



위성사진 유사사례 검색을 위한 시계열 특성 반영 임베딩 모델 파인튜닝 기법

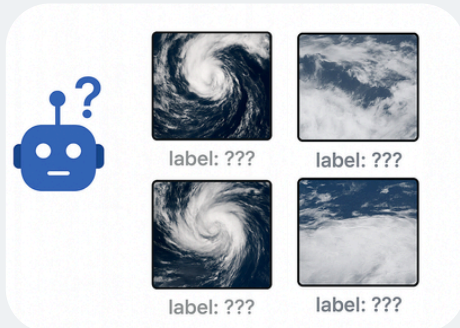
국민대학교 소프트웨어융합대학

강하운 | gomtang3274@kookmin.ac.kr 김윤희 | yuni2821@kookmin.ac.kr 배세은 | 1004bse@kookmin.ac.kr 이가현 | anna030608@gmail.com 홍세원 | hsw1805@kookmin.ac.kr 박하명 | hmpark@kookmin.ac.kr

기상 예보의 정확도 향상을 위해 과거의 유사한 기상 상황을 탐색하는 유사사례 기반 접근이 주목받고 있다. 특히 위성사진은 대기 상태의 공간적 패턴을 직관적으로 표현할 수 있어 유사사례 검색에 효과적인 수단이 된다. 그러나 위성사진 간 시각적 차이가 미미하고 명확한 정답 레이블이 존재하지 않아 기상학적 유사성을 효과적으로 반영하는 임베딩 생성을 위한 학습에는 어려움이 따른다. 본 연구에서는 위성사진의 시계열 연속성에 기반한 triplet loss 학습 기법을 통해, 기상학적 유사성을 반영한 임베딩 생성기법을 제안한다. 사전학습된 Vision Transformer(ViT) 모델을 기반으로 파라미터 효율성을 위해 Low-Rank Adaptation(LoRA)을 적용하였다. 실험에는 천리안 1호 위성의 9년치 자료를 활용하였으며, 임베딩 간 유사도를 UMAP 시각화와 대표적 이미지 유사도 지표(LPIPS, PSNR, SSIM)를 통해 정성적·정량적으로 평가하였다. 그 결과, 제안한 기법이 대조군인 기존의 사전학습 ViT 임베딩 및 SimCLR 파인튜닝 임베딩보다 시각적 및 기상학적으로 더 유사한 사례를 효과적으로 검색함을 확인하였다.

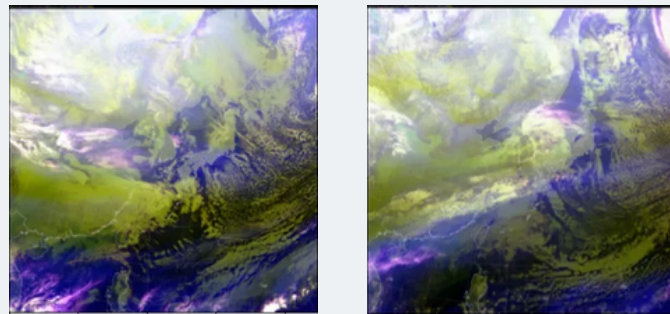
연구 배경

정답 레이블 X



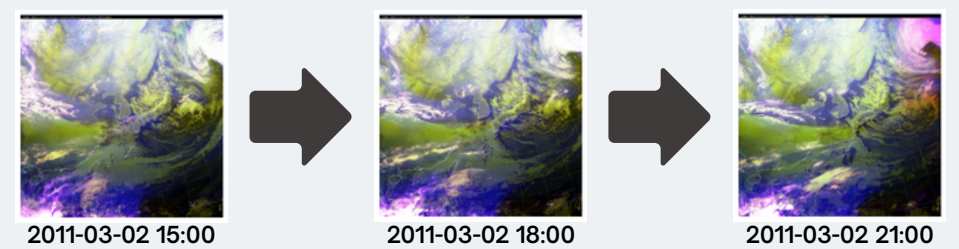
- 날씨는 인간의 주관적인 해석이 많이 반영되는 요소임
- 이로 인해 위성사진 데이터는 **명확한 정답 레이블이 존재하지 않음**

시각적 유사성



- 위성사진은 일반적인 이미지와는 달리 **대부분 시각적 유사성이 높음**
- 이미지의 특징을 효과적으로 반영한 임베딩 생성이 어려움

시계열 특성



- 현재 날씨와 **인접한 시간대의 날씨가 가장 유사한 기상상황**을 보임
- 위성사진은 일종의 시계열 특성을 지니고 있는 데이터임

방법론

Pre-trained된 ViT 불러오기



LoRA를 통해 파인튜닝 가능하도록 구조 변경



Triplet Loss 기반 대조학습으로 파인튜닝 진행

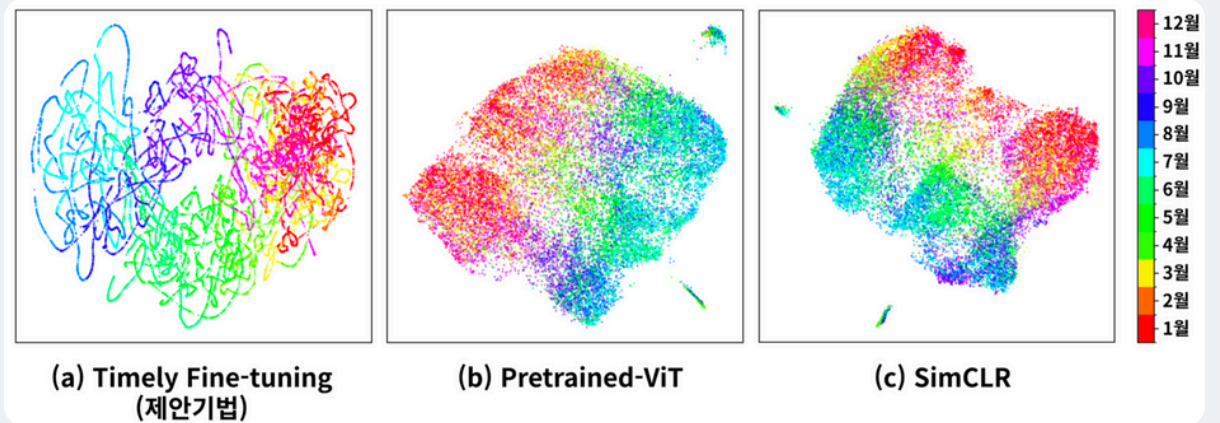
LoRA를 적용해 ViT를 효율적으로 Triplet Loss로 파인튜닝하며, 시간적으로 인접한 이미지를 Positive로, 먼 시점의 이미지를 Negative로 구성해 시각적·시계열적인 기상 패턴의 유사성을 모두 반영하는 임베딩 공간을 구축한다.

실험

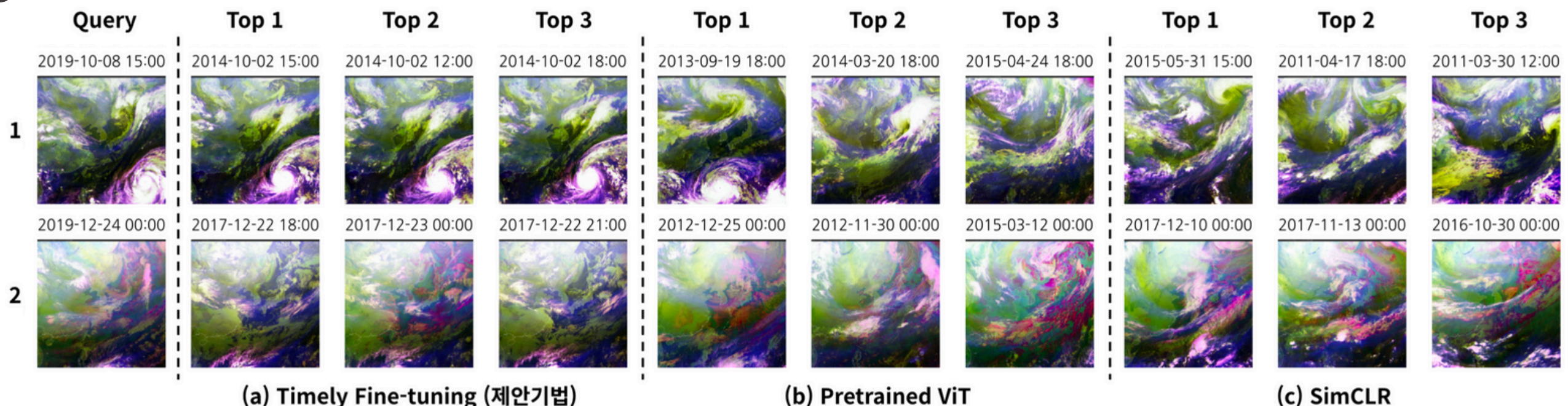
II Top3의 유사도 지표 점수 비교

질의	지표	(a) Timely fine-tuning (제안기법)			(b) Pretrained ViT			(c) SimCLR		
		Top 1	Top 2	Top 3	Top 1	Top 2	Top 3	Top 1	Top 2	Top 3
1	LPIPS	0.447	0.455	0.438	0.508	0.489	0.507	0.523	0.532	0.497
	PSNR	11.2	11.1	11.1	9.2	9.6	8.9	8.7	8.4	10.4
	SSIM	0.214	0.208	0.222	0.178	0.203	0.179	0.135	0.149	0.172
2	LPIPS	0.400	0.381	0.419	0.430	0.421	0.432	0.462	0.499	0.489
	PSNR	15.7	16.3	15.9	15.5	14.9	15.5	13.2	13.7	12.8
	SSIM	0.344	0.350	0.345	0.360	0.349	0.281	0.293	0.288	0.282

III 각 임베딩 기법에 따른 UMAP 시각화 비교



I 각 임베딩 기법에 따른 임베딩 코사인 유사도 Top3



결론

본 연구에서는 위성사진의 시계열적 특성을 활용하여, 시간적으로 인접한 이미지 간 유사성을 반영할 수 있는 Triplet 기반 임베딩 학습 기법을 제안하였다. ViT에 LoRA를 적용하여 효율적인 파인튜닝이 가능하도록 했으며, 시계열 정보를 고려한 학습 샘플 구성 방식을 통해 기존 대비 더욱 시각적 의미가 보존된 임베딩을 생성하였다. 제안한 기법은 단순한 데이터 증강 기반 접근법보다 시계열 정보를 적극 활용함으로써, 위성사진 분석에 있어 구조적·시각적 유사성 파악 능력을 향상시킬 수 있음을 확인하였다.