

영상장치를 이용한 차세대 스마트 LED 전광판의 불량픽셀 검출을 위한 딥러닝 구조 개발

Development of Deep Learning Structure for Defective Pixel Detection of Next-Generation Smart LED Display Board using Imaging Device

이 선 구**, 이 태 윤*, 이 승 호**★

Sun-Gu Lee**, Tae-Yoon Lee*, Seung-Ho Lee**★

Abstract

In this paper, we propose a study on the development of deep learning structure for defective pixel detection of next-generation smart LED display board using imaging device. In this research, a technique utilizing imaging devices and deep learning is introduced to automatically detect defects in outdoor LED billboards. Through this approach, the effective management of LED billboards and the resolution of various errors and issues are aimed. The research process consists of three stages. Firstly, the planarized image data of the billboard is processed through calibration to completely remove the background and undergo necessary preprocessing to generate a training dataset. Secondly, the generated dataset is employed to train an object recognition network. This network is composed of a Backbone and a Head. The Backbone employs CSP-Darknet to extract feature maps, while the Head utilizes extracted feature maps as the basis for object detection. Throughout this process, the network is adjusted to align the Confidence score and Intersection over Union (IoU) error, sustaining continuous learning. In the third stage, the created model is employed to automatically detect defective pixels on actual outdoor LED billboards. The proposed method, applied in this paper, yielded results from accredited measurement experiments that achieved 100% detection of defective pixels on real LED billboards. This confirms the improved efficiency in managing and maintaining LED billboards. Such research findings are anticipated to bring about a revolutionary advancement in the management of LED billboards.

요 약

본 논문은 영상장치를 이용한 차세대 스마트 LED 전광판의 불량픽셀 검출을 위한 딥러닝 구조 개발에 관한 연구를 제안한다. 이 연구에서는 영상장치를 활용하여 딥러닝을 통해 실외 LED 전광판의 결함을 자동으로 검출하는 기법을 제안한다. 이를 통해 LED 전광판의 효율적인 관리와 발생할 수 있는 다양한 오류와 문제를 해결하고자 한다. 연구 과정은 3단계를 거쳐 이루어진다. 첫 번째로, 평면화된 전광판 이미지 데이터를 calibration을 통해 배경을 완전히 제거하고 필요한 전처리 과정을 거쳐 학습 데이터셋을 생성한다. 두 번째로, 생성된 데이터셋은 객체 인식 네트워크를 학습을 시키는 데 활용된다. 네트워크는 Backbone과 Head로 구성된다. Backbone에서는 CSP-Darknet을 활용하여 특징 맵을 추출하고, Head에서는 추출된 Feature Map을 기반으로 물체를 검출한다. 이 과정에서 네트워크는 Confidence score와 IoU가 일치하도록 오차를 수정하며 지속적으로 학습된다. 세 번째에서는 생성된 모델을 활용하여 실제 실외 LED 전광판에서 불량픽셀을 자동으로 검출한다. 본 논문에서 제안하는 방법을 적용하여 LED 전광판의 불량픽셀 검출에 대한 공인 측정 실험 결과로는 실제 LED 전광판에서 불량픽셀을 100% 검출한 결과를 얻을 수 있었다. 이를 통해 LED 전광판의 불량 관리와 유지보수의 효율성이 향상되었음을 확인할 수 있다. 이러한 연구 결과는 LED 전광판 관리의 획기적인 개선을 이룰 것으로 기대된다.

Key words : Deep Learning, LED Signboard, Visibility, Defective Pixels, Defect Detection, Localization

* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

** SGVISION

★ Corresponding author

E-mail : shlee@cad.hanbat.ac.kr, Tel : +82-42-821-1137

Manuscript received Aug. 14, 2023; revised Sep. 6, 2023; accepted Sep. 13, 2023.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

실외 LED 전광판은 사람들에게 다양하고 형태로 유용한 정보를 전달하지만, 온도, 습도 변화와 여러 원인의 열화 등에 의해 부분적인 불량픽셀이 발생한다. 이로 인해 사람들에게 정확한 정보를 제공하지 못하며, 화질의 열화로 이어진다. 실외 LED 전광판은 도로 위, 건물 위 등 옥외에 설치되어 있고 상시 모니터링이 가능한 인력과 수단이 부족하여 LED의 불량픽셀이 그대로 방치되는 경우가 많다. 따라서 본 논문에서는 현재 사용되고 있는 실외 LED 전광판의 불량픽셀 및 장비 불량 검출 시스템의 단점을 극복하기 위하여, 영상장치를 이용한 차세대 스마트 LED 전광판의 불량픽셀 검출을 위한 딥러닝 구조 개발에 관한 연구를 제안한다. 제안하는 기법은 영상장치를 이용한 딥러닝으로 실외 LED 전광판의 결함을 자동 검출함으로써 사람들에게 정확한 정보를 제공하고 자 한다.

II. 본론

1. LED 전광판 데이터 전처리 및 라벨링

1.1 360° 전방위 IP 카메라를 이용한 이미지 획득 및 LED 전광판 이미지 획득을 위한 전처리

미니 PC를 활용하여 카메라를 제어하고, 360° 전방위 IP 카메라가 1분마다 이미지를 캡처하도록 설정한다. 360° 전방위 IP 카메라는 LED 전광판의 상단보다 1m 높고, 2.75m 전방에 설치되어 LED 전광판의 전체적인 측면을 촬영할 수 있도록 설치한다. 그 후, 이미지 Dewarping[1]을 통해 이미지를 보정하고, 선형보간법을 사용하여 이미지를 변환하여 고화질의 평면 데이터셋을 생성한다.

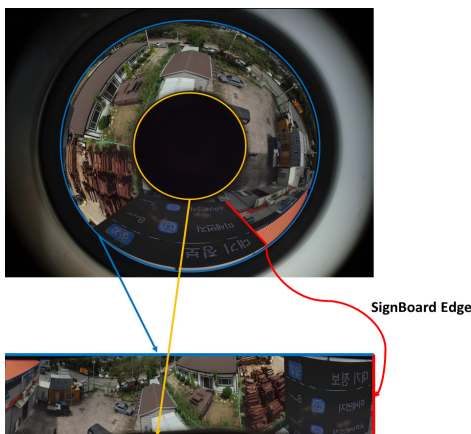


Fig. 1. fish eye image and flattening image.
그림 1. 원형 이미지와 평면화한 이미지

본 연구에서는 효율적인 불량 픽셀 검출을 위해 전체 사진에서 전광판 부분만을 따로 추출하여 학습 과정에 활용하였다. 그림 1은 원형 이미지와 평면화한 이미지를 나타낸다.

1.2 딥러닝 학습을 위한 라벨링

python에서 라벨링을 위해 제공하는 labelingm 라이브러리를 사용하여 불량픽셀이 있는 이미지에서 그림 4와 같이 불량픽셀을 표시하며 라벨링을 진행하여 라벨링된 Pixel의 위치 정보를 txt 파일로 저장한다. 그림 2는 불량 픽셀의 인식을 위한 라벨링의 예시 이미지이다.

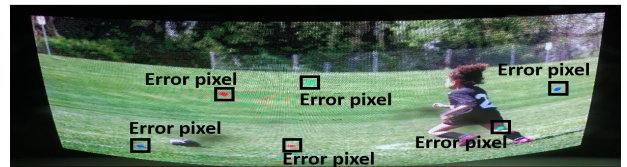


Fig. 2. Labeling example image for error pixel recognition.
그림 2. 불량픽셀 인식을 위한 라벨링 예시 이미지

2. 불량픽셀 검출을 위한 딥러닝 네트워크 구조 설계

본 논문에서 제안하는 영상장치를 이용한 차세대 스마트 LED 전광판의 불량픽셀 검출을 위한 딥러닝 구조는 그림 3과 같은 과정을 거쳐 학습을 진행한다.

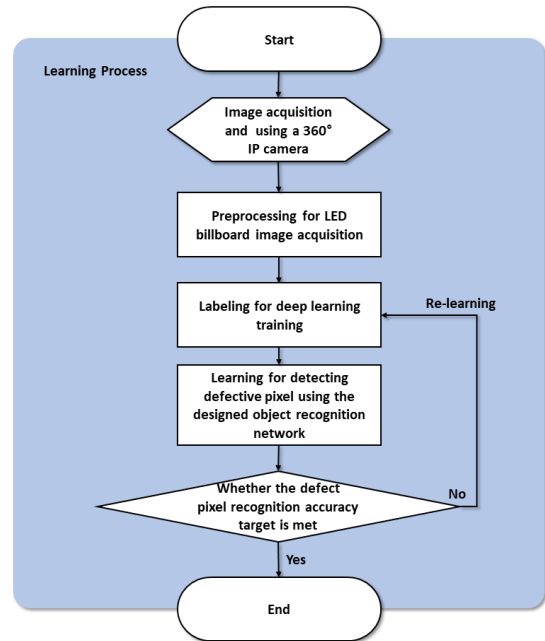


Fig. 3. Learning process of Deep Learning network.
그림 3. 딥러닝 네트워크의 학습 과정

본 논문에서는 원형 이미지를 평면 이미지로 변환하였기 때문에 왜곡이 발생하는데, 이로 인해 전광판이 검출

되더라도 약간의 배경이 남을 수 있다. 배경이 함께 포함되면 배경 부분이 불량픽셀로 오해될 수 있기 때문에 calibration을 통해 미세한 배경까지 제거한다. 전광판으로만 채워진 이미지 데이터셋이 완성되면, 연산 부하를 줄이고 특징을 보존하기 위해 640×640 크기로 resize한 후 이미지 정규화를 진행한다. 본 논문에서 활용한 불량픽셀 검출 네트워크는 크게 Backbone과 Head로 구성되어 있다. Backbone은 CSPDarknet[2]을 사용하여 Feature Map을 추출하고, 이를 기반으로 Head에서 물체 검출을 수행한다. 이 구조는 Confidence score와 IoU (Intersection over Union)[3]를 일치시키기 위해 오차를 조정하며 지속적으로 네트워크를 학습시키는 것이다. 그림 4는 본 논문에서 사용된 객체 검출 네트워크 구조를 나타낸다.

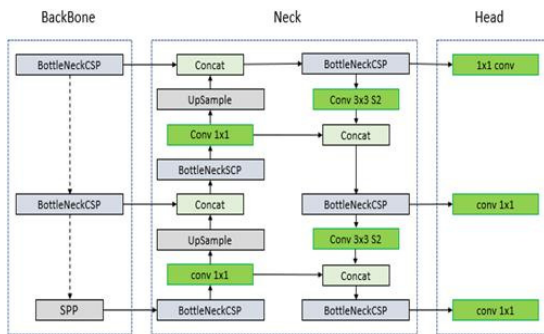


Fig. 4. Object detection network structure used in this paper.

그림 4. 본 논문에서 사용된 객체 검출 네트워크 구조

먼저, Backbone은 입력받은 640×640 크기의 이미지를 resize한 후, CSP-Darknet을 사용하여 Feature map을 추출하는 역할을 한다. Head는 추출된 Feature map을 기반으로 물체를 검출하는 부분이다. 그림 5와 같이, Backbone은 Bottleneck CSP[4]를 활용하여 구성되며, 큰 특징부터 작은 특징까지 단계적으로 여러 개의 Feature map을 추출한다. 마지막으로, 공간 피라미드 Pooling을 통해 1차원 형태의 배열을 출력한다.

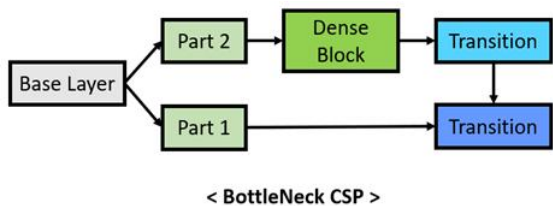


Fig. 5. Structural diagram of BottleneckCSP, the core structure of Backbone.

그림 5. Backbone의 핵심 구조인 BottleneckCSP의 구조도

Backbone에서 추출된 Feature map은 정확한 검출을 위해 Neck 부분에서 정제되는 과정을 거친다. Neck에서의 Feature map 변형 과정은 다음과 같다. Backbone에서 추출된 작은 Feature map부터 UpSampling을 하여 초기에 검출된 Feature map들까지 Concat[5]하여 다시 여러 개의 Feature map을 생성한다. 생성된 Feature map은 다시 한번 Convolution layer[6]와 Bottleneck CSP를 이용하여 Head 부분에서 검출을 위한 정제된 Feature map을 추출한다. Neck 부분을 통해 Feature map이 정제되며, 이를 기반으로 Head 부분에서 검출을 수행한다. 입력받은 이미지는 S×S 그리드로 나누어지며, 각 그리드 셀과 Bbox에 대한 신뢰도를 예측한다. 이후, Pr(Probability of Presence)과 IoU의 값을 곱하여 Confidence score[7]를 계산한다. Pr은 셀 내에 물체가 존재할 확률로, Confidence score가 IoU와 일치하도록 오차를 수정해 나아간다. 이러한 과정을 통해 물체 검출을 수행한다. 그림 6은 IoU를 계산하는 과정을 시각적으로 나타낸 것이다.

$$IoU = \frac{\text{area of overlap}}{\text{area of union}} = \frac{\text{Red Area}}{\text{Blue Area}}$$

The diagram shows two overlapping squares: a red one on top and a blue one on the bottom. The overlapping region is shaded, illustrating the 'area of overlap' and 'area of union' used in the IoU formula.

Fig. 6. Schematic of IoU calculations.

그림 6. IoU 계산의 도식화

객체의 클래스를 결정하기 위한 절차는 다음과 같다. 본 논문에서는 인코딩된 결과 텐서의 클래스 점수를 추출하여 클래스 확률 맵을 생성하고, Bounding Box를 비교하여 클래스의 적합성을 평가한다. 이 방법은 Confidence Class probability와 신뢰도 점수를 곱하여 클래스 특정

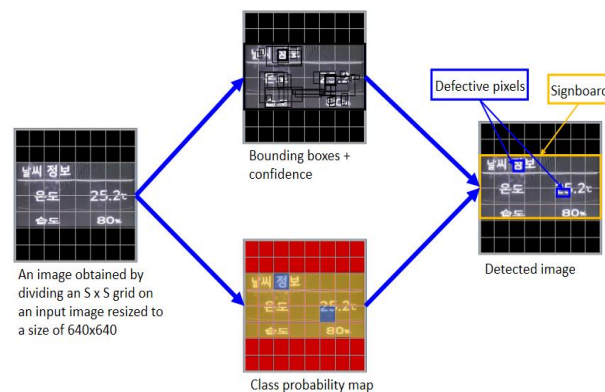


Fig. 7. Overall flow diagram of defective pixel detection process.

그림 7. 불량픽셀 검출 과정에 대한 전체 흐름도

신뢰도 점수를 계산하는데, 이 값이 1에 가까워질수록 해당 클래스의 적합성이 높음을 의미한다. 마지막으로, Bounding Box가 그려진 이미지와 클래스에 대한 확률 맵의 위치를 비교하여 검출한 객체의 클래스를 식별한다. 그림 7은 이 논문에서 사용하는 딥러닝 네트워크의 불량 픽셀 검출 과정을 전체적으로 나타낸 플로우 차트를 보여준다.

3. 성능 실험

3.1 실험 방법

본 연구에서는 제안한 실외 LED 전광판의 불량픽셀 검출 능력을 평가하기 위해, 공인 시험 평가기관에서 실제 LED 전광판에 불량픽셀을 시뮬레이션하고 이를 카메라로 감지하는 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 학습 데이터셋은 4M×2M 크기의 3840×2160 픽셀을 가진 LED 전광판에 불량픽셀이 2~8개가 있는 그림 이미지를 250장과 글자 이미지 250장을 나누어 업로드하고 360° IP 카메라를 활용하여 촬영한 후 결측값을 제외하고 직접적으로 라벨링하여 구성되었다. 본 논문에서 사용된 데이터셋의 이미지는 그림 8과 같다. 또한, 본 논문에서 제안한 불량픽셀 검출 방법의 정확성을 평가하기 위해 공인 시험 평가기관에서 실험환경의 테스트베드를 구축하였다. 이 테스트베드는 그림 9와 같이 구성되었으며, 제안된 방법을 적용하여 실제로 LED 전광판의 불량픽셀을 검출하는 실험을 실시하였다.

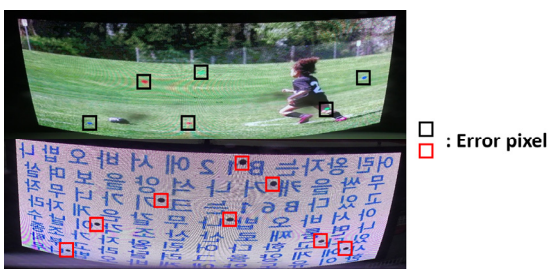


Fig. 8. Image used in dataset.
그림 8. 데이터셋에 활용된 이미지



Fig. 9. Test bed of test environment.
그림 9. 시험환경의 테스트 베드

3.2 실험 결과

공인 시험 평가기관에서 LED 전광판에 불량픽셀을 가 정하여 픽셀이 꺼진 이미지를 띄워 판별하는 방식으로 실험을 진행하여 전체 불량픽셀 수 대비 검출된 불량픽셀 수를 비율로 나타내었다. 평가하는 검출률 지표에서, 표 1과 같이 전광판의 불량 LED 및 표시되는 출력 문자의 오류를 실시간으로 영상장치가 인식 및 분석할 수 있는 것에 대하여 실시간 불량픽셀을 검출함으로써 적합 판정을 달성하였다. 불량픽셀 검출 정확도는 360° 카메라로 촬영한 불량픽셀이 있는 글자 이미지 총 8장에 대한 50번의 실험 결과, 100%의 정확도를 달성하였다. 이로써 본 논문에서 제안한 방법을 활용하여 실외 LED 전광판의 불량 픽셀을 검출하는 성능이 우수함을 확인할 수 있었다. 실험 결과에 따르면 제안된 방법은 LED 전광판 내에 있는 모든 불량픽셀을 효과적으로 검출할 수 있음을 명확히 확인하였다. 표 1은 본 논문에서 제안하는 기법을 적용한 불량픽셀 검출의 실험 결과를 나타낸다.

Table 1. Error pixel detection experiment results using the technique proposed in this paper.

표 1. 본 논문에서 제안하는 기법을 적용한 불량픽셀 검출 실험 결과

Test Conditions	Test Method	Result
Recognition of output errors	- Real-time detection of defective pixels of characters	Adequate
	- Recognition accuracy exceeds 95% while repeating the test 50 times.	100%

- ※ 다수의 전광판이 결합된 전체 크기의 전광판으로 시험 환경을 구성하기에 제약이 있어 최소 단위의 전광판만 시험에 사용함
- ※ 실제 출력되는 전광판의 문자를 인식하는 상황을 별도의 모니터에 불량픽셀 이미지를 표시하여 시험을 대체함

III. 결론

본 논문은 현재 LED 전광판의 불량픽셀 검출 시스템의 한계를 극복하기 위해, 영상장치를 이용한 차세대 스마트 LED 전광판의 불량픽셀 검출을 위한 딥러닝 구조 개발에 대한 연구를 제안하였다. 제안하는 방법은 영상 장치를 활용하여 실외 LED 전광판의 결함을 자동으로 감지하는 딥러닝 기반 시스템을 개발하였다. 본 연구에서 제안한 차세대 스마트 LED 불량픽셀 검출 시스템은 LED 모듈의 결함 여부를 실시간으로 자동으로 감지하고 확인함으로써, 다양한 오류와 민원 문제를 해소하는 데 기여할 것이다. 공인 시험 기관의 평가 결과로는 제안한

방법을 적용하여 실외 LED 전광판의 불량픽셀을 100% 정확도로 검출함을 확인하였다. 향후 연구과제로는 실제 환경에서 다양한 크기와 모델의 전광판에도 효과적으로 작동할 수 있도록, 다양한 상황의 전광판과 불량픽셀 이미지 데이터셋을 수집하여 추가 학습과 IP 카메라가 부재한 LED 전광판에서도 화면의 영상 이미지를 획득하거나 전광판의 불량픽셀을 검출하는 방안을 고려할 필요가 있을 것으로 사료된다.

References

- [1] J. Guan, et al. "Fish-eye image correction based on inverse perspective mapping and polynomial fitting," *In International Conference on Image Analysis and Recognition (ICIAR)*, 2015.
- [2] Wang, Chien-Yao, et al. "CSPDarknet53: Lightweight backbone based on CSPNet," arXiv preprint arXiv:1812.08234, 2018.
- [3] Everingham, Mark, et al. "The Pascal Visual Object Classes (VOC) challenge," *International Journal of Computer Vision*, Vol.88, No.2, pp. 303-338, 2010. DOI: 10.1007/s11263-009-0275-4
- [4] Wang, Chien-Yao, et al. "CSPNet: A new backbone that can enhance learning capability of cnn," *In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2019. DOI: 10.48550/arXiv.1911.11929
- [5] Chen, Liang-Chieh, et al. "Mxnet: A flexible and efficient machine learning library for heterogeneous distributed systems," arXiv preprint arXiv:1512.01274, 2015.
- [6] Zheng, S., Jayasumana, S., Romera-Paredes, B., Vineet, V., Su, Z., Du, D., ... & Torr, P. H. "Conditional Random Fields as Recurrent Neural Networks," *In Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV)*, 2015. DOI: 10.1109/ICCV.2015.179
- [7] Redmon, J., & Divvala, S. "You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection," *In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016. DOI: 10.48550/arXiv.1506.02640