

합성곱 신경망 기반 AM 재밍 검출기법

이경신*, 이준형*, 유승수**, 김선용°

Amplitude Modulation Jamming Detection Scheme Based on Convolutional Neural Network

Gengxin Li*, Junhyeong Lee*,
Seungsoo Yoo**, Sun Yong Kim°

요약

본 논문에서는 GPS (Global Positioning System) 수신기에 AM (Amplitude Modulation) 재밍이 수신되는 환경에서 도플러 영향이 있을 때 합성곱 신경망(convolutional neural network)을 활용한 효과적인 재밍 검출기법을 제안하고, 모의실험을 통해 기존 기법보다 제안한 기법이 JNR (Jamming power-to-Noise spectral density Ratio) 기준 약 3dB 이상 약한 상황에서도 유사한 검파 성능을 보임을 확인하였다.

Key Words : GNSS, AM Jamming, CNN, JNR, Detection Probability

ABSTRACT

In this paper, we propose an effective jamming detection scheme using convolutional neural network when there is a doppler effect in an environment where amplitude modulation jamming is received in a global navigation satellite system receiver. It was confirmed that the proposed scheme to compare with the conventional one, shows similar detection

performance even when it was weaker than about 3dB based on jamming power-to-noise spectral density ratio via Monte-Carlo simulation.

I. 서론

GPS (Global Positioning System) 단순 재밍에 대한 항재밍(anti-jamming) 기법은 해당 기법의 수신기 내에 위치에 따라 수신기 복잡도의 큰 비중을 차지하는 상관기(correlator)를 기준으로 상관 전(pre-correlation) 기법과 상관 후(post-correlation) 기법으로 구분하거나, 그 역할에 따라 재밍 검출기(detector), 식별기(classifier), 그리고 완화기(mitigator)로 구별할 수 있다¹⁾.

최근 ML (Machine Learning)을 활용한 다양한 신호처리 방법이 연구되고 있다. ML 기법은 학습 형태에 따라 지도학습, 비지도 학습 등으로 구별할 수 있다^{2,3)}. 본 논문은 서론 이후 2장에서 수신 신호 모형을 정리하고, 3장에서는 대표적인 지도학습 방법인 합성곱 신경망 (Convolutional Neural Network, CNN) 기반 CW (Continuous Wave) 재밍으로도 부르는 단일 AM (Amplitude Modulation) 재밍 검출기법을 제안하고, 모의실험을 통해 그 성능을 분석하고, 4장에서 맺는다.

II. 수신 신호 모형

GPS 수신기의 IF (Interference Frequency) 이산 시간(discrete-time) 신호 $r[n]$ 은 식 (1)과 같다.

$$r[n] = s_{IF}[n] + j[n] + w[n], \quad (1)$$

여기서, $s_{IF}[n]$ 은 식 (2)와 같은 $t = nT_s$ 인 IF 연속 시간 GPS 신호 $s(t)$ 의 이산시간 신호, $j[n]$ 은 식 (3)과 같은 단일 AM 재밍 이산시간 신호, $w[n]$ 은 평균 0, 분산 $\sigma_w^2 = N_0 f_s / 2$ 인 이산시간 AWGN (Additive

※ 본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부) 한국연구재단 지원으로 수행되었습니다. (No.NRF-2018RID1A1B07051392)

• First Author: (ORCID:0000-0003-3175-0819)Konkuk University Department of Electronic Information & Communication Engineering, ligengxin@konkuk.ac.kr, 학생(석사과정), 학생회원

° Corresponding Author: (ORCID:0000-0002-4192-2146)Konkuk University Department of Electrical and Electronics Engineering, kimsy@konkuk.ac.kr, 정교수, 중신회원

* (ORCID:0000-0002-5864-4680)Konkuk University Department of Electronics Engineering, wnsugd7812@konkuk.ac.kr, 학생(학사과정), 학생회원

** (ORCID:0000-0002-8648-1540)Konkuk University Department of Electrical and Electronics Engineering, kelvin@konkuk.ac.kr, 조교수, 정회원

논문번호 : 202009-235-A-LU, Received September 23, 2020; Revised October 7, 2020; Accepted October 8, 2020

White Gaussian Noise) 과정 $W[n]$ 의 한 이산시간 잡음으로 PSD (Power Spectral Density) $N_0/2$ 인 연속 시간 AWGN $w(t)$ 이 대역폭 $f_s/2$ 의 수신 필터를 통과한 후 이산시간 표본화된 잡음이며, $n = -\infty, \dots, -1, 0, +1, \dots, +\infty$, $T_s = 1/f_s$ 인 표본화 간격, f_s 는 표본화 주파수이다.

$$s_{IF}[n] = \sqrt{2C} \cdot d(nT_s - \tau) \cdot c(nT_s - \tau) \cdot \cos(2\pi(f_{IF} + f_D)nT_s + \phi_S) \quad (2)$$

여기서, C 는 반송파 GPS 신호 전력, $d(t)$ 는 항법 데이터 신호, $c(t)$ 는 확산을 위한 의사 잡음(pseudo-noise) 신호, τ 와 ϕ_S 는 GPS 위성과 수신기 사이의 전파지연과 위상차, f_{IF} 와 f_D 는 GPS 수신기의 중간 주파수와 GPS 위성과 수신기 사이의 상대적 도플러 주파수 천이이다. 본 논문에서는 단순 재밍 중 단일 AM 재밍에 효과적인 검출기법에 집중하기 위해 단일 GPS 신호만 수신되며, 항법 데이터 신호는 항상 1이라고 가정했다.

$$j[n] = \sqrt{2J} \cdot \cos(2\pi(f_{IF} + f_J)nT_s + \phi_J), \quad (3)$$

여기서, J 는 단일 AM 재밍 신호 전력, f_J 는 중심 주파수 기준 재밍 신호의 주파수, ϕ_J 는 재밍 신호의 위상이다. $\phi_S - \phi_J$ 는 단순히 $-\pi$ 에서 $+\pi$ 사이에서 균등하게 발생하는 확률변수로 가정했다.

III. 제안한 CNN 기반 재밍 검출기법 및 성능분석

본 논문에서는 GPS L1 C/A (Coarse/Acquisition) 신호의 칩 율(chipping rate)인 1.023 MHz의 2배의 과표본화율(over-sampling rate)을 표본화 주파수(sampling frequency)로 설정했다. 과표본화율을 더 높게 설정하는 경우 더 나은 검출 성능을 기대할 수 있지만 과적합(over-fitting)이 나타날 우려가 있어 현재 가용한 시스템에서 경험적으로 처리 가능한 수준과 과적합이 최소화될 수 있는 설정을 결정하였다. 이를 바탕으로 상과 전 신호에 대한 스펙트로그램(spectrogram) 분석과 6개의 은닉층(hidden layer)과 1개의 SoftMax 층으로 구성된 그림 1과 같은 CNN 기반 단일 AM 검출기법을 제안한다.

첫 은닉층의 입력 텐서(tensor) \mathbf{X} 는 $(2 \times 2,046 \times 1)$ 이며, 이 텐서 크기의 첫 요소는 각각 동

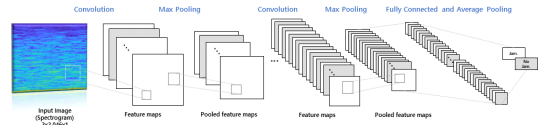


그림 1. 제안한 CNN 기반 단일 AM 검출기법의 구성도
Fig. 1. Configuration of the proposed CNN-based single AM detection scheme

위상(in-phase) 채널과 직교위상(quadrature) 채널의 표본값, 둘째 요소는 2배 과표본을 통해 얻은 표본 값의 크기, 셋째 요소는 이후 특징 맵의 크기 요소와 크기를 일치해 표시하기 위해 추가로 넣은 값이다. 둘째 은닉층 h_1 부터 여섯째 텐서의 크기는 각각 $(2 \times 1,023 \times 16)$, $(2 \times 512 \times 24)$, $(2 \times 256 \times 32)$, $(2 \times 256 \times 48)$, $(2 \times 128 \times 64)$, $(2 \times 64 \times 96)$ 이다. 각 은닉층의 첫째 요소는 동위상과 직교위상 채널에 대한 특징 맵(feature map) 요소로서 둘째 요소와 함께 합성곱(convolution) 연산 및 최대 풀링(max pooling)에 의해 크기가 조정된다. 이때 둘째 요소 크기에 큰 영향을 미치는 요소는 둘째 요소에서 합성곱을 위한 커널(kernel) 윈도우가 미끄러짐 이동(sliding)하는 표본 간격인 스트라이드(stride)이다. 셋째 요소는 특징 맵 추출을 위한 필터에 해당하는 커널의 수이다. 각 은닉층의 스트라이드와 커널 수는 과적합이 발생하지 않는 가운데 우수한 검출 성능을 보일 수 있도록 경험적으로 설정하였다. 본 논문에서는 CNN의 활성화 함수(activation function)로 ReLU (Rectified Linear Unit) 활성화 함수를 사용하였다. 제안한 CNN 기반 단일 AM 재밍 검출기법의 마지막 층은 SoftMax 층이다. 이층의 입력 크기는 $(2 \times 64 \times 96)$ 이다. 이 텐서를 $(12,288 \times 1)$ 벡터로 재구성하고, 평균 풀링(average pooling) 처리 후, 학습을 통해 갱신하는 $(3 \times 12,288)$ 크기의 가중 벡터(weighting vector)와 행렬곱셈을 수행해 원시 색인(label) 벡터를 얻는다. 끝으로 원시 색인 벡터를 확률처럼 취급하기 위해 정규화한다(normalizing).

제안한 CNN 기반 단일 AM 재밍 검출기법과 성능 비교를 위해 [4]의 심층 신경망 (Deep Neural Network, DNN) 기반 AM 재밍 검출기법을 고려했다. 모의실험에서 유효 재밍 전력 대 잡음 밀도 비(jamming power-to-noise spectral density ratio, $J/N_{0,eff}$) 34 dB-Hz - 64 dB-Hz, 단일 AM 재밍의 중심주파수와 도플러 주파수는 GPS L1 C/A 신호의 중심주파수 기준 각각 ± 1 KHz 이내와 ± 10 KHz 이내에서 균등 발생하도록 설정했다. 항법 데이터에 따

른 비트 천이가 없고, 수신기 필터 응답은 통과 대역에서는 1, 차단 대역에서는 0인 이상적인 필터로 가정했다. 지도학습을 위해 AWGN과 함께 GPS L1 C/A 신호만 수신된 정상적인 수신 경우와 AWGN과 함께 GPS L1 C/A 신호가 수신되면서 동시에 단일 AM 재밍신호에 의한 전파방해가 일어났을 때 정답 색인을 갖는 각각 10^5 개의 색인 표본을 구성한 후 설계한 CNN을 이용해 학습을 진행하였으며, 이를 통해 오경보 확률(false alarm probability) P_{FA} 가 10^{-5} 가 되도록 출력 색인의 결정 문턱값을 설정하였다. 비교한 [4]의 DNN 기반 기법도 유사한 환경에서 같은 오경보 확률을 갖도록 문턱값을 설정하였다. 10^5 개 실험 신호를 활용한 모의실험을 통해 얻은 기존 기법과 제안한 CNN 기반 단일 AM 검출기법의 검출확률(detection probability)은 그림 2와 같다.

그림 2처럼 $J/N_{0,eff}$ 이 약 40 dB-Hz에서 60 dB-Hz일 때 제안한 기법이 [4]에서 제안한 DNN 기법과 비교해 더 빠르게 검출확률 1로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 특히, $J/N_{0,eff}$ 이 58 dB-Hz일 때, 기존 기법은 약 0.85인데 반해, 제안한 기법은 약 0.95의 우수한 검출확률을 보인다. 그림 2에서 가로축은 $J/N_{0,eff}$ 로서 이 값이 클수록 더 강한 재밍 전력이 인가되는 상황, 즉 재밍 검출이 수월한 상황으로 해석할 수 있다. 따라서 더 좋은 재밍 검출 성능을 갖는 기법은 상대적으로 더 낮은 $J/N_{0,eff}$ 에서 재밍 신호 검출이 가능한 기법이며, [4]에서 제안한 DNN 기반 기법과 비교해 제안한 CNN 기반 기법이 더 나은 AM 재밍 검출 성능을 보임을 모의실험을 통해 확인할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 대표적인 지도학습 방법인 CNN을 이용한 단일 AM 재밍 검출기법을 제안하고, 모의실험을 통해 그 성능을 분석하였다. 본 연구에서 제안한 CNN의 주요 매개변수는 경험적으로 결정한 값이다. 이후에는 관련 매개변수의 최적 또는 준최적 설정에 관한 연구와 다양한 재밍 신호 특성 분석 및 검출과 식별기법을 연구할 예정이다.

References

- [1] D. Borio, F. Dovis, H. Kuusniemi, and L. Lo Presti, "Impact and detection of GNSS jammers on consumer grade satellite navigation receivers," in *Proc. IEEE*, vol. 104, no. 6, pp. 1233-1245, Jun. 2016.
- [2] K.-G. Lee and S.-J. Oh, "Study on CNN-based frequency-hopping signals detection scheme in Rayleigh fading," *J. KICS*, vol. 45, no. 3, pp. 602-608, Mar. 2020.
- [3] T. O'Shea and J. Hoydis, "An introduction to deep learning for the physical layer," *IEEE TCCN*, vol. 3, no. 4, pp. 563-575, Dec. 2017.
- [4] S. Yoo, J. Lee, and S. Y. Kim, "Single continuous-wave jamming detection scheme using deep neural network for GPS L1 C/A signal," *J. ICROS*, vol. 26, no. 8, pp. 660-698, Aug. 2020.

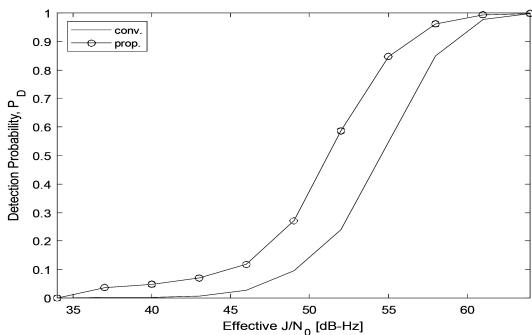


그림 2. 모의실험을 통해 얻은 기존 기법과 제안한 CNN 기반 단일 AM 검출기법의 검출확률
 Fig. 2. Detection probability of the conventional DNN-based scheme and the proposed CNN-based scheme via Monte-Carlo simulation