

# 항만 인프라 보안성 강화를 위한 개체 탐지 시스템 구축에 대한 연구

김호재, 김지현, 박근호, 서영광, 김동규\*, 김형남<sup>Ⓞ</sup>  
부산대학교, 스마트엠투엠\*

hnkim@pusan.ac.kr<sup>Ⓞ</sup>

## A study on the implementation of an object detection system for strengthening port infrastructure security

Ho Jae Kim, Ji-Hyeon Kim, Geun-Ho Park, Young-Kwang Seo, Dong-Gyu Kim\*,  
Hyoung-Nam Kim  
Pusan National Univ., Smart M2M

### 요 약

국가의 주요 보안 시설 중 하나인 항만의 위험 방지 및 보안 강화를 위하여 CCTV 설치, 감시 인원 충원 등의 노력을 하고 있다. 이와 함께 추가적인 보안 시스템으로 Wi-Fi 신호를 이용한 바이스테틱 센서 기반 개체 탐지 시스템을 고려할 수 있으나, 항만의 경우 통신을 이용한 정보 교환을 통한 밀항과 같은 문제 발생을 방지하기 위하여 Wi-Fi 신호 사용은 허용이 되지 않고 있다. 이에 본 논문에서는 항만 인프라의 위험 및 보안지역에 대한 감시 체계 강화를 위하여 개체 탐지가 가능한 바이스테틱 송수신 센서 시스템을 USRP (universal software radio peripheral) 장비로 의사 Wi-Fi 신호를 생성하여 송수신 시스템을 구축하고 실험을 진행한다.

### I. 서 론

국가의 수출입화물 및 여객 운송을 담당하는 항만은 국가 주요 보안 시설로 분류된다. 항만 산업이 확대되면서, 대한민국에 입항하는 선박의 수가 증가하고 있다. 이로 인해, 각 부두에서 작업하는 선원의 수가 증가하며, 위험 지역 및 보안 지역의 사고가 증가하고 있다. 이를 보완하기 위해 각 항만에서 CCTV 설치, 감시 인원 충원 등의 노력을 하고 있다[1]. 그러나, CCTV 는 음영지역이 존재하며, 가시거리가 확보되지 않는 기후(예시: 안개, 폭우, 폭설 등)의 경우 효율이 매우 떨어지는 단점이 있다. 이를 보완하며, CCTV 와 함께 사용되는 보안 시스템으로 바이스테틱 센서 기반 개체 탐지 시스템을 사용할 수 있다. 모노스테틱 기반 센서의 경우 송수신 신호 분리를 위해 사용되는 초고주파 스위치나 듀플렉서가 필요하며, 이로 인해 RF 신호의 손실이 발생한다[2]. 바이스테틱 센서의 경우 모노스테틱에 비하여 RF 신호의 손실이 적기 때문에 상대적으로 작은 송신 전력이 요구된다[2]. 현재, Wi-Fi 신호를 이용한 바이스테틱 센서 기반 개체 탐지 시스템에 대한 연구가 진행되고 있으나[3-4], 국가 보안 시설인 항만에서는 Wi-Fi 신호를 사용할 수 없다. 이에 본 논문에서는 항만 인프라의 위험 및 보안지역에 대한 감시 체계 강화를 위하여 개체 탐지가 가능한 바이스테틱 송수신 센서 시스템을 USRP (universal software radio peripheral) 장비로 의사 Wi-Fi 신호를 생성하여 송수신 시스템 실험을 진행한다.

### II. Wi-Fi 신호 모델링[3]

Wi-Fi 의 송신 신호는 여러 개의 OFDM 심볼들로 구성되어 있다.

$$s_{OFDM}(t) = s_{preamble}(t) + s_{signal}(t - t_s) + s_{data}(t - t_d). \quad (1)$$

여기서  $s_{preamble}(t)$  는 프리앰블 신호,  $s_{signal}(t)$  는 전송 속도 및 길이와 같은 정보가 포함된 시그널 신호,  $s_{data}(t)$  는 데이터 신호,  $t_s = 16\mu s$ ,  $t_d = 20\mu s$  이다. 신호의 모든 서브 프레임은 데이터, 파일럿 또는 트레이닝 심볼 중 하나이다.

OFDM 신호 중 프리앰블 신호는 동기화에 사용되며, 짧은 심볼 10 개와 긴 심볼 2 개로 구성되어 있다. 짧은 훈련 심볼은 다음과 같다.

$$s_{short}(t) = w_{short}(t) \sum_{k=-\frac{N_{st}}{2}}^{\frac{N_{st}}{2}} S_k e^{j2\pi k \Delta f t}. \quad (2)$$

여기서  $w_{short}(t)$  는 짧은 훈련 심볼에 적용되는 시간 윈도우 함수, 시퀀스  $S_k$  는 표준에 정의되어 있으며 ( $N_{st} = 52$ ), 4 의 배수 인덱스에서만 값이 존재한다[13]. 짧은 심볼의 주기  $T_{short}$  는  $0.8 \mu s$  이며 10 개의 심볼이 반복되어 총 심볼의 길이  $T_s = 10 \times T_{short} = 8 \mu s$  이다.

긴 훈련 심볼은 다음과 같이 정의된다.

$$s_{long}(t) = w_{long}(t) \sum_{k=-\frac{N_{st}}{2}}^{\frac{N_{st}}{2}} L_k e^{j2\pi k \Delta f (t - T_{GI, long})}. \quad (3)$$

여기서  $w_{long}(t)$  는 긴 훈련 심볼에 적용되는 시간 윈도우 함수, 시퀀스  $L_k$  는 표준에 정의되어 있으며, 보호 구간의 길이  $T_{GI, long} = 1.6 \mu s$  와 긴  $3.2 \mu s$  의 2 개의 긴 심볼이 포함되어 총  $8 \mu s$  길이를 가진다.

OFDM 시그널 심볼과 데이터 심볼은 구조가 동일하며 다음과 같다.

$$s_n(t) = w_s(t) \sum_{k=-\frac{N_{st}}{2}}^{\frac{N_{st}}{2}} d_{k,n} e^{j2\pi k \Delta f (t - T_{GI})}. \quad (4)$$

여기서  $w_s(t)$  는 OFDM 심볼에 적용되는 시간 윈도우 함수,  $d_{k,n}$  은  $n$  번째 심볼  $k$  번째 인덱스의 데이터를 나타내며, 각 심볼은  $k = -21, -7, 7, 21$ 에서 BPSK 변조를

사용하는 파일럿이 포함되어 있고, 나머지 48 개의 부반송파는 목표 전송률에 따라 변조를 선택하여 데이터를 전송한다 (BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM). 보호 구간  $T_{GI}$ 는  $0.8 \mu s$  이며 하나의 OFDM 심볼의 길이  $T_s$ 는 보호 구간을 포함하여 심볼 당  $4 \mu s$  의 길이를 가진다.  $N_t$  개의 OFDM 심볼이 존재할 경우 전체 시그널 및 데이터 심볼은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$s_{data}(t) = \sum_{n=0}^{N_t-1} s_n(t - nT_s). \quad (5)$$

이렇게 정의된 신호들을 이용하여 수식 (1)을 다음 식으로 다시 정의한다.

$$s_{OFDM}(t) = s_{short}(t) + s_{long}(t - T_{short}) + s_{data}(t - T_p). \quad (6)$$

여기서  $T_p = T_{short} + T_{long} = 16 \mu s$  이다.

### III. 개체 탐지를 위한 모호 함수

모호 함수는 레이더와 소나 신호 처리에서, 시간 지연과 도플러 주파수에 대한 수신 신호의 왜곡을 보여주는 이차원 함수로 개체 탐지에 중요한 역할을 하는 함수이다. 송신 신호 모호 함수는 다음과 같다.

$$\chi(\tau, f_d) = \int_{-\infty}^{\infty} s_{OFDM}(t) s_{OFDM}^*(t - \tau) e^{-j2\pi f_d t} dt. \quad (7)$$

여기서  $\tau$ 는 시간 지연,  $f_d$ 는 도플러 주파수이며 개체의 바이스태틱 거리와 바이스태틱 속도가 탐지된다. 바이스태틱 거리 및 바이스태틱 속도는 바이스태틱 센서 송수신 특성에서 발생하는 수신 신호와 반사 신호의 시간 차이 및 도플러 주파수의 특징으로 나타나는 파라미터이다. 이 경우, 모호 함수가 시간 지연 - 도플러(range-Doppler) 평면에 그려지며, 시간 지연  $\tau$ 는 다음과 같다.

$$R = R_T + R_R - L = c\tau. \quad (8)$$

여기서  $c$ 는 빛의 속도,  $R_T$ 는 송신기와 개체 사이의 거리,  $R_R$ 은 개체와 수신기 사이의 거리,  $L$ 은 송신기와 수신기 사이의 거리이다. 마찬가지로, 도플러 주파수  $f_d$ 는 다음과 같다.

$$f_d = (v_T + v_R)/\lambda. \quad (9)$$

여기서  $v_T$ 는 송신기에서 바라본 개체의 속도,  $v_R$ 은 수신기에서 바라본 개체의 속도,  $\lambda$ 는 중심 주파수  $f_c$ 에서 송신 신호의 파장을 나타낸다.

### IV. 송수신 신호의 모호 함수 측정

본 절에서는 RF(radio frequency) 신호를 송수신 가능한 USRP 장비를 이용하여 의사 Wi-Fi 신호를 생성하고 송수신 후 모호 함수를 적용하여 기존 논문 및 시뮬레이션 결과와 비교한다. 의사 Wi-Fi 신호의 대역폭은 20 MHz 를 사용하였으며, 실측에 사용되는 신호의 중심 주파수는 2.9 GHz 를 사용하였다.

그림 1 은 모의 실험을 통하여 생성한 의사 Wi-Fi 신호의 모호 함수 결과이며, 이는 기존에 연구된 논문과 유사한 결과를 도출하였다[3]. 그림 2 의 경우 생성된 의사 Wi-Fi 신호를 USRP 송신기를 통하여 일정 간격으로 무제한 송출하였고, USRP 수신기를 통하여 약 5 ms 의 수집 시간을 적용한 신호의 모호 함수 결과이다.

모의 실험과 유사한 모호 함수의 패턴이 나온 것을 확인하였다.

### V. 결론

본 논문에서는 항만 인프라의 감시 체계 강화를 위하여 개체 탐지가 가능한 바이스태틱 송수신 센서 구축을 위해 USRP 를 이용한 의사 Wi-Fi 신호의 송수신을 진행하였다. 이 신호를 이용하여 향후 바이스태틱 센서 기반 개체 탐지 연구에 이용할 예정이다. 또한, 개체 탐지 시스템이 개발될 경우 항만이 아닌 일반 지역에서도 Wi-Fi Access 를 이용하여 수신기 설치만으로 개체 탐지 시스템을 이용할 수 있을 것으로 기대한다.

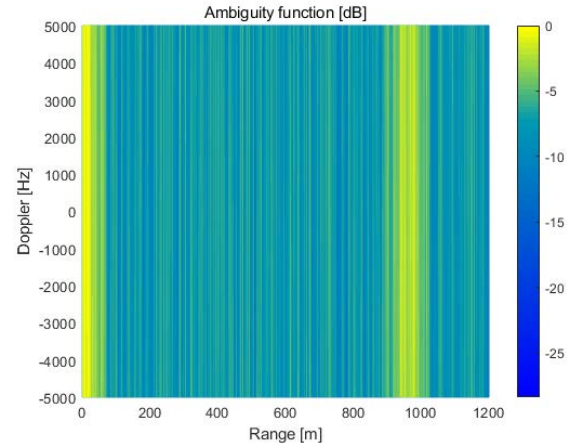


Figure 1. 모의 실험을 통하여 생성한 의사 Wi-Fi 신호의 모호 함수 결과.

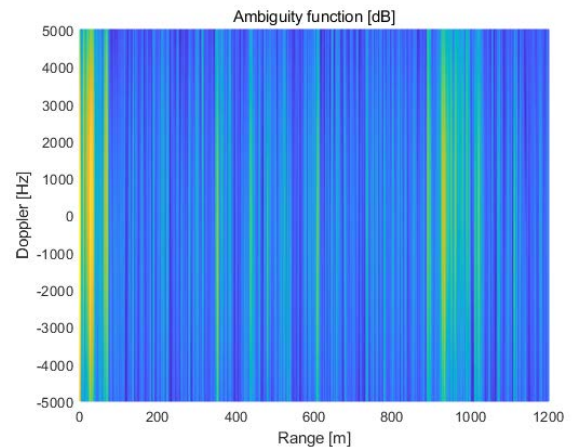


Figure 2. USRP 를 이용하여 송수신된 의사 Wi-Fi 신호의 모호 함수 결과.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2019 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019-0-00706, 주요 보안시설 및 항만 인프라 보안성 강화용 3S(Security, Safety, Safeguard) 보안허브플랫폼 개발).

### 참고 문헌

- [1] 김찬호, 최건우, 박상원, "항만보안 관리체계 효율화 방안 연구," 한국해양수산개발원 현안연구 보고서, 2017 년 9 월.

- [2] 양진모, 이민준, 윤재룡, 김환우, “바이스태틱 레이더의 시스템 불안정 요소들에 대한 분석,” *한국군사과학기술학회지*, 제 14 권, 제 1 호, pp. 114-122, 2011 년 2 월.
- [3] F. Colone, K. Woodbridge, H. Guo, D. Mason, and C. J. Baker, “Ambiguity Function Analysis of Wireless LAN Transmissions for Passive Radar,” *IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS*, VOL. 47, NO. 1, Jan. 2011.
- [4] F. Colone, T. Martelli, C. Bongianni, D. Pastina, P. Lombardo, “WiFi-Based PCL for Monitoring Private Airfields,” *IEEE A&E SYSTEMS MAGAZINE*, Feb. 2017.