

드론을 이용한 CRLB 기반 타겟 추적 시스템 구성 및 실험

조일현, 김성진, 이재복, 김선우

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과

{ssony31, stingsungs, ok7393, remero}@hanyang.ac.kr

CRLB-based Target Tracking System Configuration and Experiment using Drone

Ilhyun Cho, Sungjin Kim, Jaebok Lee, and Sunwoo Kim

Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University

요약

본 논문은 타겟 추적을 위한 실시간 드론 컨트롤 테스트베드 구성 및 실험 방법을 제시한다. 실험을 위해 GPS(global positioning system)와 UWB(ultra-wideband)모듈이 탑재된 3대의 드론을 사용한다. 거리정보를 전송받는 서버에서 타겟의 위치를 계산한 후 CRLB(cramer rao lower bound)가 최소화 되는 드론의 다음 위치를 드론에 전송한다. 실제 드론의 이동경로와 MATLAB시뮬레이션 결과를 비교하여 제안하는 실험 방법의 유효성을 확인한다.

I. 서론

무선 통신 기술이 발전하면서 측위 기술은 다양한 분야에서 중요한 역할을 한다 [1]. 특히 움직이는 물체를 추적하는 기술은 군사기술에 필수적이며, 최근에는 드론을 사용한 이동체의 위치 추적 연구가 활발하게 진행되고 있다. 드론을 사용한 타겟의 위치 추적 방법으로 가장 잘 알려진 방법에는 비전을 활용한 드론 컨트롤 연구가 있다 [2]. 비전 정보를 통해 타겟을 탐지하고 거리를 측정하여 타겟을 추적할 수 있지만, 환경적인 요인(날씨, 안개, 카메라) 등에 문제가 있을 경우 타겟 추적이 불가능하다는 단점이 있다. 이를 해결하고자 CRLB(cramer rao lower bound)를 활용한 드론 컨트롤 알고리즘이 제안되었다 [3]. 본 논문에서는 CRLB를 활용하여 이동체를 추적하는 드론 컨트롤 알고리즘을 실제로 구현하고 테스트베드를 구축하고자 한다. 드론과 UWB(ultra wide band) 모듈을 사용하여 특정 경로로 이동하는 타겟을 추적하고, 위치 측정 오차를 줄이기 위해 드론들을 최적의 좌표로 이동시킨다. 실험 결과로 MATLAB 시뮬레이션과 실제 드론의 이동횟수에 따라 감소하는 CRLB를 비교하여 제시한다.

II. 타겟과 드론의 동적 모델

본 논문에서는 3대의 드론들이 3차원 공간 안에서 동작하는 것을 가정된다. 각각의 드론 $i = \{1, 2, 3\}$ 은 아래의 동적 모델을 가지고 있다.

$$\mathbf{s}_t^i = \mathbf{s}_{t-1}^i + \begin{bmatrix} \Delta_R(l_1) \sin(l_2 \Delta_\phi) \cos(l_3 \Delta_\theta) \\ \Delta_R(l_1) \sin(l_2 \Delta_\phi) \sin(l_3 \Delta_\theta) \\ \Delta_R(l_1) \cos(l_2 \Delta_\phi) \end{bmatrix}, \begin{matrix} l_1 = 1, \dots, |\Delta_R| \\ l_2 = 0, \dots, N_\phi \\ l_3 = 1, \dots, N_\theta \end{matrix} \quad (1)$$

여기서 $\mathbf{s}_t^i = [s_x^i, s_y^i, s_z^i]^T \in R^3$ 이며 s_x^i, s_y^i, s_z^i 는 각각 i 번째 드론의 x, y, z 좌표값을 의미하고 $\Delta_R, \Delta_\phi, \Delta_\theta$ 는 각각 드론이 움직일 수 있는 거리, 양각, 방위각의 step size를 의미하며 $|\Delta_R|, N_\phi, N_\theta$ 는 드론이 움직일 수 있는 행동의 수를 결정한다.

타겟은 1개의 타겟이 2차원 공간($z=0$)에 존재한다고 가정된다. 타겟의 동적 모델은 다음과 같다.

$$\mathbf{x}_t = \Phi \mathbf{x}_{t-1} + \Gamma \mathbf{v}_t, \quad (2)$$

여기서 $\mathbf{x}_t = [x, y, z, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}]^T$ 이며 x, y, z 는 타겟의 좌표값을 의미하고 $\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}$ 는 x, y, z 방향으로의 타겟의 속도를 의미한다. 행렬 Φ 와 Γ 는 다음과 같이 주어진다. \mathbf{v}_t 는 타겟의 속력잡음인 공분산이다.

$$\Phi = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_3 & \Delta T \cdot \mathbf{I}_3 \\ \mathbf{0}_3 & \mathbf{I}_3 \end{bmatrix}, \Gamma = \begin{bmatrix} 0.5(\Delta T)^2 \cdot \mathbf{I}_3 \\ \Delta T \cdot \mathbf{I}_3 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

ΔT 는 시간 간격을 의미하고, \mathbf{I}_3 은 3×3 단위 행렬, $\mathbf{0}_3$ 은 3×3 영행렬을 의미한다.

III. CRLB 계산

UWB 모듈을 사용하여 타겟과 드론간의 거리를 측정한다. 시간 t 에서의 타겟과 드론 사이의 거리 측정 모델은 다음과 같이 가정된다.

$$y_t^i = \|\mathbf{H}\mathbf{x}_t - \mathbf{s}_t^i\| + w_t^i, \quad (4)$$

여기서 \mathbf{H} 는 타겟의 x, y, z 좌표를 추출하는 행렬이며 w_t^i 는 거리 측정 오차로 LoS 및 NLoS를 모두 고려한 가우시안 혼합 모델로 아래와 같이 가정된다.

$$w_t^i \sim [\lambda_i N(0, \sigma_{LoS}^2) + (1 - \lambda_i) N(\mu_{NLoS}, \sigma_{NLoS}^2)]. \quad (5)$$

λ_i 는 i 번째 드론과 타겟 사이의 LoS 확률이다. 수식 (4)로부터 타겟과 드론 사이의 거리 측정 우도 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$l(\mathbf{Y}_t | \mathbf{x}_t) = \prod_{i=1}^M N(y_t^i | \|\mathbf{H}\mathbf{x}_t - \mathbf{s}_t^i\| + \mu_t^i, (\sigma_t^i)^2), \quad (6)$$

위 식에서 $\mathbf{Y}_t(i) = y_t^i$ 를 의미하고 수식 (5)로부터 $\mu_t^i = (1 - \lambda_i) \mu_{NLoS}$ (σ_t^i)² = $\lambda_i^2 \sigma_{LoS}^2 + (1 - \lambda_i)^2 \sigma_{NLoS}^2$ 로 정의된다. CRLB를 계산하기 위한 피셔 정보 행렬(Fisher information matrix, FIM)은 다음과 같이 계산된다.

$$\mathcal{J}(\mathbf{F}_t) = -E \left\{ \frac{\partial^2 \ln l(\mathbf{Y}_t | \mathbf{x}_t)}{\partial \mathbf{F}_t^2} \right\}, \quad (7)$$

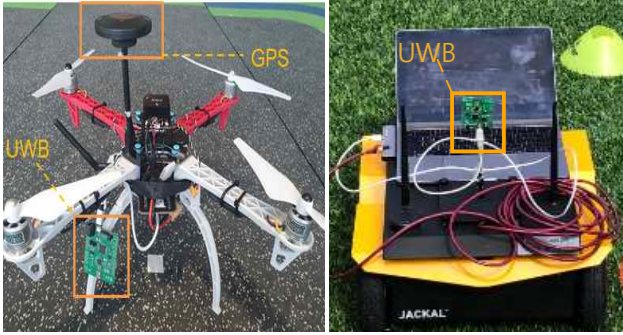


그림 2. GPS모듈과 UWB 모듈이 장착된 Pixhawk 드론 Drone (좌)과 Clearpath Jackal UGV (우)

$\mathbf{F}_t = \mathbf{H}\mathbf{x}_t$ 이며, 타겟 위치에 대한 CRLB는 FIM의 역행렬의 대각합으로 다음과 같이 계산된다.

$$\text{Cov}(\mathbf{F}_t) \geq \text{tr}(\mathbf{J}^{-1}(\mathbf{F}_t)). \quad (8)$$

V. CRLB 기반 드론 컨트롤 실험

3.1 테스트베드 구성

실험에 사용된 3대의 드론은 그림 2와 같이 Pixhawk에 GPS(global positioning system) 장비와 UWB 모듈을 탑재하고 있으며 UWB 모듈을 통해 타겟과의 거리가 측정된다. 그림 2와 같이 UWB 모듈이 장착된 Jackal을 일정한 간격으로 움직이는 1개의 타겟으로 설정하였다. MAVLink(micro air vehicle link) 모듈을 통해 드론들은 GPS 좌표를 전송하고 타겟인 Jackal은 UWB 모듈을 이용하여 드론과의 거리를 측정하고 Wi-Fi 네트워크를 통해 서버에 송신한다. 그림 3과 같이 실험은 가로 25m, 세로 25m, 높이 10m의 3차원 환경에서 진행되었다. 타겟은 좌표 [10m, 0m, 0m]에서 좌표 [20m, 10m, 0m]으로 이동하며 3대의 드론은 모두 좌표 [0m, 0m, 0m]에서 출발하여 CRLB를 낮추는 위치로 이동하였다.

3.2 드론 컨트롤 실험 및 결과

타겟이 0.5m 이동한 후 Jackal은 장착된 UWB 모듈과 각 3대의 드론에 장착된 UWB 모듈간 거리정보를 측정한 후 서버로 전송하고 드론은 GPS 좌표와 높이정보를 서버에 전송한다. 거리정보를 전송받은 서버에서는 삼변측량법을 이용하여 타겟의 좌표를 추정하고 CRLB가 최소화되는 각 드론의 다음 좌표를 계산한다. 계산된 드론의 다음 위치는 한 격자당 횡축, 종축 1m의 범위를 갖는 GPS 좌표계인 UTM(universal transverse mecrator)좌표계의 좌표로 변환한다. 이에 높이 정보를 추가하여 각 드론에 다시 전송하고 해당 위치로 드론이 이동하였다. 드론이 이동한 실제 위치의 GPS 정보는 서버에 실시간 전송 및 저장하였다. 실험은 이 과정을 1회로 정의하고 총 20회에 걸쳐 진행되었다. 그림 4는 실제 테스트베드에서 진행한 실험 데이터와 MATLAB 시뮬레이션의 CRLB 결과이다. 실험 결과 시간이 경과함에 따라 시뮬레이션 결과에 가까운 CRLB를 나타내는 것을 확인하였다.

VI. 결 론

본 논문에서는 타겟 추적을 위한 드론 컨트롤 실험 환경 및 실험 방법을 제안한다. GPS와 UWB 모듈이 장착된 3대의 드론을 사용하여 드론과 타겟의 거리를 측정하고 이를 통해 타겟이 이동한 위치를 파악

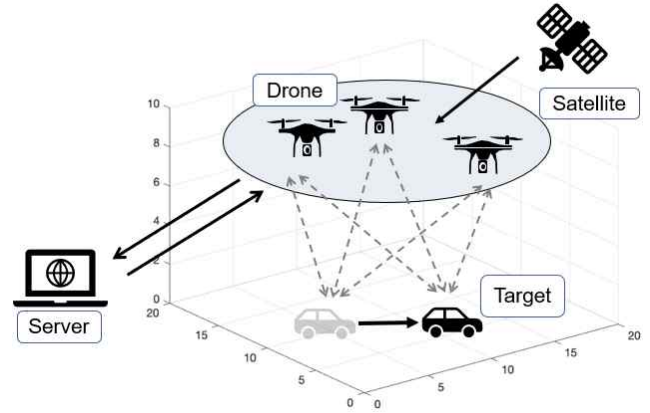


그림 3. 테스트베드 구성도

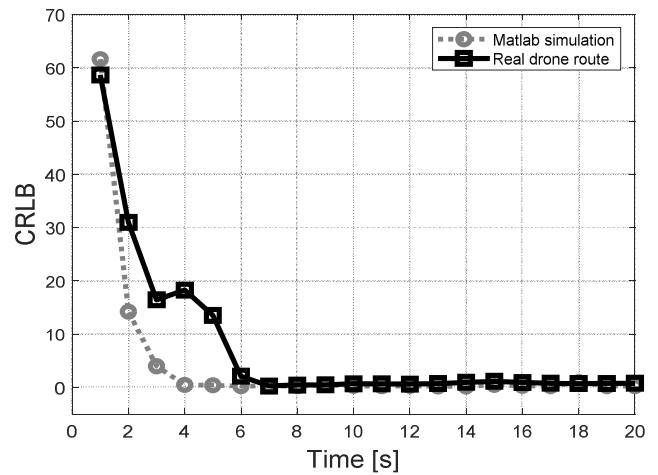


그림 4. 실험 데이터와 MATLAB 시뮬레이션의 CRLB 결과 비교

가능한 환경을 구축하였다. GPS 정보를 이용하여 타겟을 지속적으로 추적하기 위한 최적화된 드론의 위치를 계산하고 구성 테스트베드에서 실험을 진행한 결과, 시간에 따라 CRLB가 감소하는 것을 확인하고 MATLAB 시뮬레이션과 결과를 비교하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2020년도 상업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술연구원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20194010201860)

참 고 문 헌

- [1] 김효원, 강규식, 서현덕, 정민수, 최정애, 강정완, 김선우, "5G 및 무인이동체 기술 동향 및 미래 전망," *한국통신학회지 (정보와통신)* 34권, 7호, 34-60, 2017.
- [2] T. Kim, I. Wee and D. H. Shim,, "Occlusion robust object detection and tracking on a real-time drone", in *Proc. Int. Conf. Control, Automation, Syst. (ICCAS)*, pp. 1627-1631, Oct. 2019.
- [3] S. M. M. Dehghan, M. S. Tavakkoli and H. Moradi, "Path planning for localization of an RF source by multiple UAVs on the Crammer-Rao Lower Bound," *Int. Conf. Robot. Mechatronics (ICRoM)*, pp. 68-73, May 2013.