

연속적인 파형 신호를 시분할한 고효율 드론 재머에 관한 연구

신수현*, 최성연**

A Study on High-Efficiency Anti Drone Jammer by Time-Division of Continuous Wave Signal

Soo-Hyun Shin*, Sung-Yun Choi**

요 약

본 논문은 불법적인 목적 또는 군사적 목적의 비행체가 중요한 보호구역에 진입할 때, 이 항공기가 비행하는 것을 방지하기 위해서 강력한 전파 교란신호를 발생시키는 장치의 신호원에 관한 연구이다. 이 신호원은 강력하고 효율적인 재밍신호를 발사하기 위하여 연속적인 신호의 파형을 시분할하여 단위 채널당 전력 값을 높히도록 하였다. 이 결과, 안티 드론시스템과 비행체까지의 통신거리를 최대한 늘리며, 안티 드론시스템의 저 전력 동작을 연구하여 장치의 소형화, 경량화를 구현하고, 신속한 이동과 발사를 보장한다. 따라서 연구 목표는 보호구역내에서 항공기 추락, 항공기 동작불량 등 불법 항공기가 진입하는 것을 막는 것이다. 또한 수집한 정보를 제거하거나 항공기와 관제소 간의 통신을 비활성화 하여 수집된 정보의 전송을 방지하기 위함이다.

Abstract

This paper is a study on the signal source of a device that generates a strong radio wave disturbance signal to prevent the aircraft from flying when an aircraft for illegal or military purposes enters an important protected area. As a result, the communication distance between the anti-drone system and the flight vehicle is maximized, and the low power operation of the anti-drone system is studied to realize the miniaturization and light weight of the device, and the rapid movement and launch of the guard is guaranteed. As a result, the communication distance between the anti-drone system and the aircraft is maximized, and by studying the low-power operation of the anti-drone system, the device is miniaturized and lightweight, and rapid movement and launch are guaranteed. Therefore, the aim of the study is to prevent entry of illegal aircraft such as aircraft crash and aircraft malfunction within the protected area. It is also intended to prevent transmission of collected information by removing the collected information or by disabling communication between the aircraft and the control station.

Keywords

anti-drone system, UAV, UAS, jamming signal source, unmanned aircraft system, jamming signal, PAPR

* 한국산업기술대학교 지식에너지대학원 박사과정
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4333-4065>
** 한국산업기술대학교 전자공학부 교수(교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4035-5071>

· Received: Nov. 20, 2020, Revised: Dec. 15, 2020, Accepted: Dec. 18, 2020
· Corresponding Author: Sung-Yun Choi
Dept. of Electronics Engineering, KOREA POLYTECHNIC UNIVERSITY,
Tel.: 82-31-8041-0476, Email: sychoi@kpu.ac.kr

1. 서 론

드론 산업은 4차 산업혁명의 기술융합 플랫폼 혹은 부가가치가 높은 신산업분야로써 주목 받고 있다[1]. 기존 산업과 서비스 융합을 통한 드론 기술들이 모든 산업으로 확대되고 있는 추세이다[2]. 이러한 드론 산업은 군사용, 레저용, 재단대응, 환경감시, 물품배송 등 공공 시장과 민간 상업 시장으로의 급성장을 하고 있다[3][4].

일반적인 드론을 언급하면 카메라를 탑재하고 특정한 지역의 순찰과 물품배송, 자연환경 관측 등 유용하게 사용되고 있지만 드론의 순기능을 악용하는 사례들 또한 종종 나타나고 있는 실정이다.

특히 국가, 민간의 중요한 시설에 침입하여 사진을 촬영하거나 정보를 수집하고, 공격하는 사례들이 발생되고 있어 국제적으로도 해결해야 할 과제로 대두하고 있다. 그래서 많은 기업들이 이러한 비허가 무인 항공체를 사전에 감지하여 일정한 거리에서 격추하거나 포획 또는 동작불능 등 비행체의 기능을 무력화시켜 추락을 유도하는 드론잡이(Drone hunter)들이 속속 개발되어 소개되고 있다. 이러한 드론잡이의 핵심 기술들은 그물망 포획기술, GPS 스푸핑(Spoofing) 기술들이 사용되고 있으며, X-band Pulse & Chirp Pulse-Doppler 방식을 채택한 또한 KAIST 안티 드론시스템도 있다[5]. 이것은 안테나를 수직 방향으로 스캔하는 동시에 수평 방향으로도 스캔하여 전 고도각과 전 방위각을 모두 포함하는 반구 형태의 탐지 범위를 가지는 특징을 가진 드론잡이로 알려져 있다[6]-[8]. 또한 외국의 경우에는 RF신호 감지기를 이용하는 안티 드론시스템들이 있는데, 핀란드 Sensofusion의 Airfence, 독일 De drone의 RF-160/RF-300, 호주 DroneShield의 RfZero, Gresco의 Aeroscope 등이 있으며, RF신호 감지기 특성상 원격에서 RF 통신을 통해서 수동으로 비행조종을 하는 드론만 감지할 수 있고, GPS 좌표 기반의 자동비행으로 침투하는 드론은 탐지가 어렵다는 특징도 있다[9].

RF 감지기 중에서 Sensofusion의 Airfence를 예로 들면, Airfence는 RF 패시브 주파수 탐지방식으로 사용하는 주파수 즉, 430~450MHz / 900~990MHz / 2400~2480MHz / 5500~6000MHz를 탐지거리 4km 이

내, 정확성 각 $\pm 5^\circ$ 이하, 방향성 360° 전방향 탐지가 가능하다고 알려져 있다[5].

본 논문의 연구는 보호구역 내로 진입하는 비행체를 육안 또는 특정 방법으로 탐지한 후에 안티 드론시스템으로 격추하기 위함이다. 성공적인 격추를 위하여 방호담당자들은 격추가 용이한 장소로 신속하게 이동하여 사정거리 내(1~2Km)에서 비행체를 향해서 재밍신호(Jamming signal)를 발사하는 안티드론 전자총(Anti dron by anti-drone electron gun)의 신호원을 개발하는 것이다.

이 신호원은 지상에서 비행체까지의 최대 전송거리(유효한 통신거리)를 확보하기 위하여 비록 다중 채널신호를 생성하지만 조절이 가능한, 짧은 시간폭의 스위칭 신호로 마치 단일신호와 같은 형태의 높은 신호출력을 유지하게 된다.

그래서 이러한 신호원을 탑재한 안티드론 전자총은 저전력 동작으로 배터리를 포함하는 크기와 무게를 상당부분 줄일 수 있다(소형화, 경량화). 그 결과, 안티드론시스템의 휴대성, 이동성으로 신속한 타격과 정확도를 높이는 기대 효과가 있다.

II. 관련 연구

2.1 무인 비행체의 구성요소 분석

무인 비행체의 이륙과 순항, 비행제어, 착륙과 회수 등 전 비행 과정을 위해서는 비행체, 데이터링크(UAS Data link)와 지상통제국(GCS, Ground Control Station, 이하 GCS)으로 구성된다. 이러한 구성 요소는 그림 1과 같이 지상 관제국과 비행체 그리고 그 사이를 잇는 데이터 경로(Data link)로 구분하고 이러한 일체의 구성 요소를 드론시스템 또는 무인항공시스템(Unmanned aircraft system, 이하 UAS)이라고 부른다. 주로 드론시스템이라 정의하는 항공시스템(UAS)은 조종사가 비행체에 직접 탑승하지 않고 지상에서 원격 조종(Remote piloted) 또는 사전 정의된 프로그램에 따라서 자동 또는 반자동 형식으로 자율비행을 하거나 비행체내 탑재된 인공지능 기술을 이용하여 비행체의 자체적인 판단에 따라서 임무를 수행하는 비행체와 지상통제국(또는 지상통제시스템)과 무선통신 데이터 경로를 통칭하는 것이다[4].

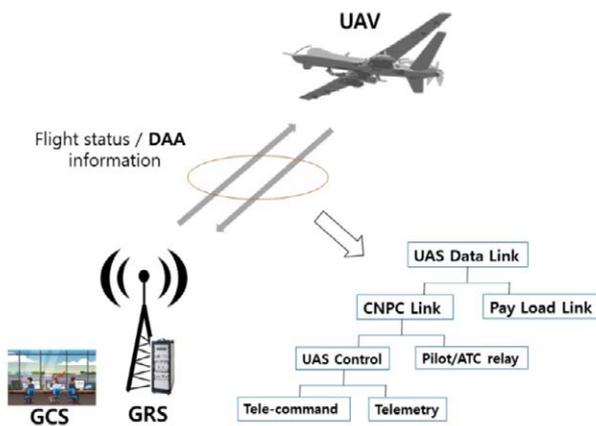


그림 1. 무인항공시스템(UAS)의 구성 요소
Fig. 1. Components of UAS(Unmanned Aerial System)

이러한 드론시스템은 지상에서 무선통신으로 원격조종 비행을 한다는 의미에서 RPV(Remote Piloted Vehicle)라 부르기도 하고, 조종사, 탑재장비 운용관이 편성되어, 실시간 비행체 및 임무지역 상황을 지상 통제소에서 원격 모니터링하며 운용하는 무인항공기 시스템이라는 의미에서 UAV(Unmanned/ninhabited Unhumanized Aerial Vehicle System)라 지칭하기도 하며, 무인항공기가 한정된 공역에서 일정한 비행뿐만 아니라 민간 공역에서의 비행체라는 의미에서(Vehicle이 아닌 Aircraft로서의 안전성과 신뢰성을 확보해야 한다는 의미)에서 무인항공시스템(UAS, Unmanned Aircraft System)라고 지칭 한다[10].

최근에는 유럽을 중심으로 RPAV(Remote Piloted Air/Aerial Vehicle)라는 용어도 사용되고 있지만 국제 민간 항공기구(ICAO)에서 공식 용어로 RPAS (Remote Piloted Aircraft System), 비행체만을 칭할 때는 RPA(Remote Piloted Aircraft / Aerial vehicle)이라 하고, 통제시스템을 지칭할 때는 RPS(Remote Piloting Station) 라고 부른다.

물론 비행체로써 충실한 임무 수행을 위해서는 이러한 드론시스템과 더불어 드론의 운용 시나리오, 운용 인력 등 다양한 지원 인력 및 장비 또한 필요하게 된다. 본 연구에서는 무인 자율비행, 무선통신 운항제어를 하는 드론시스템으로 국한하여 기술하고자 한다[4][5].

드론과 지상통제소 사이에는 비행체를 제어하기 위한 제어링크(C2 또는 CNPC 링크)와 임무비행 정보가 들어 있는 데이터링크(Payload 링크)로 구분하

고 이것을 드론의 데이터 링크라고 통칭해서 부른다. 주로 제어링크는 지상통제소에서 드론의 임무비행을 통제하기 위한 비행체의 이륙과 순항, 착륙을 제어하는 신호와 비행체 내부의 동작상태, 모니터링 정보 등이 포함돼 있다.

비행체와 제어링크는 드론과 조종사 사이의 안전 운항 관련 제어정보를 전달하는 UAS 제어링크와 필요할 경우, 항공교통관제(ATC, Air Traffic Control)와 지상통제장치의 조종사간 음성 및 데이터를 중계하는 조종사(Pilot) / ATC 중계링크도 포함하기도 한다. 여기서 UAS 제어신호는 비행궤도 제어정보, 안전비행에 요구되는 모든 드론의 제어정보 등을 포함하는 원격명령(Telecommand)과 드론의 위치, 속도, 고도 등 UAS의 동작상태 및 비행모드, 보조항법 데이터, 탐지 회피를 위한 영상·기상레이더·추적 정보를 포함하는 원격측정(Telemetry)으로 구성이 된다[4][10].

반면, 비행임무용 통신 링크는 임무 수행과 관련된 데이터를 전달하기 위한 통신 링크이다. 제어용 통신 링크의 경우 수십 kbps 정도의 데이터 전송 속도를 요구하지만, 임무용 통신의 경우 FHD 고화질영상지원 등 다양한 응용 서비스 지원을 위해서 수 Mbps에서 수십 Mbps 데이터 전송 속도를 요구하기 때문에 일반적으로 제어용 통신링크에 비해서 임무용 통신링크는 광대역 주파수 특성을 갖는다. 이러한 드론 제어용 통신링크와 임무용 통신링크는 드론의 용도, 비행체의 크기, 관련 법적 규제 등에 따라서 별도의 무선 통신기술을 사용하거나 두 개의 독립된 통신링크를 하나로 묶는 무선 통신기술로 사용할 수도 있다. 관제 공역에서 운용되는 무인항공기의 경우에는 유인기 수준의 안전성 확보를 위해서는 조종사와 무인항공기간 고신뢰도의 제어용 통신링크가 필수적으로 요구되고 있으며, 이에 따라 국제 무선주파수 표준화를 담당하고 있는 UN 산하 ITU-R에서는 드론 안전운항 전용 주파수를 국제 분배한 바 있다. 국제 민간 항공기구(ICAO)에서는 국제 계기 비행하는 무인항공기 제어용 통신링크의 경우, ITU-R에서 국제 분배된 전용 주파수를 사용을 의무화하고 있기 때문에 무인 항공기급 드론의 경우 전용 주파수대역의 무선 통신 기술을 의무적으로 사용될 것으로 예상된다.

2.2 안티 드론 전자총의 설계

휴대가 용이한 RF 전파기반의 교란장치 즉, 안티 드론시스템(Portable and high-efficiency RF-powered by anti-drone electron gun)은 재밍용 전파를 발생하는 교란신호발생기(Jamming signal generator)와 고효율 RF증폭기 그리고 고이득 예리한 지향성을 갖는 다중 안테나가 내장된 총기 형태의 발사장치(전자총)으로 구성돼 있으며, 이들을 구동하는 직류 전원부(축전지와 충전기)가 내장돼 있다.

연구 대상의 신호원이 달성하고자 하는 목표는 다중 주파수 채널 임에도 불구하고 단일 주파수 채널이 갖는 형태의 고효율 고효율 재밍신호 생성 시키는 것이다. 즉, 우수한 PAPR(Peak to Average Power Ratio, 최대전력대 평균전력비)가 확보되도록 설계해야 한다. 이것이 곧 신호 채널당 평균 전력비를 향상 시켜서 재밍신호의 통달거리를 증가 시키는 효과와 더불어 비행체 내에서 강력한 교란파(방해파)가 될 수 있기 때문이다.

또한, 여기에 예리한 발사각과 고이득 다중대역 안테나 기술, 수직&수평편파를 동시 송출하는 이중 편파 안테나를 적용하여 교란신호와 안테나의 조합이 낡은 ‘재밍 거리는 길지만 작고 가벼운 안티드론시스템’이 갖는 특성 즉, 저전력 장치구동으로 배터리의 작은 크기와 낮은 용량은 안티드론 장치의 최소화, 경량화로 신속한 이동과 발사가 가능하도록 설계하는 것이다.

여기서 재밍하고자 하는 신호 성분 중에는 비행체의 운항에 절대적인 요소가 되는 위치정보 주파수(GPS, GLONASS, GALILEO, BEIDOU 등)이 있으며, 지상 관제국 혹은 드론 조정자가 공역의 비행체를 제어하기 위해서 사용하는 주파수와 비행체가 수집한 정보를 지상국과 통신하기 위해서 사용하는 다양한 비면허 대역의 전송주파수들(Wi-Fi 신호의 경우, 2.4GHz, 5.8GHz)가 있으며, 표 1과 같이 나열되어 있다.

문제는 군사적으로 불순한 목적을 가진 드론이라면 우리가 알기 어려운 프로그램에 의한 자율 비행 조종장치, 특정한 경로 좌표 값을 갖는 위치정보 프로그램과 특정하기 어려운 암호화된 변복조기술, 관제국과의 통신, 원격 제어신호 등이 존재한다.

표 1. 일반적인 드론에서 사용하는 주파수
Table 1. Frequencies used in general drones

NO	Frequency	Channel	etc
1	1150~1300MHz	GPS L2, L3 Band	GPS, BEIDOU, GALILEO
2	1550~1650MHz	GPS L1 band	GPS, BEIDOU, GALILEO, GLONASS
3	2400~2484MHz	2.4GHz	Wi-Fi, Drone
4	5030~5150MHz	Drone	
5	5150~5850MHz	5.8GHz	

2.3 재밍신호 생성부(Jamming signal generator module)

재밍신호 생성부(이하 “jSGM”이라 함)는 기존의 재밍장치들이 가지고 있는 특성 즉, 정해진 주파수와 대역폭(Bandwidth)내에서 재밍신호를 반복적으로 출력하여 재밍하고자 하는 장치의 모든 신호를 이 신호에 묻히게 하거나 상호혼변조, 발진 등 여러 형태의 상황을 연출하여 대상 장치를 오동작하거나 동작불능상태로 만드는 것이다. 이러한 재밍신호는 연속적인 정현파 신호(Continous-Wave, CW신호)나 랜덤한 노이즈신호를 대부분 사용하고 있다.

이 CW신호를 사용하는 경우에는 PAPR(Peak to Average Power Ratio, 첨두전력 대비 평균전력비) 값이 낮아서 랜덤 노이즈신호를 이용하는 재머보다는 유리하게 사용하지만 동일한 시간대에서 CW신호가 여러 개 존재할 경우에는 PAPR 값이 높아지는 현상 즉, 송신하고 있는 평균전력보다 첨두전력이 높게 존재하여 전력증폭기(PA)내에서 상호 혼변조를 일으켜 재밍신호의 단위 채널 전력값을 낮추는 효과로 신호원에서 대상 장치까지의 전송거리가 짧아지는 문제와 재밍장치 종단에 사용되는 전력증폭기의 소모 전력을 증가 시키는 단점이 있다. 이러한 문제점은 보호구역으로 접근하는 비행체의 원거리 저지(차단)가 어렵고, 과다 전력소모에 따른 장치의 비대화는 신속한 이동과 발사를 어렵게 만드는 문제를 낳는다. 즉, 낮은 PAPR 값으로 재밍신호의 먼거리 전송과 저전력 동작으로 적은 용량의 축전지 사용으로 재밍장치의 소형화, 경량화가 필요하다.

그래서 CW신호를 재밍신호원으로 사용하면서도 PAPR 값이 낮도록 하기 위하여 CW신호를 시분할

하는 재밍 기법을 연구했다. 이 재밍신호는 대역폭 내에서 일정하게 반복하는데, 메모리 제어방식을 이용하여 대역내에서 특정한 주파수 대역(표1 드론에서 사용하는 일반적인 주파수)에 재밍신호가 집중하도록 하여 재밍 효과를 극대화하였다.

그림 2, 그림 3은 시분할 제어에 사용될 CW신호의 단위 시간과 펄스 폭에 따른 신호의 상관관계를 표현 하였다. 펄스의 정현파 성분과 상대 위상의 주파수에 대한 분포특성으로 일정한 속도와 펄스폭, 펄스진폭을 제어하여, 일정한 Pulse Spectrum의 재밍신호를 발생한다. 이 신호의 크기는 $y=\sin(x)/x$ 형태의 함수로 표현할 수 있다.

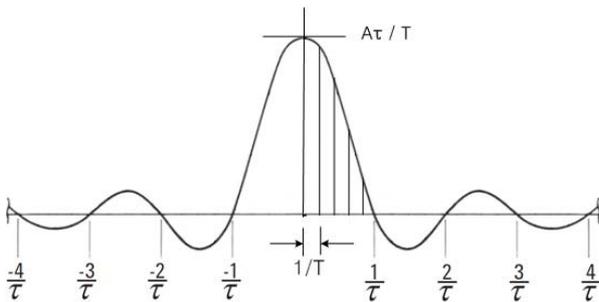


그림 2. CW신호의 시간과 펄스 폭의 상관관계
Fig. 2. Comparison of time, pulse width and sine wave

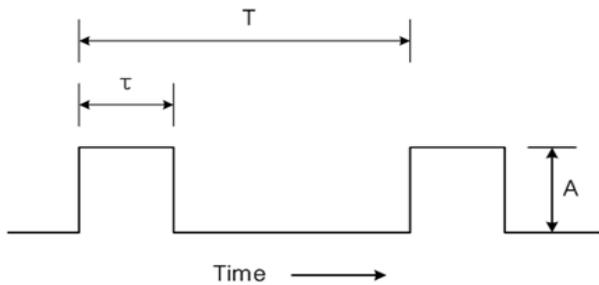


그림 3. 시분할 제어에 사용되는 신호의 특성
Fig. 3. Signal characteristics used in time division control

그림 4와 같이 CW신호를 주파수 변조했을때, 그림 5와 같은 변조된 재밍신호의 첨두전력을 볼 수 있다. 본 연구에서는 기존의 CW신호 생성을 위해서 사용하였던 DDS(Direct Digital Synthesizer)나 IF 방식의 DAC(Digital to Analog Converter) 아닌 높은 주파수 샘플링을 갖는 RF DAC과 고속 데이터 전송 인터페이스 JESD204B, FPGA를 사용하여 재밍신호원을 구현하였다.

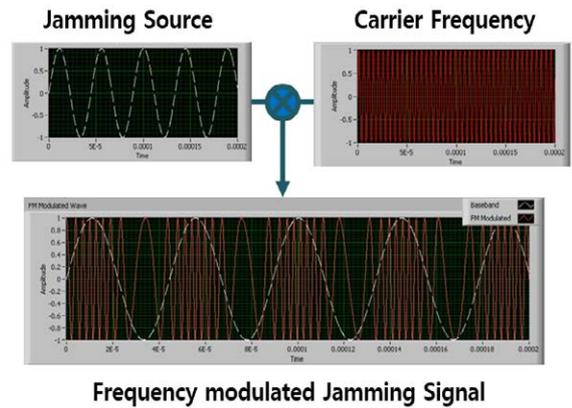


그림 4. 주파수 변조된 재밍신호 파형
Fig. 4. Frequency modulated jamming signal waveform

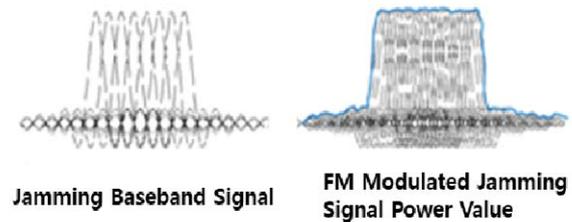


그림 5. FM 변조된 재밍신호의 첨두전력
Fig. 5. FM modulated peak power of jamming signal

이 시분할한 재밍신호 생성부(jSGM)는 그림 6과 같이 구성하였고, 재밍하고자 하는 신호의 대역폭내에서 Pulse step, Start freq를 입력하여 Pulse Gen Controller에서 시분할 제어한 신호는 그림 7과 같이 출력이 된다.

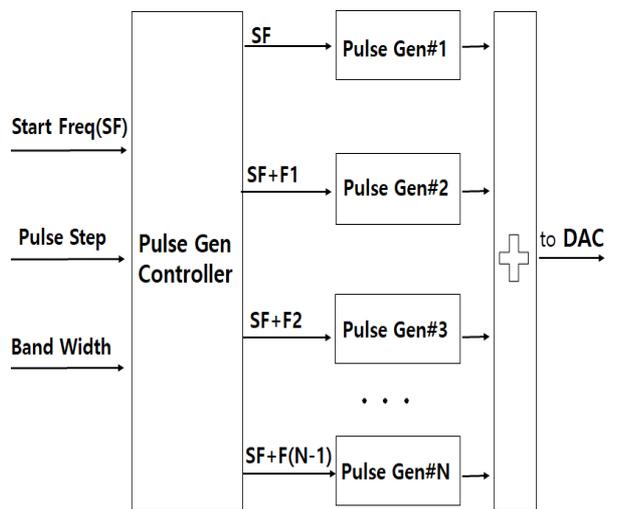


그림 6. 시분할 신호발생기
Fig. 6. Time division signal generator

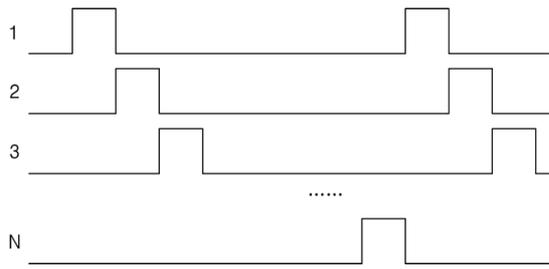


그림 7. Time sharing 된 재밍신호 출력

Fig. 7. Jamming signal generator by time sharing

Pulse Generator의 구현은 메모리를 기반으로 발생 주파수, 유지시간, 이득을 제어하도록 했으며, 주파수, 시간 조절에 따라서 Pulse spectrum의 재밍신호가 발생하며 특정 주파수 위치에서 이득을 조절할 수 있도록 설계하였다. 또한 제어메모리는 펄스의 시작과 끝 지점을 표시하도록 했다.

- * 주파수 메모리 : Pulse신호의 주파수 값을 저장
 - * 이득 메모리 : Pulse신호의 Amplitude 값을 저장
 - * 시간 메모리 : Pulse신호의 유지하는 시간을 저장
- 주파수 제어 메모리는 Pulse 신호의 시작과 끝 지점 즉, Bandwidth를 한번 지나가는 시간을 Sweep Time이라 하고, 메모리에 저장된 값은 한 주기 데이터만 저장되지만 이를 반복하도록 설계하였다.

$$N(\text{CW 갯수}) = \text{Bandwidth} / \text{주파수 증가 값}(\Delta)$$

$$\text{Sweep Time}(\text{Total Time}) = T(0) + T(1) + T(2) + T(3) + T(4) + \dots + T(N-1) + T(N)$$

예를 들어 $F_s=250\text{MHz}$, $N=99$, $T(0)=1$, $T(1)=1 \dots T(N)=1$ 이면, $F_s=250\text{MHz}$ 는 1 clock당 4ns, T의 갯수는 100개, $4\text{ns} \times 100\text{개} = 400\text{ns}$ 가 되어 이는 sweep time이 된다.

만약 그림 8과 같은 재밍하고자 하는 주파수 대역에서 F(7), F(8) 주파수 구간을 집중 교란하고자 한다면 T(7), T(8)의 가중치 시간과 G(7), G(8) 가중치 이득을 주어서 재밍을 하면 성공 확률을 대폭 높일 수가 있었다. 즉, G(7), G(8) 가중치 10을 주면 G(7)에 재밍신호가 머무는 시간은 40ns, G(8)에 40ns이며, 전체 Sweep time은 472ns가 된다.

그림 9는 드론에서 사용하고 있는 신호와 재밍신호와의 관계를 나타낸다. 이 두가지 신호는 전체 Band width를 갖는 대역 내에서 드론 신호의 채널 간격이 12.5kHz 일 때, 이 채널 간격보다 촘촘한 폭을 갖는 재밍신호를 발생 시킨다. 발생된 이 신호는 드론 신호채널이 존재하는 곳에서 재밍신호의 유지 시간을 증가 시키면 재밍 확률을 높일 수 있다.

$$\text{Freq. Increment value} = \text{주파수증가 값} * 2^{\text{res}} / F_s,$$

$$\text{res}(\text{resolution bits})$$

예를 들어서 주파수 증가값이 1MHz, res bit 32bits($2^{32}=4,294,967,296$), $F_s=250\text{MHz}$ 이라면 메모리에 저장되는 $\Delta(\text{Freq. Increment value}) = (1\text{MHz} * 4,294,967,296) / 250\text{MHz} = 17,179,869$ 이다.

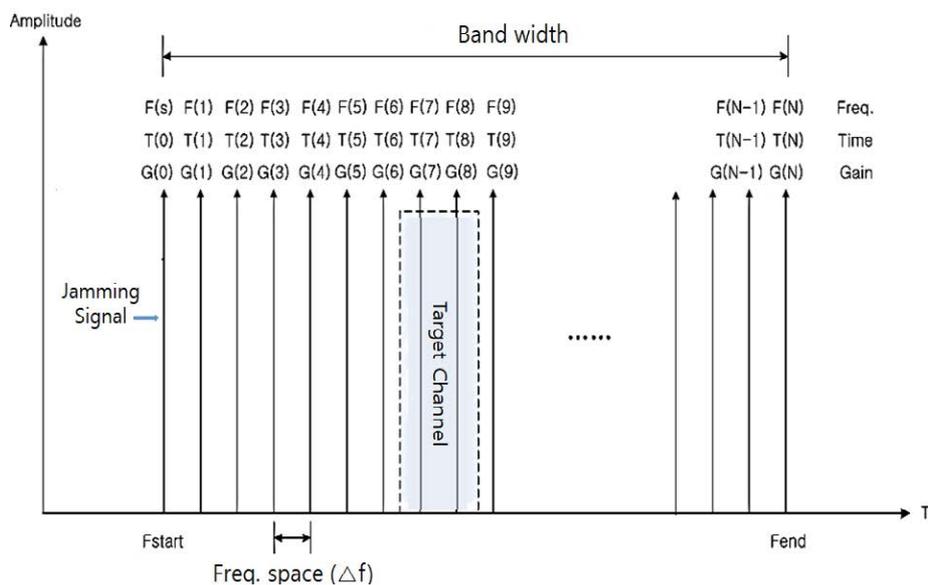


그림 8. 재밍하고자 하는 신호대역

Fig. 8. Signal band to be jammed

기존 IF방식에서도 RF Up converter를 사용하지 않아도 6Gbps 이상의 RF샘플링으로 재밍장치를 소형화할 수 있는 기대효과가 있다. 그림 10은 RF DAC의 내부 블록도이다. RF DAC는 4개의 I,Q로 구성되어 2개의 물리적인 출력으로 가지고 있다. 드론 재밍에 필요한 GPS 2개 대역은 상위 출력단에서, WiFi 대역은 하위 출력단에서 재밍신호가 나오도록 설계하였다.

표 2는 연구에서 적용했던 FPGA 특성과 RF DAC 샘플링 변수이다.

표 2. FPGA와 RF DAC Spec
Table 2. FPGA, RF DAC spec

Item	Characteristic	Specification
FPGA	IQ Data Rate	250MHz
	Interface	JESD204B
RF DAC sampling	Clock Freq.	6GHz
	Interpolation	x24
Frequency	Bandwidth	200MHz
	Programmable freq	0~3GHz

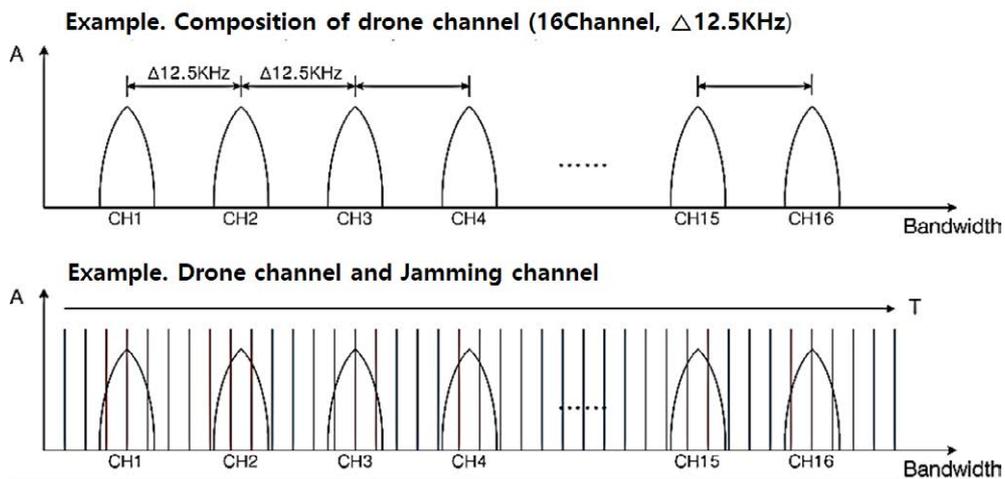


그림 9. 드론 신호와 재밍신호의 관계
Fig. 9. Relationship between drone signal and jamming signal

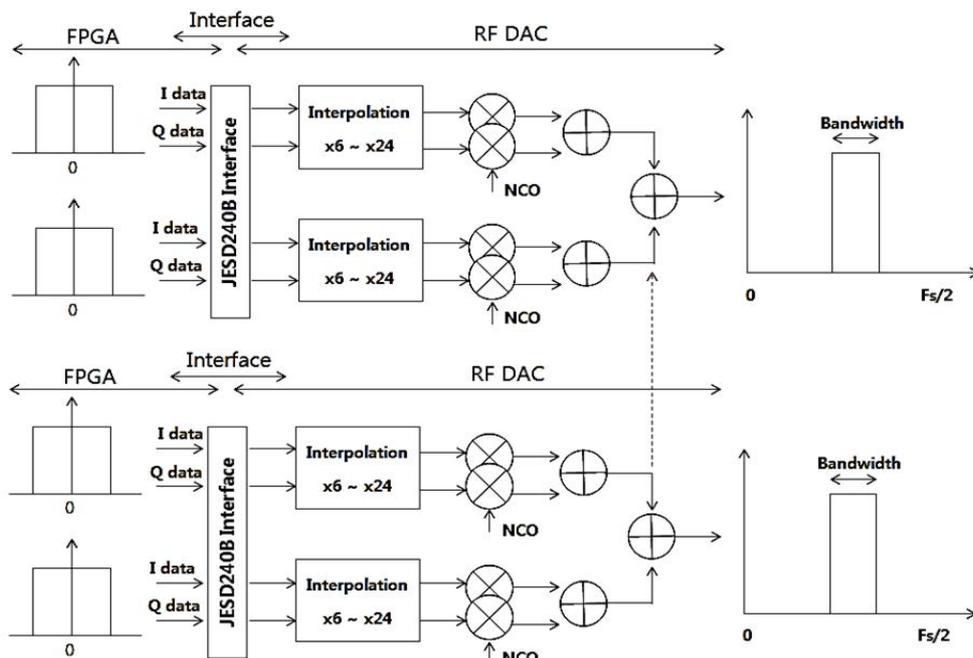


그림 10. RF DAC(Digital to Analog Converter)의 블록도
Fig. 10. Block diagram of RF DAC(Digital to Analog Converter)

III. 안티 드론 시스템 구성과 필드 시험

3.1 안티드론시스템의 구성

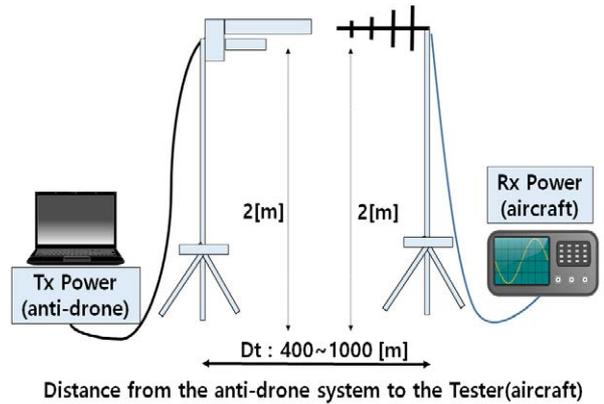
그림 11은 실제 상공에서 진입하는 드론을 대상으로 재밍시험을 그림이다. 안티드론시스템과 목표물(드론 비행체), 드론 조정자(지상관제국) 삼각구도에서 교란신호가 발사되었을 때, 드론의 반응(추락, 오동작)을 확인하는 야외시험(Field test)이다.



Dt [km] : Distance from the anti-drone system to the aircraft
Dj [km] : Distance from Ground Control Station to the aircraft

그림 11. 안티드론시스템의 야외 성능시험
Fig. 11. Field test by anti-drone system

이 실험을 위하여 그림 12와 같이 안티드론시스템과 목표물(드론 비행체)과의 재밍전후의 수신 전계강도를 사전에 측정하고 실제 재밍신호를 발사했을 때 값을 그림 13~16과 같이 비교 측정하였다. 물론 대기중 전파 경로손실을 고려한 이론치와 실측치도 비교 분석하였다.



Distance from the anti-drone system to the Tester(aircraft)
그림 12. 목표물에 대한 수신 전계강도 측정
Fig. 12. Measurement of the received electric field strength on the target

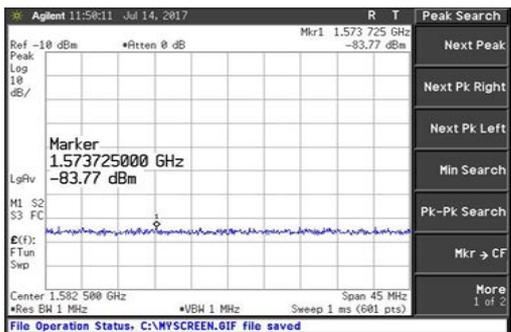


그림 13. 무신호시 GPS대역 수신 전계강도
Fig. 13. In case of no signal, GPS band received electric field strength



그림 14. 400m지점의 GPS대역 수신 전계강도
Fig. 14. Receiving electric field strength in GPS band at 400m point

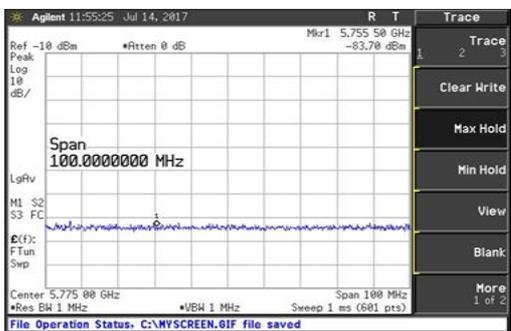


그림 15. 무신호시 5.7GHz대역 수신 전계강도
Fig. 15. Received electric field strength in 5.7GHz band in case of no signal

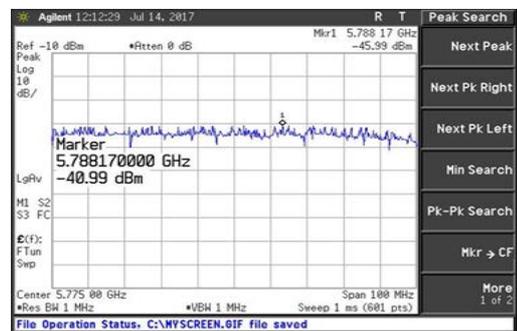


그림 16. 400m지점의 5.7GHz대역 수신 전계강도
Fig. 16. Received electric field strength in 5.7GHz band at 400m point

표 3. 안티드론 송신출력과 재밍신호(수신) 레벨

Table 3. Anti-drone transmission power and jamming signal (reception) level

Test Point Freq(MHz)	ANT gain (dBi)	Output Power (dBm)	Tx Output (dBm @ EIRP)	Free space loss (dB@4Km)	Rx Jamming Sig Level (dBm/Total)	Rx Control signal in Dron (dBm/Total)	
1570	1580	10	40	50	88.4	-38.0	-110.0
2400	2483.5	12	40	52	92.2	-39.8	-59.2
5725	5825	12	40	52	99.7	-47.3	-66.7

3.2 안티드론시스템의 필드시험

야외시험에서 측정한 결과는 표 3과 같다. 재밍하고자 하는 신호에 대한 안티드론시스템의 RF 출력신호, 방사 안테나 이득, 자유공간손실, 드론에서 수신한 재밍신호 레벨 값을 제시했다. 또한 이론치와 실측치의 근사치 학인을 위하여 안티드론시스템에서 목표물까지의 공간 경로손실은 다음과 같은 공식에 의하여 계산했고, 이때 드론의 동작 반응을 가지고 성공유무를 판단을 했다,

안티드론시스템 출력 신호를 40dBm(20Watt)로 기준했을 때, 안테나 이득(dBi)을 포함한 자유공간 경로손실 공식은 $Loss(dB)=92.4+20*LOG(Km)+20*LOG(GHz)$ 를 적용했다.

또한 400m 지점에서 Jamming 신호의 계산식, $dBm=10*LOG(P(W)*1000)+안테나 이득-10*LOG(1/CW 출력 tone수)-Path Loss$ 이다.

IV. 결론 및 향후 과제

사진 1 ~ 2는 시화호 고수부지에서 야외시험을 한 것이다. 여러 대의 드론을 비행 조정하고 안티드론시스템으로부터 재밍신호를 수신한 드론의 비행 반응을 확인하는 실험들이었다.



사진 1,2. 야외시험
Pic. 1,2. Field test

이때 재밍신호를 발사했을 때, 드론의 추락 내지는 오동작(지상 관제국과의 통신 불능)상태를 관측하면서 시분할한 재밍신호의 성능을 검증할 수 있었다. 실제 오랜 기간동안 유사 업무를 수행한 경험과 일치하는 것은 경제적인 최소의 재밍은 목표물에서 수신한 신호의 크기보다 18dB 이상이면 교란 효과 즉, 재밍의 목적 달성이 된다는 것을 다시 한번 경험했다. 본 연구의 큰 성과는 기존 재머들의 단위체널당 평균 전력비가 낮은 문제점을 극복한 것이고 이 결과, 저전력 동작에 따른 장치의 소형화 경량화로 군사적인 활용도 가능한 이동식 재머의 개발을 촉진할 수 있었다. 그래서 휴대 가능한 안티드론장치를 제작하여 2018년 평창올림픽때는 경비용 드론잡이로 활용하기도 했다.

드론의 활용도가 나날이 증가하는 추세를 감안해 보면 향후 사회적인 문제로 대두하고 있는 국가 중요시설의 방호, 기간망 산업시설의 보호 그리고 민감한 사생활보호 등 지키고 싶어하는 영역에서의 활용도가 높아 질 것으로 예상하며, 현재의 RF방식에 의한 재밍이 아닌 또다른 광파에 의한 개량된 안티드론시스템의 태동도 멀지 않을 것으로 판단한다.

References

- [1] A. Y. Chung, J. Y. Lee, and H. Kim. "Autonomous mission completion system for disconnected delivery drones in urban area", IEEE Int. Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO), Macau, China, pp. 56-61, Dec. 2017.
- [2] J. Jung, S. Yoo, W. G. La, and D. R. Lee, "Avss: Airborne video surveillance system", Sensors, Vol. 18, No. 6, pp. 1-17, Jun. 2018
- [3] M. Bae, S. Yoo, J. Jung, S. Park, K. Kim, J. Y.

Lee, and H. Kim, "Devising mobile sensing and actuation infrastructure with drones", *Sensors*, Vol. 18, No. 2, pp. 624, Feb. 2018. <https://doi.org/10.3390/s18020624>

[4] R. Aboulafia, *World Military & Civil Aircraft Briefing*, Teal Group 2016.

[5] J. Y. Park, "Anti-drone technology for protecting electric power facilities from bad drones", *Koran Institute of Electrical Engineering*, Vol. 69, No. 4, pp. 15-20, Apr. 2020.

[6] Y. Zhang, G. Xia, J. Wang, and D. Lha, "A multiple feature fully convolutional network for road extraction from high-resolution remote sensing image over mountainous areas", *IEEE Geoscience and Remote Sensing Lett.*, Vol. 16, No. 10, pp. 1600-1604, Oct. 2019.

[7] Y. Wei, Z. Wang, and M. Xu, "Road structure refined CNN for road extraction in aerial image", *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.*, Vol. 14, No. 5, pp. 709-713, May 2017.

[8] Q. Glaude, C. Amory, S. Berger, D. Derauw, F. Pattyn, C. Barbier, and A. Orban, "Empirical removal of tides and inverse barometer effect on DInSAR from double DInSAR and a regional climate model", *IEEE J. of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 13, pp. 4085-4094, Jul. 2020.

[9] Counter-drone firm Sensofusion gains strategic foothold in US (<https://www.defensenews.com/industry/techwatch/2017/05/08/counter-drone-firm-sensofusion-gains-strategic-foothold-in-us/>)

[10] W. J. Park, *Unmanned Aircraft Systems Information*, Global Drone Academy (web :www.uavcenter.com)

저자소개

신 수 현 (Soo-Hyun Shin)



2020년 12월 : 한국산업기술대학교
지식에너지대학원 정보통신 전공
1998년 8월 : 홍익대학교 대학원
전자공학 전공(공학석사)
1991년 2월 : 한밭대학교
전자공학과(공학학사)
2012년 4월 ~ 현재 : 한국산업기술

대학교 전자공학부, 인공지능기술사업화연구소
1983년 : KT 통신망사업본부, 1992년 SK텔레콤 등
관심분야 : 스마트팩토리, 사물인터넷, EMC 방호기술,
기술과 경영 컨설팅, 품질경영 등

최 성 연 (Sung-Yun Choi)



1981년 2월 : 고려대학교
전자공학과 공학사
1984년 8월 : 고려대학교 대학원
전자공학과 공학석사
2010년 8월 : 고려대학교 대학원
전자공학과 공학박사
1985년 ~ 1999년 : 현대전자

산업(주) 통신연구소 수석연구원
1999년 3월 ~ 현재 : 한국산업기술대학교 전자공학부
교수
1996년 6월 : 정보통신부장관 표창
관심분야 : 차세대이동통신, 디지털무선통신시스템