

극한 환경에서 다양한 영상 시야 개선 기술을 활용한 객체 탐지 성능 비교 연구

김수철*, 한규원, 이강복

한국전자통신연구원

*skim88@etri.re.kr

A comparative study on object detection performance using various image visibility enhancement techniques in extreme environments

*Kim Soocheol, Han Kyuwon, Lee Kangbok

*Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 연구에서는 극한 환경에서 객체 탐지 성능을 향상시키기 위한 다양한 영상 시야 개선 기술의 효과를 비교·분석하였다. 이를 위해 연무기를 이용하여 안개 환경을 인공적으로 조성하고, 가시거리(45~80cm)에 따른 영상 데이터를 취득하였다. 획득된 영상은 Contrast-Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE), Multiscale Retinex (MSR), Dark Channel Prior (DCP), Vision Transformer (VT) 기반 영상처리 기법과 편광(polarization) 기술을 적용하여 개선되었으며, 학습된 ResNet18 기반 Convolutional Neural Network (CNN) 모델을 이용하여 분류 성능을 평가하였다. 그 결과, 영상의 대조도는 MSR, DCP, CLAHE 순으로 향상되었으나, 분류 정확도는 편광, 원시, MSR 순으로 높게 나타났다. 본 연구 결과는 영상 처리 기법보다 물리적 광학 기반 시야 개선 기술이 극한 환경에서의 객체 인식 성능 향상에 더 효과적임을 보여주며, 향후 5G 특화망 기반 온디바이스 국방 감시 시스템 개발에 기초 자료로 활용될 수 있다.

I. 서 론

극한 환경에서의 영상 시야 개선 기술은 산불 감시, 소방대원 시야 확보, 방법 및 보안 감시 시스템 등 다양한 분야에서 활발히 활용되고 있다 [1-3]. 특히, 국방 분야에서는 Electro-Optical/Infra-Red (EO/IR) 감시장비를 운용할 때, 악천후나 열악한 시야 조건에서 대공 위협을 신속하고 정확하게 탐지하는 것은 매우 중요하다.

이러한 필요성에 따라, 극한 환경을 극복하기 위한 다양한 영상 처리 알고리즘이 소개되고 있으며, 대표적인 기법으로는 CLAHE, MSR, DCP, VT, Diffusion Posterior Sampling 등이 있다[4, 5]. 이들은 영상의 대비 향상, 색상 복원, 안개 제거, 혹은 고품질 복원 등을 통해 객체 인식에 유리한 영상정보를 제공한다.

또한, 편광 (polarization) 기술과 적외선 영상 장비 등을 이용하여 시야를 개선하는 하드웨어 기반 연구도 활발히 수행되고 있으며[6, 7], 이러한 기술들은 산란광의 파장과 편광 정보를 분석함으로써 환경적 제약을 보완하고, 극한 환경에서 객체 탐지의 신뢰성을 높이는 데 기여하고 있다.

본 연구에서는 다양한 영상 시야 개선 기술을 적용하여 인공적으로 구성된 극한 환경에서 객체 탐지 성능을 비교하고 분석하였다. 이를 통해 환경적 요인이 영상 기반 객체 탐지 성능에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고, 향후 극한 환경 대응형 영상 감시 시스템 설계에 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 본론

극한 환경에서 영상 기반 객체 탐지 성능을 평가하기 위해 안개를 모사할 수 있는 실험 장치를 제작하였다 (그림 1). 연무기 (beamZ S1500)를 이용하여 실험 장치 내에 연기를 주입하고, 연기 농도를 조절하여 A4 용지에 인쇄된 숫자 (0-9)를 대상으로 탐지 및 분류 성능을 평가하였다. 극한 환경의 가시거리는 635nm 레이저 다이오드 (Thorlabs Inc., CPS635R)와 광검출기 (Thorlabs Inc., S120C)를 사용하여 연기 농도에

따른 광 투과도를 측정함으로써 산출하였다.

영상 취득에는 할로겐 조명, 초점거리 16 mm 렌즈 (LUCID Vision Labs Universe BL160C), 편광 카메라 (LUCID Vision Labs PHXET050S-QC)를 사용하였으며, 촬영 거리는 약 70cm로 설정하였다.

데이터셋은 0부터 9까지 숫자(class=10)에 대해 가시거리 45cm~80cm 범위에서 클래스당 30장씩 총 300장 영상을 취득하였으며, 모든 숫자의 폰트는 돌출체이고 크기는 400pt이다. 획득된 영상은 CLAHE, MSR, DCP, VT 기반 영상 처리 알고리즘과 편광 기술로 각각 개선되었으며, 학습된 ResNet18 기반 CNN 모델을 이용하여 분류 성능을 평가하였다.

학습 데이터는 숫자 영상에 다양한 노이즈(크기, 회전, 점잡음 등)와 밝기 변화를 무작위로 적용하여 클래스당 10,000장, 총 100,000장으로 구성되었으며, 모델의 일반화 성능을 확보하였다.

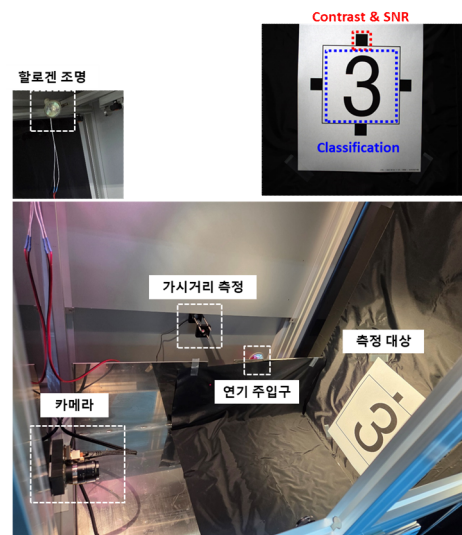


그림 1. 가시거리에 따른 객체 탐지 성능 평가 실험 장치

III. 결론

본 연구에서는 가시거리가 제한된 극한 환경에서 원시 (raw) 영상, 편광 기술, 영상 처리 알고리즘 (CLAHE, MSR, DCP, VT)을 적용한 총 6가지 조건에 대해 객체 탐지 및 분류 성능을 비교·분석하였다.

영상의 대조 값은 $MSR > DCP > CLAHE > polarization > raw > VT$ 순으로 높게 관찰되었으며, 대조 값이 클수록 육안으로 잘 관찰되는 것을 확인할 수 있었다 (그림 2). 반면에 사전에 학습된 모델을 이용한 분류 성능 평가에서는 $polarization > raw > MSR > DCP > CLAHE > VT$ 순으로 정확도가 높게 확인되었다 (그림 3). 이를 통해 단순 영상 처리 기반 방법보다 모델 학습 및 물리적 영상 개선 방법이 분류 정확도 향상에 더 효과적임을 확인하였다.

본 연구는 향후 극한 환경 대응형 영상 감시 시스템 설계 및 고성능 영상 처리 없이 온디바이스에서 객체 탐지·분류가 가능한 5G 특화망 기반 국방 안전기술 개발에 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

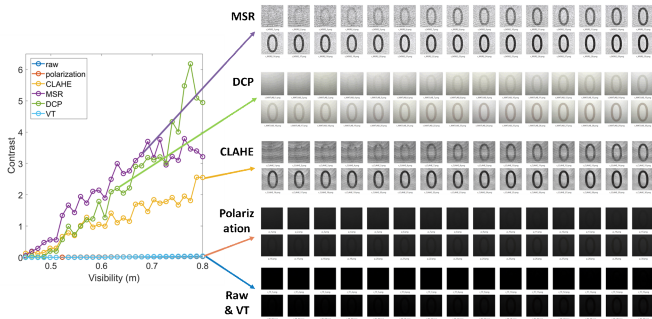


그림 2. 가시거리에 따른 영상 대조 값 그래프 및 개선된 영상

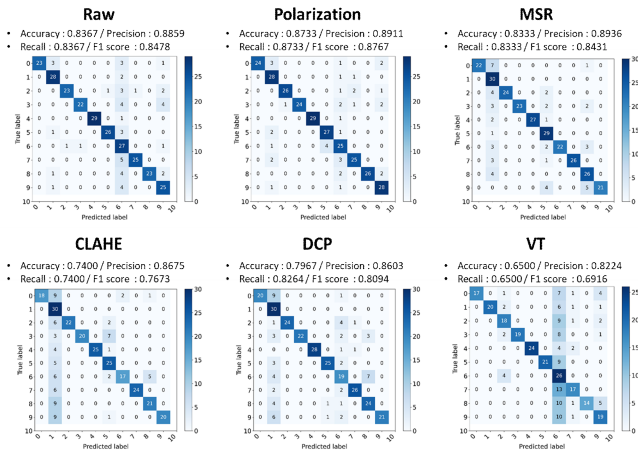


그림 3. 다양한 영상 처리 알고리즘을 사용한 분류 성능 평가 결과

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(No.RS-2024-00461079, 무인이동체 감시장비에 탑재되는 환경 적응형 온디바이스 소프트웨어 기술 개발).

참 고 문 헌

- [1] 이승희, et al. "영상 집합을 이용한 산불 감시 시스템." 한국콘텐츠학회논문지 13.6 (2013): 40-47.
- [2] 신영민, et al. "화재현장의 소방대원 시야 확보를 위한영상처리 기술 효과성 검토." Fire Science and Engineering 35.3 (2021): 118-126.

- [3] 신승호, 박연선, and 김용성. "국방용 감시카메라를 위한 적응적 영상 화질 개선 알고리즘." 한국통신학회논문지 39.1 (2014): 28-35.
- [4] Song, Yuda, et al. "Vision transformers for single image dehazing." IEEE Transactions on Image Processing 32 (2023): 1927-1941.
- [5] Kwon, Taesung, et al. "Video diffusion posterior sampling for seeing beyond dynamic scattering layers." IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (2025).
- [6] Schechner, Yoav Y., Srinivasa G. Narasimhan, and Shree K. Nayar. "Instant dehazing of images using polarization." Proceedings of the 2001 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. CVPR 2001. Vol. 1. IEEE, 2001.
- [7] 유제택, et al. "근적외선 영상의 특성을 활용한 안개 제거 알고리즘." 전자공학회논문지 52.11 (2015): 115-123.