

소형 초분광 카메라를 활용한 얼굴 인식의 성능 향상을 위한 중앙 서버-엣지 전이 학습 프로토콜

최영인, 이지오, 강주성, 신영학, 이흥노*

광주과학기술원, 국립목포대학교

young_in@gm.gist.ac.kr, jioh0826@gm.gist.ac.kr, k92492@gist.ac.kr,

younghak@mnu.ac.kr, *heungno@gist.ac.kr

Central Server-Edge Transfer Learning Protocol for Enhanced Face Recognition using Small Hyperspectral Camera

Youngin Choi, Jioh Lee, Jusung Kang, Younghak Shin, Heung-No Lee*

Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

요약

본 논문은 현대 신원 인증 시스템의 중요성과 얼굴 인식 기술의 한계를 다루며, 이를 극복하기 위한 소형 초분광 카메라를 활용한 전이학습 기반의 모델 파라미터 업데이트 프로토콜을 제안한다. 초분광 기술을 사용하여 얼굴 인식의 강건성을 향상하기 위해 소형 초분광 카메라를 이용하여 데이터를 수집하고, 이에 따른 문제점들에 대한 해결책을 제시한다. 데이터 다양성 부족과 저장 용량 및 계산 비용의 한계를 극복하기 위해 중앙 서버와 엣지 간의 효율적인 데이터 송수신을 위한 프로토콜을 도입하며, 이를 통해 얼굴 인식 모델의 성능을 향상할 것으로 예상된다. 보완적인 측면에서는 블록체인 기술이나 연합학습의 도입을 고려하여 안전성을 강조한다.

I. 서론

신원 인증 시스템에 관련된 기술은 개인정보 보호에 민감한 현대 사회에서 빠르게 발전하고 있다. 특히 얼굴 인식 시스템은 보안 서비스뿐 아니라 디지털 서비스 분야에서 또한 널리 사용되고 있다. 이러한 얼굴 인식 시스템은 개인의 고유 특성을 이용한 신원 인증 방식이기 때문에 ID/PW 방식의 기존 인증 방식 시스템의 비밀번호 누출 문제를 일부 해결할 뿐 아니라 지문과 같이 상대적으로 손상이 쉬운 신체 부위에 대한 인증 시스템보다 안정성을 보장할 수 있다. 이러한 이유로 정밀한 얼굴 인식 알고리즘을 구축하는 기술의 중요성은 더욱 요구되고 있다.

기술의 발전에도 불구하고, RGB 얼굴 이미지 데이터를 활용한 학습 모델은 실제 사용 환경에서 발생하는 조명, 포즈의 변화 등에 대해 강건하지 못하여 높은 인식 성능을 보이지 못하였다. 이에 대한 해결책으로, 최근 연구에서는 초분광 기술(Hyperspectral image, HSI)을 도입하여 얼굴 인식 성능을 향상하게 시키는 방법을 제시하고 있다. RGB 이미지와는 달리 HSI는 같은 이미지에 대해 다양한 스펙트럼 정보를 활용하여 얼굴의 세부적인 특징을 뚜렷하게 분석할 수 있다는 장점이 있다. 이로써, 기존 얼굴 인식 시스템에서 발생하는 조명, 포즈 변화 등과 같은 환경 변화에 대해 높은 강건성을 보여주었다.[1] 그러나 초분광 기술을 활용한 얼굴 인식 방법은 얼굴 데이터셋을 확보하기 위해 고가의 카메라 및 복잡한 시스템, 그리고 특정한 촬영 환경 때문인 물리적 한계가 존재한다. 최근에는 가격이 저렴하고 크기가 작아 사용하기 쉬운 소형 초분광 카메라가 개발되고 있다.[2] 이러한 소형 초분광 카메라의 등장은 얼굴 인식 시스템의 확산과 편의성 증대에 기여하고 있지만, 동시에 여러 문제점이 존재한다.

본 논문은 소형 초분광 카메라를 이용한 얼굴 인식 시스템의 문제점을 도출하고 이에 대한 해결책으로 '중앙서버-엣지(개인기기) 간의 데이터 송수신을 통한 전이학습 기반 모델 파라미터 업데이트 프로토콜'을 제안한다.

II. 본론

소형 초분광 카메라를 활용한 얼굴 인식 기술에서 발생하는 문제점은 다음과 같다. 첫 번째, 개인 카메라로 수집된 얼굴 데이터의 다양성 부족이 모델의 성능 저하로 이어질 수 있다. 한정된 데이터셋으로 학습된 모델은 다양한 환경과 특징에 대한 적응력이 부족할 우려가 있다. 두 번째, 소형 초분광 카메라는 저장 용량과 계산 비용이 제한적인 특징을 가지고 있다. 특히, 소형 카메라는 높은 저장 용량과 연산 비용을 확보하기 어려운 문제가 있다. 이에 대응하여, 본 논문은 중앙 서버를 활용한 '중앙 서버-엣지 간의 데이터 송수신을 통한 전이 학습 기반 모델 파라미터 업데이트 프로토콜'을 제안한다. 이 프로토콜은 데이터의 다양성 부족과 연산 비용 문제를 해결하기 위한 새로운 접근 방식으로, 소형 초분광 카메라를 통한 얼굴 인식 시스템의 성능 향상이 예상된다. 논문에서는 이 제안된 프로토콜을 효율적으로 구현하기 위한 두 가지 핵심 과정을 세분화하고, 각 과정에서의 방법론에 대해 자세히 논의한다.

2.1 데이터 증강

데이터 다양성을 확보하기 위한 핵심 전략 중 하나로 데이터 증강을 적용한다. 우리의 도메인에서는 소형 초분광 카메라를 활용하여 다양한 스펙트럼의 이미지를 수집하고 이를 생성 모델의 입력으로 활용한다. 해당 이미지들은 각각의 스펙트럼 특성에 따라 다양한 스타일의 개인 이미지를 생성하는 과정을 통해 데이터를 증강한다. 생성 모델은 주로 GAN[3], Diffusion[4] 모델 등으로 구성된다. 특히, 이러한 생성 모델들은 입력 이미지에서 적절한 특징을 추출하여 새로운 스타일의 이미지를 생성하는 공통된 특성이 있다. 데이터 증강을 통해 다양한 스펙트럼과 스타일을 가진 얼굴 데이터를 확보하고, 인식 모델의 학습 성능을 향상하는데 이바지할 것으로 기대한다.

2.2 중앙 서버-엣지 전이학습을 통한 파라미터 공유

그러나 데이터 증강을 통해 얻은 초분광 얼굴 이미지도 소형기가 갖는 데이터 수용 용량 및 다양성 한계에 부딪힌다. 이러한 문제를 극복하기 위해 고성능 중앙 서버와 엣지 간의 데이터 통신을 활용하며, 중앙 서버에서 저장된 여러 사용자의 초분광 얼굴 데이터셋을 활용하여 얼굴 인식 모델을 학습하고, 파라미터를 공유하는 방식의 프로토콜을 제안한다. 이 방식은 아래와 같이 진행된다.

step 1. 같은 목적을 갖는 엣지는 정기적으로 자체 증강한 초분광 얼굴 데이터셋을 중앙 서버로 전송한다.

step 2. 중앙 서버는 각 엣지에서 수신한 데이터를 aggregation 방식으로 통합하고, 얼굴 인식 모델을 학습한다.

step 3. 학습이 완료된 후, 중앙 서버는 일정 시기에 다시 엣지로 학습된 모델을 전송하여 배포한다.

step 4. 엣지는 자체 소량의 데이터를 활용하여 fine-tuning을 수행하고, 평가한다.

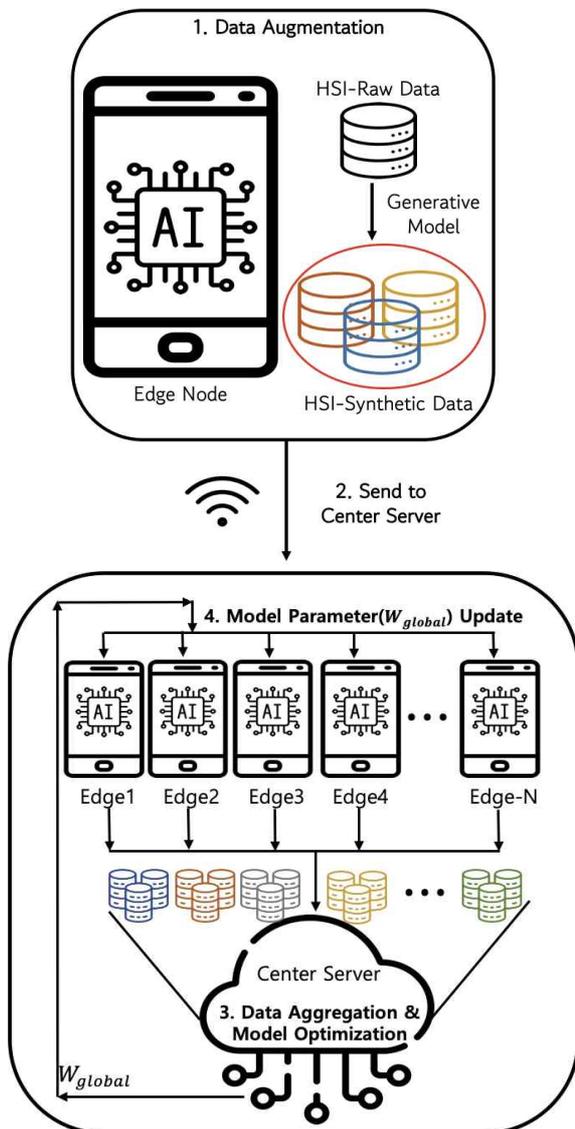


그림1. 중앙 서버-엣지 간의 데이터 송수신을 통한 전이학습 기반 모델 파라미터 업데이트 프로토콜

위 과정의 프로토콜은 여러 장점을 가지고 있다. 첫째, 각 엣지에서는 중앙 서버로 증강된 데이터만을 전송하고 얼굴 인식을 대량의 데이터에 대해 전체적으로 학습하지 않고 fine-tuning을 하므로 계산 비용 측면에서 부담이 감소한다. 둘째, 중앙 서버에서 aggregation 방식으로 데이터를 학습하기 때문에 공유된 파라미터 모델은 데이터의 다양성을 고려할 수 있다. 그러나 중앙 서버와 엣지 간의 데이터 전송에는 communication cost와 computational cost의 trade off 관계가 존재하며, 데이터 전송 시 발생할 수 있는 해킹 등에 의한 개인정보 누출 우려가 있다. 이에 대비하여 데이터 송수신 및 모델 파라미터 배포과정에서 블록체인을 통한 암호화 기법의 적용 혹은 연합학습을 통한 파라미터 공유 방식을 검토할 필요가 있다. 이러한 보완적인 고민은 중요하며, 신중한 접근이 필요하다.

III. 결론

본 논문은 현대 신원 인증과 얼굴 인식 기술 중 초분광 기술을 다루며, 소형 초분광 카메라를 활용한 얼굴 인식의 문제점에 대한 해결책으로 ‘전이학습 기반 모델 파라미터 업데이트 프로토콜’을 제안했다. 이는, 데이터 다양성과 저장 용량 제약을 극복하여 얼굴 인식 시스템의 향상이 될 것으로 예상된다. 또한, 데이터 송수신 및 모델 파라미터 배포과정에서 발생할 수 있는 보안 문제에서 블록체인 기술이나 연합학습 등의 고려가 필요하다. 이러한 연구를 통해 소형 초분광 카메라를 이용한 얼굴 인식 기술의 향상된 적용 가능성을 제시함으로써, 보안 및 개인정보 보호 측면에서 높은 수준의 효율성과 안전성을 확보하는데 이바지할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the MSIT, Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support Program (IITP-2024-2021-0-01835) supervised by the IITP (Institute for Information & Communications Technology Planning Evaluation.)

참고 문헌

- [1] Zhang, X., and Zhao, H. "Hyperspectral-cube-based mobile face recognition: A comprehensive review," *Information Fusion*, vol. 74, pp. 132-150, 2021.
- [2] Kim, Cheolsun, et al. "Mass production-enabled computational spectrometers based on multilayer thin films," *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, 2022, p. 4053.
- [3] Karras, Tero, et al. "Training generative adversarial networks with limited data," *Advances in Neural Information Processing Systems* 33, 2020, pp. 12104-12114.
- [4] Kim, Minchul, et al. "DCFace: Synthetic Face Generation with Dual Condition Diffusion Model," *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2023.