

드론(무인기동체) 기반 개인 사생활 보호를 위한 영상 블러링 및 실시간 모니터링 시스템

고보경, 이서정, 조민지
경기대학교

gobk0507@gmail.com, kymseo59@kyonggi.ac.kr, minmin6529@kyonggi.ac.kr

Real-time Privacy Protection with AI-based Facial Blurring in Drone Systems

Bo-Gyeong Ko, Seo-Jeong Lee, Min-Ji Cho
Kyonggi Univ.

요약

드론의 상업화 증가와 함께 드론 사용으로 인한 사생활 침해 문제가 커지고 있다. 본 연구는 실시간 드론 모니터링 시스템에서 개인 정보 보호를 강화하기 위해 AI 기반의 얼굴 블러링 기술을 개발하는 것을 목표로 한다. 제안된 시스템은 드론이 수집한 영상에서 얼굴을 실시간으로 감지하고, 사전에 등록된 개인을 제외한 미등록된 얼굴을 블러 처리한다. 얼굴 감지의 높은 정확도와 속도를 위해 YOLOv5Face와 ByteTrack 알고리즘을 결합하였으며, ArcFace 알고리즘을 통해 감지된 얼굴을 인식한 후 미등록된 얼굴에는 Gaussian Blur를 적용한다. 얼굴 매칭의 효율성을 높이기 위해 Cosine Similarity 알고리즘을 사용하였다. 본 연구는 드론 기반 모니터링 시스템에서 사생활 보호 문제 해결에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

1. 서론

최근 드론 기술의 급속한 발전은 다양한 산업과 응용 분야에서 새로운 가능성을 열어주고 있으며, 특히 드론 기반 모니터링 시스템은 물류 센터의 재고 관리, 재난 대응, 교통 흐름 관찰 등에서 효과적으로 활용되고 있다. 이러한 시스템은 고해상도 카메라와 실시간 데이터 전송 기술을 통해 넓은 지역을 효율적으로 모니터링할 수 있는 장점을 제공한다. 그러나 드론을 이용한 영상 촬영은 공공장소나 특정 업무 현장에서 사전 동의 없이 촬영될 경우 프라이버시 침해 우려를 야기할 수 있다. 이는 드론이 상업적 용도로 더 널리 사용됨에 따라 개인정보 보호 조치의 중요성이 더욱 증가하고 있음을 시사한다.

이와 함께 프라이버시 보호는 현대 사회에서 중요한 이슈로 부각되고 있으며, 관련 법률과 규정도 강화되고 있다. 현재 한국의 개인정보 보호법은 개인의 동의 없이 드론이 촬영한 영상의 취급을 엄격히 규제하고 있다. 드론의 상업화를 활성화 하기 위해서는 이러한 법적 규제를 준수하며 드론 모니터링의 효율성을 유지해야 한다. 따라서 본 연구는 다양한 얼굴인식 알고리즘을 활용하여 동적인 변화의 민감한 드론 촬영 영상의 정확도 탐지를 극복하고, 물류 센터와 같은 상업적 환경에서 이러한 영상을 안전하게 이용할 수 있는 실용성 있는 대책을 마련하는 것을 목표로 한다.

II. 알고리즘 설계

본 연구는 실시간 드론 모니터링 시스템에서 정확하고 효율적인 얼굴 검출, 인식 및 추적을 위해 고급 AI 알고리즘을 통합하는 것을 목표로 한다. 이 접근 방식의 핵심 구성 요소는 YOLOv5Face, RetinaFace, ArcFace, 그리고 ByteTrack 알고리즘이며, 이들 모두는 높은 정확도와 속도로 실시간 처리에 적합한 특징을 가진다.

2.1 YOLOv5Face

YOLOv5Face는 YOLOv5 알고리즘을 기반으로 한 최적화된 얼굴 검출 모델로, 다른 얼굴 검출 모델인 MTCNN(Multi-task Cascaded Convolutional Networks)이나 SSD(Single Shot Multibox Detector)에 비해 빠른 속도와 높은 정확도로 잘 알려져 있다.

YOLOv5Face는 YOLOv5의 기본 구조를 기반으로 하여 얼굴 검출 성능을 개선하기 위해 몇 가지 중요한 요소를 추가하였다. 첫째, 작은 얼굴을 더 정확하게 검출하기 위해 작은 커널 크기를 사용하였다. 둘째, 랜덤 마크 정확성을 높이기 위해 랜덤 마크 회귀 헤드를 추가하였다. 마지막으로, 큰 얼굴을 더 효과적으로 검출하기 위해 P6 출력 블록을 도입하여 다

양한 크기의 얼굴을 정확하게 검출할 수 있도록 하였다.

2.2 RetinaFace

RetinaFace는 높은 정확도의 얼굴 검출을 위해 사용되었다. 이 모델은 ResNet을 백본으로 사용하여 깊고 풍부한 특징 표현을 추출할 수 있으며, 이를 통해 다양한 환경에서도 우수한 성능을 발휘한다. 또한 RetinaFace는 다양한 크기의 얼굴을 효과적으로 검출하기 위해 Feature Pyramid Network(FPN)를 통합하였다. FPN은 다중 스케일 특징 피라미드를 통해 동일 이미지 내에서 다양한 크기의 얼굴을 인식할 수 있도록 한다. 이 접근 방식은 특히 작은 얼굴의 검출 능력을 크게 향상시킨다. 이러한 특성 덕분에 RetinaFace는 Faster R-CNN이나 Mask R-CNN 같은 고정밀 얼굴 검출 모델보다 검출 속도가 빠르며, 특히 작은 얼굴 검출에서 더 우수한 성능을 보인다.

따라서 드론이 촬영한 영상에서 얼굴을 높은 정확도로 검출하고, 정밀한 얼굴 정렬 및 상세한 얼굴 분석을 수행할 수 있게 하였다.

이 과정에서 사용한 손실함수는 다음과 같다.

$$L = L_{cls} + \alpha L_{bbox} + \beta L_{lmark} \quad (1)$$

(1) L_{cls} : 얼굴과 비얼굴을 구분하는 데 사용되는 얼굴 분류 손실

L_{bbox} : 검출된 얼굴 위치의 정확도를 향상시키는 바운딩 박스 회귀 손실

L_{lmark} : 주요 얼굴 지점(눈, 코, 입 등)의 위치를 예측하는 랜드마크 위치 손실

2.3 ArcFace

얼굴 검출 이후, ArcFace 알고리즘을 활용하여 얼굴 인식을 수행하였다. ArcFace는 얼굴 특징의 판별력을 극대화하기 위해 가산 각도 마진 손실을 사용하는 최첨단 얼굴 인식 모델이다. 이 알고리즘은 감지된 얼굴을 사전 등록된 데이터베이스와 비교하여 일치하는 얼굴을 식별하며, 일치하지 않는 경우 블러 처리를 수행한다.

ArcFace는 얼굴 이미지에서 512차원 특징 벡터를 추출하고, 코사인 유사도를 사용하여 특징 벡터 간의 유사성을 평가하여 일치 여부를 결정한다. 두 벡터 간의 각도를 측정 후, 유사도가 높을수록 동일 인물로 간주한다. 이 고차원 임베딩 공간에서의 얼굴 특징 매핑은 매우 정밀하여 신뢰성이 높다. 이를 통해 드론 기반 모니터링 시스템에서 실시간으로 높은 얼굴 인식 정확성을 보장하며, 동시에 개인 정보 보호를 위한 블러링 처리를 효과적으로 적용할 수 있다.

2.4 코사인 유사도

얼굴 인식 후, 감지된 얼굴은 코사인 유사도 알고리즘을 사용하여 사전 등록된 데이터베이스와 비교된다. 코사인 유사도는 두 벡터 간의 각도를 측정하여 유사성을 평가하는 방법으로, ArcFace 알고리즘을 통해 추출된 512차원 특징 벡터를 비교하여 얼굴 매칭을 수행한다. 코사인 유사도는 두 벡터 사이의 각도 차이를 기반으로 유사성을 계산하며, 값이 1에 가까울수록 유사도가 높은 것으로 간주한다. 또한, 코사인 유사도는 계산이 간단하고 신속하여 실시간 처리 응용에 뛰어난 성능을 발휘한다.

코사인 유사도는 다음과 같이 계산된다.

$$\frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} \quad (2)$$

(2) A, B : 두 얼굴 이미지의 특징 벡터

$A \cdot B$: 두 벡터의 내적

$\|A\|, \|B\|$: 벡터의 크기

2.5 Gaussian Blur

프라이버시 보호를 위한 얼굴 블러링에는 Gaussian Blur 알고리즘을 적용하였다. Gaussian Blur는 이미지의 세부 사항과 노이즈를 줄이기 위해 Gaussian 함수를 사용하는 널리 사용되는 이미지 처리 기법으로, 식별 가능한 얼굴 특징을 효과적으로 흐리게 만드는 데 적합하다. Gaussian Blur는 이미지의 각 픽셀에 Gaussian 커널을 적용하여 인접한 픽셀 간의 가중 평균을 계산함으로써 블러링 효과를 얻는다.

이 시스템은 얼굴 검출, 인식 및 매칭 과정을 거친 후, 등록되지 않은 얼굴에 대해 Gaussian Blur를 적용하여 식별을 어렵게 하고 프라이버시를 보호한다.

2.6 ByteTrack

본 연구에서는 일관된 블러링 처리를 보장하기 위해 ByteTrack 알고리즘을 얼굴 추적 모듈에 통합하였다. ByteTrack은 실시간 다중 객체 추적 분야에서 높은 정확도와 견고성을 제공하는 알고리즘으로, 드론 모니터링 시스템에서 감지된 얼굴을 지속적으로 추적하는 데 최적화되어 있다.

ByteTrack 알고리즘은 높은 신뢰도의 검출 상자와 낮은 신뢰도의 검출 상자를 모두 포함하여 추적 정확도를 향상시킨다⁵⁾. 이 알고리즘은 칼만 필터를 사용하여 각 트랙의 위치를 예측하고, IoU(Intersection over Union) 또는 Re-ID(재식별) 특징 거리를 계산하여 유사성을 판단한다. 두 단계의 연관 과정을 통해 높은 신뢰도의 검출 상자를 먼저 매칭하고, 이후 남은 낮은 신뢰도의 검출 상자를 처리함으로써 추적의 정확성과 일관성을 유지한다.

III. 시스템 설계

본 연구에서는 드론 기반 영상 블러링 및 실시간 모니터링 시스템을 설계하여 개인 사생활 보호를 강화하고자 한다. 이 시스템은 다양한 AI 알고리즘을 통합하여 높은 정확도와 실시간 처리 성능을 제공하며, 드론이 수집한 영상을 실시간으로 분석하여 프라이버시 침해를 최소화한다.

그림 1은 웹페이지의 메인 화면을 보여주며, 다양한 장소와 여러 인물들 대상으로 실시간으로 처리된 후 저장된 영상들을 나타낸다. 이 시스템은 사전에 등록된 얼굴을 제외하고 블러 처리를 적용하여 개인 프라이버시를 보호하는 기능을 제공한다. 그림에서 볼 수 있듯이, 등록된 사용자의 얼굴은 명확하게 표시되며, 등록되지 않은 사용자의 얼굴은 블러 처리되어 식별이 불가능하다.



그림 1. 모니터링 웹의 메인 페이지

3.1 시스템 구조 및 기능

시스템은 크게 드론, 중앙 제어 서버, 그리고 실시간 모니터링 웹으로 구성된다. 이 시스템의 주요 기능은 사전에 등록된 인물의 얼굴을 인식하고, 미등록자의 얼굴을 블러 처리하여 프라이버시를 보호하는 것이다.

3.1.1 드론

드론은 고해상도 카메라를 통해 영상을 촬영하며, 촬영한 영상을 실시간으로 중앙 제어 서버로 전송한다.

3.1.2 중앙 제어 서버

그림 2는 모니터링 웹의 기능 중 하나를 보여준다. 시스템 사용자는 웹페이지의 사진 등록 페이지를 통해 등록자의 사진을 사전에 등록할 수 있으며, 중앙 제어 서버는 드론으로부터 수신한 영상을 실시간으로 분석한다. YOLOv5Face와 RetinaFace 알고리즘을 사용하여 얼굴을 검출한 후, ArcFace 알고리즘을 통해 검출된 얼굴을 사전에 등록된 얼굴 데이터베이스와 비교하여 인식한다. 최종적으로, 인식된 결과에서 미등록된 얼굴에 대해서는 Gaussian Blur 알고리즘을 적용하여 얼굴을 흐리게 처리한다. 이 과정이 완료된 후 개인정보 보호를 위해 블러 처리되지 않은 원본 데이터는 즉시 삭제한다. 이 절차는 원본 데이터의 유출과 오용 가능성을 차단하여 개인정보를 보호한다.

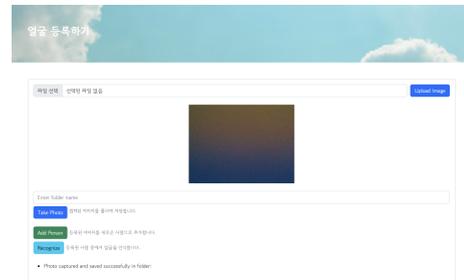


그림 2. 사진 사전 등록 페이지

3.1.3 실시간 모니터링 웹

중앙 제어 서버에서 처리된 최종 영상은 사용자에게 실시간으로 제공되며, 제공되는 영상에서 미등록자의 얼굴은 블러 처리되어 프라이버시가 보호된다.

IV. 결론

본 연구는 드론 시스템에서 실시간으로 프라이버시를 보호하기 위한 AI 기반 얼굴 블러링 기술을 종합적으로 제시하였다. YOLOv5Face, RetinaFace, ArcFace, 코사인 유사도, Gaussian Blur, 그리고 ByteTrack과 같은 고급 알고리즘을 통합하여, 얼굴 검출, 인식, 매칭, 추적에서 높은 정확도와 실시간 처리 성능을 달성하였다. 특히, 미등록된 얼굴에 Gaussian Blur를 적용함으로써 효과적인 프라이버시 보호를 구현하여 드론 감시에 대한 중요한 문제를 해결하였다.

제안된 시스템은 다양한 테스트 환경에서 뛰어난 성능을 발휘하였으며, 특히 실시간 처리 속도는 평균 25 프레임(Frame)으로 드론 기반 모니터링

시스템에서 요구되는 실시간 성능을 충분히 충족시켰다. 이를 통해 본 시스템은 물류 센터와 같이 실시간 모니터링이 중요한 환경에서의 적용 가능성을 입증하였다.

향후 연구에서는 더욱 발전된 알고리즘을 탐구하고, 재난 대응 상황 등 다양한 실제 시나리오에 시스템을 확장하여 적용하는 것을 목표로 할 예정이다. 본 연구는 실시간 얼굴 블러링 기술을 발전시켜, 드론 기반 모니터링 시스템에서 프라이버시 문제를 효과적으로 해결할 수 있는 실질적인 프레임워크를 제공하는 데 중요한 역할을 한다. 이를 통해 드론 기술의 상업화와 활용이 더욱 촉진될 것으로 기대된다.

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학 지원사업의 연구결과로 수행되었음”(2021-0-01393)

참 고 문 헌

[1] 손순호, 손원호 “드론에 의한 프라이버시 침해 규제방안 연구” 한국지적정보학회지 24.1 (2020): 197-236.

[2] 권영준 “프라이버시 보호의 정당성, 범위, 방법” 사법 1.41 (2017): 273-331.

[3] Qi, D., Tan, W., Yao, Q., Liu, J. (2023). YOLO5Face: Why Reinventing a Face Detector. In: Karlinsky, L., Michaeli, T., Nishino, K. (eds) Computer Vision - ECCV 2022 Workshops. Lecture Notes in Computer Science, vol. 13805. Cham: Springer, pp. 228-244, doi: 10.1007/978-3-031-25072-9_15.

[4] J. Deng, J. Guo, E. Ververas, I. Kotsia, and S. Zafeiriou, "RetinaFace: Single-shot multi-level face localisation in the wild," in Proc. 2020 IEEE/CVF Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR), Seattle, WA, USA, 2020, pp. 5202-5211, doi: 10.1109/CVPR42600.2020.00525.

[5] Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W., Wang, X. (2022). ByteTrack: Multi-object Tracking by Associating Every Detection Box. In: Avidan, S., Brostow, G., Cissé, M., Farinella, G.M., Hassner, T. (eds) Computer Vision - ECCV 2022. Lecture Notes in Computer Science, vol 13682. Cham: Springer, pp. 1-21, doi: https://doi.org/10.1007/978-3-031-20047-2_1.