

문서의 계층적 임베딩을 이용한 sLLM 기반의 징후 분석 시스템 개선에 관한 연구

지승배, 박승진, 이장훈, 천재영, 김수현, 류전희
국방과학연구소

seungbae@add.re.kr

Hierarchical Document Embedding for Improving sLLM-based Threat Indicator Analysis Systems

Seungbae Jee, Seungjin Park, Janghoon Lee, Jaeyeong Cheon, Suhyeon Kim, Jeonhee Ryu
ADD (Agency for Defense Development)

요약

본 논문은 기존 텍스트 분석 시스템이 주로 문서의 내용을 단편적인 처리하여, 군사도메인에서의 용어와 문맥적 이해에 한계를 보이는 점을 개선하고자, KoBERT와 HAN을 결합하여 문서의 계층적 임베딩을 생성함으로써 문서 내 군사적 목적의 단어와 문장의 이해도를 높이고, 나아가 정보의 중요도를 가중하여 맥락의 이해와 위협 징후의 탐지 정확도를 높임으로써 sLLM을 이용한 징후 분석 시스템의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 제안하고자 한다.

I. 서론

현대전에서 뉴스, SNS와 같은 공개 출처 정보 (Open-Source Intelligence, OSINT)는 징후 분석을 통한 위협의 수준을 판단하는 중요한 정보로 자리잡고 있다. 예를 들어 우크라이나 전쟁과 같은 분쟁 상황에서는 다양한 연관 기사가 생성됨으로 그 중에서 드론 공격과 같은 유의미한 징후를 신속하고 정확하게 포착하여, 위협의 수준에 따른 대응방안을 마련하는게 필요하지만 위협 지표를 식별하는 건 어려운 과제이다.

이러한 정보 분석을 신속하게 대응하기 위하여 초기 정보 탐지 시스템은 규칙 기반의 기계학습 방식에 의존했으나, 점차 정교해지는 맥락 의존적인 허위정보의 특성을 포착하는 데에는 한계를 보이고 있다. 최근에는 자연어처리(NLP) 및 대규모 언어 모델(LLM) 기술의 발전으로 문맥적 의미와 의존성을 효과적으로 파악하는 능력이 가능해져 이 분야에 새로운 가능성을 보여주고 있다. 하지만 한국어로 작성된 뉴스 기사를 분석하기 위해서는 한국어와 군사용어라는 특성을 고려한 모델을 선정하고 개선하는 과정이 추가적으로 필요하다.

본 논문에서는 한국어 군사 도메인이라는 제약사항을 해결하기 위하여 한국어 군사용어 처리 방안과 단편적 문서표현의 한계점을 극복하기 위한 계층적 임베딩에 대해 알아보고 이를 이용하여 sLLM 기반의 징후 분석 시스템의 성능을 개선하는 방안에 대해서 살펴보고자 한다.

II. 본론

1. 한국어 군사용어 처리 방안

한국어 군사용어를 효과적으로 처리하기 위해서는 먼저 한국어 전처리기의 군사용어에 대한 이해를 높일

수 있어야 한다. Kiwi와 SoyNLP와 같은 NLP 도구들은 일반적인 한국어 처리에 특화되어 있으나 군사용어에 대한 이해가 부족하다. 따라서, Kiwi의 군사용어사전 등록 기능을 통해 군사용어 처리를 위한 용어를 정의하고, SoyNLP를 이용하여 군사용어 신조어를 비지도 학습으로 식별하여 군사용어 사전을 갱신함으로써 한국어 군사용어에 대한 지속적인 전처리 성능을 향상시킬 수 있다.

2. 단편적 문서 임베딩의 한계

전통적인 텍스트 기반 분석 시스템이 사용하는 Bag-of-Words, TF-IDF, Word2Vec 등과 같은 단일레벨 임베딩 기법은 단어 빈도나 평균 벡터만을 고려하기 때문에 문장 간 인과관계(예, 야간 드론 출현-경계실패로 피해발생), 문서내 정보 구조(도입-전제-결론), 시간적 흐름(공격 패턴 변화)등을 포착하지 못한다.

문서의 구조는 단어가 모여 문장을 이루고, 문장이 모여 문단을 구성하며 문단이 모여 문서로 구성된다. 이러한 계층적 구조 속에서 특정 단어나 문장은 전체적인 의미나 위협 수준 판단에 더 중요한 역할을 할 수 있다. 예를 들어, 긴 기사 내용 중 특정 문장에서 드론의 새로운 공격 패턴이나 특정 지역에서의 활동 증가가 언급될 수 있는데, 단편적인 표현 방식은 이러한 핵심 정보의 중요성을 희석시키거나 문맥적 의미를 제대로 포착하지 못할 수 있으며, 결과적으로 미묘한 징후의 변화를 감지하거나 위협 수준을 정확하게 평가해야 하는 군사용 징후 분석 시스템에서는 성능 저하로 인한 위협 미식별 문제를 발생시킨다.

Fig.1.은 이러한 단편적 문서 청킹 또는 임베딩과 sLLM을 이용하여 징후 분석 시스템을 구성하는 예시를 보여주는 것으로 시스템의 구조가 비교적 간단하고,

구현이 용이하나 정후의 위협탐지 정확도가 저하되는 단점이 존재한다.

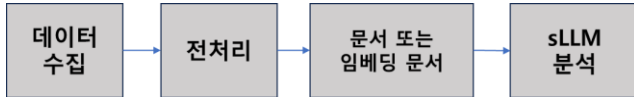


Fig. 1 sLLM 기반의 위협분석 시스템 개념

3. 계층적 임베딩 방안

이러한 단편적 문서 임베딩의 한계를 극복하기 위해 제안된 계층적 모델링 기법으로는 Yang et al. (2016)이 제안한 계층적 어텐션 네트워크(Hierarchical Attention Networks, HAN)가 있으며, HAN은 단어, 문장, 문서의 3계층 구조를 통해 문서 내 맥락 정보를 효과적으로 추출할 수 있으며, 어텐션 가중치를 이용하여 모델이 어떤 단어와 문장에 주목했는지 해석할 수 있다는 장점도 제공한다. 최근에는 HAN의 아이디어를 BERT와 같은 사전학습 언어모델(PLM)과 결합하여 문맥정보 포착능력을 향상시키는 연구가 진행되고 있다.

우리가 적용하려는 정후 분석 시스템은 한국어 군사용어 기사로부터 정후를 예측하는 시스템이므로 한국어 도메인에 최적화된 KoBERT를 기본 모델로 사용하는게 효과적이며, 기존 KoBERT가 군사 도메인에 특화된 문맥의 이해도가 낮은 단점을 보완하기 위해서 별도의 군사 코퍼스를 이용하여 사전 학습시킨 Military-KoBERT를 이용함으로써 정후 분석 시스템 전체의 성능을 향상시킬 수 있다. 이를 처리하는 과정은 Military-KoBERT로부터 얻은 토큰 임베딩 값을 HAN 아키텍처의 입력으로 사용하여, 아래의 순서로 문장-문서 계층에서 어텐션 메커니즘을 적용, 문서 내 핵심 문장·단어에 가중치를 부여한 임베딩 값을 얻는다.

- ① 단어 인코더 (Word Encoder)
- ② 단어 어텐션 (Word Attention)
- ③ 문장 벡터 생성 (Sentence Vector Formation)
- ④ 문장 인코더 (Sentence Encoder)
- ⑤ 문장 어텐션 (Sentence Attention)
- ⑥ 문서 벡터 생성 (Document Vector Formation)

이러한 접근 방식은 Military-KoBERT의 강력한 한국어 군사도메인 문맥의 이해 능력과 HAN의 계층적 정보 처리 능력을 결합하여 더욱 정교한 문서 표현을 가능하게 한다. Fig.2.는 이러한 계층적 임베딩 적용 정후분석 시스템의 구조를 보여준다.

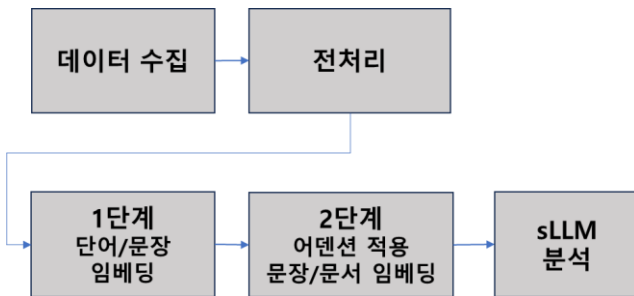


Fig. 2 문서의 계층적 임베딩을 적용한 sLLM 기반의 정후 분석 시스템 개념

Table 1. 단편적 문서 분석과 계층적 문서 임베딩 분석 비교

구분	단편적 문서 분석	계층적 문서 임베딩 분석
처리 방식	Fig.1.	Fig.2.
맥락 이해도	낮음	높음
정보 왜곡 가능성	높음	매우 낮음
장문 처리 능력	제한적	탁월함
위협 정후 탐지 정확도	중상	상
난이도	쉬움	복잡함

Table 1은 단편적 문서 분석과 계층적 문서 임베딩 분석의 차이를 보여주는 것으로 계층적 문서 임베딩 분석이 시스템은 복잡하지만 정보 분석과 정확도 측면에서 보다 나은 결과를 제공하며, 정보의 길이가 길어질수록 성능 차이는 더 크게 발생하게 된다.

4. sLLM 기반의 정후분석

sLLM은 계층적 임베딩과 같은 적절하고 풍부한 입력 표현과 결합될 때, 정후 분석과 같은 복잡하고 미묘한 도메인 특화 분석 작업에서도 높은 성능을 발휘할 수 있다. 또한 sLLM은 가벼운 모델이기 때문에 자원(리소스/통신) 제약이 있는 군운용 환경에서도 AI 분석 시스템을 구축할 수 있으며, 사전에 수집된 정보의 계층적 임베딩 결과를 Milvus와 MongoDB와 같은 데이터베이스에 저장해 놓음으로써 운용자의 질의에 따른 추가적인 분석 결과를 제공할 수 있는 장점이 있다.

III. 결론

본 논문은 한국어 뉴스 기사를 활용하여 우크라이나 드론 위협 정후를 분석하는 데 있어 기존의 단편적 문서 임베딩 방식이 가지는 한계를 지적하고, 이를 극복하기 위한 새로운 접근 방식을 제안하였다. 제안된 시스템은 한국어 특화 전처리(KIWI, SOYNLP), KoBERT와 HAN을 결합한 계층적 문서 임베딩을 구성하고 이를 sLLM 기반으로 정후 분석을 수행하는 단계로 구성된다. 제안된 Military KoBERT-HAN 기반 계층적 임베딩 방식은 단편적 Military KoBERT 임베딩을 사용한 베이스라인 모델에 비해 문서의 계층적 구조와 문맥적 중요도를 반영하여 sLLM 기반 정후 분석을 수행함으로써 정후 위협 분석의 정확도를 높이는 데 기여하였다. 향후에는 군사 도메인에서의 위협 평가나 미묘한 의미 변화 감지와 같은 정보의 뉘앙스를 보다 더 잘 식별하여 시스템의 성능을 높일 수 있도록 반복적인 실험을 통해 문서의 내재적 구조 모델을 튜닝하는 추가 연구를 수행할 예정이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 논문은 2025년 정부의 재원으로 수행된 연구결과임

참 고 문 헌

- [1] Yang, Z., Yang, D., Dyer, "Hierarchical Attention Networks for Document Classification" Proceeding of NAACL-HLT, pp. 1480-1489, 2016
- [2] Heo, Hee-Soon, Kim, Dooyoung "MIL-BERT: Military Domain Specialized Korean Pre-trained Language Model", KNST, 2023