

ISAR 영상 기반 소형 드론 탐지 구현

Implementation of Radar Drone Detection Based on ISAR Technique

이기웅 · 송경민 · 송정환* · 정철호* · 이우경 · 이명진 · 송용규**

Kee-Woong Lee · Kyoung-Min Song · Jung-Hwan Song* · Chul-Ho Jung* ·
Woo-kyung Lee · Myeong-Jin Lee · Yong-Kyu Song**

요 약

최근 드론은 다양한 분야에서 활용되고 있지만, 테러, 범죄, 보안 등에 악용될 우려가 높아지고 있다. 해외에서는 안티 드론 기술들에 대한 연구결과들이 수차례 발표되었으며, 국내에서도 레이더를 활용한 드론 탐지 기술에 관심이 증가하고 있다. 하지만 상용 드론은 작은 크기와 낮은 반사도로 인해 탐지가 어렵다고 알려져 있어 이를 극복하기 위한 기술개발이 필요되고 있다. 본 논문은 실제로 진행된 ISAR 기반의 드론 탐지 실험결과를 제시한다. 지상에 설치된 레이더를 통해 원거리에서 비행하는 드론의 ISAR 원시데이터를 획득하였으며, 영상형성 기법을 적용하여 탐지 성능이 향상됨을 보인다.

Abstract

Along with the popular use of commercial drones, there are increased concerns on the possible threats from drones intruding into secured areas. The difficulty of drone detection is attributed to its stealthy operation flying at low altitude with low level signature. Consequently, the anti-drone technique has been of major research topic in recent years and among others, the radar detection is considered as the most promising technique. However, the use of conventional radar detection may not be effective due to the low level radar cross sections of the commercial drones. In this paper, ISAR technique has been employed to implement drone detection in urban area. To this purpose, a pulsed radar system is set up on the ground to track flying drones and the corresponding ISAR images are produced by coherent processing.

Key words: Drone Detection, ISAR, Anti-Drone

I. 서 론

군사용으로 활용되던 드론이 방송촬영, 취미, 농업 등 민간분야에서 다양하게 활용됨에 따라 드론 산업이 급속도로 발전하고 있다. 하지만 테러, 사생활 침해와 같은 각

종 범죄에 드론이 악용될 우려가 높아지면서 이에 대응하는 안티 드론 기술에 대한 중요성도 강조되고 있다.

드론은 열 발산이 적고, 소음이 낮으며, 반사도가 낮은 재료로 제작되기 때문에 기존의 일반적인 센서 운용만으로는 드론의 탐지, 식별이 어렵다고 알려져 있다^[1]. 이에

「이 연구는 2016년도 국가보안기술연구소 연구비의 지원으로 연구되었음.」

한국항공대학교 항공전자공학과(Department of Electronic and Information Engineering, Korea Aerospace University)

*(주) 하이퍼센싱 기술연구소(CAL Lab, HyperSensing, Inc, Korea)

**한국항공대학교 항공우주 및 기계공학부(Department of Aerospace and Mechanical Engineering, Korea Aerospace University)

· Manuscript received November 16, 2016 ; Revised January 4, 2017 ; Accepted January 17, 2017. (ID No. 20161116-120)

· Corresponding Author: Woo-kyung Lee (e-mail: wklee@kau.ac.kr)

따라 열, 음향, 레이더, 레이저 등과 같은 다양한 센서들의 네트워크를 기반으로 드론탐지 연구가 수행되고 있으며, 그 중에서도 레이더는 마이크로파를 기반으로 하는 능동 센서로서 드론 탐지 및 식별을 위한 필수적인 시스템으로 고려되고 있다.

드론을 식별하기 기술은 주로 FMCW(Frequency Modulated Continuous Wave)를 기반으로 연구되고 있다. 드론의 로터에서 발생하는 마이크로 도플러 패턴을 탐지하여 주변 비행체와 식별하는 연구가 수행되고 있으며^[2], UWB(Ultra Wide-Band) 레이더를 활용하여 초고해상도 드론 ISAR(Inverse Synthetic Aperture Radar) 영상을 획득한 사례가 발표된 바 있다^[3]. 하지만 FMCW 및 UWB 레이더 시스템은 최대 탐지거리의 한계로 원거리에 존재하는 드론 탐지에 취약하다. 특히 드론의 경우, RCS(Radar Cross Section)가 약 -20 dB 이하로 매우 낮고, 불규칙적이기 때문에^[4] 고출력 펄스 레이더의 운용과 탐지 성능 개선을 위한 기술을 고려해야 한다.

본 논문은 펄스 레이더 시스템을 기반으로 원거리에서 비행하는 드론에 대한 ISAR 실험 결과를 제시한다. ISAR는 주로 표적 인식을 위한 고해상도 레이더 영상 획득을 목적으로 활용된다. 본 논문에서는 실제 획득된 드론 ISAR 영상을 기반으로 레이더 기반의 원거리 드론 탐지 성능과 실질적인 활용 가능성에 대해 분석한다.

ISAR 영상은 비행체의 불규칙한 경로에 대한 보상이 필요적으로 요구된다. 특히 고품질의 ISAR 영상을 획득하기 위해서는 회전요동(Rotational Motion)과 병진요동(Translational Motion)에 대한 정밀한 보상이 필요하다^[5]. 본 논문에서는 실험 시나리오에 따라 일정한 경로로 비행중인 드론에서 발생될 수 있는 미세 요동을 고려하였으며, 요동보상을 통한 드론 ISAR 영상의 품질 개선을 제시한다.

II. 드론 ISAR 영상 구현

2-1 드론 ISAR 기하구조

ISAR는 움직이는 물체로부터 일정 시간동안 획득된 레이더 신호를 합성하여 고해상도의 영상을 형성하는 기법이다. 고품질의 ISAR 영상을 확보하기 위해서는 불규

칙한 비행경로의 보상과정이 필요한데, 드론과 같은 소형 비행체는 기상조건 혹은 불완전한 제어에 의해 추가적인 요동이 발생될 수 있기 때문에 더욱 정밀한 보상이 요구된다.

ISAR 요동보상은 주로 병진요동과 회전요동으로 나뉘어 적용된다. 병진요동은 비행체의 불규칙한 비행경로에 의한 왜곡이며, 회전요동은 회전운동에 의한 위상왜곡 현상을 의미한다. 본 연구에서는 직선 운동하는 원거리 드론의 비행 시나리오와 짧은 노출시간을 고려하여 드론의 병진운동만을 분석 및 보상하였다. 그림 1은 본 연구에서 진행한 드론 ISAR 실험의 기하구조를 나타낸다.

드론은 안테나로부터 노출되는 시간동안 등속으로 비행함을 가정하였으며, 드론의 요동인 $\Delta R(t)$ 을 고려할 경우, 드론과 레이더와의 거리 $R_r(t)$ 는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_r(t) = \Delta R(t) + R_n(t) = \Delta R(t) + \sqrt{R_0^2 + (V_r t)^2} \quad (1)$$

t 는 방위 방향의 시간을 의미하며, V_r 은 드론의 이상적인 속도를 나타낸다. $R_n(t)$ 은 직선 경로를 기준으로 한 드론과 레이더의 거리를 의미하고, R_0 은 최단거리를 나타낸다. $\Delta R(t)$ 가 RCM(Range Cell Migration) 오류를 발생하지 않을 정도로 충분히 작다고 가정하였을 때, $R_r(t)$ 는 스캔각 θ_{sq} 을 고려하여 Beam center time t_c 에 대해 식 (2)와 같이 전개할 수 있다. 이에 따라 드론의 추가 요동인 $\Delta R(t)$ 도 식 (3)과 같이 다항식으로 모델링될 수 있으며,

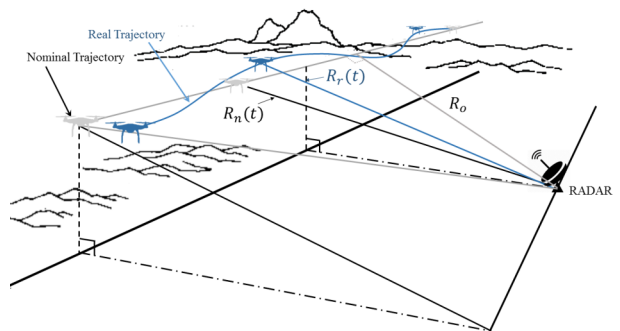


그림 1. 드론 탐지 ISAR 실험 기하구조
Fig. 1. Geometry of ISAR ground test for drone detection.

이에 따른 위상왜곡인 식 (4)는 ISAR 영상의 품질의 저하를 유발시킬 수 있다.

$$R_r(t) = R(t_c) + \left\{ \frac{d\Delta R(t_c)}{dt} - V_r \sin\theta_{sq} \right\} (t - t_c) + \left\{ \frac{d^2\Delta R(t_c)}{dt^2} + \frac{V_r^2 \cos^2\theta_{sq}}{2R(t_c)} \right\} (t - t_c)^2 + \dots \quad (2)$$

$$\Delta R(t) = \sum_{n=3}^{N+1} a_n t^n \quad (3)$$

$$\Delta\phi = \exp \left[+ \frac{4\pi \cdot \Delta R(t)}{\lambda} \right] \quad (4)$$

2-2 드론 ISAR 실험 시나리오

본 연구에서는 고출력 펄스 레이더 시스템을 기반으로 ISAR 기반 드론 탐지 실험을 진행하였다. 실험에 활용된 레이더 시스템은 X 밴드 500 MHz 대역폭의 초 신호가 송신되며, 출력은 40 dBm, PRF(Pulse Repetition Frequency)와 펄스폭은 각각 1 kHz와 20 ms로 설정하였다. 그림 2는 실험이 수행된 한국항공대학교 건물 전경과 표적으로 운용된 드론을 나타낸다. 실험에 사용한 기체는 Huins社의 MC-5 드론으로, 순항 속도는 약 6 m/sec이다.

그림 3은 건물 옥상에 설치된 레이더가 드론을 관측하는 모습을 나타낸다. 안테나는 30° 빔 폭의 혼 안테나를 활용하였으며, 드론 비행 구간에서 약 10초 동안 신호를 수신하였다.

2-3 드론 ISAR 영상 형성

본 연구에서는 레이더 영상 압축 알고리즘인 RDA



그림 2. 드론 ISAR 실험 시나리오
Fig. 2. Drone ISAR experiment scenario.



그림 3. 드론 ISAR 현장 실험
Fig. 3. Drone ISAR field test.

(Range Doppler Algorithm)를 기반으로 드론 ISAR 영상을 획득하였다. RDA 알고리즘은 거리 압축, RCMC(Range Cell Migration Correction), 방위 압축으로 수행된다. 본 연구에서는 동일한 시나리오에서 다수의 실험 데이터를 확보하였으며, 그림 4는 획득된 전체 데이터 중 일부를 나타낸다. 드론 표적은 약 290 m에서 탐지되었으며, 획득된 데이터마다 드론의 비행경로가 다르게 나타남을 확인할 수 있다.

RCMC와 방위압축은 거리압축 영상에서 추정 가능한 도플러 변수들을 기반으로 진행하였다. 그림 4에서 탐지 가능한 비행경로와 속도를 기반으로 도플러 변조율과 도플러 중심주파수를 추정하여 적용하였다.

요동보상은 PGA(Phase Gradient Autofocus)를 기반으로 수행되었다. 거리 오차에 따른 RCM(Range Cell Migration) 현상은 발생되지 않았음을 가정하였고, 잔여 위상오차 보상에 활용되는 PGA를 적용하여 드론의 미세 요동

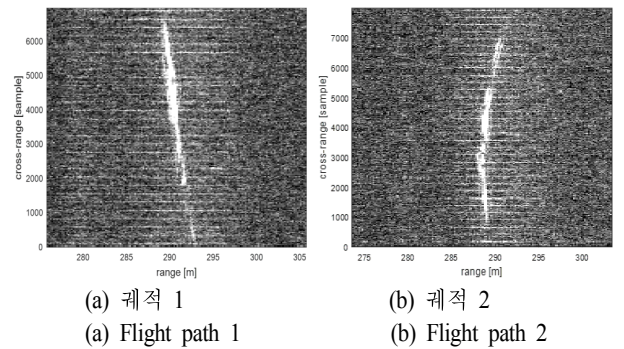


그림 4. 드론 ISAR 거리압축 결과 영상
Fig. 4. Drone ISAR range compressed data.

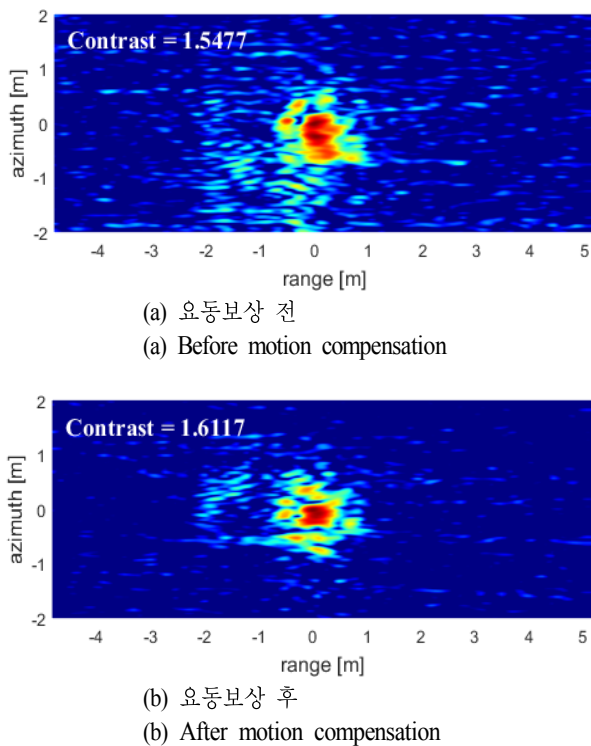


그림 5. 드론 ISAR 영상
Fig. 5. Drone ISAR processing results.

에 의한 왜곡을 개선하였다. 그림 5는 그림 4(b)의 방위 압축 결과이며, 요동 보상 적용 전과 후의 드론 ISAR 영상을 나타낸다. 산출된 ISAR 영상은 0.3 m의 거리 해상도와 0.1 m의 방위 해상도를 갖는다. 요동 보상의 적용에 따라 획득된 ISAR 영상의 Contrast가 향상되고, 표적 식별이 우수해짐을 확인할 수 있다. 특히 로터의 세부 분포를 확보하여 성공적인 드론 탐지 성능을 보이고 있다.

일반적으로 원거리에 존재하는 30 cm급 이하 초소형 드론은 점표적 형태로 탐지되기 때문에 ISAR 영상을 통한 식별이 어렵다. 하지만 ISAR 영상 형성과정에서 발생하는 압축이득은 RCS가 낮은 표적의 탐지성능을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 드론 ISAR 영상 형성을 통해 거리압축 신호 대비 약 10 dB의 SNR(Signal to Noise Ratio) 개선을 확인하였으며, 실제 환경에서는 이러한 특성

을 기반으로 1 km 이상에 존재하는 드론의 탐지도 가능할 것으로 기대된다.

III. 결 론

본 연구에서는 드론 ISAR 영상을 실제 구현하여 레이더 기반의 드론 탐지 성능을 제시하였다. 펄스 레이더를 기반으로 원거리에 존재하는 드론을 탐지하였고, ISAR 영상 확보를 통해 드론의 형상 인식이 가능함을 보였다. 향후 고출력의 초고해상도 레이더 시스템이 구현된다면 레이더를 기반으로 한 장거리 위협 드론의 탐지 및 식별이 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국항공대학교의 지원과 (주)하이퍼센싱의 기술지원을 통해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- [1] Edwin Vattapparamban, "Drones for smart cities : Issues in cybersecurity, privacy, and public safety", *International Wireless Communications and Mobile Computing Conference(IWCMC)*, 2016.
- [2] Matthew Ritche, Fancesco Fioranelli, et al, "Monostatic and bistatic radar measurements of birds and micro-drone", *IEEE Radar Conference*, 2016.
- [3] Chenchen J. Li, Hao Ling, "An investigation on the radar signatures of small consumer drones", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. PP, 2016.
- [4] Arne Schroder, Matthais Renker, et al., "Numerical and experimental radar cross section analysis of the quadcopter DJI phantom 2", *IEEE Radar Conference 2016*.
- [5] J. M. Munoz-Ferreras, "Uniform rotational motion compensation for ISAR with non-cooperative targets", *IET Radar, Sonar & Navigation*, vol. 2, no. 1, 2008.