



Received: 2024/11/15
Revised: 2024/11/19
Accepted: 2024/12/20
Published: 2024/12/31

***Corresponding Author:**

Do Eon Lee

Avonics R&D Center, Hanwha Systems
4F, 27, Hwangsaoul-ro 360beon-gil, Bundang-gu,
Seongnam-si, Gyeonggi-do, 13591, Republic of Korea
Tel: +82-31-629-2942
Fax: +82-31-629-2999
E-mail: delee0804@hanwha.com

Abstract

본 연구에서는 항공 시뮬레이터인 Prepar3D를 활용하여 무인 항공기 모의 시스템을 구성하고, EO/IR 모의 소프트웨어를 설계 및 구현하였다. EO/IR 모의 소프트웨어는 EO/IR Model(EOM), Prepar3D Controller(P3DC), Prepar3D Position Tracker(PPT)로 구성되며, 소프트웨어를 목적에 따라 모듈 단위로 분리함으로써 소프트웨어의 결합도(coupling)를 낮추고 기능적인 응집도를 높였다. 그 결과, 유지보수 및 개발 편의성이 향상되었다. 본 논문에서는 EO/IR 모의 소프트웨어 모듈의 각 설계/구현 내용과 이를 바탕으로 항공기 모의 시스템에 적용한 결과에 대해 설명한다.

In this study, we designed and implemented an unmanned aircraft simulation system using Prepar3D, an aviation simulator, and designed and implemented EO/IR simulation software. The EO/IR simulation software consists of EO/IR Model (EOM), Prepar3D Controller (P3DC), and Prepar3D Position Tracker (PPT). By separating each software into modules according to their purpose, the coupling of the software was reduced and functional cohesion was increased. As a result, the convenience of maintenance and development was improved. In this paper, describes the design/implementation of each EO/IR simulation software module and the results of applying it to an aircraft simulation system.

Keywords

무인기(Unmanned Aerial Vehicle), 전자광학/적외선 센서(EO/IR Sensor), Prepar3D 항공 시뮬레이터(Prepar3D Flight Simulator), 실시간 모의 환경(Hardware In the Loop Simulation), 소프트웨어 모듈(Software Module)

Acknowledgement

이 논문은 2023년 정부(방위사업청) 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-23-048-02).

이 논문은 2024년도 한국해군과학기술학회 동계학술대회 발표 논문임

Prepar3D를 활용한 모듈화 기반 EO/IR 센서 모의 S/W 개발

Development of a EO/IR Sensor Simulation Software Based on Modularization Using Prepar3D

이도연^{1*}, 조승기², 최진원³

¹한화시스템 항공개발센터 선임연구원

²한화시스템 항공개발센터 연구원

³한화시스템 항공개발센터 수석연구원

Do Eon Lee^{1*}, Seung Gi Cho², Jinwon Choi³

¹Engineer, Avionics R&D Center, Hanwha Systems

²Junior engineer, Avionics R&D Center, Hanwha Systems

³Chief engineer, Avionics R&D Center, Hanwha Systems

1. 서론

무인기 체계에서 주 임무인 감시·정찰을 수행하기 위한 EO/IR (electro-optics/infrared) 센서 기반의 영상 기능은 필수적인 요소이다. EO/IR 시스템은 전자광학 센서 및 적외선 센서로 구성되어 있으며, 주/야간 감시·정찰 임무 수행 시 위협 요소 인식 및 표적 식별, 환경 정보 습득 등 핵심적인 기능을 수행한다. EO/IR 시스템은 무인기뿐만 아니라 차량, 선박, 헬멧 등 여러 분야에서 다양하게 활용되고 있다. EO/IR 시스템의 산업 성장률은 연평균 5.84 %로 시장 규모가 2026년까지 203억 달러에 이를 것으로 예상되며, 향후 지속적인 기술 개발이 기대되는 분야이다[1].

본 논문에서는 항공 시뮬레이터인 Prepar3D를 활용하여 무인 항공기 모의 시스템을 구성하고, EO/IR 모의 기능을 설계 및 구현한 내용에 대해 설명한다.

2. 본론

유/무인기 LRU 모델의 구성은 Fig. 1과 같으며, 본 논문에서 제시하는 시스템의 적용 범위는 무인기의 비행 시뮬레이션을 위한 FLCC(flight control computer)와 EO/IR 센서 모의를 위한 EO/

IR LRU 모델에 해당한다.

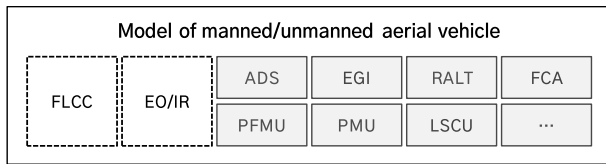


Fig. 1. Composition of manned/unmanned aerial vehicle LRU model

Prepar3D(P3D)는 미국의 Lockheed Martin 사(社)에서 개발한 상용 항공 시뮬레이션 프로그램으로, 여러 항공기 형상과 모델을 가지고 있다. 실제와 유사한 지형을 배경으로 다양한 개발도구를 활용하여 비행과 조종 모의뿐만 아니라 유·무인기 및 표적 등의 객체 모의, 시나리오 제작 등이 가능하다[2].

본 논문에서는 Prepar3D 6.1 버전을 사용하였으며, 비행 모의와 객체 모의 기능을 활용하여 시뮬레이션 환경을 구축하였다.

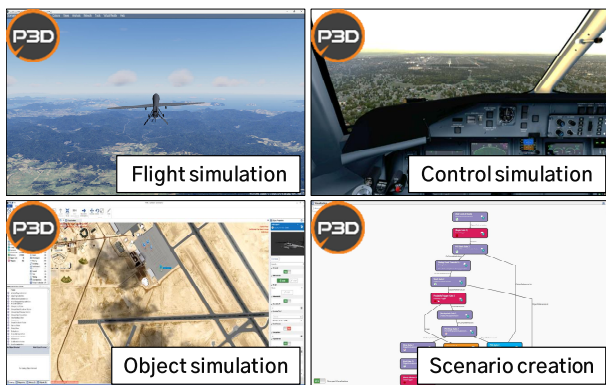


Fig. 2. Configuring Prepar3D features

2.1 시스템 구성

무인기 모델의 시스템 구성은 Fig. 3와 같이 비행 모의부와 EO/IR 모의부로 구성된다. 비행 모의부는 FLCC 모델을 기반으로 Prepar3D에서 무인기 비행 시뮬레이션을 수행하며, EO/IR 모의부는 비행 데이터를 동기화하여 Prepar3D에서 EO/IR의 기능을 모의한다.

FLCC 및 EO/IR 각 모델은 표준 무인기 프로토콜인 STANAG-4586을 기반으로 GCS(ground control station)와 통신한다. STANAG-4586은 북대서양 조약기구(North Atlantic Treaty Organization,

NATO)에서 무인 항공기 간 상호 운용성 확보를 위해 제정한 표준 프로토콜이다.

본 논문을 통해 개발한 모듈화 기반 EO/IR 소프트웨어는 EO/IR 모의부의 EO/IR Model(EOM), Prepar3D Controller(P3DC), Prepar3D Position Tracker(PPT)로 구성되며, 각 모듈은 자체 정의된 IDD(interface design description)에 따라 연동된다. 또한, 영상 변조장치(encoder/decoder)를 통해 EO/IR의 화면을 H.264 포맷으로 변환하여 GCS로 실시간 송출한다. 사용자는 GCS를 통해 EO/IR의 각 기능을 제어하고 영상 및 상태 정보를 확인할 수 있다.

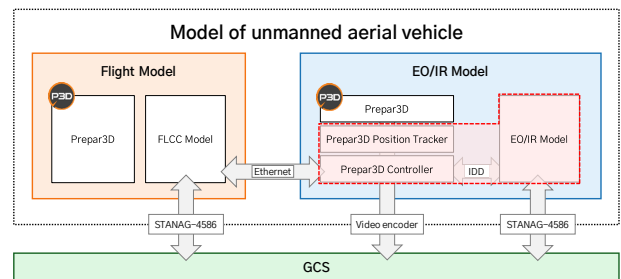


Fig. 3. System configuration of unmanned aerial vehicle model

2.2 EO/IR Model(EOM)

EO/IR Model의 소프트웨어 구성은 Fig. 4에 나타난 것과 같으며, 내부의 각 기능은 재사용 가능한 모듈 기반으로 설계되어 있다. EO/IR Model은 GCS로부터 STANAG-4586 메시지를 수신하여 처리한다. STANAG-4586 프로토콜은 API(application programming interface) 기반 공통 DLI(data link interface) 메시지 모듈을 활용하여 구현하였다. 공통 DLI 메시지 모듈은 STANAG-4586 프로토콜 기반으로 핵심 응용 프로그램과 프로토콜 적합성 검증 도구 개발에 필수적인 DLI 메시지 송·수신 기능을 API 형태로 구현한 모듈이다[5].

수신한 데이터를 분석한 다음, EO/IR 동작 모델에서 요구되는 동작 모드에 따라 해당하는 알고리즘을 수행한다. 동작 모드는 전방 주시 모드 및 좌표 지향 모드, 수동 추적 모드, 자동 추적 모드가 있으며, 사용자가 필요한 모드를 추가하거나 각 모드의 기능을 추가할 수 있다. 설정된 동작 모드의 해당 알고리즘이 수행되면 결과 데이터를 Prepar3D Controller로

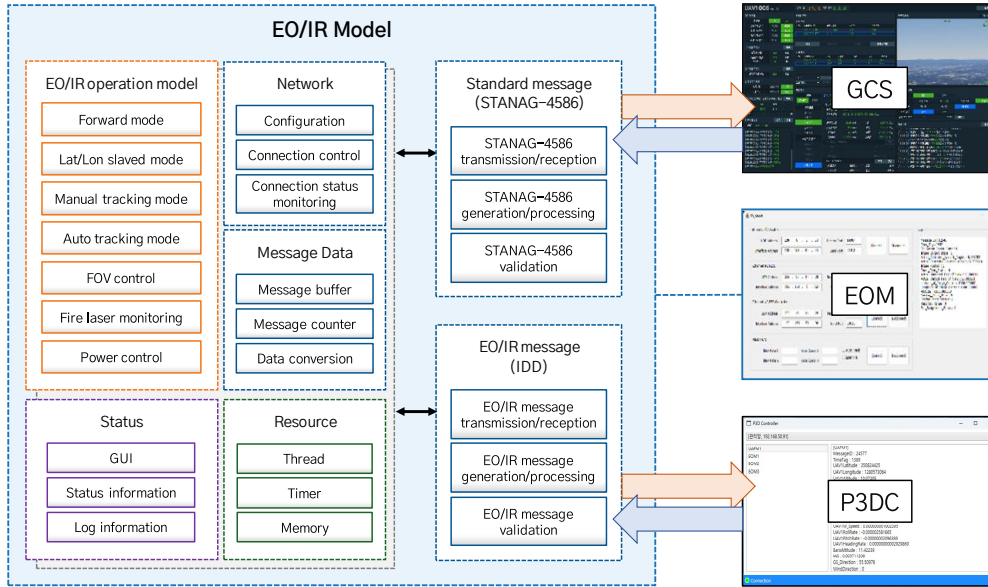


Fig. 4. Block diagram of EO/IR Model

전달한다. 이를 위해 미리 정의된 IDD에 따라 EO/IR 메시지를 생성하고 송신한다.

EO/IR 동작 모델 내에는 동작 모드 별 기능 외에 시계(field of view) 제어 및 fire laser 상태 모니터링, 전원제어 등의 기능이 포함된다. 추가로 네트워크 관리 및 메시지 데이터 관리, 상태 관리, 자원 관리 등의 기능을 구현하였다.

EO/IR Model의 GUI(graphical user interface)는 사용 편의성을 위해 Fig. 5와 같이 구성하였으며, background 형태로 사용 가능하다. 네트워크 설정부와 로그 출력부로 구성되어 있으며, 네트워크 설정부에는 GCS 및 FLCC, Prepar3D Controller와의 Ethernet 기반 통신을 위해 네트워크 설정 또는 네트워크와의 연결/해제 기능을 구현하였고, 로그 출력부는 Prepar3D Controller의 수신 데이터를 출력하도록 구현하였다. 그 외 통신 도중 오류로 인해 연결이 끊어질 경우 일정 주기마다 연결을 재시도하고 해당 로그를 출력하는 기능을 구현하였다.

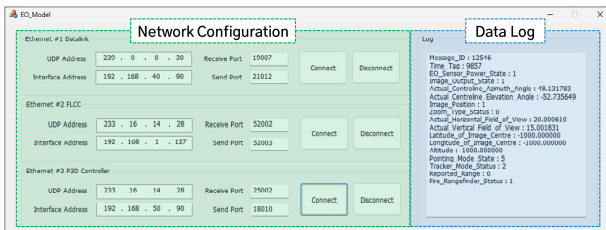


Fig. 5. GUI of EO/IR Model

2.3 Prepar3D Controller(P3DC)

Prepar3D Controller는 FLCC Model 및 EO/IR Model, Prepar3D Position Tracker와 통신하여, EO/IR 센서를 모의하는 Prepar3D를 제어한다. EO/IR 센서 모의 Prepar3D는 비행을 하지 않고 FLCC Model로부터 자함의 위치를 수신하여 EO/IR 센서의 위치를 동기화한다. Prepar3D Controller와 EO/IR Model은 사전에 정의된 IDD에 따라 통신하며, EO/IR Model을 통해 GCS의 EO/IR 제어 명령을 수행하고 Prepar3D의 연결 상태와 EO/IR 센서의 위치, 자세, 고각 등의 상태 정보를 일정한 주기로 송신한다.

모드 전환 또는 각 모드의 동작을 모의하기 위하여 Prepar3D의 SimConnect API를 활용하였다. SimConnect API를 통해 외부 소프트웨어와 상호 작용할 수 있으며, Prepar3D의 항공기 데이터, 시물레이션 상태, 이벤트 등을 제어하고 모니터링할 수 있다[2]. 예를 들어 좌표 지향 모드에서 특정 위치를 추적하는 기능은 ‘SimConnect_ObserverTrackLocationOn’ 함수를 사용하여 구현하였다. 이외에도 SimConnect API는 observer의 자세를 제어하거나 EO/IR의 시계를 제어하는 동작 등에도 사용한다. SimConnect API는 C#에서 개발 가능한 동적 링크 라이브러리(dynamic link library) 형태로 제공되며, 해당 라이브러리를 참조로 사용하여 개발환경을

구성하였다.

Prepar3D Controller는 수동 추적 및 자동 추적 시 fire laser 기능을 수행하기 위해 Prepar3D Position Tracker와 shared memory interface 방식으로 통신한다. Prepar3D Controller는 수동 추적 모드에서 자동 추적 모드로 전환 시 Prepar3D Position Tracker로부터 수신한 화면의 위치정보와 추적 가능한 객체들의 위치정보를 기반으로 거리를 계산하여 자동 추적 대상을 설정한다.

Prepar3D Controller의 GUI는 Fig. 6와 같다. Prepar3D Controller를 실행할 때 기본적으로 background 모드로 동작하며, 작업표시줄의 아이콘을 활성화(더블클릭)하여 GUI 화면을 시현할 수 있다. Prepar3D Controller GUI 화면의 상단부에서 현재 통신 중인 네트워크 목록을 확인할 수 있으며, 하단부에 Prepar3D의 통신 상태가 표시된다. 또한, 좌측에서 EO/IR Model로부터 수신한 메시지의 수신 목록을 확인할 수 있으며, 각 메시지를 선택하여 상세 정보를 확인할 수 있다.

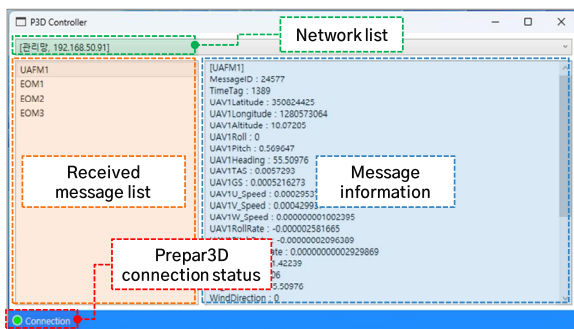


Fig. 6. GUI of Prepar3D Controller

2.4 Prepar3D Position Tracker(PPT)

Prepar3D Position Tracker는 EO/IR의 레이저 기능을 구현하기 위해 Prepar3D SDK(software development kit)에서 제공하는 레이 트레이스(Ray Trace) 기능을 활용하였다.

Prepar3D SDK는 plug-in DLL 형태로 개발되어 Prepar3D의 low-level 기능을 제공하는 서비스이며, 사용자 기반 object 또는 texture, post-process, 카메라 생성 및 조작 등에 활용 가능하다. 이를 통해 observer가 주시하는 화면상에서 레이저가 도달한 지면 또는 객체의 위치 정보를 활용하여 거리를 계

산할 수 있다. Prepar3D Position Tracker는 라이브러리 형태로 개발하여 Prepar3D에서 third-party 프로그램에 추가하여 사용한다.

2.5 모듈 간 연동

EO/Model 및 Prepar3D Controller, Prepar3D Position Tracker 모듈 간의 연동은 자체 정의한 IDD(interface design description)에 따른다. IDD 내에는 모듈 간의 통신 방식 및 프로토콜 설정 내용, 통신 데이터의 메시지 정의, 메시지 필드 구성, 자료형 등이 정의되어 있다.

2.6 소프트웨어 모듈화

본 논문에서는 목적에 따라 각 소프트웨어를 모듈 단위로 분리함으로써 소프트웨어의 결합도(coupling)를 낮추고 기능적인 응집도를 높였다.

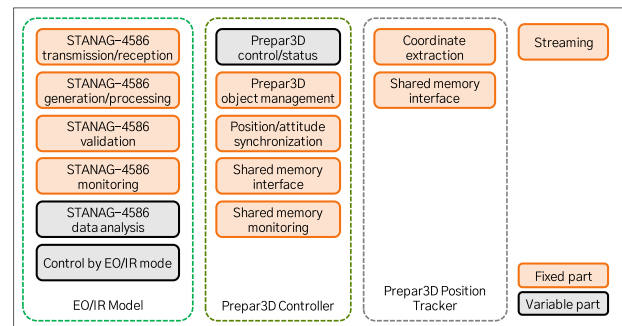


Fig. 7. Results of software modularization

EO/IR Model에서는 무인기 표준 메시지의 통신 관련 기능을 고정부로 설계하고 메시지의 분석과 각종 동작 모드별 제어 기능을 변동부로 설계하였다. 그리고 Prepar3D Controller에서는 EO/IR Model의 변동부에 따라 Prepar3D를 제어하고 상태를 관리하는 부분이 변동된다. 그 외 객체 관리 및 위치/자세를 동기화하는 기능과 shared memory interface 기능은 고정부로 설계하였다. Prepar3D Controller와 Prepar3D Position Tracker가 Prepar3D와 인터페이스하는 부분은 동일하나, 각각 SimConnect API와 Prepar3D SDK를 활용한다는 점이 상이하므로, 개발 및 유지보수의 편의성을 위해 분리하여 설계하였다.

결과적으로 표준 메시지의 분석데이터를 기반으로 동작 모드별 제어 기능과 이에 따른 Prepar3D의 제어/상태 관리 기능을 수정하면 EO/IR 시스템의 동작을 수정하거나 기능을 추가할 수 있다.

2.7 구현 및 적용 결과

소프트웨어의 구현 도식은 Fig. 8에 나타냈으며, 적용 및 시현 결과는 Fig. 9과 같다.

GCS에서 EO/IR의 각 동작 모드를 설정할 수 있으며, 송출되는 영상을 확인할 수 있다. 전원 ON 명령 전송 시, 기본적으로 EO/IR의 동작 모드는 시작과 동시에 전방 주시 모드로 진입한다. 전방 주시 모드에서는 사용자가 원하는 고각을 입력하여 해당 위치를 주시하도록 한다. EO/IR 센서의 자연스러운 움직임을 위해 목표 위치를 특정 각도 단위로 분할하여 이동하도록 구현하였다. 좌표 지향 모드에서는 특정 위치를 지도상에서 선택하거나 위도 및 경도, 고도를

직접 입력하여 입력된 위치를 EO/IR 센서가 주시한다. 수동 추적 모드에서는 GCS에 연결된 HOTAS (hands on throttle and stick)를 활용하여 시야를 직접 조종할 수 있다. 사용자가 HOTAS를 조작할 경우 GCS로 고각(elevation angle)과 방위각(azimuth angle) 정보가 입력되고, GCS에서 STANAG-4586 메시지로 변환하여 EO/IR Model로 송신한다. EO/IR Model에서는 메시지 수신 후 수동 추적 모드의 알고리즘을 수행한다. 수동 추적 모드에서 특정 개체를 타겟팅한 후 자동 추적 모드로 전환 시, 해당 개체를 자동으로 추적한다. 이때 자동 추적 대상 객체를 시나리오에 추가하기 위해 Prepar3D의 시나리오 편집 기능(SimDirector)을 활용하여 지상 및 공중 객체들을 추가하였다. Prepar3D Controller는 각 객체들의 정의된 카테고리를 확인하여 자동 추적 대상 객체 여부를 확인한다.

그 외 협시계/중시계/광시계로 구분되는 시계 제어 기능과 LRF(laser range finder) 기능을 구현하였다.

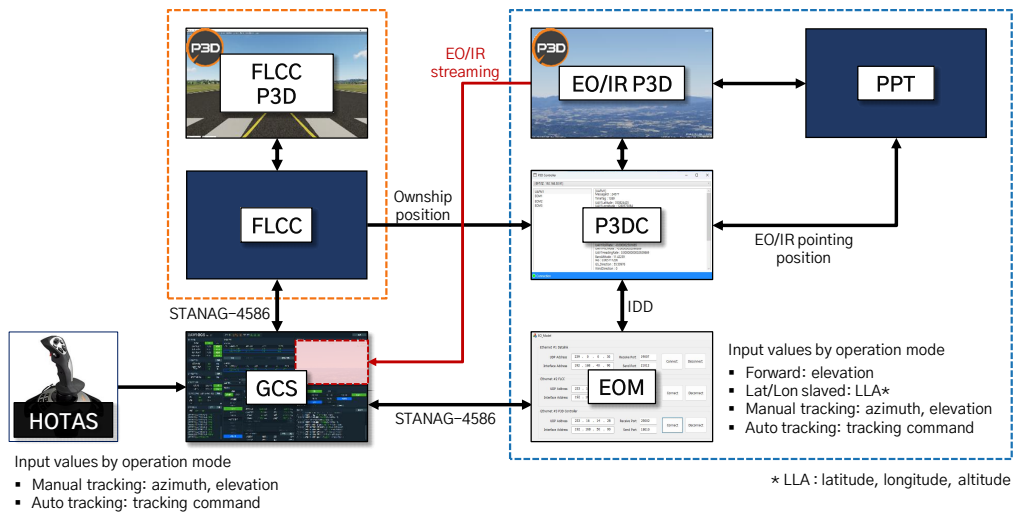
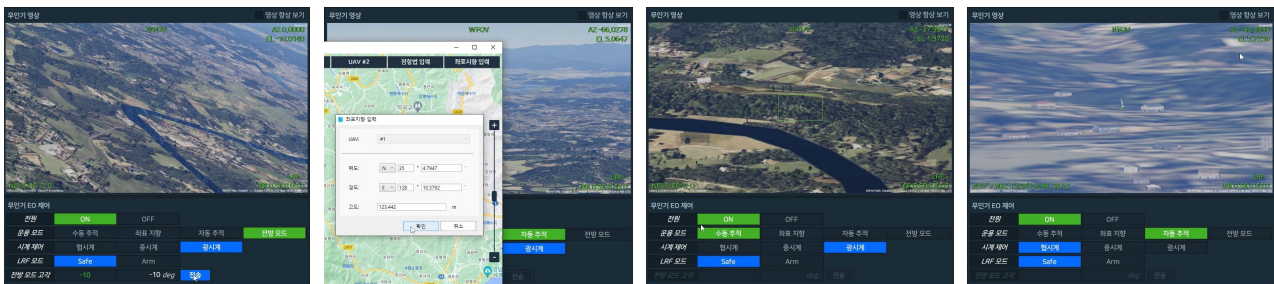


Fig. 8. Results of software implementation



(a) Forward mode

(b) Lat/Lon slaved mode

(c) Manual tracking mode

(d) Auto tracking mode

Fig. 9. Implementation of EO/IR Model by operation mode

3. 결론

본 논문에서는 무인 항공기 감시·정찰 임무 수행을 위한 EO/IR 센서 모의 소프트웨어를 항공 시뮬레이터인 Prepar3D를 활용하여 설계 및 구현하였다. 소프트웨어의 목적과 기능별로 EO/IR Model, Prepar3D Controller, Position Tracker 모듈을 개발하여 시스템을 모듈화함으로써 확장성과 유지보수성을 높였다. 제안된 소프트웨어는 EO/IR의 다양한 동작 모드(전방 주시, 좌표 지향, 수동 추적, 자동 추적)를 지원하며, GCS에서의 실시간 제어와 시뮬레이션 환경에서의 EO/IR 센서 기능을 검증하였다. 본 연구는 무인 항공기의 감시/정찰 임무에 있어 EO/IR 시스템의 기술 개발 및 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

[1] Fortune Business Insights, "Electro-Optical/Infrared (EO/IR) Systems Market Size, Share and Industry Analysis, By

Systems (Imaging System and Non-Imaging System), By Technology (Cooled and Uncooled), By Sensor Technology (Staring Sensor and Scanning Sensor), By Imaging Technology (Multispectral and Hyperspectral), By wavelength (Ultraviolet, Near Infrared, Short Wavelength Infrared), By Platform (Airborne, Land, and Marine/Naval), By End User, and Regional Forecast, 2024-2032,"

<https://www.fortunebusinessinsights.com>, 2024.

[2] Lockheed Martin Corporation, "Prepar3D,"

<https://www.prepar3d.com>.

[3] Seong Han Lee, and Young Woo Jo, "Prepar3D-based Manned/unmanned Aircraft Flight, Armed and Video Simulator Implementation Plan for Manned Unmanned-teaming System Validation," Proceeding of the KSAS 2022 Spring Conference, 2022, pp. 842-843.

[4] Jinwon Choi, "Developing Low-cost SIL/HILS Model for Unmanned Aircraft Using Prepar3D," Proceeding of the KNST 2023 winter Conference, 2023, pp. 399-400.

[5] Taewon Kim, Sinjoo Lee, Dongho Lee and Younggon Kim, "Design of Common DLI Message Module based on API for the System based on Construction of the Korean Unmanned Aerial Vehicle Interface Protocol," Journal of Platform Technology, Vol. 10, No. 4, 2022, pp. 25-38.