디지털 트윈을 활용한 UAM 제삼자 측위 기법

정경헌, 권태경

서울대학교

ghjeong@mmlab.snu.ac.kr, tkkwon@snu.ac.kr

UAM third-party localization technique with Digital Twin

Gyeong Heon Jeong, Ted “Taekyoung” Kwon

Seoul National Univ.

요 약

전통적인 항공 시스템과는 달리, Urban Air Mobility(UAM)은 도심에서 다수의 기체가 고속/저고도로 밀집되어 비행하는 시스템이므로, 개별 기체가 가변적인 상황을 인지하고 판단하는 것은 어려움이 있다. 따라서 UAM 시스템 전체의 Global view가 필요하며, 이는 디지털 트윈(Digital Twin) 기술을 활용하여 가능하다. 반면, UAM 기체 간, 혹은 UAM 기체와 지형지물 간의 충돌 발생 시 인명피해 등 큰 사고로 이어질 가능성이 높으므로, 이를 방지할 솔루션이 필요하다. 그 솔루션 중 하나가 UAM의 위치를 실시간으로 추적하는 측위 기법이다. 하지만 공격자의 GPS Spoofing 등의 공격으로 측위 기법의 원천이 되는 UAM 기체의 GPS 정보는 잘못 전달될 수 있어 이에 대한 대책이 필요하다. 본 논문은 디지털 트윈에서 수집된 정보를 활용하여 GPS 정보에 의존하지 않는 제삼자 측위 기술을 제시하였다.

Ⅰ. 서 론

최근 디지털 트윈이 다양한 분야에서 활용되는 사례가 많아졌다. 국내의 경우, 새만금 스마트 수변도시 조성에 있어 디지털 트윈 플랫폼을 구축하여 건설부터 운영까지 디지털 트윈의 도움을 받을 계획이다.[1] 해외에서 가장 유명한 디지털 트윈 적용 사례는 Virtual Singapore이다. 싱가포르의 도로 교통망, 건물 등을 디지털 트윈으로 관리하고 여러 군중 시뮬레이션도 가능하다고 한다.[2] 위와 같이 디지털 트윈이 기존 시스템의 성능 개선에 도움을 줄 수 있고, 특히 시스템 전체의 Global view가 필요한 UAM 시스템에서는 디지털 트윈이 더욱 효과적으로 작용할 수 있을 것이다.

반면, 차세대 이동 수단으로 UAM 시스템이 주목 받고 있음과 동시에 안전성에 대한 의문도 동시에 대두되고 있다. UAM 기체로 대체될 수 있는 UAV(Unmanned Aerial Vehicle)에 대한 다양한 네트워크 계층 공격과 물리적 계층 공격이 존재한다.[3] 특히 GPS Spoofing 공격의 경우, 마찬가지로 UAM 기체로 대체될 수 있는 CAV(Connected and Autonomous Vehicles)에 대해 다양한 방법으로 GPS Spoofing 공격이 가능하고, 이에 대응하기 위한 여러 연구가 존재한다.[4]

본 논문의 본문에서는 디지털 트윈을 활용하여, GPS Spoofing 공격으로 손상된 GPS 정보를 대체할 수 있도록 UAM 기체의 위치를 빠르고 정확하게 특정하는 제삼자 측위 기술을 소개한다.

Ⅱ. 본론

본 논문에서는 UAM 시스템을 기반으로 지형 정보, 3차원 항로와 같이 실제 물리적 환경에서 기체의 비행 시 필요한 정보를 그대로 가상 환경에 나타낼 수 있는 디지털 트윈 시스템이 구축되어있다고 가정한다. 기체에 탑재된 GNSS(Global Navigation Satellite System) 등의 다양한 센서를 통해 정보를 받아와서 디지털 트윈 시스템을 구축하게 된다. 하지만 이런 경우, GPS spoofing/jamming 등 사이버공격에 의해 기체가 잘못된 위치 정보를 전달하는 상황이 생길 수 있어 안전한 시스템 구축에 차질을 줄 수 있다. 따라서 잘못된 위치 정보를 가진 기체를 탐지하고, GPS 정보에 의존하지 않고 잘못된 기체의 위치를 새롭게 측위하여 대응하여야 한다.

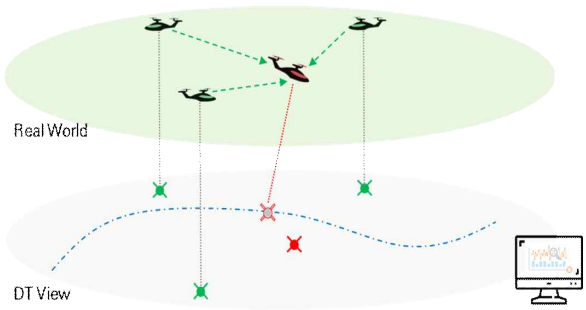

그림 1 디지털 트윈 상 사이버공격을 받은 기체 탐지

그림 1은 잘못된 위치 정보를 가진 기체를 탐지하는 것을 나타낸 그림이다. 디지털 트윈 시스템에서 운영되는 DT-View에서는 기체들의 기존 비행경로에 대한 Trajectory 정보와 기체들이 전달하는 GPS 정보를 토대로 각 기체의 위치를 파악한다. 이때 GPS spoofing 등의 공격을 받은 기체가 잘못된 위치 정보를 전달하게 되어 기존의 Trajectory 정보와 불일치하게 되면 그 기체의 주변 기체를 탐색한다. 그리고 주변 기체와 해당 기체 사이의 무선 통신에서 얻은 품질 정보를 활용하여 실제 거리를 측정하고, 공격받았다고 의심되는 기체가 현재 경로상 있어야 할 위치와 주변 기체 간의 거리를 DT-View 상에서 측정했을 때, 그 값이 다르면 실제로 공격을 받았다는 것을 확인할 수 있고 이로써 공격을 탐지한다.

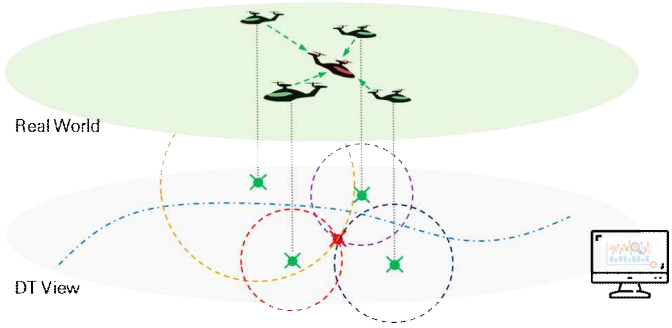

그림 2 디지털 트윈 상 기체에 대한 제삼자 측위 기법

그림 2는 공격이 탐지되었을 때, 공격을 받은 기체의 위치 정보를 새롭게 측위하여 적용하는 제삼자 측위 기법을 나타낸 것이다. 공격 탐지 시에는 공격을 받은 기체의 주변 기체를 탐색하여, 기체들 사이의 무선 통신에서 얻은 품질 정보를 활용하여 실제 거리 측정하였다. 이때 필요한 주변 기체는 최소 1대 이상이지만, 측위를 위해서는 최소 4대 이상 필요하다. 각 주변 기체에서 얻은 거리를 반지름으로 하고, 해당 주변 기체가 원점이 되는 4개 이상의 구를 그려 그 접점이 되는 곳을 실제 공격을 받은 기체의 위치로 판단할 수 있다. 결국 손상된 GPS 정보가 아닌, 주변 기체들의 무선 통신 품질 정보로 측위가 가능하고, 이는 정보의 주체가 측위에 참여하지 않기에 제삼자 측위 기술이라고 할 수 있다.

무선 통신 품질 정보로 거리를 측정하는 방법에는 여러 가지가 있지만, 가장 많이 언급되는 방법인 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 사용하는 경우, 거리 구하는 Friis 공식은 아래와 같다.

$$d = \frac{\lambda}{4\pi} \times 10^{\frac{L}{20}} = \frac{c}{4\pi f} \times 10^{\frac{L}{20}}$$

여기서 c는 전파속도이며, f는 주파수, L은 송신 측과 수신 측 사이의 전력 차이로 경로 손실 값이다.[5] 이와 같은 공식을 통해 공격을 받은 기체와 주변 기체 사이의 거리를 계산할 수 있으며, 계산된 거리는 측위를 위해 사용될 구의 반지름이 된다.

반면, 제삼자 측위 시 무선 통신 품질 정보와 같이 이미지 정보를 활용한다면 필요한 주변 기체 수가 최소 1대 이상으로 적어질 수 있다. 주변 기체에서 공격을 받은 기체를 직접 관측한 이미지 정보에서 주변 기체를 기준으로 어느 방향인지를 알 수 있고, 무선 통신 품질 정보를 통해 주변 기체와 공격을 받은 기체 사이의 거리를 알 수 있으므로, 구의 접점을 찾을 필요 없이 방향과 거리로 공격을 받은 기체의 위치를 특정할 수 있다.

UAM 시스템상의 측위 기법에서 가장 중요한 부분은 바로 실시간으로 이뤄져야 한다는 것이다. 만약 GPS Spoofing 공격을 받은 기체의 위치를 단시간에 파악하지 못한다면, 인명피해까지 이어질 수 있으며, UAM 시스템 전반의 안정성을 해칠 수 있다. 따라서 공격을 받은 기체를 빠르게 탐지하여, 실시간으로 위치를 파악해야 한다. 제안하는 제삼자 측위 기술은 디지털 트윈을 통해 기체 간의 무선 통신 품질 정보와 이미지 정보 등을 미리 확보하고 있어 단시간에 대응할 수 있다는 장점이 있다.

위에서 언급한 기술들은 UAM 기체의 수가 많을수록 주변 기체로부터 오는 정보도 많아져 그 기술의 정확도가 올라가며, 이는 다수의 UAM 기체로 구성된 미래의 대규모 UAM 시스템을 고려하더라도 좋은 솔루션이 될 수 있다.

Ⅲ. 결론

본 논문에서는 디지털 트윈을 활용하여, UAM 기체 간의 무선 통신 품질 정보 및 이미지 정보로 GPS Spoofing 등의 공격을 받은 기체의 위치를 특정하는 측위 기술을 제시하였고, 이를 통해 안전한 UAM 시스템 운영에 기여할 수 있다. 이러한 내용을 바탕으로 추후에는 기술의 고도화 및 최적화를 위해 디지털 트윈 환경을 개선하거나, 디지털 트윈에서 수집되는 정보들을 더 빠르고 안전하게 받아오는 저지연 보안 통신 연구를 지속할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터육성지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2023-2021-0-02048)

참 고 문 헌

[1] 새만금개발청, "새만금개발청, 디지털 트윈 플랫폼 구축 추진", 2020, https://www.korea.kr/news/pressReleaseView.do?newsId=156371779

[2] Singapore land authority, Virtual Singapore, 2017, https://www.sla.gov.sg/geospatial/gw/virtual-singapore

[3] Li Wang, Yu Chen, Pu Wang, and Zheng Yan. "Security Threats and Countermeasures of Unmanned Aerial Vehicle Communications", IEEE Communications Standards Magazine, Dec. 2021.

[4] Mohsin Kamal et al. "GPS Location Spoofing Attack Detection for Enhancing the Security of Autonomous Vehicles", 2021 IEEE 94th Vehicular Technology Conference, 2021.

[5] 최준영, 김현중, 양현호. "RSSI 측정값의 회귀분석을 이용한 무선센서노드의 위치관리", 2008.