데이터 무결성을 보장하는 ROS 기반 무인 항공 시스템

이효준, 윤지영, 박경준
대구경북과학기술원

{hj.lee; hailey_yoon; kjp} @dgist.ac.kr

ROS-based Unmanned Aerial Systems for Ensuring Data Integrity

Hyojun Lee, Jiyoung Yoon, Kyung-Joon Park
Daegu Gyeongbuk Institute of Science & Technology (DGIST)

요 약

최근 활용도가 높아지는 UAV(Unmanned Aerial Vehicles)는 단순한 조종뿐 아니라 자율비행과 군집비행 등 용도에도 쓰인다. 이를 위해 소프트웨어 프레임워크인 ROS(Robot Operating System)를 UAV 와 함께 사용하며 이는 UAV 와 센서, 그리고 지상 관제소와의 통신의 중심에 위치한다. 이때 비행에 영향을 미치는 대량의 데이터가 UAV 에 전송된다. 본 논문에서는 ROS 내 통신 문제점으로 인한 UAV 의 취약성에 대해 서술하고 해당 문제점을 해결할 수 있는 방법을 제안한다.

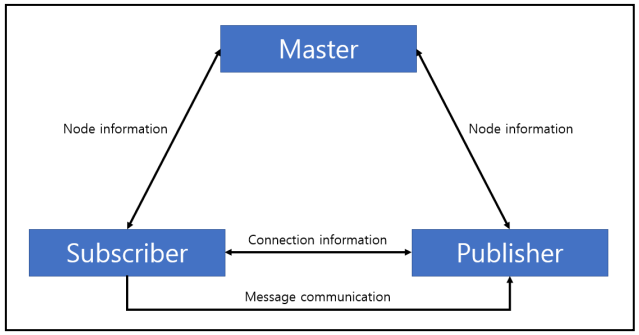
Ⅰ. 서 론

드론이라 불리는 UAV(Unmanned Aerial Vehicles)는 레저, 미디어 엔터테인먼트, 인명 구조 활동, 군사 목적 등 점점 더 많이 이용되고 있다. 이런 상황에서 상용 드론의 확산은 더욱 늘어날 전망이다. 미국 연방항공청(FAA)은 최근 2019~2039 년 상업용 및 비상업용 드론의 수요를 예측한 예측 보고서 'FAA 항공 전망 2019-2039'를 발표했다. 상업용 드론 시장이 예상보다 빠르게 성장하고 있는 것으로 나타났으며 2023 년까지 3 배 이상 늘어날 전망이다. 또한 드론은 CPS(Cyber Physical System)의 중요한 분야 중 하나로 떠오르고 있다.[1, 2]

드론의 활용도는 증가하고 있으며 단순한 RC 조종뿐만 아니라 자율비행, 군집비행 등 용도에도 쓰인다. 이러한 기능을 위해 Robot Operating System (ROS) 과 드론이 함께 UAS(Unmanned Aerial Systems)로 구축되어 사용된다. ROS 는 로봇 소프트웨어 개발을 위한 소프트웨어 프레임워크로 나사의 Robonaut 등 많은 로봇 플랫폼에서 점점 더 많이 사용되고 있다. 드론은 ROS 를 이용해 여러 개의 센서를 장착해 군집을 지어 비행하거나 자율적으로 비행하는 등 응용된 비행을 할 수 있게 된다.

ROS 는 다음 그림 1 과 같이 master, publisher, subscriber 의 세 가지 유형의 node 로 구성된다. Master node 는 서로 데이터를 교환하려는 publisher 와 subscriber 사이의 연결고리 역할을 한다. Topic 은 데이터의 방향성에 사용되며, publisher 는 원하는 subscriber 에게 특정 topic(센서 값 또는 명령)을 전달한다. Subscriber 는 해당 topic 에 대한 값을 받아 후속 로봇 활동에 필요한 프로세스를 실행한다.

ROS 의 publisher 와 subscriber 사이의 통신은 평문으로 이루어지며, 공격 대상 드론이 ROS 를 이용하는 것을 알고 있는 공격자는 포트 스캔을 통해

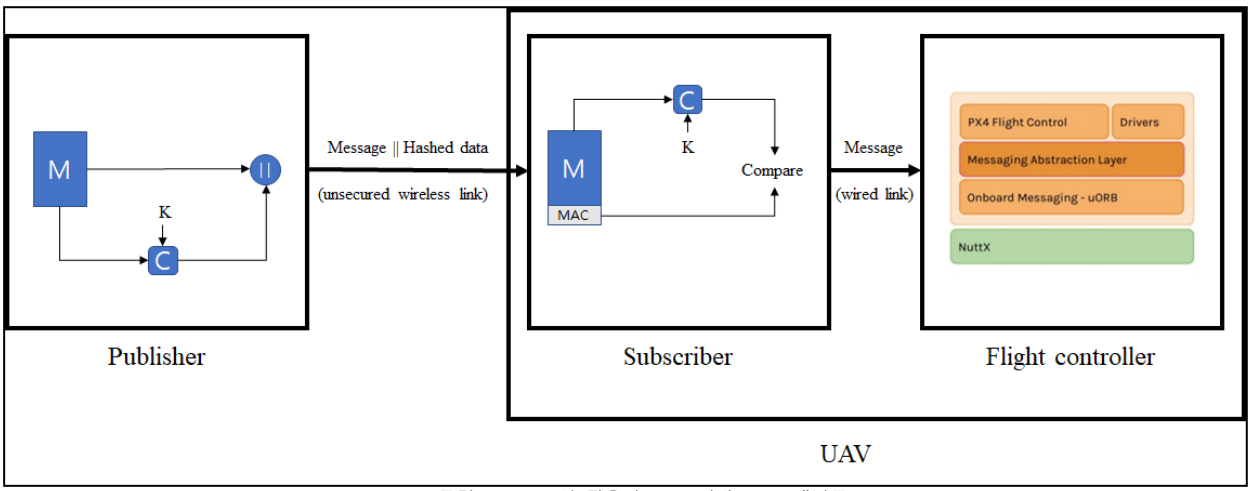


<그림 1> ROS 개념도.

master 가 실행되는 컴퓨터의 IP 주소를 알아낼 수 있다. 이후 드론 시스템에서 사용하는 topic 에 publsiher 와 subscriber 를 연결해 비정상적인 센서 데이터 또는 명령을 전달하거나 시스템에서 주고받는 데이터를 도청하는 것이 가능하다. Publisher 를 연결해 데이터를 sniffing 하는 공격자는 시스템에서 상대적으로 민감한 공격이 아니다. 하지만 publisher 를 연결하고 비정상적인 데이터를 주입하면 드론 비행에 큰 영향을 미칠 수 있다. 그래서 우리는 ROS 내 통신에서 데이터 무결성을 보장하는 UAS 을 제안한다.

Ⅱ. 본론

ROS 에서 공격자는 시스템 내의 데이터에 대한 sniffing 및 injection 공격을 간단한 방법으로 수행할 수 있다. 공격자가 ROS 가 동작하는 네트워크에 침입할 수 있는 경우, master node 에 publisher node 로 등록하여 원하는 subscriber node 에게 데이터를 전송할 수 있다. 우리는 이러한 ROS 취약점을 해결하기 위해 ROS 통신에 Message Authentication Code(MAC)를 구현한 시스템을 제안한다.



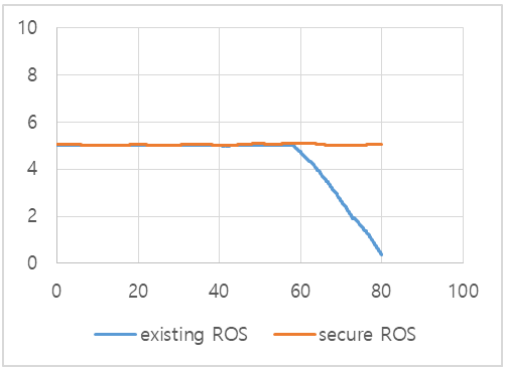
<그림 2> MAC 이 적용된 ROS 기반 UAV 개념도

ROS 는 오픈소스 시스템이라 소스에 접근할 수 있었고, ROS 의 무결성을 확보하기 위해 소스 코드로 MAC 을 구현했다. ROS 의 MAC 구현은 그림 2 에 나타나 있으며, publisher 와 subscriber 가 그 기능을 수행한다. 그 과정의 세부사항은 다음과 같다. publisher 가 원본 메시지와 원본 메시지를 hash 함수를 통해 변환한 데이터인 MAC 을 subscriber 에게 전달한다. subscriber 는 데이터를 수신하고, MAC 과 원본 데이터를 분리한 다음, 원본 데이터를 hash 함수로 변환한다. 그런 다음 수신된 MAC 을 이전 단계의 hash 값과 비교하여 데이터가 손상되었는지 확인한다. 데이터가 변조되었다고 판단하면 수신된 데이터를 무시하고, 그렇지 않다면 비행 제어를 담당하는 flight controller 에게 데이터를 전달한다.

위와 같은 기능의 구현을 위해 publisher 와 subscriber 에 hash 함수를 구현했다. MAC 의 안정성은 hash 알고리즘의 안전성에 좌우되기 때문에 hash 알고리즘은 SHA-256 을 사용했다. SHA-256 은 빠른 출력 속도의 장점을 가지고 있으며 블록체인에 가장 널리 채택되어 사용되고 있다.

우리는 Software in the Loop(SITL) 환경에서 실험을 진행하였다. 실험에서 ROS 의 topic 은 센서 값이 아닌 명령으로 간주된다. 우리의 실험 환경은 다음과 같다. 우리는 드론 보드에는 Pixhawk2 를 사용하고 펌웨어에는 PX4 를 사용한다. 그리고 ROS 는 Raspberry pi 의 Ubuntu MATE 에 설치되어 있다. 그리고 Raspberry pi 는 Pixhawk2 에 연결되며 ROS publisher 가 받은 데이터를 전달한다. 실험에 사용되는 ROS topic 은 확장된 ROS 패키지인 MAVROS 의 setpoint_position/local 이다.

먼저 기존의 시스템에서의 드론이 비행할 때 공격에 대한 영향을 실험했다. 정상적인 이용자는 5m 고도에서 최대 80 초까지 드론을 제어하려고 하였으나 공격자는 58 초 지점에서 악의적인 publisher 를 이용해 드론에게 접근했다. 그 결과 그림 3 과 같이 드론이 80 초에 이를 때까지 서서히 고도를 낮추는 것을 볼 수 있다.



<그림 3> 시간에 따른 드론 고도 변화

두 번째 실험은 MAC 을 적용한 시스템에서 드론의 움직임을 분석하였다. 앞선 실험과 같이 정상적인 사용자가 드론을 5m 고도로 조종하면 공격자가 드론을 0m 고도로 비행하도록 방해한다. 그림 3 은 실험 결과를 보여준다. Subscriber 가 공격자의 악의적인 publisher 로부터 생성된 데이터를 받아들이지 않고 드론은 5m 고도에서 80 초 간 비행한다. 이 두 실험을 통해 ROS 에서의 MAC 알고리즘 사용이 무결성이 보장된 데이터의 전송을 가능하게 한다는 것을 확인할 수 있었다.

Ⅲ. 결론

자율 비행, 군집 비행과 같이 응용된 UAV 의 비행을 위해 사용하는 ROS 가 탑재된 드론의 데이터는 무결성에 취약하다. 이러한 문제는 드론의 비행에 매우 치명적인 위험을 줄 수 있다. 이를 해결하기 위해 SHA-256 알고리즘을 이용한 MAC 을 ROS 에 적용한 시스템을 제안한다. 또한 이 방법이 ROS 의 데이터의 무결성을 보장할 수 있다는 것을 두 가지 실험을 통해 입증했다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 군집형 무인 CPS 특화연구실 사업의 일환으로 수행되었습니다.

(UD190029ED)

참 고 문 헌

[1] K.-J. Park, R. Zheng, and X. Liu, "Cyber-physical systems: Milestones and research challenges," Computer Communications, vol. 36, issue 1, pp. 1-7, December 2012.

[2] K.-J. Park, J. Kim, H. Lim, and Y. Eun, "Robust path diversity for network quality of service in cyber-physical systems," IEEE Transactions on Industrial Informatics, vol. 10, no. 4, pp. 2204-2215, November 2014.