

Self-Attention GAN 기반 강판 표면 결함 가상 데이터 생성 방법에 관한 연구

이원준, 봉선종, 지수영*

과학기술연합대학원대학교, *한국전자통신연구원
{wjdnjswns, sunjong}@ust.ac.kr, *chisy@etri.re.kr

Self-Attention GAN based Steel Sheet Surface Defect Synthetic Data Generation Method

Wonjun Lee, Sunjong Bong, Su Young Chi*

University of Science and Technology, *Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

철강은 건설, 자동차 및 항공 산업을 포함한 다양한 산업에서 필수적인 소재이다. 하지만 철강 제조 공정에서 발생하는 표면 결함은 제품의 손상과 경제적 손실을 초래한다. 이를 해결하기 위해 딥러닝 기반 알고리즘을 활용하여 표면 결함을 탐지하는 연구들이 수행되어 왔으나 산업현장의 데이터 부족 및 불균형 문제로 딥러닝 학습에 한계가 존재한다. 이에 본 논문에서는 Self-Attention GAN 기반으로 딥러닝 학습을 위한 강판 표면 결함 가상 데이터를 생성하고 정성적으로 평가한다.

I. 서 론

본 논문은 Self-Attention GAN을 기반으로 강판 표면 결함의 가상 이미지 생성 방법을 제안한다. 철강은 철과 탄소 및 기타 원소의 합금으로 견고하고 내구성이 뛰어나 다양한 산업 분야에서 필수적이다. [1] 그 중 열간 압연 강판은 고온에서 슬래브, 빌릿, 블룸을 원하는 두께와 폭으로 제조하는 열간 압연 공정 후 생산되는 강판이다. 하지만 생산조건에 한계로 인하여 표면의 다양한 결함들이 발생하는데 이는 후속 냉간 압연 공정 중 파손을 일으키어 제품의 성능을 저하시킨다. 따라서 사전에 표면 결함을 제거하는 것이 필수적이다. [2] 기존의 표면 결함 검사는 작업자가 육안으로 수행, 컴퓨터 비전 방식이 적용되어 왔다. [3] 그러나 실 공정에서 얻을 수 있는 결함 데이터는 발생빈도가 낮고 고품질의 데이터를 얻을 수 없어 딥러닝 모델 훈련에 어려움이 존재한다. 이에 가상 이미지 생성 시 입력 데이터의 특정 부분에 집중하여 학습하는 Self-Attention 개념을 도입한 Self-Attention GAN[4]을 기반으로 강판 표면 결함 데이터 부족 및 불균형 문제를 해결하기 위해 학습 가능한 가상 이미지를 생성하고 정성적으로 평가하는 것을 목표로 한다.

II. 관련 연구

2.1 Generative Adversarial Network(GAN)

Generative Adversarial Network(GAN)은 Generative Model의 일종으로 서로 대립하는 생성자(Generator, G)와 판별자(Discriminator, D)로 구성된 딥러닝 모델이다. 생성자는 실제 데이터와 구분할 수 없는 합성 데이터 표본을 생성하는 반면, 판별자는 합성 데이터와 실제 데이터를 구별하도록 적대적으로 경쟁하며 다양한 가상 데이터를 생성한다. [5]

2.2 Self-Attention GAN (SAGAN)

GAN은 Image-to-Image, Text-to-Image와 같은 다양한 Task에서 성공적으로 발전해왔다. 그러나 Convolution Network를 기반으로 발전된 GAN 모델들은 Multi-Class Dataset 학습 시 기하학적 구조와 같은 세밀한 패턴을 학습하지 못하는 한계점이 존재한다. 이는 Convolution의 특성상 Receptive Field가 Local Neighborhood로 제한되어 국소적 정보를 처리하고, Long-range dependency 모델링에 비효율적이기 때문이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 Self-Attention GAN(SAGAN)은 Convolution Network 기반 GAN 구조에 Self-Attention Module[6]을 도입하여 이미지 영역 간 Long range, Multi-level dependency 학습을 가능하게 하였다. 또한 Spectral Normalization을 사용하여 Weight를 정규화하여 모델을 안정화하고 Gradient Vanishing 문제를 방지한다. 추가적으로 Two-Timescale Update Rule (TTUR)을 생성자와 판별자 네트워크에 적용하여 Learning Rate를 별도로 조정하여 안정적인 훈련을 가능하게 했다.[7,8] 이러한 기술을 적용함으로써 SAGAN은 기존 GAN의 한계를 극복하고 생성된 이미지의 품질을 향상시켰다.

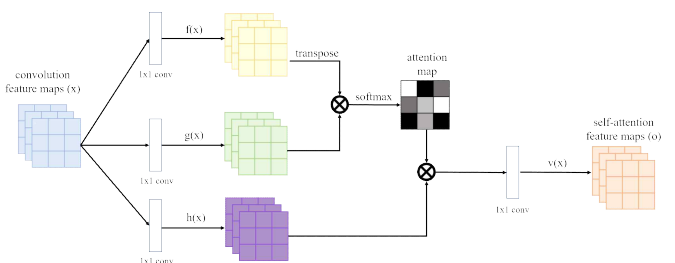


그림 1 Self-Attention GAN architecture

III. 실험 및 분석

3.1 실험 환경

실험은 Ubuntu 20.04, AMD RYZEN Threadripper 3970X, NVIDIA GeForce RTX 3090, 125GB RAM, Python 3.9.13, Pytorch framework 환경에서 진행되었다.

3.2 Dataset

본 논문에서 사용된 강판 표면 결함 데이터는 Northeastern University의 NEU Steel Database를 사용하였다.[1] 일반적인 강판 표면 결함의 종류를 6가지로 분류하였고 (Cracking, Inclusion, Patches, Pitted Surface, Rolled-in-Scale, Scratches) 각 Label 당 300장, 총 1,800장이며 크기는 200 pixel의 3 Channel로 구성되어 있다.

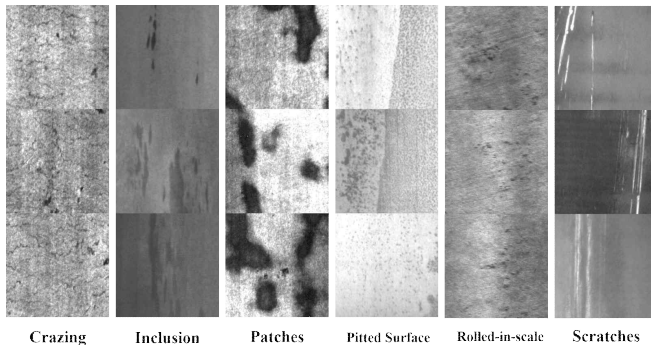


그림 2. NEU Steel Database Samples

3.3 실험 과정

총 10,000 Epoch로 학습을 하였으며 Parameter 설정은 SAGAN과 동일하게 진행하였다. Spectral Normalization을 적용하기 위해 영상 데이터의 크기를 128*128로 변경하였고 데이터셋의 개수를 고려하여 Batch Size를 64로 변경하여 진행하였다.

3.4 결과 분석

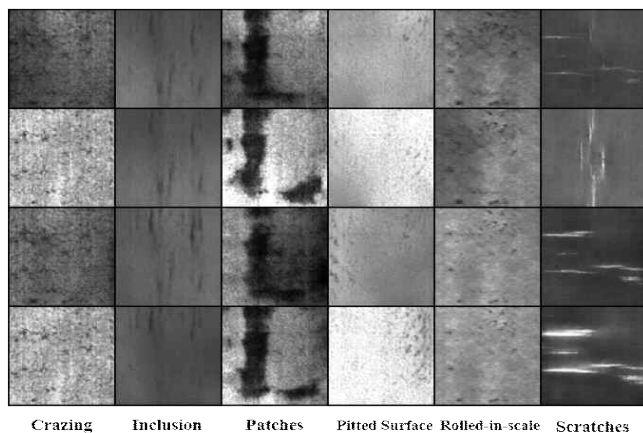


그림 3. Generated Images

<그림 3>에서는 각 Label에 SAGAN 학습으로 생성된 가상 이미지의 결과이다. 생성된 이미지는 각 Label의 특징에 맞는 특징들을 유지하는 동시에 기존에 존재하지 않았던 다양한 결함 패턴들을 생성하였고 이미지의 품질 또한 선명하게 생성되었다. 하지만 “Scratches”, “Pitted Surface” Label에 대해서는 강판 표면의 부식으로 인한 기공, 미세한 균열 등의 주요 특성을 완전히 포착하지 못하는 것을 관찰하였다. 이는 SAGAN 모델

이 생성된 이미지에서 특정 유형 결함을 완전히 반영하지 못하는 한계가 있음을 시사한다.

IV. 결론

본 논문에서는 Self-Attention GAN을 기반으로 NEU-Steel Database의 강판 표면 결함 데이터를 학습하고 가상 이미지를 생성하여 정성적으로 평가하였다. 생성된 이미지는 결함의 다양한 특징들을 반영했지만, 일부 label에서는 미세한 특징들을 포착하지 못하는 한계가 있다. 향후 연구에서는 Data Augmentation 및 StyleGAN, BigGAN, ProGAN 계열의 GAN 모델을 기반으로 하여 생성된 이미지의 품질을 향상하고 미세한 특징 또한 반영하도록 개선하는 연구를 수행할 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2023년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임. (P0022332, 소재 개발을 위한 디지털 데이터 플랫폼)

참 고 문 헌

- [1] Song, Kechen, and Yunhui Yan. "A noise robust method based on completed local binary patterns for hot-rolled steel strip surface defects." *Applied Surface Science* 285 (2013): 858-864.
- [2] He, Yu, et al. "An end-to-end steel surface defect detection approach via fusing multiple hierarchical features." *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* 69.4 (2019): 1493-1504.
- [3] Zhang, Jiaqiao, et al. "Surface defect detection of steel strips based on classification priority YOLOv3-dense network." *Ironmaking & Steelmaking* 48.5 (2021): 547-558.
- [4] Zhang, Han, et al. "Self-attention generative adversarial networks." *International conference on machine learning*. PMLR, 2019.
- [5] Goodfellow, Ian, et al. "Generative adversarial networks." *Communications of the ACM* 63.11 (2020): 139-144.
- [6] Vaswani, Ashish, et al. "Attention is all you need." *Advances in neural information processing systems* 30 (2017).
- [7] Miyato, Takeru, et al. "Spectral normalization for generative adversarial networks." *arXiv preprint arXiv:1802.05957* (2018).
- [8] Heusel, Martin, et al. "Gans trained by a two time-scale update rule converge to a local nash equilibrium." *Advances in neural information processing systems* 30 (2017).