

Super-resolution기반 도로면 손상 인식 기술

Road Surface Damage Recognition Technology based on Super-resolution

김형규¹, 박준태^{2*}

Hyung-Kyu Kim¹, Jun-tae Park^{2*}

요 약

도로노면상태는 교통량·중차량의 증가, 기상(습기·결빙 등)환경적 영향 등으로 시간이 지남에 따라 저하된다. 도로면 손상시 신속한 보수가 요구되지만, 현재는 인력중심의 업무가 진행되고 있어, AI기술을 접목한 자동화가 필요한 시점이다. AI기반 손상 검지 기술은 고가의 단말장치 및 분석시스템이 사용되고 있다. 이는 민간부문 및 도로관리청의 활용성 측면에서 보다 범용적이고 간편한 기술로 개선되어야 할 필요성이 있다. 과거 연구에서도 유사한 목적으로 연구가 진행되었지만, 영상수집장치의 한계로 인하여 실용성이 떨어지는 문제가 있었다. 본 연구에서는 블랙박스 영상을 이용한 도로면 손상 기술의 고도화를 위하여 Super-resolution 기반의 초해상화 기술을 접목하여 개선하고자 한다. 우선 객체인식을 위한 도로면 손상을 정의하고, 이미지 정제 기법을 통해 전처리된 이미지를 기반으로 딥러닝 기반 도로 이상상태 식별 기호 프레임과 딥러닝 기반 영상정보 추적 성능 검증을 수행하였다. 연구 수행결과, 블랙박스 영상의 초해상화 성공률은 91.3%로 우수하게 나타났다. 도로면 손상 식별 기호 프레임 제작 결과, 평균 19.2fps 속도를 나타내어 안정화 작업시 향후 현장적용이 가능할 것으로 판단된다.

핵심어 : 고해상화, 도로면, 포트홀, 노면 불량, 영상인식

Abstract

The condition of road surfaces deteriorates over time due to factors such as increased traffic volume, heavy vehicles, weather conditions (moisture, freezing, etc.), and environmental influences. Prompt maintenance is required when road surfaces are damaged, but currently, labor-intensive work is being carried out, highlighting the need for automation with AI technology. AI-based damage detection technology currently involves the use of expensive terminal devices and analysis systems. There is a need to improve its versatility and simplicity in terms of applicability in both the private sector and road management agencies. Previous research has been conducted for similar purposes, but practicality has been limited due to the limitations of image acquisition devices. In this study, we aim to enhance road surface damage

1 Department of Highway and Transportation Research, KICT, Gyeonggi-do, Korea [Senior Researcher]
e-mail: hyoungkyukim@kict.re.kr

2 Transportation & Systems Engineering Graduate School of Transportation, KNUT [Research Professor]
e-mail: skryu@kict.re.kr (Corresponding author)

* 본 연구는 과학기술정보통신부 한국건설기술연구원 연구운영비지원(주요사업)사업으로 수행되었습니다 (과제번호 20230152-001, 미래교통 스마트 인프라 핵심기술개발).

Received(September 11, 2023), Review Result(1st: September 30, 2023), Accepted(October 13, 2023), Published(October 31, 2023)



© 2023 The Authors. Published by NCISS.
This is an open access article licensed under the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.
To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>.

detection using black box video footage by incorporating super-resolution technology. First, we define road surface damage for object recognition and perform deep learning-based identification of basic frames for road anomaly detection and performance validation of deep learning-based image information tracking based on preprocessed images using image refinement techniques. As a result of the research, the success rate of super-resolution for black box video footage was excellent at 91.3%. Regarding the production of basic frames for road surface damage identification, it was determined that an average speed of 19.2 fps is achievable, making it possible for future on-site applications during stabilization work.

Keyword : Super-resolution, road surface, pothole, road surface defects, image recognition.

1. 서론

도로노면상태는 교통량·중차량의 증가, 기상(습기·결빙 등)환경적 영향 등으로 시간이 지남에 따라 저하된다 [1]. 주요 도로포장 이상상태로는 도로포장의 갈라짐(Crack), 차선의 손상 및 지워짐(Lane Faulty), 포트홀(Potholes), 물고임(Ponding) 등으로 나타나고 있으며 도로이용자의 안전 및 주행쾌적성 담보, 차량의 파손 및 유지보수의 확대 예방을 위해 신속한 보수가 요구된다 [2][3].

기존 도로면 손상에 대한 검지기기술은 고해상도특수 카메라로 촬영된 영상 또는 이미지를 활용하여 실제 현장에 배치하여 운영하기에는 현실성 및 실효성이 낮다. 이에 검지기기술 구현의 현실성 및 실효성 향상을 위해, 기존 차량에 많이 보급되어 있는 블랙박스와 같은 영상촬영 기기로도 이상상태를 검지할 수 있는 방법 모색이 필요하며 이는 검지 신속성 및 유지보수 업무 효율에 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.



(a) 블랙박스 VGA 화질



(b) 블랙박스 HD 화질

[그림 1] 블랙박스 화질에 따른 선명도

[Fig. 1] Clarity based on black box image quality.

기존 손상 검지기기술은 고가의 단말장치 및 분석시스템이 사용되고 있다. 이는 민간부문 및 도로관리청의 활용성 측면에서 보다 범용적이고 간편한 기술로 개선되어야 할 필요성이 있다. 범용성 측면에서 대부분의 차량에 장착된 블랙박스 영상을 이용하는 것이 효과적이거나, [그림 1]과 같이

VGA(150만 화소, 640*480)화질로 인하여 인식 범위와 정확도가 감소하는 문제가 있다. 현장의 저화질 영상을 고화질로 수집하기 위하여 모든 차량에 고화질의 영상장비를 구입 설치 운영하기에는 비용이 과다 발생하기 때문에 기존 블랙박스 영상을 이용할 수밖에 없는 상황이다.

영상인식 이전 저화질의 블랙박스 영상을 고화질로 전환시킬 필요가 있으며, 본 연구에서는 Super-resolution 기반의 초해상화 기술을 접목하여 개선하고자 한다. 우선 객체인식을 위한 도로면 손상을 정의하고, 이미지 정제 기법을 통해 전처리된 이미지를 기반으로 딥러닝 기반 도로 이상상태 식별 기초 프레임과 딥러닝 기반 영상정보 추적 성능 검증을 수행하였다.

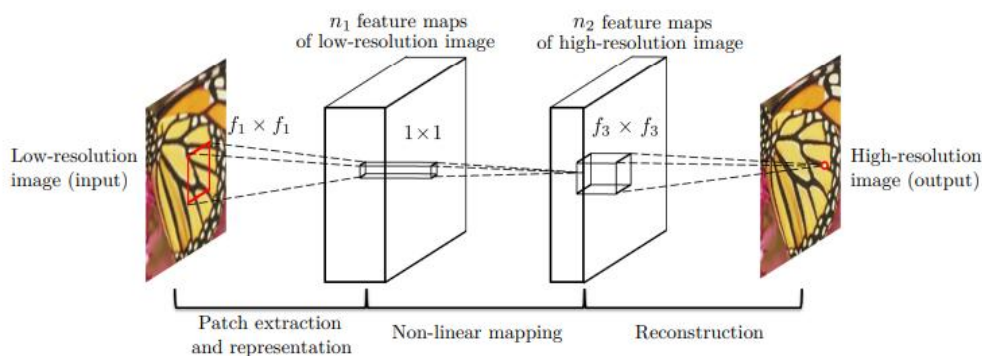
2. 기존 문헌 고찰

2.1 도로 이상상태 정제 기법 조사

상용 영상 촬영기기를 차량에 부착하여 도로 이상상태를 측정하기 위해서는 영상에 대한 이미지 정제(초해상화) 기법이 필요하며, 기존 블랙박스와 같은 상용 영상 촬영기기는 도로면 손상을 정확하게 탐지하기에는 화질이 높지 않다. 본 연구에서는 도로면 손상을 식별하기 전에 초해상화를 통해 보다 좋은 화질을 생성하고자 하며, 이와 관련된 정제 기법을 분석하였다.

2.1.1 SRCNN 알고리즘

Single Image Super Resolution은 Low Resolution Image(저해상도) 이미지를 High Resolution(고해상도)으로 생성 또는 복구하는 것을 의미한다. [그림 2]는 SRCNN 고해상화 과정으로, 고해상화 과정은 3단계 작업을 통해 진행된다. 첫번째 과정은 패치추출 및 표현과정으로, 저해상도 이미지 Y에서 패치를 추출하고 각각의 벡터를 세팅한다. 두 번째 과정으로 비선형 매핑을 통해 각차원 벡터를 다른 고차원 벡터로 매핑한다. 세 번째 과정으로 각각의 벡터 매핑값을 재구성한다 [4].



[그림 2] SRCNN 고해상화 과정

[Fig. 2] Process of SRCNN Super-Resolution

2.1.2 ESRGAN 알고리즘

ESRGAN은 GAN 기반 모델과 학습데이터셋이 부족한 경우 사용되는 경우가 많으나, 불충분한 데이터로 인한 과적합이 발생할 있다. 이를 개선하기 위하여 전이 학습을 사용하여 목표 이미지가 부족한 상태에서 ESRGAN을 훈련하며, 공개 데이터셋인 ImageNet에 대해 사전 훈련된 기본 모델을 적용한다 [5]. 데이터 처리는 저해상도 이미지와 고해상도 이미지 쌍을 훈련 샘플로 사용하여 학습하는데, 도로면 파손 이미지의 경우 학습에 필요한 절대적인 양이 부족하기 때문에 ESRGAN 방식이 적합하다.

2.1.3 Real-ESRGAN 알고리즘

저해상도 이미지를 복원하는 Blind super-resolution 연구 분야에서 제시된 방법으로 현재 가장 성능이 좋다고 평가받는 모델에는 Real-ESRGAN이 존재한다. 고차 저하(high-order degradation) 모델 프로세스를 통해 복잡하고 현실적인 저하 방법을 구현함과 동시에 합성 단계에서 ringing과 overshoot artifact에 대해서도 고려된 것으로 알려져 있다 [6]. Spectral normalization을 포함하는 U-Net discriminator를 통해 discriminator의 성능을 향상하고 훈련의 안전성을 높이며 광범위한 비교를 통해 제안한 모델로 성능이 시각적 우위에 있다고 판단된다.

2.2 도로면 파손 식별 연구 조사

도로 상태 감지 기술로 국내 일반적인 동향은 검지차량을 이용하여 도로 상태를 분석하는 방식이다. 탐지 차량에 장착된 단말기에서 탐지된 도로 이상 정보(포트홀)에 대한 실시간 수집이 가능하며 수집된 GPS 위도, 경도, 탐지주소, 일시, 크기, 속도, 방향 등이 DB에 저장된다. 또한 차량 내에 블랙박스과 비슷한 형태로 거치된 스마트폰과 유사한 단말기를 활용하여 노면 파손 정보를 수집하는 기술이 있으며 개발된 기술은 카메라를 활용하여 딥러닝 기반으로 분석하고 GPS 정보와 함께 서버로 전송되어 실시간으로 노면파손 정보를 수집한다 [7].

반면 탐지 디바이스 및 다수의 수집서버와 관제 프로그램 등이 필요하며 포트홀 분석에 한정되어 활용 효율성측면의 간소화된 분석기술이 요구된다.

도로 이상상태에 식별 다양한 알고리즘 기술이 활용되고 있으며 양상블 학습을 사용한 도로손상 감지, Mask R-CNN을 사용한 이상상태 감지 등 딥러닝을 활용한 식별 모델이 주를 이루고 있다. 모델에서는 Mask R-CNN이 주로 사용되고 있으며, 이를 제외한 모델로는 YOLOv3, Mobilenet-SSD, Tiny-YOLOv2 등이 있다. 모델 대부분은 Object Segmentation 및 Object Detection 기술이 활용되고 있다 [8].

또한 Augmentation을 통한 학습효과 향상을 위하여, 이미지 전처리방법이 응용되고 있으며, 이를 통해 다양한 환경에서도 보다 우수한 모델을 생성되고 있다 [9].

3. 이미지 초해상화 기술 개발

3.1 이미지 초해상화 모델 학습 프로세스

3.1.1 이미지 초해상화 알고리즘

도로 이상상태 식별 및 차선 인식 예측을 위해 딥러닝 모델 사용 시 학습용 데이터의 해상도가 낮을 경우 모델이 영상의 특징을 다양하게 학습하지 못하는 정확도 문제점이 따른다. 이에 학습 데이터를 고화질 영상으로 정제하기 위해 딥러닝 기반의 초해상화 기술 적용이 필요하며 우선적으로 저화질 영상을 고화질로 변환하기 위한 초해상화 알고리즘 개발을 통해 딥러닝 기반 영상 초해상 시제품을 개발하였다.

초해상화 기법으로 SRCNN, SRGAN, ESRGAN, Real-ESRGAN 등의 알고리즘이 있다. [그림 3]은 SRGAN, ESRGAN, Real-ESRGAN 기법 적용 예시이다. SRGAN, ESRGAN 등의 알고리즘에서 사용하는 열화 기법은 단순 Bicubic을 통한 저해상도 이미지를 생성하는 것으로 복잡하고 알 수 없는 열화를 복원할 수 없는 한계점이 있다. Real-ESRGAN은 여러 열화를 중첩하는 High Order Degradation을 통해 복합적 열화에 대한 우수한 성능을 보이는 알고리즘으로 본 연구에서는 Real-ESRGAN 알고리즘을 사용하였다.



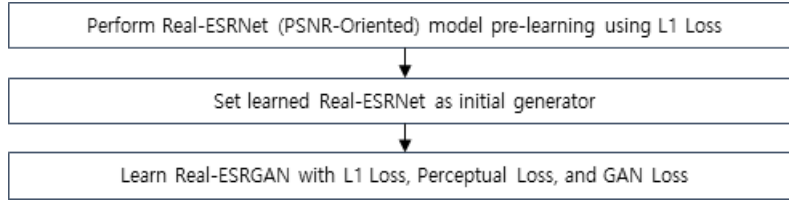
[그림 3] 초생화 알고리즘 비교

[Fig. 3] Comparison of super-resolution algorithms

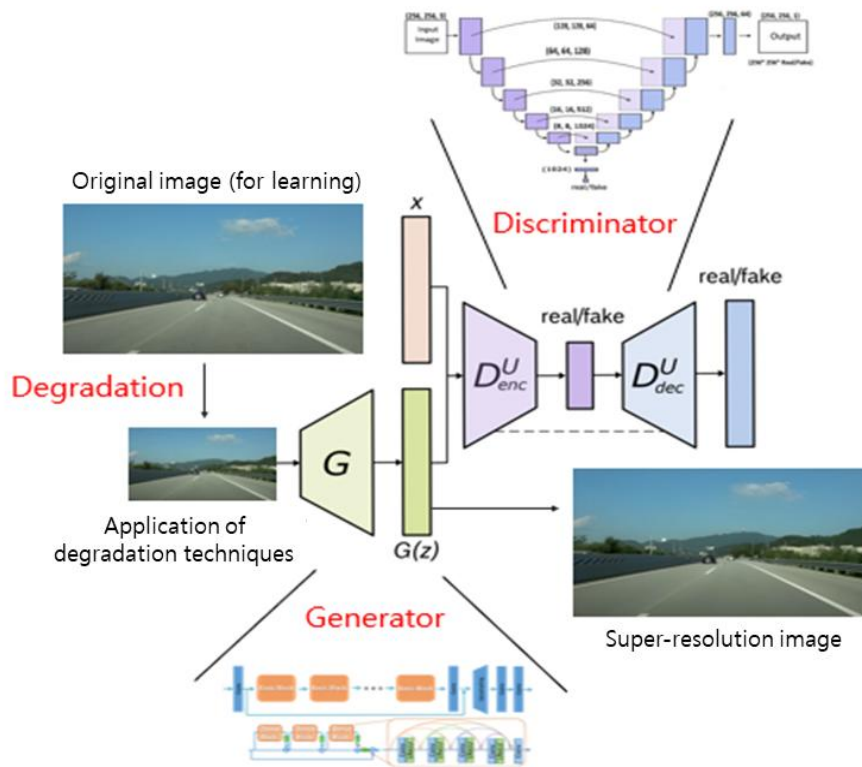
이미지 초해상화 모델 학습은 단계적 과정을 통해 수행하였다. 고품질 고해상도 영상을 생성하기 위해 ResNet에 Sub-Pixel Convolution 및 RRDB(Residual In Residual Dense Block)이 적용된 네트워크를 Generator로 사용하고 연산의 효율성을 높이기 위해 RRDB의 입력 Layer에서 다중 해상도를 입력받을 때 Feature Map의 크기를 줄이고 채널을 늘리는 Pixel Unshuffle 기법을 적용하였다.

또한 폭 넓은 열화를 가진 저해상도 영상을 복원하기 위해 Skip-Connection 기법이 적용된 U-Net

을 Discriminator로 사용하고 기존 U-Net 기반 Discriminator는 복합적인 열화 복원에 적합하지 않으므로 스펙트럼 정규화기법(Spectral Normalization Regularization)을 추가 적용하였다. 다음 [그림 4]와 학습 과정을 나타내었으며, [그림 5]는 전체 알고리즘의 개념도이다.



[그림 4] Super-resolution 학습 과정
[Fig. 4] Process of super-resolution learning



[그림 5] 알고리즘 개념도
[Fig. 5] Conceptual diagram of algorithm

3.1.2 성능 검증

열화 후 초해상화 모델을 이용하여 고화질로 변환하는 과정을 통해 원본 영상과의 PSNR(Peak Signal to Noise Ratio) 및 SSIM(Structural Similarity Index Map)을 측정하여 복원 성능을 검증하였다. PSNR은 영상의 저장, 전송, 압축 등으로 인해 데이터가 열화되는 정도를 평가하기 위해 서로 다른 화질의 데이터 간의 픽셀값을 비교하는 지표로 사용되고 있다. SSIM 지표는 단순 픽셀값만 비교·평가하는 PSNR 보완을 위해 영상을 구성하는 주요 속성을 비교하여 영상 품질 평가가 가능하다 [10].

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX_I^2}{MSE} \right) \quad (1)$$

$$MSE = \frac{\sum_{M,N} [I_1(m,n) - I_2(m,n)]^2}{M \times N}$$

Where, I1 and I2 denotes image information(M×N)

$$SSIM(x,y) = [l(x,y)]^\alpha \cdot [c(x,y)]^\beta \cdot [s(x,y)]^\gamma \quad (2)$$

Where, l denotes luminance, c denotes contrast, s denotes structural

[표 1]은 Super-resolution 초해상화 결과, Real-ESRGAN의 성능이 0.91로 가장 높게 나타났다.

[표 1] Super-resolution 성능 결과

[Table 1] Results of super-resolution performance

Classification	PSNR	SSIM
Real-ESRGAN	28.24	0.9132
CAR	32.21	0.8794
FxSR-PD t=0.0	29.15	0.8271
PixelRL-SR	27.92	0.8098
FxSR-PD t=0.8	27.16	0.7853

4. 도로면 손상 식별 기초 프레임 개발

4.1 도로면 손상 정의

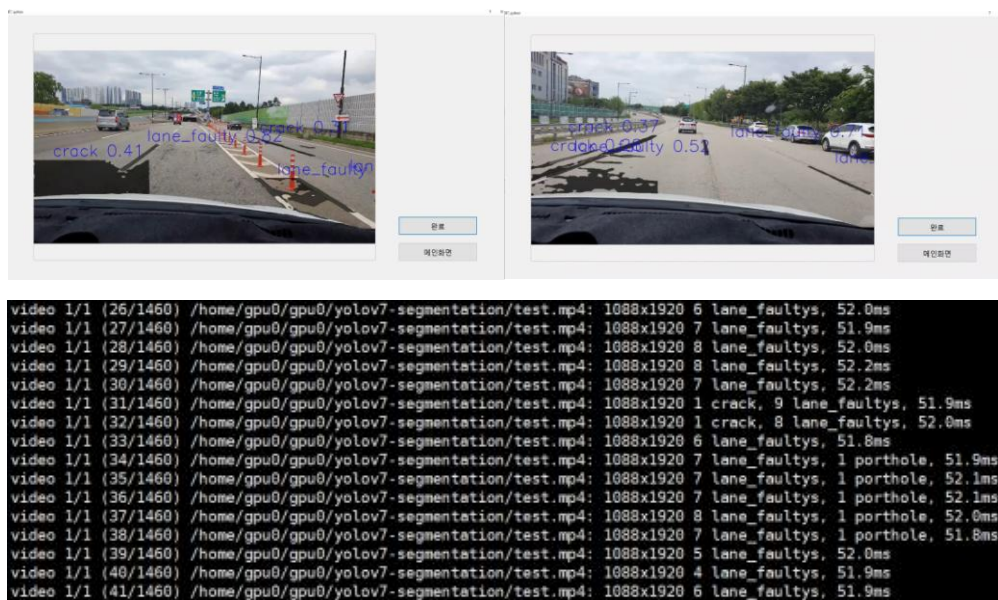
도로면 손상 상태에 대한 정의를 조사한 결과, 선행연구들에서는 다음과 같이 도로면 파손을 분류 하고 정의하고 있다. 선행 연구들의 데이터 수집 경로는 직접 라벨링을 통해 진행되었으며, 본 과업에서는 기존 선행 연구들을 참고하여 Crack, Lane Faulty, Potholes, Ponding 총 4 가지에 대한 이상상태를 식별하였다. Crack은 도로 포장에 갈라진 부분을 의미하며, Lane Faulty는 노면표시가

지워지거나 손상된 차선을 의미한다. Potholes은 도로 포장에 움푹 파여 있는 부분이며, Ponding은 움푹 파여 있는 부분에 물이 고인 경우를 의미한다.

4.2 도로면 손상 식별 기초 프레임

도로면 손상 식별 알고리즘의 기초 프레임 제작을 위해 실시간성을 강점으로 하는 YOLO 계열의 모델을 적용하였으며, 최근 연구로 발표된 YOLO v7의 경우 가장 높은 성능을 지니고 있기 때문에 본 연구에서는 YOLO v7의 가중치를 사용하였다. [그림 6]은 프레임 제작 예시이다.

모델링에 사용되는 데이터는 블랙박스를 통해 수집된 영상 데이터를 라벨링 인력을 통해 직접 라벨링하여 본 과업의 데이터로 활용하였다. 도로면 손상 식별 알고리즘은 평균 19.2fps 속도를 갖고 있으며, 이는 본 연구에서 목표한 실시간성을 일부 만족하는 것으로 판단된다. 추후 TensorRT 변환을 통한 모델 최적화 과정을 진행할 경우 실시간성 기준으로 볼 수 있는 30fps를 만족할 것으로 기대된다.



[그림 6] 도로면 손상 식별 기초 프레임 제작 결과

[Fig. 6] Result of road surface damage identification foundation frame production

4. 결론

본 연구는 기존 도로면 손상 인식 기술의 실용화를 위한 현황문제를 개선하는 것을 목적으로

이미지 초해상화, 도로면 손상 식별 기초 프레임을 개발하였다. 이미지 정제 알고리즘의 달성 목표는 이미지 정제 성공률 90% 이상으로, SSIM 검증결과 91.32%의 정제 성공률을 나타냈다.

AI 모델의 학습성능을 향상시킬 수 있도록 레이블링 데이터의 경우 1분 영상 클립 1800개 수집, 레이블링 데이터 707개를 사용하였으며, 그에 따른 도로면 손상 식별 기초 프레임의 성능이 향상되었음을 확인하였다. 향후 기술의 확장성을 위해서는 악조건시의 식별률 향상이 필요하며, 이를 위해서는 도로면 손상 유형별로 데이터셋의 불균형이 존재하며, 크랙같은 경우에 데이터셋 확보가 용이하지만 배수불량, 포트홀 등은 상대적으로 데이터셋 확보가 어려운 점이 많아 VR을 통해 데이터셋을 생성하는 등 연구가 동반되어야 한다.

기술개발이 동반될 경우 실시간 도로위험정보 제공, 도로유지관리 자동화 등 도로교통분야의 AI 기술 고도화로 유지보수 분야의 서비스 종류 및 품질을 확대할 수 있으며, 이를 통해 국토부, EX, 지자체 등 도로관리기관의 효율적인 유지관리체계 구축을 위한 기틀을 마련할 수 있다.

또한, 영상 이미지 전처리 분야에서도 이를 응용하여 도로 안전성 확보, 자율협력주행 안전성 향상의 효과를 제고할 수 있다.

References

- [1] Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, "Final-Report of the National Highway Pavement Management System 2020", codil.or.kr, <https://www.codil.or.kr/viewDtlConRpt.do?gubun=rpt&pMetaCode=OTKCRK220254>, (accessed August 5, 2023).
- [2] C. Chun, S. K. Ryu, "Road surface damage detection using fully convolutional neural networks and semi-supervised learning", *Sensors*, vol. 19, no. 24, December 2019, pp. 5501, doi: 10.3390/s19245501.
- [3] S. Shim, "Detection Algorithm of Road Surface Damage Using Adversarial Learning. The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transportation Systems*, vol. 20, no. 4, August 2021, pp. 95-105. doi: 10.12815/kits.2021.20.4.95.
- [4] C. Dong, C. C. Loy, K. He, X. Tang, "Learning a Deep Convolutional Network for Image Super-Resolution", 13th European Conference of Computer Vision(ECCV 2014), Zurich, Switzerland, September 6-12, 2014, pp. 184-199, doi: 10.1007/978-3-319-10593-2_13.
- [5] J. Wen, Y. Shi, X. Zhou, Y. Xue, "Crop disease classification on inadequate low-resolution target images", *Sensors*, vol. 20, no. 16, August 2020, pp. 4601, doi: 10.3390/s20164601.
- [6] Z. Sun, C. K. Ng, "Finetuned super-resolution generative adversarial network (artificial intelligence) model for calcium deblooming in coronary computed tomography angiography", *Journal of Personalized Medicine*, vol. 12, no. 9, August 2022, pp. 1354, doi: 10.3390/jpm12091354.
- [7] G. Ochoa-Ruiz, A. A. Angulo-Murillo, A. Ochoa-Zezzatti, L. Aguilar-Lobo, J. A. Vega-Fernández, S. Natraj, "An asphalt damage dataset and detection system based on retinanet for road conditions assessment". *Applied sciences*, vol. 10, no. 11, June 2020, pp. 3974, doi: 10.3390/app10113974.

- [8] H. Vokhidov, H. G. Hong, J. K. Kang, T. M. Hoang, K. R. Park, "Recognition of damaged arrow-road markings by visible light camera sensor based on convolutional neural network", *Sensors*, vol. 16, no. 12, December 2016, pp. 2160, doi: 10.3390/s16122160.
- [9] T. Lee, C. Chun, S. K. Ryu, "Detection of road-surface anomalies using a smartphone camera and accelerometer", *Sensors*, vol. 21, no. 2, January 2021, pp. 561, doi: 10.3390/s21020561.
- [10] J. Korhonen, J. You, "Peak signal-to-noise ratio revisited: Is simple beautiful?", 2012 Fourth International Workshop on Quality of Multimedia Experience, July 5-7, 2012, Melbourne, Australia, pp. 37-38, doi: 10.1109/QoMEX.2012.6263880.