

컨벡스 희소 템플릿 선택을 통한 고스트 플레어 위치 추정 및 제거 연구

오민석, 순동현, 이상철[†]
대구경북과학기술원

harrymark0@dgist.ac.kr, dhsoon@dgist.ac.kr, sangchul.lee@dgist.ac.kr

Ghost Flare Localization and Removal via Convex Sparse Template Selection

Oh Min Seok, Soon Dong Hyeon, Sang Chul Lee[†]
DGIST

요약

스마트폰 촬영 환경에서 강한 점광원이 포함된 장면은 렌즈 내부 반사로 인해 고스트 플레어를 발생시키며, 이는 광원과 유사한 형태의 국소 아티팩트로 영상 품질을 저하시킨다. 고스트 플레어는 크기가 작고 대비가 낮아 일반적인 복원 처리 이후에도 잔존하는 경우가 많으며, 과도한 제거는 실제 장면 구조의 손실로 이어질 수 있다. 본 논문은 고스트 플레어가 광원으로부터 파생된 변형 복사본이라는 관찰에 기반하여, 광원 시드 검출 이후 다양한 변형을 포함하는 템플릿 후보 집합을 생성하고, 이 중 실제 고스트를 설명하는 후보만을 컨벡스 희소 최적화를 통해 선택하는 training free 고스트 플레어 제거 방법을 제안한다. 선택된 템플릿으로부터 생성된 최소 마스크는 국소 인페인팅 단계의 입력으로 활용되어, 고스트가 존재하지 않는 영역의 내용 보존과 고스트 영역의 선택적 복원을 동시에 달성한다. 제안 방법은 추가 학습 없이 적용 가능하며, 다양한 고스트 형태를 포괄하면서도 과잉 마스크를 효과적으로 억제할 수 있음을 정성적 실험을 통해 확인한다.

I. 서론

스마트폰 카메라는 센서 성능과 연산 사진 기술의 발전으로 일상에서 가장 보편적인 촬영 장치가 되었으나, 강한 광원이 시야 내에 포함되는 상황에서는 여전히 영상 품질 저하가 빈번하다. 특히 태양, 가로등, 차량 헤드라이트와 같은 점광원은 렌즈 및 보호유리 내부에서 다중 반사를 발생시키며, 그 결과 광원 형상을 닮은 작은 고스트 플레어가 장면 위에 중첩된다. 고스트 플레어는 균일한 배경 영역에서 시인성이 높고, 사진의 미적 품질을 저해할 뿐 아니라 후속 편집과 자동 분석에서도 오류를 유발할 수 있다. 또한 고스트 플레어는 글로우처럼 넓게 퍼지는 성분과 달리 공간적으로 국소적이며 구조가 뚜렷해, 단순한 평활화나 일반적인 복원 처리로는 제거가 어렵고 때로는 텍스처 왜곡을 동반한다. 본 연구는 고스트 플레어가 광원과 유사한 형태를 띤다는 경험적 사실을 체계화하여, 광원으로부터 파생된 템플릿 후보를 충분히 생성한 뒤, 관측 영상에서 실제 고스트를 가장 잘 설명하는 후보만을 희소하게 선택하는 방식으로 고스트 마스크를 구성한다. 이 과정은 후보를 넓게 생성하되 선택을 수학적으로 제한함으로써, 농침을 줄이면서 과잉 마스크를 억제하는 데 목적이 있다.

II. 본론

2.1 전체 파이프라인

그림 1은 본 논문에서 제안하는 고스트 플레어 제거 방법의 전체 파이프라인을 개략적으로 보여준다. 입력 영상은 먼저 마스크 모듈로 전달되며, 이 단계에서는 영상 내 고스트 플레어가 존재할 가능성이 높은 영역을 국소적으로 추정하는 것을 목표로 한다. 마스크 모듈은 고휘도 광원 영역을 시드로 추출한 뒤, 해당 광원으로부터 파생될 수 있는 다양한 형태의

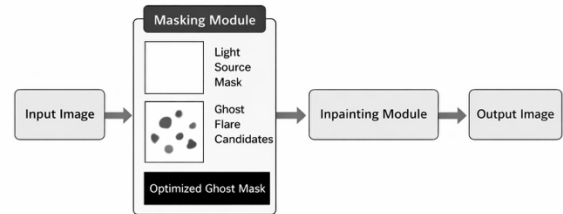


그림 1. 전체 파이프라인

고스트 후보 템플릿을 생성한다. 생성된 템플릿 후보들은 크기, 강도, 블러 및 색 변형을 포함하여 실제 고스트 플레어의 변형 가능성을 폭넓게 포괄하도록 설계된다. 이후 컨벡스 희소 선택 최적화를 통해 관측 영상의 구조적 잔차를 가장 잘 설명하는 소수의 템플릿만이 선택되며, 이를 통해 최소 마스크 원칙을 만족하는 최적의 고스트 마스크가 산출된다.

2.2 광원 시드 추출과 후보 생성의 기본 가정

입력 영상에서 고스트 플레어를 유발하는 직접 원인은 고휘도 광원 영역이므로, 먼저 광원 시드 마스크를 추출한다. 영상의 휘도 성분에서 상위 밝기 픽셀을 임계값으로 분리하고, 형태학적 연산을 적용해 연결 성분을 정돈하여 광원 마스크를 얻는다. 이후 광원 마스크 또는 광원 주변 패치를 기반으로 템플릿을 정의하며, 고스트 플레어는 광원보다 작고 대비가 낮은 경우가 많다는 점을 고려해 템플릿 후보의 크기와 강도를 폭넓게 변화시킨다. 그림 2의 사례에서 고스트 플레어는 광원보다 작은 점 형태로 나타나며, 제안 방법은 이러한 관찰을 반영하여 광원 기반 후보를 대량으로 생성한 뒤 선택 단계에서 정제한다.

2.3 템플릿 뱅크 구성과 위치 후보 배치

고스트 후보 템플릿 집합은 광원 마스크의 스케일 변형, 강도 변형, 블러 변형, 색 변형을 조합하여 구성한다. 스케일 변형은 고스트의 크기 변화를 포괄하기 위해 다수의 축척을 사용하며, 강도 변형은 고스트가 약간 대비로 나타나는 상황을 반영하기 위해 다양한 투명도를 적용한다. 블러 변형은 고스트가 약간 퍼진 형태를 갖는 경우를 고려해 가우시안 커널로 구현하고, 색 변형은 플레이어가 특정 색으로 치우칠 수 있다는 점을 반영해 채널별 이득을 부여한다. 공간적 배치는 광원 위치와 광학 중심의 상대적 관계가 고스트 위치에 영향을 준다는 점을 반영하여, 광원과 광학 중심을 잇는 방향을 따라 다수의 후보 위치를 설정한다. 구체적으로 광학 중심 근사를 (c), 광원 중심을 (p)라 할 때, 후보 위치는 $(p_k = c + \beta_k(c - p))$ 로 정의되며, (β_k) 의 집합을 변화시켜 중심 근처부터 원거리까지 다양한 위치를 탐색한다. 이 단계는 농집을 줄이기 위해 후보를 넓게 생성하는 역할을 수행한다.

2.4 최소 선택 기반 최소 마스크 최적화성

후보 템플릿이 충분히 생성되면, 실제 고스트 플레이어는 그중 소수의 템플릿 조합으로 설명될 수 있다는 가정하에 선택 문제를 최적화로 정식화한다. 고스트 레이어 (r)을 후보 템플릿 (T_k)의 비음수 결합으로 근사하고, 가중치 벡터 (ω)는 대부분의 항이 0이 되도록 희소성을 유도한다. 이를 위해 비음수 제약과 일차 노름 정규화를 포함한 목적함수를 사용한다. 실제 구현에서는 배경의 완만한 밝기 변화보다 고스트의 국소 구조와 경계가 더 구분적이라는 점에 착안하여, 픽셀 공간 대신 그래디언트 공간에서 잔차를 최소화한다. 입력 영상 (y)와 기준 영상 (x)가 주어졌을 때, 기준 영상은 고스트가 약화된 1차 복원 결과로 설정할 수 있으며, 최적화는 다음과 같이 주어진다.

$$\min_{\omega \geq 0} \left\| \nabla(y) - \nabla(x) - \sum_k \omega_k \nabla(T_k) \right\|_2^2 + \lambda \|\omega\|_1$$

여기서 비음수 제약은 고스트 플레이어가 영상에 더해지는 성분이라는 해석과 부합하며, 일차 노름 항은 소수의 후보만 선택되도록 유도해 과잉 마스크를 억제한다. 최적화로부터 (ω)를 얻은 뒤, 선택된 템플릿들의 지지 영역을 누적하여 최종 마스크 (M)을 구성한다. 그림 2의 빨간 박스 영역은 제안된 선택 과정이 고스트 플레이어의 위치를 국소적으로 특징하는 예를 제공한다.

2.5 마스크 기반 국소 인페인팅

앞 절에서 구성한 마스크 (M)은 고스트 플레이어가 존재할 가능성이 높은 영역을 국소적으로 지정한다. 본 연구에서는 이 마스크를 후속 복원 단계의 입력으로 사용하여, 전체 영상을 무차별적으로 변형하는 대신 고스트가 검출된 영역에 한해 국소적으로 내용을 복원한다. 구체적으로 마스크 내부의 픽셀을 결손 영역으로 간주하고, 마스크 외부의 문맥 정보를 조건으로 결손 영역을 채우는 인페인팅을 수행한다. 이때 인페인팅은 전통적 확산 기반 복원 또는 사전학습된 생성 모델 기반 복원으로 구현될 수 있으며, 공통적으로 목표는 주변 텍스처와 구조를 보존하면서 고스트로 인해 추가된 비물리적 패턴을 제거하는 것이다.

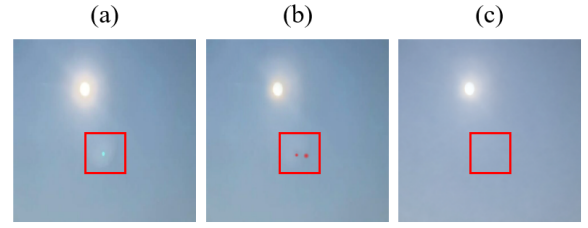


그림 2. 정성적 결과 예시

마스크가 과도하게 넓어지면 실제 장면 구조까지 재생성되어 시각적 왜곡이 발생할 수 있으므로, 앞선 최소 선택 최적화는 인페인팅 대상 영역을 최소화하여 불필요한 재생성을 억제하는 역할을 한다. 결과적으로 제안 방법은 고스트 검출과 복원을 분리한 구조를 취함으로써, 고스트가 없는 영역의 내용 보존과 고스트 영역의 선택적 제거를 동시에 달성하도록 설계되었다.

2.6 정성적 결과와 분석

그림 2(a)에서는 하늘 영역에 작은 고스트 플레이어가 관측되며, 이는 배경이 균일할수록 더 눈에 띈다. 그림 2(b)는 후보 템플릿 중 일부가 실제 고스트 구조를 설명하는 방향으로 선택되는 상황을 나타낸다. 그림 2(c)는 고스트 제거 이후 해당 영역의 시각적 일관성이 회복되는 예시를 제공하며, 본 논문이 제안하는 마스크 생성 단계가 후속 국소 복원 모듈의 입력으로 활용될 수 있음을 시사한다.

III. 결론

본 연구는 스마트폰 촬영에서 강한 점광원에 의해 발생하는 고스트 플레이어를 대상으로, 광원 시드로부터 생성한 템플릿 후보 집합을 기반으로 고스트 영역을 추정하고 제거하는 방법을 제안하였다. 제안 방법의 핵심은 고스트 플레이어가 광원 형태의 변형 복사본으로 나타난다는 관찰을 반영하여 템플릿 후보를 충분히 생성한 뒤, 비음수 제약과 일차 노름 정규화를 포함한 컨벡스 최소 선택 최적화를 통해 실제 고스트를 설명하는 소수의 후보만을 선택함으로써 최소 마스크를 달성하는 데 있다. 또한 생성된 마스크를 국소 인페인팅 단계의 입력으로 활용하여, 고스트가 없는 영역의 내용 보존과 고스트 영역의 선택적 복원을 분리함으로써 불필요한 재생성과 시각적 왜곡을 억제하도록 설계하였다. 향후에는 링 및 스트릭과 같은 추가 프리미티브 템플릿을 후보 집합에 포함하여 다양한 렌즈 플레이어 형태에 대한 표현력을 확장하고, 광학 중심 및 광원 시드 추정을 영상 통계 기반으로 정교화하여 카메라 모듈 간 일반화를 강화할 수 있다. 또한 합성 데이터와 실사 데이터에서의 정량 평가를 병행하여 마스크 정확도와 제거 품질의 상관관계를 체계적으로 분석하는 연구가 필요하다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구성과는 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-02633871)

참 고 문 헌

[1] J. Zhang et al., "Flare7K: A Phenomenological Nighttime Lens Flare Dataset," IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2023.