

LPI신호 대응 AI 기반 인터페로미터 방탐시스템 적용을 위한 실질적 주요 제한사항 분석

이정훈, 한진우, 조제일

국방과학연구소 레이더 전자전센터

yougoal@naver.com

A analysis of major practical limitations for applying AI-based interferometer direction finding system to LPI signals

Lee Jung Hoon, Jin Woo Han, Jo Jeil

Agency for defense development Radar/EW center

요 약

본 논문은 전자전에서 LPI(Low Probability Intercept)신호의 DOA (Direction Of Angle)를 획득하기 위해 AI 기반의 인터페로미터 방탐시스템 구현 시 주요 제한사항을 분석하였다. AI 기반 인터페로미터 방탐시스템에서 LPI신호에 대한 DOA를 획득하기 위해 실질적 주요 제한사항으로 낮은 SNR(Signal to Noise Ratio) 특성으로 인한 LPI 신호탐지 여부, CNN(Convolutional Neutral Network)기반 DOA 획득 시 전자전에서 요구되는 수 μsec 이내의 DOA 프러세싱 처리 시간 및 인터페로미터 방탐시스템 보정테이블 작성을 위한 주파수 스텝단위가 방탐시스템을 구현하는데 있어 주요 제한사항이 될 것으로 분석되었다.

I. 서론

최근 방탐분야에서도 낮은 SNR(Signal to Noise Ratio)에서도 AI 기반 방탐탐지는 전통적인 방법보다 높은 방탐정확도를 보여주고 있다. 본 논문에서는 AI 기반 LPI(Low Probability Intercept)신호의 DOA(Direction Of Angle) 정보를 획득하는 ELINT(Electronic INtelligence) 혹은 ES(Electronic Support)시스템 적용 시 주요 제한사항에 대해 분석하였다. 최근 LPI 신호의 방탐탐지에 AI를 적용하여 DOA를 획득하는 많은 연구가 수행되어 오고 있다[1][2]. 연구결과는 낮은 SNR에서도 높은 방탐정확도를 구현할 수 있음을 제시하였다. 하지만, 전자전에서 이를 실질적으로 적용하는데 있어 주요 제한사항이 존재한다.

최근 제안된 방법 중 하나인 CNN(Convolutional Neutral Network)기반 방탐탐지는 레이더 신호원에 대한 DOA 획득 시 높은 방탐정확도를 나타내었다. 제한된 방법은 탐색과 무관하게 LPI신호가 존재한다는 가정하에 대한 DOA를 구하였다. 실제 상황에서는 신호 탐지 후 DOA를 획득하기 때문에 방탐탐지 구현 시 주요 제한사항이 될 수 있다. 다음으로 전자전에서 DOA 획득시간은 수 μsec 이내이어야 한다. 따라서, AI 기반의 DOA 획득 시 수 μsec 이내에 프러세싱 처리가 가능한 지 여부이다. 마지막으로, 전자전은 P밴드에서 Ka밴드까지 수십GHz 대역에서 방탐을 수행해야 하므로 방탐탐지 시스템의 위상 오차를 보정해 주는 위상보정테이블이 필요하다. 위상 보정테이블은 μsec 이내에 방탐정보를 획득하기 최소의 정보로 내장되어 있다. 따라서, AI 기반으로 신호원의 DOA를 획득하는 경우, AI 기반의 NN(Neural Network)에 요구되는 데이터를 보정테이블로 주파수 스텝단위와 신호원의 DOA 스텝 단위별로 내장되어 있어야 한다. 이것은 기존의 방법보다 큰 용량과 DOA 획득 프러세싱 처리 시간의 제한사항이 될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 최근 연구를 바탕으로 전자전에서 LPI 신호에 대한 DOA를 획득하기 위해 AI 기반 인터페로미터 방탐시스템 적용을 위한 실질적 주요 제한사항 분석하고자 한다.

II. 본론

전자전에서는 레이더 펄스신호에 대한 분석을 위해 수신 신호에 대해 매 펄스마다 DOA를 획득하여 레이더 신호원의 위치를 추정하는 데 사용된다. 따라서, 레이더신호에 대한 DOA는 수 μsec 이내에 수행되어야 한다. 이러한 요구사항을 충족시키기 위해, 그림1에 보였듯이 전자전에서는 레이더 신호원에 대해 배열안테나를 이용하여 두 안테나의 위상차를 조합하여 DOA를 추정하는 인터페로미터 방탐탐지 시스템이 널리 사용되어져 오고 있다[3][4]. 전자전에서는 사용되는 인터페로미터 방탐탐지 시스템은 P밴드에서 Ka밴드까지 수십GHz의 수신대역에서 수백MHz에서 수GHz 대역로 주파수 탐색을 수행한다. 이때 SNR이 일정 이상의 신호에 대해 두 안테나의 위상차에 기반하여 DOA 값을 획득하였다. 하지만, LPI 신호는 낮은 SNR의 특성을 지니고 있으므로 탐색대역에서 LPI 신호를 전통적인 방법으로 탐지할 수 없다.

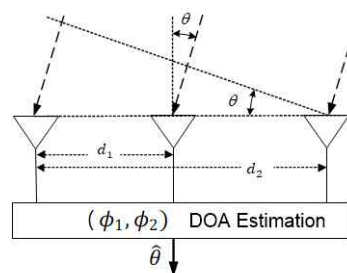


그림 1. 인터페로미터 방탐탐지 시스템

최근에 AI 기반의 DOA를 획득하는 방법으로 CNN를 적용한 방식이 제안되었으며[1][2], 이러한 CNN 기반으로 DOA를 획득하는 방법으로 낮은 SNR에도 좋은 방탐탐지 정확도의 성능을 보여주고 있다. 하지만, 수신 대역에서 LPI신호의 탐지와 무관하게 항상 CNN에 필요한 정보를 획득하여

DOA를 추정하였다. 이런 제한 사항을 극복하기 위해, 그림2와 같은 낮은 SNR에서 LPI신호를 탐지하는 방법이 제안되었다[5].

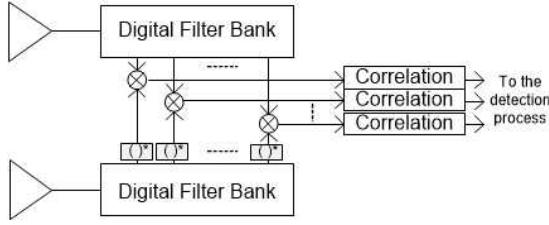


그림 2. LPI 탐지 시스템 [5]

제안된 방법은 두 개의 배열 안테나로 정합필터를 사용하는 것과 같은 기능으로 낮은 SNR에서도 LPI신호를 탐지하는 방법이다. 이러한 방법은 여러개의 안테나를 사용하는 방향탐지 시스템에서 채널의 추가 없이 적용 가능한 방법이다. LPI 신호에 대한 AI 기반 인터페로미터 방향탐지 시스템을 구현하는데 있어 두 번째 주요한 제한사항은 DOA 획득하기 위한 프러세싱 시간이다. 그림1에서 보였듯이 전자전에서 요구되는 DOA는 수 μsec 이내에 수행되어야 하기 때문에 두 배열안테나간의 위상차를 사용한 식(1)과 같은 유크리안 거리 방법이 사용된다.

$$\hat{\theta}(i) = \underset{\theta}{\operatorname{argmin}} \left\| \mathbf{q}_h(i) - \mathbf{q}_M \right\| \quad (1)$$

여기서, $\mathbf{q}_M$ 은 측정 위상차 벡터 이고 $\mathbf{q}_h(i)$ 은 i 번째 보정된 위상차 벡터이다. AI 기반의 인터페로미터 방향탐지 시스템은 배열안테나의 위상 혹은 IQ 데이터를 사용하여 CNN으로 할 수 있다. 그림3은 CNN기반의 인터페로미터 방탐시스템의 구현 예를 도시한 것이다.

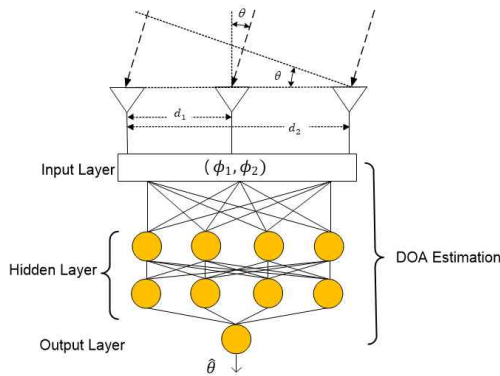


그림 3. CNN 기반의 인터페로미터 방탐시스템

LPI 신호에 대한 AI 기반 인터페로미터 방향탐지 시스템을 구현하는데 있어 주요 제한사항은 DOA 획득하기 위한 프러세싱 시간이다. 최근 CNN에 FPGA를 적용하여 프러세싱 시간을 대폭 줄이는 다양한 방법이 연구되어지고 있다 [6]. 따라서, FPGA를 활용하여 DOA를 획득하는데 적용된다면 향후 μsec 이내에 적용가능한 연구가 진행될 수 있을 것으로 판단된다. 마지막으로 고려되어야 하는 것으로 앞서 서술하였듯이 전자전은 수십GHz 대역에서 방탐을 수행해야 하므로, 방향탐지 시스템의 위상 오차를 보정에 필요한 위상보정테이블이 필요하다. 위상 보정테이블은 μsec 이내에 방탐정보를 획득하기 DOA에 대응하는 위상차를 내장하고 있다. 보정테이블의 주파수 스텝단위는 수십MHz-수백MHz단위이고, 각 주파수에서 DOA에 대응되는 위상차는 수[deg]이다. μsec 이내에 DOA

를 획득하기 위해 최소의 정보로 보정테이블로 작성되어 있으며, 방탐 프러세싱시 보간법에 의해 0.1[deg] 단위로 DOA를 추정한다. 반면에, AI 기반으로 신호원의 DOA를 획득하는 경우, AI 기반의 Neural Network에 요구되는 데이터를 보정테이블로 주파수 스텝단위와 신호원의 DOA 스텝단위로 내장되어 있어야 한다. 이것은 기존의 방법보다 큰 용량과 DOA 획득 프러세싱 처리 시간에 기존의 방법보다 많은 시간을 필요로 하는 실질적인 제한사항이 될 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 최근 연구를 바탕으로 전자전에서 LPI 신호의 DOA를 획득하기 위해 AI 기반의 인터페로미터 방향탐지 시스템 구현 시 실질적 주요 제한사항 분석하였다. AI기반의 인터페로미터 방탐시스템 구현 시 실질적 주요 제한사항으로 낮은 SNR 특성을 갖는 LPI 신호의 탐지는 배열안테나를 사용하는 방법을 이용할 수 있으나, 구현 시 하드웨어의 제한사항이 존재할 수 있다. 다음으로 FPGA기반의 CNN으로 DOA를 획득 시 프러세싱 시간이 제한사항이 될 수 있다. 마지막으로, 마지막으로 AI 기반의 인터페로미터 방탐시스템의 보정테이블은 기존의 위상차가 아닌 Neural Network에 요구되는 데이터를 보정테이블로 저장된다. 따라서, 이것은 기존의 방법보다 큰 용량과 DOA 획득 프러세싱 처리 시간에 기존의 방법보다 많은 시간을 필요로 하는 실질적인 제한사항이 될 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부의 재원으로 국방과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

- [1] Y. Qin, "Deep Networks for Direction of Arrival Estimation With Sparse Prior in Low SNR," in IEEE Access, vol. 11, pp. 44637-44648, 2023.
- [2] G. K. Papageorgiou, M. Sellathurai and Y. C. Eldar, "Deep Networks for Direction-of-Arrival Estimation in Low SNR," in IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 69, pp. 3714-3729, 2021.
- [3] R. L. Goodwin, "Ambiguity-resistant three- and four-channel interferometers," No. NRL-8005, Naval research Lab., Washington DC, 1976.
- [4] J. H. Lee and J. M. Woo, "The direction finding ambiguity analysis for three element and four element phase interferometer DF system," Journal of the KIMST, vol. 17, no. 5, 2014, pp. 544 - 550.
- [5] R. Ardoino and A. Megna, "LPI Radar detection: SNR performances for a dual channel Cross-Correlation based ESM Receiver," 2009 European Radar Conference (EuRAD), Rome, Italy, 2009, pp. 113-116.
- [6] Ho-Min Lee, Seong-Ho Jeon, and Seung-Ho Ok, "An Implementation of a Reconfigurable Module-based CNN Accelerator," Journal of KIIT. Vol. 20, No. 4, pp. 69-79, Apr. 30, 2022.