

다중 GNSS 수신기를 이용한 UAV 스푸핑 신호 완화 점수화 기법

오준형, 황은비, 권태경

서울대학교

jhoh@mmlab.snu.ac.kr, ebhwang@mmlab.snu.ac.kr, tkkwon@snu.ac.kr

A Multi-GNSS-Receiver-Based Scoring Method for Mitigating GNSS Spoofing Signals on UAVs

Junhyung Oh, Eunbee Hwang, Taekyoung “Ted” Kwon

Seoul National Univ.

요약

드론은 주로 GNSS 신호에 의존하여 위치를 계산하므로, GNSS 스푸핑 공격에 취약하다. 특히 발전된 스푸핑 기법들은 신호 패턴과 항법 메시지의 정합성, 기하적 일관성을 갖추어 탐지가 어렵다. 본 논문에서는 드론에 상방, 하방, 좌측방, 우측방의 총 4개의 GNSS 수신기를 배치하고, 20cm 크기의 차폐판을 이용하여 방향별 C/N_0 차이를 유도하는 구조를 가정한다. 제안 기법은 각 PRN에 대해 상방·하방·측방 신호 수신 강도 관계와 좌우 C/N_0 차로 이루어진 군집의 지속 시간을 기반으로 신뢰 점수를 부여한다. 이후 점수가 높은 PRN부터 위치 계산에 사용함으로써 스푸핑 가능성이 높은 신호의 영향을 완화하는 방식을 제시한다.

I. 서론

무인항공기는 자율비행, 물류, 감시, 재난 대응 등 다양한 분야에서 활용되고 있다. 이러한 드론 시스템에서 위치 정보는 비행 제어와 경로 계획의 핵심요소이며, 대부분의 사용 드론은 GPS, Galileo, BeiDou, GLONASS와 같은 GNSS(Global Navigation Satellite System)를 이용하여 위치를 계산한다. 그러나 GNSS 신호는 드론의 비행고도에서 매우 약한 전력으로 수신되기 때문에 공격자가 위조된 GNSS 신호를 송신할 경우 수신기를 실제 위성 신호가 아닌 공격자의 신호를 추적할 수 있다.

GNSS 스푸핑 공격은 단순히 잘못된 위치를 알려주는 것뿐 아니라 드론을 공격자가 원하는 방향으로 이동시키거나 제한구역으로 유도할 수 있다는 점에서 심각한 보안 위협이다. 기존의 신호 처리 기반 GNSS 이상 탐지 방식은 C/N_0 , correlation peak 등 GNSS 수신 신호의 물리적 특성을 이용해 이상을 탐지하지만 정교한 스푸핑은 이러한 물리적인 특성들을 정상 수신 환경에서 관측되는 범위 내로 모방하거나 점진적으로 변화시킬 수 있어 공격을 막는 것에 한계가 있다.

본 논문에서는 고가의 배열 안테나 혹은 정밀 DoA 추정 없이 드론 외부 여러 방향에 배치된 상용 GNSS 수신기와 단순 차폐구조만으로 PRN별 신뢰 점수를 계산하는 경량 완화 기법을 제안한다. 제안 기법은 상방, 하방, 좌측방, 우측방 수신기를 사용하며, 각 수신기에는 약 20cm 크기의 차폐판이 장착되어 있다고 가정한다. 차폐판은 완전한 차폐가 아닌 방향별 신호 수신강도 차이를 유도하기 위한 구조로 사용된다.

방해가 없는 충분히 높은 고도에서 위성 신호는 대부분 상방에서 직접 수신되므로 상방 수신기에서의 C/N_0 가 하방 혹은 측방 수신기보다 크게 나타나는 경향이 있다. 반면 보통 지상에서 송신되는 스푸핑 신호는 그렇지 않으며, 단일 송신원일 경우 특정 방향에서 여러 PRN이 동시에 도달하므로 좌우 수신기 간 C/N_0 차이가 여러 PRN에서 유사하게 나타날 수 있다. 본 논문은 이러한 특성을 이용하여 PRN별 신뢰도를 점수화하고 높은 점수의 PRN을 우선적으로 위치 계산에 사용하는 방식을 제안한다.

II. 본론

본 논문에서 제안하는 시스템은 그림 1과 같이 상방, 하방, 좌측방, 우측방의 네 방향에 GNSS 수신기를 배치한 드론을 가정한다. 각 수신기에는 20cm 크기의 차폐판이 장착되어 있으며, 차폐판은 반대 방향에서 들어오는 신호를 완전히 제거하기보다 수신 방향에 따른 신호강도 차이를 만들기 위한 목적으로 사용된다. 상대적 신호강도 지표로 각 수신기의 C/N_0 값을 사용하며 수신기가 실제로 각 방향을 향하고 있다는 전제를 만족시키기 위해 IMU 기반 자세 정보를 이용해 안정된 비행상태일 때(롤·피치가 일정 수준 이하)에만 기법을 적용한다.

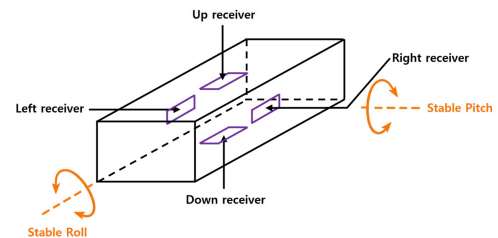


그림 1 상·하방, 좌·우측방 수신기를 장착한 안정비행상태의 드론

각 PRN i 에 대해 상방 수신기의 C/N_0 를 $C_{up}(i)$, 하방 수신기의 C/N_0 를 $C_{down}(i)$, 좌측방 수신기의 C/N_0 를 $C_{left}(i)$, 우측방 수신기의 C/N_0 를 $C_{right}(i)$ 라 한다. 또한 좌우 수신강도 차이를 다음과 같이 정의한다.

$$\Delta_{LR} = C_{left}(i) - C_{right}(i)$$

동일한 방향에서 여러 PRN 신호가 도달하는 경우, 각 PRN의 송신 전력이 다르더라도 좌측방과 우측방 수신기에서 관찰되는 상대적인 차이는 유사하게 나타난다. 이는 수신 전력이 송신 전력과 방향별 안테나 이득의 합으로 표현될 수 있기 때문이다. 따라서 단일 스푸퍼가 여러 PRN을 같은

위치에서 송신하면 해당 PRN들의 Δ_{LR} 값이 좁은 범위 안에 군집될 가능성이 높다.

제안 기법은 PRN을 즉시 제거하지 않고, 각 PRN에 대해 점수를 부여한다. 점수는 0점에서 1점의 범위를 가지며 모든 신호는 가장 높은 신뢰도를 의미하는 1점에서 시작한다.

우선, 각 PRN에 대해 상방과 하방의 C/N_0 를 비교한다. 기본적으로 방해 없는 충분한 고도에서 위성의 직접파는 상방에서 수신되므로 하방 수신기에서 더 강하게 관찰되는 신호는 지형지물 방해로 인해 반사파가 더 강한 경우 혹은 스푸핑 신호일 가능성이 높다. 따라서 다음 조건을 만족하는 PRN은 0.3점으로 낮춘다.

$$C_{up}(i) < C_{down}(i)$$

다음으로 상방보다 하방이 강하지 않은 PRN 중에 상방보다 측방 수신기에서 더 강하게 관찰되는 신호를 판단한다. 측방 수신기는 좌측방과 우측방 모두를 포함하며 다음 조건 중 하나라도 만족할 경우 해당 PRN을 0.6점으로 낮춘다.

$$C_{up}(i) < C_{left}(i) \text{ 또는 } C_{up}(i) < C_{right}(i)$$

방해 없는 충분한 고도에서 정상 위성 신호는 대체로 상방 수신기에서 더 강하게 관찰된다. 지형지물, 위성의 방위각으로 인해 정상 위성신호가 측방에서 더 강하게 수신되는 경우이더라도 상방 수신기에서 강하게 더 강하게 관찰되는 신호에 비해 채택할 유인이 떨어진다. 따라서 상방보다 측방이 강한 신호는 우선순위를 낮추는 것이 타당하다.

마지막으로, 좌우 C/N_0 차의 군집성을 이용하여 단일 방향에서 유입되는 복수 PRN 신호를 판단한다. 특정 시간 구간에서 4개 이상의 PRN이 다음 조건을 만족한다고 가정하자.

$$|\Delta_{LR}(i) - \Delta_{LR}(j)| \leq 2 \sim 3\text{dB}, \text{ for } i \neq j$$

이 조건은 여러 PRN의 좌우 수신 강도 차이가 서로 2~3dB 이내에 존재함을 의미한다. 이러한 현상은 지속될 경우 단일 송신원을 사용하는 스푸핑에 의해서 발생하나, 정상 위성 신호에서도 일시적으로 발생할 수도 있으므로 제안 기법은 지속 시간에 따라 점수를 점진적으로 낮춘다. 해당 군집이 10초 이상 유지되면 포함된 PRN을 0.5점으로 낮추고, 20초 이상 유지되면 0.3점으로 낮추며, 30초 이상 유지되면 0.1점으로 낮춘다.

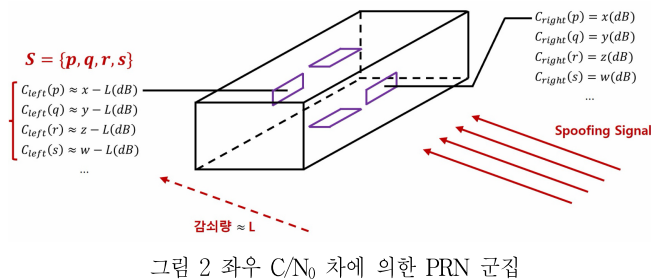


그림 2 좌우 C/N_0 차에 의한 PRN 군집

이를 정리하면 제안하는 과정은 다음과 같다.

- i) 모든 PRN의 초기 점수를 1로 설정한다.
- ii) $C_{up}(i) < C_{down}(i)$ 이면 해당 PRN을 0.3점으로 낮춘다.
- iii) 위 조건에 해당하지 않는 PRN 중 $C_{up}(i) < C_{left}(i)$ 또는 $C_{up}(i) < C_{right}(i)$ 이면 0.6점으로 낮춘다.
- iv) 위 조건에 해당하지 않는 PRN 중 Δ_{LR} 값이 서로 2~3dB 이내인 PRN이 4개 이상 존재하는지 확인한다.
- v) 해당군집이 10초 이상 유지되면 0.5점, 20초 이상 유지되면 0.3점,

30초 이상 유지되면 0.1점으로 낮춘다.

vi) 위치 계산시 점수가 높은 순서대로 PRN을 우선 사용한다.

단순한 제거 방식은 정상 신호를 오탐하여 위치 계산에 필요한 위성 수를 급격히 줄일 수 있다. 반면 제안 기법은 신호를 제거하지 않고 점수화하여 우선순위를 낮추기 때문에 정상 신호가 일시적으로 비정상적인 조건을 만족하더라도 위치 계산에서 완전히 배제되지 않는다. 특히 도심환경 등으로 인해 일부 정상 PRN 수신 강도 관계가 일시적으로 왜곡될 수 있으므로 점수 기반 방식은 하드 필터링 방식보다 안정적이다.

2~3dB 임계값, 10/20/30초 지속시간은 제안 기법의 동작을 설명하기 위한 이론상의 파라미터이며 향후 실제 드론 플랫폼 실험을 통해 최적화될 필요가 있다.

III. 결론

본 논문에서는 드론에 상방, 하방, 좌측방, 우측방의 네 개 GNSS 수신기를 장착하고 20cm 크기의 차폐판을 이용하여 방향별 C/N_0 차이를 유도도하는 GNSS 스푸핑 완화 기법을 제안하였다. 제안 기법은 각 PRN에 대해 상방·하방·측방 수신 강도 관계와 좌우 수신강도 차의 군집 지속 시간을 기반으로 0점에서 1점까지의 신뢰 점수를 부여한다. 이후 위치 계산시 높은 점수의 PRN을 우선적으로 사용함으로써, 스푸핑 가능성이 높은 신호의 영향을 줄인다.

제안 기법은 의심 신호를 완전히 배제하지 않고 우선순위를 낮추는 방식으로 정상 신호가 일시적으로 비정상적인 수신 강도 패턴을 보이는 경우에도 위치 계산을 위한 위성 수를 유지할 수 있다. 또한 단일 송신원에서 여러 PRN을 송신하는 스푸핑 공격의 경우 좌우 C/N_0 차이가 여러 PRN에서 좁은 범위로 유지될 가능성이 높으므로 이를 시간 기반 점수화 규칙으로 반영할 수 있다. 다만 다중 송신원 스푸핑, 도심의 다중경로 환경에서는 한계가 있으므로 단독이 아닌 다른 기법들과 결합되는 보조적 완화 기법으로 사용하는 것이 적절하다.

향후 연구로는 실제 드론 플랫폼에 GNSS 수신기와 차폐판을 장착하여 적절한 개방환경과 도심환경에서 정상 PRN의 C/N_0 분포 및 좌우 델타 군집의 지속시간을 측정하고자 한다. 이를 통해 2~3dB의 군집 임계값과 10/20/30초 지속시간 기준의 적절성을 실험적으로 검증할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2026-2021-0-02048)

참 고 문 헌

- [1] M.L. Psiaki and T.E. Humphreys, "GNSS Spoofing and Detection," Proceedings of the IEEE 104.6 pp. 1258-1270, 2016.
- [2] L. Meng, et al. "A survey of GNSS spoofing and anti-spoofing technology," Remote sensing 14.19 4826. 2022
- [3] V. Dehghanian, J. Nielsen, and G. Lachapelle, "GNSS spoofing detection based on receiver C/N_0 estimates," Proceedings of the 25th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation, pp. 2875-2884, 2012.
- [4] P.Y. Montgomery, et al. "Receiver-autonomous spoofing detection: Experimental results of a multi-antenna receiver defense against a portable civil GPS spoofer," Proceedings of the 2009 international technical meeting of the institute of navigation, pp. 124-130, 2009.