

다중 안테나 기반의 불법 소형 드론 추적 성능 개선 기법

A New Scheme Based On Multiple Antennas For Tracking Illegal Small Drones

Ryun Woo Kim¹ · Jong-Yeol Ryu² · Tae Won Ban^{2*}

¹Graduate Student, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam, 53064 Korea

^{2*}Associate Professor, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam, 53064 Korea

ABSTRACT

In this paper, we investigate how to track illegal drones by using communication signal received from illegal drones, which is a promising candidate position tracking scheme for anti-drone systems, and is particularly effective in tracking small illegal drones in urban areas. We propose an enhanced tracking scheme using multiple antennas to improve the performance of tracking by reducing the error of position tracking. In the proposed tracking scheme, a tracker is equipped with four receive antennas that are evenly spaced 90 degrees apart, and received signal strength indicators (RSSIs) received by four receive antennas are pre-averaged before being used to calculate the distance between tracker and target. Our numerical results show that the proposed scheme outperforms the conventional scheme in terms of accuracy.

Keywords : Anti-Drone, Multiple antennas, Small Drone, Tracking.

I. 서론

최근에, 드론 관련 기술들이 비약적으로 발전하고 있

다. 특히 배터리와 통신 네트워크 기술의 발전으로 드론의 조정 가능 거리와 비행 가능 시간이 급격히 증가함으로써, 다양한 분야에서 드론에 대한 수요가 폭발적으로 증가하고 있다 [1-3]. 이러한 드론의 폭발적 증가로 인해서 비인가 드론에 의한 다양한 사건과 사고가 발생하고 있으며, 드론이 테러에 악용될 가능성 또한 증가하고 있다 [4]. 따라서, 이러한 불법 드론에 대응하기 위한 기술들에 대한 관심이 증가하고 있으며, 관련 시장이 2018년 약 5억\$에서 2024년 약 23억\$ 규모로 성장할 것으로 예상된다 [3]. 특히, 대형 무인기 추적에 널리 사용되는 레이더 기술은 도심 지역에서 비행하는 소형 불법 드론 추적으로 적합하지 않기 때문에 드론 조정용으로 사용되는 통신 신호를 활용하는 방안이 대안 기술로 연구되고 있다 [5]. 기존 연구에서는 BLE(Bluetooth Low Energy) 송수신 기능을 활용하여, 특정 목표 물체가 방송(Broadcast)하는 신호를 이용하여 목표물의 위치를 예측하면서 목표물을 추적하는 방식을 제안하였다 [5]. 본 논문에서는 복수의 수신 안테나에서 수신하는 신호들의 평균 값을 이용함으로써 기존 알고리즘의 정확도를 개선하고, 목표물 추적 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 방식을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 시스템 모델을 설명하고 새로운 목표물 위치추적 방식을 제안한다. III장에서 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과를 설명하고 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델 및 제안 방식

그림 1은 본 논문에서 연구하는 다중 수신 안테나를 이용하여 불법 소형 드론을 추적할 수 있는 안티 드론용 추적기를 보여준다. 추적기는 불법 드론이 조정자와의 교신을 위해서 사용하는 근거리 통신망 또는 근거리 개인통신망 등의 신호를 수신할 수 있는 네 개의 수신 안테나를 탑재하고 있다. 각 안테나는 추적기의 중심에

Received 2 June 2021, Revised 3 June 2021, Accepted 17 June 2021

* Corresponding Author Tae-Won Ban(E-mail:twban35@gnu.ac.kr, Tel:+82-55-772-9177)

Associate Professor, Department of Information and Communication Engineering, Gyeongsang National University, Gyeongnam, 53064 Korea

Open Access <http://doi.org/10.6109/jkiice.2021.25.7.1000>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

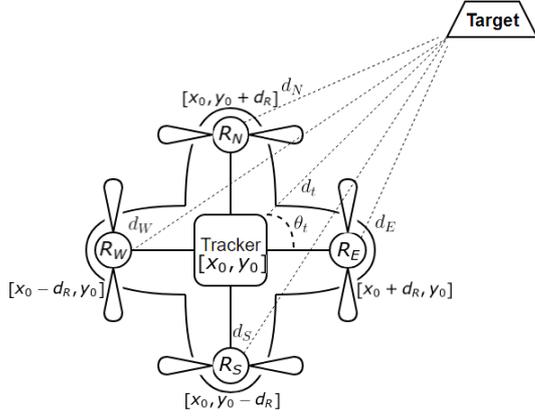


Fig. 1 An illustration of anti-drone tracking drone equipped with multiple antennas

서 d_R [m] 거리에 위치하며 각 안테나들은 90° 간격으로 배치된다. 각 안테나는 방위에 따라서 R_x 로 표기되며 $x \in \{N, S, E, W\}$ 이다. 추적기와 불법 드론인 목표물 사이의 거리는 d_t [m]이며 R_W 와 R_E 수신기가 이루는 선분과의 각도는 θ_t° 이다. 추적기 중심의 좌표를 (x_0, y_0) 로 표기하면 안테나 R_N, R_S, R_E, R_W 의 좌표는 각각 $(x_0, y_0 + d_R)$, $(x_0, y_0 - d_R)$, $(x_0 + d_R, y_0)$, $(x_0 - d_R, y_0)$ 로 주어진다. 이때, 추적기의 안테나 $R_{x \in \{N, S, E, W\}}$ 와 목표물 사이 채널의 손실 값 L_x 는 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$L_x \text{ [dB]} = PL_x + X_\sigma \quad (1)$$

식 (1)에서 PL_x 와 X_σ 는 추적기의 안테나 R_x 와 목표물 사이의 전파 경로 손실 값과 음영 손실 값 (Shadowing Loss)을 각각 나타낸다. 음영 손실 값 X_σ 는 평균이 0dB 이고 표준 편차가 σ [dB]인 로그 정규분포를 따른다. 채널의 페이딩은 고려하지 않는다. 안테나 R_x 와 목표물 사이의 거리를 d_x 라고 하면 경로손실 PL_x 다음과 같이 계산된다 [3].

$$PL_x = 10 \times n \times \log_{10} \left(\frac{d_x}{d_0} \right) \quad (2)$$

식 (2)에서 d_0 [m]는 기준 거리이며 n 은 경로 손실 지수를 나타낸다. 식 (1)의 채널 손실 값을 바탕으로 안테나 R_x 에서 수신되는 신호의 세기 (RSSI: Received Signal Strength Indicator) γ_x 는 다음과 같이 계산된다.

$$\gamma_x \text{ [dBm]} = \gamma_{d_0} - L_x. \quad (3)$$

여기서, γ_{d_0} 는 기준 거리 d_0 에서 측정된 RSSI 값을 나타낸다 [6, 7].

추적기는 목표물을 향해서 자신의 위치를 이동하기 위해서 네 개의 안테나를 이용하여 고정상태에서 목표물로부터 M 개의 RSSI를 수신하여 평균값을 구한다. 따라서, 각 안테나 R_x 에서의 평균 RSSI는 다음과 같다.

$$\bar{\gamma}_{x \in \{N, S, E, W\}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \gamma_x^i. \quad (4)$$

γ_x^i 는 안테나 R_x 에서 수신된 i 번째 RSSI를 나타낸다. 기존 방식 [5] 과 달리 본 논문에서 제안하는 방식은 네 개의 안테나에서 수신된 평균 RSSI를 다시 평균함으로써 다음과 같이 추적기의 최종 RSSI를 구한다.

$$\bar{\bar{\gamma}} = \frac{1}{4} \sum_{x \in \{N, S, E, W\}} \bar{\gamma}_x. \quad (5)$$

그리고, 식 (5)의 $\bar{\bar{\gamma}}$ 를 이용하여 추적기와 목표물 사이의 거리 d_t 는 다음과 같이 추정될 수 있다.

$$\hat{d}_t = \langle \bar{\bar{\gamma}} \rangle. \quad (6)$$

여기서, $\langle \bar{\bar{\gamma}} \rangle$ 는 식 (2)의 역함수를 이용하여 측정된 RSSI 값에 해당하는 송신기와 수신기 사이의 이격거리를 계산하는 함수로써 다음과 같이 정의된다.

$$\langle \bar{\bar{\gamma}} \rangle \equiv 10^{\frac{-\bar{\bar{\gamma}} + \gamma_{d_0}}{10n}}. \quad (7)$$

추적기는 식 (6)의 \hat{d}_t 를 이용하여 자신이 이동할 거리를 다음과 같이 결정한다.

$$D_n = \min(\hat{d}_{t_0}, \hat{d}_t / \beta). \quad (8)$$

여기서, \hat{d}_{t_0} 는 추적기가 처음으로 추정한 \hat{d}_t 값이며, β 는 추적기의 움직임을 제어하는 제어 변수이다. 추적기는 이동할 거리를 계산한 후, 자신의 네 수신기를 이용하여 이동할 방향을 계산한다. 먼저, 식 (7)을 이용하여 네 개의 수신 안테나와 목표물 사이의 예측 거리를 식 (9)와 같이 구한다.

$$\hat{d}_{x \in \{N, S, E, W\}} = \langle \bar{\gamma}_x \rangle. \quad (9)$$

추적기와 목표물 사이의 각도는 다음과 같이 예측된다 [5].

$$\hat{\theta}_t = \arccos\left(\frac{\hat{d}_R^2 + \hat{d}_t^2 - \hat{d}_h^2}{2\hat{d}_R \cdot \hat{d}_t}\right). \quad (10)$$

식 (10)에서 \hat{d}_h 는 다음과 같이 각각 정의된다.

$$\hat{d}_h = \min(\hat{d}_E, \hat{d}_W). \quad (11)$$

만약 세 변 ($\hat{d}_t, \hat{d}_h, d_R$)이 삼각형의 조건을 만족하지 못한다면 비례식 (12)를 이용해서 (13)과 같이 $\hat{\theta}_t$ 를 구한다.

$$\hat{d}_h : \hat{d}_v = \hat{\theta}_t : \frac{\pi}{2} - \hat{\theta}_t. \quad (12)$$

$$\hat{\theta}_t = \frac{\pi \hat{d}_h}{2(\hat{d}_v + \hat{d}_h)}. \quad (13)$$

식 (12)에서 \hat{d}_v 는 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{d}_v = \min(\hat{d}_N, \hat{d}_S). \quad (14)$$

추적기는 $\hat{\theta}_t$ 방향으로 D_n 만큼 이동하며 동일한 과정을 반복 수행한다.

III. 성능 분석

이 장에서는 컴퓨터 기반 Monte-Carlo 시뮬레이션을 통해서 제안 방식의 성능을 분석하고 기존 방식 대비 성능 개선 정도를 분석한다. 시뮬레이션에서는 추적기와 목표물 사이의 거리가 2m 이내로 줄어들면 추적에 성공한 것으로 간주하였으며 추적기의 움직임 정도를 제어하는 변수 β 는 2로 설정하였다. 그림 2는 추적기와 목표물 사이의 거리 D_0 [m]로 고정된 상황에서 추적기가 예측한 목표물과의 거리와 실제 D_0 와의 거리 오차를 나타낸다. 음영 손실 값의 표준 편차 σ 는 14.1dB이다. 먼저, 왼쪽 세로축은 기존 방식 [5]과 본 논문에서 제안하는 방식의 절대적인 거리 오차 [m]를 나타낸다. D_0 가 커질수록 기존 방식대비 제안 방식의 정확도가 향상됨을 확인할 수 있다. 제안 방식의 성능 개선 정도를 계량화하기 위하여 오른쪽 세로축에 기존 방식 대비 제안 방식의 거리 예측 오차 개선 비율 ρ [%]를 나타내었다. D_0 가

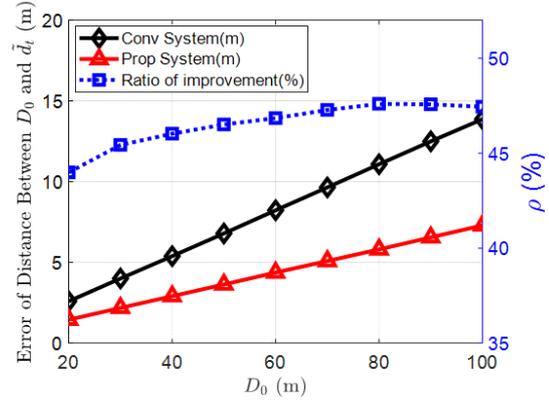


Fig. 2 Error between estimated distance and real distance for given D_0 . $\sigma=14.1$ dB

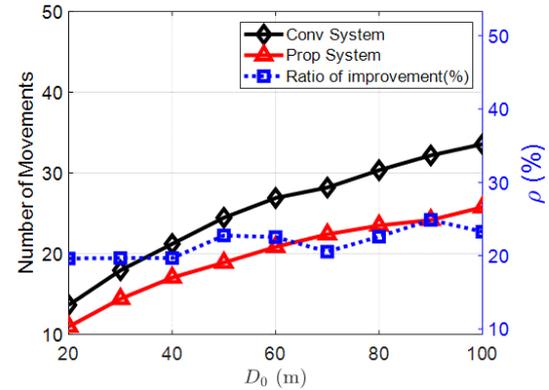


Fig. 3 The required number of tracker's movements for successful tracking. $\sigma=14.1$ dB.

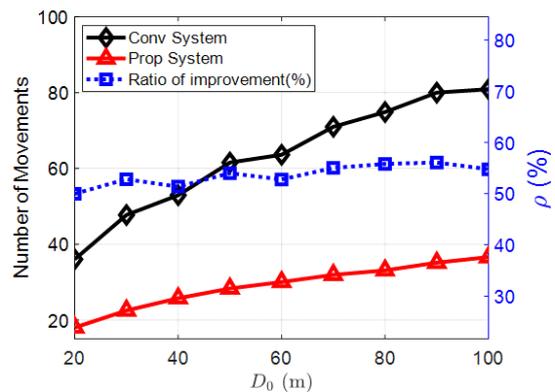


Fig. 4 The required number of tracker's movements for successful tracking. $\sigma=17.1$ dB.

20m에서 100m로 증가함에 따라서 제안 방식은 기존 방

식 대비 거리 예측 오차를 약 43%에서 47%까지 줄일 수 있음을 확인하였다. 그림 3은 그림 2와 동일하게 음영 손실 값의 표준 편차 σ 는 14.1dB이고 추적기와 목표물 사이의 거리가 D_0 로 주어질 때 추적기가 목표물 추적에 성공할 때 까지 필요한 추적기의 이동 횟수를 나타낸다. D_0 가 20m에서 100m로 증가함에 따라서 제안 방식은 기존 방식 대비 추적기의 필요 이동 횟수를 약 20%~23% 줄일 수 있다. 그림 4는 음영 손실 값의 표준 편차가 그림 3에서보다 2배 큰 17.1dB일 때 목표물을 성공적으로 추적하기 위해 필요한 추적기의 이동 횟수를 나타낸다. σ 가 3dB 증가함에 따라서 채널의 변동성이 증가하고 동일한 조건에서 목표물을 성공적으로 추적하기 위해서 필요한 추적기의 이동 횟수가 전체적으로 증가하지만, 제안 방식은 기존 방식 대비 추적기의 이동 횟수를 약 50%~55% 줄일 수 있다.

Table. 1 Parameters for simulations

Parameters	Description	Value
σ	Standard deviation of shadowing loss	14.1/17.1dB
d_0	Reference distance for path loss	1m
n	Path loss exponent	2.6
γ_{d_0}	RSSI measured at d_0	-50dBm
β	Parameter to control the movement of trackers	2

IV. 결론

본 논문에서는 불법 소형 드론이 방송하는 신호를 활용하여 불법 드론을 추적할 수 있는 기법을 연구하였다. 추적기는 네 개의 수신 안테나를 90도 간격으로 탑재하고 있으며, 채널 변화에 의한 오차를 줄이기 위해서 각 안테나에서 수신된 RSSI 값들의 평균 값을 이용하여 목표물과의 거리를 계산한다. 다양한 시뮬레이션 결과에 의하면, 제안 방식은 기존 방식 대비 추적기의 이동 횟수를 약 20%~55% 정도 줄일 수 있었다. 향후, 목표물이 이동하는 상황을 고려한 추가적인 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the ICT R&D program of MSIT/IITP. [2019-0-00499, Development of identification and frequency management technology of small drones at low altitude]

REFERENCES

- [1] Goldman Sachs. Drones Reporting for Work [Internet]. Available: <https://www.goldmansachs.com/insights/technology-driving-innovation/drones/>.
- [2] Statista. Estimated Worldwide Production Volume for Unmanned Aerial Vehicles (Military Drones) from 2013 to 2022 [Internet]. Available: <https://www.statista.com/statistics/428911/global-production-volume-forecast-for-unmanned-aerial-systemsor-drones/>.
- [3] Markets and Markets. Anti-Drone Market with COVID-19 Impact by Technology (Laser, Kinetic, Electronic), Application (Detection, Detection & Disruption), Vertical (Military & Defense, Homeland Security, Commercial), Platform Type, and Geography - Global Forecast to 2025 [Internet]. Available: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/anti-drone-market-177013645.html>.
- [4] A. H. Abunada, A. Y. Osman, A. Khandakar, M. E. H. Chowdhury, T. Khattab, and F. Touati, "Design and Implementation of a RF Based Anti-Drone System," in *Proceeding of IEEE International Conference on Informatics, IoT, and Enabling Technologies (ICIoT)*, Doha, Qatar, pp. 35-42, 2020.
- [5] J. M. Shin, Y. S Kim, T. W. Ban, S. Choi, K. M Kang, and J. Y. Ryu, "Position Tracking Techniques Using Multiple Receivers for Anti-Drone Systems," *Sensors*, vol. 21, no. 1, pp. 35, Dec. 2020.
- [6] T. S. Rappaport, *Wireless communications principles and practices*, Prentice Hall, 2002.
- [7] D. Tse and P. Viswanath, *Fundamental of Wireless communication*, Cambridge University Press, 2005.