양자컴퓨터, 언어모델의 의미 비교 수행 가능 연구

(2026.02.17. 양자정보연구지원센터)

□ 양자컴퓨터가 언어 모델의 의미 비교를 수행할 수 있음을 보여줌

○ 양자회로를 활용하여 언어 모델 내부에서 두 텍스트 간 의미적 유사도를 추정할 수 있음을 실제 양자 하드웨어에서 실험적으로 검증한 연구

- 고전적 언어 모델이 생성한 문장 임베딩을 양자 상태로 매핑하고, 선형대수 기반 계산 대신 양자 간섭(interference)을 이용해 의미 유사도를 평가하는 방식을 제시
- 계산 속도나 정확도 측면의 우위는 주장하지 않으나, 의미 유사도 계산이 실제 양자 컴퓨터에서 구현 가능함을 입증했다

○ 현대 대형 언어 모델은 단어·문장을 고차원 수치 벡터(임베딩)로 표현하여 의미를 인코딩함

- 이때 고차원성이란 주제, 어조, 의도, 문맥 등 다양한 의미 요소를 동시에 수치화한다는 의미이며, 다수의 특징값이 결합된 구조
- 두 문장 간 의미 비교에는 일반적으로 코사인 유사도(cosine similarity)가 활용되며, 이는 검색·추천·검색증강생성(RAG) 등 핵심 기능의 기반 연산임

○ 제안 방법: **임베딩의 양자 상태 변환**

- 연구는 기존의 실수(real-valued) 기반 임베딩 표현을 복소수(complex number) 기반으로 확장하여, 크기(magnitude)와 위상(phase)을 동시에 고려하는 구조를 제안함
- 위상 개념을 도입함으로써 단순 합산이 아닌 보강·상쇄 효과(간섭)를 모델링 가능
- 임베딩 성분 쌍을 양자 진폭(amplitude)에 대응시키고, 단순 양자 게이트를 통해 간섭 패턴을 생성

- 회로 측정 확률을 통해 두 임베딩 간 정렬 정도(alignment)를 통계적으로 추정함
- 이는 고전적 코사인 유사도를 직접 계산하는 대신, 반복 측정을 통해 유사도에 대응되는 확률적 지표를 도출하는 방식임
- 이중 슬릿 실험과 유사한 간섭 원리를 의미 표현에 적용
- 의미적 맥락을 서로 다른 “경로”로 간주하고, 이들 간 간섭 효과를 측정하는 구조로 해석 가능

ㅇ 실험은 실제 양자 컴퓨터에서 수행되었으며, 시뮬레이션이 아닌 물리적 장비 기반 검증이라는 점이 특징임
- 문장 임베딩은 구글의 Sentence Transformer 모델을 활용해 생성됨.
- 현재 하드웨어 한계로 인해 전체 고차원 벡터가 아닌 저차원 또는 개별 성분 수준에서 실험 수행.
- 위상 회전을 추가함으로써 복소 코사인 유사도의 실수부·허수부에 해당하는 값을 각각 추정 가능함을 제시

ㅇ 본 연구는 “양자 우위(quantum advantage)”를 달성한 사례는 아니나, 자연어처리의 핵심 연산이 양자계산과 양립 가능함을 실증적으로 확인했다는 점에서 기준점(baseline)을 제공함
- 의미 정보가 현재 하드웨어 제약 내에서도 양자 상태로 인코딩 가능함을 입증
- 이론적 논의에 머물렀던 양자-AI 융합 연구를 실제 실험 단계로 확장
- 위상 및 간섭 중심의 의미 표현은 모순, 중의성, 문맥 전환 등 언어 현상을 보다 자연스럽게 설명할 가능성 제시

ㅇ 현재 양자 하드웨어는 큐비트 수 및 결맞음 시간(coherence time)이 제한적이어서 수백~수천 차원의 전체 임베딩을 처리하기 어려움
- 결과는 확률적 측정값에 기반하므로 노이즈와 장비 불안정성에 민감
- 기존 고전적 코사인 유사도 계산 대비 속도·비용·정확도 측면

의 우위는 없음

- 대체 기술이 아니라 개념적·표현적 확장 가능성 탐색 단계로 평가됨

○ 큐비트 사용량을 줄이는 의미 정보 압축 기법 개발 필요

- 위상 기반 표현이 언어의 복합적 의미 관계를 어떻게 더 효과적으로 포착할 수 있는지 검증 필요
- 규모 임베딩 데이터베이스에 대한 유사도 탐색을 양자 알고리즘으로 확장할 가능성 모색
- 검색증강생성(RAG) 시스템 등 실제 응용 환경에서 양자 기반 유사도 계산의 통합 가능성 탐구

○ 본 연구는 양자컴퓨팅과 자연어처리의 접점을 실제 장비에서 구현한 초기 실증 사례로, 성능 향상보다는 “구현 가능성” 검증에 초점을 둔 연구임

- 향후 하드웨어 발전 및 알고리즘 고도화에 따라, 의미 표현과 유사도 계산 방식의 새로운 패러다임으로 확장될 잠재성을 지님

(원문)

1. https://thequantuminsider.com/2026/01/17/study-shows-quantum-computers-can-compare-meaning-in-language-models/