

지능형 해양 모니터링을 위한 자율형 무인 이동체 통합 시스템 구축

조범영, 이상훈, 손예슬, 신수용*

*국립금오공과대학교

14bycho91@naver.com, twosanghoon@kumoh.ac.kr, k40007198@gmail.com, *wdragon@kumoh.ac.kr

An Integrated Autonomous Unmanned Vehicle System for Intelligent Marine Monitoring

Cho Beom Young, Lee Sang Hoon, Son Ye Seul, Shin Soo Young*

*Kumoh National Institute of Technology.

요약

본 논문은 Unmanned Aerial Vehicle (UAV), Unmanned Surface Vehicle (USV), Unmanned Underwater Vehicle (UUV)를 연계한 다중 무인 이동체 기반의 지능형 해양 모니터링 시스템을 제안한다. 본 시스템은 Robot Operating System (ROS) 환경에서 USV를 수중-지상 통신 게이트웨이(Gateway)로 활용하여 입체적인 감시 네트워크를 구축하였다. 특히 DeepLabV3와 ResNet-50 기반의 의미론적 분할(Semantic Segmentation) 모델을 통해 유류 오염 영역을 정밀하게 탐지하고 시각화함으로써, 해양 재난 및 불법행위에 대한 실시간 대응 효율성을 확보하였다.

I. 서론

현대 사회에서는 기후 변화와 인간 활동으로 인한 해양 오염이 심화되고 있을 뿐 아니라 재난 상황 및 해상 불법행위에 대한 대응 요구가 증가하고 있다. 그러나 기존의 단일 또는 2중 플랫폼 중심 해양 감시 체계로는 실시간 대응과 넓은 해역의 감시 범위 확보에 한계가 있다. 일례로, 인천광역시와 위성·드론·소나로 해양쓰레기를 입체적으로 관측하고 AI 분석으로 수거 경로를 최적화하는 시스템을 추진 중이지만 이러한 접근은 주로 해양쓰레기 관리 효율화에 초점이 있어, 재난·불법행위 대응까지 포괄하는 데에는 한계가 있다.

본 논문은 이에 따라 UAV, USV, UUV를 활용한 다중 무인 이동체 기반의 지능형 해양 모니터링 시스템을 제안한다.

II. 본론

A. 시스템 구성

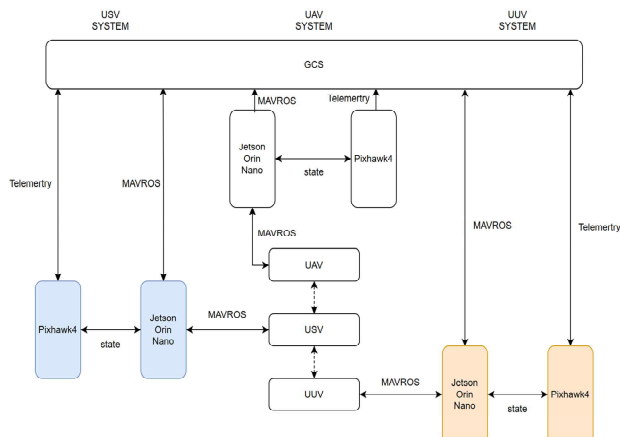


그림 1 UAV-USV-UUV 시스템 구조도

그림 1과 같이, 통합 GCS에서 임무를 하달하면, UAV-USV 구간은 ROS 기반의 무선 통신 네트워크를 통해 메시지를 교환하고 UUV-USV 구간은 수중광통신으로 제어 신호 및 데이터를 교환한다. USV는 이를 GCS로 중계한다. 각 이동체는 Jetson Orin Nano에서 웨이포인트(Waypoint) 기반의 경로 계획(Path Planning) 및 객체 인식 등 AI 기반 추론 및 연산을 수행하여 이동 경로를 생성하고, 이를 MAVROS를 통해 구동 제어기인 Pixhawk 4로 전달한다. 각 이동체의 상태 정보(state)와 센서 데이터는 다시 네트워크를 통해 GCS로 피드백되어 실시간 모니터링이 수행된다. 뒤에 그림 2는 본 논문의 시스템 순서도이다.

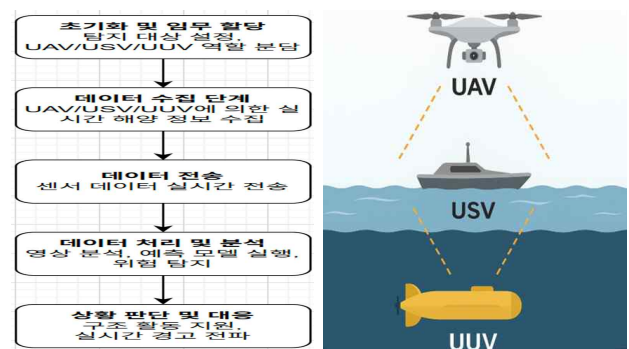


그림 2 시스템 순서도

그림 3 통합 운용 개념도

이때, 그림 3과 같이 USV는 지상과 수중을 연결하는 통신 Gateway 역할을 수행한다. RF 기반 무선 통신의 적용이 제한적인 수중 환경의 특성을 고려하여, UUV는 고속 데이터 전송을 위한 수중광통신과 장거리 제어 신호 전송을 위한 음향 통신을 혼용하여 USV와 데이터를 교환한다. [1] 또한 USV는 수신한 정보 중 장거리·저전력 전송이 필요한 상태 정보 및 이벤트 요약 데이터를 저전력 광역 네트워크 (Low-Power Wide-Area Network)를 통해 GCS로 송신하며, 영상 등 대용량 데이터는 USV 내 저장 후 필요 시 회수/근거리 전송 방식으로 활용할 수 있다.

B. 딥러닝 기반 오염 영역 세그멘테이션

1) Dataset 및 전처리

본 논문에서는 유막(Oil Spill) 영역 분할을 위해 Zenodo에 공개된 'Annotated RGB images of Oil Spills in a Port Environment Dataset'을 활용하였다. [2] 해당 Dataset은 항만(Port) 환경에서 촬영된 다양한 해양 환경의 유류 오염 이미지를 포함하고 있어, 실제 운용 환경을 모사하기에 적합하며 train/validation/test 세트가 분리 되어있다. 본 연구에서는 제공된 분할을 그대로 사용하였고, 각 세트의 이미지 수는 각각 811장/203장/254장이다. 입력 이미지는 모델 규격에 맞춰 512 X 512 크기로 리사이즈(Resize) 되며, 정규화(Normalization) 과정을 거쳐 모델의 입력 데이터로 변환된다. 학습 단계에서는 데이터의 다양성을 확보하고 과적합을 방지하기 위해 무작위 좌우 반전(Horizontal Flip) 등의 증강 기법을 적용하였다. 그림 4와 5는 원본 이미지와 이에 대응하는 정답 마스크(Ground Truth)이다.

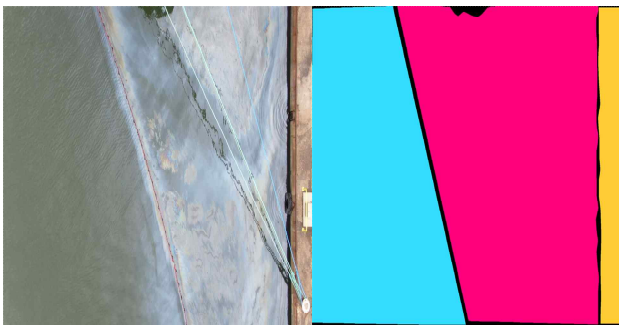


그림 4 원본 입력 이미지

그림 5 마스크 이미지

본 논문에서는 Semantic Segmentation을 위해 DeepLabV3 아키텍처를 채택하였으며 백본(Backbone) 네트워크로는 ResNet-50을 사용하였다. [3]

2) 유류 영역 추론 및 시각화

학습된 모델은 입력된 실시간 영상에서 픽셀별 로짓(Logits) 값을 출력하며, 이를 시그모이드(Sigmoid) 함수를 통해 0과 1 사이의 확률값으로 변환한다. 산출된 확률값이 설정된 임계값(Threshold) 이상일 경우 해당 픽셀을 유류 오염 영역(Foreground)으로 판단하며, 그 외의 영역은 배경(Background)으로 처리하여 최종 이진 마스크를 생성한다. 본 시스템에서는 임계값을 기본적으로 0.5로 설정하였다. 추론 시에는 logits에 sigmoid를 적용해 확률 지도를 생성한 뒤 임계값을 기준으로 이진 마스크를 생성하고, 원본 해상도로 복원하여 오버레이(Overlay) 이미지로 시각화한다. 그림 6, 7, 8은 실제 테스트 이미지에 대한 모델의 추론 결과와 이를 시각화한 최종 결과를 보여준다.

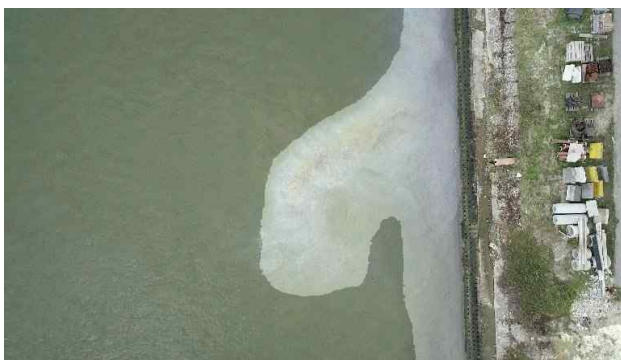


그림 6 원본 입력 이미지

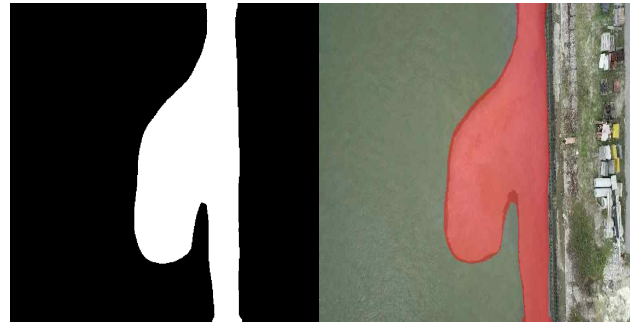


그림 7 마스크 이미지

그림 8 오버레이 이미지

III. 결론

본 논문에서는 해양 환경을 실시간으로 감시하고 오염·재난 상황에 신속히 대응하기 위한 UAV-USV-UUV 협업 기반 지능형 모니터링 시스템을 제안하였다. 제안 시스템은 공중·수면·수중 플랫폼의 역할을 분담하여 넓은 해역을 효율적으로 커버하면서도 정밀한 환경 데이터를 확보할 수 있도록 설계하였고, 수집된 영상·센서 데이터를 기반으로 이상 징후를 탐지·기록·공유하는 흐름을 구성함으로써 기존 단일 플랫폼 감시의 한계를 보완하였다. 이를 통해 인력 의존도를 낮추고, 축적 데이터를 정책 수립 및 장기 생태계 관리에 활용할 수 있는 기반을 제시했다. 다만 통신 측면에서 LPWAN은 저전력·장거리 운용에 유리하지만 전송 대역폭이 제한적인 점, 수중 통신의 제약 등을 고려한 데이터 동기화 및 임무 계획 전략의 실증이 향후 과제로 남는다. 따라서 실제 해역에서의 단계적 검증과 운용 표준화가 병행될 때, 본 시스템은 공공 감시 인프라 및 민간 해양 서비스로의 확장성이 더욱 높아질 것으로 기대한다.

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2025-RS-2024-00437190, 50%)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2025-00553810, 50%)

참 고 문 헌

- [1] 손현중, 강진일, Thieu Quang Minh Nhat, 김서강, 최형식. (2018). 영상통신용 수중광통신 시스템 연구. 한국해양공학회지, 32(2), 143-150.
- [2] S. Sels, S. Vanlanduitand T. De Kerf, Annotated RGB images of Oil Spills in a Port Environment. Zenodo, 2024. doi: 10.5281/zenodo.10555314.
- [3] 김홍민, 박수호, 한정익, 예건희, 장선웅. (2022). 위성 및 드론 영상을 이용한 해안쓰레기 모니터링 기법 개발. 대한원격탐사학회지, 38(6), 1109-1124. <https://doi.org/10.7780/kjrs.2022.38.6.1.12>