

임베딩 공간의 의미 구조 분석

Analyzing the semantic structure of the embedding space
嵌入空间语义结构分析

목차

1. 서론
2. 이론적 배경
3. 방법론적 진화 및 모델 설계
4. 분석 방법론 제안
5. 실험 결과 및 검증
6. 결론 및 향후 연구

1. 서론: 잠재 공간이 의미론적으로 연속적인 공간인가?

1.1 연구배경 - 생성 모델과 잠재 공간의 가정

자연어 처리의 핵심: 텍스트(Discrete) → 벡터(Continuous) 변환(Embedding)

암묵적 가정:

- "비슷한 의미를 가진 문장은 벡터 공간에서도 가깝게 위치할 것이다."
- "이 공간은 의미론적으로 연속적(Semantically Continuous)일 것이다."

현황: 현재 수많은 모델들(GPT, Gemini 등)이 이 가정을 전제로 작동함.

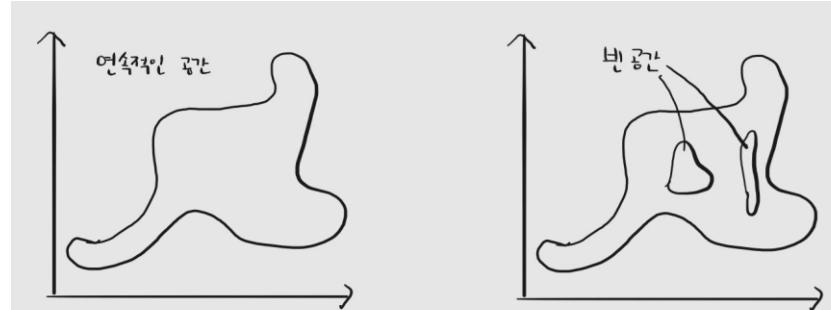
1.2 문제 제기 - 블랙박스 속 위상 구조

의문점:

- 딥러닝 모델이 학습한 공간은 수학적으로 정말 연속적인가?
- 공간 중간에 데이터가 없는 구역이 존재하지 않는가?

기존 연구의 한계: 대부분 성능(Accuracy 등)에 집중할 뿐, 공간 자체의 위상학적 구조를 직접 검증하는 연구는 비교적 부족함.

필요성: 공간이 불연속적이라면, 생성된 문장의 의미가 급격히 깨지거나 노이즈가 발생할 수 있음.



1.3 연구 목표 - 연속성 검증 및 데이터 불균형 해소

Goal 1. 구조적 검증:

- 텍스트를 학습한 생성 모델을 구축하여 잠재 공간의 연속성을 시각적, 정량적으로 입증.

Goal 2. 실용적 응용:

- 잠재 공간 탐색을 통한 결측 데이터 생성.
- 데이터 불균형 및 절대적 수 부족 문제 해결 가능성 탐색.

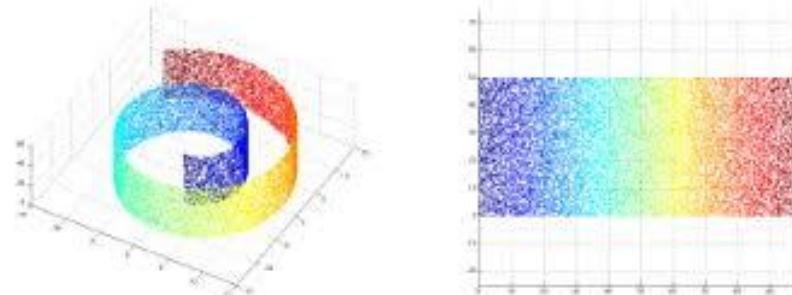
2. 이론적 배경

2.1 매니폴드 가설 (Manifold Hypothesis)

정의: 고차원 데이터(예: 이미지, 긴 텍스트)는 해당 고차원의 전체 공간에 균일하게 분포하지 않고, 실제로는 훨씬 낮은 차원의 매니폴드(Manifold) 근방에 집중되어 있다는 가설.

잠재 변수의 역할: 우리가 학습하는 잠재 변수 z 는 이 매니폴드 위의 '좌표 (Coordinate)' 역할을 함.

함의: 만약 모델이 매니폴드를 제대로 학습했다면, 잠재 공간에서의 이동은 실제 데이터의 유의미한 변형으로 이어져야 함.



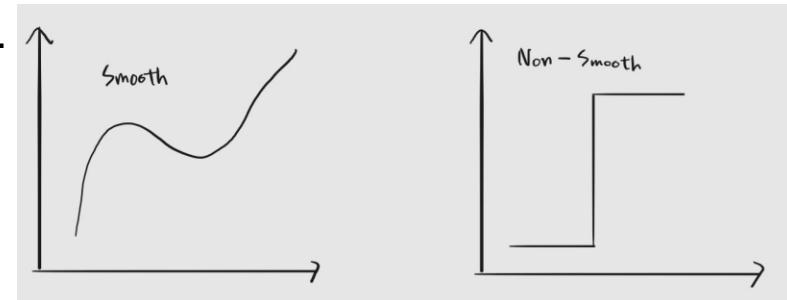
2.2 일반화와 평활성 (Generalization & Smoothness)

립시츠 연속성(Lipschitz Continuity):

$$\|x_1 - x_2\| < \delta \implies \|f(x_1) - f(x_2)\| < \epsilon$$

의미: 입력 공간에서의 미세한 변화가 잠재 공간에서도 미세한 변화로 매핑되어야 함.

중요성: 공간이 불연속적(Discontinuous)이라면, 약간의 노이즈에도 엉뚱한 문장이 생성되거나 의미가 깨짐. 즉, '평활성(Smoothness)'은 모델의 일반화(Generalization) 성능을 보장하는 필수 조건.



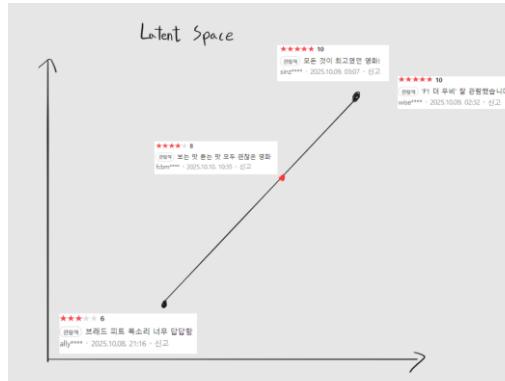
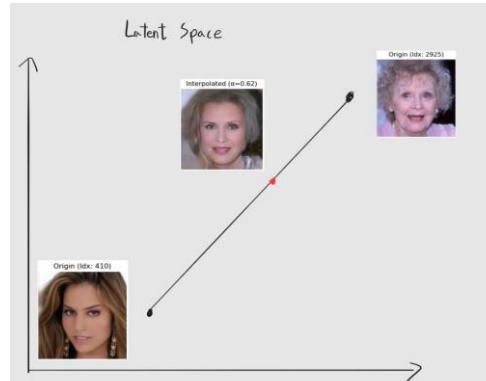
2.3 보간 가능성(Interpolability)

기하학적 가정: 잠재 공간은 **볼록 집합**(Convex Set)에 근사해야 함.

선형 보간(Linear Interpolation):

$$z_{new} = (1 - \alpha)z_A + \alpha z_B$$

검증 논리: 공간이 연속적이라면, A와 B 사이의 중간 지점(Interpolated Point)을 디코딩했을 때 노이즈가 아닌 의미있는 중간 문장이 생성되어야 함.



2.4 VAE의 정규화 (Regularization)

일반 Autoencoder vs VAE:

- 일반 AE는 데이터를 점으로 매핑하여 과적합 위험 → 공간 불연속.
- VAE는 데이터를 분포로 매핑.

KL Divergence 항의 역할:

- 잠재 변수의 분포를 정규분포와 같아지도록 강제함으로써 데이터 포인트들을 원점 중심으로 모으고, 서로 겹치게 만들어 빈 공간을 없앰.

3. 방법론적 진화 및 모델 설계

3.1 초기 접근의 한계: LSTM & Attention-VAE

LSTM-VAE의 한계:

- RNN의 고질적인 Long-term Dependency 문제 발생.
- Posterior Collapse: 디코더가 잠재 변수(z)를 무시하고, 단순히 자주 등장하는 토큰(<UNK>)만 무한 반복 생성.

Attention-VAE의 한계

- 단순 Attention구조로 긴 문맥을 잡았으나, 제한된 어휘(Vocab 20k)로 인해 OOV(Out of Vocabulary) 비율이 32%에 달함.
- 결과적으로 문장이 생성되지 않고 끊기거나 불안정한 모습 노출.
 - OOV: 단어 집합에 존재하지 않는 단어들이 생기는 상황(학습 데이터셋에 없던 단어가 검증데이터셋에 있을 경우)

--- Reconstruction Test (Top 5) ---

Original: <UNK> <UNK> 이건 시리즈 될 건 아니였다
Reconstr: <UNK> <UI

Original: 시간이 <UNK> 나가고 싶고 정말 딱히 진짜 <UNK> <UNK> 시간 <UNK>

Reconstr: <UNK> <UI

Original: 이건 아니지 않나요 어떻게 <UNK> <UNK> <UNK> 분 이상 <UNK> 수가 <UNK> <U

Reconstr: <UNK> <UI

Original: 이 영화 평점이 왜 이렇게 <UNK> —— 장난하나 딱 <UNK>

Reconstr: <UNK> <UI

Original: 이거 보신분들 재밌어요 무서운거 <UNK>

Reconstr: <UNK> <UI

1. 데이터 로딩 및 정제 중...

-> 총 문장 수: 148740

2. 토큰화 및 빈도수 계산 중 (공백 기준)...

-> 전체 단어 등장 횟수 (Total Tokens): 1,122,798

-> 고유 단어 개수 (Unique Tokens): 299,603

3. Vocab Size (20000) 적용 시 커버리지 계산...

[분석 결과]

설정된 Vocab Size : 20000

실제 필요한 Vocab : 299603

사전 포함 비율 (Coverage) : 67.95%

UNK 변환 비율 (OOV Rate) : 32.05%

⚠ 경고: 전체 단어의 32.05%가 <UNK>로 변환됩니다.

3.2 제안 모델: Transformer-VAE 구조

Encoder (BERT-like):

- Self-Attention을 통해 문장 전체의 문맥을 양방향으로 파악.
- 입력 문장을 평균(mean)과 분산(Log-Var) 벡터로 압축.

Decoder (GPT-like):

- 잠재 벡터 z 를 입력으로 받아, 자기 회귀(Autoregressive) 방식으로 문장 생성

3.3 최종 구현 상세

Dataset:

- 네이버 영화 리뷰(NSMC) 단독 사용 (Train 150k / Test 50k).
- 전처리: 한글 이외 문자 제거 및 길이 필터링($L > 50$).

Tokenizer:

- BPE (Byte Pair Encoding) 도입 (Vocab Size: 20,000).
- <UNK> 토큰 발생을 최소화하여 의미 보존력 강화.

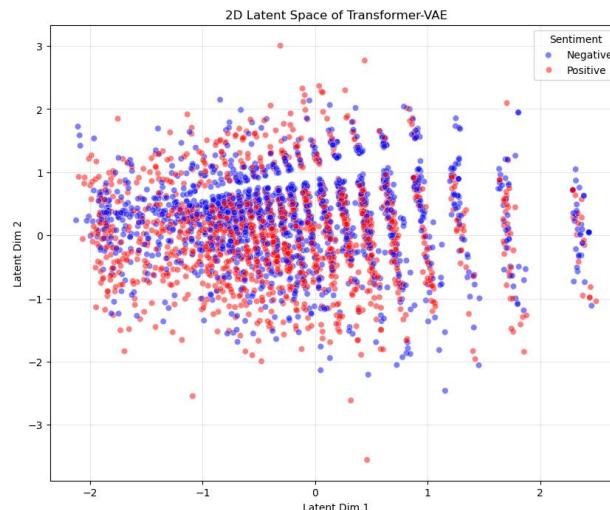
Optimization Strategy:

- **Word Dropout** ($p=0.3$): 디코더 입력의 30%를 <UNK>로 치환하여, 디코더가 잠재 변수(z)에 의존하도록 강제(Posterior Collapse 방지)
- **KL Annealing (Cosine Schedule)**: 학습 초기에는 KL 가중치를 0으로 시작하여 코사인 곡선을 그리며 서서히 증가시켜, 재구성과 정규화의 균형 조절.

3.4 차원별 복원 성능 비교 (2D/64D)

2차원 잠재 공간의 문제:

- 시각화는 용이하나, 복잡한 언어 정보를 담기에 공간이 너무 협소함.
- 결과: 긍정 문장이 부정으로 복원되거나, 문장이 겹치는 현상 발생.



>>> 1. Reconstruction Test

[Origin]: 지금 케이블에서 하고 있는걸 보는중.. 지금봐도 이건 멍작!

[Recon]: 정말 재미있게 본 드라마 중 가장 재미있게 본 드라마

[Origin]: 이연희랑 유희태 보고있으니까 절로 웃음이 나더라.ㅎㅎ

[Recon]: 정말 재미있게 본 드라마 중 가장 재미있게 본 드라마

[Origin]: 이거 진짜 최고다.

[Recon]: 진짜 재미없다

[Origin]: 최고의 영화다 진짜 리얼 재난

[Recon]: 정말 최고의 영화

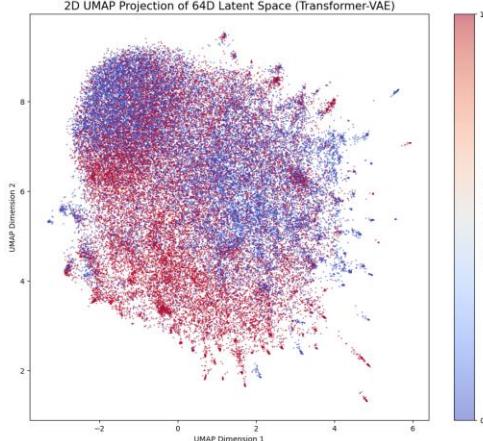
[Origin]: 최고의 영화

[Recon]: 최고의 영화

3.4 차원별 복원 성능 비교 (2D/64D)

64차원으로의 확장:

- **충분한 표현력**: 문장의 미세한 뉘앙스와 문법 정보를 보존하기 위한 최소한의 차원 확보.
- **보간 성능 향상**: 공간의 여유가 생기면서 데이터 간의 충돌 없이 부드러운 의미 전이가 가능해짐.



Orig : 너무너무 즐겁고 아름다운거 같습니다.

Recon: 너무너무 아름다운 거 같아요 너무너무 좋아요

Orig : 재미있어요. 꼭 보세요.

Recon: 재미있어요 꼭 보세요 재미있어요 ㅋ

Orig : 아이들과 재미있게 봤네요

Recon: 재미있게 봤네요 ㅎㅎ

Orig : 꽉지민배우 좋아해서 봤는데 ㅎ 투 오랜만에 킬링타임했ㅋ.....아 설

Recon: 아 진짜 완전 재미있어요 ㅋㅋㅋ 내용도 별로 안 봤는데 정말 재미없고

Orig : 쓰레기 8~10점준것들은 00자식들인가?

Recon: 어떤 쓰레기 들은 어떤 줄 알았다 한 들은 어떤 일이 있는 쓰레기영화

Orig : 패트레이버 팬인데....영화가 이게 뭐야 ㅠㅠ

Recon: 아 이게 영화가 쪐다 진심 쓰레기영화 ㅠㅠ 버 버 버 버 버

3.5 분석 방법론 1 - 선형 보간(Linear Interpolation)

정의: 두 잠재 벡터 사이를 선형으로 연결

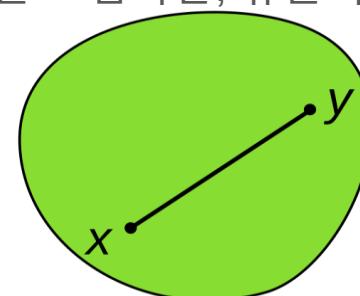
가정: 공간이 볼록 집합(Convex set)이라면 선분 위의 모든 점은 유효한 문장이 되어야 함

목적: 단순 복원을 넘어, 공간 사이사이가 의미 있는 데이터로 채워져 있는지 검증.

볼록집합이란?

기하학에서 볼록 집합은 임의의 두 점을 잇는 선분을 포함하는, 유clidean 공간의 부분 집합.

$$z_{new} = (1 - \alpha)z_A + \alpha z_B$$



3.6 보간 실험 결과: 이분법적 데이터의 한계

2차원 잠재 공간의 보간:

- 긍정에서 부정으로 넘어가는 과정이 보임. → 연속성이 증명됨.
 - 중간 부분에서 긍정과 부정의 충돌 지점.
- 하지만 진짜 중간 느낌의 문장을 생성하지는 못함.(모델이 긍/부정만 학습했기 때문에)

>>> 3. Interpolation Test

Start (Pos): 이영화는 영화보다도 음악으로 먼저 접했습니다 제가 6~7살쯤에 우리집에 특이한

End (Neg): 스토리 쓰레기 이게 영화면 나도 찍는다

[0.00]: 정말 좋은 영화네요 좋은 소재를 가지고 이렇게 잘 만든 영화는 처음입니다 이런 영화를

[0.17]: 정말 재미있게 본 드라마 중 가장 좋아하는 드라마 중 하나예요 특히 김 씨 연기 너무

[0.33]: 정말 재미있게 본 드라마 중 가장 최악 특히 마지막 장면 진짜 소름 둘 았어요

[0.50]: 정말 재미있게 본 드라마 중 가장 최악 인듯 한 드라마 중 하나

[0.67]: 진짜 너무 재미없다 진짜 너무 지루하다 이렇게 재미없는 영화는 처음

[0.83]: 진짜 너무 재미없다 진짜 너무 재미없다

[1.00]: 진짜 너무 재미없다 진짜 너무 재미없다

3.6 보간 실험 결과: 이분법적 데이터의 한계

64차원 잠재 공간의 보간:

- 차원을 늘리며 정보의 병목은 어느정도 해결했지만, 이분법적 데이터의 특성 때문에 모델이 중간 지점을 학습하지 못함.

Start (Pos): 손에 땀을 쥐게하는 영화였다

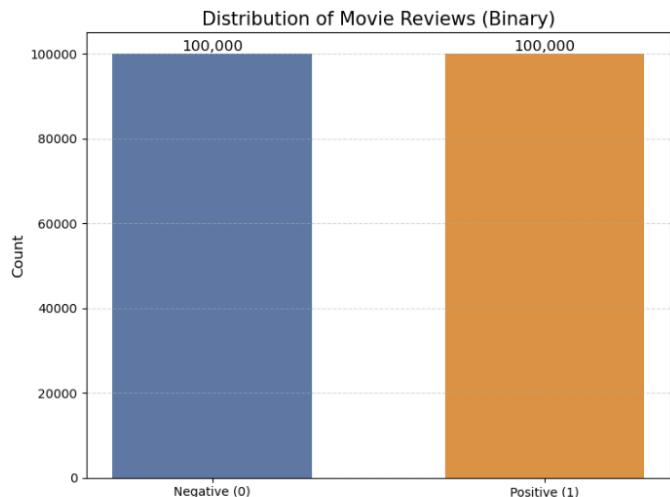
End (Neg): 솔직히 노잼 이쯤값이 안됨

=====

Alpha | SLERP (Spherical)

=====

0.00	한마디로 재밌었던 영화였다 그러나
0.17	한마디로 재밌었던 영화였다 캬
0.33	한마디로 재미없고 재미없는 영화였다
0.50 ✓	솔직히 한마디로 재미없고 재밌음 ?
0.67	솔직히 노잼 이 재밌음
0.83	솔직히 노잼 이 안됨
1.00	솔직히 노잼 이 안됨 노잼



3.7 중간 결론 및 한계점 분석

1. 데이터의 절대량 부족: 20만 개의 문장은 사람에겐 많아보이지만 자연어의 방대한 문맥을 배우기에 부족함(vs GPT-3는 수천억 단어를 학습.)
2. 압축 손실: 가변 길이 문장을 64차원 벡터로 압축하며 정보 손실 발생.
3. VAE의 흐릿함 (Blurry): 분포의 평균을 학습하는 VAE 특성상, 문장이 논리적으로 날카롭기보다 두루뭉술하게 생성됨.

Next Step: 데이터 수와 특징 관점에서 더 풍부한 데이터셋을 사용함이 바람직함.

4. 데이터셋 확장 및 심화 분석

4.1 데이터셋 변경: 연속성을 찾아서

데이터셋: 네이버 쇼핑몰 리뷰(20만 개)

변경 사유:

- 영화 리뷰 (0, 1) → 이산적(Discrete)
- 쇼핑 리뷰 (1,2,4,5점) → 연속적(Continuous) 스펙트럼 존재

실험 목표: 학습 데이터에 없는 3점 리뷰(중립)를 생성



4.2 분석 방법론 2: 밀도 인식 시각화

기존 한계: 점들의 분포만으로는 군집 간의 연결성을 확인하기 어려움.

개선된 시각화:

- 보간된 문장들의 잠재 벡터 위치를 UMAP 위에 궤적으로 표시.
- 각 점마다 생성된 문장의 예측 평점을 색상으로 맵핑.

확인 포인트: 보간 경로가 데이터가 없는 빈 공간을 가로지르며 연결되는가?

4.3 보간 실험 결과: 잠재 공간이 채워넣은 3점

1점과 5점 사이의 보간 경로에서, 학습 데이터에 없던 2~3점대(중립/조건부 긍정) 문장이 생성됨.

Start (1점): 양은 많은데 맛은 없었습니다 (Pred: 2.97)

End (5점): 맛있어서 주문합니다. 카페갈 필요없음 (Pred: 5.00)

Alpha | Pred Score | Generated Text

0.00	2.06	맛이 너무 없어요
0.12	2.30	맛이 너무 없어요
0.25	2.92 ✓	맛이 좀 이상해요
0.38	3.79 ✓	재구매 맛이 좀 강 한듯
0.50	4.42	재구매 맛이 좋아 윽
0.62	4.74	재구매 항상 먹는 김 입니다
0.75	4.88	재구매 항상 먹는 김 입니다
0.88	4.94	재구매 항상 먹는 제품이에요
1.00	4.97	재구매 항상 먹는 제품이에요 밀고 먹어요

[Pair #1]
Start (Neg, 0.02): 최악입니다 비싸게 팔면서 유통기한이 판매자 마인드가 썩었음
End (Pos, 1.00): 고급스럽고 좋네요 고민하다 샀는데 잘산것같아요 배송도 빠르고 좋습니다

Alpha | Pred Score | Generated Text

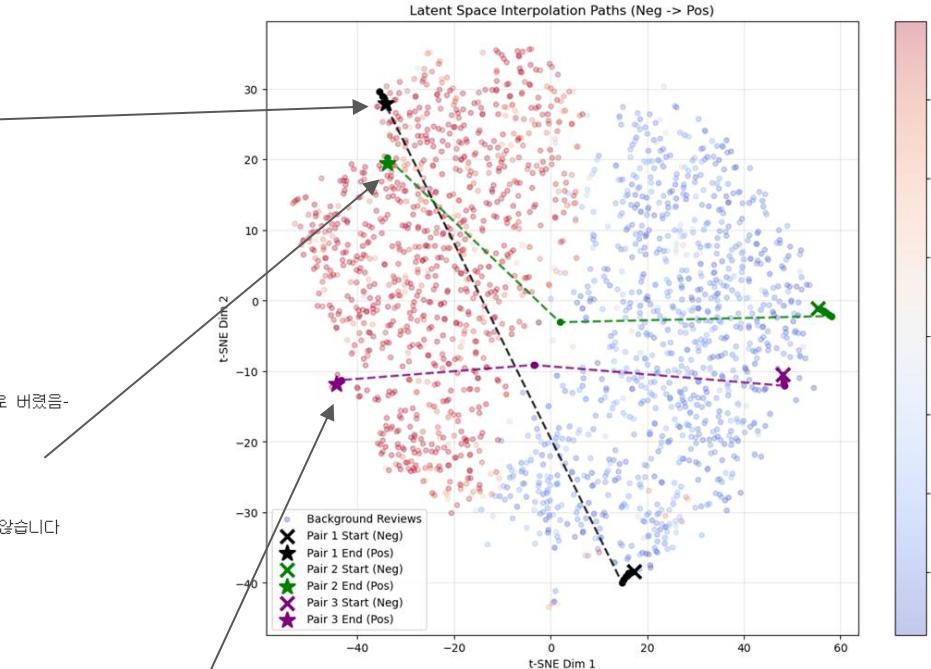
0.00	1.21	재구매 이게 왜 이렇게 차이가 없죠
0.12	1.27	제품 설명 만 해서 보내고 요청하고 받는데 일주일만에 받았네요
0.25	1.40	배송이 5일 지나도록 받았는데 유통기한이 20년 11월 이 아닙니다
0.38	1.67	배송기간은 무슨 말에 대한 대응이 없네요
0.50	2.48	제품 퀄리티가 썩 좋지는 않아요
0.62	4.61	배송은 살짝 늦었지만 괜찮아요 잘 쓸게요
0.75	4.96	가격 디자인 좋고 다 좋습니다
0.88	4.99	완전 예뻐요 조립도 간편하고 좋습니다
1.00	5.00	배송 빠르고 가성비 짱 좋습니다 아이들이 좋아하네요

[Pair #2]

Start (Neg, 0.03): 1점도 아까움 자바라호스 사용중인데 고정안되고 물새고 달연 따듯한물 안나오고 몇번 물틀어보고 바로 버렸음-
End (Pos, 1.00): 완전 만족해요 색상 예뻐요

Alpha | Pred Score | Generated Text

0.00	1.10	이게 뭔가요 고무 밴드가 다 빠지고 난리도 아니네요 결국 버리고 새로 사용 중 2개 다 빠짐
0.12	1.10	절대 사지마세요 돈 주고 쌈거 도 소용 없고 접착은 최악이네요 완전 최악 다시는 구매하고 싶지 않습니다
0.25	1.13	이걸 돈주고 사다니 이거 살 려다가 왜 돈주고 사서 후회 되 나오 정말 돈낭비
0.38	1.21	완전 써구려 써구려 소재 느낌 ㅋㅋㅋ 사지마세요 접착력 비추
0.50	1.40	자꾸 빠진 이 빠짐
0.62	1.80	완전 별로임 한번쓰고 버림
0.75	3.23	색이 칙칙 함
0.88	4.91	만족합니다 딱 원하던 뒷 이예요
1.00	5.00	배송 빠르고 들통해보여요



[Pair #3]

Start (Neg, 0.03): 작동 하나도 안됨 돈버리고 시간버리고 ㅋㅋ
End (Pos, 1.00): 재구매 배송 엄청 빠릅니다 항상 여기서 주문해요

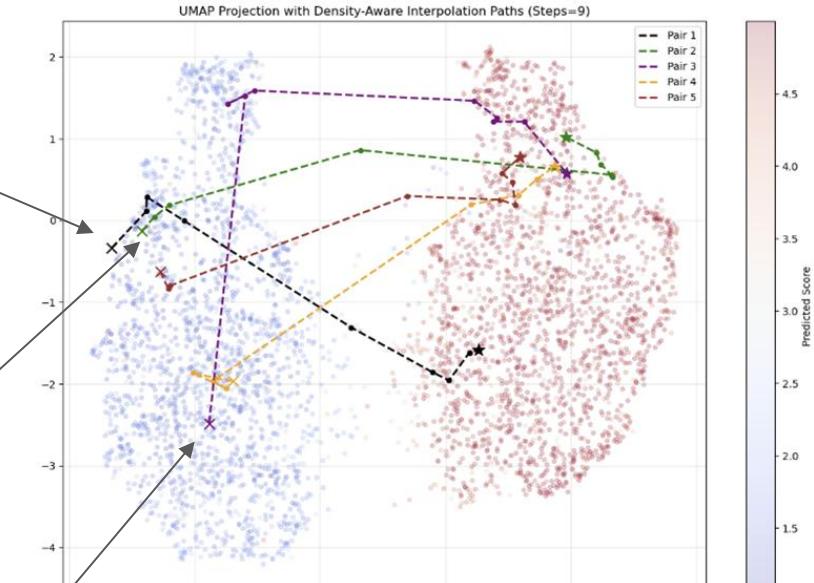
Alpha | Pred Score | Generated Text

0.00	1.15	왜 이 지 죠 열 받 는지 다
0.12	1.20	출전 안되요 아예 출전도 안되고 충전 선도 안 됐네요
0.25	1.30	무슨 이유 인지 뭔지 모르게
0.38	1.49	한마리도 안잡 혀서 또 샀네요
0.50	1.85	그 - 호 - 푸 - 르
0.62	3.80	아직 미사용이지만 배송이 빨라요 요
0.75	4.91	매번 쓰던건데 배송도 빠르고 좋네요
0.88	4.99	빠른 배송 감사합니다 가격도 저렴하고 요 담에도 여기서 구매할 예정
1.00	5.00	재구매 항상 주문 이네요 잘먹 올 배송 감사합니다

[Pair #1]
Start (Neg): 최악 바닥 굽혀놓고 배송도 완전 느리고 배송기사도 일을 왜하나 싶고 최악이다 반품하고 싶다 으으
End (Pos): 크기도 다양해서 요리할때마다 맞춰서 잘쓰고 있습니다 아주 좋아요

Alpha | Pred | Generated Text

0.00	1.14	1점도 아깝네요 한번쓰고 참고 에서 빼져 버렸네요 일회용 수준 인데 택배비 라 너무 비싸게 주고 산 물건 팔지마세요
0.39	1.39	배송도 늦고 상품도 늦게오고 물건 자체는 괜찮은데 철제 랑 고정 된 부분 스크레치 치는 스크레치 나 흠집이 나서 커분이
0.46	1.55	상품은 좋으나 배송이 너무 느리고 상당 직원은 엄청 오래걸리던 물건도 제대로 안 해주네요 제품도 불량 이라서 그냥
0.52	1.75	상품은 괜찮은데 배송이 너무 느리고 물건은 좋은데 배송이 너무 오래걸렸어요 취소를 취소 해주세요 2주 넘어서 와서 퉁
0.61	2.56	제품은 만족합니다 다만 배송이 너무 느렸어요 주말 점에 전화 문의 안하면 친절 하지는 않는 건지 일주일 걸린 사람은
0.68	4.38	좋네요 깔끔하고 딱 맞게 온 제품이 밖에 드는데 뚜껑이 열려서 살짝 보딪히는 느낌 조금 조작화
0.74	4.87	배송 빨라서 좋습니다 포장도 좋고 설치도 쉬워요 제가 써본 거 같아요 정말 좋은 가격에 구매하자 들에게 많이 패세요
0.80	4.97	배송도 빠르고 제품도 좋습니다 가격대비 좋습니다 만 제품의 질도 좋고 이래저래 좋은 제품 인듯합니다
1.00	5.00	재구매 매달 구매인데 빠르고 가격 싸고 배송도 하루만에 와서 너무 좋았어요



[Pair #2]

Start (Neg): 밀로디언 소리도 제대로 안나고 판매자한테 문의 있어서 전화하면 바로 전화 수신거부하고 문자하라고 해놓고 문
End (Pos): 재구매 배송도 빠르고 상품도 만족해요 항상다 먹고 재구매하고 있어요

Alpha | Pred | Generated Text

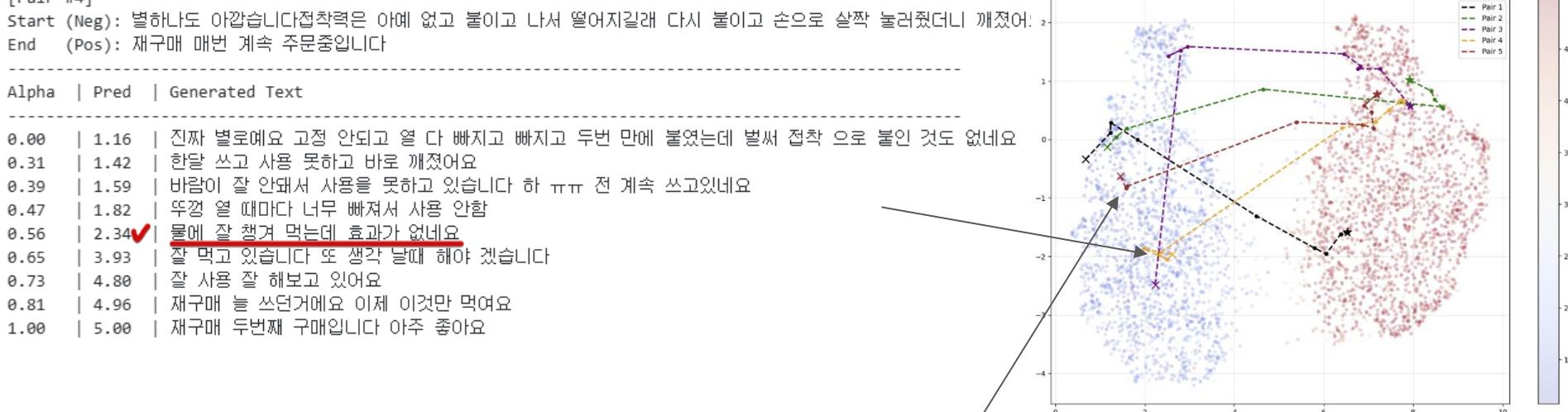
0.00	1.21	배송 너무 느리고 문의 해보니 토요일 연락도 잘안되고 조회 도 안되고 전화 연결도 안되고 답변도 늦고 연락
0.29	1.66	주문 상품과 택배사로 변경 까지 연락 해도 답 터 지면 그때 서야 문의 했다고 연락 준다 해놓고 도 없고;
0.38	2.34	배송 일주일 걸렸는데 1월 1 일만에 도착 했지만 토요일 주문 금요일 오전에 도착 3월 걸렸어요 택배사 누락
0.46	3.97	재구매 배송 잘받았습니다 매번 주문해서 오늘 이 오늘 배송 받았네요 그런데 이번에 주문한건 1박스는 다
0.54	4.81	아직 써보진 않았는데 배송 상태도 정말 빨라요 아직 배송 도착 못해 봤지만 물건 상태 좋은 상품을 해주세요
0.61	4.95	늘 여기서 주문합니다 배송 빠르고 다음날 바로 오고 바로 오고 잘 온 습 기는 하네요
0.68	4.99	늘 사용하던 제품 사게 잘 구매하였습니다 배송도 하루만에 와서 좋았어요 잘 마실 게요
0.75	5.00	좋아요 두번째 구매예요 여기 항상 믿고 구매하는 [Pair #3]
1.00	5.00	재구매 매번 시켜먹습니다 이번에도 맛있고 잘먹

Start (Neg): 후기가 좋아서 기대하고 산건데 빽빽이에 바람도 대빠져있고 유리병 포장용으로 산건데 에어캡 역할 하나도 못해
End (Pos): 재구매 매번 같이오는 초콜릿도 너무 조아움

Alpha | Pred | Generated Text

0.00	1.24	제가 원래 쓰던 유아용 인데 아기가 바로 뜯어 봤더니 이게 뭔가요 원래 이런가요 냄새가 정말 별로메요 진
0.29	1.65	원래 먹던 사료 들이 너무 많이 나와서 먹 더구요 제 입맛 에도 거의 안나요 ——
0.36	1.83	재구매 너무 짜여 왜 그런건지 잘 안 먹는데 이건 향이 너무 강해요 아이들 에겐 별로 안 먹는데 요ㅠㅠ
0.42	2.20	재구매 이 제일 맛없음 ㅜ 아기가 잘먹어서 이번에 생 전 을 시켰는데 ㅠ 너무 작아서 껍질 깨워요 ㅜ
0.52	4.25	맛있어요ㅠㅠ 밤은 다 먹어서 재주문 했어요 하지만 다른 종류 먹어 본 가 제일 좋아하는 유풋 보다 양0
0.62	4.92	재구매 매번 재구매 할때마다 역시나 맛있어요 진짜 맛 없게 많이 먹네요 다른 쌀 량 섞어서 먹어야겠어요
0.69	4.98	재구매 3번째 시켜서 너무 잘먹어서 이번에는 이번엔 다시 주문했어요
0.76	4.99	진짜 맛있어요 매일 아침 대용으로 먹으니 젤 좋네요 다먹고 또 주문할께요
1.00	5.00	재구매 매번 여기서 구매하는데 정말 좋아요 재구매 의사 있습니다

[Pair #4]



[Pair #5]

Start (Neg): 기부 하는거 아니면 구입하지마세요 불량이 와도 결제한 내 잘못으로 환불 못받아요 내가 망가트리고
End (Pos): 신랑이 아침마다 먹고 있어요 항상 구매하고 있어요

Alpha | Pred | Generated Text

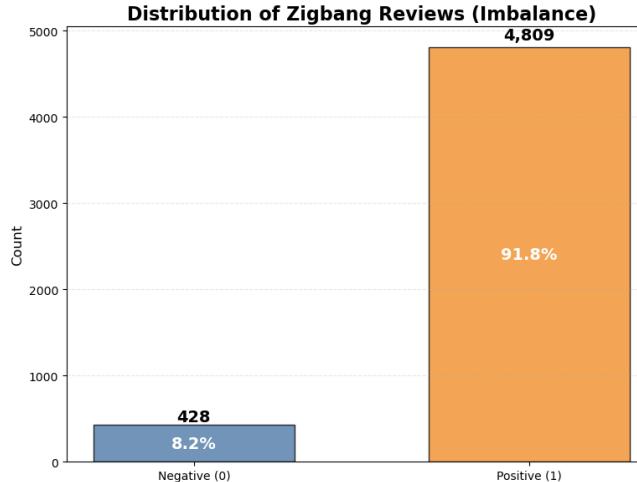
0.00	1.18	절대 사지마세요 이런 각인을 통해 판매 하지 마세요 돈 더 주고 사세요 너무 아끼시 나요 절
0.28	1.45	일로 된 차량 유수분 력에 있는 것을 구매했는데 잘못이 됐네요 이걸 어찌 되나요 초점이
0.36	1.64	유통기한이 10초 이상 지난 야기 잘 몰 죠 5미리 1월 30마리 되 있는 건 아닌가 의심 했습
0.43	2.19	아직까지 알 타리는 데 전 후 쿠노를 보고 구매했는데 그 다음날 도착 했을때 가 안되네요
0.51	3.71	아직 먹어보진 않았지만 맛있 진 못했지만 괜찮으면 또 구매하려 올 일 있으면 또 살거 같아요
0.57	4.66	당뇨 때문에 고민 많이 했는데 처음 써보는데 효과 보니 트러블과 같아서 좋아요
0.63	4.91	재구매 엄마가 관절이 많아 혈압 타 차 만하면 좋겠어요
0.71	4.98	재구매 재구매했어요 또 먹고 싶은 제품이 였는데 꾸준히 먹어 주셔요
1.00	5.00	맛있고 양도 많고 포장도 꼼꼼합니다

4.4 데이터 증강(Augmentation) 가능성

Problem: 현실 데이터는 불균형함(ex. 직방 부동산 데이터 불균형, 3점 리뷰 부족)

Solution: 검증된 연속성을 바탕으로 잠재 공간을 탐색하여 결측 데이터를 무한히 생성 가능.

검증: 쇼핑몰 리뷰 실험을 통해, 모델이 없는 데이터를 생성하여 분포를 메울 수 있음을 확인



5. 결론 및 향후 연구

5.1 결론: 블랙박스 내부의 지도

가설 검증: Transformer-VAE의 잠재 공간은 단순한 정보 저장소가 아닌, 의미론적으로 연결된 매니폴드임.

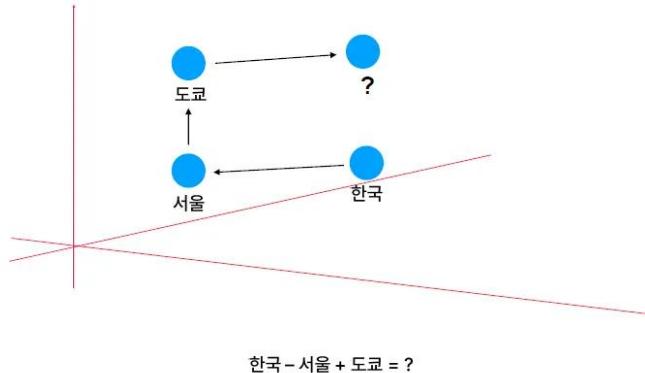
한계 극복: 차원 확장(64D)과 데이터 다양성 확보를 통해, 초기 모델의 불연속성 문제를 해결함.

의의: 생성형 AI의 신뢰성을 높이기 위한 잠재 공간 분석 방법론을 정립함.

5.2 향후 연구

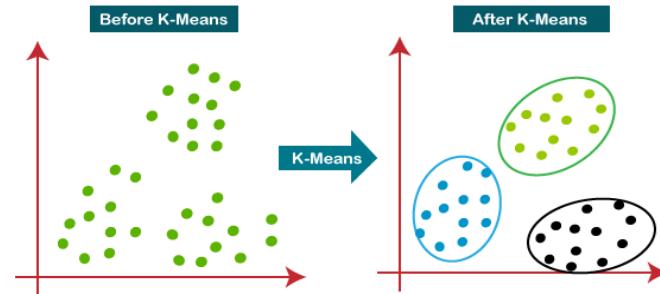
벡터 연산: 의미의 연산 가능성 검증

- **가설:** 잠재 공간이 의미론적인 축들로 구성되어 있다면, 단순 연산으로 문장의 속성만 변경 가능해야 함.



군집화: 잠재된 하위 주제 발견

- **가설:** 같은 ‘부정’ 리뷰 안에서도 ‘배송 불만’, ‘제품 파손’ 등 세부 원인끼리 뭉쳐 있을 것임.
- K-Means 또는 DBSCAN을 활용하여 잠재 공간 내 하위 군집 분석
- **목표:** 지도 학습(Label) 없이도 모델이 문맥적 유사성을 스스로 학습하여 군집을 형성했는지 위상학적 구조 검증



5.3 블랙박스를 넘어 활용으로

From Black Box: 딥러닝의 불투명한 내부 구조를 시각적, 수학적으로 해석하려는 시도(XAI 관점).

To Application: 검증된 연속성을 바탕으로, 현실의 데이터 불균형 및 결측 문제를 해결하는 데이터 증강 도구로서의 가능성 제시