

j.inst.korean.electr.electron.eng.

전기전자학회 논문지

제 28 권 제 4 호 2 0 2 4 년 1 2 월

사단법인 한국전기전자학회

[Technical Paper]

- Roundabout Negotiation Service: Scenario Definition/Implementation and Real-Road Validation ● Ji-Min Lee, Seong-Hyun Jang, Yoo-Seung Wang, Sang-Hun Yoon, Byoung-Man An (479)
- High-Precision Indoor Positioning System Based on UWB and Vision Sensor Fusion ● Heeyoung Joo, Jongwha Ahn, Sanghoon Yoon, Seonghyun Jang (489)
- Enhancing DGPS positioning accuracy using CNN-LSTM model ● Ji-Eon Lee, Tae-Hee Lee, Woo-Sung Hwang, Myung-Ryul Choi (497)
- A illumination-aware learnable image filtering model for object detection in low-light conditions ● Chang-Hwan Son, Do-Gyun Kim, Hyun-Jun Ko (503)
- Real-Time Fall Detection for the Elderly Based on Low-Resolution Infrared Images ● Min-Su Kim, Jong-won Seok (511)
- Blind Heavy Rain Face Image Restoration Using Multimodal Text-Image Alignment ● Chang-Hwan Son, Yeon-U Choi (520)
- A Study on Power Transformer Health Index Evaluation Using Dimensionality Reduction ● Seung-Yun Lee, Jeong-Sik Oh, Tae-Hun Kim, Jae-Deok Park, Byeong-Hyeon An, Tae-Sik Park (528)
- V2X Communication Technology Classification and LTE-V2X (Rel. 14) Communication Performance Test ● Yong-Tae Kim, Woo-Jai Shin, Jung-Won Lee (540)
- 4-8GHz Injection-Locked Frequency Tripler with Notch Filtering for Quantum Computer Read-Out ● Dohun Kim, Hapsah Aulia Azzahra, Hong Chae, Hyeon-Sik Ahn, Jusung Kim (546)
- Automotive Radar Interference Mitigation via CNN with Logarithmic Preprocessing ● Geonu Kim, Yong-Ho Cho (553)
- Improving 3D Facial Feature Extraction based on Multi-angle 2D Image Generation using StyleGAN ● Hee-Yeol Lee, Seung-Ho Lee (560)
- An Immersive Media Recognition Method Using Feature Information of Multi-view Videos with Depth Information ● Byeongchan Park, Seyoung Jang, Seok-Yoon Kim, Youngmo Kim (566)
- An Illegal Streaming Video Identify Method Using low-frequency component of fast Fourier transform ● Injae Yoo, Seyoung Jang, Byeongchan Park, Seok-Yoon Kim, Youngmo Kim (573)
- Effect of work function variation of the source electrode on electrical properties of N-type organic thin-film transistors ● Jun-Hyuk Park, Woo-Seok Kim, Min-Hoi Kim (580)
- Robust Emotional Speech Recognition using Stochastic Matching Method ● Weon-Goo Kim (585)
- Study on improving 3D object detection performance through point cloud augmentation technique based on Camera+LiDAR ● Seung-Tak Ra, Seung-Ho Lee (593)
- CNN-Based Log-Mel Spectrogram Image Compression Method for Attention Noise Reduction in Speech Emotion Recognition ● Jeong-Yoon Kim, Seung-Ho Lee (600)
- Error Rate-Based Weighted Ensemble Method for Improving the Performance of Deep Voice Detection ● Joong-Chan Lee, Tae-Hee Lee, Woo-Sung Hwang, Myung-Ryul Choi (607)
- FPGA Design of High-speed Template Matching Block for Vision Wafer Alignment System Implementation ● Seung-Jun Lee, Minjoon Kim (613)
- A Study on Communication Planning Algorithm for the Reconnaissance Mission of Unmanned Ground Vehicle ● Seongjun Jo, Jihoon Kim, Youngkyu Cho, Changhyuk Cho (619)
- Investigation of the effect of trap on the electrical properties of organic unipolar device ● Kyungjae Lee, Eunyong Seo, Dong Hyun Kim, Sinhui Min, Ju-Hong Cha, and Donggu Lee (627)
- Study on Charge Balance Improvement in Electro luminescence Quantum Dot Light-Emitting Diodes through Post-Annealing Process ● Jae Yeong Jeong, Seok Hwan Jang, Jaebum Jeong, Seong Woo Jeong, Hae Ju Kwon, Dae Yun Kim, Yeong Uk Kim, Byeong Guk Jeong, Dong Ryeol Whang, Jun Young Kim (635)
- A Cascaded Structure of TOA/DOA Estimator Using DMRS for 5G-NR-V2X ● Seonghyun Jang, Sanghun Yoon (644)
- A study of glare analysis system using a Raspberry Pi camera and glare contrast ● Jun-Hyeok Heo, In-Gu Kang, Min-Sang Kim, Yoonseuk Choi (651)
- Study on Low-Voltage ESD Protection Device with Improved On-Resistance and Holding Voltage ● Jun-Mo Jung, Joo-Young Lee (657)
- A Study on SCR-Based ESD Protection Circuits with Low Trigger Voltage and High Holding Voltage ● Dong-Hyeon Kim, Jae-Yoon Oh, Min-Seo Kim, Yong-Seo Koo (662)
- Asymmetric Residual U-Net for Crack Detection in High-Resolution Contact Lens Images ● Byeong-Ju Park, Jae-Heung Lee (667)
- Changes in the Electrical Characteristics of GaN MIS-HEMT with TMAH Process Under 5 MeV and 25 MeV Proton Irradiation ● Kyeong Min Kim, Kyung Hee Kim, Yeong Hwan Kim, Jong Beom Im, Gyu Ho Choi, Young Jun Yoon (687)
- Optimization of a Single-core/Multi-layer CNN Accelerator using Non-volatile Memory-based IMC ● Gwan-Oh Youn, Shin-Young Kim, Jun-su Heo, Chester Sungchung Park (696)
- CMOS Active Balun-LNA for Quantum Computing Read-out ● Eunseo Chae, Hyeon-Sik Ahn, Hong Chae, Yoonseuk Choi, Jusung Kim (707)
- A Study on a Design of ESPRIT processor with High-Resolution Angle Estimation Capabilities for High Precision Positioning ● JeonHo Kim, Sungjin Lee, Daegi Hong, Jongwha Chong, Kyeongyuk Min (714)

[Short Papers]

- A Study on Broadening and Rotating Beam Control Based on Phase Calculation Method for Reflectarray Antenna in Low Earth Orbit Satellite ● Sungil Park, Seongmin Pyo, Jinwoo Jung (722)
- A Study on Phase Weight Search Using Vegetative Propagation by Runners Algorithms for Phase-Only Beam Broadening ● Jinwoo Jung, Seongmin Pyo (726)

전기전자학회 논문지

j.inst.korean.electr.electron.eng.

제28권 제4호 2024년 12월

[논문]

- 회전교차로 주행 협상 서비스 시나리오 정의/구현 및 실도로 실증 ● 이지민, 장성현, 왕유승, 윤상훈, 안병만 (479)
- UWB 및 비전 센서 융합 기반 고정밀 실내 위치 추정 시스템 ● 주희영, 안종화, 윤상훈, 장성현 (489)
- CNN-LSTM 모델을 이용한 DGPS 위치 정확도 향상 기법 ● 이지연, 이태희, 황우성, 최명렬 (497)
- 저조도 환경에서의 객체 검출을 위한 조영 인식 학습 가능한 이미지 필터링 모델 ● 손창환, 김도균, 고현준 (503)
- 저해상도 적외선 이미지 기반 실시간 노인 낙상 검출 ● 김민수, 석종원 (511)
- 멀티모달 텍스트-이미지 정렬을 활용한 블라인드 폭우 얼굴 영상 복원 ● 손창환, 최연우 (520)
- 차원축소 기법을 이용한 전력용 변압기 건전도 지수 평가에 관한 연구 ● 이승윤, 오정식, 김태훈, 박재덕, 안병현, 박태식 (528)
- V2X 통신 기술 분류와 LTE-V2X 통신 성능 테스트 ● 김용태, 신우재, 이정원 (540)
- 양자컴퓨터 Read-out을 위한 4-8GHz 노치필터링을 적용한 위상 주입 잠금 주파수 삼배기 ● 김도현, Hapsah Aulia Azzahra, 채홍, 안현식, 김주성 (546)
- 로그 전처리를 적용한 컨볼루션 신경망 기반 차량 레이더 간섭 경감 ● 김건우, 조용호 (553)
- StyleGAN을 활용한 다각도 2D 이미지 생성 기반의 3D 얼굴 특징점 추출 개선 ● 이희열, 이승호 (560)
- 깊이 정보가 포함된 다시점 영상의 특징정보를 이용한 몰입형 미디어 인식 방법 ● 박병찬, 장세영, 김석윤, 김영모 (566)
- 고속 푸리에 변환의 저주파 성분을 이용한 불법 스트리밍 영상 식별 방법 ● 유인재, 장세영, 박병찬, 김석윤, 김영모 (573)
- 소스 전극의 일함수 변화가 N형 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성에 미치는 영향 ● 박준혁, 김우석, 김민희 (580)
- 확률적 매칭 방법을 이용한 강인한 감정 음성 인식 ● 김원구 (585)
- Camera+LiDAR 기반의 포인트 클라우드 증강 기법을 통한 3D 객체 감지 성능 향상 연구 ● 라승탁, 이승호 (593)
- 음성 감정 인식에서의 어텐션 노이즈 감소를 위한 CNN 기반의 Log-Mel 스펙트로그램 이미지 압축 기법 ● 김정윤, 이승호 (600)
- 딥 보이스 탐지 성능향상을 위한 오인론 기반 가중치 앙상블 기법 ● 이충찬, 이태희, 황우성, 최명렬 (607)
- FPGA 기반 고속 템플릿 매칭 블록 설계를 통한 비전 웨이퍼 얼라인먼트 시스템 구현 ● 이승준, 김민준 (613)
- 무인자동차의 정찰 임무 수행을 위한 통신 계획 알고리즘에 관한 연구 ● 조성준, 김지훈, 조용규, 조창혁 (619)
- 유기 단극 소자의 트랩에 의한 전기적 특성 연구 ● 이경재, 서은용, 김동현, 이주완, 민신희, 차주홍, 이동구 (627)
- 후열처리 공정을 통한 양자점 전계 발광다이오드의 전하 균형 향상 연구 ● 정재영, 장석환, 정재범, 정성우, 권해주, 김대윤, 김영욱, 정병국, 황동렬, 김준영 (635)
- 5G-NR-V2X 통신 기반 DMRS를 이용한 TOA/DOA 추정기 구조 ● 장성현, 윤상훈 (644)
- 라즈베리파이 카메라와 휘도 대비를 활용한 눈부심 분석 시스템 ● 허준혁, 강인구, 김민상, 최윤석 (651)
- 개선된 온-저항 및 홀딩 전압을 갖는 저전압급 ESD 보호소자에 관한 연구 ● 정준모, 이주영 (657)
- 낮은 트리거 전압과 높은 홀딩 전압을 가진 SCR 기반의 ESD 보호회로에 관한 연구 ● 김동현, 오재윤, 김민서, 구용서 (662)
- 고해상도 콘택트렌즈 이미지의 크랙 검출을 위한 Asymmetric Residual U-Net ● 박병주, 이재홍 (667)
- 고장차량 감지를 위한 V2V 통신 기반 응용 서비스 구현 ● 정태완, 민해식, 김태원 (674)
- 5 MeV 및 25 MeV 양성자 조사에서 TMAH 공정을 적용한 GaN MIS-HEMT의 전기적 특성 변화 ● 김경민, 김경희, 김영환, 임종범, 최규호, 윤영준 (687)
- 비휘발성 메모리 기반 IMC를 활용한 단일 코어/다중 레이어 CNN 가속기 최적화 ● 윤관오, 김신영, 허준수, 박성경 (696)
- 양자 컴퓨터 Read-out을 위한 CMOS Active Balun-LNA ● 채은서, 안현식, 채홍, 최윤석, 김주성 (707)
- 고정밀 측위를 위한 고해상도 각도 추정 기능을 갖는 ESPRIT processor 설계에 관한 연구 ● 김전호, 이성진, 홍대기, 정정화, 민경욱 (714)

[단편]

- 저궤도 위성 반사배열 안테나를 위한 위상 제어 기반 빔 확장 및 회전에 관한 연구 ● 박성일, 표성민, 정진우 (722)
- 위상 전용 빔 확장을 위한 VPR 알고리즘을 이용한 위상 가중치 탐색에 관한 연구 ● 정진우, 표성민 (726)



j.inst.Korean.electr.electron.eng.(2024년 12월/제28권 제4호)

목 차

논 문

화전교차로 주행 협상 서비스 시나리오 정의/구현 및 실도로 실증	이 지 민, 장 성 현, 왕 유 승, 윤 상 훈, 안 병 만 (479)
UWB 및 비전 센서 융합 기반 고정밀 실내 위치 추정 시스템	주 희 영, 안 종 화, 윤 상 훈, 장 성 현 (489)
CNN-LSTM 모델을 이용한 DGPS 위치 정확도 향상 기법	이 지 언, 이 태 희, 황 우 성, 최 명 렬 (497)
저조도 환경에서의 객체 검출을 위한 조명 인식 학습 가능한 이미지 필터링 모델	손 창 환, 김 도 균, 고 현 준 (503)
저해상도 적외선 이미지 기반 실시간 노인 낙상 검출	김 민 수, 석 종 원 (511)
멀티모달 텍스트-이미지 정렬을 활용한 블라인드 폭우 얼굴 영상 복원	손 창 환, 최 연 우 (520)
차원축소 기법을 이용한 전력용 변압기 건전도 지수 평가에 관한 연구	이 승 윤, 오 정 식, 김 태 훈, 박 재 덕, 안 병 현, 박 태 식 (528)
V2X 통신 기술 분류와 LTE-V2X 통신 성능 테스트	김 용 태, 신 우 재, 이 정 원 (540)
양자컴퓨터 Read-out을 위한 4-8GHz 노차필터링을 적용한 위상 주입 잠금 주파수 삼배기	김 도 현, Hapsah Aulia Azzahra, 채 흥, 안 현 식, 김 주 성 (546)
로그 전처리를 적용한 컨볼루션 신경망 기반 차량 레이더 간섭 경감	김 건 우, 조 용 호 (553)
StyleGAN을 활용한 다각도 2D 이미지 생성 기반의 3D 얼굴 특징점 추출 개선	이 희 열, 이 승 호 (560)
깊이 정보가 포함된 다시점 영상의 특징정보를 이용한 몰입형 미디어 인식 방법	박 병 찬, 장 세 영, 김 석 윤, 김 영 모 (566)
고속 푸리에 변환의 저주파 성분을 이용한 불법 스트리밍 영상 식별 방법	유 인 재, 장 세 영, 박 병 찬, 김 석 윤, 김 영 모 (573)
소스 전극의 일함수 변화가 N형 유기 박막 트랜지스터의 전기적 특성에 미치는 영향	박 준 혁, 김 우 석, 김 민 회 (580)
확률적 매칭 방법을 이용한 강인한 감정 음성 인식	김 원 구 (585)
Camera+LiDAR 기반의 포인트 클라우드 증강 기법을 통한 3D 객체 감지 성능 향상 연구	라 승 탁, 이 승 호 (593)
음성 감정 인식에서의 어텐션 노이즈 감소를 위한 CNN 기반의 Log-Mel 스펙트로그램 이미지 압축 기법	김 정 윤, 이 승 호 (600)
딥 보이스 탐지 성능향상을 위한 오인률 기반 가중치 양상별 기법	이 중 찬, 이 태 희, 황 우 성, 최 명 렬 (607)
FPGA 기반 고속 템플릿 매칭 블록 설계를 통한 비전 웨이퍼 얼라인먼트 시스템 구현	이 승 준, 김 민 준 (613)
무인자살차량의 정찰 임무 수행을 위한 통신 계획 알고리즘에 관한 연구	조 성 준, 김 지 훈, 조 용 규, 조 창 혁 (619)
유기 단극 소자의 트랩에 의한 전기적 특성 연구	이 경 재, 서 은 용, 김 동 현, 이 주 완, 민 신 희, 차 주 흥, 이 동 구 (627)
후열처리 공정을 통한 양자점 전계 발광다이오드의 전하 균형 향상 연구	정 재 영, 장 석 환, 정 재 범, 정 성 우, 권 해 주, 김 대 윤, 김 영 욱, 정 병 국, 황 동 렬, 김 준 영 (635)
5G-NR-V2X 통신 기반 DMRS를 이용한 TOA/DOA 추정기 구조	장 성 현, 윤 상 훈 (644)
라즈베리파이 카메라와 휘도 대비를 활용한 눈부심 분석 시스템	허 준 혁, 강 인 구, 김 민 상, 최 윤 석 (651)
개선된 온-저항 및 홀딩 전압을 갖는 저전압급 ESD 보호소자에 관한 연구	정 준 모, 이 주 영 (657)
낮은 트리거 전압과 높은 홀딩 전압을 가진 SCR 기반의 ESD 보호회로에 관한 연구	김 동 현, 오 재 윤, 김 민 서, 구 용 서 (662)
고해상도 콘택트렌즈 이미지의 크랙 검출을 위한 Asymmetric Residual U-Net	박 병 주, 이 재 흥 (667)
고장차량 감지를 위한 V2V 통신 기반 응용 서비스 구현	정 태 완, 민 해 식, 김 태 원 (674)
5 MeV 및 25 MeV 양성자 조사에서 TMAH 공정을 적용한 GaN MIS-HEMT의 전기적 특성 변화	김 경 민, 김 경 희, 김 영 환, 임 종 범, 최 규 호, 윤 영 준 (687)
비휘발성 메모리 기반 IMC를 활용한 단일 코어/다중 레이어 CNN 가속기 최적화	윤 관 오, 김 신 영, 허 준 수, 박 성 정 (696)
양자 컴퓨터 Read-out을 위한 CMOS Active Balun-LNA	채 은 서, 안 현 식, 채 흥, 최 윤 석, 김 주 성 (707)
고정밀 측위를 위한 고해상도 각도 추정 기능을 갖는 ESPRIT processor 설계에 관한 연구	김 전 호, 이 성 진, 홍 대 기, 정 정 화, 민 경 욱 (714)

단 편

저궤도 위성 반사배열 안테나를 위한 위상 제어 기반 빔 확장 및 회전에 관한 연구	박 성 일, 표 성 민, 정 진 우 (722)
위상 전용 빔 확장을 위한 VPR 알고리즘을 이용한 위상 가중치 탐색에 관한 연구	정 진 우, 표 성 민 (726)

* 이 학술지는 정부재원(과학기술진흥기금)으로 한국과학기술단체총연합회의 지원을 받아 출판되었음

StyleGAN을 활용한 다각도 2D 이미지 생성 기반의 3D 얼굴 특징점 추출 개선

Improving 3D Facial Feature Extraction based on Multi-angle 2D Image Generation using StyleGAN

이 희 열*, 이 승 호**

Hee-Yeol Lee*, Seung-Ho Lee**

Abstract

In this paper, we propose a novel method that utilizes the StyleGAN Encoder to generate multi-view facial images from a single 2D image, integrating them into the input structure of an existing 3D facial landmark extraction network to improve the accuracy of 3D modeling. Traditional single-image-based approaches are limited by the input data, which can lead to distortions or information loss due to variations in angles. To address this limitation, this study improves both the precision and stability of 3D face modeling by using multi-view images generated via the StyleGAN Encoder. The proposed method integrates the generated multi-view images into the input structure of the existing 3D facial landmark extraction network, providing richer information compared to single-image inputs by capturing structural characteristics of the face from various viewpoints. Additionally, by improving the input structure, the multi-view data allows for more precise generation of 3D facial landmarks. Experiments were conducted using the NoW dataset, comparing the mesh distance between the generated 3D face model and the ground truth 3D model. The experimental results showed that PRNet achieved an average mesh distance of 1.99 with a standard deviation of 1.90, while the 3DDFA model recorded an average of 1.87 with a standard deviation of 1.82. In comparison, the proposed method achieved an average mesh distance of 1.71 with a standard deviation of 1.65. These results demonstrate that the proposed approach improves the precision and stability of 3D face modeling compared to existing methods. Furthermore, the reduction in standard deviation indicates enhanced stability in generating 3D face models, confirming the performance improvements.

요 약

본 논문은 StyleGAN Encoder를 활용하여 단일 2D 이미지로부터 다각도의 얼굴 이미지를 생성하고, 이를 기존 3D 얼굴 특징점 추출 네트워크의 입력 구조에 통합하여 3D 모델의 정확성을 향상시키는 새로운 방법을 제안한다. 기존의 단일 이미지 기반 접근법은 입력 데이터의 제한으로 인해 각도에 따른 왜곡이나 정보 손실이 발생하는 한계가 있다. 이를 해결하기 위해, 본 연구에서는 StyleGAN Encoder를 활용해 생성된 다각도의 이미지를 입력으로 사용함으로써 3D 얼굴 모델링의 정밀도와 안정성을 동시에 개선하였다. 제안된 방법은 다각도의 정보를 제공하는 생성 이미지를 기존 3D 얼굴 특징점 추출 네트워크의 입력 구조에 통합하는 방식으로 구현되었다. 이렇게 생성된 다각도 이미지는 각기 다른 시점에서 얼굴의 구조적 특성을 포착할 수 있어 기존의 단일 이미지 입력보다 더욱 풍부한 정보를 제공한다. 또한, 입력 구조의 개선을 통해 다각도 데이터를 입력하여 3D 얼굴 특징점을 더욱 정교하게 생성한다. 실험은 NoW 데이터셋을 활용하여 진행되었으며, 생성된 3D 얼굴 모델과 Ground Truth 3D 모델 간의 mesh 거리를 비교하였다. 실험 결과, PRNet은 평균 1.99, 표준편차 1.90, 3DDFA 모델은 평균 1.87, 표준편차 1.82에 비해, 제안된 방법은 평균 1.71, 표준편차 1.65로 측정되었다. 이는 제안된 방법이 기존 접근법에 비해 3D 얼굴 모델링의 정밀성과 안정성을 개선하였음을 보여준다. 또한, 표준편차의 감소는 더욱 안정적으로 3D 얼굴 모델을 생성하여 성능 향상을 확인하였다.

Key words : DeepLearning, Generative Adversarial Networks, Image generation, 3DMM, Multi-angle image

* Dept. Electronic Engineering, Hanbat National University

★ Corresponding author

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

※ Acknowledgment

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT)(No. NRF-2022R1F1A1066371)

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ICAN(ICT Challenge and Advanced Network of HRD) support program(IITP-2024-RS-2022-00156212) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation).

Manuscript received Nov. 25, 2024; revised Dec. 9, 2024; accepted Dec. 20, 2024.

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

최근 생성형 딥러닝 모델 기술의 발전에 힘입어, 이미지 생성 및 특성 편집에 대한 연구가 컴퓨터 비전 및 인공지능 분야에서 점점 더 중요해지고 있다. 특히 얼굴 이미지의 각도나 표정을 다각도로 생성하고 수정하는 작업은 영화와 영상 매체 산업에서 큰 주목을 받고 있다. 이러한 산업에서는 과거에 수작업을 통해 얼굴의 표정을 수정하거나 각도를 맞추는 방식으로 영상을 제작했다. 하지만 GAN(Generative Adversarial Networks)의 발전 이후 생성형 딥러닝 모델을 통해 제작 속도와 품질을 동시에 높이고 있다. 특히 StyleGAN을 활용한 얼굴 이미지 생성 기술은 사진과 유사한 고품질 이미지를 다각도로 생성할 수 있어 해당 분야에 큰 혁신을 가져왔다. 이후에는 잠재 벡터를 활용해 한 인물의 다양한 각도와 표정을 생성하거나, 얼굴 각도를 변화시키는 등의 작업이 가능해져 더욱 정교한 얼굴 모델링이 가능해졌다. 기존 연구에서는 단일 2D 이미지로부터 3D 얼굴 모델을 재구성하는 데 다양한 시도가 이루어졌다. PRNet은 2D 이미지로부터 UV 이미지를 생성해 3D 좌표와 매칭시켜 3D 생성 과정을 정밀화했다[1]. 3DDFA는 3D 얼굴 정렬을 빠르고 안정적으로 수행하기 위해 3D 얼굴 모델링과 심층 신경망을 결합했다[2]. 3D Face Reconstruction by Learning from Synthetic Data는 합성 데이터를 활용해 3D 모델의 일반화 성능을 개선했다[3]. HiFace는 얼굴의 정적 및 동적 요소를 포괄하는 고품질 3D 모델링을 제안하였다[4]. 3D-GANTex는 기존의 단일 이미지로부터 StyleGAN-Encoder를 이용하여 정면 얼굴을 생성하고 이를 기반으로 3DMM 모델링을 수행한다[5]. 기존의 연구들은 공통적으로 3D 모델링의 성능을 향상시켰지만, 실재를 기반한 다각도의 이미지가 아닌 단일 이미지를 기반으로 모델을 생성하기 때문에 각도에

다른 왜곡이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 StyleGAN 인코더를 활용하여 단일 2D 이미지로부터 다각도의 얼굴 이미지를 생성하고, 이를 기존 3차원 얼굴 특징점 추출 네트워크에 입력하여 3D 모델의 정확성을 개선하는 방법을 제안한다. 이 과정에서 다각도 이미지가 보다 정밀한 3차원 좌표의 얼굴 특징점을 생성하는 데 기여할 수 있음을 확인하고, 실험을 통해 다양한 각도의 정보가 결합된 3D 얼굴 모델 생성의 가능성을 입증하고자 한다.

II. 본론

1. 전체 개요도

본 논문에서 제안하는 방법의 전체 개요도는 그림 1과 같다.

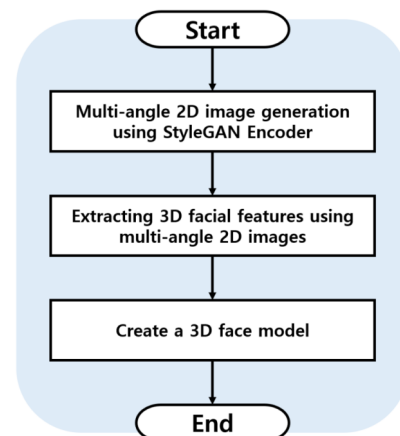


Fig. 1. A complete overview of the proposed method.

그림 1. 제안하는 방법의 전체 개요도

2. StyleGAN Encoder를 이용한 다각도 2D 이미지 생성

다각도 2D 이미지 생성을 위한 본 연구에서는 Style-

GAN Encoder를 이용하여 단일 2D 이미지에서 다각도 이미지를 효과적으로 생성하는 방법을 제안한다. StyleGAN은 사실적인 이미지를 생성할 수 있는 GAN 기반의 생성 모델로, 이를 통해 다양한 각도에서의 얼굴 이미지를 생성함으로써 3D 얼굴 모델의 정밀도를 높일 수 있다[6]. 본 연구에서는 주어진 단일 얼굴 이미지를 StyleGAN Encoder에 입력하여 잠재 벡터를 조작함으로써 여러 각도에서의 2D 이미지를 생성한다. 이 과정에서 잠재 벡터의 각도 조절 파라미터를 설정하여 다양한 각도에 해당하는 이미지를 생성한다. 다각도 이미지 생성의 일관성을 위해 데이터 전처리 과정으로 얼굴 정렬을 적용하여 GAN 모델이 입력으로 받는 이미지가 표준화된 형태를 가지도록 하였다. 이렇게 생성된 다각도 이미지는 기존 단일 이미지 기반의 3D 생성 방법에서 발생할 수 있는 각도 왜곡을 최소화하고, 보다 사실적인 3D 얼굴 모델링을 가능하게 하는 데이터로 활용된다. 식 1은 StyleGAN Encoder의 잠재 공간 조작을 나타낸다. encoder E 를 통해 생성된 잠재벡터에 각도 정보 $TRIANGLEw$ 를 추가하고 이를 generator G 에 입력하여 각도 정보에 맞는 이미지가 생성된다. 그림 2는 StyleGAN Encoder를 이용한 다각도 2D 이미지 생성 과정이다.

$$I = G(E(x) + \Delta w) \tag{1}$$

G : generator of StyleGAN
 E : encoder
 x : 2D input image
 Δw : latent vector variation

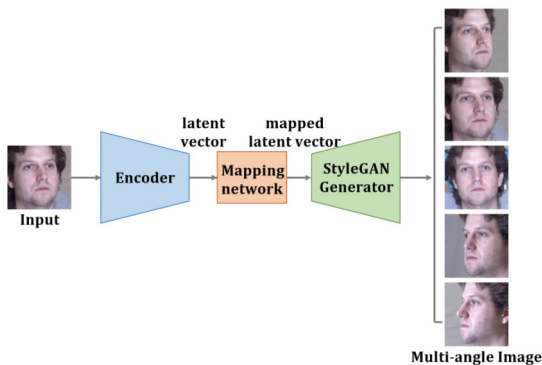


Fig. 2. Multi-angle 2D image generation using StyleGAN Encoder.

그림 2. StyleGAN Encoder를 이용한 다각도 2D 이미지 생성

3. 다각도 2D 이미지를 이용한 3D 얼굴 특징점 추출

다각도 이미지 생성을 통한 특징점 추출의 정밀도 향상을 위해, 본 연구에서는 기존 3D 얼굴 특징점 추출 모

델의 입력 구조를 수정한다. 다각도 2D 이미지를 입력으로 활용함으로써, 네트워크 모델이 다양한 각도에서의 정보를 종합적으로 학습하고 각 특징점의 좌표를 보다 정확하게 추출할 수 있도록 구성한다. 기존의 3D 얼굴 특징점 추출 네트워크는 단일 2D 이미지를 입력으로 받아 3차원 좌표의 특징점을 추출하였으나, 이는 각도 변화에 따라 정확도에 한계를 보였다. 본 연구에서는 다각도 이미지로부터 추출된 특징을 통합하여, 보다 정밀한 3차원 좌표를 추출할 수 있도록 네트워크의 입력 구조를 개선하였다. 구체적으로는 다각도 이미지를 입력층에서 여러 채널로 받아들여 각 이미지에서 추출되는 얼굴 특징점이 상호 보완적으로 활용될 수 있도록 설계하였다. 얼굴 특징점은 특정 각도의 이미지를 기준으로 출력되도록 학습하여 다각도 이미지 간의 특징점 일관성을 확보하였다. 각도 변화에 강인한 3차원 얼굴 특징점을 학습할 수 있도록 하였다. 식 2는 해당 네트워크의 loss를 나타낸다. 다각도의 생성된 이미지들을 입력데이터 X 로 만들어 네트워크 F 에 입력하고 3D 특징점 P 를 출력한다. 이때 기존의 네트워크에서 각도마다 생성된 P_{θ_i} 는 모두 같은 사람의 얼굴이미지로 생성되었기 때문에 같은 값으로 출력되어야한다. 하지만 각 이미지에 따라 다르게 출력되기 때문에 평균값 P_{mean} 을 계산한다. 이후 제안하는 네트워크에서 다각도 이미지를 하나의 tensor로 만들어 입력하고 이에 대한 학습 목표값으로 P_{mean} 을 사용한다. 따라서 다각도 이미지를 하나의 tensor로 입력하여 출력된 P 와 평균값 P_{mean} 과의 차를 loss로 설정하여 학습을 수행한다. 그림 3은 기존의 3D 얼굴 생성 과정이다. 그림 4는 제안하는 방법의 3D 얼굴 생성 과정이다.

$$X = [I_{\theta_1}, I_{\theta_2}, \dots, I_{\theta_n}] \tag{2}$$

$$P = F(X)$$

$$loss = \sum_{i=1}^n || P - P_{mean} ||^2$$

$$I_{\theta_i} = 2D \text{ image generated at angle } \theta_i$$

$$X = \text{network input}$$

$$P = 3D \text{ feature}$$

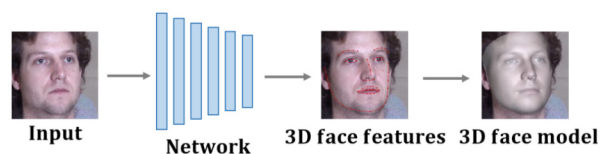


Fig. 3. Existing methods for 3D face model generation.

그림 3. 기존의 3D 얼굴 생성 과정

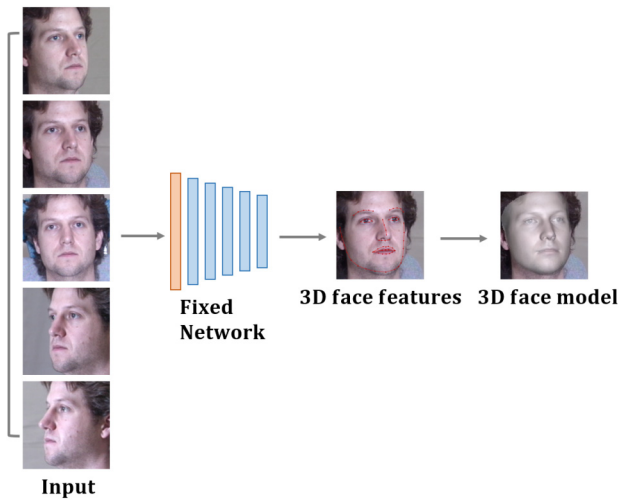


Fig. 4. The Proposed Method's Process for 3D Face Generation.

그림 4. 제안하는 방법의 3D 얼굴 생성 과정

4. 3D 얼굴 모델 생성

생성된 3D 얼굴 특징점은 3DMM(3D Morphable Face Models) 표준에 맞춰 3D 오브젝트를 생성한다 [7]. 필요에 따라 텍스처 정보를 사용하여 실제 외형과 같은 텍스처로 표면을 구현한다.

5. 실험

가. 실험 환경

실험에 사용된 운영체제 및 하드웨어는 Ubuntu 20.04.2 LTS 운영체제를 기반으로 Intel(R) Xeon(R) Silver 4210 CPU @ 2.20GHz, RAM 128GB, NVIDIA RTX A5000 (VRAM 24GB) GPU로 구성되어 있다. 개발도구는 Visual Studio Code와 Pytorch 1.8.0, CUDA 11.1, cuDNN 8.0.5 라이브러리를 사용하였다. 본 논문에서 제안하는 방법의 검증에 사용된 데이터셋으로 두 가지를 사용한다. 첫 번째로 그림 5의 CMU multi-pie 데이터셋을 사용하였다. CMU multi-pie 데이터셋은 총 337명의 750,000개 이상의 이미지가 포함되어 있고 다양한 얼굴표정과 15가지 카메라 각도 19가지 조명의 다양한 환경으로 구축되어 있다[8]. CMU multi-pie 데이터는 동일한 환경에서 다양한 각도의 이미지를 제공하여 다각도 이미지 생성 학습에 사용되었다. 두 번째로 그림 6의 NoW 데이터셋을 사용하였다. NoW 데이터셋에는 iPhone X로 촬영한 100명의 2D 이미지 2054개와 각각 3D 얼굴 스캔 데이터가 포함되어 있다[9]. 촬영한 100명은 나이, BMI, 성별(여성 55명, 남성 45명)이 차이가 있도록 구성되어있다. NoW 데

이터셋은 학습된 모델의 성능 검증에 사용되었다. 실험에 사용한 StyleGAN Encoder의 모델로 ReStyle-pSp를 사용하였으며 내부의 generator 모델로 stylegan3를 사용하였다.



Fig. 5. CMU multi-pie dataset.
그림 5. CMU multi-pie 데이터셋

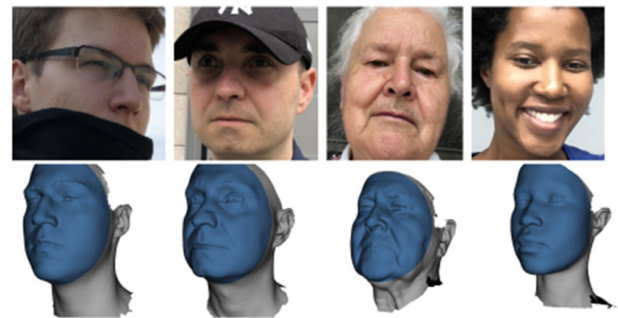


Fig. 6. NoW dataset.
그림 6. NoW 데이터셋

나. 실험 결과

본 실험에 사용된 지표는 생성된 3D 얼굴 모델과 NoW 데이터셋의 3D 얼굴의 mesh 간 거리를 측정한다. 이는 생성된 3D 얼굴 모델과 데이터셋의 3D 얼굴 사이의 정합도를 나타내며, 두 mesh가 유사할수록 낮은 값이 출력된다. 측정 결과는 기존 방법들의 3D 얼굴 모델 생성 결과와 제안하는 방법의 3D 얼굴 생성 결과를 NoW 데이터셋의 3D 얼굴 데이터와의 mesh 간 거리 평균값과 표준편차로 측정하여 비교하였다. 단위는 실제 얼굴 크기로 환산한 길이 mm(밀리미터)이다.

실험 결과, 표1과 같이 PRNet은 평균 1.99, 표준편차 1.90이고, 3DDFA는 평균 1.87, 표준편차 1.82 이고, 제안하는 방법은 평균 1.71, 표준편차 1.65로 측정 결과를 보였다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 방법이 PRNet과 비교하여 평균 0.26, 3DDFA와 비교하여 평균 0.16의 성능 향상을 확인하였다. 또한, 표준편차가 감소하여 더욱 안정적으로 3D 얼굴 모델을 생성하여 성능 향상을 확인하였다.

그림 7은 실험 결과 이미지이다. 3DDFA의 경우 입력

된 2D 이미지가 3D 얼굴 모델에 직접 렌더링된 결과를 나타낸다. 제안하는 방법의 경우 StyleGAN Encoder를 이용해 생성된 2D 이미지의 정면 이미지가 렌더링에 사용되어 성능 향상을 확인 할 수 있다.

Table 1. Results of mesh distance comparison on the NoW dataset.

표 1. NoW 데이터셋의 메쉬 간 거리 비교 결과

Method	Mean(mm) ↓	Std(mm) ↓
PRNet[1]	1.99	1.90
3DDFA[2]	1.87	1.82
The proposed method	1.71	1.65

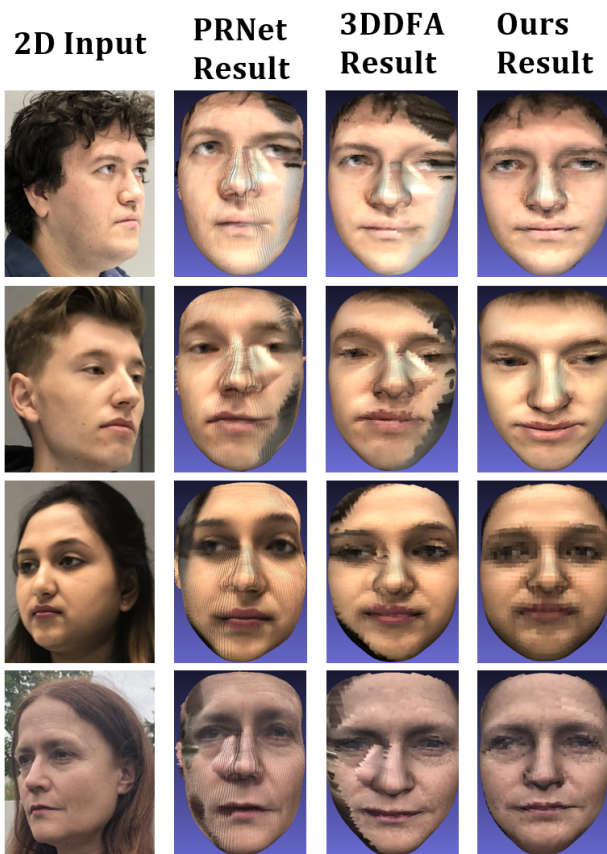


Fig. 7. Image of experimental results.
그림 7. 실험 결과 이미지

III. 결론

본 논문에서는 StyleGAN Encoder를 활용하여 단일 2D 이미지로부터 다각도의 얼굴 이미지를 생성하고, 이를 기존 3D 얼굴 특징점 추출 네트워크의 입력 구조를 개선하여 3D 모델링의 성능을 향상시키는 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 StyleGAN Encoder 기반으로

다양한 각도의 고품질 이미지를 생성하며, 이 다각도 이미지를 3D 얼굴 모델링 네트워크에 활용함으로써 기존 3DDFA 방식에서 발생하는 각도 왜곡 문제를 감소시켰다.

실험 결과, NoW 데이터셋을 사용하여 두 mesh 간의 평균 거리와 표준편차를 측정한 결과, 제안된 방법이 평균 1.71로 기존 방법 대비 평균 거리가 감소하여 성능 향상을 보였으며, 표준편차 또한 1.65로 감소하여 모델링의 안정성을 확인하였다. 이는 다각도 이미지가 3D 얼굴 모델링에서 보다 정밀한 특징 추출에 기여함을 보여준다.

향후 연구에서는 증가한 네트워크의 연산처리량을 최적화하여 연산속도를 향상시키는 연구와 다양한 얼굴 데이터셋에 대한 추가 실험을 통해 제안된 방법의 일반화 가능성을 검증하고, StyleGAN Encoder에서 생성되는 다각도 이미지의 품질 향상을 위해 GAN 구조 최적화와 추가적인 손실 함수 설계에 대한 연구가 필요하다고 사료된다.

References

[1] Feng, Yao, et al. "Joint 3d face reconstruction and dense alignment with position map regression network," *Proceedings of the European conference on computer vision (ECCV)*. 2018.
DOI: 10.48550/arXiv.1803.07835

[2] Guo, Jianzhu, et al. "Towards fast, accurate and stable 3d dense face alignment," *European Conference on Computer Vision*. Cham: Springer International Publishing, 2020.
DOI: 10.48550/arXiv.2009.09960

[3] Richardson, Elad, Matan Sela, and Ron Kimmel. "3D face reconstruction by learning from synthetic data," *2016 fourth international conference on 3D vision (3DV)*. IEEE, 2016.
DOI Bookmark: 10.1109/3DV.2016.56

[4] Chai, Zenghao, et al. "Hiface: High-fidelity 3d face reconstruction by learning static and dynamic details," *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*. 2023.
DOI: 10.48550/arXiv.2303.11225

[5] Das, Rohit, Tzung-Han Lin, and Ko-Chih Wang. "3D-GANTex: 3D Face Reconstruction with StyleGAN3-based Multi-View Images and

3DDFA based Mesh Generation,” *arXiv preprint arXiv:2410.16009* (2024).

DOI: 10.48550/arXiv.2410.16009

[6] Richardson, Elad, et al. “Encoding in style: a stylegan encoder for image-to-image translation,” *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. pp.2287-2296, 2021 DOI: 10.1109/CVPR46437.2021.00232

[7] Blanz, Volker, and Thomas Vetter. “A morphable model for the synthesis of 3D faces,” *Seminal Graphics Papers: Pushing the Boundaries*, Vol. 2, pp.157-164, 2023. DOI: 10.1145/3596711.35967

[8] <https://www.cs.cmu.edu/afs/cs/project/PIE/MultiPie/Multi-Pie/Content.html>

[9] Sanyal, Soubhik, et al. “Learning to regress 3D face shape and expression from an image without 3D superviso,” *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. 2019.

DOI:10.48550/arXiv.1905.06817

BIOGRAPHY

Hee-Yeol Lee (Student Member)



2016 : BS degree in Electronic Engineering, Hanbat National University
National University
2018 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat National University

2018~current : Ph. D degree course of Electronic Engineering, Hanbat National University

Seung-Ho Lee (Member)



1986 : BS degree in Electronic Engineering, Hanyang University
1989 : MS degree in Electronic Engineering, Hanyang University
1994 : Ph. D degree in Electronic Engineering, Hanyang University
1994~current : Professor, Department of Electronic Engineering, Hanbat National University