

위성항법시스템을 위한 궤도 정보 기반 무작위 전파 간섭 공격 탐지 기법

°오민규*, 정방철**

*아주대학교 AI융합네트워크학과, **아주대학교 전자공학과

mkoh@ajou.ac.kr, bcjung@ajou.ac.kr

I. 서론

차세대 통신 시스템에서는 무인 항공 정찰, 자율주행, 통합 센싱 및 통신과 같은 고신뢰·고정밀 응용의 확산에 따라, 정밀한 위치 추정 및 다양한 환경에서 견고한 측위 성능의 확보가 핵심기술 연구로 부각되고 있다 [1]. 그러나, GNSS(global navigation satellite system)의 신호 구조의 공개성과 취약한 인증 메커니즘으로 인해, 신호 위조(spoofing) 공격은 여전히 심각한 보안 위협으로 지적되고 있다. [2]에서는 도래각(direction of arrival, DOA) 검출의 시간적 일관성을 활용한 탐지 방법이 제안되었으나, 이는 통계적 특성을 기반으로 검출하므로 단일 기만기 환경에서만 유효함이 확인되었다. 또한, [3]에서 제안한 DOA 기반 기만 탐지 기법은 기만 신호가 위성 신호를 완벽하게 대체하는 환경에서만 성능이 검증되었다. 따라서 본 논문에서는 실제 위성 궤도에 예측 정보를 활용한 도래각 기반 기만 탐지 기법을 제안하며, 다수의 기만기가 서로 다른 PRN을 무작위로 선택하여 공격하는 시나리오에서 성능을 확인하였다.

II. 본론

본 논문에서는 M 개의 안테나로 구성된 균일 원형 배열 안테나(uniform circular array antenna, UCA)를 장착한 고정형 GNSS 수신기가 K 개의 PRN 위성 신호를 수신하는 환경을 고려한다. 또한, 각 기만기는 자체 GNSS 수신기와 단일 안테나를 이용해 $L(\leq K)$ 개의 PRN 위성 신호를 정교하게 모사하여 서로 다른 PRN 신호를 송출하는 고도화된 기만 공격을 가정하며, 각 기만기는 임의의 위치에서 GNSS 수신기로 송신한다. 일반성을 잃지 않고, 기만기가 특정 PRN 위성 신호를 모사하는 경우 t 시간에서 GNSS 수신기에 도달하는 수신 신호 $\mathbf{y}(t)(\in \mathbb{C}^M)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{a}^A(\gamma, t)x^A(t) + \mathbf{a}^S(\gamma, t)x^S(t) + \mathbf{n}(t),$$

여기서 상단 첨자 A 와 S 는 각각 위성 신호와 기만 신호를 의미하고, $\mathbf{a}(t)(\in \mathbb{C}^M)$ 와 $x(t)$ 는 각각 t 시간의 조향 벡터와 데이터 신호를 의미 한다. 제안하는 기법은 수신된 각 PRN 신호에 대해 2차원 DOA를 추정하고, 이를 위성 궤적 정보를 기반으로 계산된 참값과 비교함으로써, 전파 간섭 여부를 탐지한다. 만약 두 DOA 간의 차이가 사전에 설정한 임계값 이상일 경우, 해당 PRN은 간섭 신호원에 의해 DOA 추정 정확도가 저하된 것으로 판단된다. GNSS 수신기는 이러한 오차를 보이는 PRN에 대해 예비 알람을 발생시키며, DOA 추정의 불확실성으로 인한 오경보를 완화하기 위해, 전체 PRN 중 예비 알람이 임계 빈도 이상으로 발생하는 경우에만 간섭 공격이 발생한 것으로 최종 판단한다.

III. 모의 실험 및 결론

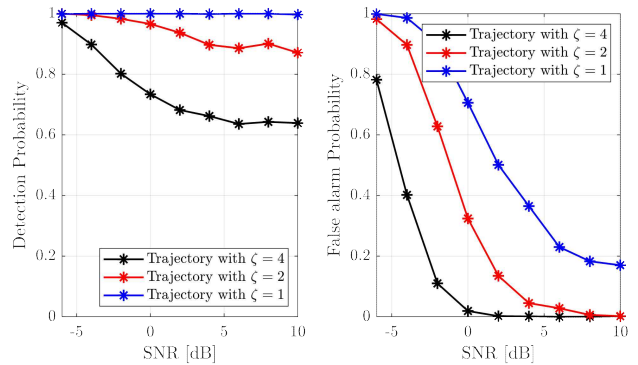


그림 1. 무작위 기만공격 시나리오에서 제안 기법 성능

그림 1은 7-소자 UCA를 구비한 GNSS 수신기가 총 $K=8$ 개의 PRN 위성 신호를 수신하는 상황에서 $K \sim U\{1, K_{\max}\}$ 의 범위에서 임의의 수로 선택된 기만기가 각각 PRN 중 하나를 중복 없이 무작위로 선택하여 공격을 수행하는 환경에서 제안하는 기만 탐지 알고리즘의 성능을 임계 빈도 ζ 에 따라 도시한 결과이다. 임계 빈도가 증가함에 따라 검출 확률은 다소 감소하지만, 오경보 확률은 급격히 낮아져 전체적인 탐지 신뢰도가 향상된다. 제안 기법은 다양한 조건에서도 높은 검출률과 낮은 오경보율을 유지하며, 실제 무작위 기만 환경에서도 신뢰성 있는 GNSS 탐지 성능을 제공한다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 지원(IITP-2025-RS-2024-00436 406)과 저궤도 위성통신 핵심기술 기반 큐브위성 개발 과제 지원(RS-2024-00396992)을 받아 수행된 연구임.

참고문헌

- [1] Q. Luo, Y. Cao, J. Liu, and A. Benslimane, "Localization and navigation in autonomous driving: Threats and countermeasures," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 26, no. 4, pp. 38-45, Aug. 2019.
- [2] Young-Seok Lee, Jeong Seon Yeom, and Bang Chul Jung, "A novel antenna-based GNSS spoofing detection and mitigation technique," in *Proc. 2023 IEEE 20th Consum. Commun. Netw. Conf.*, pp. 489-492, Jan. 2023.
- [3] H. Tan, N. Xie, L. Huang, and H. Li, "Enhancing GNSS Signal Authentication Through Multi-Antenna Systems," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 24, no. 5, pp. 4361-4374, May 2025.