

Unpaired Shoeprint 이미지를 활용한 GAN 기반 족적 Pair Dataset 생성 연구

권현섭, 황다윤, 이창엽, 김동주, 서영주*

포항공과대학교 인공지능연구원

kert06@postech.ac.kr, dyhwang@postech.ac.kr, lcy8417@postech.ac.kr, kkb0320@postech.ac.kr, yj_suh@postech.ac.kr

GAN-based Generation of Paired Shoeprint Datasets Using Unpaired Images

Hyun Seob Kwon, Da Yoon Hwang, Chang Yeob Lee, DongJu Kim, Young Joo Suh*

POSTECH Institute of Artificial Intelligence

요약

본 논문에서는 Pair Dataset이 존재하지 않는 환경에서 족적 Pair Dataset을 구축하기 위한 GAN 기반 Unpaired Image Translation 기법을 제안한다. 족적은 범죄 현장에서 필연적으로 남는 흔적으로서 초기 용의자 특징에 중요한 단서가 되지만, 인공지능 기반 족적 검색을 위한 Pair Dataset의 부족으로 인해 관련 연구에 대해 한계가 존재한다. 본 논문에서는 밀창 이미지인 등록 이미지를 기반으로 현장에서 수집되는 족적 이미지와 유사한 이미지를 생성하였으며, Style 기반과 Domain 기반의 Unpaired Image Translation 모델에 대해 FID 지표와 정성적 분석을 수행하였으며, Domain 기반의 모델이 현장 족적 이미지와 유사하게 이미지를 생성하는 것을 정량적 및 정성적으로 확인하였다.

I. 서론

현대 과학학수는 지능화 및 다양화되는 범죄에 대응하기 위해 과학적 감정 기법을 적극 도입하고 있으며, 최근에는 인공지능 기술을 활용하여 현장에서 수집되는 증거물의 증거력과 분석의 효율성을 확보하려고 한다[1]. 족적은 사람이 바닥에 접촉하게 되는 패턴 흔적이기 때문에 현장에 존재하게 되며, 초기 용의자를 특징하는 중요한 단서로 활용된다[2]. 그러나, 인공지능을 활용하여 족적 검색에 필요한 pair dataset을 확보하는 데 어려움이 있다. 현장에서 발견되는 족적은 한정적이며, 모든 신발에 대한 범죄 현장의 족적 이미지가 존재하지 않기 때문에, 보유하고 있는 신발 등록 이미지와 짝을 이루는 데이터가 모두 존재하지 않는다.

본 논문에서는 Pair Dataset이 존재하지 않는 환경에서 Pair Dataset을 확보하기 위한 GAN 기반의 이미지 변환 기술을 제안한다. 제안된 방법은 종래의 Unpaired Image Translation Task 기반으로 등록 이미지를 기반으로 현장과 유사한 이미지를 생성한다.

II. 관련 연구

본 논문에서는 Unpaired Image Translation을 기반하여 Source Domain이 되는 족적 등록 이미지로부터 Target Domain인 현장 족적 이미지로 변환하는 기술을 제안한다.

1. 현장 족적 이미지의 특징

족적 Dataset의 경우 등록 이미지는 패턴이 명확히 보존된 밀창 이미지이며, 전사지 채취과정에서 발생하는 훼손, 먼지, 잔여물 등으로 인해 패턴이 불완전하게 나타난다. 이에 따라 두 Domain 간의 차이가 명확하며, Pair를 이루더라도, 촬영 각도, 훼손, 변형 등으로 완벽히 일치하지 않아, 픽셀 단위의 대응 관계가 되지 못하여, 지도 학습 기반의 학습에는 한계가

존재하여, 등록 이미지를 기반으로 한 Pair Dataset을 구축하기 위한 Unpaired Image Translation 기법에 관한 연구가 필요하다.

2. Unpaired Image Translation

Unpaired Image Translation은 Paired Dataset이 존재하지 않는 상황에서, 서로 다른 두 Domain 간의 Mapping 함수를 학습하는 기술이며, 대표적인 모델인, CycleGAN은 Source Domain의 구조적 정보를 유지한 채 Target Domain으로 이미지를 생성한다[3]. 이러한 Unpaired Image Translation은 CycleGAN을 기반으로 크게 두 가지 방향으로 연구되었다. 이미지의 구조적 정보(Content)를 유지한 채, 대상 도메인의 시각적 특징인 Style을 학습하는 Style 기반 모델(StarGAN, DRIT 등)과 서로 다른 의미적 분포를 가진 두 Domain 간의 표현 차이를 학습하는 Domain 기반 모델(U-GAT-IT, UVGAN 등)로 구분된다[4-6]. 그러나 이러한 모델 중 현장 족적의 특징과 족적의 패턴을 유지하면서 이미지를 생성하는 모델은 부재하여 관련 연구가 필요하다.

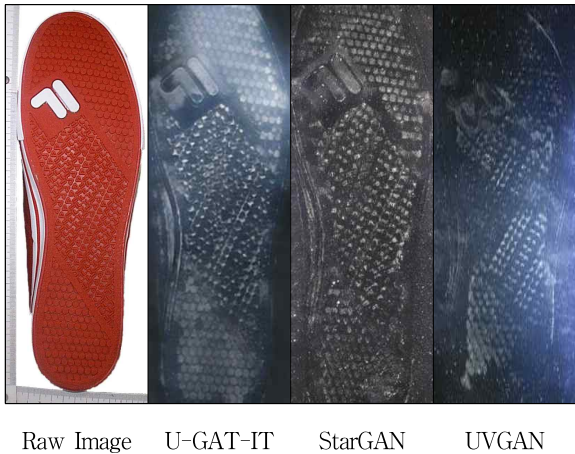
III. 실험

1. 족적 Dataset

등록 이미지 약 76,000장에서 중복된 패턴을 제외하고 고유한 패턴을 가진 이미지 약 27,000장을 Source Domain의 Dataset으로 전처리하여 학습에 활용하였으며, 현장 이미지 약 30,000장에서 전사지 이미지 약 9,000장을 Target Domain의 Dataset으로 학습에 활용하였다. 이때, 현장 이미지는 배경, 먼지, 조명 불균형 등 뚜렷하게 나타나며, 현장에서 노이즈로 판단되는 요소가 포함되어있는 이미지만을 사용하여, Domain 간의 차이를 뚜렷하게 하여 이미지 변환 간의 학습 안전성을 확보하였다.

2. 모델 학습 및 결과

본 논문에서는 구축된 Dataset을 기반으로 족적 현장 이미지를 생성하기 위해 Unpaired Image Translation 모델인 U-GAT-IT, StarGAN, UVGAN을 각각 학습하여, 실제 이미지와 생성 이미지의 분포 유사성을 정량적으로 판단하는 FID(Frechet Inception Distance)를 활용하여 비교 분석하였다[7]. [그림 1]은 각 모델이 원본 이미지를 기반으로 생성한 이미지이며 [표 1]은 각 모델이 생성한 이미지에 대한 FID 수치에 대한 비교표이며, FID 수치는 낮을수록 분포의 유사성이 높다.



[그림 1] 등록 이미지 기반 현장 이미지 변환 결과

[표 1] 각 모델의 FID 수치

	U-GAT-IT	StarGAN	UVGAN
FID ↓	111.66	101.36	89.74

등록 이미지를 기반으로 이미지를 생성한 결과, Domain 기반의 Translation 모델이 학습한 현장 이미지와 유사도가 가장 높게 나타났다. 정성적 분석 결과, U-GAT-IT 과 StarGAN이 원본 등록 이미지와 유사한 족적 패턴을 비교적 잘 보존하는 경향을 보였다. 그러나 실제 현장 족적 이미지는 사용자의 보행 특성 및 현장 환경에 따라, 일부 패턴이 훼손되거나 소실되며, 주요한 족적 패턴만이 남는 특성이 있다. 이러한 관점에서 분석하였을 때, UVGAN의 경우 학습된 현장 족적 이미지의 특성을 효과적으로 반영한 생성 결과를 보이며, 정량평가에서도 가장 낮은 FID 수치를 보였다. 이를 통해, UVGAN이 실제 현장 족적 이미지 생성에 적합함을 확인하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 족적 등록 이미지를 기반으로 현장 이미지를 생성하는 적합한 기법을 제안하고, 이를 통해 족적 Pair Dataset 을 구축하였다. 구축된 Dataset은 족적 기반의 이미지 전처리, 이미지 검색, 복원 등 지도 학습 기반의 모델의 성능 개선을 기대할 수 있다.

향후 연구에서는 전사지 외에, 다양한 현장 및 도메인을 반영한 이미지를 생성하는 연구가 필요하며, 이는 지도 학습 기반의 모델들에서의 일반화 성능 개선에 기여할 수 있을 것이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2025년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(RS-2022-NR070870).

본 논문은 과학기술정보통신부·경찰청이 공동 지원한 ‘폴리스랩 2.0 사업’의(RS-2023-00281072) 지원을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] D. H. Kim et al., "A Study of Morphological Trace Evidence for the Improvement of Physical Evidence Interpretation of Criminal Cases," National Forensic Service, 2015.

[2] S. A. A. Sarifudin, K. H. Chang, B. E. Khoo and A. F. L. Abdullah, "Shoeprint image enhancement using adobe photoshop as an aid during forensic comparison," Malaysian Journal of Forensic Sciences, Vol. 9, No. 1, pp. 33-37, 2019.

[3] Jun-Yan Zhu, Taesung Park, Phillip Isola and Alexei A. Efros. "Unpaired Image-to-Image Translation using Cycle-Consistent Adversarial Networks," IEEE International Conference on Computer Vision, pp. 2223 - 2232, 2017.

[4] Yunje Choi, Youngjung Uh, Jaejun Yoo and Jung-Woo Ha, NIST, "StarGAN v2: Diverse Image Synthesis for Multiple Domains," Computer Vision and Pattern Recognition, pp. 8188 - 8197, 2020.

[5] Junho Kim, Minjae Kim, Hyeonwoo Kang and Kwanghee Lee, "U-GAT-IT: Unsupervised Generative Attentional Networks with Adaptive Layer-Instance Normalization for Image-to-Image Translation," International Conference on Learning Representations, 2019.

[6] Dmitrii Torbunov et al., "UVCGAN v2: An Improved Cycle-Consistent GAN for Unpaired Image-to-Image Translation," IEEE Access, Vol. 8, pp. 128361 - 128373, 2020.

[7] M. Heusel, H. Ramsauer, T. Unterthiner, B. Nessler and S. Hochreiter, "GANs Trained by a Two Time-Scale Update Rule Converge to a Local Nash Equilibrium," Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), pp. 6626 - 6637, 2017.