

Re-ID 기반 단기 ID 단절 복원을 위한 추적 결과 후처리 기법

김현기, 윤수연*
국민대학교, *국민대학교

avalonia@kookmin.ac.kr *1104py@kookmin.ac.kr

Recovering Identity Fragmentation via Simple Post-Processing for Short-Term Occlusions in Multi-Object Tracking

Hyun Ki Kim, *Soo-Yeon Yoon
Kookmin Univ, *Kookmin Univ.

요약

다중 객체 추적(Multi-Object Tracking, MOT) 시스템은 객체를 추적하고, ID를 부여하여, ID가 지속적으로 유지하는 것을 목표로 한다. 그러나, 단기 가림(occlusion), 탐지 실패, 프레임 누락 등으로 인해 동일 객체가 여러 개의 ID로 분할되는 문제(ID fragmentation)가 존재한다. 본 논문은 기존 추적 로그만을 활용하여, Re-ID feature와 공간 정보를 기반으로 ID fragmentation을 복원하는 사후 처리 기법을 제안한다. 본 기법은 별도의 모델 재 학습 없이 적용 가능하며, MOTChallenge 실험 결과 ID 지속성 기반 지표(IDF1, Frag) 및 전체 추적 정확도(MOTA)의 향상 효과를 보였다. 이는 규칙 기반의 후처리만으로도 기존 추적 시스템의 ID 지속성을 효과적으로 향상시킬 수 있음을 실험적으로 보여준다.

I. 서론

다중 객체 추적 시스템은, 영상 전반에서 객체를 감지하고 추적하는 작업으로, 객체의 ID 지속성이 핵심이다. 그러나, 단기 가림, 탐지 실패, 프레임 누락 등으로 인해, 하나의 객체가 시간적으로 단절된 다수의 ID로 분할되는 문제가 빈번하다. 이는 IDF1, Frag와 같은 ID 기반 성능 지표를 저하시키고, 객체 기반 행동 분석, 군중 계수(counting), 자율 주행 등 다양한 실제 응용에서 추적 결과의 신뢰도를 크게 약화시킨다.

이에 본 논문에서는 Re-ID feature 유사도와 공간적 거리 정보를 결합하여, ID 단절 구간을 보간, 병합함으로써 post hoc 방식으로 ID 지속성을 보완하는 사후처리 기법을 제안한다. 이 방법은 로그만을 활용하는 모듈화 된 방식이며, 별도의 학습 과정 없이도 다양한 tracker 환경에 손쉽게 적용 가능하다. 또한 MOT17 벤치마크 및 TrackEval [1][2] 평가 도구를 활용한 실험을 통해, 본 기법은 다양한 detector 및 tracker 환경에서 IDF1 향상과 Fragment 수 감소에 기여함을 확인하였다.

II. 관련 연구

2. Multi-Object Tracking (MOT)

다중 객체 추적(MOT)은 일반적으로 ‘tracking by detection’ 프레임워크로 구성되어, 객체 감지와 추적을 분리된 단계로 처리 가능하게 하는 방법이다. 이 방법은 실시간성과 구현 용이성 덕분에 널리 사용되는데, 최근에는 Re-ID feature를 활용한 장기 추적 기법도 활발히 연구되고 있다.

하지만 대부분의 연구는 탐지 성능 개선에 초점이 맞춰져 있으며, 단기 가림이나 탐지 누락으로 인한 ID 단절 현상을 후처리로 복원하려는 접근은 드물다. 특히 Re-ID feature와 공간 정보를 함께 활용해 단절된 ID 구간을 보완하는 방식은 기존 문헌에서 거의 다루지지 않았다.

III. 방법론

본 논문에서 제안하는 사후 처리 기법은 다음의 두 단계로 구성된다

3.1 ID 단절 구간 보간 및 병합

ID 단절구간에서 보간은, ID가 분할되는 상황에서 같은 ID를 부여받은 경우 의미하며, 병합은 같은 조건에서 다른 ID를 부여받은 경우를 의미하며, 보간과 병합의 실행 여부는 아래 조건을 만족하는 경우에 한해 수행된다.

- 프레임 조건: $\|frame_{end,a} - frame_{start,b}\| < \tau$
- Re-ID 유사도 조건: $\|\cos(\overrightarrow{feat_a}, \overrightarrow{feat_b})\| > \mu$
- 위치 조건: $\|bbox(x,y)_a - bbox(x,y)_b\| < \varepsilon$

이후 선형 보간 법으로 중간 프레임의 위치 및 feature를 생성하고, ID를 병합한다.

3.2 동일 프레임 내 ID 충돌 방지

보간, 병합 과정에서 하나의 프레임에 동일한 ID가 중복으로 나타나는 경우가 발생할 수 있다. 이는 평가 지표에 악영향 및 오류로 간주된다. 이를 방지하기 위해, 한 프레임 내에 같은 ID가 이미 존재하는 경우 confidence가 낮은 항목을 우선적으로 새로운 ID로 전환하는 방식으로 충돌을 방지한다.

IV. 실험

4.1 실험 데이터 및 평가기준

본 연구는 MOTChallenge [3]에서 제공하는 벤치마크 데이터셋인 MOT17을 사용하였다. 해당 데이터셋은 다양한 상황과, 객체 밀집도를 포함하고 있다. 평가는 TrackEval [8] 도구를 활용하여 결과를 측정하였으며, 사용된 주요 평가지표는 다음과 같다:

- **IDF1**: ID 지속 일관성 측정 (높을수록 우수)
- **MOTA**: 전반적인 추적 정확도 (높을수록 우수)
- **IDSW**: ID 가 바뀐 횟수 (낮을수록 우수)
- **Frag**: 단일 객체가 여러 track 으로 나뉜 횟수 (낮을수록 우수)

실험은 YOLOX detector [4] 와 tracking method 로 StrongSORT [5]를 조합하여 생성된 MOT 결과를 기반으로 하였으며, 본 논문에서 제안하는 사후 처리 기법을 적용하여 비교 분석을 수행하였다.

4.2 실험 결과

[표 1]은 MOT17 시퀀스에 대해 제안 기법 적용 전후 (Post-Processing; PP)의 주요 추적 지표 변화를 나타낸다.

[표 1]. MOT17 시퀀스별 성능평가.

Sequence	MOTA	IDF1	IDSW	Frag
MOT17-02	18.008	29.417	23	196
MOT17-02-PP	20.682	33.957	21	34
MOT17-04	34.161	50.42	68	705
MOT17-04-PP	36.43	53.74	53	126
MOT17-05	27.628	42.097	56	289
MOT17-05-PP	27.399	44.707	50	157
MOT17-09	61.239	57.047	32	107
MOT17-09-PP	65.728	60.982	22	50
MOT17-10	30.711	44.77	47	425
MOT17-10-PP	34.099	48.502	45	226
MOT17-11	52.989	65.004	25	86
MOT17-11-PP	53.052	65.924	20	46

* PP 는 PostProcessing 의 약자로서, 논문의 방법을 적용한 결과

* frame threshold = 75(보간), 30(병합) $\mu=0.7$, $\epsilon=100$ (pixel)

4.3 성능 평가 비교 분석

사후 처리 방법의 성능을 검증하기 위해, MOTA, IDF1, IDSW, Frag 의 네 가지 지표를 사용하여 평가를 수행하였다. 분석 결과는 다음과 같다.

MOTA 는 대부분의 시퀀스에서 향상되었으며, MOT17-10 에서는 약 3.4%p 향상이 나타났다. 그러나, MOT17-05 에서는 소폭 감소하였는데, 이는 해상도가 낮아 위치 기반 조건에서 보간이 과도하게 적용된 것으로 보이며, 이 문제로 인해 지표가 소폭 하락하는 결과가 나타났다.

IDF1 지표는 사후 처리 결과 모든 시퀀스에서 개선되었으며, 평균적으로 약 2.0~4.4%p 의 향상을 보였다. 이는 보간 및 병합 처리가 ID 의 지속성 확보에 긍정적으로 작용했음을 보여준다.

IDSW 지표는 대부분의 시퀀스에서 IDSW 가 감소하거나 유사한 수준을 유지했으며, 이는 병합 기준이 ID 전환을 줄이는 데 기여했음을 의미한다.

가장 큰 변화는 Frag 지표에서 관찰되었다. 단절된 트랙 수가 모든 시퀀스에서 크게 줄었으며, 특히 MOT17-04 에서는 기존 705 건에서 126 건으로 약 82% 감소하는 인상적인 결과를 보였다. 이는 단절된 트랙 간의 연결이 실질적으로 이루어졌다는 증거로 볼 수 있다.

종합적으로, 제안한 사후처리 기법은 규칙 기반의 앙상블적 접근이지만 ID 지속성 유지와 전체 추적 품질을 동시에 개선하는 데 효과적임을 입증하였다.

V. 결론

이 연구에서는 다중 객체 추적(MOT) 과정에서 발생하는 단기 ID 단절 현상을 완화하기 위해 규칙 기반의 사후 처리 기법을 제안하였다. 제안한 방법은 Re-Identification feature 의 유사도와 공간 정보를 활용하여, ID 가 단절된 짧은 구간에서 보간과 병합을 수행하여 ID 지속성을 향상시킨다. 이 기법은 추적기의 구조나 영상 데이터에 대한 추가적인 접근 없이 활용할 수 있어 높은 실용성과 범용성을 가진다. 실험 결과, IDF1 및 Fragmentation 지표에서 일관된 개선이 확인되었으며, 일부 시퀀스에서는 MOTA 와 IDSW 가 향상되어, 후처리만으로도 의미 있는 성능 개선이 가능함을 입증하였다.

제안된 기법은 ‘tracking by detection’ 이 아니더라도 독립적으로 적용 가능한 모듈형 구조를 갖춰, CCTV, 모바일 환경과 같은 edge device 에서 적용하기 용이하며, 저 품질 탐지 결과에 대한 ID 보정, 객체 기반 행동 분석 등 다양한 응용에 활용 가능하다.

향후에는 고정된 threshold 기반 규칙 대신, 장면 특성에 따라 자동 조정되는 적응형 파라미터 최적화 기법을 도입함으로써 다양한 환경에서의 견고성을 강화할 수 있을 것이다. 또한 향후에는 short-term 단절 만이 아니라 long-term 단절 구간에 대해서도 확장 적용이 가능할 것으로 보이며, 오프라인 후처리 방식을 벗어나, 실시간 프레임 처리와 병합 결정을 수행할 수 있는 online tracking 구조로의 확장도 고려할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] J. Luiten, A. Ošep, P. Dendorfer, P. H. Torr, A. Geiger, L. Leal-Taixé, and B. Leibe, “HOTA: A Higher Order Metric for Evaluating Multi-Object Tracking,” *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 129, no. 2, pp. 548–578, Feb. 2021.
- [2] MOTChallenge/TrackEval GitHub Repository, “TrackEval: Evaluation Code for MOT,” [Online]. Available: <https://github.com/JonathonLuiten/TrackEval>. [Accessed: May 2025].
- [3] MOTChallenge, “MOT17 Benchmark,” [Online]. Available: <https://motchallenge.net/data/MOT17/>. [Accessed: May 2025].
- [4] Z. Ge, S. Liu, F. Wang, Z. Li, and J. Sun, “YOLOX: Exceeding YOLO Series in 2021,” *arXiv preprint arXiv:2107.08430*, 2021.
- [5] Z. Xu, Y. Ma, W. Zhao, C. Yang, and X. Bai, “StrongSORT: Make DeepSORT Great Again,” *arXiv preprint arXiv:2202.13514*, 2022.