

고성능 주파수 도약 공지통신 무전기의 차세대 항공기 적용과 항공기 항재밍 통신장비 개량에 따른 효과 연구

A Study on the effect of high-performance frequency hopping radio system to next-generation aircraft and improvement Anti-jamming communication

이 광 열* 양 태 호 안 승 범 안 경 수 장 인 동 한 철 희
Kwangyull Lee Taeho Yong Seungbeom Ahn Kyeongsoo An Indong Jang Chulhee Han

요 약

전시 상황에서 군용 항공기의 통신 시스템은 제밍(Jamming)에 노출되어 있으며, 아군의 무선통신에 대한 제밍 시도가 있는 환경에서도 원활한 항공작전을 수행하기 위해서는 항재밍 성능이 높은 통신장비를 탑재하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 무선통신에 적용될 수 있는 제밍과 항재밍(Anti-Jamming) 기술에 대해 세부적으로 확인하고, 주파수 도약 방식 차세대 항재밍 무전기의 체원 차이와 이러한 변화에 따른 항재밍 성능 개선에 대해 공개된 자료 범위 내에서 간략하게 분석하였다. 또한 국산 신형 항공기 설계 시 고려해야 할 점과 현재 운영중인 항공기에 차세대 항재밍 통신장비 탑재 가능성을 확인하였으며 차세대 항재밍 통신장비의 항재밍 능력 향상이 갖는 기술적 유용성에 대해 확인하였다.

☞ 주제어 : 차세대 항공기, 제밍, 항재밍, 주파수 도약, 무선통신, 항공기 성능개량

ABSTRACT

In wartime conditions, the communication system of military aircraft is exposed to jamming, and it is necessary to mount communication equipment with high anti-jamming performance in order to perform air operations smoothly even in an environment where jamming attempts are made. In this paper, we check in detail the jamming and anti-jamming technology that can be applied to wireless communication, and the data disclosed on the difference in specifications of the next-generation anti-jamming radio with frequency hopping method and the improvement of anti-jamming performance according to these changes. It was briefly analyzed within the scope. In addition, the points to be considered when designing a new domestic aircraft and the possibility of installing the next-generation anti-jamming communication equipment on the currently operating aircraft were confirmed, and the tactical usefulness of improving the anti-jamming capability of the next-generation anti-jamming communication equipment was confirmed.

☞ keyword : Next Generation aircraft, Jamming, Anti-jamming, Radio Communication, Frequency Hopping, Aircraft modification

1. 서 론

현대전은 정보 우위를 기반으로 전쟁을 수행하는 네트워크중심전(NCW, Network Centric Warfare)로 변화하고 있다. 이에 따라 네트워크 중심전 수행을 방해를 위해 통신을 사용할 수 없도록 하는 전자전(ECM, Electric counter-countermeasure) 시도는 증가할 것이며 작전중인 임무항공기의 통신을 제밍(Jamming) 하는 것은 기술적으로 매우 유용하고 임무 중인 항공기는 적의 제밍 위협에 매우 크게 노출된다.

항공기의 무선통신을 방해하기 위해 해당 대역에 대해 강력한 전파를 방사하여 특정 범위 안에서 해당 주파수 사용을 어렵게 만드는 방식이 주로 사용된다. 이를 대응하기 위한 항재밍(Anti-Jamming) 기술로 항공기 통신 시스템에서는 주로 짧은 시간 간격으로 주파수를 빠르게 변경하면서 통신하는 주파수 도약(Frequency Hopping)을 통해 제밍된 주파수 대역을 회피하여 통신한다. 이를 구현하기 위해 GPS나 사전에 입력된 시간정보를 바탕으로 터미널들의 동기상태를 유지하고 미리 약속된 암호화된 도약 패턴으로 주파수를 변경하여 제밍된 대역을 회피하고 적의 주파수 추적을 방지한다. 1970년대 미국에서 개발된 Have Quick무전기부터 NATO가 현재 사용하고 있고 미래 한국군도 도입할것으로 예상되는 SATURN (Second Generation Antijam Tactical UHF Radio for NATO)

Hanwha Systems Co., Ltd. Seoul 04541, Republic of Korea.

* Corresponding author (ky0208.lee@hanwha.com)

[Received 12 October 2021, Reviewed 20 October 2021, Accepted 2 November 2021]

무전기처럼 주파수 도약 무전기는 점차 더 빠른 속도로 주파수를 변경하여 높은 수준의 항재밍 성능을 보장하도록 발전하고 있다. 본 논문에서는 재밍과 항재밍 기술에 대해 살펴보고 미래 한국군이 도입할 수 있는 SATURN 무전기 성능의 우수성과 전술적 측면에서의 이득에 대해 일반에 공개된 자료를 바탕으로 분석하였다.

2. 무선통신에 대한 재밍/항재밍 기술

2.1 재밍 기술

2.1.1 재밍과 군사적 활용

재밍은 초고주파(RF) 에너지를 방사하여 특정 주파수나 전파 사용을 거부하도록 하는 교란과 허위 정보를 전송하는 기간 두가지로 구분된다.[1] 상대방에 대한 정보가 없는 경우 강력한 전파로 인해 상대방의 안테나를 포화시켜 통신망 사용이 불가능하게 하거나 적은 에너지로 효과적인 재밍을 위해 공격 대상의 정보가 있는 경우에 사용하는 재밍 기술 등 다양한 방법이 존재한다. 군사적 목적으로는 상대 장비의 사전 지식을 많이 요구하지 않는 대역잡음 재밍이 유용하게 사용되고 있다.[2]

2.1.2 재밍 방식과 특징

다음 표 1과 같이 무선통신에 대한 재밍 방식은 다양하며 무선통신에 대해 유용한 재밍모형과 각 모형의 특징은 다음 표 1과 같다.[2, 3, 4]

2.2 항재밍 기술

2.2.1 항재밍과 군사적 활용

항재밍은 상대의 재밍이 가해지는 환경에서 이를 회피하여 안정적으로 통신을 하기 위한 기술이며 군 통신 및 시스템은 DSSS 또는 FHSS 시스템이 주를 이루었기에 대부분의 연구가 이쪽 분야로 집중되었다. [1,3,5]

2.2.2 DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)

DSSS(Direct Sequence Spread Spectrum)는 그 자체로 항재밍 성질을 보유하는 특징이 있다. DSSS에서는 원래 신호가 더 넓은 대역폭의 신호로 확산되며 전송되며 사용

(표 1) 재밍모형과 특징

(Table 1) Jamming model and characteristics

| 재밍 모형 | 특징 |
|-----------|--|
| 대역잡음 재밍 | - 주파수의 특정 대역에 걸쳐 스펙트럼 밀도가 높은 신호를 이용해서 재밍 - 대상 신호 대역폭 전체를 재밍하지만 재밍 신호가 약한 전대역 재밍과, 대상 신호 대역폭의 일부만 재밍되지만 재밍신호가 강한 부분대역/협대역 잡음 재밍으로 나뉜다. |
| 펄스 재밍 | - 공격 대상 신호의 한 심볼구간 내에서 일정시간동안 안만 재밍신호를 방사하는 부분적인 시간 재밍 |
| 톤 재밍 | - 하나 또는 여러개의 톤(다양한 주파수의 사인파와 코사인파) 으로 재밍 신호를 만들어 재밍 - 조합에 따라 톤의 개수, 크기, 주파수, 위상 등이 달라지며 단일톤 재밍과 다중톤 재밍으로 나뉜다. |
| 스위프 재밍 | - 특정 시간간격동안 스위프 파형의 주파수를 주파수 하한에서 상한까지 변화해가며 공격하는 기법 - 짧은 시간동안 전 대역에 대해 집중된 에너지를 이동하면서 재밍하여 항재밍 무력화 |
| 주파수 추적 재밍 | - 공격대상 신호의 주파수 대역을 모니터링하고 이에 맞춰 재밍 신호를 발생시키는 리피터 재밍 기술 - 주파수 도약 통신을 재밍하는데 최적화. |
| 링크 레이어 재밍 | - 물리계층에서 재밍하는 앞의 기술들과 달리 RTS/CTS 프레임과 NAV 필드를 이용공격 - 허위 RTS/CTS를 대량으로 전송해서 블로킹 오류를 발생시켜 채널 사용률을 저하 |

자마다 PN(Pseudonoise) 코드를 사용하기 때문에 보안성이 높은 장점이 있다.[6]

DSSS에서 BER 성능의 최대값은 SNR의 역수 형태로 도출되어 DSSS는 펄스 재밍 공격에 취약해진다.[3, 7] 반대로 오류 확률은 Q 함수 형태로 주어지게 되어 대역잡음 재밍 공격에 대해 강한 특성이 있다.[3, 8, 9]

2.2.3 FHSS(Frequency Hopping Spread Spectrum)

FHSS는 군사용으로 많이 활용되며 Have Quick, KY-57, TRANSEC, SINGARS 등 군용 통신장비에서 주파수 도약을 통해 적의 전파방해나 도청을 방지하는 핵심적인 항재밍 기술로 활용된다.[10] 매우 빠른 속도로 주파수를 도약 / 통신하여 상대방이 재밍하고 있는 대역을 통과하는 짧은 순간만을 제외하고는 나머지 부분에서 안정적으로 통신을 유지할 수 있다.

FHSS 통신 시스템은 DHSS와 달리 펄스 재밍에 강하고 부분 대역 잡음 재밍에 대해 오류 확률이 SNR의 역수로 주어지며 취약해지는 문제가 발생한다.[1, 8, 11]

2.2.4 Data Interleaving과 채널 부호화

채널 부호화를 활용하면 전송률에서 손해가 발생하지
만 채널 부호화의 오류 정정능력 내에서는 오류 복구를
통해 재밍 환경에서 성능저하를 방지할 수 있다.[11] 또한
시간 또는 주파수 축에서 Data interleaving을 적용하여 부
호어(Codeword)의 특정 부분에 오류가 몰리지 않도록 비트
에러를 분산시켜 재밍 신호를 넓게 퍼트리고 FHSS,
DHSS와 결합하면 재밍 신호를 평균화하고 성능을 향상
시킨 결과를 얻을 수 있다.[8]

2.2.5 기타 항재밍 기법

기타 항재밍 기법으로는 클리핑(리미팅), 이레이징, 필
터링, 다중 안테나 사용 등이 있으며[3] 이런 기법들을 적
용하면서 MSK처럼 재밍 환경에 강한 변조방식을 적절하
게 사용한다면 항재밍 성능을 향상시킬 수 있다. 예를 들
어 Orthogonal한 M-ary FSK 모듈레이션에 클리핑 기법을
적용하는 경우 큰 부작용 없이 협대역/부분대역 재밍에
대해 효과적으로 동작한다는 연구 등이 진행되었으며[12]
다양한 기법들을 조합하면 각 기술들의 단점을 상호 보완
하고 높은 항재밍 성능을 이끌어낼 수 있다. 기타 무선통신
의 항재밍 기법들과 특징은 다음 표 2와 같다[3]

(표 2) 기타 항재밍 기법
(Table 2) Other Anti-Jamming Techniques

| 기법 | 특징 |
|-----------------|--|
| 클리핑 (리미팅) | 정해진 임계치를 넘는 신호를 강제로 임계치로 제한. 재밍 신호에 대한 사전정보가 부족한 경우 간단하게 구현 가능 |
| 이레이징 | 임계치를 넘어 신뢰성이 떨어지는 신호를 결합하거 나 복호화 과정에서 제거. 재밍 신호에 대한 사전정 보가 부족한 경우 간단하게 구현 가능 |
| 필터링 | 재밍 신호에 대한 통계적 정보를 알 때 수신 신호와 통계적 특성이 다른 재밍신호를 구분하고 필터링 |
| 다중 안테나 기법 | 지향성 안테나 빔의 Main lobe를 통신하는 방향으 로 유지하여 잡음레벨을 낮추고 항재밍 성능 유지 |

3. H/Q 과 SATURN

항재밍 성능이 탑재된 군용 공중통신 무전기는 주파수
도약기법을 주로 사용하고 있으며 재밍 및 감청을 회피
하기 위해 유용하며[13] 국내에서는 Have Quick이 지원되
는[14] 무전기가 사용되고 있으며 미군을 비롯한 NATO

에서는 SATURN 무전기를 주로 사용하고 있다.

3.1 Have Quick(15)

Have Quick은 STANAG 4246 표준으로 규정되었으며
미국과 NATO를 비롯한 동맹국들이 사용하였다. 주파수
도약기술을 사용한 Have Quick I 무전기는 음성통신의
보안성을 향상하기 위해 저속의 주파수 도약기술을 사용
하고 25khz 의 주파수 오프셋으로 225Mhz ~ 400Mhz 의
UHF 밴드에서 통신하도록 제작되었으며, 이후 항재밍 능
력을 향상한 Have Quick II 가 1984년에 개발되어 향상된
주파수 호핑 알고리즘과 최적화를 통해 성능을 향상시켰
고, Have quick II A 에서는 호핑 속도를 높여 항재밍과 보
안성을 높인 Fast Frequency Hopping(FFH) 모드 지원이 추
가되었다.

3.2 SATURN

SATURN은 Have Quick 대비 항재밍 능력을 향상시키
기 위해 고속으로 주파수를 호핑하고 디지털 데이터 전
송을 고려한 UHF 대역에서 동작하는 신형 무전기이다.
NATO의 STANAG-4372로 표준이 정의되었으며 현재
SATURN Edition 4까지 비교되어 있다. Edition 4 에서는
Edition 3 의 옵션 기능들이 기본적으로 지원되며 암호화
성능이 향상되었고 더 높은 비트레이트와 IP기능, MANET
(Mobile Ad Hoc Network)을 포함하는 새로운 기술표준이
정립되고 있다.[15] 일반에 공개된 자료에서 확인 가능한
Have Quick과 SATURN의 일반적인 차이점은 다음 표 3
과 같다.[16, 17]

4. SATURN 무전기 탑재를 위한 항공기 성
능개량과 항전장비 성능개량 사례

항재밍 무선통신 기술의 발달에 맞춰 차세대 항공기에
는 최신 SATURN 무전기가 적용될 것으로 생각되며 구
형 Have Quick 무전기를 사용하던 한국 육/해/공군 항공
전력에 대해서는 SATURN 무전기 교체가 검토되고 있
다.[20] 그러나 레거시 항공기에 SATURN 무전기를 탑재
후 연동하는 것은 다양한 부분에서 문제점을 발생시킬
수 있다. 이러한 문제점을 최소화하기 위하여 무전기 주
장비 교체에 의한 항공기 체계 영향성 분석과 안테나 및
추가 장착 장비에 대한 영향성 분석이 반드시 필요하다.
체계통합 이후에는 SATURN 무전기 장비점검과 설계변

(표 3) Have Quick과 SATURN 비교 [16]
(Table 3) Comparison of Have Quick and SATURN

| | Have Quick | SATURN |
|-----------------------|---|---|
| 변조방식 | Voice : AM DATA : ASK (Amplitude Shift Keying) | MSK (Minimum Shift Keying) |
| Data Rate | - | · Synchronous 300/600/1200 /2400/16000 bps · Asynchronous 300/600/1200 bps |
| Data Interleaving | 없음 | 적용 |
| 순방향 오류정정 (FEC) | 없음 | 적용 (Synchronous Data) |
| Data Overlay | | Pseudo-random overlay |
| Hopping | 없음 | 적용 * Monitor Fixed frequency while in hopping mode |
| Brake in | Conferencing | · Receiver Brake in · Transmitter Brake in |
| Automatic time Update | 없음 | 적용 |
| Time Correction | Net의 다른 터미널을 통한 업데이트 | · PTEC · ATEC · TOD 비콘 |
| 기타 | · SATURN이 Have quick에 비해 높은 시간동기화 수준 요구 · SATURN Edition4에서는 MANET, IP, 비트레이트 향상 등 추가기능 제공[18, 19] | |

경 상황에 대한 검증을 통해 시스템 요구도 만족여부를 확인하고 해당결과를 바탕으로 감항성 심사를 완료하여 공지통신 무전기 성능개량 프로그램을 진행하여야 한다. SATURN 무전기 성능개량 프로그램의 원활한 수행을 위해 SATURN 무전기 적용을 위한 체계 고려사항을 기반으로 항공기 성능개량 절차를 소개하고, 미군이 진행한 항전 최신화 성능개량 프로그램을 살펴보았다.

4.1 SATURN 무전기 적용을 위한 항공기 체계설계

SATURN 무전기를 포함한 항전장비 개조 시에는 무전

기교체와 안테나 추가/교체, RF 케이블에 의한 영향성을 체계설계 시점에 분석하여야 한다. Have Quick 방식의 기존 UHF 무전기를 SATURN 무전기로 교체 시 장비의 크기와 무게가 다름에 따라 장착 위치 또한 변경될 수 있다. 무전기의 소비전력에 변화에 따른 전기부하 분석과 무전기 교체에 따른 하중과 진동, 열분석 등의 구조 건전성 분석, 중량평형 분석을 통해 SATURN 무전기 운용가능 여부와 무전기 장착 최적 위치를 도출하여야 한다. 또한, 무전기의 RF 송/수신 및 항재밍 성능 극대화를 위해 UHF 통신용 안테나와 RF 케이블에 대한 검토가 필요하다. 항공기의 기존 장착된 UHF 대역 안테나에 대한 커버리지 분석을 통하여 안테나의 추가/교체 여부를 판단하고, 안테나 추가 또는 교체 시에는 기존 항전장비와의 간섭 분석과 공력 분석을 통한 안테나 최적위치 선정이 필요하다.[21] SATURN 무전기 안테나와 기존 통신·항법 장비 안테나 간의 간섭을 최소화 할 수 있는 안테나 위치 선정을 통해, 성능개량 시 타 장비에 의한 영향성을 최소화할 수 있다. 마지막으로 RF 케이블은 케이블 손실이 작은 MIL 규격의 케이블을 적용하여 최적의 경로를 도출함으로써 항공기 시스템에서 발생하는 RF 손실을 최소화 할 수 있다.

4.2 SATURN 무전기 성능개량 체계통합 및 시험평가

SATURN 무전기 성능개량 설계안을 기반으로 항공기를 개조한 후 SATURN 무전기 자체의 성능 뿐 아니라 설계변경에 따른 영향성 검증이 필요하다. 항공기 체계에 장착된 SATURN 무전기의 기능·성능을 검증하고 항공기용 환경제어장치(Environmental Control System : ECS)의 온도 측정과 전기부하 측정을 통하여 항공기 안전성을 확인한다.[22] 또한, 안테나 추가/교체로 항공기 외부개조에 의한 무선통신장비의 성능 저하 여부를 검증하는 P-Static 시험과 항공기 개조범위에 따른 타 장비 영향성 확인을 위해 MIL-STD-464을 기준으로 Intra-System EMC 시험을 수행한다.[23, 24, 25] 이러한 체계통합 후속 시험을 통해 SATURN 무전기 성능개량에 따른 항공기 전반에 대한 성능 검증을 수행할 수 있다.

항공기 성능개량에 대한 기본적인 검증이 완료되면, 무기체계 연구개발 사업의 일환으로 시험평가를 수행하게 된다. 시험평가는 크게 지상시험과 비행시험으로 분류되며, 각 단계에서 연구개발주관기관 주도의 개발시험평가와 소요군 주도의 운용시험평가를 수행한다. 체계통합 후속시험과 시험평가 결과를 기반으로 감항당국에서 수

행하는 감항심사를 통해 감항증명서가 발급됨으로써 항공기 성능개량이 완료된다.

4.3 C-130 항전 최신화 성능개량 프로그램 소개

한국군에서도 운용하고 있는 C-130의 미군 개량 사례를 검토하였다. 미군은 C-130의 항전 시스템 최신화하여 체계를 통합하였으며 통신장비 부분에서는 다음과 같은 시스템 요구사항을(SRD, System Requirements Document) 제시하였다.[26]

C-130의 음성 통신 시스템(HF, UHF, VHF, SATCOM)을 항공기 비행 관리 시스템(FMS, Flight Management System)에 통합하고 항재밍 무전기의 시간정보를 항공기의 GPS에서 수신 가능하도록 통합하였다. 또한 JTRS 아키텍처와 표준을 준수하도록 하여 상호운용성을 고려하였다. 특히 모든 UHF, VHF, HF, SATCOM 에 음성/데이터 암호화가 가능하도록 암호장비 연동 요구도를 추가하여 보안성을 강화하였다. SATCOM(Satellite Communication)에 대해 ARINC 741(L 밴드의 위성 데이터링크), ARINC 761(Inmarsat으로 동작하는 2세대 L 밴드 위성 데이터링크) 기능 및 인터페이스 요구사항을 강조하였고 SATCOM은 사용성에 문제가 없도록 군 표준만이 아닌 국제민간항공기구(ICAO, International Civil Aviation Organization)의 국제 표준 요구도인 SARPs(International Standards and Recommended Practices)를 준수하여 설계하도록 성능개량 프로그램에 반영하였다.

미군은 레저시 항공기를 개량하면서 항전 시스템 전체를 새롭게 교체하였고 업체들이 각 분야에서 관련된 기술 표준을 준수하도록 강제하였으며 통신 시스템도 항공기 비행관리시스템에 통합되어 연동에 따른 문제를 최소화하고 원활하게 사업이 진행될 수 있게 조치하였다.

이처럼 미래 한국군의 차세대 항공기 설계나 레저시 항공기의 통신장비 교체 시 기술표준적용에 따른 비용이 추가로 발생하더라도 동맹국 및 민간의 기술 표준을 엄격히 적용하고 사업을 진행한다면 성공적으로 성능개량을 진행할 수 있을 것이다.

5. SATURN 적용에 따른 효과분석

앞에서 서술된 것처럼 기술표준을 강력하게 준수한다면 항공기의 통신장비를 교체하는 것은 한국군에도 가능할 것이며 최신 Edition 4를 지원하는 SATURN을 활용할 경우 항재밍 성능 향상과 전술적 유용성에 대해 간략히

분석하였다.

5.1 Spread Spectrum 전송 환경에서 변조 방식 차이를 중심으로 항재밍 성능 확인

SATURN은 Have Quick보다 발전된 장비로 상대적으로 높은 수준의 항재밍 성능을 보일 것으로 추정된다. 두 장비 모두 현재 한국군과 미군에서 군사용으로 사용되는 장비이기에 Spread Spectrum 환경에서 SATURN과 Have Quick의 변조방식 차이에 따른 항재밍 성능에 대해서만 제한적으로 간략히 분석하였다.

Data 전송 환경을 가정하고 AWGN(Additive White Gaussian Noise)가 있는 환경에서 Spread Spectrum을 사용하여 ASK 변조로 데이터를 전송하는 무선통신과 MSK 변조를 사용하는 무선통신 시스템의 항재밍 성능을 BER(Bit Error Rate)를 성능지표로 삼아 전대역 잡음 재밍, 대역잡음 재밍, 펄스 재밍의 세기에 따른 BER 변화를 수식과 MATLAB을 활용한 시뮬레이션으로 확인하였다.

5.2 ASK 변조

재밍이 없고 AWGN가 N_0 로 존재하는 일반적인 환경에서 ASK의 BER P_b 는 다음과 같은 Q 함수로 유도된다.[4, 27]

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_0}}\right) \quad (5.1)$$

이 수식을 기반으로 재밍 방식과 재밍 강도에 따른 ASK 변조의 BER 영향을 분석한다. 재머는 재밍 대상에 대한 정보가 충분하여 재밍 대상이 사용하는 대역폭에 대해서만 재밍 신호를 방사한다고 가정하였다.

5.2.1 전대역 잡음 재밍과 Spread Spectrum을 사용하는 ASK변조

재밍 대상이 사용하는 스펙트럼에 대해 대역잡음 재밍이 발생하는 환경에서 송수신기가 사용하는 대역폭을 W_{ss} 라 하면 재밍 대상이 사용하는 대역폭에 대해서만 재밍 신호를 방사한다 가정하였으므로 수신기의 재밍강도 J_0 는 $J_0 = \frac{J}{W_{ss}}$ 로 발생한다.(J : 재머 출력)

대역잡음 재밍이 발생하는 경우 AWGN에 재밍 신호가 더해지며 다음과 같이 표현된다.[28]

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o + J_0}}\right) = Q\left(\sqrt{\frac{E_b/N_o}{1 + J_0/N_o}}\right) \quad (5.2)$$

이 때 AWGN은 재밍 신호에 비해 무시할 수 있을만큼 작으므로 다음과 같이 근사적으로 쓸 수 있다.[28]

$$P_b \approx Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{J_0}}\right) \quad (5.3)$$

S를 수신된 신호 세기, R을 데이터 레이트(Bit/S)라 하면 재밍 노이즈에 대한 비트 에너지는 다음과 같이 구할 수 있다.[4]

$$\frac{E_b}{J_0} = \frac{S/R}{J/W}, \quad \frac{J}{S} = \frac{W/R}{E_b/J_0} \quad (5.4)$$

이를 식 (5.2) 에 대입하면

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{E_b/N_o}{1 + (E_b/N_o)(J/S)/(W_{SS}/R)}}\right) \quad (5.5)$$

$$= Q\left(\sqrt{\frac{E_b/N_o}{1 + (E_b/N_o)(J/S)/G_p}}\right)$$

여기서 G_p 는 $\frac{W_{SS}}{R}$ 로 Processing Gain을 의미한다. (5.5) 수식을 통해 Spread Spectrum을 사용하는 ASK에서 재밍이 발생할 때 BER을 낮출 방법은 대역폭을 넓히거나 데이터레이트를 낮춰 Processing Gain을 증가시키는 것밖에 없다.

5.2.2 부분대역 잡음 재밍과 Spread Spectrum을 사용하는 ASK변조

재밍 대상이 사용하는 주파수 중 일부에만 재밍이 발생하는 부분대역 잡음 재밍 환경에 대해 분석한다. 부분대역 잡음 재밍에서 재머는 재밍 대상이 사용하는 주파수 대역 중에서 일부에 대해서만 재밍을 시도한다. 재밍되는 주파수 대역의 비율을 ρ ($0 < \rho \leq 1$) 라 하면 재머의 수신기의 재밍 강도는 $\frac{J_0}{\rho}$ 로 전대역 잡음 재밍에 비해 재밍되는 대역에 대한 재밍 강도가 높아진다.[4]

BER은 재밍이 없는 대역에서 전송되는 경우와 재밍되는 대역에서 전송되는 경우로 ρ 로 나뉘지며 재밍이 없는

(5.1) 와 재밍이 있는 (5.2)의 수식을 통해 다음과 같이 부분대역 잡음 재밍의 BER이 구해진다.

$$P_b = \rho Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o + J_0/\rho}}\right) + (1-\rho) Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o}}\right) \quad (5.6)$$

AWGN은 재밍 신호에 비해 무시할 수 있을만큼 작으므로 다음과 같이 근사적으로 쓸 수 있다.

$$P_b \approx \rho Q\left(\sqrt{\frac{E_b\rho}{J_0}}\right) \quad (5.7)$$

5.2.3 펄스 재밍과 Spread Spectrum을 사용하는 ASK변조

재밍 대상이 사용하는 전 주파수에 대해 펄스 재밍을 하는 경우를 가정하였다. 재밍 펄스가 발생하는 주기와 부분대역 잡음의 재밍 대역은 유사한 의미를 가지므로 부분대역 잡음과 비슷한 형태로 도출된다.

펄스 재밍 신호가 존재하는 시간 비율을 ρ' 라 하고 재머의 평균출력이 일정하고 재밍 길이가 짧을수록 재밍 파워가 강해질 수 있다고 가정한다. 재밍 시간 비율 $0 < \rho' < 1$ 사이에 존재하면 재머의 재밍 전력 스펙트럼 밀도는 $\frac{J_0}{\rho'}$ 로 증가한다.

재밍 대상이 사용하는 대역폭에 대해서만 재밍 신호를 방사한다고 가정하였기에 펄스 재밍은 시간축에서 영향을 주고, 부분대역 잡음 재밍은 주파수 축에서 영향을 주는 것으로 결과적으로 동일한 형태의 수식으로 도출된다.

$$P_b = \rho' Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o + J_0/\rho'}}\right) + (1-\rho') Q\left(\sqrt{\frac{E_b}{N_o}}\right) \quad (5.8)$$

AWGN은 재밍 신호에 비해 무시할 수 있을만큼 작으므로 다음과 같이 근사적으로 쓸 수 있다.

$$P_b \approx \rho' Q\left(\sqrt{\frac{E_b\rho'}{J_0}}\right) \quad (5.9)$$

5.3 MSK 변조

MSK는 OQPSK에서 구형파 대신 반 파장의 정현파로 펄스 정형을 한 것으로 볼 수 있으며, 연속위상 이진 FSK

변조한 신호로 볼 수 있다. 즉 MSK의 복조는 OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying)의 나 FSK의 복조 방식 모두 가능하며 기저대역 펄스의 모양 차이만으로 BER이 달라지지 않으므로 MSK는 동일한 BER을 갖는다.

재밍이 없고 AWGN가 N_o 로 존재하는 일반적인 환경에서 OQPSK신호처럼 보고 유도된 MSK의 BER 수식은 다음과 같다.[27]

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \quad (5.10)$$

이 수식을 활용하여 재밍 방식과 재밍 강도에 따른 BER 영향을 분석한다. 재머는 재밍방식에 무관하게 재밍 대상이 사용하는 대역폭에 대해서만 재밍 신호를 방사한다고 가정한다.

5.3.1 전대역 잡음 재밍과 Spread Spectrum을 사용하는 MSK변조

대역잡음 재밍이 발생하는 경우 AWGN에 재밍 신호가 더해지며 (5.2) 와 동일한 방식으로 유도하면 다음과 같이 표현된다.[4]

$$P_b = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o + J_0}}\right) \quad (5.11)$$

AWGN은 재밍 신호에 비해 무시할 수 있을만큼 작으므로 다음과 같이 근사적으로 쓸 수 있다.

$$P_b \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{J_0}}\right) \quad (5.12)$$

5.3.2 부분대역 잡음 재밍과 Spread Spectrum을 사용하는 MSK변조

부분대역 잡음 재밍이 발생하는 경우 AWGN에 재밍 신호가 더해지며 식 (5.6) 과 동일한 방식으로 재밍이 발생하는 대역과 아닌 대역으로 나뉘 유도하면 다음과 같이 표현된다.[4]

$$P_b = \rho Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o + J_0/\rho}}\right) + (1-\rho) Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \quad (5.13)$$

AWGN은 재밍 신호에 비해 무시할 수 있을만큼 작으

므로 다음과 같이 근사적으로 쓸 수 있다.

$$P_b \approx \rho Q\left(\sqrt{\frac{2E_b\rho}{J_0}}\right) \quad (5.14)$$

5.2.3 펄스 재밍과 Spread Spectrum을 사용하는 MSK변조

펄스 재밍이 발생하는 경우 식 (5.8) 과 동일한 방식으로 재밍이 발생하는 시간과 재밍이 없는 시간으로 나뉘 유도하면 다음과 같이 표현된다.[4]

$$P_b = \rho' Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o + J_0/\rho'}}\right) + (1-\rho') Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_o}}\right) \quad (5.15)$$

AWGN은 재밍 신호에 비해 무시할 수 있을만큼 작으므로 다음과 같이 근사적으로 쓸 수 있다.

$$P_b \approx \rho' Q\left(\sqrt{\frac{2E_b\rho'}{J_0}}\right) \quad (5.16)$$

5.4 시뮬레이션

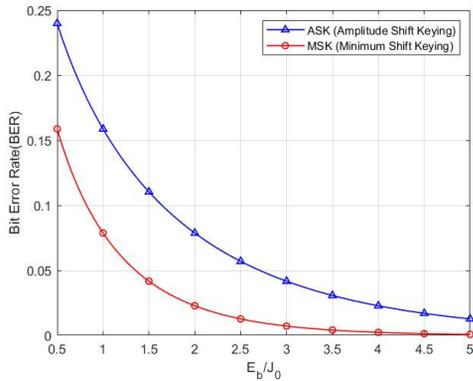
5.4.1 시뮬레이션 환경

전대역, 부분대역 잡음 재밍, 펄스 재밍 환경에서 ASK, MSK 변조의 장점을 확인하기 위해 MATLAB을 통해 시뮬레이션을 시행하였다.

실제 환경에서는 재밍 대상에 대한 정보가 부족하여 부분대역 잡음 재밍이 펄스 재밍보다 효과적일 수 있으나, 본 논문에서는 사전정보가 충분하여 재밍 대상이 사용하는 대역에 대해서만 재밍신호를 방사한다고 가정하였다. 결과적으로 펄스 재밍은 시간축에서, 부분대역 재밍은 주파수축에서 일부분을 재밍하는 것처럼 되어 동일 형태의 수식으로 도출된다. 상기 이유로 인해 부분대역 재밍을 제외하고 전대역 재밍과 펄스 재밍 환경에서 재밍 강도 변화에 따른 ASK, MSK 변조 방식의 BER 성능 변화만을 확인하였다.

5.4.2 전대역 잡음 재밍에서의 BER 비교

수식 (5.3), (5.10)을 사용하여 전대역 잡음 재밍 환경에서 신호대 재밍 신호비에(E_b/J_0)에 따른 ASK, MSK 변조의 BER 변화를 그림 1 그래프로 비교하였다.

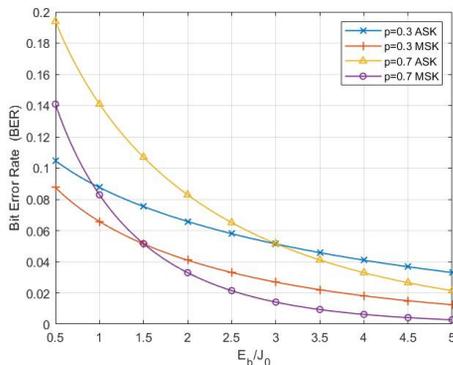


(그림 1) 전대역 잡음 재밍에서 ASK, MSK의 BER (Figure 1) BER of ASK, MSK in Broadband noise jamming

전대역 잡음 재밍 환경에서 신호 대 잡음 신호비 (E_b/J_0)가 동일한 수준일 때 ASK는 MSK에 비해 BER이 매우 높아 재밍에 취약할 것으로 확인된다.

5.4.3 펄스 잡음 재밍에서의 BER 비교

(5.9) 와 (5.16) 수식을 이용하여 펄스 잡음 재밍 환경에서 신호대 재밍 신호비(E_b/J_0) 따른 ASK, MSK 변조의 BER 변화를 확인하였다. 재밍 펄스가 발생하는 시간비율 ρ' 는 0.3, 0.7 인 두가지 경우를 가정하여 펄스 주기가 짧고 재밍 신호가 강한 경우와 펄스 주기가 긴 대신 재밍 신호 세기가 작을 때 재밍 효과 차이를 그림 2 그래프로 확인하였다.

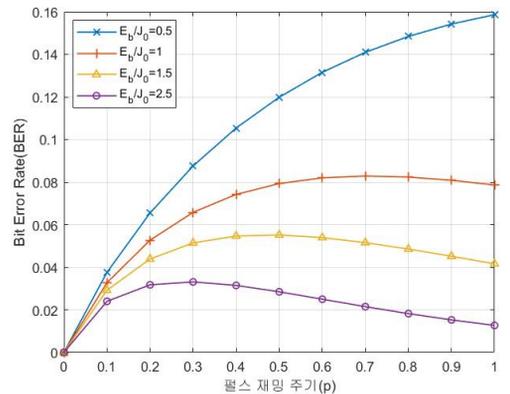


(그림 2) 펄스 잡음 재밍에서 ASK, MSK의 BER (Figure 2) BER of ASK, MSK in Pulse jamming

펄스 재밍에서도 동일한 신호대 재밍 신호비(E_b/J_0)에서 MSK가 ASK에 비해 BER이 낮아 항재밍 성능이 좋을 것으로 확인된다. MSK를 사용하여 다양한 재밍 패턴에서도 전반적으로 우수한 성능을 보장할 것이다.

또한 재머 입장에서는 펄스 재밍이나 부분대역 재밍을 시도할 때 재밍 주기에 따라 재밍 효율이 차이하게 된다. 그림 3에서 재밍 대상 시스템이 MSK 변조를 사용할 때 신호대 재밍 신호비(E_b/J_0)가 1.5 보다 작을 때는 $\rho' = 0.7$ 로 운영하는 것이 유리하고 1.5보다 큰 경우 $\rho' = 0.3$ 로 운영하는 것이 유리하다.

재밍 대상 시스템이 MSK 변조를 사용하고 신호대 재밍 신호비(E_b/J_0)가 0.5, 1, 1.5, 2.5 일 때 재밍 효율을 최적화 할 수 있는 ρ' 에 대해 확인하였다.



(그림 3) 펄스 잡음 재밍에서 펄스 재밍 주기에 따른 MSK 변조 시스템의 BER 변화 (Figure 3) BER change of MSK modulation system according to pulse jamming period

재머 입장에서 재밍 대상 시스템에게 재밍 신호를 강하게 공격하기 어려운 환경이면 (E_b/J_0 가 높은 환경) 펄스 재밍 주기를 적절히 짧게 가져가는 것이 상대의 BER을 가장 효과적으로 낮출 수 있을 것이다. 반대로 재밍 대상 시스템에 재밍 신호를 매우 강하게 공격할 수 있다면 (E_b/J_0 가 낮은 환경) 펄스 재밍보다는 전대역 잡음 재밍이 유리함을 확인할 수 있다. 재밍 공격자가 재밍 대상 시스템에 대한 정보를 많이 알고, 재밍 대상 시스템의 E_b/J_0 를 적절하게 추정한다면 가장 효과적인 재밍 방식을 선택하고 전자공격을 가할 수 있을 것이다.

이처럼 SATURN의 공개된 특징 중 변조방식 한가지만을 갖고 부분적으로 Have Quick과 비교하였음에도 높은

항재밍 성능이 확인된다. SATURN은 다양한 항재밍 기법을 조합하여 제작되었을 것으로 추정되며 더 높은 성능을 제공할 것으로 생각된다. 항재밍 성능이 향상된 SATURN의 우수한 성능은 전자전 환경에서 안정적인 네트워크 중심전을 수행하는데 큰 도움이 될 것이다.

5.2 SATURN Edition4 와 MANET의 효과

SATURN Edition4에서는 MANET이 지원됨에 따라 비가시선 환경에서도 통신을 지속적으로 유지할 있다. 특히 가시선의 보장이 불가능한 한반도 산악 지형의 특성으로 인해 전술적 유용성이 있음에도 불구하고 지상 무전기만으로는 Ad-hoc 네트워크를 구성하는 것은 어렵다. [29] 이러한 문제점을 극복하기 위해 드론 및 공중에 채공중인 항공기를 중계 시스템으로 활용한 Ad-hoc 네트워크 구축 방안과 전술적 효과에 대한 분석이 국내를 비롯하여 전 세계적으로 다수 진행되고 있다.[28-34] SATURN Edition 4 도입을 통해 항공기의 터미널들이 MANET 중계기로도 동작한다면 한반도의 산악 지형에서도 안정적인 통신이 지원될 수 있을 것이다.

6. 결 론

본 논문에서는 무선통신에 대한 재밍/항재밍 기술에 대해 살펴보고 기존 Have Quick 과 SATURN 의 기술적 차이점과 변화에 대해 확인하였고 SATURN에 대해 공개되어있는 자료를 바탕으로 성능의 우수성에 대해 간략하게 확인하였다.

한국군이 사용중인 Have Quick 무전기는 그동안 적의 재밍 위협에서 한국군의 통신체계를 보호해왔으나 현대에 발전된 재밍 기술에 대응하기 위해 더 높은 항재밍 기술을 가진 통신장비를 도입하는 것은 중요하다. 미군과의 연합작전이 동반되는 한국군 환경에서 미군과의 통신이 가능한 동일한 SATURN 무전기 도입은 연합작전능력 보장을 위해 중요하며 높은 항재밍 능력을 가진 통신시스템을 구축한다면 미래 네트워크 중심전으로 나아가기 위한 안정적 기반이 될 것이다.

참고문헌(Reference)

[1] J. H. Kim, E. C. Kim, and J. M. Lee, "군 통신에서의 재밍 (Jamming) 기술" Information and Communications Magazine Vol. 26, No. 3, pp.32-40 2009.

<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200909651053088.page>

[2] H. Y. Jung, J. -H. Lee, K. S. Kim. "On the Performance of Time-Hopping Systems under Hostile Jamming Environments", Journal of the KIMST, Vol. 21, No. 1, pp.115-123, 2018.
<http://dx.doi.org/10.9766/KIMST.2018.21.1.115>

[3] D. -H, Lee, , B. -H. Go, and G. -S. Kim., "Anti-Jamming 기반 전술통신 기술" Information and Communications Magazine Vol. 24, No. 10, pp.24-33. 2007.
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200734515968682.page>

[4] Cem Sen, "Digital Communication Jamming", US Navy postgraduate school, pp.45-70, 2000.
<https://calhoun.nps.edu/handle/10945/32961>

[5] Scholtz, R. "The spread spectrum concept" IEEE Transactions on Communications, Vol. 25, No. 8, pp.748-755, 1977.
<http://dx.doi.org/10.1109/TCOM.1977.1093907>

[6] Kang, Taeho, et al. "A survey of security mechanisms with direct sequence spread spectrum signals." Journal of Computing Science and Engineering, Vol. 7, No. 3, pp.187-197, 2013.
<https://doi.org/10.5626/JCSE.2013.7.3.187>

[7] Simon, Marvin, et al., "Spread spectrum communications handbook", McGraw-Hill Education, 2002.

[8] Proakis, John G. "Interference suppression in spread spectrum systems" ISSSTA'95 International Symposium on Spread Spectrum Techniques and Applications. IEEE, Vol. 1, pp.259-266, 1996.
<https://doi.org/10.1109/ISSSTA.1996.563782>

[9] Schilling, D., et al. "Optimization of the processing gain of and M-ary direct sequence spread spectrum communication system." IEEE transactions on communications Vol. 28. No. 8 pp.1389-1398, 1998.
<https://doi.org/10.1109/TCOM.1980.1094782>

[10] Alaybeyoğlu, Ersin, and Hakan Kuntman. "CMOS implementations of VDTA based frequency agile filters for encrypted communications" Analog Integrated Circuits and Signal Processing Vol. 89, No. 3, pp.675-684, 2016.
<https://doi.org/10.1007/s10470-016-0760-y>

[11] Pickholtz, Raymond, Donald Schilling, and Laurence Milstein. "Theory of spread-spectrum communications-a tutorial." IEEE transactions on Communications Vol.

- 30, No. 5, pp.855-884, 1982.
<https://doi.org/10.1109/TCOM.1982.1095533>
- [12] Keller, C., and M. Pursley. "Clipped diversity combining for channels with partial-band interference-part I: clipped-linear combining." *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 35, No. 12 pp.1320-1328, 1987.
<https://doi.org/10.1109/TCOM.1987.1096711>
- [13] S. N. Bae, S. W. Han, "Synchronization Performance on the Frequency Hopping Radio Communication System" *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences*, Vol. 36, No. 4 pp.312-317, 2011.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE01632140>
- [14] J. H. Kim, J. Y. Kim, J. Y. Song, W. K. Na., "Design of Communication Test Equipment using ARC-232 Radio" *KSAS 2016 Fall Conference*, pp.1242-1243, 2016.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07090935>
- [15] Keating, J. F. "A cositable ground radio for Have Quick and SATURN." *Conference Proceedings on Tactical Communications IEEE*, Vol. 1, 1990.
<https://doi.org/10.1109/TCC.1990.177753>
- [16] Boyd Kaiser, Jarod Droll, "Comparison of SATURN and Havequick" *Collins Aerospace*, Mar 2019.
<https://modernbattlespace.com/download-saturn-comparison-of-saturn-and-havequick/#.YZ8qmsXP2Um>
- [17] J. M. Wu and J. Y. Wang, "An Approach Based on Models to the Design and Development for Integrated Modular Avionics" *14th AIAA Aviation Technol., Integration, and Operations Conf*, pp.2225, 2014.
<https://doi.org/10.2514/6.2014-2225>
- [18] <https://modernbattlespace.com/2019/05/09/comparing-saturn-waveform-havequick-how-improves-battlespace-comms/#.YQSV6z9xeUk>
- [19] https://scdn.rohde-schwarz.com/ur/pws/dl_downloads/dl_common_library/dl_brochures_and_datasheets/pdf_1/Aviation_bro_en_3609-3536-42_v0100_120dpi.pdf
- [20] <https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156448767>
- [21] 안승범, 지성환, 정한길, 이성일. "항공기 피아식별 장비 개조 간 안테나 추가에 따른 간섭분석 연구" *한국전자과학회 하계종합학술대회 논문집*, pp. 220-221, 2021.
<https://www.kiees.or.kr/html/?pmode=BBBS0012700001&smode=view&seq=2334>
- [22] J.-U. So, J. S. Kim, J. W. Kim, J. B. Kim, "Design and Performance Test of Cooling-Air Test Equipment for the Environmental Control System in Aircraft" *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol.49. No.2 pp.147-154, 2021.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE10524750>
- [23] H. C. Woo, Y. T. Kim, B. G. Kim, "A Research on the Static Discharger Installation Design and Test for Air Vehicle", *Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, Vol. 45, No. 7, pp.574-580, 2017.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE07220876>
- [24] J. H. Kim, I. H. Jung, K. I. Lee, K. S. Lee, S. Oh., "A Study on Electromagnetic Environmental Effects(E3) Test and Evaluation of a Commercial Derivative Military Aircraft", *Journal of the KIMST*, Vol.22, No.2, pp.224-232, 2019.
<https://www.dbpia.co.kr/Journal/articleDetail?nodeId=NODE10058674>
- [25] J. W. Seo, B. K. Jung, C. B. Yoon, Y. J. Shin, "The CE101 Test of the Army Aircraft's UHF Band Transceiver" *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, Vol.26. No.11, pp.992-998, 2015.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE06561596>
- [26] https://fas.org/man/dod-101/sys/ac/docs/SRD_5_2.htm
- [27] 김명진, *아날로그 및 디지털 통신이론*, pp.556-882, 생능출판사, 2007
- [28] Burbank, Jack L., et al. "Key challenges of military tactical networking and the elusive promise of MANET technology" *IEEE Communications Magazine*, Vol.44, No.11, pp.39-45, 2006.
<https://doi.org/10.1109/COM-M.2006.248156>
- [29] J. H. Na., Sang-U. Yang, and Gyu-Taek Lee. "통합모듈형항공전자 (IMA) 기술동향" *The Magazine of the IEIE* Vol.41, No.9, pp.36-46, 2014.
<https://www.koreascience.or.kr/article/JAKO201435051109852.page>

- [30] O. H. Keun, C. S. Ryeol, J. K. Lee, "A Study on the Tactical Operation of Flying Ad-hoc Networks in Military Mission" Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp.360-361, 2018.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NO-DE07565141>
- [31] S. J. Park, H. H. Park, H. C. Ahn, Y. C. Kim, "Operational Concept and Effectiveness for Aerial Tactical Network in TICN", The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.45, No.2, pp.458-466, 2020.
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NO-DE09303105>
- [32] M. J. Yoon., T. H. Kang, H. U. Jeon, J. Y. Lee.. "Location Based Reliable Routing Protocol for Tactical Mobile Ad-Hoc Networks" The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.37, No.11, pp.1150-1163, 2012.
http://www.ndsl.kr/soc_img/society/kics/GCSHCI/2012/v37Cn11/GCSHCI_2012_v37Cn11_1148.pdf
- [33] Wang, Haidong, et al. "Implementing mobile ad hoc networking (MANET) over legacy tactical radio links" MILCOM 2007-IEEE Military Communications Conference. IEEE, 2007.
<https://doi.org/10.1109/MILCOM.2007.4455103>
- [34] Jahnke, Marko, et al. "MITE-MANET intrusion detection for tactical environments", NATO/RTO IST-076 Research Symposium on Information Assurance for Emerging and Future Military Systems, 2008.
<https://marko-jahnke.de/docs/work/rto-rsy08.pdf>

● 저 자 소 개 ●



이 광 열(Kwangyull Lee)

1981년 인하대학교 항공공학과(공학사)
1985년 삼성정밀 입사
2009년 삼성탈레스 PM3그룹장
2020년 한화탈레스 감시정찰사업부 사업부장
관심분야 : AESA RADAR, 초소형위성, etc.
E-mail : ky0208.lee@hanwha.com



양 태 호(Taeho Yong)

1994년 홍익대학교 전자공학과(공학사)
2013년 금오공과대학교 전기전자공학과(공학석사)
1994년 삼성전자 입사
2001년 삼성탈레스 해양연구소 HW팀장
2018년 한화탈레스 사업지원담당
2020년 한화시스템 항공·우주연구소장
관심분야 : 항공전자, 위성 임무장비, etc.
E-mail : ted.yang@hanwha.com

● 저 자 소 개 ●



안 승 범(Seungbeom Ahn)

2004년 2월 홍익대학교 전자전기공학부(공학사)
2006년 2월 홍익대학교 전자공학과(공학석사)
2011년 2월 홍익대학교 전자정보통신공학과(공학박사)
2011년 1월~2017년 4월 LS산전 책임연구원
2017년 4월~2020년 5월 한국항공우주산업 책임연구원
2020년 5월~현재 한화시스템 생산기술 2팀 수석연구원
관심분야 : 구조체 안테나 해석 및 설계, 항공전자 RF/무전기 체계통합, 항공전자 시험평가
E-mail : seungbeom.ahn@hanwha.com



안 경 수(Kyeongsoo An)

2003년 부산대학교 전기전자통신공(공학사)
2002년 삼성탈레스 입사
2009년 경북대학교 전기전자컴퓨터공(공학석사)
2018년 한화시스템 항공전자시스템 팀장
관심분야 : 항공전자, 항공 임무장비, etc.
E-mail : kyeongsoo.an@hanwha.com



장 인 동(Indong Jang)

2000년 대구대학교 전산통계학과(이학사)
2002년 경북대학교 대학원 컴퓨터공학과(공학석사)
2002년~2007년 한국전자통신연구원
2007년~2011년 국방과학연구소
2011년~현재 한화시스템 수석연구원/파트장
관심분야 : 컴퓨터공학, 항공전자, 감항인증, etc.
E-mail : indong.jang@hanwha.com



한 철 희(Chulhee Han)

1997년 중앙대학교 전자공학과(공학사)
1999년 연세대학교 전자공학과(공학석사)
2007년 연세대학교 전기전자공학과(공학박사)
2006년 한화시스템 수석연구원
관심분야 : 전술통신, 이동통신시스템, 신호처리, Cognitive Radio, etc.
E-mail : chulhee.han@hanwha.com