

MATLAB 을 이용한 무인항공기에 대한 탐색, 탐지와 추적 안테나 시스템 모델링과 시뮬레이션

조영식
원광대학교

ycho@wku.ac.kr

Modeling and simulation of scanning, detection, and tracking antenna system for an unmanned aerial vehicle (UAV) using MATLAB

Young Seek Cho
Wonkwang University

요 약

본 논문은 무인항공기의 탐색, 탐지와 추적에 필요한 알고리즘을 MATLAB 의 다양한 “System ObjectTM”을 활용하여 구현하고 추적 안테나 시스템의 모델링 방법을 제시한다. 무인항공기와 지상 기지국 사이의 광대역 통신 채널 구축에 필수적인 기술 요소인 추적 안테나 시스템의 모델링과 추적 안테나 성능에 대한 시뮬레이션 결과를 보인다.

I. 서론

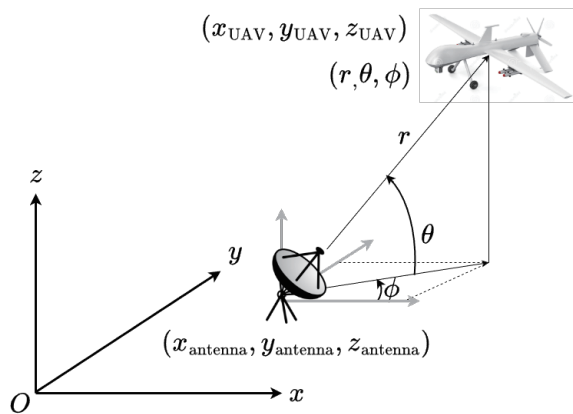


그림 1 추적 안테나 시스템의 3차원 공간 좌표계

미국 국방부에서 1991 년부터 운용 중인 공용데이터링크 (Common Data Link: CDL)는 현대전을 수행하는데 있어, 전투 수행 능력 향상을 위한 핵심 요소로 인식되고 있다. 이에 따라, 한국형 CDL 기술 개발이 시급한 실정이다. [1] 무인항공기를 이용한 감시, 정찰, 정보 수집 기술은 CDL 에 반드시 포함되어야 할 핵심 분야이며, 이와 관련된 다양한 기술 개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 지상 기지국과 무인항공기 사이의 광대역 데이터 링크 채널 확보를 위해 필수적인 요소인 무인항공기에 대한 탐색, 탐지와 추적을 위한 추적 안테나 시스템 기술에 관한 모델링과 시뮬레이션을 수행하고, 추적 안테나의 무인항공기에 대한 방위각과 고도각 추적 오차 성능을 보인다. MATLAB 의 “Radar Toolbox”에서 제공되는 다양한 “System ObjectTM”을 활용하여, 무인항공기의 탐색, 탐지와 추적 알고리즘을 구현하고 시뮬레이션을 수행하여 추적 안테나의 성능을 분석한다.

II. 본론

그림 1 은 무인항공기에 대한 추적 안테나 시스템 모델링을 위한 3 차원 공간 좌표계이다. 이 3 차원 공간 좌표의 원점은 지구의 중심이고, 추적 안테나와 무인항공기는 이 3 차원 공간의 한 점에 위치하도록 정의한다. 이 좌표계는 Earth-centered, Earth-fixed (ECEF) coordinate system 으로 잘 알려져 있다. 지구상에서 위도, 경도, 고도로 정의되는 추적 안테나와 무인항공기의 좌표는 ECEF 좌표계에서 지구의 중심을 원점으로 환산된다.

추적 안테나 모델링을 위하여 무인항공기의 비행 궤적을 모델링해야 한다. 추적 안테나는 전북 익산 소재 미륵산 정상 (36.0321°, 126.9895°, 400 m)에 위치하며, 군산 상공 (35.9677°, 126.7366°, 6000 m)에서 전주 상공 (35.8280°, 127.1160°, 13000 m)으로 30 분 비행하는 비행 궤적을 그림 2 와 같이 모델링하였다. 무인항공기의 궤적을 모델링 하기 위하여 “waypointTrajectory()”라는 “System ObjectTM” [2]를 사용하였다.

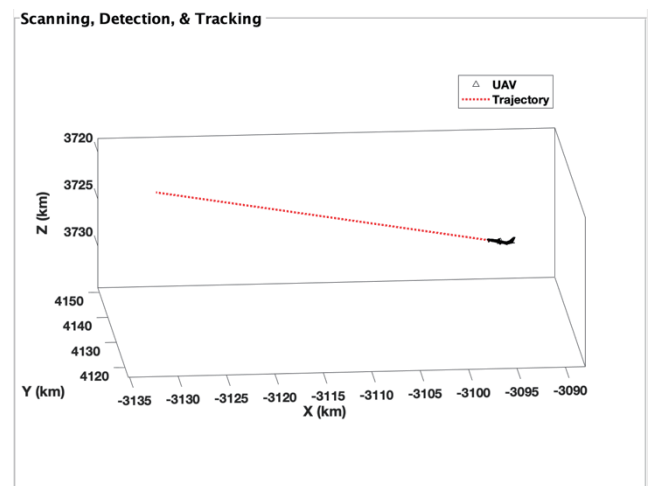


그림 2 무인항공기의 비행 궤적 (ground truth) 모델

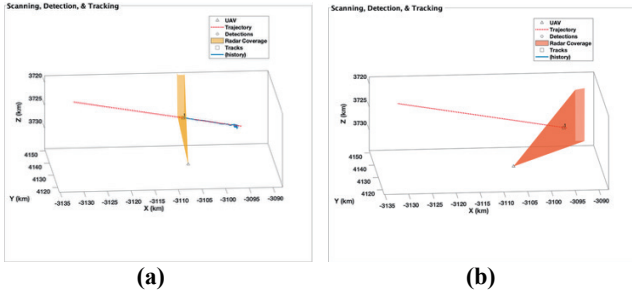


그림 3 무인항공기에 대한 추적 안테나의 (a)탐지와 (b) 추적 커버리지 모델

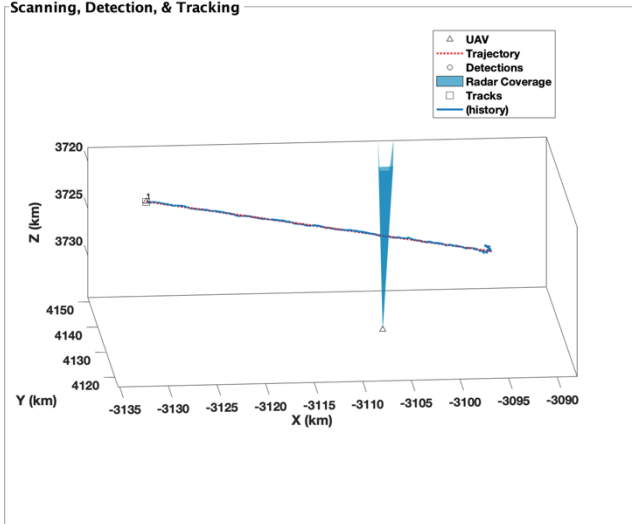


그림 4 추적 안테나의 무인항공기 추적 시뮬레이션 결과

그림 2 에 보인 바와 같이 설정된 비행 궤적 (ground truth)과 추적 안테나의 상대적 위치로부터 안테나의 방위각과 고도각을 계산하여 추적 안테나의 탐색 각도를 설정하고, 연속적으로 비행 궤적에 안테나 빔을 조사하여 탐색을 수행한다. 그림 3 에 추적 안테나의 탐지와 추적 커버리지 모델을 보였다. 추적 안테나에서 조사되는 빔 커버리지 색깔을 청색, 황색, 주황색으로 구분하여 표시한다. 탐색 모드에서는 청색 표시되는 안테나 빔의 색깔이 무인항공기가 탐지 되는 순간 그림 3 (a) 에 보인 바와 같이 황색으로 바뀐다. 탐지된 물체가 무인항공기로 확증되면, 그림 3 (b) 에 보인 바와 같이 주황색으로 바뀌면서 추적이 개시된다.

추적 안테나의 레이더 시뮬레이션을 위하여 “radarDataGenerator()”를 사용하였고, “detect()”를 사용하여 무인항공기의 위치를 탐지한다. 무인항공기가 탐지된 경우, Global Nearest Neighbor (GNN) 알고리즘 기반의 “trackerGNN()”에 탐지 데이터를 입력하여, 추적을 개시한다. “trackerGNN()”은 등속과 등선회를 extended Kalman filter 를 사용한다.

그림 4 에 추적 안테나의 무인항공기 추적 시뮬레이션 결과를 보였다. 그림 4 에서 확인할 수 있는 바와 같이, 그림 2 에서 보인 ground truth (적색 점선)와 추적 결과 (청색 실선 “(history)”)가 거의 일치하는 결과를 확인할 수 있다.

그림 4 에 보인 추적 결과로부터, 추적 안테나와 무인항공기 사이의 방위각과 고도각의 추적 오차를 추출하여 그림 5 와 6 에 각각 보였다. 방위각과 고도각 추적 정확도 오차가 대체로 $\pm 0.2^\circ$ 범위에 있는 것을 확인할 수 있다.

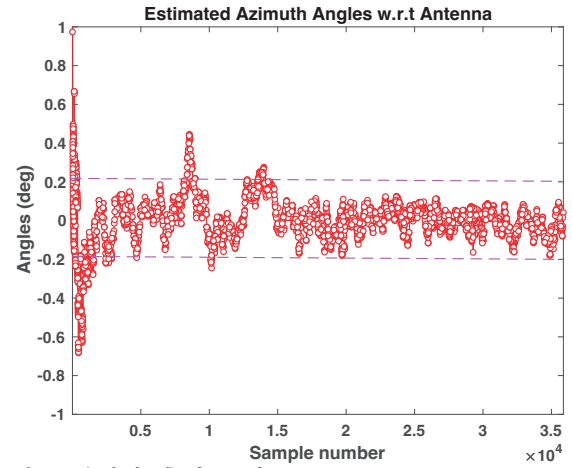


그림 5 방위각 추적 오차

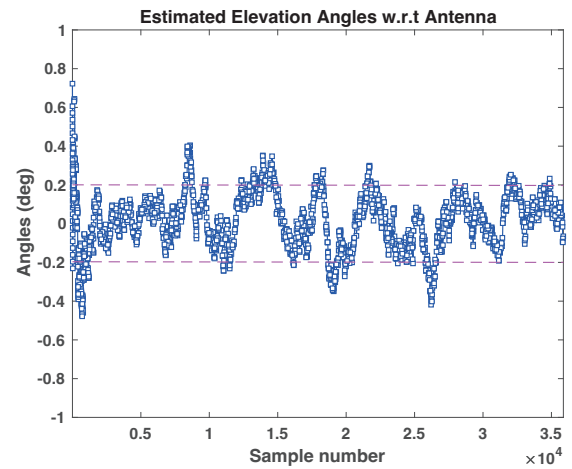


그림 6 고도각 추적 오차

III. 결론

본 논문에서는 공용 데이터 링크에서 사용될 수 있는 무인항공기와 지상 기지국 사이의 광대역 데이터 통신 채널을 확보하기 위한 무인항공기 추적 안테나 시스템의 성능에 대한 시뮬레이션 결과를 보였다. 추적 안테나의 방위각과 고도각의 추적 정확도 오차 범위를 $\pm 0.2^\circ$ 이내로 확보할 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 2025 년 대한민국 정부(산업통상자원부 및 방위사업청) 재원으로 민군협력진흥원에서 수행하는 “민·군 주파수 고효율 이용을 위한 공용데이터링크 기술” 과제의 연구비 지원으로 수행되었습니다. (과제번호: 22-CM-TN-31)

참 고 문 헌

- [1] 강위필 외 5인 “차세대 한국형 공용데이터링크 개발을 위한 국·내외 공용데이터링크 기술 동향 분석,” The Journal of Korea Information and Communication Society, Vol. 39C, No. 03, pp. 209-222.
- [2] The MathWorks, Inc. “Radar Toolbox, User’s Guide, Version 1.4 (R2023a),” 2023.