

기체 위치 오차에 따른 드론 기반 분산형 빔합성 성능 평가

김경민, 박철순, 나선필, 조성진, 장재원, 김선교

국방과학연구소

dr.gyungminkim@gmail.com

Evaluation of drone-based distributed beamforming performance according to aircraft position error

Gyungmin Kim, Cheol-Sun Park, Sun-Phil Nah, SungJin Jo, Jaewon Chang, Seon-Kyo Kim

Agency for Defense Development

요약

최근 드론은 민간용뿐만 아니라 군용으로도 주목을 받고 있다. 정지 비행이 가능한 드론은 공중에서 분산형 빔합성 기술에 활용될 수 있으며, 탐지 거리를 늘리고 저피탐 신호를 탐지하는 능력을 향상시켜 정보 수집 및 감시 시스템을 강화할 수 있다. 그러나 실외에 배치된 드론은 바람과 GPS 오차 등 다양한 요인으로 인해 정지 비행 중에도 지속적으로 위치 오차가 발생하게 되며 이로 인해 성능 저하가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 드론의 위치 오차로 인한 안테나 배열 변화에 따른 분산형 빔합성 성능을 평가하였다.

I. 서론

최근 드론을 활용하는 연구 및 개발에 대한 관심이 높아지며 통신 분야에서 드론 중계기, 드론 기지국과 같이 다양한 형태로 드론을 활용하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 특히, 우크라이나 전쟁으로 군사 작전에서 활용 가치가 입증되며 군사적 드론 활용에 대한 연구들이 주목받고 있다 [1]. 분산형 빔합성은 복수의 기체에 분산되어 배치된 안테나들로 이루어진 균일 또는 비균일 안테나 배열을 이용하여 빔합성을 수행하는 기술로 복수의 기체가 협력하여 송수신 거리를 늘리거나 신호 대 잡음비를 향상시키는 것이 가능하다 [2]. 드론 기반 분산형 빔합성은 각 드론들에 장착된 안테나를 이용하여 분산형 빔합성을 수행하는 방식으로, 공중에서 운용되어 장애물이 없는 넓은 가시거리 확보가 가능한 드론의 장점을 이용하여 감시 거리를 늘리거나 향상된 신호 대 잡음비를 통해 저피탐 신호 탐지에 활용될 수 있다 [3]. 분산형 빔합성의 경우 합성빔을 생성하고자 하는 방향에 맞추어 각 안테나마다 가중치와 페이즈가 주어지는데, 이때 이 값들은 안테나 배열의 형태를 고려한 것이기에 각 안테나는 고정된 위치를 보장하여야 한다. 하지만 드론의 경우 실외에서 여러가지 요인으로 위치가 변동될 수 있고 이로 인해 빔합성 성능이 저하될 수 있다. 본 논문에서는 이러한 드론의 위치 오차가 분산형 빔합성 성능에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 확인하고 평가하였다.

II. 본론

분산형 빔합성을 통해 원하는 합성빔 성능을 얻기 위해서는 각 안테나가 설정된 안테나 배열에 따라 고정된 상태로 배치되는 것이 요구되지만 야외의 작전 지역 상공에서 운용되는 드론 기반 분산형 빔합성의 경우 기본적으로 상공에서 부는 바람에 의한 영향뿐만 아니라 센서 또는 GPS 오차 등으로 인해 안테나가 장착된 기체의 위치 오차를 동반하게 된다. 본 논문에서는 기체들의 위치가 계획된 안테나 배열 배치에서 벗어나는 경우의 분산형 빔합성 성능 변화를 시뮬레이션을 통해 평가하였다.

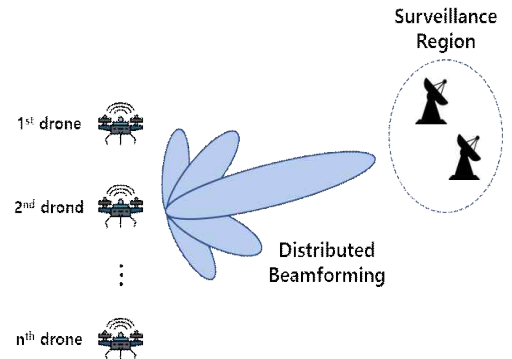


그림 1 드론 기반 분산형 빔합성

본 논문에서는 분산형 빔합성 성능 평가를 위하여 부엽 레벨(sidelobe level)을 계산하였다[4]. 일반적으로 부엽 레벨은 빔합성 패턴에서 부엽이 얼마나 큰지에 대한 정보를 나타내며 최대 주엽과의 차이로 표현된다. 최대 부엽 레벨(Maximum sidelobe level)은 부엽 중 가장 큰 부엽과 주엽의 차이를 나타내며 그 차이가 클수록 빔합성 성능이 높다고 할 수 있다. 최대 부엽 레벨은 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$SLL_{\max} = 20 \log_{10} \frac{|AF(\phi)|}{|AF(\phi_0)|}$$

ϕ 은 최대 부엽의 방향, ϕ_0 은 최대 주엽의 방향, AF 는 array factor를 나타낸다.

III. 시뮬레이션 기반 성능 평가

기체 위치 오차에 따른 드론 기반 분산형 빔합성 성능 평가를 위하여 각 1개의 short dipole 안테나를 장착한 드론들이 y축을 따라 반파장 간격으로 거리를 두고 Uniform Linear Array (ULA) 형태로 배치된 시뮬레이션 환경을 MATLAB을 기반으로 구축하였다. 각 드론은 계획된 안테나 배열

을 위한 위치에서 일정 오차율 범위 내에서 균일 랜덤 분포에 따라 랜덤한 값으로 벗어나게 된다. 오차율은 안테나 간격인 반파장 길이를 기준으로 하는 비율이며 delay-and-sum beamformer 방식으로 빔합성을 위한 가중 벡터를 설정하였다. 총 드론의 수는 8개이며 200MHz의 주파수 대역에서 0° 방향으로 빔합성을 수행하며 각 위치 오차 범위에 따라 10⁴번씩 측정하였다.

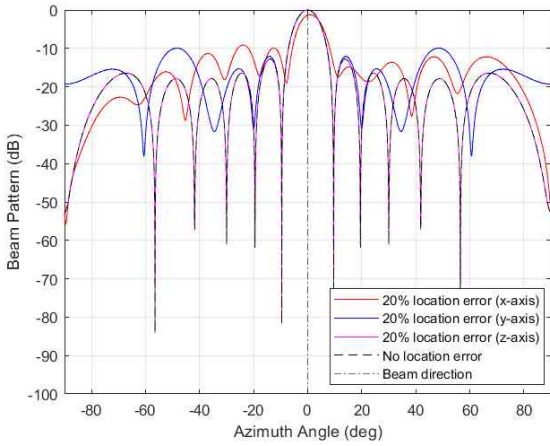


그림 2 기체 위치 오차에 따른 빔합성 패턴

그림2는 x축, y축, 그리고 z축 상에서 기체 위치 오차가 발생하였을 때 elevation angle이 0°인 경우의 빔합성 패턴을 한 가지씩 나타낸다. 그림2에서 빨간색 선은 반파장 기준 20% 내 x축 상에서 위치 오차가 발생한 경우이고, 파란색 선은 반파장 기준 20% 내 y축 상에서 위치 오차가 발생한 경우이며, 보라색 선은 반파장 기준 20% 내 z축 상에서 위치 오차가 발생한 경우이다. 그림2에서 보라색 선이 위치 오차가 없는 경우의 빔패턴을 나타내는 검은색 점선과 겹쳐져 잘 보이지 않는 것을 볼 수 있다. 이것은 z축 상에서의 반파장 길이 대비 20% 내 위치 오차는 azimuth 빔패턴에 거의 영향을 미치지 않는다는 것을 의미한다. 중앙의 점선은 목표 빔합성 방향인 0° 방향을 나타낸다. 보라색 선과 달리 빨간색 선과 파란색 선 모두 전체적으로 부엽들과 주엽의 차이가 줄어든 것을 확인할 수 있고, x축 상에서의 위치 오차를 나타내는 빨간색 선의 경우 기체 위치 오차로 인해 주엽의 방향도 틀어진 것을 확인할 수 있다.

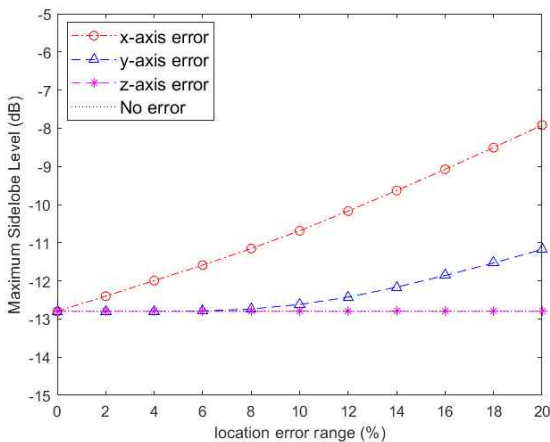


그림 3 기체 위치 오차 범위에 따른 최대 부엽 레벨 변화

그림 3은 기체 위치 오차 범위에 따른 최대 부엽 레벨 변화를 나타내며 오차 범위가 커짐에 따라 최대 부엽 레벨의 크기가 점차 줄어드는 것을

확인할 수 있다. 특히 안테나 배열이 y축에 따라 이루어진 상태에서 x축 상으로 드론 기체들의 위치 오차가 발생하였을 때 최대 부엽 레벨 저하가 더 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있다. 이것은 각 안테나에 부여되는 가중치와 함께 위상 차를 이용하여 이루어지는 빔합성 과정에서 일부 기체는 안테나 배열 기준 선보다 앞쪽으로, 일부는 뒤쪽으로 위치를 이탈하게 되는 것이 단순히 기준 선 내에서 각 기체가 오른쪽과 왼쪽으로 치우치는 것보다 더 크게 영향을 미친다는 것을 의미한다. 그 원인은 y축을 따라 ULA 형태로 안테나들이 배치되어 있을 때 x축 상에서 위치 오차가 발생하는 것이 y축 상에서 위치 오차가 발생하는 것보다 위상 오차를 더 일으키기 때문이다. 이와 달리 z축 상에서의 위치 오차의 경우 200MHz 대역에서 반파장(0.75m) 기준 20%까지 위치 오차가 증가하여도 빔합성 성능에 거의 영향을 주지 않으면서 오차가 없는 검은색 점선과 겹쳐져 나타나며 검은색 선을 덮은 모습을 확인할 수 있다.

이번 연구를 통해 드론 기반 분산형 빔합성 성능에 기체 위치 오차가 미치는 영향을 확인하였고, 특히 ULA 배치에서 azimuth 빔패턴의 경우 z축 상으로의 위치 오차에 상당히 강인하다는 것을 확인하였다. 여기서 드론 기반 분산형 빔합성의 특징으로 함께 고려해야 할 점은 드론의 위치 오차는 안테나 배열이 틀어지며 빔패턴 성능에 영향을 미칠 뿐만 아니라 드론간 충돌도 야기할 수 있다는 것이다. 200MHz 대역의 경우 반파장 길이가 0.75m로 반파장 간격 ULA로 배치할 경우 드론의 크기에 따라 얼마든지 충돌할 위험이 따른다. 따라서 주파수 대역이 높아질수록 드론 간 배치 간격 설정에도 위치 오차를 고려해야 하는데, 이번 연구를 통해 azimuth 빔패턴의 경우 z축 상에서의 위치 오차에 강인하다는 것을 확인한 점을 활용하여 ULA 배치에서 드론을 상하로 교차하는 등의 형태로 접근함으로써 드론 기반 분산형 빔합성의 성능 저하를 유발하지 않는 선에서 충돌 위험을 낮출 수 있을 것으로 기대한다.

IV. 결론

본 논문에서는 기체 위치 오차가 드론 기반 분산형 빔합성 성능에 미치는 영향에 대해 논의하였다. 또한 드론 기체의 위치 오차에 따른 성능 평가를 위하여 시뮬레이션을 통해 분산형 빔합성 환경을 구축하고 최대 부엽 레벨을 측정 및 평가하였다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 정부(방위사업청)의 재원으로 미래도전국방기술과제(No. 915087201)를 통해 연구가 수행되었다.

참고 문헌

- [1] 이영욱, "4차 산업시대 드론의 군사 분야 적용에 관한 연구," 융합보안 논문지, no. 22, vol. 4, pp. 75-84, 2022.
- [2] Jeffrey A. Nanzer, et al., "Distributed phased arrays: Challenges and recent advances," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 69, no. 11, pp. 4893-4907, 2021.
- [3] 김경민 외, "기체 흔들림에 따른 멀티콥터 기반 분산형 빔합성 성능 평가," 한국군사과학기술학회 추계학술대회, pp. 684-685, 2023.
- [4] D. kurup, et al., "Synthesis of uniform amplitude unequally spaced antenna arrays using the differential evolution algorithm," IEEE Transactions on antennas and propagation, vol. 51, no. 9, pp. 2210-2217, 2003.