

GNSS 시스템을 위한 위성 궤적 정보에 따른 도래각 추정 기반 기만 탐지 기법

오민규, 이영석, 강창옥[†], 정방철

충남대학교, [†] 덕산 넵코어스

minkyuoh@o.cnu.ac.kr, yslee@o.cnu.ac.kr, cokang@oneduksan.com, bcjung@cnu.ac.kr

Spoofing Detection Technique with DoA Estimation according to Satellite Trajectory for GNSS Systems

Minkyu Oh, Young-Seok Lee, Chang-Ok Kang[†], Bang Chul Jung

Chungnam National University, [†] Duksan Navcours, Co. Ltd.

요약

본 논문에서는 위성항법시스템(global navigation satellite system: GNSS) 배열안테나 수신기가 다중 PRN(pseudo random noise) 위성의 궤적 정보를 이용하여 의도적 전파 간섭 공격인 GNSS 기만 공격을 탐지할 수 있는 도래각 추정 기반 GNSS 기만 탐지 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 특정 시간에 수신할 수 있는 모든 PRN 위성의 도래각 정보를 이용함에 따라 다수의 GNSS 기만기가 임의의 PRN 위성을 모사하는 환경에서도 우수한 탐지 성능을 가질 수 있으며, 모의실험을 통해 제안하는 기법의 GNSS 기만 탐지 성능을 검증한다.

I. 서론

위성항법시스템(global navigation satellite system: GNSS)은 군용 무인기 및 자율주행 자동차와 같은 다양한 민간/군 산업 분야에서 활용되고 있다. 그러나, 공개된 GNSS 신호 구조 및 프로토콜로 인해 의도적으로 GNSS 신호를 모사하여 임의의 GNSS 수신기의 추적 루트를 탈취 및 제어하는 GNSS 기만(spoofing) 공격 위협이 큰 문제로 대두되고 있다 [1]. 특히, [2]에서는 정교한 GNSS 기만 시나리오 상황에서 환경에서 PRN(pseudo random noise) 위성별 도래각(direction of arrival: DoA) 추정 결과의 통계적 특성을 활용한 다중 PRN 다이버시티 기반 GNSS 기만 탐지 기법이 제안되었으나, 단일 GNSS 기만기가 다수의 PRN 위성을 모사할 때만 기만 공격을 탐지할 수 있는 문제점이 있다. 본 논문에서는 [2]의 정교한 기만 시나리오를 포함하고 실제 PRN 위성 궤적 정보를 이용한 다중 PRN 기반 기만 탐지 기술을 제안한다. 모의실험을 통해, 다수의 GNSS 기만기가 임의의 PRN 위성을 모사할 때 높은 GNSS 기만 공격 탐지 성능을 보이는 것을 검증한다.

II. 위성 궤적 정보를 이용한 DOA 추정 기반 GNSS 기만 탐지 기법

본 논문에서는 N 개 안테나로 구성된 균일 선형 배열안테나(uniform linear array: ULA)를 갖는 고정된 GNSS 수신기가 M 개의 PRN 위성 신호를 수신하고, 자체 GNSS 수신기와 단일 안테나를 갖는 Q 개의 고정형 기만기가 L ($L \leq M$) 개의 PRN 신호를 정교히 모사하는 통신 환경을 고려한다 [2]. 일례로, Q 개의 기만기로부터 기만 공격을 받은 임의의 PRN 위성에 대해 GNSS 수신기로 도달하는 t 째 시간 수신 신호 $\mathbf{y}(t) (\in \mathbb{C}^N)$ 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{y}(t) = \mathbf{a}^A(t)x^A(t) + \sum_{i=1}^Q \mathbf{a}_i^S x_i^S(t) + \mathbf{n}(t),$$

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 째 시간에 신호원과 수신기 간 도래각과 관련한 조향 벡터 [2]와 데이터 신호를 의미한다. 본 논문에서는 수신기와 기만기는 고정되어 있고 PRN 위성은 정해진 궤적에 의해 이동함에 따라 조향 벡터가 시간 t 에 대한 함수로 표현할 수 있다.

본 논문에서는 위성 궤적 정보를 이용한 DoA 추정 기반 기만 탐지 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 수신기에서 특정 시간에 관측 가능한 위성 궤적 정보를 이용하여 모든 PRN 위성 채널의 DoA를 추정 및 비교해 기만 공격을 탐지한다. 먼저, GNSS 수신기는 관측하고 있는 PRN 위성 신호에 대해 특정 임계치 이상 전력을 포함하는 신호의 DoA를 추정한다. 이때, 각 신호의 DoA를 주어진 시간에 해당하는 위성 궤적 정보와 비교하여 다음과 같이 t 째 시간에서의 검출 채널의 수 $\rho(t)$ 를 계산할 수 있다.

$$\rho(t) = \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^2 \mathbf{1}_D(\hat{\theta}_{m,i}(t)), \quad D = \{ \hat{\theta}_{m,i}(t) \mid (|\tilde{\theta}_m(t) - \hat{\theta}_{m,i}(t)| \geq \eta) \},$$

여기서 $\tilde{\theta}_m(t)$ 은 t 째 시간 m ($m \in \{1, \dots, M\}$)째 PRN 위성의 궤적 정보 기반 DoA를 나타내고, $\hat{\theta}_{m,i}(t)$ 는 t 째 시간 m 째 PRN 위성의 i ($i \in \{1, 2\}$)째 채널 신호에 대한 추정 DoA를 나타낸다. 또한, $\mathbf{1}_D(x)$ 는 x 가 집합 D 에 포함될 때 1을 출력하는 지시 함수(indicator function)를

나타내고 DoA 간 유사도를 판별하기 위한 임계치 η 는 [2]와 같다. 최종적으로, 시간 t 에서 $\rho(t)$ 가 1 이상일 때 기만 공격을 탐지한다.

III. 모의실험 결과 및 결론

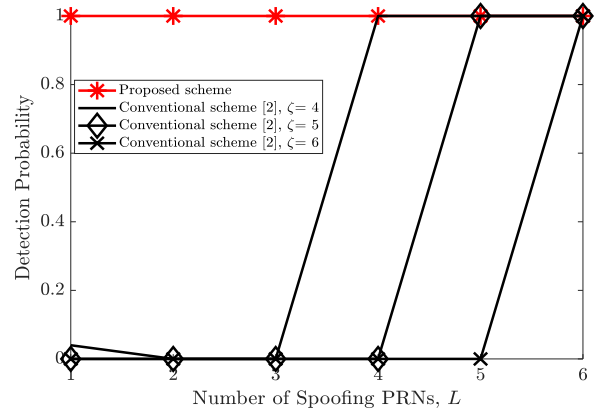


그림 1. 위성 궤적 정보를 이용한 DOA 추정 기반 기만 탐지 기법의 기만 검출 성능.

그림 1은 제안하는 위성 궤적 정보를 이용한 DoA 추정 기반 GNSS 기만 탐지 기법의 두 개의 기만기가 모사하고 있는 PRN 위성 수(L) 대비 기만 검출 성능을 도시한 결과이다. 본 모의실험은 7개의 소자를 갖는 ULA를 고려하였으며, 기존 기만 탐지 기법은 모든 PRN 위성에 대해 위성 궤적 정보 없이 두 개의 DoA를 추정하고, 추정된 DoA 간 유사도를 모든 PRN 채널에 대해 비교하여 인접한 채널의 수가 ζ 개 이상일 때 GNSS 기만 공격을 탐지한다. 따라서, 기존 기법은 하나의 기만기가 ζ 이상의 PRN 위성을 모사하는 경우에만 기만 신호를 탐지할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 반면, 본 논문에서 제안한 기만 탐지 기법은 위성 궤도 정보를 기준으로 기만 공격을 탐지할 수 있어 다수의 기만기가 임의의 PRN 위성을 모사하는 환경에서도 기존 기법 대비 우수한 기만 검출 성능을 가질 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구 논문은 방위사업청 무기체계 부품 국산화 개발 지원사업 “소형장항행(LAH)용 통합 위성/관성항법장치(EGI) 장치” (개발관리번호: C220020)의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] D. Miralles et al., “An assessment of GPS spoofing detection via radio power and signal quality monitoring for aviation safety operations,” *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 12, no. 3, pp. 136–146, Jun. 2020.
- [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.