

분산형 ADS-B를 이용한 UAM 감시체계 설계 및 구현

Design and Implementation of UAM Surveillance System using Distributed ADS-B

배윤수 · 박효준 · 강이슬 · 장윤석 · 한수민 · 장병준

Yunsu Bae · Hyojun Park · iseul Kang · Yunseok Jang · Sumin Han · Byung-Jun Jang

요 약

본 논문에서는 ADS-B 기반의 UAM 감시체계를 새롭게 제안하고, 이를 설계 및 구현하였다. 제안된 시스템은 국내 무인항공기 임무용 주파수인 5,120 MHz를 사용하였고, 도심 전파 환경을 고려하여 ADS-B 수신기를 분산 배치하였다. 제안된 시스템에서 UAM 기체는 저비용의 SDR 기반 송신기를 사용하여 5,120 MHz 대역에서 ADS-B 메시지를 전송한다. 링크 버짓을 고려하여 UAM 회랑을 따라 분산 배치된 수신기는 실시간으로 비행 정보 신호를 수신함과 동시에, SNR을 측정하여 전파 환경을 분석한다. 제안한 솔루션은 기존 항공기와의 간섭을 피하고 분산형 다중 수신기 배치를 통해 감시 사각지대를 제거한다. 또한, UAM 전파 환경 분석 기능을 수행할 수 있다.

Abstract

In this study, we proposed a new ADS-B-based UAM surveillance system that has been designed and implemented. The proposed system used 5,120 MHz, which is the domestic UAV mission frequency, and distributed the ADS-B receivers according to the urban radio environment. In the proposed system, the UAM aircraft transmitted ADS-B messages in the 5,120 MHz band using low-cost SDR-based transmitters. Receivers were distributed along the UAM corridor, considering the link budget, received flight information signals in real time, and analyzed the radio environment by measuring the SNR. The proposed solution can avoid interference with existing aircraft and eliminate blind spots through distributed multireceiver deployment. In addition, it can perform a UAM radio environment analysis.

Key words: UAM, UAM Surveillance System, ADS-B System, SDR

I. 서 론

도심 항공 모빌리티(UAM, urban air mobility)는 도심 내에서 UAV(urban air vehicle)를 활용하여 사람과 화물 등을 신속하게 운송하는 미래 항공 교통 체계이다. UAM

은 도시의 인구 밀도가 증가함에 따라 교통 혼잡 문제, 물류 운송 비용 증가 등의 문제를 해결할 수 있는 중요한 대안으로 각광받고 있다^{[1]~[3]}. 이에 따라 UAM에 대한 관심이 더욱 높아지고 있으며 관련 연구 역시 활발히 이루어지고 있다^{[4]~[9]}. 특히, 국토교통부는 ‘한국형 도심항공

「본 과제(결과물)는 교육부와 한국연구재단의 재원으로 지원을 받아 수행된 첨단분야 혁신융합대학사업의 연구 결과입니다.」

국민대학교 전자공학부(Department of Electrical Engineering, Kookmin University)

· Manuscript received October 4, 2024 ; Revised October 30, 2024 ; Accepted November 27, 2024. (ID No. 20241004-108)

· Corresponding Author: Byung-Jun Jan (e-mail: bjjang@kookmin.ac.kr)

교통(K-UAM) 로드맵'에서 2025년에 UAM 상용서비스를 도입하고 2030년 상용화를 목표로 하고 있다^[10].

이러한 UAM 시스템의 안전성과 효율성을 보장하기 위해서는 고도화된 UAM 감시체계(surveillance system)가 동반되어야 한다. 하지만 아직까지 UAM 감시체계 표준은 마련되어 있지 않다. UAM 감시체계 기술로써 언급되는 후보 기술은 기존 항공기 감시 시스템인 1,090 MHz 대역 ADS-B(automatic dependent surveillance-broadcast)이다^{[11],[12]}. ADS-B는 종래 항공기의 효과적인 감시체계로써 그 성능이 입증되어 널리 사용되고 있다. 현재, 국제민간항공기구(ICAO)와 각국의 규정에 따라 대부분의 상업용 항공기와 일정 크기 이상의 일반 항공기에 필수적으로 장착되어 있다. 미국 연방항공국(FAA)은 2020년 1월부터 미국 공역에서 운항하는 대부분 항공기에 대해 ADS-B out 장비의 의무 장착을 요구하고 있다^[13]. ADS-B는 항공기 간, 항공기와 지상 간의 통신을 중심으로 안전한 비행, 효과적인 관제에 있어 유용한 감시 시스템이다. 항공기는 GNSS 정보를 포함한 자신의 비행 정보 신호를 고출력으로 방송하고 지상에서는 이 정보들을 수신하여 항공 교통 관제 및 모니터링을 수행하게 된다.

따라서 이미 성능이 입증되어 널리 사용되고 있는 ADS-B 시스템을 UAM 시스템에 적용하려는 연구들이 활발히 진행되고 있다^{[14],[15]}. 하지만 1,090 MHz 대역을 그대로 사용한다면 기존 항공기들이 사용하는 ADS-B와 주파수 간섭 문제가 발생할 수 있다. 또한, 항공기용 ADS-B 송신기는 고출력 장치인데, 도심 내에서 고출력 장치는 전파 환경에 악영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제점들을 고려하여 ADS-B를 UAM 감시체계에 맞게 수정하여 사용할 필요가 있다. 또한 UAM 감시체계는 공항과 같은 개활지가 아닌 도심 지역의 감시체계이므로 빌딩들에 의해 가려질 수 있는 도심 속 NLOS(non-line-of-sight) 환경에서의 통신 안정성, 전파 간섭 상황의 대비, 비용 효율적인 설계 등을 고려하여 설계되어야 한다.

이러한 배경에서 본 논문은 국내 UAM 운용환경에 맞게 국내 무인항공기 임무용 주파수로 할당된 5,120 MHz에서 동작하는 ADS-B 송수신 시스템을 설계하고 회로에 다수의 수신기를 배치하여 이러한 문제들을 해결하는 새로운 UAM 감시체계를 제안한다. 주파수는 기존 ADS-B

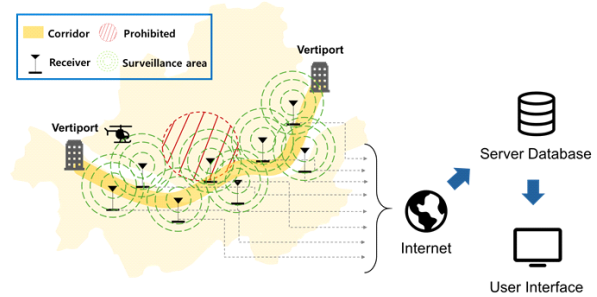


그림 1. 제안한 UAM 감시 시스템 개념도

Fig. 1. Proposed UAM surveillance system block diagram.

와 간섭을 피하기 위해 국내 무인항공기 임무용 주파수로 제안된 5,090~5,150 MHz 대역을 사용하고^[16], 저렴한 SDR을 이용하여 송수신기를 구성하였다. 특히, UAM이 운용되는 도심 지역은 개활지와 다르게 NLOS 환경, 전파 간섭 등을 고려할 필요가 있다. 따라서 UAM 감시 시스템의 링크 버젯, 회로의 길이, 넓이 및 비용 등을 고려했을 때, 저비용의 SDR을 활용한 수신기를 회로 내에 다수 배치하여 감시 사각지대를 최소화하고 전파 환경에 따라 유동적으로 대응할 수 있도록 설계하였다. 수신기들은 서버와 인터넷으로 연결되어 실시간으로 UAM 정보를 수신함으로써 회로의 UAM 기체들을 모니터링하고 전파 환경을 분석할 수 있다. 따라서 본 연구가 제안하는 분산형 ADS-B를 활용한 UAM 감시체계는 도심 지역의 문제점들을 해결하고 전파 환경 분석이 가능하다. 그림 1은 제안된 시스템의 개념도를 나타내었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 제안한 UAM 감시 시스템을 설명하고 III장에서는 시스템 구현 방법을 설명한다. IV장에서는 실험 결과를 제시하고 V장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 제안한 UAM 감시 시스템의 설계

본 연구에서 제안된 ADS-B 시스템은 기본적으로 항공기용 ADS-B 시스템과 변조 방식은 동일하나 UAM 탑재를 고려하여 낮은 송신기의 출력과 주파수에 차이가 있다. 표 1에 기존 ADS-B와 제안하는 ADS-B의 차이를 보여준다. 여기서 중심 주파수는 국내 무인항공기 임무용 주파수로 할당된 주파수 대역의 중심 주파수인 5,120

표 1. 기존 ADS-B와 제안하는 ADS-B 비교

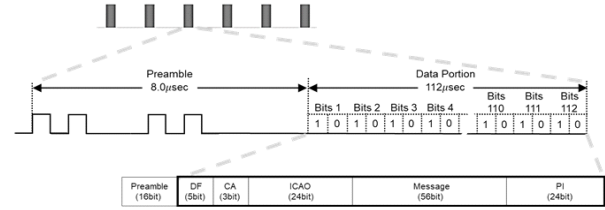
Table 1. Comparison between conventional ADS-B and proposed ADS-B.

Parameter	Conventional ADS-B	Our system
Frequency	1,090 MHz	5,120 MHz
Bandwidth	2 MHz	≥ 2 MHz
Transmit power	42.6~44.3 dBm	10 dBm (Changeable)
Data rate	1 Mbps	≥ 1 Mbps
Modulation	BPPM (binary pulse position modulation)	

MHz를 사용하였다. 출력은 기존 ADS-B 송신기의 고출력, 장거리 특성을 UAM에 맞게 수정하여 소형화된 송신기의 구현을 위하여 10 dBm로 정하였다. 만약 1 W까지의 출력을 요구한다면 별도의 전력증폭기를 포함하여 설계할 수 있다. 또한, 향후 높은 data rate의 필요성을 고려하여 sampling rate를 기존의 10배로 하여 data rate를 10 Mbps로 구현하였다. 제안된 UAM ADS-B 모델은 SDR과 소프트웨어(GNURadio)로 구현하였다. 디지털신호처리 도구인 GNURadio 프레임워크는 사용자의 요구에 따른 파라미터 변경이 편리하여 향후 UAM에 적합한 통신방식이 선정되었을 경우 이와 같은 상세 파라미터 조정이 반영될 수 있다. 변조 방식은 기존 ADS-B와 동일한 BPPM(binary pulse position modulation)을 사용하고 향후 기술기준에서 변조 방식이 변경된다면 이 또한 소프트웨어로 구성하였으므로 쉽게 변경할 수 있다.

ADS-B 신호의 패킷 구성은 그림 2(a)와 같이, 프리앰블(preamble)과 페이로드(payload)로 구성된다. Preamble은 기존 ADS-B와 동일하고 payload는 downlink format 17을 사용하는 extended squitter 구조를 갖도록 하였다. 이 구조는 downlink format, capability, aircraft ID, message, parity information을 포함하여 총 112 bit로 구성된다. Payload bit는 1(Ms/s)의 속도로 BPPM 변조된다. 따라서 하나의 패킷은 preamble 8 usec와 BPPM을 거친 payload 112 usec를 더한 120 usec의 길이를 가진다.

설계된 ADS-B extended squitter는 기존 ADS-B extended squitter와 마찬가지로 하나의 패킷에 하나의 정보만을 담는다. 이 정보는 aircraft ID, 고도, GNSS, 속도 등을 포함하며, 이는 message(56 bit) 부분에 담기는데, 수신부는



(a) 사용된 ADS-B 패킷 구성

(a) ADS-B packet structure

type (5)	Status/Ant (2+1)	Altitude (12)	T (1)	CPR (1)	Lat Long (34)			
type (5)	Sub-type (3)	Intent (1)	IFR (1)	NUC (3)	Horizontal Velocity (22)	Vertical Velocity (22)	Turn (2)	Diff Baro Alt (8)
type (5)	Movement (7)	Status (1)	Heading (7)	T (1)	CPR (1)	Lat Long (34)		
type (5)	A/C type (3)	8 Character Aircraft Callsign (48)						
type (5)	A/C type (3)	Event Data (48)						

(b) ADS-B extended squitter 메시지

(b) ADS-B extended squitter messages

그림 2. 사용된 ADS-B 패킷 구성 및 ADS-B extended squitter 메시지

Fig. 2. Configuration of ADS-B packet and ADS-B extended squitter messages.

type code에 따라 정보의 종류를 구분하여 수신한다. type code는 message(56 bit) 부분의 가장 앞부분 5비트에 위치하여 메시지가 담고 있는 정보와 메시지의 형식을 결정한다. 그림 2(b)는 type code로 결정되는 5가지 종류의 메시지 형식을 나타내었다.

제안된 UAM ADS-B 시스템은 수신기를 회랑에 다수 분산 배치하여 구현된다. 이때, 변경된 중심 주파수 및 송신기 출력에 따라 분산 배치될 수신기의 수는 링크 버젓, 회랑의 길이, 넓이 그리고 비용 등을 고려하여 적절히 배치할 필요가 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 서울을 횡단하는 회랑을 설정하였고 이에 대해 링크 버젓과 분산 배치되는 수신기의 개수를 계산하였다. 이때, 송신 전력은 1 W, 송신 안테나 이득은 6d Bi, 송신기와 수신기의 케이블 손실은 각각 0.3 dB, 3 dB의 페이딩 마진을 고려하였고, 수신기의 수신감도는 USRP B210 SDR을 이용하여 실험적으로 측정한 -75.4 dBm을 가정하였다. 수신 안테나는 UATM 지역을 비행하는 UAM 기체를 지상에서

지향하여야 하는데, 따라서 수신 안테나는 실험 시 사용할 12 dBi 야기-우다 안테나를 가정하였다. 서울지역 UAM 회랑은 길이 38 km, 넓이 1 km로 설정하였다. 그림 3에 링크 버জে트를 나타내었다. 이를 바탕으로 그림 4에 Friis 전송 공식을 이용하여 EIRP와 수신 안테나 이득에 따라 서울지역 UAM 회랑에 설치될 수신기의 수를 계산하였다. 회랑은 LOS 환경을 가정하였고, 각 수신기는 감시 반경에 맞게 감시 사각지대를 최소화할 수 있도록 회랑을 따라 배치된다. 감시 반경은 제시한 수신 감도에서 10 dB 이상 SNR이 확보되는 범위를 가정하였다. 수신기 안테나 이득이 높을수록, 송신기의 EIRP가 클수록 수신기의 수가 반비례하여 작아짐을 확인하였다. 본 연구 결과는 향후 UAM 회랑에 적합한 UAM 감시체계를 위한 기술기준을 정할 때 참고가 될 수 있으며, 실제로는 수신기를 추가로 배치하여 감시 사각지대를 최소화할 수 있다.

III. 제안한 UAM 감시 시스템의 구현

제안한 분산형 ADS-B를 활용한 UAM 감시체계는 중심 주파수 5,120 MHz ADS-B 송신기, 분산 배치된 ADS-B 수신기, 서버와 user interface의 3가지 주요 구성 요소로 구현된다. UAM 기체는 제안된 ADS-B 송신기를 통해 자신의 정보를 방송하며 회랑을 비행한다. 회랑 곳곳에 링크 버জে트와 전파 환경 등을 고려하여 적절히 배치된 수신기는 송신된 ADS-B 신호를 수신하여 정보를 추출한 후 서버에 수신된 UAM 정보를 전달한다. 서버와 UI에서는

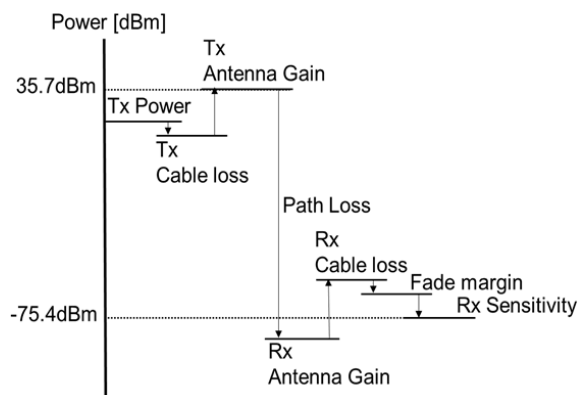
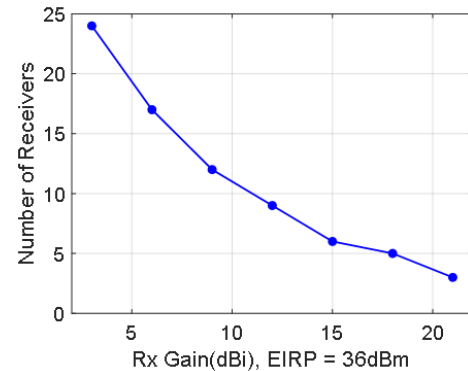
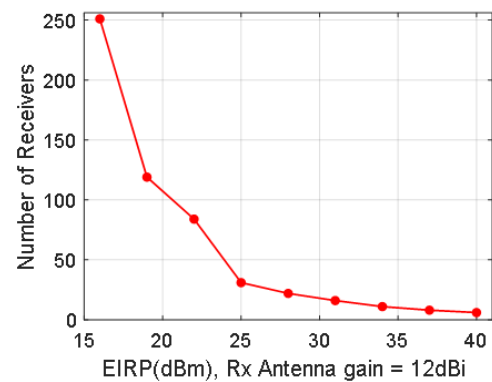


그림 3. 제안한 UAM 감시 시스템 링크 버জে트
Fig. 3. Link budget of proposed UAM surveillance system.



(a) 수신기 안테나 이득에 따른 결과
(a) Results based on receiver antenna gain



(b) 송신 EIRP에 따른 결과
(b) Results based on transmitter EIRP

그림 4. EIRP와 수신 안테나 이득에 따른 수신기 개수
Fig. 4. The number of receivers based on eirp and receiving antenna gain.

수신한 정보들을 모으고 가공하여 항공 교통 상황을 실시간으로 모니터링하고 감시하게 된다.

3-1 ADS-B 송신기

Pseudo ADS-B 송신기는 Pixhawk 2.4.8 FC(Flight Controller), M8N GNSS Sensor, Raspberry Pi4, USRP B200mini SDR(software-defined radio), VERT2450 안테나로 구성된다. 송신기 블록도를 그림 5에 나타내었다. 기존의 ADS-B 시스템은 GNSS 센서, IMU 센서, 고도 센서 등의 데이터를 기반으로 작동하는데, 마찬가지로 Pseudo ADS-B 시스템은 UAM 기체 FC의 데이터를 기반으로 작동한다. UAM 기체에 탑재된 송신기는 회랑을 비행하며

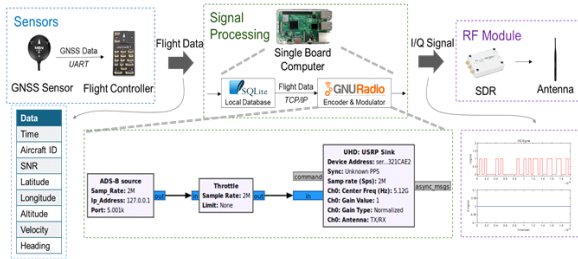


그림 5. 제안한 ADS-B 송신기 블록도

Fig. 5. Proposed ADS-B transmitter block diagram.

Pseudo ADS-B 신호를 방송하며 비행한다.

Pixhawk 2.4.8 FC는 내장된 IMU 센서를 통해 UAM 기체의 속도, 자세 정보 등을 계산하고 M8N GNSS 센서로부터 GNSS 정보를 전달받는다. 이 기체 운행 정보들은 USB 인터페이스를 통해 Raspberry Pi4의 SQLite 데이터베이스에 순차적으로 저장된다. 그림 5의 아래는 GNURadio의 Pseudo ADS-B 신호 처리 블록도이다. Python 블록으로 작성된 ADS-B source 블록은 데이터베이스에 기체 운행 정보가 저장될 때마다 소켓 통신을 통해 이를 바이트 형태로 가져온다. 블록 내에서 바이트 형태의 기체 운행 정보는 ADS-B 인코딩을 통해 112 bit extended squitter 비트열로 변환된 다음, BPPM 과정을 거쳐 112 symbol로 이루어진 baseband 신호로 변환된다. 생성된 Pseudo ADS-B baseband 신호는 preamble과 함께 흐름제어 블록인 throttle 블록을 지나 USRP sink 블록으로 입력된다. USRP sink 블록은 USRP SDR 플랫폼 제어를 담당하는 블록으로 사용자는 중심 주파수, 송신 이득 등의 파라미터를 입력하고 그에 따라 USRP SDR이 동작한다. USRP sink 블록이 입력받은 baseband 신호는 USB 인터페이스를 통해 USRP B200mini로 전달되고 DAC를 거쳐 아날로그 신호로 변환된 다음, 5,120 MHz 주파수 대역으로 up-conversion 되어 무지향성 안테나인 VERT2450을 통해 방사된다.

3-2 다중 분산 배치된 ADS-B 수신기

Pseudo ADS-B 수신 시스템은 수신기를 링크 버젓과 전파 환경에 맞게 회로를 따라 분산 배치하여 구현한다. 각 수신기는 자체 제작한 5,120 MHz 대역 야기-우다 안테나, USRP B210 SDR과 PC로 구성된다. 그림 6은 수신

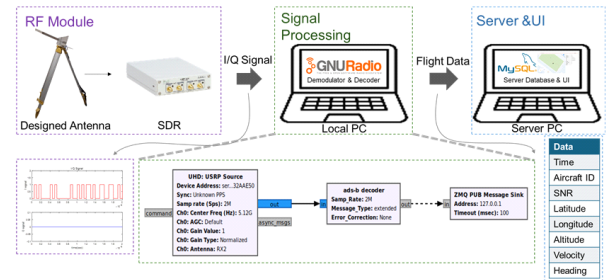


그림 6. 제안한 ADS-B 수신기 블록도

Fig. 6. Proposed ADS-B receiver block diagram.

기 구성을 나타내었다. 그림 6의 아랫부분은 수신부의 GNURadio 블록도이다. USRP source 블록은 USRP B210을 제어하는데, 마찬가지로 사용자가 직접 중심 주파수, 샘플링 속도, 중심 주파수, 수신 이득 등의 파라미터를 입력할 수 있고 이에 맞게 하드웨어 동작을 명령한다. USRP B210은 Pseudo ADS-B 신호를 수신하고 수신된 신호는 down-conversion 후에 ADC를 거쳐 USB 포트를 통해 GNURadio의 USRP source 블록으로 전달된다. ADS-B decoder 블록은 Python으로 작성된 사용자 정의 블록으로, USRP source 블록에서 출력된 baseband ADS-B 신호를 해석한다. 먼저, 수신된 데이터는 스트림 형태로 버퍼에 저장된다. 이후, 이 스트림에서 메시지의 위치를 식별한다. ADS-B preamble 파형과 버퍼에 저장된 스트림 형태 데이터의 상관 연산을 통해 preamble 열을 찾아내는데, 상관 연산 결과 첨두치 값이 기준값을 초과하는 위치가 preamble의 위치이자, ADS-B 메시지의 시작점이다. 이로부터 preamble이 감지된 위치에서 ADS-B 신호의 payload 열을 추출할 수 있다. 이 Payload 열은 수신된 신호의 Eb/N0 값에 따라 조정되는 threshold 값을 기준으로 0과 1의 비트열로 변환된다. 변환된 비트열은 패리티 정보를 통해, 메시지의 무결성을 계산한 뒤 ADS-B 메시지 형식에 맞게 해석된다. 해석된 신호는 byte 타입으로 TCP/IP 네트워크 프로토콜을 사용하는 ZMQ PUB message sink를 통해 MySQL 서버로 전달된다.

3-3 서버와 사용자 인터페이스

서버 시스템은 여러 위치에 설치된 수신기를 활용한 구조에 기반하여 구축되었으며, 데이터의 수신 및 저장을

위한 서버는 MySQL 데이터베이스 소프트웨어를 사용하였다. 서버는 TCP/IP 프로토콜을 통해 수신기로부터 byte 타입 비행 정보를 수신하며, 수신된 기체 운행 정보는 그림 7(a)에 나타난 MySQL 비행 데이터 테이블에 차례로 저장된다. 이 정보에는 timestamp, SNR, aircraft ID, latitude, longitude, altitude, vertical rate, heading, speed 등이

id	timestamp	SNR	AIRCRAFTID	LAT	LON
1	1725000147	41.01377401351929	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
2	1725000148	39.170600509643556	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
3	1725000149	37.36836585998535	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
4	1725000149	36.52823123931885	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
5	1725000150	35.12797031402588	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
6	1725000150	36.05943117141724	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
7	1725000150	36.35290060043335	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
8	1725000153	35.87545785903931	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
9	1725000153	36.427489852905275	abcdef	37.610577082229874	126.99657937754756
10	1725000153	34.97164640426636	abcdef	37.610595703125	126.99657683676863

(a) MySQL 서버의 비행 데이터 테이블
(a) Flight data table of MySQL server



(b) 회랑 지도 사용자 인터페이스
(b) Corridor map interface

ID	942
AIRCRAFTID	abcdef
TIMESTAMP	1725001192
SNR	43.024689292907716
LAT	37.610716738943324
LON	126.99628083602242
ALTITUDE	350
VERTICAL RATE	N/A
HEADING	260
SPEED	2

(c) 기체 운행 정보 사용자 인터페이스
(c) UAM operation status interface

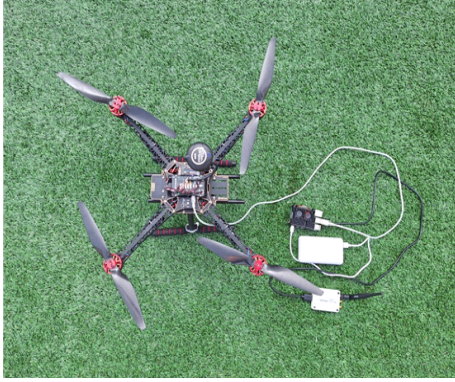
그림 7. 서버와 사용자 인터페이스
Fig. 7. MySQL server and user interface.

포함된다. 서버의 네트워크는 와이파이 공유기에 연결되어 있으며, 공유기의 포트 포워딩 설정을 하여 수신기 등의 특정 외부 포트를 통해 들어오는 패킷이 서버 내부 IP 주소의 데이터베이스 포트에 라우팅 되도록 구성되어 있다. 각 수신기는 공유기의 외부 IP와 외부 포트 정보를 알고 있을 때, 서버 PC의 로컬 데이터베이스에 데이터를 저장하거나 변경할 수 있다. 이 설정은 외부 네트워크에서의 서버 접근을 가능하게 하여 여러 대의 수신기로부터 데이터 수신을 가능하게 한다. 이러한 구성을 통해 서버는 안정적으로 효율적인 데이터 수신과 처리를 보장하며, 시스템 전체의 데이터 통합성과 안정성을 유지한다. 데이터베이스는 UAM 기체의 실시간 기체 운행 정보를 중앙에서 처리하고 저장하는 중추적인 역할을 담당하고 데이터베이스에 담긴 정보들은 user interface를 통해 시각화할 수 있다.

User interface는 Flask frame work와 Naver map API를 이용하여 구현하였다. 이 인터페이스는 웹 기반 응용 프로그램으로써, 서버로부터 실시간 업데이트되는 기체 운행 정보를 동적으로 시각화하여 사용자에게 제공한다. 이는 HTML과 CSS를 사용하여 구현되었고, 특히 Naver map은 사용자가 지도 위에 표시된 비행경로를 쉽게 파악할 수 있도록 한다. 기체 운행 정보 업데이트는 서버로부터 발생하는 이벤트를 통해 처리되며, 신규 비행 정보가 수신될 때마다 지도 위의 기체 마커와 데이터 테이블이 업데이트되어 현재 기체 운행 정보를 반영한다. 또한 기록된 기체 운행 정보 중 GNSS 정보를 이용하여 기체가 이동한 경로를 그리고 추적할 수 있다. 그림 7은 이 시스템의 user interface이며 그림 7(b)는 Naver map API에 표시되는 기체의 현재 위치와 이동 경로를 나타낸다. 그림 7(c)는 실시간으로 출력되는 기체의 운행 정보를 표로 나타낸다.

IV. 실험 결과

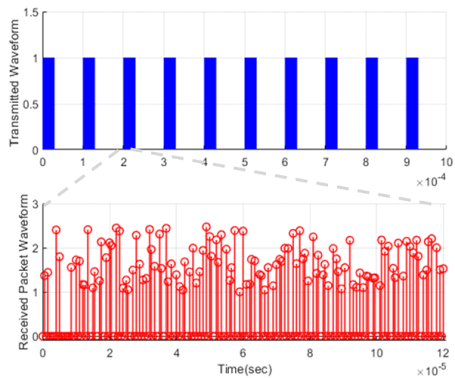
실험은 그림 8과 같이 국민대학교 운동장을 회랑으로 가정하여 수행되었다. 송신기는 UAM 기체에 해당하는 S500 연구용 드론 아래에 탑재하였다. 송신기 구성 중 FC는 드론의 비행을 제어하며 동시에 각종 센서를 통해 얻



(a) 송신기를 장착한 드론
(a) Transmitter in drone



(b) 설치된 수신기
(b) Receiver



(c) 송신 파형과 수신 파형
(c) Transmitted and received packet waveform

그림 8. 국민대학교 운동장 실험 환경 및 송신 및 수신 파형

Fig. 8. Experimental setup at Kookmin University and transmitted and received packet waveform.

는 속도, 자세 등의 기체 운행 정보를 처리한다. 신호 처리 컴퓨터를 담당하는 라즈베리파이4는 FC로부터 수신한 센서 정보를 가공하여 baseband 신호를 생성하고 SDR은 안테나를 통해 ADS-B 신호를 방사한다. 안테나는 VERT2450 무지향성 안테나를 사용하고 이를 드론의 아래에 배치하여 전파가 아래 방향으로 퍼져나가게 배치하였다. 수신기는 삼발이로 고정한 안테나와 USRP B210, Local PC로 구성하였고, LOS 환경을 가정하여 가로 100미터 세로 55미터의 운동장 양 끝에 하나씩 배치하였다. 각 수신기는 국민대학교 Wi-Fi를 통해 서버 PC와 인터넷으로 연결되고 기체 운행 정보를 수신하여 서버로 전달하게 된다. 송신하는 pseudo ADS-B 신호에 대해 수신기에서의 오버플로를 방지하기 위하여 pseudo ADS-B 패킷은 그림 8(c)의 그래프와 같이 임의의 시간 차를 두고 송신된다. 자체 제작한 야기 우다 안테나와 USRP B210을 통해 수신된 pseudo ADS-B 신호는 그림 8(c)의 아래 그래프와 같이 데이터 파일로 추출하여 확인하거나 GNURadio GUI에서 패킷 단위 파형으로 실시간으로 확인할 수 있다. 실험은 운동장 내에서 지정한 경로를 따라 UAM 기체를 조종하며 실시간으로 기체 운행 정보, 주행 경로, 현재 위치를 확인하는 방법으로 진행되었다. 분산형 ADS-B를 활용한 UAM 감시체계의 감시체계 검증 과정은 3가지 경우로 나뉘는데, 1번 수신기에서 신호를 수신하고, 2번 수신기에서 신호를 수신하지 못하는 경우, 두 수신기 모두 신호를 수신하는 경우, 1번 수신기에서는 신호를 수신하지 못하고 2번 수신기에서 신호를 수신하는 경우로 나뉜다. UAM 기체가 회랑을 주행하는 동안 서버는 3가지 경우 모두 UAM 기체 운행 정보와 주행 경로, 기체의 위치를 안정적으로 출력함을 확인하였다.

V. 결 론

분산형 ADS-B를 활용하여 국내 실정에 맞는 UAM 감시체계의 개발 및 구현은 다가오는 UAM 시스템의 상용화에 유용한 감시체계로써 동작할 수 있다. 본 논문에서 제안한 UAM 감시체계는 저렴한 SDR을 이용하여 수신기를 제작하고 이를 다중 분산 배치함으로써 감시 사각지대를 줄일 수 있는 장점이 있다. 또한, 구현된 수신기는

신호의 SNR을 측정함으로써 전파 환경 map을 그릴 수 있으며 이에 따라 특정 지역의 수신기 수를 줄이거나 추가로 배치하여 유동적으로 대응할 수 있다. 향후 연구에서는 ADS-B RF fingerprinting 기술을 제안된 시스템에 적용하고 연구하여, UAM 기체의 고유 신호 특성을 기반으로 하는 UAM 기체 식별 및 분류 가능성을 검토할 예정이다. 또한, 회랑 내 다수의 UAM 기체가 비행할 것이며, 이에 따라 UAM 동시처리 capacity를 추가로 연구할 계획이다. 이를 통해 제안된 시스템에 비해 효율적이고 보안성을 갖춘 감시체계를 구축할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] A. Straubinger, R. Rothfeld, M. Shamiyeh, K. D. Büchter, J. Kaiser, and K. O. Plötner, "An overview of current research and developments in urban air mobility: Setting the scene for UAM introduction," *Journal of Air Transport Management*, vol. 87, p. 101852, Jun. 2020.
- [2] F. Naser, N. Peinecke, and B. I. Schuchardt, "Air taxis vs. taxicabs: A simulation study on the efficiency of UAM," *AIAA Aviation 2021 Forum*, pp. 2021-3202, Jul. 2021.
- [3] L. A. Garrow, B. J. German, and C. E. Leonard, "Urban air mobility: A comprehensive review and comparative analysis with autonomous and electric ground transportation for informing future research," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 132, p. 103377, Nov. 2021.
- [4] R. Gillani, S. Jahan, and I. Majid, "A proposed communication, navigation & surveillance system architecture to support urban air traffic management," in *2021 IEEE/AIAA 40th Digital Avionics Systems Conference(DASC)*, San Antonio, TX, Oct. 2021.
- [5] C. Reiche, C. McGillen, J. Siegel, and F. Brody, "Are we ready to weather urban air mobility(UAM)?," in *2019 Integrated Communications, Navigation and Surveillance Conference(ICNS)*, Herndon, VA, Apr. 2019, pp. 16-25.
- [6] A. Straubinger, E. T. Verhoef, and H. L. F. de Groot, "Will urban air mobility fly? The efficiency and distributional impacts of UAM in different urban spatial structures," *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 127, p. 103124, Jun. 2021.
- [7] UAM Team Korea, *K-UAM Concept of Operations 1.0*, Incheon, UAM Team Korea. 2021.
- [8] M. Keller, Š. Hulínská, and J. Kraus, "Integration of UAM into cities: The public view," *Transportation Research Procedia*, vol. 59, pp. 137-143, Nov. 2021.
- [9] S. Han, J. S. Lee, J. M. Cho, G. Hwang, and B. J. Jang, "Real-time broadband drone RF signal monitoring using low-cost multi-SDRs," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 35, no. 4 pp. 257-264, Apr. 2024.
- [10] Ministry of Land, Infrastructure and Transport, "Korean urban air transportation(K-UAM) roadmap to open the sky of the city," Sejong, Korea, May. 2020.
- [11] N. Ruseno, C. Y. Lin, and S. C. Chang "UAS traffic management communications: The legacy of ADS-B, new establishment of remote ID, or leverage of ADS-B-like systems?," *Drones*, vol. 6, no. 3, p. 57, 2022.
- [12] M. C. Ertürk, N. Hosseini, H. Jamal, A. Şahin, D. Matolak, and J. Haque, "Requirements and technologies towards uam: Communication, navigation, and surveillance," in *2020 Integrated Communications Navigation and Surveillance Conference(ICNS)*, Herndon, VA, Sep. 2020, pp. 2C2-1-2C2-15.
- [13] *Federal Aviation Administration(FAA), 14 CFR Part 91 General Operating and Flight Rules*, 91.225, Jan. 2020.
- [14] M. G. Ahn, S. J. Lee, K. Seong, "ADS-B transponder design and test plan for collision avoidance of transport drones," *The Korean Institute of Communications and Information Sciences(KICS) Summer Conference 2022*, pp. 1236-1237, Jun. 2020.

- [15] G. Gelli, I. Iudice, D. Pascarella, "A cloud-assisted ADS-B network for UAVs based on SDR," in *2022 IEEE 9th International Workshop on Metrology for AeroSpace(MetroAeroSpace)*, Pisa, Jun. 2020, pp. 7-12.

- [16] Ministry of Science, ICT and Future Planning(MSIP), "Supply of unmanned aerial vehicle frequencies to revitalize new ICT convergence industries," Gwacheon, Korea, Dec. 2016.

배 윤 수 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0009-0003-2780-4148>



2020년 3월~현재: 국민대학교 전자공학
부 재학
[주 관심분야] RF 회로 및 시스템, 무선
시스템, 전파응용

장 윤 석 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0009-0008-2251-6135>



2019년 3월~현재: 국민대학교 전자공학
부 재학
[주 관심분야] RF 회로 및 시스템, 무선 시
스템, 전파응용

박 호 준 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0009-0007-9265-1239>



2020년 3월~현재: 국민대학교 전자공학
부 재학
[주 관심분야] RF 회로 및 시스템, 무선
시스템, 전파응용

한 수 민 [국민대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-2074-2867>



2016년 3월~2022년 2월: 국민대학교 전
자공학과 (공학사)
2022년 8월~현재: 국민대학교 석사과정
[주 관심분야] RF 회로 및 시스템, 무선
시스템, 전파응용

강 이 슬 [국민대학교/학부생]

<https://orcid.org/0009-0008-3667-1048>



2020년 3월~현재: 국민대학교 전자공학
부 재학
[주 관심분야] RF 회로 및 시스템, 무선
시스템, 전파응용

장 병 준 [국민대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0002-5295-6050>



1990년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
사)
1992년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
석사)
1997년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학
박사)
1995년 3월~1999년 1월: LG전자(주)
1999년 1월~2003년 9월: 한국전자통신연구원 무선방송연구소
2003년 10월~2005년 8월: 정보통신연구진흥원
2013년 9월~2015년 8월: 미래창조과학부 민간전문가(CP)
2005년 9월~현재: 국민대학교 전자정보통신공학부 교수
[주 관심분야] RF회로 및 시스템, 무선시스템, 전파응용