

다양한 조명 환경에서 보행자 탐지를 위한 퍼지 논리 기반 전처리 프레임워크

이원일, 유연승, 이민호, 이수빈, 정성균, 최흥준, 김태형*
롯데이노베이트(주)

wonil.lee@lotte.net, yys4000@lotte.net, minho_lee@lotte.net, leesubin@lotte.net,
seonggyun.Jeong@lotte.net, heungjunchoi@lotte.net, thkim07@lotte.net*

A Fuzzy Logic-based Preprocessing Framework for Pedestrian Detection in Various Lighting Conditions

Lee Won Il, Yu Yeon Seung, Lee Min Ho, Lee Su Bin,
Jeong Seong Gyun, Choi Heung Jun, Kim Tae Hyung*
LOTTE INNOVATE Co., Ltd.

요 약

영상 기반 보행자 탐지는 지능형 감시의 핵심 기술이지만, 안개, 야간의 저조도 환경에서 성능이 급격히 저하되는 문제가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문에서는 영상의 시각적 특징을 수치화하고 퍼지 논리 시스템을 통해 날씨 및 조도 환경을 판별하여 최적의 전처리 기법을 동적으로 적용하는 적응형 프레임워크를 제안한다. 제안하는 방법은 별도의 인공신경망 학습 과정 없이 동작하며, 부족한 광원 환경에서도 보행자 탐지 시스템의 정확도를 향상시킬 수 있다. 제안하는 프레임워크를 cctv 데이터셋으로 평가한 결과, 보행자 탐지에서 성능 향상 보인다.

I. 서 론

영상 기반 객체 탐지 기술의 발전은 보행자 탐지 및 추적 시스템의 성능을 향상시켜왔다. 하지만 이러한 시스템의 성능은 입력 영상의 품질에 크게 의존한다. 안개, 야간, 역광 등 실제 도로 환경에서 빈번하게 발생하는 저하 요인들은 영상의 대비와 선명도를 감소시켜 탐지율을 급격히 떨어뜨리는 주된 원인이 된다. 기존의 연구에서 활용된 전처리 방식은 이미지의 대비(Contrast) 값에만 초점을 맞추어, 변화하는 환경에 능동적으로 대처하기 어렵다. 따라서 본 논문에서는 이미지의 밝기(Brightness), 선명도(Sharpness)를 확인한 후 그 수치에 따라 감마 보정(Gamma Correction), CLAHE(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization)[1] 등의 전처리 기법을 동적으로 선택하는 퍼지 논리(Fuzzy Logic) 기반의 적응형 프레임워크를 제안한다. 제안 방법의 효과를 확인하기 위해, 주간, 야간, 적외선 이미지가 포함된 데이터셋에 적용하여 보행자 탐지 성능을 평가한다. 실험 결과, 제안하는 퍼지 논리 기반 프레임워크는 전처리를 적용하지 보행자 탐지 방법에 비해 성능을 향상을 보인다.

II. 본론

2.1. 보행자 탐지 및 추적

보행자 탐지 기술은 악천후 및 야간 환경에서 이미지 품질 저하로 인해 성능이 급격히 감소하는 명확한 한계를 가진다[2]. 기존의 관련 연구들은 CLAHE 를 각기 다른 방법으로 적용시켜왔다[3]. 예를 들어, [4]의

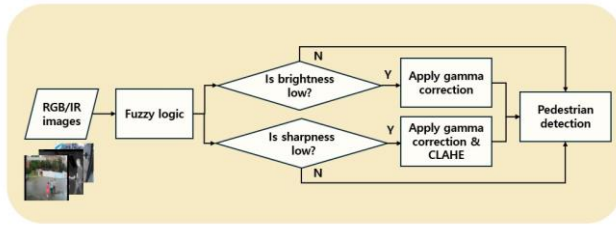
연구는 실시간 처리에 효율적인 적응형 파라미터 최적화를 제안했으며, [5]에서는 Guided Image Filtering 을 결합한 CLAHE-GIF 를 제안하여 안개 속 노이즈 억제력을 높였다. [6]의 연구에서는 Dark Channel Prior 를 동적 CLAHE 와 통합한 방법을 설계했다. 이들은 대부분 불균일한 조명을 해결하기 위한 대비 향상에 초점을 맞추고 있다.

2.2. 제안 방법

본 논문은 다양한 조명 환경에 대응하기 위해, 퍼지 논리를 활용하여 이미지 프로세싱을 동적으로 적용하는 프레임워크를 제안한다. 입력 이미지에서 밝기, 선명도를 수치화한 뒤, 그에 따라 'Night', 'Blurry', 'Clear' 등과 같이 현재 상태를 판정한 후 CLAHE 뿐만 아니라 Gamma correction 등 이미지 프로세싱을 적용한다.

이 시스템은 특징 추출, 퍼지 추론, 전처리 적용의 세 단계로 구성된다. 첫 단계에서는 픽셀 값의 평균으로 밝기를, 라플라시안 필터의 분산으로 선명도를 산출한다. 두 번째 단계인 퍼지 추론 엔진은 이 지표들을 입력받아 규칙 기반의 판단을 수행하며, 마지막 단계에서는 판단 결과에 따라 최적의 전처리를 선택한다.

예를 들어, Night 상태는 감마 보정을 통해 밝기를 높이고, Blurry 상태는 CLAHE 로 대비를 향상시키며, Clear 상태는 원본을 유지해 불필요한 왜곡을 방지한다. 이러한 흐름을 통해 수치로는 표현하기 어려운 다양한 촬영 환경을 유연하게 판별하고 적절한 보정을 수행할 수 있다.



[그림 1] 프레임워크 순서도

2.3. 실험

2.3.1 데이터

본 연구에서는 Roboflow cctv 데이터셋[7]을 사용하여 제안 방법을 평가한다. 평가에는 3,045 장의 데이터를 활용하였으며, 일반적인 컬러(RGB) CCTV 이미지뿐만 아니라 적외선(IR) 카메라로 촬영된 야간 영상도 포함되어 있다. 해당 데이터셋은 'person' 단일 클래스를 대상으로 한 객체 탐지용으로 구성되어 있으며, 주간과 야간 등 다양한 조명 조건에서의 보행자 탐지 모델을 평가하여 제안한 전처리 방법의 효과를 확인한다.

2.3.2 평가

[표 1]은 전처리를 적용하지 않은 방식과 CLAHE, 퍼지 논리 기반 제안 방식에 따른 보행자 탐지 성능을 비교한 결과를 나타낸다. CLAHE 적용 시 성능은 F1-score 0.6453 으로, baseline 대비 성능이 하락하였다. 이는 대비가 충분한 영상에서 CLAHE 적용 시 노이즈와 색 왜곡이 증가하여 탐지 성능을 저해할 수 있음을 시사한다. 반면, 제안 방법은 F1-score 0.6515 의 성능을 내며 원본 대비 향상된 결과를 보였으며, CLAHE 적용보다 우수한 결과를 얻었다. [그림 2]와 같이 기존에 탐지되지 않던 IR 이미지 내의 사람을 성공적으로 탐지하였다. 이러한 결과는 단일 필터를 모든 영상에 일괄 적용하는 정적 방식이 다양한 환경 변화에 대응하는 데 한계가 있음을 보여주며, 상황 적응형 전처리 접근의 필요성을 보인다.

[표 1] 전처리 방법 별 성능 비교표

Method	Precision	Recall	F1-Score
Baseline	0.8615	0.5180	0.6470
CLAHE	0.8515	0.5195	0.6453
Proposed	0.8609	0.5241	0.6515



[그림 2] 전처리 적용 전의 미탐 이미지(좌), CLAHE 적용 후의 미탐 이미지(중), 제안 방법 적용 후 탐지된 사람 이미지(우)

III. 결론

본 논문에서는 흐린 이미지나 저조도 환경에서 보행자 탐지를 위해 퍼지 논리를 기반으로 영상의 상태를 실시간으로 진단하고 최적의 전처리를 수행하는 적응형 프레임워크를 제안했다. 이 방법은 입력 이미지 밝기와 선명도를 분석하여, 감마 보정과 CLAHE 와 같은 전처리 기법들을 동적으로 선택하고 적용한다. Roboflow 의 cctv 데이터셋을 이용한 실험 결과, 제안된 프레임워크는 전처리를 적용하지 않거나 CLAHE 만을 사용한 방식에 비해 탐지 성능을 향상시키는 것을 확인했다. 본 방법은 다양한 환경이나 실시간 지능형 감시 시스템에서의 탐지 신뢰도를 높이는 데 적용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Zuiderveld, Karel. "Contrast limited adaptive histogram equalization." *Graphics gems IV*. pp. 474-485, 1994.
- [2] Chen, Wei, et al. "Occlusion and multi-scale pedestrian detection A review." *Array*, vol. 19, 2023
- [3] Song, Yifei, and Yanfeng Lu. "A Review of Unmanned Visual Target Detection in Adverse Weather." *Electronics* vol. 14, no. 13, 2025.
- [4] Yuan, Zhikang, et al. "CLAHE-based low-light image enhancement for robust object detection in overhead power transmission system." *IEEE Transactions on Power Delivery*, vol. 38, no. 3, pp. 2240-2243, 2023.
- [5] Zhang, Yi, et al. "Artificial intelligence-aided thermal model considering cross-coupling effects." *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 35, no.10, pp. 9998-10002, 2020.
- [6] Lashkov, Igor, Runze Yuan, and Guohui Zhang. "Edge-computing-facilitated nighttime vehicle detection investigations with CLAHE-enhanced images." *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 24, no. 11, pp. 13370-13383, 2023.
- [7] <https://universe.roboflow.com/dataset-uutxr/cctv-naxyo>