

스텔스 전술 데이터링크의 저피탐 통신 성능 분석을 위한 GUI 시뮬레이터 설계

최신욱, 구영훈, 송대영, 정의민, 박지현, 김재원

국방과학연구소

schoi@add.re.kr, gyh0808@add.re.kr, daeyoungsong@add.re.kr, jung@add.re.kr, jhpark@add.re.kr, arbor405@add.re.kr

A GUI-Based Simulator Design for Low Probability of Detection Communication Performance Analysis of Stealth Tactical Data links

Sinuk Choi, Young-Hoon Goo, Daeyoung Song, Eui Min Jung, Jihyeon Park, Jaewon Kim

Agency for Defense Development

요약

본 논문에서는 스텔스 전술데이터링크의 저피탐 통신 성능 분석을 위해 설계한 GUI 시뮬레이터를 소개한다. 저피탐 통신 기술에 대한 필요성이 증가함에 따라 여러 연구에서 저피탐 통신 성능 개선 연구를 수행해왔으나 운용환경을 고려하지 않은 각 기술의 단편적인 성능을 제시한 사례가 많았다. 반면, 실제 스텔스 전술데이터링크에 적용하기 위해서는 운용환경에 따라 대역폭, 사용 전력, 신호 길이 등을 반영한 성능 분석 결과를 도출하는 것이 필요하다. 성능 비교 분석을 위해 먼저 기본/저피탐 웨이브폼 block diagram을 설계하고 다양한 성능 지표들을 분석할 수 있는 피탐/수신 성능 분석부와 전투기 편대의 비행을 모사한 환경에서의 성능 분석을 위한 운용부로 나누어 설계하였다. 그 결과, 설계한 시뮬레이터의 성능 분석 결과 예시를 도시하고 그 결과 다양한 매개변수 설정을 통한 성능 분석이 가능함을 확인하였다.

I. 서론

저피탐(low probability of communication, LPD) 통신은 감시자의 통신 검출 확률을 열화시키는 통신 기술을 말하며, 무선통신 분야에서 중요한 연구 분야 중 하나로 여겨진다.[1] 저피탐 통신 기술은 송신자의 통신 여부 발각을 억제해 보안 위협을 방지할 수 있으며, 아군 신호 발각 시 심각한 피해가 발생할 수 있는 군사 통신 분야에서 중요한 특성 중 하나로 고려된다.[2] 신호 존재 발각 확률을 최소화하는 것을 목표로 하는 저피탐 통신은 일반 무선통신 시스템에서 주요 서비스 품질 (quality of service, QoS) 지표로 고려되는 수신기의 지연 시간과 양정성 등과 더불어 신호가 감시자에게 탐지될 확률이 중요한 성능 지표로 여겨지며, 현재까지 기존 연구에서 저피탐 통신 성능 개선을 위한 연구를 수행하였으나, 운용환경 등을 고려하지 않고 임의의 다양한 조건에서 각 기술의 개별적인 성능만을 제시한 연구가 많았다. 하지만, 실제 스텔스 전술데이터링크에 적용하기 위해서는 실제로 사용할 대역폭, 사용 전력, 신호 길이 등을 반영한 시뮬레이터를 제작해 사전 성능 분석을 수행하여 최적 통신 매개변수를 규정하는 것이 요구된다. 그에 따라 본 논문에서는 운용환경을 고려한 다양한 조건에서 시뮬레이션을 수행하기 위하여 스텔스 전술데이터링크를 위한 저피탐 통신 GUI 시뮬레이터를 제작하였으며, 통신 블록도 설계 결과와 시뮬레이터 성능 분석 결과 예시를 제시한다.

II. 본론

본 논문에서 설계한 스텔스 전술 데이터링크 저피탐 통신 성능 분석 시뮬레이터는 기존 기법과의 성능 비교를 위한 기본 웨이브폼과 기존 저피탐 통신 연구에서 제시된 기법 등을 추가 적용한 저피탐 웨이브폼에 대한 block diagram을 분리하여 설계하였다. 통신 채널은 기본적인 additive white Gaussian noise (AWGN) 채널과 전투기 편대 비행 시

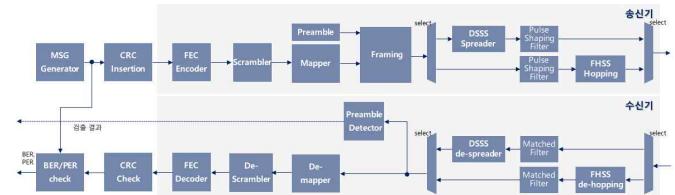


Fig. 1. 기본 웨이브폼 block diagram

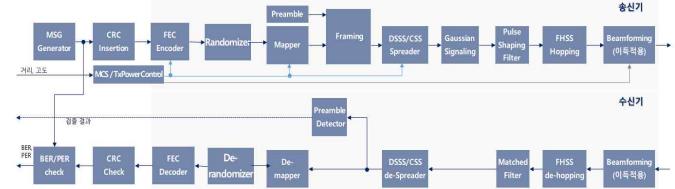


Fig. 2. 저피탐 웨이브폼 block diagram

line-of-sight (LOS) 확보가 용이한 특성을 고려하여 Rician fading 채널을 구현하였다.

1) 기본 웨이브폼 통신 블록도

Fig. 1은 기본 웨이브폼 시뮬레이터의 block diagram를 나타낸다. 기본 웨이브폼 시뮬레이터는 일반적으로 사용되는 통신 모뎀의 block diagram과 유사하게 설계하였다. 대표적인 기능 블록으로는 CRC 검사, 채널 코딩, scrambler, 신호 변조(mapper), preamble과의 framing, 스펙트럼 확산, pulse shaping 기능을 포함한다. 기본 웨이브폼의 block diagram은 군사 통신 분야에 적용되는 통신 시스템을 고려하여 direct sequence spread spectrum (DSSS)와 frequency hopping spread spectrum (FHSS) 중 한 가지 스펙트럼 확산 기법을 선택하여 적용할 수 있도록 설계하였다.

2) 저피탐 웨이브폼 통신 블록도

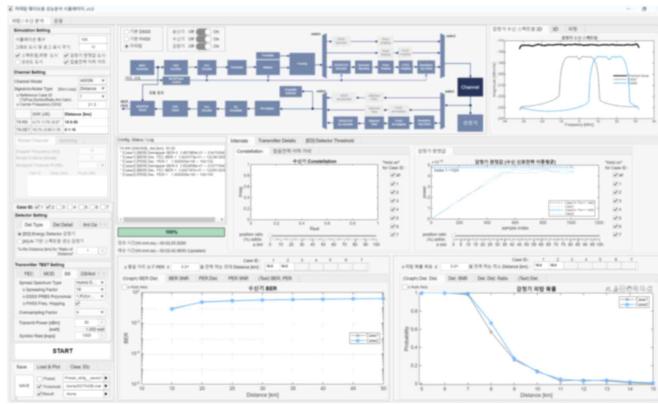


Fig. 3. 피탐/수신 분석 시뮬레이션 결과 예시

Fig. 2는 저피탐 웨이브폼 시뮬레이터의 block diagram을 나타낸다. 기본 웨이브폼 block diagram에서 저피탐 통신 관련 연구에서 효과적이라고 제시되었던 기능과 함께 여러 기능을 추가 설계하였다. MCS 및 송신 전력 제어, Gaussian signaling, beamforming, hybrid spread spectrum 기능을 추가하였으며, MCS 및 송신 전력 제어는 스텔스 전술데이터링크를 탑재한 전투기 운용 시뮬레이션 시 감청기와의 거리와 고도 등에 따라 MCS 전력을 제어한다.[1] Gaussian signaling은 송신 신호의 분포를 Gaussian distribution을 따르도록 하게 하는 기술로, 수신기는 코드북을 사용하여 수신 신호를 복조할 수 있으나 코드북이 없는 감청기는 잡음과 구별하기 어려워 저피탐 성능이 향상될 수 있다는 연구 결과가 있기에 해당 기법을 추가하였다. Hybrid spread spectrum은 DSSS와 유사한 특징을 가지며, 저피탐 성능을 개선할 수 있다고 알려진 chirp spread spectrum (CSS)을 추가로 적용할 수 있도록 설계하였으며, DSSS/CSS와 FHSS를 동시에 적용하여 기존 spread spectrum과의 성능을 비교할 수 있다. 마지막으로 안테나 제어를 통해 gain 이득을 확보할 수 있는 beamforming 기능을 추가하였으며, 전투기의 운용환경을 고려하여 송수신 신호에 gain을 반영할 수 있다.

3) 저피탐 웨이브폼 성능 분석 시뮬레이터

언급한 기본 웨이브폼 block diagram과 저피탐 웨이브폼 block diagram을 반영한 저피탐 웨이브폼 성능 분석 시뮬레이터 GUI를 설계하였다. 시뮬레이터는 MATLAB을 기반으로 개발하였으며 여러 매개변수에 따른 성능을 비교하고, PER 및 탐지 확률뿐만 아니라 성상도와 파형, bit error ratio (BER) 등 다양한 지표들을 함께 분석할 수 있는 피탐/수신 분석부와 전투기 편대의 비행을 모사하여 다양한 웨이브폼의 packet error ratio (PER) 및 검출 확률 관련 성능 분석을 수행할 수 있는 운용부로 나누어 설계하였다.

Fig. 3의 피탐/수신 분석부에서는 두 가지 파형에 대한 성능 분석 결과 예시를 나타내며, simulation setting에서 선택한 채크박스에 따라 감청기 판정값 및 수신 스펙트럼 등을 확인할 수 있다. 다양한 매개변수의 설정 결과는 transmitter details 탭을 선택하여 확인할 수 있으며, 거리에 따른 BER과 피탐 확률은 GUI 시뮬레이터 하단에서 확인할 수 있다. 예시에서 도시한 성능 분석 결과 이외에도 거리, signal-to-noise ratio (SNR)에 따른 PER, BER과 성상도, 감청기 판정 결과, 피탐 거리 비율 등을 함께 확인할 수 있다.

Fig. 4에서는 전투기 편대 비행에 따른 시뮬레이션 성능 결과를 도시하였다. 전투기 편대 간의 거리와 감청기와의 거리 등을 설정하고, 피탐/수신 분석부에서 설계한 매개변수를 반영한 여러 웨이브폼을 전투기 편대 비행에 따라 분석할 수 있다. 성능 분석 결과는 스텔스 전술데이터링크

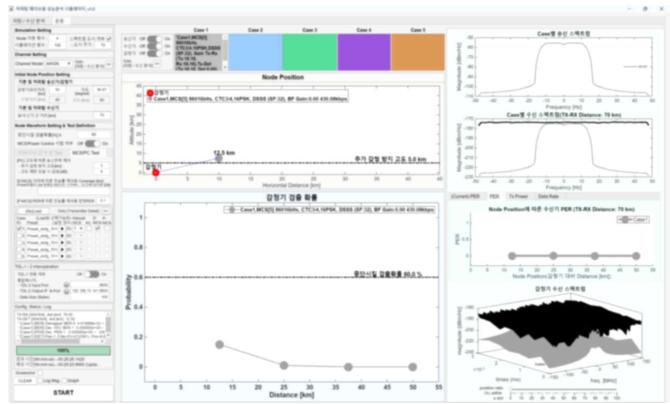


Fig. 4. 운용부 시뮬레이션 결과 예시

의 대표 성능 지표로 고려하는 검출 확률과 PER 등이 있다. 위와 같이 스텔스 전술데이터링크의 저피탐 통신 성능 분석을 위해 피탐/수신 분석부와 운용부를 선택해 다양한 조건에서 분석할 수 있으며, 시뮬레이션을 통해 최적의 웨이브폼 매개변수를 설계하는 데 활용할 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 스텔스 전술데이터링크의 성능 분석을 위한 GUI 시뮬레이터 설계 결과를 제시하였다. 기존 기법과의 성능 비교를 위한 기본 웨이브폼의 block diagram을 먼저 설계하고 이후 저피탐 통신 관련 연구에서 효과적이라고 여겨지는 기법 등을 추가한 저피탐 웨이브폼의 block diagram을 성능 분석 시뮬레이터에 함께 반영하고, 여러 매개변수 설정에 따라 다양한 성능 지표들을 분석할 수 있는 피탐/수신 성능 분석부와 전투기 편대 비행을 모사한 환경에서 다양한 웨이브폼의 성능 분석을 위한 운용부로 나누어 설계하였다. 제시한 시뮬레이션 결과와 같이 시뮬레이터의 피탐/수신 분석부에서 다양한 매개변수 설정을 통한 성능을 분석하고, 운용부에서 전투기 편대 비행 환경 기반 시뮬레이션을 수행해 시뮬레이터의 기본적인 기능 검증을 수행하였다. 향후 연구에서는 설계한 시뮬레이터를 스텔스 전술데이터링크의 기초 설계 과정에서 활용하고자 하며, 추후에는 설계한 통신 block diagram 기반 통신 보드를 제작하여 시뮬레이션 성능 결과와 실증 결과를 추가로 비교 검증하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2026년 정부의 재원으로 수행된 연구 결과임

참 고 문 헌

- [1] S. Choi, D. Song, H. Ryu, and J. Kim, "An Analysis of the Low probability of Detection Communication Technology Status for Stealth Tactical Data link," KIMST Annual Conference Proceedings, pp. 1-2, 2024.
- [2] X. Chen, et. Al., "Covert Communications: A Comprehensive Survey," IEEE communications Surveys & Tutorials, Vol. 25, No. 2, pp. 1173-1198, 2023.