

AI 기반 초해상도 기법을 활용한 전방감시소나 수중 장애물 탐지 성능 향상 연구

이현준*, 원상운*, 서채연*

*(주)에이아이네트웍스

e-mail:ai@ainetwork.co.kr

Enhancing Underwater Obstacle Detection Performance of Forward-Looking Sonar Using AI-Based Super-Resolution Techniques

Hyun-Jun Lee*, Sang-un Won*, Chae-Yoen Seo*

*AI Networks Co.,Ltd

요약

본 연구는 전방감시소나로 획득한 저해상도 영상을 고해상도로 변환하여 수중 장애물 탐지 및 식별 정확도를 향상시키기 위해 인공지능(AI) 기반 초해상도 기법을 적용하는 연구이다. FLS 영상은 센서의 물리적 한계와 수중 음향 전파 특성으로 인해 해상도가 낮고 경계가 흐릿하며 왜곡이 발생한다. 이를 해결하기 위해 AI기반 초해상도 기법인 InvSR, Real-ESRGAN, SwinIR 3가지를 비교·적용하였다. 실험 결과, InvSR은 확산 기반 역변환 구조로 품질과 속도 간 균형을 조절할 수 있고, Real-ESRGAN은 실제 환경의 잡음·압축 아티팩트에 강인하며, SwinIR은 Swin Transformer를 이용해 지역·전역 정보를 모두 학습하여 노이즈가 많은 환경에서도 성능을 유지한다. 세 기법 모두 FLS 영상의 경계선 선명화와 음향 왜곡 감소에 효과적이었으며, 특히 소형 장애물의 탐지를 향상에 기여함을 확인하였다. 다만 단일 이미지 기반 SR만으로는 연속 영상의 시간적 일관성을 보장하기 어렵고, 실시간 처리에도 한계가 있었다. 향후 연구에서는 칼만 필터와 CNN 기반 후처리 기법을 결합하여 시간적 일관성과 노이즈 억제 성능을 강화함으로써 장애물 탐지 성능이 더욱 향상될 것으로 기대한다.

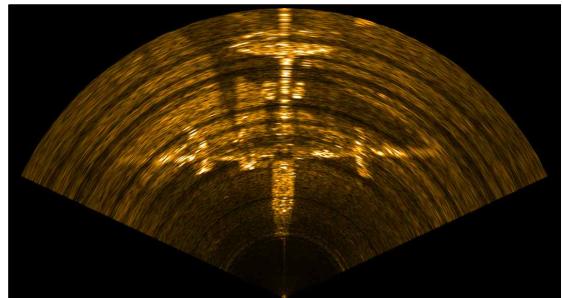
1. 서론

1.1 전방감시소나의 정의

전방감시소나(FLS, Forward Looking Sonar)는 다양한 수중 장비에서 활용되는 센서로, 수중 장애물을 탐지하는 데 사용된다. 수중 음향 기반 센서로서 전방의 상황을 영상화하여 탐지와 회피에 도움을 준다.



[그림 1] 전방감시소나 센서



[그림 2] 전방감시소나 이미지

1.2 전방감시소나의 문제점

센서의 물리적 해상도 한계와 수중 음향 전파 특성으로 인해 장애물의 경계가 흐릿하게 표현되거나 형상이 왜곡되는 문제가 발생한다. 기존의 해상도 보정 방식은 주로 픽셀 보간에 의존하는데, 이 경우 실제 존재하지 않는 인위적인 특징이 생성되거나 경계가 왜곡될 수 있어 장애물 탐지 성능에 한계가 있다.

1.3 AI 기반 초해상도 기법 적용연구 필요성

수중 장애물 탐지는 작은 목표물까지 정확하게 식별해야 하므로, 현재 전방감시소나만으로는 필요한 만큼의 성능을 제공하지

못한다. 본 연구에서는 전방감시소나의 장애물 탐지 성능 향상을 목표로 AI 기반 초해상도(SR, Super-Resolution) 기법을 적용하여 전방감시소나 이미지를 고해상도로 변환하고 장애물 경계선을 선명하게 복원하는 방법을 제안한다.

2. 본론

2.1 AI 기반 초해상도 기법의 적용

본 연구에서는 서론에서 언급하였듯이 이러한 문제점을 해결하기 위해 AI 기반 초해상도 기법 3가지를 검토하였다.

2.1.1 InvSR 적용

InvSR은 확산 기반 역변환 구조로 타일링 처리와 1~5 단계 샘플링 단계를 지원한다. 품질과 속도 간 균형을 사용자가 직접 조절할 수 있으며 세부 텍스처 복원력이 뛰어남을 보였다. 모델 크기가 크고 GPU 사용량이 높아 실시간 처리에 부적합하고 객체탐지 성능에 영향을 줄 수 있을 것으로 보인다.

2.1.2 Real-ESRGAN 적용

Real-ESRGAN은 실제 환경의 저화질 특성을 모사한 사전 학습 모델로 노이즈·압축 왜곡에 강인하고 실시간 처리에 용이했다. 그러나 극단적인 저해상도나 강한 노이즈 환경에서는 과도한 디테일이 생성되었다.

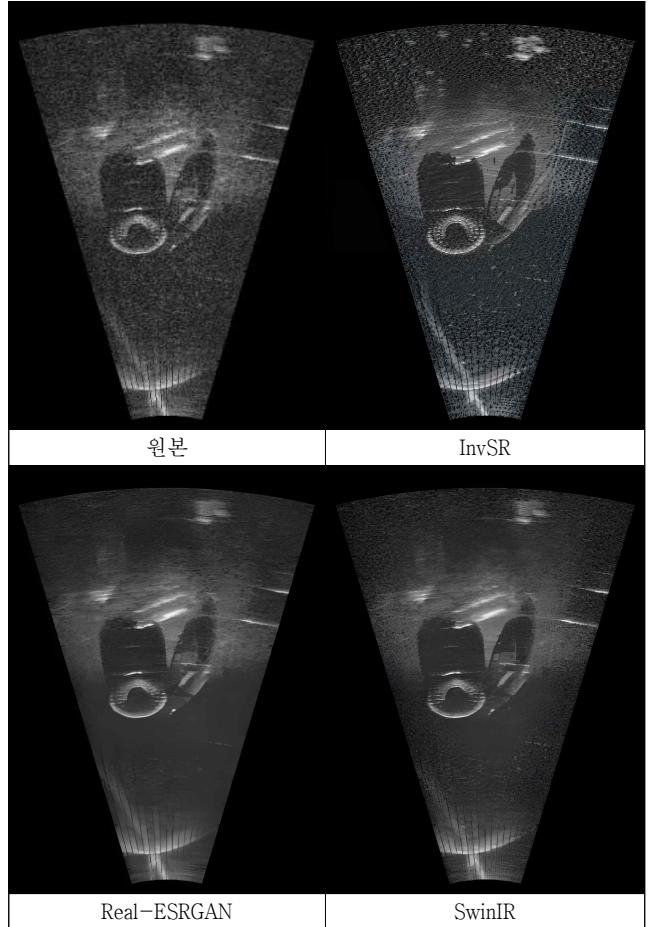
2.1.3 SwinIR 적용

SwinIR은 Swin-Transformer 기반으로 지역 및 전역 정보 학습에 뛰어나 노이즈·압축 왜곡에 강인하나, Transformer 특성상 연산량과 GPU 사용량이 많아 실시간 처리에 부적합해 보인다.

[표 1] AI 기반 초해상도 기법의 종류와 특징

프로젝트	기법	주요 특징
InvSR	Diffusion Inversion	타일링·1~5단계 샘플링 지원. 품질·속도 균형 조절 가능 실시간 처리와 객체 탐지에 부담.
Real-ESRGAN	ESRGAN	노이즈·압축 왜곡에 강인 실시간 처리 용이 과도한 디테일 생성 가능성
SwinIR	Swin Transformer	지역·전역 정보 학습에 강점, 노이즈·압축 왜곡에 강인 실시간 처리

[표 2] AI 기반 초해상도 기법 적용 결과



3. 결론

본 연구에서는 전방감시소나 이미지를 고해상도 변환하여 장애물 경계선을 복원하고, 탐지 및 식별 정확도를 향상시키기 위해 AI 기반 초해상도 기법을 제안하였다. InvSR, SwinIR, Real-ESRGAN 세 가지 기법을 통해 기존 방식의 한계를 극복하고, 장애물 탐지 성능 향상에 필요한 시각적 단서를 확보할 수 있음을 확인하였다.

그러나 단일 이미지 중심의 초해상도 기법만으로는 여전히 연속적인 시간적 일관성 확보가 부족하며, 수중 환경 특유의 노이즈로 인한 왜곡을 제거하는데 한계가 있다. 향후 연구에서는 연속적인 이미지 또는 동영상에 대해서 칼만 필터와 같은 방법으로 전처리·후처리를 병행하여 연속적인 일관성 확보하고, CNN 기반 특성 강화 기법 등으로 노이즈로 인한 왜곡을 제거할 필요성이 있다. 이러한 방법을 통해 장애물 탐지 성능이 더욱 향상될 것으로 기대된다.

사사

본 논문은 과학기술정보통신부 소형모듈원자로 디지털 혁신
검증·운영 기술개발 사업의 지원으로 작성되었음. [RS-2025-02316385]

참고문헌

- [1] Zongsheng Yue, Kang Liao, Chen Change Loy. “Arbitrary-Steps Image Super-Resolution via Diffusion Inversion (InvSR),” Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2025.
- [2] Liu X, Wang Y, Li Z, et al. “Real-ESRGAN: Training Real-World Blind Super-Resolution with Pure Synthetic Data,” IEEE/CVF International Conference on Computer Vision Workshops (ICCVW), 2021.
- [3] Wang Xintao, et al. “SwinIR: Image Restoration Using Swin Transformer,” Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), 2021.
- [4] Md Jahidul Islam, Peigen Luo, Junaed Sattar, “Simultaneous Enhancement and Super-Resolution of Underwater Imagery for Improved Visual Perception” Proceedings of Robotics: Science and Systems (RSS 2020), July 12-16, 2020.
- [5] X. Liu et al, “FLS-GAN: End-to-end Super-Resolution for Deep-Sea Terrain Forward Looking Sonar Images,” Ocean Engineering, Vol.332, Article ID 121369, 2025.