Goseong, pp. 778-780, Apr. 2016.
- [4] S. H. Park, J. B. Song, M. S. Roh, W. J. Song, and B. S. Kang, "Design and implementation of mobile Network based long-range UAV operational system for multiple clients," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 19, No. 3, pp. 217-223, Jun. 2015.
- [5] B. Y. Min, C. H. Ahn, S. J. Hong, J. S. Jang, and D. K. Kim, "Cramer-Rao lower bound(CRLB) analysis for unmanned aerial vehicle(UAV) tracking with randomly distributed ground stations using FDOA measurements," *The Journal of Korea Navigation Institute*, Vol. 15, No. 2, pp. 234-240, Apr. 2011.
- [6] Y. H. Shin, S. W. Cho, S. B. Cho, S. H. Kim, C. H. Lyu, and K. Y. Choi, "Development of ground control software for operation of multiple unmanned aerial vehicles," *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 40, No. 6, pp. 542-547, Jun. 2012.
- [7] S. S. Huh, D. I. Yoo, S. W. Moon, S. H. Yoon, Y. D. Jung, W. H. Lee, and H. C. Sim, "Development of an autopilot system and a ground monitoring station for multiple UAVs," in *Proceeding of the 2009 KSAS Fall Conference*, Gyeongju, pp. 775-778, Nov. 2009.
- [8] S. W. Moon, E. M. Oh, D. I. Yoo, and H. C. Sim, "Implementation of a X-plane and MATLAB/Simulink based simulation system for multiple UAVs," *Journal of Institute of Control, Robotics and Systems*, Vol. 19, No. 5, pp. 442-449, May. 2013.
- [9] L. A. Breslow, D. Gartenberg, J. M. McCurry, and J. G. Trafton, "Dynamic Operator Overload: A model for predicting workload during supervisory control," *IEEE Transactions on Human-Machine Systems*, Vol. 44, No. 1, pp. 451-460, Feb. 2014.
- [10] J. H. Yang, M. Kapolka, and T. Chung, "Autonomy balancing in a manned-unmanned teaming(MUT) sw arm attack," in *accepted to The 1st International Conference on Robot Intelligence Technology and Application(RiTA)*, Gwangju, Korea, 2012.
- [11] F. D. Crescenzo, G. Miranda, F. Persiani, and T. Bombardi, "Advanced interface for unmanned aerial vehicle(UAV) ground control station," in *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit*, South Carolina, Aug. 2007.



오 장 진 (Jangjin Oh)

2016.02 ~ 현재, 충남대학교 항공우주공학, 석사과정
2010.03 ~ 2016.02, 충남대학교 항공우주공학, 학사
※관심분야: 복수무인기 유도 및 제어, 날갯짓 비행체 제어



최 성 환 (Seong-Hwan Choi)

2013년 2월 : 경상대학교 기계항공공학부 공학사
2013년 3월 ~ 현재 : 경상대학교 기계항공공학부 석박사통합과정 재학
※관심분야: 무인항공기체계(UAS), 비행제어, 신경회로망



임 형 진 (Hyung-Jin Lim)

2016년 2월 : 국민대학교 자동차공학과 공학사
2016년 2월 ~ 현재 : 국민대학교 자동차공학전문대학원 석사과정 재학
※관심분야: 인간-차량 인터랙션(Human-Vehicle Interaction)



김 승 균 (Seungkeun Kim)

2012.03 ~ 현재, 충남대학교 항공우주공학과, 부교수
2008 ~ 2012, 영국 Cranfield Univ, 연구원/조교수
2008, 서울대학교 기계공학부 대학원, 박사
2002, 서울대학교 기계항공공학부, 졸업
※관심분야: 소형비행체, 비선형/지능제어, 추정/센서융합, 의사결정



양 지 현 (Ji Hyun Yang)

2007년 : MIT 항공우주공학과 공학박사
2016년 ~ 현재 : 국민대학교 자동차공학과 부교수
※관심분야: 인간-차량 인터랙션(Human-Vehicle Interaction), 능동 안전 시스템(Active Safety System)



김 병 수 (Byoungsoo Kim)

1994년 3월 : Georgia institute of Technology 항공우주공학 공학박사
1994년 1월 ~ 2000년 2월 : 국방과학연구소 선임연구원
2000년 3월 ~ 현재 경상대학교 기계항공정보융합공학부 교수
※관심분야: 무인항공기, 비행제어, 신경회로망