Research Paper

Journal of Aerospace System Engineering
Vol.15, No.1, pp.19-31 (2021)

EISSN 2508-7150
http://dx.doi.org/10.20910/JASE.2021.15.1.19

증강현실과 UAV 기반 응용 시스템을 위한 SILS 플랫폼 개발

조완주[1] · 강문혜[2] · 문용호[3,†]

[1]경상대학교 공학연구원
[2]경남과학기술대학교 교양학부
[3]경상대학교 공과대학 항공우주및소프트웨어공학부

Development of SILS platform for application system based on AR and UAV

Wan Joo Cho[1], Moon Hye Kang[2], Yong Ho Moon[3,†]

[1]Engineering Research Institute, Gyeongsang National university
[2]Gyeongnam National university of Science and Technology
[3]School of Aerospace and Software Eng., Gyeongsang National university

Abstract

Recently, the development of UAV application system using augmented reality (AR) has received much attention. In general, the design and implementation of UAV application system are verified with SILS techniques before actual flight experiments. However, existing SILS environment cannot be used to verify the application system based on AR and UAV because it does not include key features related to AR. To overcome this problem, we proposed an SILS platform that could be effectively used for the development of application systems based on AR and UAV. Simulation results on accuracy, efficiency, and scalability show that the proposed platform could be effectively utilized for the development of AR and UAV based-application systems.

초 록

최근 증강현실을 활용한 UAV 응용 시스템 개발에 많은 관심이 집중되고 있다. 일반적으로 UAV 응용 시스템 개발에서는 실제 비행 실험을 수행하기 전에 SILS 기법을 적용하여 시스템의 설계 및 구현을 검증하고 있다. 그러나 기존 SILS 환경은 증강현실 관련 핵심 사항들을 반영하지 못하고 있으므로 증강현실을 활용한 UAV 응용 시스템에 대한 효과적인 검증이 불가능하다. 본 논문에서는 이러한 문제를 극복하기 위하여 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발에 효율적으로 활용될 수 있는 SILS 플랫폼을 제안하였다. 정확성, 효율성, 확장성에 대한 모의 실험 결과는 제안하는 플랫폼이 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발에 효과적으로 활용될 수 있음을 보여준다.

Key Words : UAV(무인항공기), SILS(소프트웨어 수준 검증 시뮬레이션) Augmented Reality(증강현실), HMD(헤드 마운트 디스플레이), Software Platform(소프트웨어 플랫폼)

1. 서 론

오늘날 무인항공기 (UAV; unmanned aerial vehicle)는 신속성과 이동성을 기반으로 시설물 관리, 농약 방제, 물류 운송, 재난/재해 방지, 영상 촬영 등에 널리 활용되고 있다. 이러한 UAV의 활용은 고도화된 기능의 지속적인 개발을 통하여 국방, 공공 서비스, 민간 서비스 등의 다양한 영역으로 확대되고 있으며 새로운 산업군으로 자리매김하고 있다. 이처럼 UAV 활용의 필요성과 중요성이 증가함에 따라 다양한 유형의 UAV 응용 시스템 및 서비스가 활발하게 연구 개발되고 있다[1].

일반적으로 UAV 응용 시스템을 개발하기 위해서는 실제 비행 실험에 기초하여 UAV의 설계 및 구현이

Received: Sep. 29, 2020 Revised: Dec. 21, 2020 Accepted: Dec. 22, 2020
† Corresponding Author
Tel: +82-55-772-1374, E-mail: yhmoon5@gnu.ac.kr
Ⓒ The Society for Aerospace System Engineering

검증되어야 한다. 그러나 개발 초기부터 실제 UAV를 이용하여 실험을 수행할 경우 비용 증가 뿐만 아니라 잠재적인 사고 발생 위험이 증가된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 UAV 응용 시스템 개발에 있어서 현실 상황을 모의하는 시뮬레이션들이 단계적으로 수행되고 있다. 소프트웨어 수준 검증 시뮬레이션 (SILS; software in the loop simulation)은 기체 형상, 비행 역학 모델, 가상 비행 환경 등을 소프트웨어 수준에서 모의하고 이를 바탕으로 시스템을 검증하는 기법으로 알려져 있다. SILS를 통한 시스템 개발은 사고의 위험 없이 연구 및 개발을 수행할 수 있을 뿐만 아니라 궁극적으로 개발 기간 및 비용을 감소시킬 수 있다. 이러한 이유로 기존 UAV 응용 시스템 개발 관련 연구에서는 SILS 환경을 구축하여 시스템의 기능 및 성능을 검증하는 실험이 수행되어 오고 있다[2-5].

최근 시각, 촉각, 청각 등 다양한 형태로 현실 세계와의 상호작용을 지원하는 증강현실(AR; augmented reality) 기술이 발전함에 따라 이를 접목한 새로운 유형의 UAV 응용 시스템이 활발히 연구, 개발되고 있다[6-14]. 증강현실과 UAV를 이용한 응용 시스템은 모니터, 키보드, 마우스 등을 사용하는 기존의 UAV 응용 시스템과 달리 디스플레이 장비로 헤드 마운트 디스플레이 (HMD: head mounted display)가 사용되며 핸드 제스처와 같은 입력 인터페이스가 활용된다. 그런데 기존 SILS 환경은 이러한 증강현실 관련 핵심 사항들을 반영하지 못하고 있기 때문에 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발에 활용될 수 없는 문제를 지닌다. 따라서 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발에 효과적으로 활용될 수 있는 새로운 유형의 SILS 환경 구축이 필요하다.

본 논문에서는 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발에 효과적으로 활용될 수 있는 새로운 SILS 플랫폼을 제안하였다. 제안된 SILS 플랫폼은 기존 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 관련 연구들의 분석에 기초하여 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템을 효과적으로 검증할 수 있도록 개발되었다. 제안된 SILS 플랫폼은 가상 기체, 가상 FCC, 그리고 가상 비행 환경으로 구성되는 기존 SILS 환경을 기반으로 홀로렌즈 기반 증강현실 기능을 모의하는 소프트웨어 모듈과 시뮬레이션의 진행 및 모니터링을 수행하는 소프트웨어 모듈로 구성되었다. 본 논문에서는 제안된 플랫폼의 구성 요소 간 연동 및 효율적인 구동을 위한 인터페이스와 데이터 패킷을 새롭게 설계, 구현하였다. 그리고 구현된 플랫폼은 다양한 실험을 통하여 정상적으로 구동되는 것을 검증하는 동시에 플랫폼의 확장성, 편의성 등을 추가적으로 확인하였다.

2. 연구 배경 및 동향

2.1 SILS 관련 연구

UAV 응용 시스템 개발에 관한 연구들은 가상의 UAV와 가상의 비행 상황이 제공되는 SILS 환경을 구축하여 모의실험을 수행하여 오고 있다. Golizheh[2]는 클라우드 기반의 군집 드론 응용 프레임워크를 개발하기 위하여 Gazebo 시뮬레이터와 Pixhawk로 구성되는 SILS 환경을 구축하여 프레임워크 검증을 수행하였다. Abdur[3]은 음성인식 기반 드론 운용 소프트웨어를 개발하기 위해 PX4와 Gazebo 기반의 SILS 환경을 구축하였다. Qing[4]은 컴퓨터 비전 기법을 활용하여 구동되는 UAV를 테스트하기 위해 Pixhawk와 Gazebo로 구성되는 SILS 환경을 구성하였다. 그리고 Kim[5] 역시 PX4와 Gazebo 기반 시뮬레이션 환경을 구성하여 군집 드론 정찰 시스템 개발을 수행하였다.

지금까지 UAV 응용 시스템 개발을 위해 구축된 SILS 환경은 대부분 PX4와 Gazebo를 기반으로 하여 가상 UAV와 가상 비행 환경을 제공하고 있다. PX4와 Gazebo 시뮬레이터는 다양한 비행 모델과 센서 모델을 지원한 뿐만아니라 가상 환경 생성이 용이하여 활발한 커뮤니티를 보유하고 있다. 따라서 PX4와 Gazebo 기반의 SILS 환경은 이러한 장점을 기반으로 UAV 응용 시스템 개발에 많이 활용되어 오고 있다.

그러나 PX4와 Gazebo만으로 구성된 기존의 SILS 환경은 증강현실 장비와 증강현실에서 사용되는 다양한 입력 인터페이스를 모의하지 못한다. 따라서 기존 SILS 환경은 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템의 모의실험이 불가능한 상황이다. 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템에 대한 효과적인 모의실험 및 검증을 수행하기 위해서는 기존 SILS 환경에 증강현실 장비와 기능들을 효과적으로 모의할 수 있는 소프트웨어 모듈들이 추가된 새로운 SILS 플랫폼 구축이 필요하다.

Table 1. Analysis of Research Trends

Case	Related Works	AR Device	UAV Control	UAV Video	Flight Information
A	Erat[6]	Hololens	O	O	O
	Diego[7]	Hololens	O	X	O
	João[8]	Google Glass	O	O	X
B	Daniar[9]	Hololens	X	O	X
	Raul[10]	Hololens	X	O	O
	Atsushi[11]	Hololens	X	X	O
	Pratik[12]	Hololens	X	X	O
	Jeong[13]	HMD	X	O	X
	Zhihao[14]	HMD	X	O	O
	Sreeram[15]	Mobile phone	X	O	X
	Metehan[16]	PC	X	O	O
	Thon[17]	PC	X	O	X

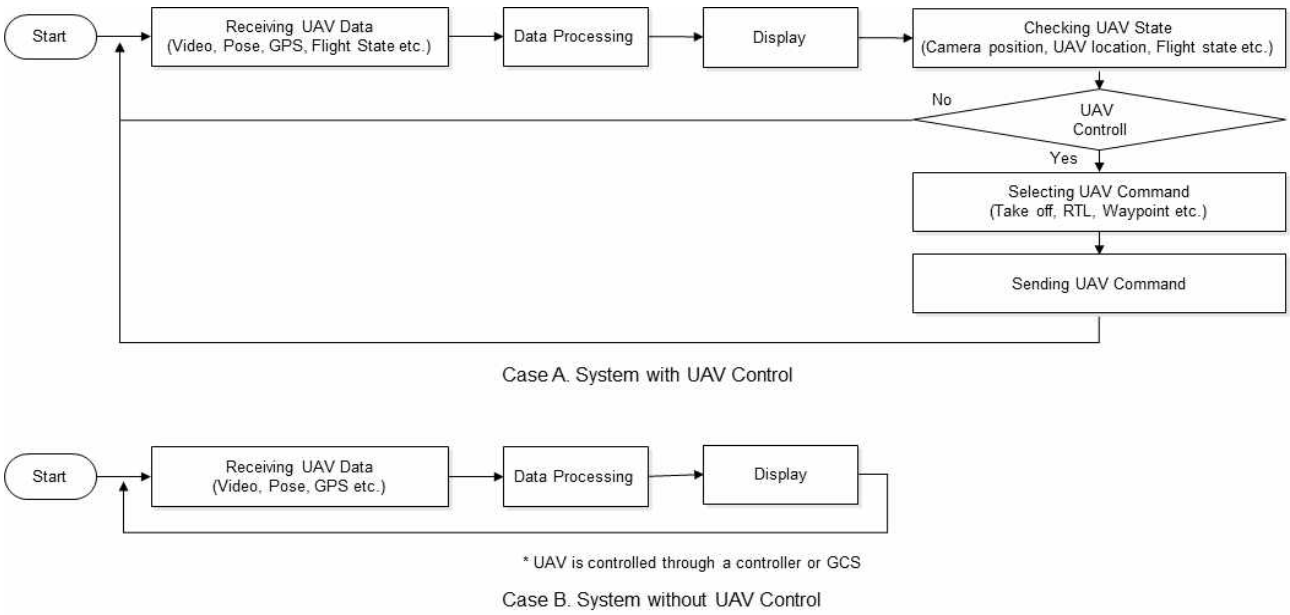


Fig. 1 Flow Chart of Application System based on AR and UAV

2.2 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 관련 연구 동향

최근 증강현실 기술이 활발히 연구, 개발됨에 따라 증강현실과 UAV를 융합한 응용 시스템 및 관련 서비스 개발에 관한 다양한 연구들이 진행되고 있다. Table 1은 지금까지 수행된 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발 관련 연구들을 정리, 분석한 결과이다. Table 1에서 알 수 있듯이 PC 또는 Mobile phone이 일부 사용되고 있지만, 대부분의 연구는 Hololens, Google glass 등의 HMD를 기반으로 증강현실을 구현하였다. 그리고 Table 1에 나타난 바와 같이 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발 연구들은 UAV 제어 기능을 포함하는 시스템(A)과 포함하지 않는 시스템(B)으로 분류할 수 있다. UAV 제어 기능을 포함하는 시스템은 UAV로부터 영상 또는 비행 정보를 수신하는 기능뿐만 아니라 제스처, 터치, 컨트롤러 등 AR 장비의 입력 인터페이스를 사용하여 UAV를 제어하는 기능을 지원하였다. 반면에 UAV 제어 기능을 포함하

지 않는 시스템은 UAV로부터 영상, 자세, 위치 등의 정보를 수신받아 목적에 맞게 가공함으로써 요구되는 기능만을 지원하는 것으로 나타났다.

Figure 1은 Table 1에 표시된 유형 A와 유형 B에 해당하는 시스템들에 대한 동작 흐름을 분석하여 도식화한 것이다. Figure 1의 (a)는 UAV 제어 기능을 포함하는 시스템에서의 동작 흐름도이다. (a)에 해당하는 시스템은 UAV로부터 수신받은 정보를 처리하여 디스플레이하고 목적에 따라 UAV 제어 명령을 선택, 전송하여 UAV를 제어하는 과정을 토대로 구동되었다. 반면에 Fig. 1의 (b)는 UAV로부터 정보 수신만을 지원하는 시스템의 경우로서 UAV로부터 데이터를 수신하여 목적에 맞게 가공한 후 필요한 정보를 디스플레이하는 일련의 과정을 토대로 동작하였다.

그런데 Table 1에 제시된 연구사례들은 SILS 환경의 부재로 인하여 소프트웨어 수준의 모의실험 및 검증을 생략하고 실제 환경에서 직접 드론을 구동하는 방식으로 시스템 검증을 수행하였다. 그 결과, 다양한 상황에 대한 기능 및 성능 검증이 불가능하였으며 이로 인하여 구현된 시스템의 신뢰성 확보에 한계가 존재하게 되었다. 또한, 불충분한 사전 실험 및 검증으로 인하여 비행 실험 시 사고 발생 가능성이 잠재적으로 증가할 수 있는 문제가 존재한다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서는 증강현실과 UAV 기반 시스템에 적합한 새로운 SILS 환경이 구축되어야 한다. 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템에 대한 모의실험을 수행하기 위해서는 기본적으로 Table 1에 제시된 연구사례들의 시스템 기능과 동작 흐름을 모의할 수 있는 환경 구축이 수행되어야 할 것이다. 즉, HMD를 기반으로 하여 UAV 제어 기능, 영상 수신 기능, 비행 정보 수신 기능 모두를 실험하고 검증할 수 있는 소프트웨어 플랫폼 개발이 요구된다.

3. 제안하는 SILS 플랫폼

본 논문에서는 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발을 위한 SILS 플랫폼에 대한 요구사항을 도출하고 이를 기반으로 소프트웨어 플랫폼을 제안하였다. 플랫폼의 요구사항은 기존 연구사례에 대한 분석 결과를 토대로 플랫폼이 갖춰야 할 구성 요소, 세부 기능, 구성 요소 간 인터페이스 및 연동 관련 사항들로 구성되었다. 플랫폼 설계는 요구사항에 대하여 기능 단위로 모듈을 구성한 후 각 모듈에 대한 세부 설계를 수행하였다.

3.1 요구사항

플랫폼의 요구사항은 기존 연구사례의 분석에 기반하여 기능 단위로 분류되어 도출되었다. 요구사항은 시스템 모의 환경 지원, 통합, 모니터링으로 분류되며, 각 요소의 세부 요구사항은 아래와 같다.

(1) 증강현실과 UAV 기반 시스템 모의 환경 지원
- 증강현실
  - HMD 기반 증강현실
  - 핸드 제스처와 같은 증강현실 입력 인터페이스
- UAV
  - 가상 UAV
  - 가상 비행 환경
  - 카메라 영상 및 비행 정보 전송
- 증강현실과 UAV
  - UAV로부터 영상 및 비행 정보 수신
  - 명령을 통한 UAV 제어

(2) 통합
- 구성 요소 간 연동을 위한 인터페이스 지원
- SILS를 위한 간결한 구조의 데이터 패킷 제공
- 플랫폼 모의 환경 및 기능에 대한 확장성 제공

(3) 모니터링
- 플랫폼 리소스 모니터링
- 증강현실 기능 모니터링
- GCS를 통한 가상 UAV 관제

시스템 모의 환경 지원 관련 요구사항은 증강현실과 UAV에 대한 모의실험 지원을 위해 도입된 것으로 증강현실, UAV, 증강현실과 UAV에 대한 요구사항으로 세분화되었다. 통합 요구사항은 플랫폼의 구성 및 확장을 위해 정의된 항목으로서 연동을 위한 인터페이스, 데이터 패킷 제공, 확장성 제공 관련 사항들을 분류되었다. 모니터링 요구사항은 실험 관측을 지원하기 위해 도입된 항목으로 플랫폼 리소스 모니터링, 증강현실 기능 모니터링, 그리고 UAV 관제를 위한 지상관제 시스템 (GCS; ground control system) 제공과

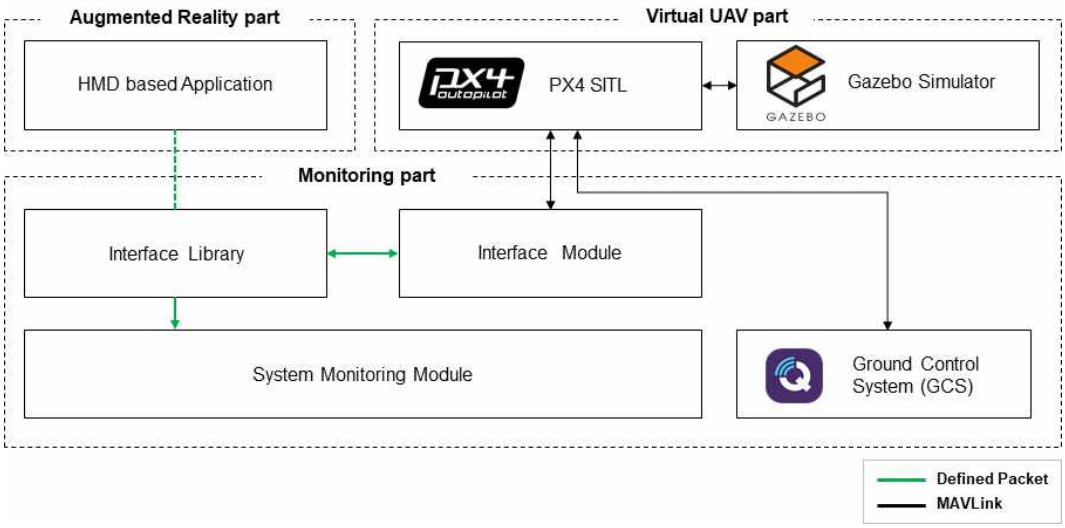


Fig. 2 Configuration of the Proposed SILS Platform

관련된 항목들로 구성되었다.

3.2 플랫폼 설계

본 절에서는 3.1절의 요구사항을 만족하는 SILS 플랫폼 개발을 위하여 플랫폼의 구성 및 동작을 정의하였다. 그리고 제안하는 플랫폼의 구동을 효과적으로 지원 가능한 데이터 패킷을 새롭게 정의하였다.

3.2.1 플랫폼 구성 및 동작

3.1절에 서술된 요구사항을 만족시키기 위하여 제안된 SILS 플랫폼은 Fig. 2와 같이 증강현실부(augmented reality part), 가상 UAV부(virtual reality part), 모니터링부(monitoring part)로 구성되었다. 증강현실부는 HMD 기반 증강현실 기기인 Hololens를 기반으로 증강현실 기능과 핸드 제스처 입력 인터페이스를 지원하며, 증강현실 애플리케이션을 탑재하여 증강현실과 UAV 활용을 모의하는 기능을 수행하도록 설계되었다. 가상 UAV부는 PX4와 Gazebo 기반의 가상 UAV와 가상 비행 환경이 구축되어 임무 수행, 데이터 전송 등의 기능들을 지원하도록 설계되었다. 모니터링부는 모니터링 기능과 구성요소 간 연동 기능을 지원하도록 설계되었다. 모니터링 기능은 증강현실부 모니터링 및 플랫폼 리소스 모니터링을 위한 시스템 모니터링 모듈(system monitoring module)과 가상 UAV부 모니터링을 위한 GCS로 구성되었다.

모니터링부는 증강현실부와 가상 UAV부간 연동을 지원하기 위해 인터페이스 라이브러리(interface library)와 인터페이스 모듈(interface module)로 구성되었다. 인터페이스 라이브러리는 증강현실부와 연동을 위한 것으로, 증강현실부에서 가상 UAV부의 비행 데이터, 영상, 비행 명령 등을 송수신하며, 모니터링 데이터를 시스템 모니터링 모듈로 전달하도록 설계되었다. 가상 UAV부와 연동을 위한 인터페이스 모듈은 가상 UAV부로부터 전달되는 가상 UAV의 비행 및 영상 정보를 변환하여 인터페이스 라이브러리로 전달한다. 아울러 증강현실부로부터 전달받은 UAV 제어 명령을 변환하여 가상 UAV부로 전송하도록 설계되었다.

기본적으로 SILS 플랫폼 설계는 요구사항을 만족시키는 플랫폼의 내부 구조와 플랫폼 구동을 정의하는 것이다. Fig. 2에 제시된 제안하는 SILS 플랫폼의 효율적인 구동을 위하여 본 논문에서는 기존 응용 시스템의 동작 흐름을 분석하여 제안하는 플랫폼의 동작을 FSM(finite state machine)으로 정의하였다. Fig. 3은 제안하는 플랫폼의 FSM을 도식화한 것으로 플랫폼의 상태는 Fig. 2의 플랫폼 구성에 따라 증강현실부 상태와 가상 UAV부 상태로 구성된다. 증강현실부에서는 기본 상태에서 입력된 명령에 따라 UAV 정보 수신, 디스플레이, 그리고 UAV 제어 명령 전송으로 내부 상태가 변화된다. 가상 UAV부에서는 가상 UAV 환경을 실행시키고, 증강현실부의 동작에 따라 UAV 정보 전송 상태와 UAV 제어 상태로 내부 상태가 천이된다.

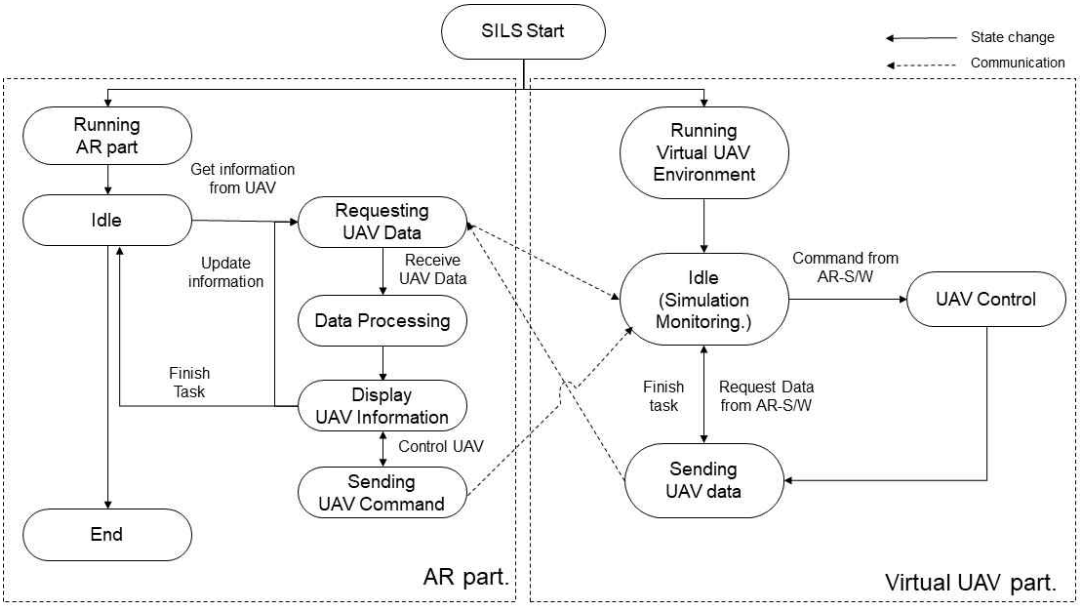


Fig. 3 Finite State Machine of the Proposed SILS Platform

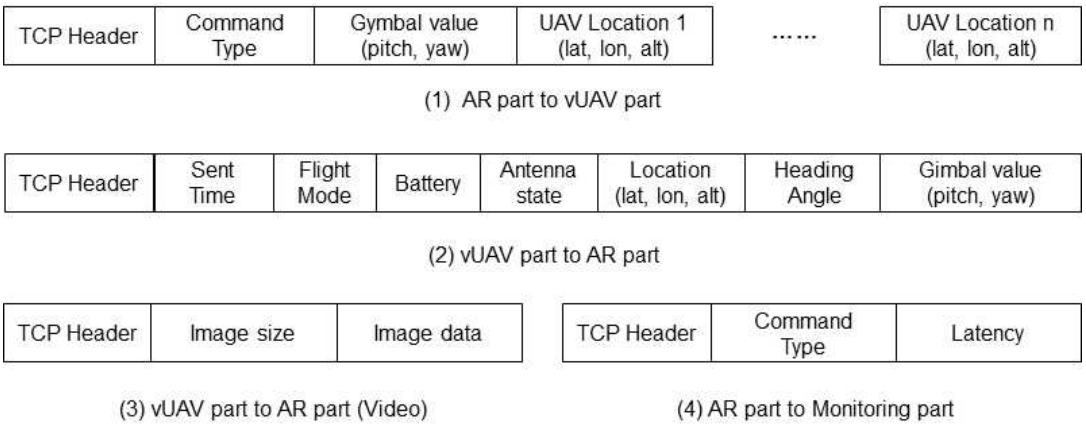


Fig. 4 Structure of Data Packet

3.2.2 데이터 패킷 설계

가상 UAV를 구현하는 데 이용되는 PX4와 Gazebo에는 기본적으로 오픈소스 UAV 운용 표준 프로토콜인 MAVLink가 사용된다. MAVLink는 시리얼 또는 UDP 기반에서 동작하도록 설계된 프로토콜로써, 다양한 통신 모드와 무결성을 지원하는 장점을 지니고 있다. 그러나 MAVLink는 기체의 저수준까지 다루고 있기 때문에 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템의 모의실험 측면에서 볼 때 불필요한 내용이 다수 포함되어 있다. 따라서 모의실험을 보다 효율적으로 지원하기 위해서는 MAVLink보다 간결한 형태의 패킷을 활용하는 것이 필요하다.

본 논문에서는 Table 1의 분석 결과를 기반으로 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템의 효율적인 모의실험을 위한 데이터 패킷을 정의하였다. Figure 4는 새롭게 정의된 데이터 패킷의 구조를 보여준다. 정의된 패킷은 TCP/IP를 기반으로 하므로 패킷의 신뢰성이 보장된다. Figure 4의 증강현실부에서 가상 UAV부로 송신되는 패킷은 이착륙, Waypoint 비행 등의 UAV 제어 명령과 관련 내용으로 구성된다. 그리고 가상 UAV부에서 증강현실부로 송신되는 패킷에는 UAV의 비행 상태, 위치, 배터리 등의 UAV 상태 정보들이 포함되었다. 또한, 비디오 패킷은 데이터 패킷과 별도로 정의하여 패킷 간 간섭이 발생하지 않도록 하였다.

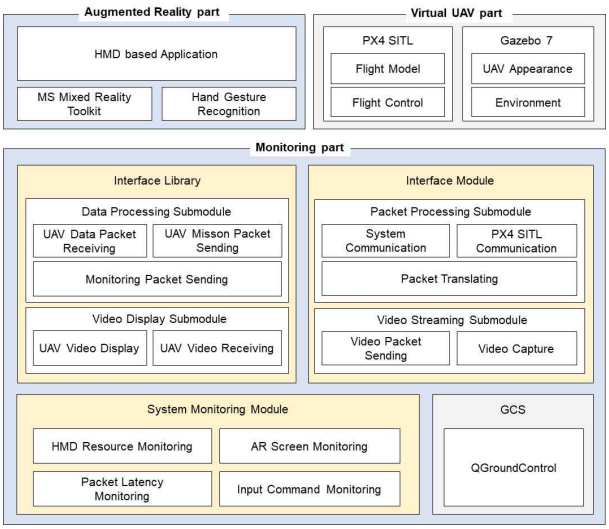


Fig. 5 Software Architecture of the Proposed SILS Platform

마지막으로 모니터링 데이터 패킷에는 증강현실부의 모니터링을 위한 정보들이 포함되었다.

3.3 플랫폼 상세 설계

본 절에서는 제안하는 SILS 플랫폼의 기능에 대한 상세 설계를 수행하였다. Figure 5는 상세 설계된 플랫폼의 소프트웨어 구조를 나타낸 것이다.

3.3.1 증강현실부

증강현실부는 증강현실 구현 장비인 Hololens의 사용을 고려하여 설계되었으며, Hololens의 mixed reality toolkit[18]을 이용한 HMD 기반 증강현실 환경과 핸드 제스처 인식 기능을 이용한 증강현실 입력 인터페이스, 그리고 증강현실 애플리케이션으로 구성되었다. HMD 기반 증강현실 환경은 가상의 평면 화면을 생성하여 증강현실에서의 UAV 영상 및 비행 정보의 확인과 버튼을 통한 UAV 제어를 위한 환경을 제공한다. 증강현실 입력 인터페이스는 Hololens의 핸드 제스처 인식 기능을 기반으로 증강현실로 보여지는 화면 및 버튼을 조작하기 위해 지원된다. 증강현실 입력 인터페이스는 Hololens에서 지원하는 제스처인 탭 제스처에 기초하여 Fig. 6과 같이 클릭과 드래그 입력을 사용하며, 사용자는 이를 통해 증강현실로 보여지는 화면과 버튼들을 조작할 수 있다.

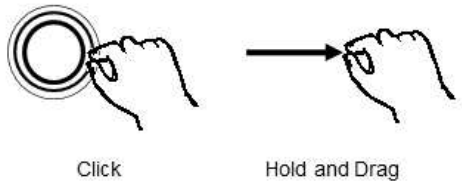


Fig. 6 Hand Gestures of Augmented Reality Part

증강현실 애플리케이션은 HMD 기반의 증강현실 환경과 증강현실 입력 인터페이스를 기반으로 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템의 모의 실험을 지원하기 위해 설계되었다. 증강현실 애플리케이션에는 UAV 촬영 영상 및 비행 정보의 디스플레이와 버튼을 통한 UAV 제어 기능이 포함되었다. 사용자는 증강현실 애플리케이션을 통해 증강현실로 구현된 UAV의 촬영 영상과 비행 정보를 보며, 제스처 입력으로 UAV 명령 버튼을 선택하여 UAV 제어를 수행할 수 있다.

3.3.2 가상 UAV부

가상 UAV부는 PX4와 Gazebo로 구성되었다. PX4는 FCC의 소프트웨어 모의 모드인 PX4 SITL (software in the loop) mode를 사용하였으며, 이는 가상 FCC 역할을 한다. PX4 SITL mode는 다양한 기체 모델과 운용 명령 입력뿐만 아니라 camera, lidar 등의 가상 센서를 지원하기 때문에 UAV를 활용한 다양한 유형의 모의실험을 가능하게 하는 장점이 있다. Gazebo는 PX4 SITL mode와 연동되어 가상 UAV가 활동할 가상 환경을 제공한다. Gazebo로 구현된 가상 환경은 사용자의 목적에 따른 수정이 가능하므로 화재 대응, 시설물 검사 등 다양한 상황을 고려한 실험을 지원할 수 있다.

3.3.3 모니터링부

모니터링부는 증강현실부와 가상 UAV부의 연동을 위한 인터페이스 라이브러리와 인터페이스 모듈, SILS 모니터링을 위한 시스템 모니터링 모듈, 그리고 GCS로 구성되었다.

인터페이스 라이브러리는 증강현실부와 연동을 위해 라이브러리 형태로 구성되었다. 인터페이스 라이브러리는 통신 안정성을 위해 데이터 프로세싱 서브 모듈(data processing submodule)과 비디오 디스플레이

서브 모듈(video display submodule)로 세분화되었다. 데이터 프로세싱 서브 모듈은 인터페이스 모듈로부터 UAV의 데이터 패킷을 수신하고, UAV 제어 명령을 인터페이스 모듈로 송신하도록 하였으며, 모니터링을 위한 시스템 정보를 시스템 모니터링 모듈로 송신하도록 설계되었다. 비디오 디스플레이 서브 모듈은 인터페이스 모듈로부터 비디오 패킷을 수신하고, 비디오 디스플레이 기능을 지원하도록 설계되었다.

인터페이스 모듈은 가상 UAV부와 연동을 위해 소프트웨어 모듈 형태를 가지며, MAVLink 통신을 통해 가상 UAV부와 연동되도록 설계되었다. 인터페이스 모듈은 패킷 프로세싱 서브 모듈(packet processing submodule)과 비디오 스트리밍 서브 모듈(video streaming submodule)로 구성되었다. 패킷 프로세싱 서브 모듈은 데이터 패킷을 처리하는 모듈로서 MAVLink와 새로 정의된 데이터 패킷 간 실시간 변환 기능을 수행하여 증강현실부와 가상 UAV간 데이터 통신을 가능하게 하였다. 그리고 비디오 스트리밍 서브 모듈은 비디오 패킷을 처리하는 모듈로서 가상 UAV에서 획득된 촬영 영상을 증강현실부로 전달하는 기능을 수행하도록 하였다.

시스템 모니터링 모듈은 플랫폼 리소스 모니터링과 더불어 증강현실부의 통신 및 동작에 대한 모니터링을 수행한다. 플랫폼 리소스 모니터링 기능은 Hololens의 CPU 및 메모리 사용량 등의 정보를 제공함으로써 시스템 성능을 확인할 수 있도록 설계되었다. 증강현실부에 대한 모니터링은 증강현실부와 가상 UAV부간 전달되는 패킷의 지연 시간을 측정하여 SILS 플랫폼의 통신 상태를 제공하도록 설계되었다. 또한, 증강현실부로부터 입력된 UAV 제어 명령을 디스플레이함으로써 명령 확인이 가능하며, 증강현실부의 동작 화면을 제공함으로써 사용자가 실시간으로 시스템의 정상 동작 여부를 확인할 수 있도록 설계되었다.

GCS는 PX4 및 Gazebo에서 공식적으로 지원하는 오픈소스 기반의 GCS인 QGroundControl를 사용하도록 설계되었다. QGroundControl은 MAVLink를 지원하고, UAV의 정보를 실시간으로 수신하며, 다양한 운용 명령을 UAV에 입력할 수 있기에 UAV 모니터링에 적합하다.

Table 2. PC Specification

	Virtual UAV Part	Monitoring Part
CPU	Intel i5-6600	Intel i7-3770
GPU	GeForce RTX 2070	GeForce GTX 1060
RAM	16 GB	12 GB
OS	Ubuntu 16.04 LTS	Windows 10 Pro

Fig 7. Environment of the Proposed SILS Platform

4. 구현 및 실험

본 장에서는 제안된 SILS 플랫폼을 구현하고, 구현된 플랫폼을 검증하기 위한 실험을 수행하였다.

4.1 구현

제안하는 SILS 플랫폼은 홀로렌즈 환경에서 구현된 증강현실부, PC 환경에서 구현된 가상 UAV부, 그리고 모니터링부로 구성되었다. Table 2는 구현 및 실험에 사용된 PC의 사양을 정리한 것이다. Figure 7은 제안하는 플랫폼의 실제 구성을 보여준다.

증강현실부에는 Hololens의 UWP Framework [19] 환경을 기반으로 HMD 기반 증강현실 환경과 제스처 입력 인터페이스를 사용하는 증강현실 애플리케이션이 구현되었다. Figure 8은 증강현실로 구현된 증강현실 애플리케이션의 실행 화면으로서 사용자의 HMD에 시현되어진다. 사용자는 Hololens를 착용하여 증강현실로 구현된 증강현실 애플리케이션을 통해 시스템의 조작을 수행할 수 있다. 증강현실 애플리케이

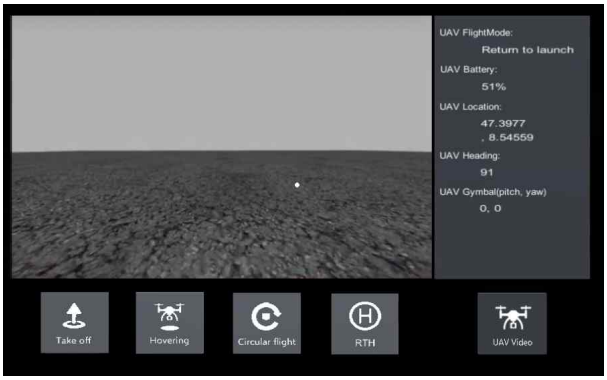


Fig. 8 AR Application for SILS

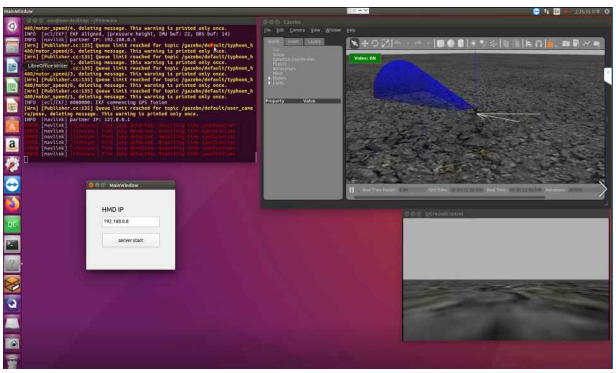
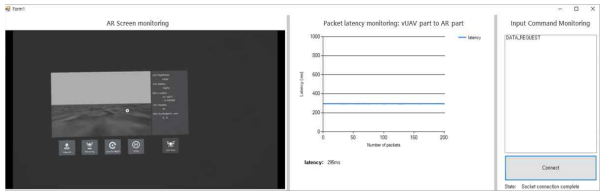


Fig. 9 Virtual UAV Part based on PX4 and Gazebo

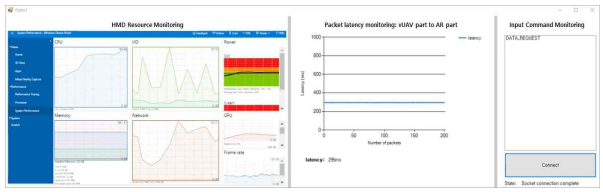
션에는 사용자가 UAV 영상과 비행 정보를 볼 수 있도록 영상 및 비행 정보의 디스플레이 화면이 기본으로 배치되었으며, 디스플레이 화면 하단에는 이륙, 호버링, 선회 비행, 리턴홈 등의 UAV 제어를 위한 버튼이 배치되었다. 사용자는 Fig. 6과 같은 핸드 제스처 입력을 통해 증강현실로 구현된 UAV 제어 버튼을 선택하여 UAV로 제어 명령을 전달할 수 있다.

가상 UAV부는 Fig. 9과 같이 PX4와 Gazebo 기반으로 구현되었다. Figure 9의 좌측 커멘트 창은 PX4의 실행 화면이며, Fig. 9의 우측 창은 Gazebo를 통해 구현된 가상 환경과 가상 UAV의 촬영 영상을 보여준다. UAV 모델은 카메라 기능을 공식 지원하는 Typhoon H480이 사용되었다.

모니터링부의 인터페이스 라이브러리는 증강현실부와의 연동을 위해 DLL 형태로 구현되었다. 인터페이스 라이브러리의 데이터 프로세싱 서브모듈은 인터페이스 모듈로부터 전달받은 패킷을 해석하여 UAV 정보를 증강현실부로 제공하며, 증강현실부의 UAV 제어



(a) AR Screen Monitoring State



(b) HMD Resource Monitoring State

Fig. 10 Monitoring Module

명령을 정의된 패킷 형태로 구성하여 인터페이스 모듈로 전달하도록 구현되었다. 비디오 디스플레이 서브모듈은 증강현실부에서의 가상 UAV 촬영 영상 확인을 지원하고 인터페이스 모듈로부터 수신받은 영상 패킷을 이미지 형태로 변환한 후 증강현실부로 전달하도록 구현되었다.

인터페이스 모듈은 Ubuntu 16.04 환경에서 동작하며, C++ Qt 기반으로 개발되었다. 인터페이스 모듈의 패킷 프로세싱 서브 모듈은 MAVSDK[20]를 사용하여 정의된 패킷과 MAVLink간 변환이 수행되고 가상 UAV부로부터 받은 UAV 정보를 10 Hz의 속도로 증강현실부로 전달하도록 구현되었다. 비디오 스트리밍 서브 모듈은 Gazebo에서 가상 UAV의 촬영 영상을 획득하여 정의된 패킷 형태로 변환한 후 인터페이스 라이브러리로 전달하도록 구현되었다.

시스템 모니터링 모듈은 HMD 리소스 모니터링, 증강현실부 실행 화면 모니터링, 패킷 지연 시간 모니터링, UAV 제어 명령 모니터링 기능을 제공하도록 구현되었다. Figure 10에서 HMD 리소스 모니터링과 증강현실부의 실행 화면 모니터링은 Hololens 관리 페이지 기능을 통해 구현되어 화면 좌측에 배치되었으며, 사용자가 선택하여 사용할 수 있다. 증강현실부 실행 화면 모니터링 기능은 증강현실 애플리케이션의 화면을 디스플레이하여 SILS 중인 대상 시스템의 동작에 대한 모니터링을 가능하게 하였으며, HMD 리소스 모니터링 기능은 HMD의 CPU, GPU, RAM 사용량을 디스

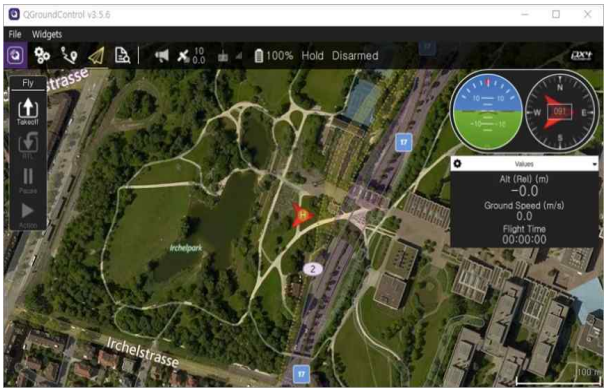


Fig. 11 GCS based on QGroundControl

플레이하여 시스템 성능을 확인할 수 있게 하였다. 패킷 지연 시간 모니터링은 화면 중앙에 배치되었으며, 인터페이스 모듈과 인터페이스 라이브러리를 통해 측정된 가상 UAV부와 증강현실부간 패킷 지연 시간을 차트 형식으로 디스플레이하여 통신 상태 확인이 가능하도록 구현되었다. UAV 제어 명령 모니터링은 화면 우측에 배치되었으며, 증강현실부에서 가상 UAV부로 보내는 명령을 실시간으로 디스플레이하여 증강현실부의 입력이 정상적으로 전달되었는지 확인할 수 있도록 구현되었다.

Figure 11에 제시된 GCS는 오픈소스 기반의 QGroundControl 3.5.6 버전을 사용하여 UAV 모니터링 기능이 구현되었다. QGroundControl 기반의 UAV 모니터링은 UAV의 비행경로, 비행 정보 확인과 UAV에 비행 임무 부여가 가능하여 UAV 모니터링에 적합하다.

4.2 실험 및 결과

본 논문에서는 제안된 SILS 플랫폼의 정확성을 평가하기 위하여 패킷 검사 및 기능 검증 실험을 수행하였다. 그리고 추가적으로 플랫폼의 리소스 사용률과 환경을 살펴봄으로써 플랫폼의 효율성, 확장성, 편의성을 확인하였다.

플랫폼의 정확성 확인은 패킷 검사 실험과 기능 확인 실험을 통해 이루어졌다. 패킷 검사는 플랫폼의 구성 요소 간 정상적인 연동 여부를 파악하기 위한 것으로, 증강현실부와 가상 UAV부를 연결하는 인터페이스 라이브러리와 인터페이스 모듈에 대해 수행하였다. 시스템 모니터링 모듈은 플랫폼 연동이나 SILS 수행에

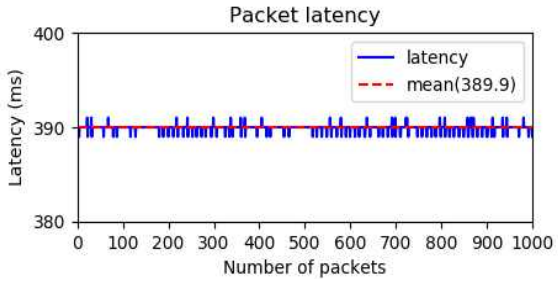


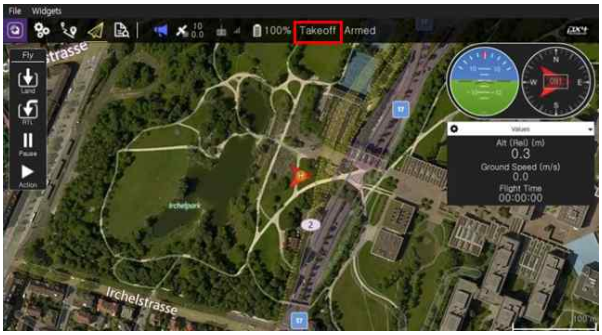
Fig. 12 Test Result of Packet Latency

Fig. 13 Functional Test for Verification of Platform

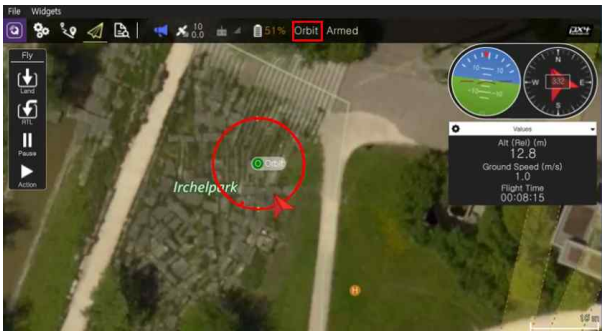
간섭하지 않고 데이터 수신만 수행하기 때문에 실험에서 제외하였다. 실험은 인터페이스 모듈에서 인터페이스 라이브러리로 10Hz의 속도로 전송되는 패킷을 조사하여 패킷 누락 여부 및 지연 시간을 측정함으로써 플랫폼 연동의 정확성을 확인하였다.

실험 결과, 인터페이스 모듈에서 송신되는 패킷은 TCP/IP 기반으로 전송되어 인터페이스 라이브러리에서 누락 없이 정상 수신되었으며, 이는 송신 패킷과 수신 패킷의 비교를 통하여 확인되었다. 패킷 전송의 지연 시간은 Fig. 12에서 보이듯이 평균 389.9 ms, 최대 392 ms, 최소 388 ms이며, 모든 패킷의 지연 시간이 평균에서 ±2 ms인 것으로 파악되었다. 기존 연구[21]에 근거해 볼 때 이러한 결과는 플랫폼의 구성 요소가 정상적으로 연동하여 동작함을 의미한다.

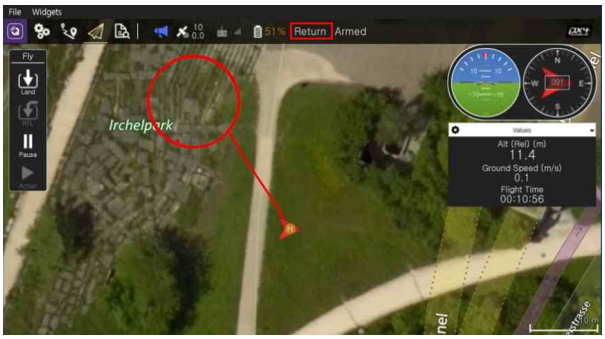
그리고 본 논문에서는 플랫폼 기능들의 정상 구현을 검증하는 실험을 수행하였다. 실험은 실험자가 증강현실부의 HMD 기반 증강현실 애플리케이션을 사용하여 UAV 촬영 영상 및 비행 정보를 수신하고, UAV를 제어하는 것으로 진행되었다. Figure 13은 실험자가 실제 실험에 참여한 장면을 보여준다. 실험 결과, 증강현



(a) Take off



(b) Orbital Flight



(c) Return to Launch

Fig. 14 Results of UAV Control Test

실부에서 UAV 영상 정보와 임무 상태, UAV 위치, 헤딩 등의 비행 정보가 정상 수신됨을 확인하였다. 그리고 Fig. 14에서 보이듯이 증강현실부에서 UAV에 이륙, 리턴홈, 궤도 비행을 명령하고, GCS를 이용하여 UAV의 상태 변화를 관측한 결과, UAV가 정상 동작함을 확인하였다. 이러한 사실은 제안하는 플랫폼의 기능들이 정상적으로 구현되어 Table 1에 제시된 기존 응용 시스템에서 요구되는 UAV 제어, UAV 정보 수신, UAV 촬영 영상 디스플레이 기능들이 제안하는 플랫폼에서 모두 지원됨을 의미한다.

본 논문에서는 플랫폼의 정확성 검증과는 더불어 플랫폼의 효율성, 확장성, 편의성을 확인하였다. 일반적으로 HMD는 PC에 비해 사용 가능한 리소스가 매우 부족하다. 이러한 이유로 HMD의 리소스 사용률을 측정하여 플랫폼의 효율성을 파악하는 것은 의미있는 방안일 것이다. 제안된 플랫폼에서 동작하는 HMD의 리소스 사용률을 측정한 결과, SILS 중 HMD의 평균 CPU 사용률은 50%, 평균 메모리 사용률은 65%로 확인되었다. 이러한 사실은 제안된 플랫폼이 자원적인 문제없이 설계된 기능들을 효율적으로 수행한다는 것을 보여준다.

제안된 SILS 플랫폼의 증강현실부에는 본 논문에서 새롭게 정의된 패킷 구조가 반영되어 있기 때문에 Oculus 등과 같은 다른 유형의 HMD를 사용하는 것이 가능하다. 또한 가상 UAV부는 Mavlink를 지원하는 JMavsim[22], Airsim[23] 등의 다른 시뮬레이터로 확장이 용이하다. 더구나 제안된 SILS 플랫폼은 플랫폼 사용의 편의성을 향상시키기 위하여 오픈 소스와 QT, UWP Framework 등의 범용적인 환경을 기반으로 구현되어 직관적인 메뉴와 실험 결과 화면을 제공하였다.

5. 결 론

증강현실과 UAV 기반 응용 시스템의 개발은 기존 UAV 응용 시스템의 개발과 같이 실제 비행 실험을 수행하기 전에 SILS 기법에 통하여 검증되어야 한다. 그러나 기존에 구축된 SILS 환경은 증강현실 관련 핵심 사항들이 충분히 고려되지 않아서 증강현실 기술을 기반으로 하는 UAV 응용 시스템의 효과적인 검증이 불가능한 문제가 존재하였다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발을 위한 SILS 플랫폼을 제안하였다. 본 논문에서 제안된 SILS 플랫폼 개발을 위해 기존의 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 관련 연구들을 분석하였고, 분석 결과에 기반하여 SILS 플랫폼의 구조와 동작을 설계하였다. 제안된 SILS 플랫폼은 HMD 기반의 증강현실을 지원하는 증강현실부, 가상 UAV 및 가상 비행 환경을 지원하는 가상 UAV부, 구성 요소간 연동 및 실험 모니터링을

위한 모니터링부로 구성되었다. 제안된 플랫폼은 모의 실험을 통하여 플랫폼의 정확성, 효율성, 확장성 등에 대한 검증이 수행되었으며, 실험 결과는 제안하는 SILS 플랫폼이 증강현실과 UAV 기반 응용 시스템 개발에 효과적으로 활용될 수 있음을 보여주었다.

후 기

본 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 성과임(No. NRF- 2018R1D1A1B07043365)

References

[1] Changhwan Joe, Seongjoon Park, Inseop Um, Hwangnam Kim, “Exploring Trends and Technologies in Drone Development,“ *Communications of the Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, vol 37, no. 1, pp. 10-19, January 2019.

[2] G. Mehrooz, E. Ebeid and P. Schneider-Kamp, "System Design of an Open-Source Cloud-Based Framework for Internet of Drones Application," *22nd Euromicro Conference on Digital System Design*, pp. 572-579, 2019.

[3] A. R. Fayjie, A. Ramezani, D. Oualid and D. J. Lee, "Voice enabled smart drone control," *Ninth International Conference on Ubiquitous and Future Networks*, pp. 119-121, 2017.

[4] Q. Bu, F. Wan, Z. Xie, Q. Ren, J. Zhang and S. Liu, "General simulation platform for vision based UAV testing," *IEEE International Conference on Information and Automation*, pp. 2512-2516, 2015.

[5] Doyoon Kim, Sung Tae Moon, Lee Dongoo, “Simulation System Development for Swarm Flight Reconnaissance System” *The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, pp. 661-663, June 2019.

[6] Erat, O., Isop, W. A., Kalkofen, D., and Schmalstieg, D., “Drone-Augmented human vision: Exocentric control for drones exploring hidden areas.“ *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics,* vol. 24, no. 4, pp. 1437−1446, April 2018.

[7] Vaquero-Melchor, D., García-Hospital, J., Bernardos, A. M., Besada, J. A., and Casar, J. R., “Holo-mis: A mixed reality based drone mission definition system.“ *20th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, Conference Proceedings Adjunct,* pp. 365−370, 2018.

[8] Teixeira, J. M., Ferreira, R., Santos, M., and Teichrieb, V., “Teleoperation using google glass and ar, drone for structural inspection.” *16th Symposium on Virtual and Augmented Reality,* pp. 28−36, 2014.

[9] Widiyanti, D. E., and Shin, S. Y. “UAV-assisted Military Mapping System using HoloLens UAV-assisted Military Mapping System using HoloLens.” *KICS Winter Conference*, pp. 1260-1261, February 2020.

[10] Raúl Llasag, Diego Marcillo, Carlos Grilo, Catarina Silva, “Human Detection for Search and Rescue Applications with UAVs and Mixed Reality Interfaces.”, *14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies*, pp. 1-6, 2019.

[11] Mori, A., and Itoh, Y. “Dronecamo: Modifying human-drone comfort via augmented reality.”, *Adjunct Proceedings of the 2019 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality*, pp. 167−168, 2019.

[12] Pradhan, P., “Development of Holographic User Interface for UAV Ground Control using Microsoft HoloLens.” *ryerson university faculty of engineering, architecture and science*, April 2017.

[13] Jeong, M., Lee, H., Bae, M., Shin, D. B., Lim, S. H., & Lee, K. B., “Development and Application of the Smart Helmet for Disaster and Safety.”, *9th International Conference on Information and Communication Technology Convergence,* pp. 1084−1089, 2018.

[14] Cai, Z., Chen, M., and Yang, L., “Multi-source information fusion augmented reality benefited decision-making for unmanned aerial vehicles: A

effective way for accurate operation.", *Proceedings of the 6th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications*, pp. 174-178, 2011.

[15] Sreeram, S., Nisha, K. K., and Jayakrishnan, R., "Virtual Design Review and Planning Using Augmented Reality and Drones.", *Proceedings of the 2nd International Conference on Intelligent Computing and Control Systems*, pp. 915-918, 2018.

[16] Unal, M., Bostanci, E., Sertalp, E., Guzel, M. S., and Kanwal, N. "Geo-location Based Augmented Reality Application for Cultural Heritage Using Drones.", *2nd International Symposium on Multidisciplinary Studies and Innovative Technologies*, 2018.

[17] S. Thon, D. Serena-Allier, C. Salvetat, F. Lacotte, "Flying a drone in a museum: An augmented-reality cultural serious game in Provence.", *Digital Heritage International Congress*, vol. 2, pp. 669-676, November 2013.

[18] Mixed Reality Tool Kit manual, https://microsoft.github.io/MixedRealityToolkit-Unity/Documentation/WelcomeToMRTK.html.

[19] UWP framework manual, https://docs.microsoft.com/ko-kr/windows/uwp/get-started/universal-application-platform-guide.

[20] MAVSDK manual, https://mavsdk.mavlink.io/develop/en/index.html.

[21] J. Zhao, R. S. Allison, M. Vinnikov and S. Jennings, "The Effects of Visual and Control Latency on Piloting a Quadcopter Using a Head-Mounted Display," *2018 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, Miyazaki, Japan, pp. 2972-2979, 2018.

[22] JMavsim (2020 August 20), https://github.com/PX4/jMAVSim.

[23] Shital Shah and Debadeepta Dey and Chris Lovett and Ashish Kapoor, "AirSim: High-Fidelity Visual and Physical Simulation for Autonomous Vehicles", *Field and Service Robotics,* pp. 621-63, November 2017.