

GPS-denied 환경에서 ARIMA 모델 기반 보정 측위 기법

정경현, 이정범, 이창건, 권태경

서울대학교

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

ARIMA-Based Corrective Localization Technique for GPS-Denied Environments

Gyeongheon Jeong, Jungbum Lee, Chang-gun Lee, Taekyoung “Ted” Kwon

Seoul National Univ.

요약

본 논문은 GPS 신호 수신이 불가능하거나 신뢰할 수 없는 GPS-denied 환경에서 드론의 안정적인 위치 추정을 가능하게 하는 보정된 측위 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 무선 신호의 RSSI를 활용하여 주변 드론과의 거리 정보를 추정하고, 삼변측량을 통해 드론의 위치를 계산한다. 그러나 RSSI 기반 측위는 환경에 따라 오차가 크다는 한계가 있으며, 이를 보완하기 위해 시계열 예측 모델인 ARIMA를 도입하여 위치 추정값을 보정한다. 본 기법은 GPS 좌표와 RSSI 기반 좌표 간의 차이를 비교함으로써 GPS 이상 여부를 탐지하고, 공격 또는 장애 발생 시에는 보정된 RSSI 좌표를 대체 위치로 활용할 수 있다.

I. 서론

GPS(Global Positioning System)는 선박, 비행기, 차량 등의 이동 수단은 물론, 드론 등 다양한 분야에서 널리 활용되는 대표적인 위치 추정 기술이다. 그러나 GPS 신호는 스폐핑(Spoofing)이나 재밍(Jamming)과 같은 공격에 취약하여, 위치 정보의 신뢰성을 크게 저하시킬 수 있다[1]. 또한, 주변 지형지물에 의한 간섭 때문에 GPS 신호가 약해지거나 수신 자체가 어려운 경우도 많다[2]. 이러한 한계로 인해, GPS에 의존하지 않거나 이를 보조할 수 있는 위치 추정 기법의 필요성이 꾸준히 제기되고 있다. 이와 관련하여, GPS 수신이 어려운 실내 환경을 대상으로 다양한 측위 기술이 제안되어 왔다. 예를 들어, Wi-Fi 신호의 세기를 기반으로 특정 공간을 Fingerprinting하고, 이를 미리 수집된 신호 패턴과 비교하여 사용자의 위치를 추정하는 방식이 널리 연구되고 있다[3]. 또한, 영상 기반의 시각적 위치 인식(Visual SLAM) 기술을 활용하면, 센서 정보를 바탕으로 주변 환경을 동시에 인식하고 위치를 추정할 수 있다[4]. 그러나 실내 측위 기술은 외부 환경에서는 적용이 어렵고, Visual SLAM은 인프라 구축이 필요하며 실시간 처리에 따른 연산 부담이 크다는 한계가 있다.

본 연구는 이러한 문제의식에 기반하여, 외부 환경의 특정 대상에 대해 GPS가 불가능하거나 부정확한 환경에서도 활용 가능한 측위 기법을 제시한다. 구체적으로는 무선 신호의 RSSI(Received Signal Strength Indicator)를 이용하여 주변 객체들과의 거리를 측정하고, 삼변측량을 통해 사용자의 위치를 추정하는 방식을 채택하였다. 하지만 RSSI는 환경에 따라 측정 오차가 크다는 단점이 있으며, 이로 인해 위치 추정의 정확도가 떨어질 수 있다. 이를 보완하기 위해, 본 연구에서는 시계열 데이터를 예측하는 데 널리 사용되는 통계적 모델인 ARIMA(AutoRegressive Integrated Moving Average)를 도입하여 RSSI 기반 거리 측정의 오차를 보정한다.

II. 본론

본 논문에서는 GPS 신호 수신에 어려움이 발생하는 실외 GPS-denied 환경과, GPS Spoofing 또는 Jamming 공격으로 인해 정상적인 GPS 운용이 불가능한 상황을 가정한다. 대상이 되는 객체는 충분히 많은 수로 존재하며, 이를 중 일부만이 비정상적인 상황에 처한 것으로 가정한다. 제안하는 기법은 GPS를 활용하는 모든 객체에 적용 가능하지만, 본 논문에서는 드론을 중심으로 설명을 제한한다.

제안하는 솔루션에서 각 드론은 본인의 위치를 두 가지 방식으로 추정한다. 첫 번째는 기존 GPS를 이용한 일반적인 방식이고, 두 번째는 주변 드론들로부터의 정보를 활용하는 방식이다. 이때 주변 드론의 GPS 좌표와 이들로부터 수신되는 무선 신호의 RSSI를 기반으로 거리 정보를 계산한다. 무선 신호는 Wi-Fi, LoRa 등 충분한 전파 도달 범위를 갖는 모든 종류가 사용 가능하다. RSSI 기반 거리 추정에는 여러 방식이 존재하지만, 본 논문에서는 가장 널리 사용되는 Friis 전파 손실 공식의 변형을 활용한다:

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

여기서 c 는 전파속도이며, f 는 주파수, L 은 송신 측과 수신 측 사이의 전력 차이로 경로 손실 값이다[5]. 각 주변 드론의 GPS 좌표와 측정된 거리가 주어지면, 삼변측량을 통해 3차원 공간에서 현재 드론의 위치를 추정할 수 있다(해당 정보들은 드론뿐만 아니라 다른 장비, 장치들을 통해서도 받을 수 있음). 필요한 최소 주변 드론 수는 4개이며, 주변 드론의 개수가 4개 이상인 n 개라면, nC_4 개의 조합마다 삼변측량을 수행하고, 그 결과들의 평균값을 중심점(Centroid)으로 정의하여 최종 위치를 결정한다. 이처럼 GPS를 통해 얻은 좌표(GPS 좌표)와 RSSI 기반으로 계산한 좌표(RSSI 좌표)의 차이를 비교함으로써, 드론은 수신한 GPS 정보의 신뢰도를 판단할 수 있다.

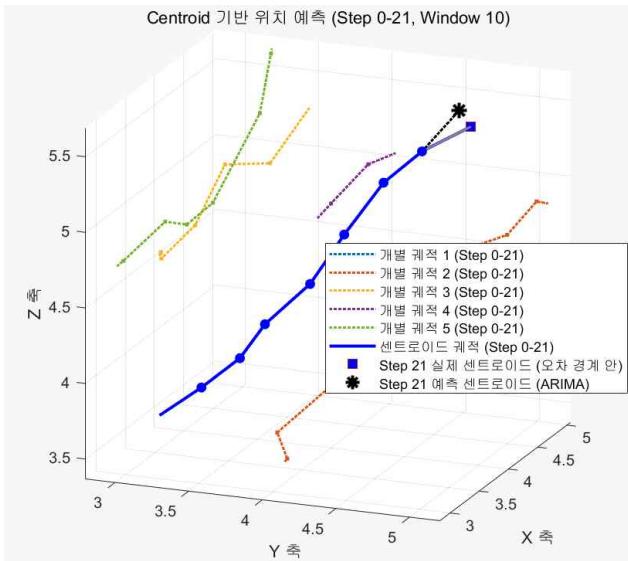


그림 1. ARIMA를 이용한 다음 좌표 예측 실시 예

그러나 RSSI 기반 좌표는 환경의 영향을 크게 받아 오차가 를 수 있다. 이를 보정하기 위해, 본 논문에서는 시계열 예측에 널리 사용되는 통계적 모델인 ARIMA를 적용한다. ARIMA는 자가회귀(AR), 차분을 통한 추세제거(I), 예측 오차의 패턴(MA)을 결합하여 다음 시점의 값을 예측하는 모델이다. 본 연구에서는 시간 흐름에 따라 수집된 RSSI 좌표를 기반으로 향후 위치를 예측하며, 예측값과 실제값의 오차를 모델에 반영하여 지속적으로 갱신한다. 또한, 오래된 데이터의 영향을 줄이기 위해 슬라이딩 윈도우(Sliding Window) 기법을 적용하여 최근 정보에 기반한 예측이 이루어지도록 한다. 최종적으로는 각 시간 구간(Time Slot)마다 실제 RSSI 좌표와 ARIMA 기반 예측 좌표를 사전에 정의된 비율(예: 9:1)로 가중 평균하여 최종 보정 좌표를 도출한다. 그림 1은 MATLAB을 통해 ARIMA 모델을 적용하여 다음 좌표를 예측하는 예시를 보여준다.

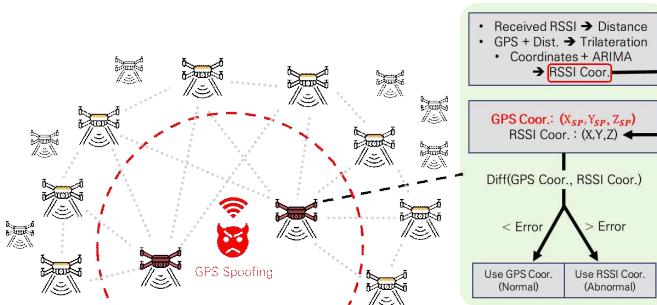


그림 2. GPS Spoofing 환경에서 제안된 솔루션의 개념도

제안하는 솔루션이 실제로 적용된 상황을 살펴보면 다음과 같다. 정상적인 환경에서는 드론이 수신한 GPS 좌표와 RSSI 좌표 간의 차이가 사전에 정의된 오차 범위 이내에 존재한다(예: 5m). 만약 한 드론이 수신기 오류나 지형지물 등의 영향으로 GPS 신호를 받지 못하게 되면, 기존 방식에서는 대체 수단이 없지만, 본 솔루션에서는 RSSI 기반 좌표를 통해 지속적인 위치 추정이 가능하다. GPS Spoofing/Jamming 공격이 발생한 경우도 마찬가지다. 일반적으로 이러한 공격은 모든 드론을 동시에 대상으로 하기보다는, 특정 영역 내 드론들에게 국한된다. 해당 영역 내 드론들은 왜곡된 GPS 정보를 수신하므로, RSSI 좌표와의 차이가 오차 기준을 초과하게 된다. 이 차이를 통해 드론은 본인이 공격받고 있음을 감지할 수 있

으며, 이 경우 RSSI 좌표를 신뢰 가능한 대체 좌표로 활용할 수 있다. 그림 2는 이러한 상황을 시작적으로 나타낸다. 결과적으로, 평상시에는 GPS 좌표를 사용하고, GPS 수신 불가 또는 공격 탐지 시에는 보정된 RSSI 좌표를 활용함으로써, 보다 견고하고 안정적인 위치 추정이 가능해진다.

III. 결론

본 논문에서는 GPS 수신이 불가능하거나 신뢰할 수 없는 GPS-denied 환경, 그리고 GPS Spoofing/Jamming 공격 상황에서도 안정적인 위치 추정이 가능하도록 하는 보정된 측위 기법을 제안하였다. 제안된 솔루션은 드론 간 무선 신호의 RSSI 값을 기반으로 삼변측량을 수행하여 GPS 이외의 방식으로 위치를 추정하며, RSSI 기반 추정값의 신뢰도를 향상시키기 위해 시계열 예측 모델인 ARIMA를 적용하였다. ARIMA 모델을 통해 시간에 따른 RSSI 좌표의 예측값을 계산하고, 이를 기반으로 보정된 위치 정보를 도출함으로써 오차를 줄이고 연속적인 측위가 가능하도록 하였다. 또한, GPS 좌표와 RSSI 좌표 간의 차이를 통해 GPS 신호의 이상 여부를 탐지할 수 있어, Spoofing/Jamming 공격에 대한 탐지 및 대응 수단으로도 활용 가능하다. 결과적으로 본 연구는 GPS에 대한 의존도를 줄이면서도, 다양한 환경에서의 드론 운용에 필요한 신뢰성 있는 위치 추정 기법을 제시하였다는 데에 의의가 있다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2023-00220985).

참 고 문 헌

- [1] Silva, Diogo Alexandre Martins da. GPS jamming and spoofing using software defined radio. MS thesis. 2017.
- [2] Ashraf, Imran, Soojung Hur, and Yongwan Park. "BLocate: A building identification scheme in GPS denied environments using smartphone sensors." Sensors 18.11 (2018): 3862.
- [3] Basri, Chaimaa, and Ahmed El Khadimi. "Survey on indoor localization system and recent advances of WIFI fingerprinting technique." 2016 5th international conference on multimedia computing and systems (ICMCS). IEEE, 2016.
- [4] Kazerouni, Iman Abaspur, et al. "A survey of state-of-the-art on visual SLAM." Expert Systems with Applications 205 (2022): 117734.
- [5] 최준영, 김현중, 양현호. "RSSI 추정값의 회귀분석을 이용한 무선센서 노드의 위치관리", 2008