

자율주행 인지 안정성 확보를 위한 시각 노이즈 대응 통합 시스템

강아현, 신수용*

국립금오공과대학교 IT융복합공학과

ahyn935@kumoh.ac.kr, *wdragon@kumoh.ac.kr

Integrated Visual Noise Mitigation System for Ensuring Perception Stability in Autonomous Driving

Ah Hyun Kang, Soo Young Shin*

Kumoh National Institute of Technology.

요약

본 논문에서는 자율주행 환경에서 발생할 수 있는 시각 정보 노이즈가 객체 인식 등 인지 성능에 악영향을 미치는 문제를 해결하기 위해, 자율주행 인지 안정성 확보를 위한 시각 노이즈 대응 통합 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 입력 영상 내 노이즈 발생 영역을 프레임 간 변화 기반으로 실시간 감지하고, 해당 영역에 대해서만 딥러닝 기반 복원을 선택적으로 수행함으로써 영상 품질을 향상시킨다. 실험에서는 드론 시점 영상의 구조물을 Gaussian 노이즈를 삽입한 후 제안 시스템을 적용하였고, 그 결과 PSNR 및 SSIM이 유의미하게 향상되었으며, 감지 지역 시간은 실시간 대응이 가능한 수준으로 측정되었다. 복원은 전체 영상이 아닌 ROI 단위로 수행되어 효율성을 확보하였으며, 향후 최적화 및 전처리 개선을 통해 실시간 적용 가능성이 더욱 높아질 것으로 기대된다.

I. 서론

자율주행 시스템은 다양한 시각 인지 기반 알고리즘을 통해 객체 인식, 거리 추정 등을 수행하며, 이러한 인지 정보는 주행 경로 결정과 충돌 회피 등 핵심 기능의 기반이 된다. 특히 카메라 센서는 상대적으로 저비용이면서도 다양한 시각 정보를 수집할 수 있어 자율주행 시스템에 널리 활용되고 있다. 그러나 실제 환경에서는 센서 노후화, 조도 변화, 외부 충격 등 다양한 원인으로 인해 영상에 노이즈가 발생하며, 이는 인지 모듈의 정확도가 저하될 수 있다.[1]

자율주행 시스템은 신호등, 차선, 기둥, 표지판 등 인지적으로 중요한 구조물을 바탕으로 판단을 수행하므로, 이러한 영역에 노이즈가 발생할 경우 객체 인식 실패, 거리 추정 오차 등 인지 안정성을 저해하는 문제로 이어질 수 있다. 따라서 영상 노이즈는 단순한 화질 저하를 넘어, 자율주행의 안전성과 직결되는 문제로 간주되며, 이에 대한 실시간 대응이 요구된다.[2]

기존 연구에서는 이미지 복원 기술이나 노이즈에 강건한 인식 알고리즘 개발이 주로 이루어졌으나, 영상 내 노이즈의 발생 위치와 시점은 실시간으로 감지하고, 필요한 영역만 선택적으로 복원하여 인지 안정성을 확보하는 통합적 접근은 부족한 설정이다.[3]

본 논문에서는 자율주행 환경에서 발생하는 시각 노이즈에 실시간으로 대응하고 인지 안정성을 확보할 수 있도록, 노이즈 감지와 선택적 복원 기반의 통합 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 프레임 간 시각 변화 기반 감지를 통해 노이즈 영역을 자동 추출하고, 감지된 영역에 대해 복원을 수행하여 인지 모듈에 전달되는 영상 품질을 개선하는 것을 목표로 한다. 또한 드론 시점 영상을 활용한 실험을 통해 제안 시스템의 유효성을 정량적으로 평가하였다.

II. 시스템 구조

본 연구에서는 자율주행 환경에서 발생하는 시각 노이즈로 인한 인지 성능 저하 문제를 해결하기 위해, 노이즈를 실시간으로 감지하고 복원하는 통합 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 자율주행 인지 파이프라인의 전처리 모듈로 작동하며, 카메라 입력 영상 내에서 발생하는 국지적인 시각 노이즈를 자동으로 감지하고 복원을 수행함으로써 인지 모듈의 안정성과 신뢰도 향상을 목표로 한다.

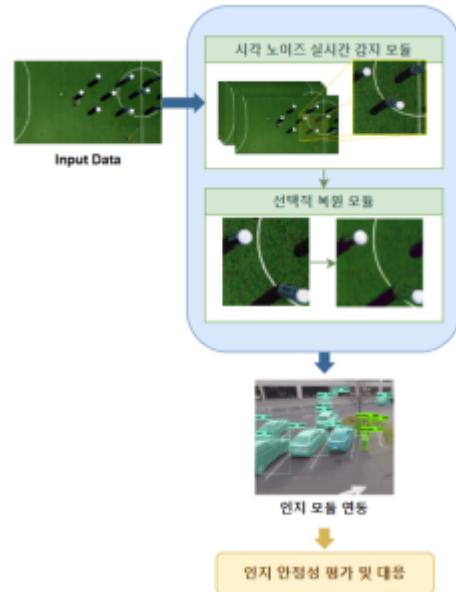


그림 1 시스템 구조

시스템은 ROS 2 기반 카메라 입력 또는 영상 파일 기반 입력을 수용할 수 있도록 설계되었으며, 영상은 프레임 단위로 수신되어 인지 전처리 단계로 전달된다. 프레임 간 밝기 변화 기반의 이상 영역을 탐지하고, 일시적인 변화나 배경 잡음을 제외한 지속적이고 구조적으로 의미 있는 노이즈 영역만을 복원 대상으로 지정한다.

감지된 영역 중 인지에 영향을 줄 가능성이 높은 중요 구조물 중심으로 복원 우선순위를 판단하며, 경량화된 딥러닝 복원 네트워크를 통해 ROI 단위 복원 및 후처리를 적용하여 영상의 시각적 일관성을 확보한다. 최종 복원 결과는 객체 탐지, 거리 추정 등의 인지 모듈과 연동되며, 복원 전후의 인식 정확도, 추적 안정성, 특징점 수 등을 통해 인지 안정성을 평가하고, 필요 시 경고 출력 또는 보조 전략을 수행할 수 있도록 설계된다.

III. 실험

본 실험은 Ubuntu 22.04 환경에서 Python 3.13.2, PyTorch 2.5.1(CUDA 12.1)을 기반으로 구현되었으며, NVIDIA GeForce RTX 4060 Laptop GPU에서 수행되었다. 입력 영상은 드론 시점에서 촬영된 960×540 해상도의 컬러 영상이며, 프레임 속도는 24fps이다. 자율주행 인지 모듈이 시각적으로 의존하는 구조물인 기둥 상단 영역에 256×256 크기의 Gaussian 노이즈($\sigma=50$)를 인위적으로 삽입하였다. 노이즈는 영상의 중간 구간(약 5초)에만 적용되었으며, 이 외 구간은 정상 영상으로 유지되었다. 이를 통해 노이즈 삽입 전후의 영상 품질 변화, 그리고 제안 시스템이 노이즈 발생에 얼마나 빠르게 반응하고 복원하는지를 정량적으로 평가하였다.



그림 2 프레임 기반 감지 및 복원 결과

노이즈 감지를 위해서는 프레임 간 변화 기반 알고리즘을 적용하였다. 입력 영상은 이전 프레임과의 차이를 계산하고, 임계값을 초과하는 픽셀에 대해 이진 마스크를 생성하여 누적 변화량을 추적하였다. 이후 일정 프레임 이상 변화가 지속되는 영역만을 유효한 노이즈 후보로 간주하고, morphological 연산과 connected component labeling을 통해 충분한 크기와 연속성을 가진 영역만을 복원 대상으로 설정함으로써, 실제 인지 성능에 영향을 줄 수 있는 의미 있는 손상 영역에 집중하였다.

복원은 감지된 영역에 대해서만 선택적으로 수행하며, Gaussian 노이즈 제거에 특화되어 사전 학습된 Restormer 기반 모델을 적용하였다.[4] 전체 영상이 아닌 ROI(Region of Interest) 단위로 처리함으로써, 계산 자원을 효율적으로 사용하고 불필요한 복원을 방지하였다. 복원 결과는 기준 프레임의 색상 특성과 시각적으로 일관되도록 정규화 과정을 거쳤으며, 히스토그램 분포 정렬, 프레임 기반 스무딩 등 후처리를 통해 복원된 영역과 주변 영상 간의 시각적 이질감을 최소화하였다.



그림 3 복원 영역 이미지 품질 비교

실험 결과는 복원 전 대비 PSNR은 3.67 dB, SSIM은 0.2878만큼 향상되어 시각 품질이 정량적으로 개선되었음을 확인할 수 있다. 복원 후 PSNR은 23.41 dB, SSIM은 0.5522로 측정되었으며, 이는 노이즈로 손상된 영상에 대해 기본적인 인지 가능 수준까지 품질을 회복한 것으로 해석할 수 있다. 또한 Noise 발생 후 최초 반응까지의 Detection Latency는 평균 208.1ms로 측정되었으며, 프레임당 감지 처리 시간은 평균 3.78ms로 매우 빠른 수준을 유지하여 연속 처리에 적합함을 확인하였다. 복원 처리 시간은 평균 277.24ms로 실시간에는 다소 부족하나, 감지된 영역에만 선택적으로 수행되기 때문에 향후 경량화 및 최적화를 통해 실시간 응용이 가능할 것으로 기대된다. 전반적으로 복원 결과

는 삽입된 노이즈를 효과적으로 제거하였고, 시각 품질 또한 정량적으로 유의미한 향상을 보였다. 그러나 일부 프레임에서는 ROI 단위 복원 과정에서 색상 불일치나 경계 이질감과 같은 시각적 부작용이 확인되었다. 이는 후처리 정규화의 한계와 주변 정보 부족에 기인한 것으로 판단되며, 향후 보완 기법을 추가함으로써 예외적인 문제를 개선해 나갈 예정이다.

| 항목 | 수치(평균) |
|-------------------------|-----------|
| 감지 처리 시간 (프레임당) | 3.78 ms |
| Detection Latency | 208.1 ms |
| 복원 처리 시간 (프레임당, ROI 기준) | 277.24 ms |

표 1 시스템 성능 지표

IV. 결론

본 논문에서는 자율주행 환경에서 발생할 수 있는 시각 노이즈로 인해 인지 성능이 저하되는 문제를 해결하기 위해, 노이즈 감지와 선택적 복원을 결합한 시각 노이즈 대응 통합 시스템을 제안하였다. 프레임 간 변화 기반 감지를 통해 실시간 노이즈 영역을 탐지하고, 감지된 영역에 대해서만 딥러닝 기반 선택적 복원을 수행함으로써 영상 품질을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 확인하였다.

실험에서는 드론 시점 영상의 구조물 상단에 Gaussian 노이즈를 삽입하여 제안 시스템을 검증하였고, PSNR 및 SSIM의 정량적 향상, 감지 지연 시간의 실시간 대응 수준 확보, 선택적 복원 방식의 효율성 등을 확인하였다.

향후에는 ROS2 기반 실시간 카메라 입력 연동과 임베디드 적용을 통해 전체 시스템을 실시간 인지 파이프라인으로 확장하고, 복원 전후 객체 인식 등의 성능 변화에 대한 정량 평가도 수행할 예정이다. 또한 복원 품질의 시각적 일관성을 더욱 높이기 위해, 복원 입력 단계에서의 전처리 보정 기법도 추가 검토하여 복원 품질을 개선할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학 ICT연구센터(ITRC)의 지원(IITP-2025-RS-2024-00437190, 50%)과 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원 - 학·석사연계ICT핵심인재양성 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2022-00156394, 50%)

참 고 문 헌

- [1] K. Zhang, W. Zuo, Y. Chen, D. Meng, and L. Zhang, "Beyond a Gaussian Denoiser: Residual Learning of Deep CNN for Image Denoising," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 26, no. 7, pp. 3142–3155, 2017.
- [2] K. Yadav, D. Mohan and A. S. Parihar, 'Image Detection in Noisy Images,' 2021 5th International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS), pp. 917–923, 2021.
- [3] N.-G. Pham, T.-H. T. Le, V.-H. Duong, H.-N. Tran, and P.-H. Vo, "The Problem Of Image Super-Resolution, Denoising And Some Image Restoration Methods In Deep Learning Models," arXiv preprint, arXiv:2404.09817, 2024.
- [4] S. W. Zamir, A. Arora, S. Khan, M. Hayat, F. S. Khan, M.-H. Yang, and L. Shao, "Restormer: Efficient Transformer for High-Resolution Image Restoration," Proc. of the IEEE/CVF Conf. on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), pp. 5728 - 5739, 2022.