

혼재된 신호 환경에서 서브밴드 분할 기법을 통한 드론 신호 분류 개선 연구

오기석, 노영채, 박세훈, 이예철, 김정창

국립한국해양대학교

giseok@g.kmou.ac.kr, dudco3050@g.kmou.ac.kr, tpgns123456@g.kmou.ac.kr,
ddc5858@g.kmou.ac.kr, jchkim@kmou.ac.kr

A Study on Improving Drone Signal Classification Using Sub-Band Division in Mixed Signal Environments

Giseok Oh, Yeongchae Noh, Sehun Park, Yecheol Lee, Jeongchang Kim
National Korea Maritime and Ocean University (KMOU)

요약

본 논문은 신호 지속시간 기반 K-최근접 이웃(K-Nearest Neighbor, KNN) 드론 신호 분류 방식을 적용함에 있어서 신호가 혼재된 환경에서도 분류 성능을 향상시키기 위하여 신호의 전처리 및 서브밴드 분할 기법을 제안한다. 제안된 전처리 과정은 에너지 임계값 조정과 신호 지속시간 기반 보정을 포함하여, 이를 통해 신호의 왜곡을 줄이고 구간 추출의 신뢰도를 높인다. 또한 광대역 수신기의 전체 주파수 대역을 세 개의 서브밴드로 분할하고, 각 서브밴드에서 에너지 기반 특징을 독립적으로 추출한 후 통합함으로써 광대역에서 혼재된 신호들의 간섭으로부터 발생할 수 있는 영향을 줄일 수 있다. 본 연구에서는 해당 기법들을 실외 환경뿐만 아니라 복수의 송신원이 공존하는 실내 환경에서도 적용하여 성능을 확인한다.

I. 서 론

최근 드론의 활용이 산업, 군사, 농업, 물류 등 다양한 분야로 급속히 확산되면서, 불법 비행이나 사생활 침해 등과 같은 사회적 문제가 제기되고 있다[1]. 이러한 문제에 효과적으로 대응하기 위해서 드론의 종류나 제조사에 따른 통신 방식의 차이를 식별하고 분류하는 기술이 중요해지고 있다. 그러나 드론 통신은 일반적으로 Wi-Fi, 블루투스 등과 동일한 주파수 대역을 사용하기 때문에 다양한 무선 시스템과의 간섭이 발생할 가능성이 높다. 이러한 환경에서는 통신 신호의 에너지 분포나 시간적 특성이 왜곡되어 신호 식별과 분류 정확도가 저하되거나 탐지 실패가 발생할 수 있다. 따라서 간섭 조건에서도 안정적으로 작동할 수 있는 드론 신호 분류 시스템의 개발이 필요하다.

기존의 KNN 기반 드론 신호 분류 기법은 시간 영역의 신호 지속시간, 간격, 평균, 중앙값 등 통계적 특징을 활용한다[2]. 그러나 SNR(Signal-to-Noise Ratio)이 낮아질수록 사용된 특징들이 왜곡되기 쉬워 전체 시스템 성능이 저하되는 한계가 있다. 본 연구는 기존 KNN 기반 드론 신호 분류 방식을 유지하면서도 간섭에 강건한 성능을 확보하기 위해 다음과 같은 두 가지의 추가적인 전처리 기법과 서브밴드 분할 기법을 제안한다. 전처리 기법으로는 신호와 무신호를 효과적으로 구분하기 위해 에너지 임계값을 조정하고, 신호 지속시간에 기반한 보정을 적용하여 신호 추출의 정확도를 향상시킨다. 또한 광대역 수신기의 전체 대역을 3 개의 서브밴드로 분할한 후, 각 서브밴드에서 독립적으로 신호 마스크를 생성하고, 이를 다수결

방식으로 통합함으로써 드론 신호 외 신호의 영향을 줄일 수 있도록 한다.

II. 본론

선행 연구에서는 시간 영역에서 드론 신호의 에너지를 측정하고 임계값을 기준으로 하여 신호와 무신호의 구간을 구분한다. 각 구간 지속시간의 최솟값, 최댓값, 중앙값, 평균, 신호 개수를 추출하여 KNN 분류기의 입력 특징으로 사용하였다[2][3]. 본 연구에서는 이에 더해 두 가지 전처리 기법과 서브밴드 분할 기법을 추가로 적용한다.

첫째, 드론 신호를 에너지 값으로 변환한 후, 상위 에너지 구간의 일부를 제거하여 간섭 신호의 영향을 축소하고, 나머지 에너지 값의 평균을 기준으로 임계값을 설정한다. 이를 통해 드론 신호보다 에너지가 높은 간섭 성분을 효과적으로 제거하고, 신호와 무신호 구간을 안정적으로 구분할 수 있다.

둘째, 신호 지속시간에 기반한 보정 기법을 적용하여, 짧게 발생하는 일시적인 신호 구간은 무신호로, 반대로 짧은 무신호 구간은 신호로 보정하여 임계값 주위에서 나타날 수 있는 특징 왜곡을 줄일 수 있도록 한다.

서브밴드 분할 기법을 적용하여 광대역 수신기의 전체 대역을 3 개의 서브밴드로 분할하고, 각 서브밴드에서 독립적으로 에너지 기반 특징을 추출한 후 결합하여 KNN 분류기의 입력으로 활용한다. 각 서브밴드는 다수결에 의해 신호와 무신호를 결정한다. 이를 통해

드론 이외의 신호가 무신호 구간에 존재하는 경우 드론 신호의 특징 왜곡을 줄이는데 도움을 준다.

그림 1 은 본 연구에서 제안하는 전처리 과정에 서브밴드 분할 기법을 포함한 전체 흐름도이다.

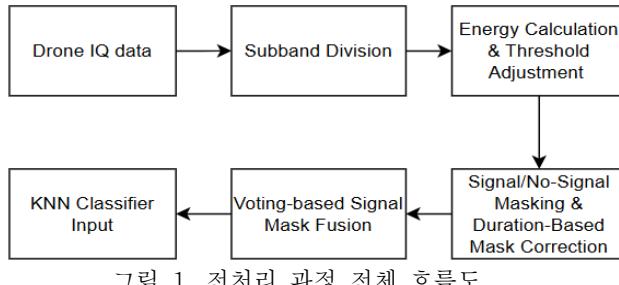


그림 1. 전처리 과정 전체 흐름도

본 연구에서는 DJI 사의 OcuSync 와 LightBridge, Autel 사의 SkyLink, 그리고 무신호 데이터를 포함한 총 4 개 클래스를 기반으로 특징을 추출하여 학습한다. 이후 실험에서는 OcuSync 신호를 주요 분류 대상으로 설정한다. 신호 수집에는 Signal Hound 사의 BB60D 스펙트럼 분석기를 사용하며, 실외 환경에서 SNR 을 달리하여 40MHz 의 샘플링 속도로 2.5 초 동안 IQ 데이터를 캡처하였다. 수집된 데이터는 50 개의 구간으로 분할하여 각 구간별 특징을 추출하고 KNN 분류기의 입력으로 활용하였다. 이를 통해 구간별 분류 결과를 바탕으로 전체 정확도를 평가하였으며, 전처리 및 서브밴드 분할 적용 여부에 따른 성능 변화를 분석한다.

그림 2 는 다양한 SNR 조건에서 전처리 적용 여부에 따른 OcuSync 신호의 분류 정확도를 비교한 결과를 나타낸다. 제안된 전처리가 적용되지 않은 경우 SNR 이 약 12dB 이하에서 분류 성능이 열화하는 경향을 보인다. 반면, 본 연구에서 제안한 임계값 조정 및 신호 길이에 기반한 신호 보정 전처리를 적용한 경우 전처리 적용 전과 비교하여 전반적으로 정확도가 크게 향상되는 것을 확인할 수 있다. 추가적으로 서브밴드 분할 기법 전처리를 적용한 경우 서브밴드 분할 기법을 적용하기 전과 비교해 일부 구간에선 최대 26%까지 정확도가 상승함을 확인할 수 있다. 이러한 성능 향상은 전처리에 의해 신호 형태가 정제되고, 서브밴드 분할 기법을 통해 간섭의 영향을 줄일 수 있기 때문으로 판단된다. 그러나 SNR 이 매우 낮아지는 경우에는 신호와 무신호 간 에너지 값의 차이가 구분되지 않아 분류 성능이 매우 크게 열화되는 것을 알 수 있다.

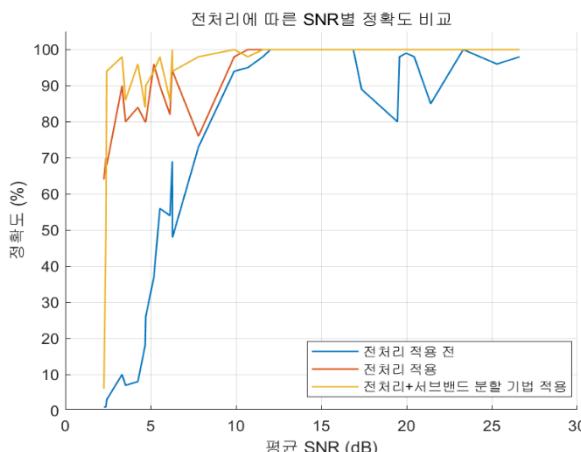


그림 2. 전처리 적용 여부에 따른 분류 정확도

그림 3 은 실내 환경에서 전처리 적용과 더불어 서브밴드 분할에 기반한 전처리 방법을 적용하기 전과 후의 분류 결과 비교를 나타낸다. 총 네 개의 새로운 OcuSync 데이터를 분류 대상으로 하며, 새로운 OcuSync 데이터는 실내에서 측정하여 드론 신호 외 다수의 신호가 포함되어 있음을 확인하고 실험을 진행하였다. 이외의 실험 조건은 동일하게 유지하였다. 드론 신호 외 다수의 신호가 포함된 경우 입력 특징이 왜곡되어 분류 정확도가 저하되는 경향을 보인다. 그러나 서브밴드 분할 기법을 적용함으로써 드론 외의 신호에 의한 영향이 줄어들고, 결과적으로 분류 정확도가 향상되었음을 확인할 수 있다.

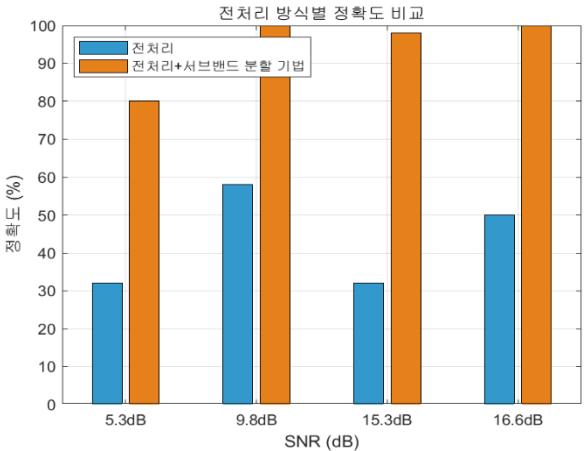


그림 3. 실내 환경에서 전처리 방식에 따른 분류 정확도

III. 결론

본 논문에서는 기준의 KNN 기반 드론 신호 분류 방식에 추가적인 전처리 기법과 서브밴드 분할 기법을 결합하여 간섭 환경에서도 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제안한다. 에너지 임계값 조정과 신호 보정 전처리를 통해 전반적인 분류 정확도가 향상되었으며, 서브밴드 분할 기법을 추가로 적용한 경우 신호가 혼재하는 경우에도 개선된 분류 성능을 보인다.

향후 연구에서는 분할하는 서브밴드의 개수와 대역폭을 최적화하여 드론 분류 성능을 더욱 향상할 수 있는 방안을 도출하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 국립한국해양대학교의 “연구·기술개발 지원사업”의 지원을 받아 수행된 결과임(통신 신호 분석을 통한 드론 식별 기술 개발).

참 고 문 현

- [1] 정순채, J. Mfitumukiza, 차재상, “드론비행과 사생활침해 등 법률위반 위험성 연구,” 한국위성정보통신학회논문지 12.1 (2017).
- [2] 노영채, 이예철, 박세훈, 김정창, “신호 지속시간을 이용한 KNN 기반 드론 신호 분류에 대한 연구,” 한국마린엔지니어링학회논문지 (2024).
- [3] 박세훈, 노영채, 김정창, “KNN 기반 드론 신호 분류를 위한 전처리 방법에 대한 연구,” 한국통신학회 학술대회논문집(2025).