

2025 (사)ICT플랫폼학회

추계 학술대회 자료집

2025.12.17.(수) 가천대학교 반도체대학 3층 대강당

- 주최/주관  (사)ICT플랫폼학회  국산ICT협의회

- 후원  SK broadband (주)SK브로드밴드  ITCEN ENTEC (주)아이티센엔텍

 elim 세림TSG
세림티에스지(주)

 ICTWAY
아이씨티웨이(주)

 주·이엑티브
(주)이엑티브

 인라스
ENLACE
(주)인라스

 T3 투비콤
(주)투비콤



(사)ICT플랫폼학회 2025 추계학술대회 논문집

사단법인 아이씨티플랫폼학회
서울 서초구 서초중앙로 63 (서초동) 1502호
ictps.staff@gmail.com

2025.12.17.

PTL Volume 12-2 | ISSN 2288-8195

Editor-in-Chief

Sang-Soo Yeo

MOKWON University,
Daejeon, Republic of Korea,
sangsooyeo@gmail.com

Managing Editor

Bongen Gu

KOREA NATIONAL UNIVERSITY OF TRANSPORTATION,
Chungju-si, Chungcheongbuk-do, Republic of Korea
bgoo@ut.ac.kr

[사]ICT플랫폼학회 추계학술대회 세부 프로그램

추계학술대회 세션 (진행: 강윤희(백석대 교수), 정재필 교수(가천대 교수))	
13:00~13:10	연구윤리교육 : 박용범 교수(단국대 교수)
	논문 발표
	<div style="width: 48%;"> <p style="text-align: center;">논문발표세션 [일반] [좌장: 김현(부천대 교수)]</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 메모리 확장 CXL 장치 기반 자원 분해 및 풀링 기능 모델링 강윤희(백석대), 권태언(쑤하스퍼) ◆ 수능시험을 평가 도구로 적용한 인공지능 에이전트 모델의 능력 검증 분석 김윤정(인하대), 김진혁, 김시호(연세대) ◆ ‘청수’ 포도의 컬러차트 기반 당도 예측 알고리즘 개발 송수빈, 이진흥(쑤에이비씨랩스) ◆ 연속 학습 기반의 적응형 작물 병해 진단 프레임워크 유태근, 최동빈, 박용범(단국대) ◆ 지식 증류를 활용한 다작물 병해 진단 아키텍처 유태근, 최동빈, 박용범(단국대) ◆ HOG를 이용한 로봇 추적에 대한 연구 김동원(인하공전) ◆ 모바일 로봇의 목표자세 결정에 대한 연구 김동원(인하공전) ◆ 몬테카를로 위치 추정에 대한 연구 김동원(인하공전) ◆ 생성형 AI를 활용한 국가 데이터 기초인프라 확장 연구 황영순(목원대) ◆ 이동 로봇 강화학습의 Sim-to-Real 전이를 위한 pygame과 ROS 인터페이스 구본근(국립한국교통대 교수) ◆ IACS UR E27과 IEC 62443-3-3 비교 분석을 통한 스마트 선박 보안 요구사항 개선 방향 제안 최동준, 서정택(가천대) </div> <div style="width: 48%;"> <p style="text-align: center;">논문발표세션 [학부] [좌장: 김백기(강릉원주대 교수)]</p> <ul style="list-style-type: none"> ◆ 스트레스 기반 생체 전류 리듬 균형화 메커니즘 박성호, 정은진, 문창주, 김장환(홍익대), 전병국(강릉원주대), 김영철(홍익대) ◆ 부부 관계 척도 데이터를 활용한 이혼 위험 요인 분석 및 예측 모델 김한결, 문영신, 이유림, 문지훈(덕성여대) ◆ 디지털 헬스케어 플랫폼을 위한 행동학적 파생 변수 설계 및 비만 위험 요인의 다변량 분석 이지현, 김도연, 양서윤, 임아린, 문지훈(덕성여대) ◆ 유방암 악성 환자군의 심각도 세분화를 위한 하이브리드 군집-예측 모델 및 XAI 분석 서해인, 서수민, 이유지, 김승희, 문지훈(덕성여대) ◆ 음향 특성 데이터의 탐색적 시각화 및 음악 감정 분류 박서현, 이가은, 김규린, 강민정, 문지훈(덕성여대) ◆ 핀테크 플랫폼의 리스크 관리를 위한 XAI 기반 신용 카드 연체 예측 모델 유지우, 손가영, 하서영, 김주혜, 문지훈(덕성여대) ◆ 패스트푸드 리뷰 분석 기반 브랜드 운영 인사이트와 모델 비교 및 대시보드 활용 연구 이봉헌, 유재윤, 정영애(선문대) ◆ 고속도로 휴게소 리뷰 기반 감성 인텔리전스 김준혁, 성찬영, 이진우, 박형규, 정영애(선문대) ◆ 고령층 보호를 위한 선제적 격리 및 하이브리드 (URL-HTML) 분석 AI 자동 피싱 탐지 시스템 이중구, 정영애(선문대) </div>
기술세미나 세션 (진행: 여상수(목원대 교수))	
15:00~17:10	기술세미나 진행
17:10~17:20	<div style="width: 45%;">후원기업소개 [참석자 등]</div> <div style="width: 50%;">사회자</div>
17:20~17:30	<div style="width: 45%;">대한민국ICT플랫폼대상 및 우수논문상 시상</div> <div style="width: 50%;">사회자</div>
17:30~17:40	<div style="width: 45%;">경품 추첨 및 사진촬영</div> <div style="width: 50%;">다같이</div>
18:00~	저녁 만찬 및 정보교류

•

2025

(사)ICT플랫폼학회 추계학술대회

•

- Research Ethics -

- ❖ 연구윤리교육 ————— 3
박용범 교수(단국대학교)

- Session 1 -

좌장 : 김현 교수(부천대)

- ❖ 메모리 확장 CXL 장치 기반 자원 분해 및 폴링 기능 모델링 ——— 9
강윤희(백석대), 권태연(쥬하스퍼)
- ❖ 수능시험을 평가 도구로 적용한 인공지능 에이전트 모델의 능력
검증 분석 ————— 13
김윤정(인하대), 김진혁, 김시호(연세대)
- ❖ ‘청수’ 포도의 컬러차트 기반 당도 예측 알고리즘 개발 ————— 17
송수빈, 이진홍(쥬에이비씨랩스)
- ❖ 연속 학습 기반의 적응형 작물 병해 진단 프레임워크 ————— 22
유태근, 최동빈, 박용범(단국대)
- ❖ 지식 증류를 활용한 다작물 병해 진단 아키텍처 ————— 25
유태근, 최동빈, 박용범(단국대)
- ❖ HOG를 이용한 로봇 추적에 대한 연구 ————— 29
김동원(인하공전)

- ❖ 모바일 로봇의 목표자세 결정에 대한 연구 ————— 31
김동원(인하공전)
- ❖ 몬테카를로 위치 추정에 대한 연구 ————— 33
김동원(인하공전)
- ❖ 생성형 AI를 활용한 국가 데이터 기초인프라 확장연구 ————— 35
황영순(목원대)
- ❖ 이동 로봇 강화학습의 Sim-to-Real 전이를 위한 pygame과
ROS 인터페이스 ————— 41
구본근(국립한국교통대)
- ❖ IACS UR E27과 IEC 62443-3-3 비교 분석을 통한 스마트 선박
보안 요구사항 개선 방향 제안 ————— 44
최동준, 서정택(가천대)

- Session 2 -

좌장 : 김백기 교수(강릉원주대)

- ❖ 스트레스 기반 생체 전류 리듬 균형화 메커니즘 ————— 51
박성호, 정은진, 문창주, 김장환(홍익대), 전병국(강릉원주대), 김영철(홍익대)
- ❖ 부부 관계 척도 데이터를 활용한 이혼 위험 요인 분석 및 예측
모델 ————— 57
김한결, 문영신, 이유림, 문지훈(덕성여대)
- ❖ 디지털 헬스케어 플랫폼을 위한 행동학적 파생 변수 설계 및 비만
위험 요인의 다변량 분석 ————— 61
이지현, 김도연, 양서윤, 임아린, 문지훈(덕성여대)
- ❖ 유방암 악성 환자군의 심각도 세분화를 위한 하이브리드
군집-예측 모델 및 XAI 분석 ————— 66
서해인, 서수민, 이유지, 김송희, 문지훈(덕성여대)
- ❖ 음향 특성 데이터의 탐색적 시각화 및 음악 감정 분류 ————— 71
박서현, 이가은, 김규린, 강민정, 문지훈(덕성여대)

- ❖ 핀테크 플랫폼의 리스크 관리를 위한 XAI 기반 신용카드 연체
예측 모델 ————— 76
유지우, 손가영, 하서영, 김주혜, 문지훈(덕성여대)

- ❖ 패스트푸드 리뷰 분석 기반 브랜드 운영 인사이트와 모델 비교 및
대시보드 활용 연구 ————— 80
이봉헌, 유재윤, 정영애(선문대)

- ❖ 고속도로 휴게소 리뷰 기반 감성 인텔리전스
(입점 브랜드 분석 및 의사결정 지원 대시보드) ————— 85
김준혁, 성찬영, 이진우, 박형규, 정영애(선문대)

- ❖ 고령층 보호를 위한 선제적 격리 및 하이브리드(URL·HTML) 분석
AI 자동 피싱 탐지 시스템 ————— 89
이종구, 정영애(선문대)

Research
Ethics

연구윤리교육

박용범 교수(단국대)

제1조(목적)

본 규정은 ICT플랫폼학회(이하 "학회"라 함) 회원들의 연구윤리를 확보하는데 필요한 의무와 책임에 관하여 기본적인 원칙과 방향을 제시함을 목적으로 한다.

제2조(적용대상)

본 규정은 학회의 모든 회원 학회 주관의 학술활동에 참여하는 모든 연구 관련자에 대하여 적용한다. 단, 학술활동이라 함은 학회주관의 학술행사, 출판사업, 교육사업 등을 포함한 연구와 관련한 제반활동을 의미한다.

제3조(적용범위)

특정 연구 분야의 윤리 및 진실성에 관하여 다른 법적 규정이 있는 경우를 제외하고는 이 규정에 의한다.

제4조(연구부정행위의 범위)

본 규정에서 제시하는 연구부정행위라 함은 논문지, 학술지, 학회와 연관된 연구개발의 수행 등에서 행하여진 위조, 변조, 표절, 중복게재, 부당한 저자 표시행위 등을 말하며 다음의 각 호와 같다.

- ① “위조”라 함은 존재하지 않는 데이터 또는 연구내용, 결과 등을 정당한 승인 또는 인용 없이 행하는 학문적 행위를 말한다.
- ② “변조”라 함은 연구에 필요한 재료와 장비, 그리고 연구과정 및 결과 등을 인위적으로 조작하거나 데이터를 임의로 변형, 삭제함으로써 연구 내용 혹은 결과를 왜곡하는 행위를 말한다.
- ③ “표절”이라 함은 타인의 아이디어, 연구내용, 결과 등을 정당한 승인 또는 인용 없이 도용하는 행위를 말한다.
- ④ “중복게재”라 함은 연구자 자신의 이전 연구결과와 동일 또는 실질적으로 유사한 학술적 저작물을 처음 게재한 학술지 편집자나 저작물 저작권자의 허락 없이 또는 적절한 출처 표시 없이 다른 학술지나 저작물에 상용하는 학문적 게재 행위를 말한다.
- ⑤ “부당한 논문저자 표시”라 함은 연구 내용 또는 결과에 대하여 논문, 저술, 보고서 등에 과학적이거나 기술적인 기여를 한 자에게 저자 자격을 부여하지 않거나, 이러한 기여를 하지 않은 자에게 저자 자격을 부여하는 행위를 말한다.
- ⑥ 본인 또는 타인의 부정행위의 의혹에 대한 조사를 고의로 방해하거나 제보자에게 위해를 가하는 행위를 말한다.
- ⑦ 과학기술계에서 통상적으로 용인되는 범위를 심각하게 벗어난 행위 등을 말한다.

제5조(제보자의 권리 보호)

- ① 제보자는 부정행위를 인지한 사실 또는 관련 증거를 학회에 알린 자를 말한다.
- ② 제보자는 구술, 서면, 전화, 전자우편 등 가능한 모든 방법으로 제보할 수 있으며 실명으로 제보함을 원칙으로 한다. 단, 익명의 제보라 하더라도 서면 또는 전자우편으로 연구과제명 또는 논문명 등 구체적인 부정행위의 내용과 증거를 포함하여 제보한 경우에는 이를 실명 제보에 준하여 처리한다.

- ③ 학회는 제보자의 신원에 관한 사항이 공개 않도록 제보자의 신상정보를 보호하여야 한다. 제보자가 부정행위 신고를 이유로 징계 등 신분상 불이익, 근무조건상의 차별, 부당한 압력 또는 위해 등을 받지 않도록 보호해야 할 의무를 지니며 이에 필요한 시책을 마련하여야 한다.
- ④ 제보자가 부정행위의 신고 이후에 진행되는 조사 절차 및 일정 등에 대하여 알고자 할 경우에 학회는 이에 성실히 응하여야 한다.
- ⑤ 제보 내용이 허위인 줄 알았거나 알 수 있었음에도 불구하고 이를 신고한 제보자는 보호 대상에 포함되지 않는다.

제6조(피조사자의 권리 보호)

- ① 피조사자는 제보 또는 학회의 인지에 의하여 부정행위의 조사 대상이 된 자 또는 조사 수행 과정에서 부정행위에 가담한 것으로 추정되어 조사의 대상이 된 자를 말하며, 조사과정에서의 참고인이나 증인은 이에 포함되지 아니한다.
- ② 학회는 검증과정에서 피조사자의 명예나 권리가 부당하게 침해되지 않도록 주의하여야 한다.
- ③ 부정행위에 대한 의혹은 판정 결과가 확정되기 전까지 외부에 공개되어서는 아니 된다.
- ④ 피조사자는 부정행위 조사 처리절차 및 처리일정 등에 대해 학회에 알려줄 것을 요구할 수 있으며, 학회는 이에 성실히 응하여야 한다.

제7조(진실성 검증 시효)

제보의 접수일로부터 만 5년 이전의 행위에 대해서는 접수 여부를 하더라도 처리하지 않는다. 단 5년 이전의 부정행위라 하더라도 피조사자가 그 결과를 직접 재인용하여 후속연구가 진행될 경우에는 예외조항으로 한다.

제8조(진실성 검증 원칙)

- ① 부정행위의 사실 여부를 입증할 책임은 학회와 연구윤리위원회에 있다. 단, 피조사자가 연구윤리위원회에서 요구하는 자료를 고의로 훼손하였거나 제출을 거부하는 경우에는 요구자료에 포함되어 있다고 인정되는 내용의 사실여부를 입증할 책임은 피조사자에게 있다.
- ② 연구윤리위원회는 제보자와 피조사자에게 의견진술, 이의제기 및 변론의 권리와 기회를 동등하게 보장하여야 하며 관련 절차를 사전에 알려주어야 한다.
- ③ 학회 회장단과 이사진은 연구윤리위원회가 부당한 압력이나 간섭을 받지 않고 독립성과 공정성을 유지할 수 있도록 노력하여야 한다.

제9조(진실성 검증절차)

- ① 연구부정행위의 조사는 접수일로부터 10일 이내에 수행되어야 한다.
- ② 모든 조사 일정은 접수일로부터 6개월 이내에 종료되어야 한다.
- ③ 조사 착수 후 1년 이내에 이에 대한 판정 및 조치가 이루어져야 한다.
- ④ 연구부정행위라는 판정결과를 받은 자는 이로부터 1개월 이내에 재심을 요구하여야

하며, 의의 신청을 받은 날로부터 1개월 이내에 윤리위원회는 재심결과를 도출하여 해당 재심 신청자에게 통보하여야 한다.

제10조(윤리위원회의 구성 및 권한)

- ① 본 학회의 논문에 대한 부정행위 문제가 제기되는 경우, 윤리위원회를 5인 이내로 위원장을 포함하여 2주 이내로 구성하며, 위원장은 학회장이 지명한다.
- ② 위원이 피조사자가 되었을 때는 관련자를 제외하고 구성한다.
- ③ 연구윤리위원회는 조사과정에서 제보자, 피조사자, 증인 및 참고인에 대하여 진술을 위한 출석을 요구할 수 있으며 이 경우 피조사자는 반드시 응하여야 한다.
- ④ 부정행위의 판정은 윤리위원 과반수의 의결로 이루어진다.

제11조(연구부정행위 조사결과 보고)

연구윤리위원회는 연구부정행위를 조사하고 그 결과를 조사종료 후 10일 이내에 회장에게 보고하여야 한다. 결과보고서에는 다음 각항이 반드시 포함되어야 한다.

- ① 제보의 내용
- ② 조사의 대상이 된 부정행위
- ③ 조사위원회의 조사위원 명단
- ④ 본 조사 실시 여부 및 판단의 근거
- ⑤ 해당 연구에서의 피조사자의 역할과 부정행위의 사실 여부
- ⑥ 관련 증거 및 증인

제12조(조사결과 보고에 대한 후속조치)

- ① 연구부정행위를 하여 본 학의 명예를 손상시킨 자에 대해서는 그 정도에 따라 최고 5년까지 본 학회의 활동을 중지시킨다.
- ② 연구부정행위에 대한 판정결과는 5년 이상 본 학회에서 보존하여야 한다.

제13조(심사의 객관성)

논문 심사위원 선정시 투고자와 동일기관 소속의 심사위원은 선정하지 않는다.

제14조(기타)

이 규정에서 정하지 않은 사항은 학회의 관련 내규를 따르거나 학회이사회에서 논의하여 결정한다.

부 칙

- ① 이 규정은 2013년 9월 1일부터 시행한다.
- ② 이 규정은 2014년 10월 1일부터 일부 수정하여 시행한다.
- ③ 이 규정은 2015년 3월 1일부터 일부 수정하여 시행한다.
- ④ 이 규정은 2018년 1월 1일부터 일부 수정하여 시행한다.

Session 1

논문 발표

- 좌장 -
김 현 교수(부천대)

메모리 확장 CXL 장치 기반 자원 분해 및 풀링 기능 모델링

강윤희*, 권태언**

Function Modelling of Resource Disaggregation and Pooling for CXL Device with Memory Expansion

Yunhee Kang, Peter Kwon***

요 약

인공지능(AI), 머신러닝(ML), 실시간 데이터 분석과 같은 워크로드는 기존의 컴퓨팅 아키텍처가 감내하기 어려운 수준의 데이터 처리량을 요구하고 있다. 이러한 한계를 극복하기 위해 CPU 중심 아키텍처에서 벗어나, 메모리와 데이터를 중심으로 자원을 유연하게 결합하고 분리할 수 있는 자원으로 컴퓨팅 자원 풀을 구성하고 있다. 이 논문에서는 LLM 과 같은 계산과 메모리 요구가 높은 작업부하의 처리에 효율적인 클라우드 기반 서버 클러스터 환경 구축을 위해 AI 계산자원의 분해 및 풀링 운영 아키텍처를 설계한다. 자원제공 장치는 메모리 확장을 지원하는 CXL Type-3 장치를 대상으로 주요한 기능을 모델링한다. 기능 모델링 결과는 호스트 에이전트(Host Agent)와 패브릭 관리자(Fabric Manager)로 구성된 후 요청과 응답 내용의 검증을 위해 활용한다.

Key words

Function Modelling, CXL Device, Memory Expansion, Resource Disaggregation

I. 서 론

현행 데이터 센터와 고성능 컴퓨팅(HPC) 환경은 전례 없는 데이터 폭증이 이루어지고 있다. 인공지능(AI), 머신러닝(ML), 실시간 데이터 분석과 같은 워크로드는 기존의 컴퓨

팅 아키텍처가 감내하기 어려운 수준의 데이터 처리량을 요구하고 있다 [1][2]. 이러한 한계를 극복하기 위해 CPU 중심 아키텍처에서 벗어나, 메모리와 데이터를 중심으로 자원을 유연하게 결합하고 분리할 수 있는 자원으로 컴퓨팅 자원 풀(Resource Pool)을 구성하고 있다. 자원 풀과 호스트 CPU 사이에는

* 백석대학교 컴퓨터공학부, 교수 (yhkang@bu.ac.kr)

** (주)하스퍼, 교신저자 (peterkwon@harsper.co.kr)

고속 통신을 구현하여 원격 자원을 자신의 로컬자원 수준에서 접근할 수 있도록 하기 위한 표준이 개발되고 있다[3].

CXL (Compute Express Link) 장치의 메모리 할당을 위한 기능은 CXL 프로토콜의 특성과 관리 메커니즘, 그리고 소프트웨어 계층의 상호 작용을 통해 구현한다. CXL은 서버 내부 및 랙 스케일 (rack-scale)에서 메모리와 가속기 자원을 효율적으로 공유하고 풀링 (Pooling)하는 메모리 장치로 구성한다 [3][4]. [5]은 클라우드 플랫폼을 위한 CXL 메모리 풀링 시스템 Pond를 제안하고 그 성능과 기능을 모델링 한다. 메모리 확장 CXL 장치는 메모리 대역폭을 확장하거나 여러 서버가 공유하는 거대한 메모리 풀을 구성한다[5][6].

이 논문에서는 LLM 과 같은 계산과 메모리 요구가 높은 작업부하의 처리에 효율적인 클라우드 기반 서버 클러스터 환경 구축을 위해 계산자원의 분해 및 풀링 운영 아키텍처를 설계한다. 자원제공 장치는 메모리 확장을 지원하는 CXL Type-3 장치를 대상으로 주요 기능을 모델링한다. 기능 모델링은 CXL 시뮬레이션을 통해 CXL 기능의 동작을 확인하고 결과를 검증하기 위해 gRPC 를 사용한다. 서버는 패브릭 관리기를 대상으로 구성하며 클라이언트는 에이전트 호스트를 구성하여 설계한다.

II. 관련 연구

CXL Type 3 장치는 메모리 확장을 목적으로 하는 메모리 버퍼 장치로서 호스트에 추가적인 메모리 용량과 대역폭을 제공한다 [3][4]. 해당 CXL 장치는 메모리 확장을 위해 CXL.io와 CXL.mem 프로토콜을 지원한다. CXL.io는 PCIe 5.0/6.0 사양을 기반으로 하는 I/O 프로토콜이다. CXL.io의 주요 기능은 CXL 장치를 발견, 초기화, 설정하고 I/O 통

신을 처리하는 기본 제어 경로(Control Plane)를 제공한다. CXL.mem는 호스트 CPU가 CXL 장치에 연결된 메모리에 접근할 수 있게 하는 프로토콜로서 CXL.io를 통해 준비된 CXL 장치에서 데이터 읽기와 쓰기 (load and store) 연산을 수행한다. CXL.io의 주요 기능은 CXL 장치를 발견, 초기화, 설정 및 I/O 통신을 처리하는 기본 제어 경로 (Control Plane)를 제공한다.

CXL.io를 지원하는 디바이스 드라이버와 유틸리티는 CXL 장치를 시스템에 통합하고 관리하는 핵심 구성 요소이다. Linux에서는 CXL 커널 드라이버 또는 CXL 서브시스템이 이에 해당한다. 디바이스 드라이버는 커널 (운영체제) 수준에서 CXL.io 프로토콜을 사용하여 하드웨어와 직접 통신하는 소프트웨어(Host Agent)이며, 유틸리티는 사용자 공간에서 이 드라이버와 상호작용하여 장치를 모니터링하고 제어하는 관리 도구이다. CXL.io 드라이버는 운영체제 커널의 일부로, CXL 장치를 PCIe 장치로 인식하고 CXL.io 프로토콜을 통해 하드웨어를 직접 제어하는 역할을 한다.

III. CXL 메모리 확장 기능 모델링

3.1 개요

CXL 장치의 기능 모델링과 결과 검증은 gRPC(gRPC Remote Procedure Call) 기반으로 호스트 에이전트(Host Agent, HA)와 패브릭 관리기(Fabric Manager, FM)를 구성하여 수행한다. gRPC 는 Google에서 개발한 현대적이고 고성능인 오픈 소스 프레임워크이다. gRPC 프레임워크는 클라이언트 애플리케이션이 다른 머신이나 데이터 센터에 있는 서버 애플리케이션의 메서드를 로컬 함수를 호출하는 것처럼 직접 호출할 수 있는 기능을 제공한다. 기능 모델링 결과는 호스트 에이전트와 패브릭 관리자로 구성

한 후 요청과 응답 내용의 검증을 위해 활용한다.

3.2 Host Agent

Host Agent는 CXL 호스트의 운영체제(OS 커널 드라이버)를 표현하며, 자원을 요청하고 명령을 실행한다. 주요한 Host Agent의 기능은 요청 생성과 명령 실행으로 구성한다.

1) 요청 생성 (Request Initiator)

- FM에 Host Registration(호스트 등록)을 요청하여 자신을 등록하도록 요청한다. 이를 위해 RequestMemoryAllocation RPC를 호출하여 "64GB 메모리 할당요청"과 같이 FM에 리소스를 요청한다.
- CxIIOAccess RPC를 호출하여 "스위치 10번, 포트 1번의 0x00C 레지스터를 읽고 싶습니다"라고 CXL.io 액세스를 요청한다.

2) 명령 실행 (Instruction Executor)

FM이 메모리 할당 응답으로 HPA(호스트 물리 주소)를 보내주면, program_hdm_decoder 함수를 호출하여 호스트 CPU의 HDM(Host-managed Device Memory) 디코더를 프로그래밍하는 동작을 시뮬레이션한다. HDM 프로그래밍은 특정 HPA 범위로 들어오는 메모리 요청을 로컬 DRAM이 아닌, CXL 스위치를 통해 접근 가능한 특정 CXL 장치로 요청을 라우팅하도록 한다. 이를 위해 HDM 프로그래밍은 CXL.io(MMIO)를 통해 호스트 CPU의 루트 포트(Root Port) 또는 메모리 컨트롤러에 위치한 특정 하드웨어 레지스터에 값을 쓰는(Write) 작업으로 해당 부분은 CXL 장치에 대한 데이터 접근을 위해 사용된다.

3.3 Fabric Manager

Fabric Manager는 CXL 장치들로 구성된 패브릭 전체를 관리하는 기능을 수행한다. 모든 리소스를 소유하고 할당을 결정하는 관리자로서 동작한다. 주요한 FM의 기능은 중앙 리소스 관리, 요청 처리 및 의사 결정과 상태 유지를 수행한다.

1) 중앙 리소스 관리

- CXL_DEVICE_CONFIG_TABLE을 기반으로 모든 CXL 장치(CXL_DEVICES)의 글로벌 인벤토리를 유지한다.
- 글로벌 인벤토리의 포함된 장치에 사용 가능한 메모리가 얼마나 남았는지 실시간으로 추적한다.

2) 요청 처리 및 의사 결정

- Host Agent의 RequestMemoryAllocation RPC 요청을 받으면, 가용 메모리 풀을 확인하고 CXL 장치에서 메모리를 할당 및 HPA 주소를 부여할지 결정한다.
- CXL.io 요청을 받으면, (Switch_ID, Port_ID) 구성된 요청 장치가 인벤토리에 있는지 검증하고 해당 장치의 레지스터 값을 읽거나 쓴다.

3) 상태 관리

글로벌 인벤토리의 등록 CXL장치의 상태 정보를 갖는 fabric_state 디렉토리를 통해 현재 어떤 호스트가 등록되었는지, 어떤 리소스가 할당되었는지 등 패브릭의 모든 상태를 저장하고 유지한다.

IV. 결 론

이 논문은 메모리 확장을 지원하는 CXL 장치의 기능 모델링과 결과 검증을 위해 gRPC(gRPC Remote Procedure Call) 기반으로 호스트 에이전트와 패브릭 브로커를 구성하였다. 호스트 에이전트와 패브릭 브로커와의 상호작용은 CXL 패브릭에 포함된

물리적 자원을 논리적으로 하나의 자원 풀 (Resource Pool)을 형성한다. 계산을 수행하는 환경에서는 작업부하에 따라 구성된 자원 풀에서 필요한 만큼의 컴퓨팅 및 메모리 자원을 동적으로 할당받아 사용할 수 있다. 자원의 동적 할당은 데이터 센터에서 유휴 자원을 최소화하고 투자 효율을 극대화할 수 있다.

ailable: <https://arxiv.org/abs/2203.00241>

- [6] P. Levis, K. Lin, and A. Tai, "A Case Against CXL Memory Pooling," in Proceedings of the 22nd ACM Workshop on Hot Topics in Networks (HotNets '23), Cambridge, MA, USA, 2023, pp. 18-24, doi: 10.1145/3626111.3628195.

감사의 글

논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구 결과임 (No. RS-2025-02220502, AI반도체 컴퓨팅 자원 분해 및 자원풀링 기술 개발)

참고 문헌

- [1] S. Minaee, T. Mikolov, N. Nikzad et al., "Large language models: A survey," arXiv preprint arXiv:2402.06196, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2402.06196>
- [2] J. Liu, D. Zhu, Z. Bai et al., "A comprehensive survey on long context language modeling," arXiv preprint arXiv:2503.17407, 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2503.17407>
- [3] CXL Consortium, Compute Express Link (CXL) Specification 3.1, Aug. 2022.
- [4] CXL Consortium, "CXL 3.0: New Capabilities for a Composable Data Center," White Paper, Aug. 2022.
- [5] H. Li, D. S. Berger, S. Novakovic, L. Hsu, D. Ernst, P. Zardoshti, M. Shah, S. Rajadnya, S. Lee, I. Agarwal, M. D. Hill, M. Fontoura, and R. Bianchini, "Pond: CXL-Based Memory Pooling Systems for Cloud Platforms," arXiv:2203.00241 [cs.OS], 2022. [Online]. Av

수능시험을 평가 도구로 적용한 인공지능 에이전트 모델의 능력 검증 분석

김윤정*, 김진혁**, 김시호***

Assessment of AI Agentic Models' Scholastic Abilities through the Korean CSAT

Yoonjeong Kim, Jinhyuk kim** and Shi-Ho Kim****

Abstract

This study evaluates the scholastic abilities of leading AI agentic models - GPT-5, Gemini 2.5 Flash, DeepSeek, and Perplexity- by administering the 2026 Korean CSAT under controlled, no-internet conditions. GPT-5 achieved the highest overall score, showing top-tier mathematical performance, while DeepSeek and Gemini displayed stronger language?math trade-offs. Perplexity performed the worst due to instability and attempted online queries. Across models, Korean Language and high-difficulty mathematics items remained major weaknesses. Results show that despite rapid progress, no model reached scores competitive for major four-year universities. The findings highlight linguistic and cultural limitations of globally trained AI and support the CSAT's potential as a benchmark for developing sovereign, Korea-optimized AI systems.

Key words

Agentic models; Korean College Scholastic Ability Test (KCSAT); Performance assessment

I. 서 론

2022년 상용화를 시작한 생성형 대화형 인공지능(ChatGPT)은 자연어 이해 및 생성 능력에서 기존 시스템을 크게 상회하며, 다양

한 전문직 시험을 통과할 정도의 고도화된 수행 능력을 보여주고 있다. GPT는 “Generative Pre-trained Transformer”의 약자로, 대규모 텍스트·이미지·음성 데이터로 사전 학습된 생성형 AI 모델을 의미한

* 인하대학교 일반대학원 도시재생학과 박사과정 (051inha@inha.edu),

** 연세대학교 첨단융합공학과

*** 연세대학교 첨단융합공학과 (shiho@yonsei.ac.kr)

다. 이러한 생성형 인공지능은 단순히 주어진 입력에 대한 최적 출력을 선택하는 전통적 기계학습 방식과 달리, 학습된 패턴을 기반으로 새로운 데이터를 생성할 수 있다는 점에서 혁신적 도약을 이뤄냈다. 대표적으로 ChatGPT와 Stable Diffusion은 자연어 이해, 대화, 콘텐츠 생성 등 다양한 영역에서 인간 수준의 성능을 보이며 산업 전반에 폭넓게 도입되고 있다.

이와 같은 성능 향상은 교육·법률·의학·경영 등 고난도 영역에서도 두드러지는데, 기존 연구에서는 ChatGPT가 미국 변호사 시험(Bar Exam), 의학시험(USMLE), 경영학(MBA) 시험 등에서 합격권 점수를 기록한 사례가 보고되었다[1][2]. 이러한 사실은 생성형 AI가 고등교육 과정 및 전문 자격시험의 평가 체계를 근본적으로 변화시킬 수 있음을 시사하며, AI의 실제 '학업 능력(scholastic ability)'을 객관적으로 측정할 필요성을 강조하고 있다.

특히 한국의 대학수학능력시험(CSAT, 수능)은 국어·영어·수학 등 핵심 학업 역량을 체계적이고 표준화된 방식으로 평가하는 대표적 고난도 시험으로, 한국어 기반 추론 능력·문제 파악 능력·수리적 사고 등을 종합적으로 요구한다. 즉, 수능은 생성형 AI의 학습 능력을 객관적인 점수와 등급으로 정량화할 수 있는 강력한 시험 도구라 할 수 있다. 실제로 본 연구팀은 2023년 ChatGPT-3.5 모델을 대상으로 수능 국·영·수 문제를 입력하여 실험한 바 있으며[3], 수학 공통 문항 6개를 제외한 전 문항을 오답 처리하여 17점에 그치는 등 모델의 한계가 명확히 드러났다.

그러나 GPT-5(2026년 기준)를 포함한 최신 AI 모델은 한국어 처리 능력과 논리적 추론 능력에서 비약적 발전을 이루었으며, 실제 언론 실험에서도 GPT-5는 2026학년도 수학에서 '안정적인 1등급' 수준의 성적을 기록해 과거 모델 대비 큰 향상을 보였다. 반면 Gemini, DeepSeek, Perplexity 등 글

로벌 모델은 한국어 기반 문제에서 여전히 낮은 정답률을 보이며 언어·문화·출제 방식의 차이에 기인한 취약점을 나타냈다. 이러한 관찰은 한국형 고난도 시험이 글로벌 생성형 AI 성능을 평가하는 데 독자적인 기준으로 활용될 수 있음을 시사한다.

따라서 본 연구에서는 2026학년도 수능 문제(국어·영어·수학)를 GPT-5, Gemini, DeepSeek, Perplexity 모델에 동일한 환경에서 적용하여 각 모델의 학업 능력을 비교·분석하고, 한국어 기반 추론 문제에서 나타나는 성능 차이와 그 원인을 규명하고자 한다. 또한 채점 결과를 토대로 실제 수험생의 등급 체계에 기반한 상대적 위치를 분석함으로써, 생성형 AI의 '국내 학업 능력' 수준을 정량적으로 평가한다. 본 연구는 한국어·한국형 추론 기반 평가에서 글로벌 AI 모델의 강점과 한계를 규명하고, 향후 한국어 특화 sovereign AI 개발에서 수능 시험이 주요 성능 지표로 활용될 수 있음을 제시한다.

II. 본론

1. 연구 방법 (Methods)

1.1 평가 대상 AI 모델

본 연구는 2026학년도 대학수학능력시험(CSAT) 응시 환경을 기반으로 다음 네 가지 생성형 AI 모델을 평가하였다.

- GPT-5 (OpenAI)
- Gemini 2.5 Flash (Google DeepMind)
- DeepSeek (2025 최신 공개 모델)
- Perplexity Sonar (무료 버전)

이들 모델은 최신 LLM 기반 에이전트로써 자연어 처리·추론·대화 생성 등 다양한 영역에서 활용되고 있으며, 국제 평가에서는 이미 높은 성능을 보인 바 있다. 본 연구는 이 모델들의 한국어 학업 능력을 직접 비교 분석하는 것을 목표로 한다.

1.2 평가 절차 및 통제 조건

실험은 실제 수능 시험 환경과 최대한 유사하도록 구성하였다. 첫째, 모든 AI 모델은 외부 검색(Search)을 전면 금지한 상태에서 문제를 풀도록 하여, 모델이 보유한 내부 지식과 추론 능력만으로 답안을 생성하도록 제한하였다. 둘째, 문항 입력 방식은 표준화하여 텍스트 기반 문제는 그대로 입력하고, 수학 문항은 LaTeX 형식으로 변환해 제공하였으며, 표·그림·이미지 기반 문항은 PDF 형태로 제시하였다. 국어 및 영어의 듣기 문항은 음성 인식 기능이 없는 모델을 고려해 텍스트 대본 형태로 제공하였다. 시험 시간은 별도 제한을 두지 않았으나, Perplexity와 같이 응답이 지연되거나 중단되는 경우는 모두 기록해 분석에 반영하였다. 마지막으로, 모든 영역은 동일한 조건에서 독립적으로 채점하였으며, 국어·영어·수학의 원점수 기준으로 성적을 산출하였다. 수학 영역의 경우 선택과목(확률과 통계, 미적분, 기하)은 각각 별도의 성취도로 평가하였다.

평가는 수능의 핵심인 국어, 영어, 수학의 세 개 주요 영역을 기준으로 진행되었다. 국어 영역에서는 독해력과 논증적 사고, 언어·매체에 대한 이해도를 중심으로 평가하였으며, 특히 지문의 맥락을 파악하는 능력, 추론 과정, 구조적 이해 여부를 중점적으로 분석하였다. 영어 영역은 듣기 및 독해 능력, 문법적 정확성, 문맥 이해도를 평가 기준으로 삼아 문장 구조 분석과 어휘 추론 능력을 확인하였다. 수학 영역은 공통과목과 선택과목(확률과 통계, 미적분, 기하)을 포함한 문제 해결 능력을 평가하였으며, 고난도의 수리 추론과 단계적 계산 절차 수행 능력을 중점적으로 살펴보았다.

이와 더불어, 본 연구는 정성적 요소에 대한 추가 분석도 병행하였다. 구체적으로는 AI 모델이 문항을 얼마나 정확하게 이해하고 해석하는지, 단계별 풀이 과정이 논리적으로

일관되는지, 시험 과정에서 검색 시도와 같은 오류 또는 부정행위가 발생했는지, 그리고 문항 유형별로 어떤 취약성을 보이는지 등을 세밀하게 평가하였다.

2. 연구 결과 (Results)

국어 영역에서 모든 모델이 가장 큰 어려움을 겪은 영역이다. GPT-5, Gemini, Perplexity 모두 ‘언어와 매체’ 선택 시 0~11점에 머물렀다. 복잡한 문학·비문학 지문에서 문맥 추론 및 문장 간 논리 구조 파악이 어려운 것으로 나타났다. 한국어 기반 구조적 사고력이 부족한 것이 성적 격차의 주요 요인으로 분석된다. DeepSeek이 상대적으로 가장 높은 국어 성적을 기록했지만, 여전히 상위권 진입에는 부족했다. 수학 영역에서 GPT는 다음과 같은 개선을 보였다

GPT는 수학 영역에서 매우 뚜렷한 성능 향상을 보였다. 2023년 GPT-3.5가 수능 수학에서 17점에 그쳤던 반면, 2026년 GPT-5는 선택 과목에 따라 84점에서 96점까지 도달하며 사실상 상위권 수험생 수준의 성취를 나타냈다. 이러한 성능 향상은 OpenAI가 최근 적용한 reasoning 강화 전략(o1·o3 계열 모델, 고도화된 chain-of-thought 기법 등)이 실제 문제 해결 능력 향상에 실질적으로 기여했음을 보여주는 결과로 해석된다.

소버린 AI 개발 측면에서 본 연구는 중요한 의의를 갖는다. 먼저, CSAT이 비영어권 AI 모델의 학업 능력과 추론 능력을 정량적으로 평가할 수 있는 뛰어난 벤치마크임을 확인하였다. 이는 한국어 기반 대규모 모델의 개발 성능을 체계적이고 객관적으로 검증할 수 있는 평가 지표로 활용될 수 있음을 의미한다. 더 나아가, 이러한 평가 체계는 향후 교육 정책 수립·AI 안전성 평가와 같은 다양한 분야에 적용될 가능성이 높아, 한국형 소버린 AI의 경쟁력 확보와 안정적 발전에 중요한 기여를 할 것으로 기대된다.

2026학년도 수능 시험 결과, 4가지 모델의 성적을 비교한 결과는 다음과 같다.

표 1. 각 모델별 실험 결과

순위	모델	총 점	주요 특징
1위	GPT-5	영역별 최고 성적	수학 1등급, 국어 중위권, 영어 상위권
2위	DeepSeek	영어·국어 우수, 수학 약세	영어 93점(1등급), 수학 객관식 추정 오답 다수
3위	Gemini	수학 높음, 국어 취약	국어 최하위권, 수학 중상위
4위	Perplexity	전 영역에서 낮은 정확도	응답 중단·검색 시도 등 문제

III. 결론

본 연구는 GPT-5, Gemini 2.5 Flash, DeepSeek, Perplexity 등 주요 AI 에이전트 모델의 학습 능력을 평가하기 위해 2026학년도 대학수학능력시험(CSAT)을 표준화된 평가 도구로 활용하여 비교·분석하였다. 외부 검색을 금지하고 동일한 입력 조건을 적용하는 통제된 환경에서 국어·영어·수학 영역의 성취도를 정량적으로 측정함으로써 각 모델의 실제 문제 해결 능력을 객관적으로 평가하였다. 실험 결과, GPT-5는 수학 영역에서 상위권 수험생에 근접한 1등급 수준의 추론 능력을 보이며 가장 우수한 성능을 나타냈다. 반면 DeepSeek과 Gemini는 특정 영역에서 부분적인 강점을 보였으나 전 영역에서 안정적으로 높은 성취도를 유지하지는 못했다. Perplexity는 전반적으로 불안정한 응답과 낮은 정확도를 보였다.

생성형 AI가 최근 급격히 발전하고 있음에도 불구하고, 이번 평가 결과는 어떤 모델도 한국의 경쟁적인 4년제 대학에 진학할 수 있을 만큼의 성적을 달성하지 못했음을 보여 준다. 특히 모든 모델은 고난도 국어 추론 문제와 다단계 연산이 요구되는 수학 문항에

서 취약성을 드러냈으며, 이는 깊은 맥락 이해, 복합적 정보 처리, 문화·언어 특수성을 필요로 하는 문제 유형에서 AI의 구조적 한계를 반영한다. 이러한 성능 격차는 글로벌 LLM이 한국어 기반 학습 평가에서 완전한 성능을 발휘하기 어렵다는 점을 시사한다.

본 연구는 CSAT이 비영어권 AI 모델의 학습 추론 능력을 평가하는 데 효과적인 벤치마크 역할을 할 수 있음을 확인시켜 준다. 대한민국이 소버린 AI 개발을 추진하는 과정에서, 수능과 같은 국가 표준 시험은 AI의 언어 정합성, 추론 능력, 맥락 기반 문제 해결 능력을 평가하는 핵심 지표로 활용될 수 있다. 향후 연구에서는 미세 조정(fine-tuning), 멀티모달 능력 강화, 도메인 특화 학습 등을 적용하여 이번 평가에서 확인된 성능 격차를 해소할 필요가 있다.

참고 문헌

- [1] Bae, Soo-Myoung, Hye-Rim Jeon, Gyoung-Nam Kim, Seon-Hui Kwak, and Hyo-Jin Lee. "Performance of ChatGPT on the Korean National Examination for Dental Hygienists." *Journal of Dental Hygiene Science*. The Korean Society of Dental Hygiene Science, March 31, 2024. doi:10.17135/jdhs.2024.24.1.62.
- [2] Oh, Sejun. "Evaluating Mathematical Problem-Solving Abilities of Generative AI Models: Performance Analysis of o1-preview and gpt-4o Using the Korean College Scholastic Ability Test." *IEEE Access* 13 (2025): 1227-1235.
- [3] W. Huilin et. al, "Analysis of the scholastic capability of ChatGPT utilizing the Korean College Scholastic Ability Test", *Journal of Platform Technology*, Volume 11 Issue 5 p.72-83, 2023

‘청수’ 포도의 컬러차트 기반 당도 예측 알고리즘 개발

송수빈*, 이진흥**

Sugar Content Prediction Algorithm of ‘Chungsu’ using Color Charts

Su-Bin Song, Jin-Heung Lee***

요 약

본 논문은 대부분의 와인용 포도 재배 농가에서 재배하는 ‘청수’ 품종에 대하여 노지 환경에서 포도 객체를 자동으로 식별하고, 식별된 포도의 크기와 당도를 예측하는 알고리즘을 개발하였다. 개발된 알고리즘은 포도 객체 추출을 위하여 학습 데이터셋을 구성하고, 97%의 정확도로 포도 객체를 추출하였으며, DBSCAN 기반 포도알 추출과 추출된 포도알 대상으로 92%의 당도 예측 정확도를 구현하였다.

Key words

Plant growth simulation, Smart Farm based on Data, Growth prediction

I. 서 론

최근 데이터 기반 디지털농업 분야에서 딥러닝 기술을 활용한 다양한 연구가 진행되고 있다[1,2]. 이에 발맞추어 우리는 비가림 노지포도 농업 분야에서 인공지능 기술을 이용한 비파괴 당도 예측 기술을 제시한다. 특히, 와인용으로 재배되는 국산 품종인 ‘청수’ 포도에 대한 포도송이 식별 및 컬러차트 학습 기반의 당도 예측 모델을 개발하고, 이로부터 와이너리 농가에서 제조되는 와인 특성에

적합한 당도 시점에 수확하도록 와이너리의 의사결정을 지원하는 기술을 제시한다.

본 연구에서는 포도의 당도 예측을 위하여 YOLO 기반의 이미지 학습과 포도송이 객체를 추출하고, DBSCAN (Density-based spatial clustering of application with noise) 기반의 포도알 탐지와 탐지된 포도알로부터 컬러차트를 활용한 당도 예측 알고리즘을 수행함으로써 90% 이상의 포도송이 추출 정확도와 당도 예측 정확도를 제공하고자 한다.

* (주)에이비씨랩스

** (주)에이비씨랩스 (ceres@abclabs.co.kr)

II. 당도 예측 알고리즘

2.1 포도 객체 추출

2.1.1 데이터셋 구성 및 라벨링

포도 객체 탐지 모델은 로보플로 (Roboflow) 공개 데이터셋 ‘YOLO-AUG Object Detection Dataset by Grape detection’의 포도나무 원본 이미지 6,672장을 대상으로 구축하였다. 모든 이미지는 포도송이(Cluster)를 단일 클래스로 정의하여 Bounding Box 라벨링을 수행하였다.

라벨링이 완료된 전체 데이터셋은 Train:Val:Test = 8:1:1 (5,337:667:668장) 비율로 분할하여 모델 학습에 사용하였다.



그림 1. 포도송이 Bounding Box 라벨링

2.1.2 YOLOv8 기반 포도송이 객체 탐지 모델

포도 객체 탐지 단계에서는 경량 및 실시간 처리가 가능하도록 YOLOv8 small 구조를 채택하였다. 모델은 CSP 구조의 backbone 과 PAN-FPN 기반 neck, 그리고 decoupled head로 구성되며, 입력 해상도는 640x640으로 통일하였다.

표 1. 포도송이 탐지 모델 평가

지표	값
Precision (P)	0.975
Recall (R)	0.958
mAP50	0.988
F1 Score	0.97



그림 2. 원본 이미지 및 포도송이 탐지 결과

평가 데이터셋에 대해 Ground Truth와 예측 박스를 비교하여 Precision, Recall, mAP50, F1 Score를 산출한 결과 포도송이 객체 추출 정확도 97% 수준의 성능을 확보하였다. 이 단계의 검출 결과는 이후 포도송이 영역 세그멘테이션 및 포도알 단위의 객체 탐지의 입력으로 활용된다.

2.2 포도송이 영역탐지 및 포도알 추출

2.2.1 HSV 기반 포도송이 Mask 생성

2.1절의 포도송이 탐지 결과를 기준으로 포도송이 영역을 정밀 분할하고, 분할 영역 내부에서 포도알 단위 객체를 탐지하였다. 먼저 입력 RGB 이미지를 HSV 컬러 공간으로 변환한 뒤, 포도 껍질의 색상 범위를 고려하여 Hue, Saturation, Value 범위를 지정하였다. 실험을 통해 포도송이 영역을 안정적으로 포착할 수 있는 상한/하한값을 탐색하였으며 다음과 같은 범위 설정을 적용하였다.

표 2. 포도송이 탐지 HSV 범위

지표	범위 값
Hue	30-85
Saturation	40-255
Value	40-255

해당 범위에 대해 inRange 연산을 수행하여 1차 이진(0,1) 마스크를 생성하고 잡음 제거 및 영역 메우기를 위해 median blur(9x9)와 morphological closing(7x7)을 적용하였다.

2.2.2 SAM 기반 포도송이 세그멘테이션 Mask 생성

이에 더해 SAM (Segment Anything Model)을 활용하여 포도송이 세그멘테이션 Mask를 생성하였다. 두 Mask 후보에 대해 IoU를 계산하고 최대가 되는 Mask를 최종 포도송이 Mask로 선택하였다. 이는 이후 포도알 탐지의 관심 영역(ROI)로 활용하였다.



(a) 원본 이미지 (b) HSV Mask (c) SAM Mask
그림 3. 포도송이 영역 Mask 생성

2.2.3 Hough Circle 기반 포도알 후보 탐지

포도알은 거의 원형에 가까운 형상을 지니므로 포도송이 Mask 내부에서 원 탐지를 수행함으로써 개별 포도알 단위 객체를 추출하였다. 본 연구에서는 Hough Circle Transform을 기반으로 포도알 후보를 검출하였다. 검출 파라미터는 촬영 거리 및 해상도에 맞추어 다음과 같이 설정하였고, 검출된 후보 중 중심이 Mask 내부에 위치하지 않는 경우 오검출로 간주하여 제거하였다.

표 3. Hough Circle Parameters

파라미터	값
dp	1.2
minDist	60
param1	80
param2	24
minRadius	100
maxRadius	150

2.2.4 DBSCAN 기반 중첩 포도알 클러스터링 및 포도알 탐지

Hough Circle이 조도·반사·중첩 구조에 따라 동일 포도알을 여러 개의 원 후보로 검출하는 것을 보정하기 위해 DBSCAN 기반 클러스터링을 수행하여 서로 근접한 원 중심들을 하나의 포도알로 분리하였다. 이 과정을 통해 중복 검출을 제거하고 과도하게 작거나 비정상적으로 큰 원을 필터링하여 오탐을 억제하였다.

2.2.5 포도알 개수 추정 회귀 모형

포도알 탐지로 얻어지는 정면 포도알 개수에 더해 측·후면에 가려진 포도알을 추정하여 전체 과립 수에 대한 회귀모형을 수립하였다.

포도알 개수 추정을 위해 포도송이 단위로 10개의 형태 및 밀도와 관련된 추가 Feature를 정의하였다.

표 4. 포도 형태 및 밀도 Features

Feature	설명
berry_count_front	정면 포도알 개수
cluster_area	포도송이 영역 면적
cluster_width	포도송이 가로 길이
cluster_height	포도송이 세로 길이
cluster_wh_ratio	포도송이의 종횡비
solidity	촉촉함 정도
compactness	밀집 정도
avg_radius	포도알 반경의 평균
std_radius	포도알 반경의 표준편차
center_spread	포도알 중심점 분포의 확산도

Feature Engineering을 통해 다음 5개 중요 Feature를 선정하였으며 최종적으로 정의한 다중 선형회귀식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 PredictedBerries &= 152.063 \\
 &+ 1.682 \cdot BerryCountFront \\
 &+ 9.321 \cdot ClusterWhRatio \\
 &- 41.587 \cdot Solidity \\
 &+ 0.834 \cdot Compactness \\
 &+ 0.214 \cdot AvgRadius
 \end{aligned}$$

표본 포도송이에 대해 실측값과 예측값을 비교한 결과 평균 오차율은 약 7.76%로 포도알 개수 추정 정확도 92% 수준을 달성하였다. 이로써 포도송이 단일 정면 이미지만으로 포도송이 구조 정보를 활용하여 전체 과립수를 통계적으로 추정할 수 있음을 확인하였다.

2.3 포도 당도 예측 모델 개발

2.3.1 개체별 색상-당도 분석

포도알 단위 색상 특성을 정량화하여 당도와의 통계적 관계를 분석하기 위해 2.2절에서 얻은 각 포도알의 위치 및 반경 정보를 활용하여 포도알 개체별 색상 Feature 추출 및 Color Map을 생성하였다.

색상 Feature 추출 시에는 원형 내부 반경 0.9만 사용, 고휘도 반사 영역 제거, 저조도 그림자 제거 등 정제된 영역 내에서만 색상 분석을 진행하였다.

표 5. 포도 색상 Features

Feature	설명
mean_R&G&B	RGB 각각의 평균값
median_R&G&B	RGB 각각의 중앙값
median_H&S	Hues, Saturation의 중앙값
green_score	meanG-0.5(meanR+meanB)

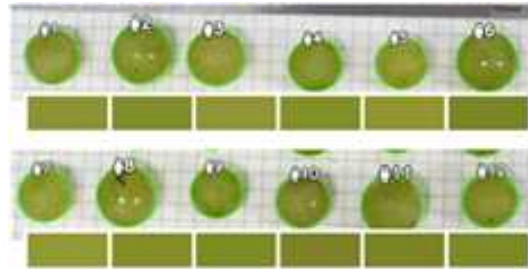


그림 5. 포도알 개체별 Color Map 생성

2.3.2 컬러차트 기반 당도 예측 모델

학습용 데이터는 포도알 개체에서 추출한 색상 Feature와 실측한 가로, 세로 길이 및 당도값을 매칭하여 구축하였다.

포도 당도 예측 모델은 XGBoost를 사용하여 설계하였으며 학습에 사용된 핵심 하이퍼파라미터는 다음과 같다.

표 6. XGBoost Hyper Parameters 설정값

하이퍼파라미터	값
n_estimators	300
max_depth	5
learning_rate	0.05
subsample	0.8
colsample_bytree	0.8

모델 평가 결과 예측 정확도는 MAPE 기준 7.59%로 컬러차트 기반 당도 예측 정확도 92%를 달성하였다.

Feature Importance 분석 결과 median_H, median_S, green_score 순으로 높은 기여도를 보였으며, 이는 포도알의 익음 정도와 그에 따른 색상 변화가 당도 형성과 직접적으로 연결됨을 뒷받침한다.

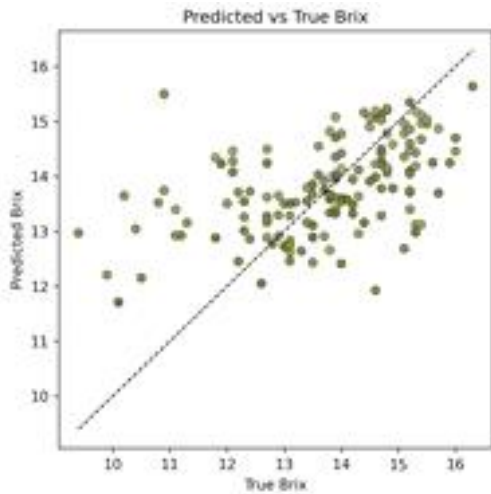


그림 7. 포도 당도 예측결과

한 연구, 한국농업기계학회 학술대회, Vol. 1.11, No.2, 2006, pages 382-386.

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 와인용 노지포도 ‘청수’를 대상으로 수확 시점에서의 포도 객체 추출과 당도를 예측하는 머신러닝 모델을 개발했다. 그 결과로 97% 이상의 포도 객체 추출 정확도와 92% 이상의 당도 예측 정확도를 실현하였다. 향후 연구로는 포도 당도 예측 정확도를 높이기 위하여 포도 과실 형성 이후의 생육 시기별 기상 환경과 광에너지 등 식물의 에너지원 공급 데이터와 결합하여 예정된 수확 시기에 예상되는 당도 예측을 통하여 와이너리 농가의 요구에 맞춰진 당도 시점 예측과 함께 우수한 와인 생산 예측으로 노지 포도 재배에 도움을 주는 노지스마트팜 서비스로 확장할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] 소민혁 외 2인, 근적외선을 이용한 실시간 과일의 당도 측정 시스템 구현, 한국정보기술학회 논문지, Vol. 17, No. 3, 2019.3, pages 117-125.
- [2] 강다영 외 4인, CNN을 활용한 수박 당도 예측, 한국정보처리학회 학술대회, 28권 2호, 2021, pages 618-621.
- [3] 손재룡 외2인, 포도의 당도분포특성에 관

연속 학습 기반의 적응형 작물 병해 진단 프레임워크

유태근*, 최동빈**, 박용범***

Adaptive Crop Disease Diagnosis Framework based on Continual Learning

Tae Geun Yu, Dong-Bin Choi** and Young-Bum Park****

요 약

딥러닝 기반의 작물 병해 진단 기술은 정밀 농업의 핵심요소로 자리 잡았다. 하지만 기존 모델은 새로운 병해 데이터나 환경 변화에 따른 추가 데이터를 학습할 때, 이전에 학습한 정보를 잊어버리는 치명적 망각 문제를 겪는다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 연속 학습 기반의 적응형 작물 병해 진단 프레임워크를 제안한다. 메모리 버퍼를 활용하여 과거 데이터의 대표 샘플을 보존하고, 이전 모델의 지식을 현재 모델로 전이함으로써 기존의 지식은 유지하면서 새로운 지식을 습득한다. 실험을 통해 제안 모델은 새로운 병해를 학습하면서도 기존 병해에 대한 정확도를 효과적으로 유지함을 확인하였다.

Key words

crop disease diagnosis, continuous learning, catastrophic forgetting, smart farm

I. 서 론

스마트팜의 확산과 함께 컴퓨터 비전을 활용한 작물 병해 자동 진단에 대한 수요가 급증하고 있다. 시기적절한 병해 탐지는 작물 생산량을 보존하고 농약 사용량을 최적화하는 데 필수적이다. 최근 합성곱 신경망 기반의 모델들은 특정 데이터셋에서 인간 전문가

수준의 진단 성능을 보여주었다.

그러나 실제 농업 환경은 동적이다. 계절에 따라 재배 작물이 바뀌고, 기후 변화로 인해 이전에 없던 신종 병해가 발생하기도 한다. 기존의 정적인 딥러닝 모델은 이러한 변화에 대응하기 위해 새로운 데이터가 수집될 때마다 전체 데이터셋을 처음부터 다시 학습해야 하는 한계가 있다. 이는 막대한 컴퓨팅 자원

* 단국대학교, 석사과정, dbxormsrh@dankook.ac.kr

** 단국대학교, 박사과정, dbchoi85@gmail.com

*** 단국대학교, 교수, ybpark@dankook.ac.kr

은 물론 많은 시간 또한 요구한다.

단순히 새로운 데이터만으로 모델을 미세 조정할 경우, 모델 파라미터가 급격히 변동하며 기존에 학습했던 병해를 전혀 식별하지 못하게 되는 치명적 망각[1] 현상이 발생한다. 그림 1은 이런 치명적 망각에 대해 나타낸 것이다.

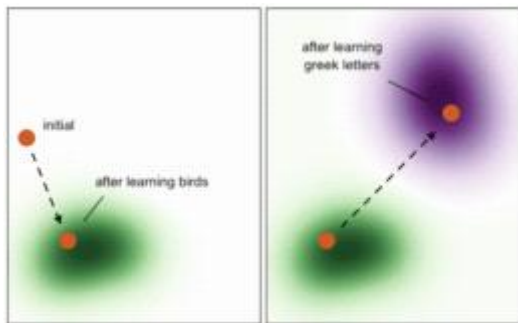


그림 1. 모델의 지식 분포를 통한 치명적 망각

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 연속 학습 기법을 도입한다.

II. 연속학습

연속 학습은 데이터가 순차적으로 입력되는 환경에서 이전 지식을 유지하며 새로운 지식을 학습하는 방법론으로 주요 접근법은 다음과 같다.

정규화 기반: EWC[2]와 같이 중요 파라미터의 변경을 억제

리허설 기반: iCaRL[3]과 같이 과거 데이터의 일부를 메모리에 저장해두고 재학습 시 활용

구조 기반: 새로운 태스크를 위해 네트워크의 용량을 동적으로 확장한다.

본 연구에서는 메모리 효율성과 성능의 균형을 위해 리허설 기반 접근법을 채택하였다.

III. 실험 및 결과

특정 A 병해 데이터에 대해 학습한 모델 ModelA를 B 병해 데이터를 학습시킨다. 이때 A 병해 데이터의 일부인 약 10% 정도의 데이터를 B 병해 데이터에 포함하여 Model-A를 학습한다. 학습을 위해서는 Resnet-18[4] 모델을 사용하였으며, 그림 2는 A 병해 데이터에 대한 학습 곡선을 나타낸 것이다.

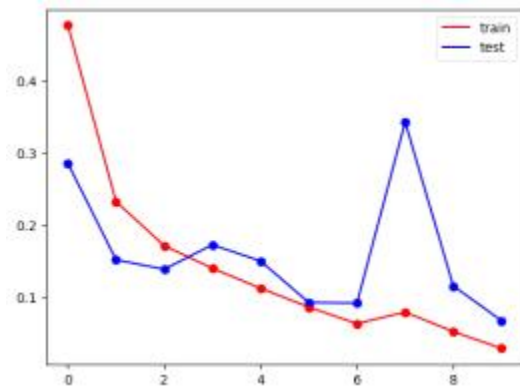


그림 2. A 병해 데이터에 대한 ModelA의 학습 곡선

ModelA의 최종 검증 데이터 셋에 대한 정확도는 97%이다.

다음 표 1은 ModelA의 B 병해 데이터를 학습하며 A 병해 데이터에 대한 정확도와 B 병해 데이터에 대한 정확도를 나타낸 것이다.

표 1. ModelA의 A 병해 데이터와 B 병해 데이터에서의 정확도

Epoch	DataA Acc	DataB Acc
1	0.88	0.94
2	0.90	0.95
3	0.91	0.95
4	0.93	0.98
5	0.96	0.98
6	0.94	0.98
7	0.93	0.97
8	0.96	0.99
9	0.95	0.96
10	0.92	0.92

IV. 결 론

본 논문에서는 농업 환경의 변화에 적응할 수 있는 작물 병해 진단을 위한 연속 학습 프레임워크를 제안했다. 실험을 통해, 제안된 방법이 새로운 병해를 학습하면서도 이전에 학습된 병해에 대한 진단 능력을 잃지 않음을 입증했다. 향후 연구에서는 제한된 메모리를 가진 모바일 및 IoT 디바이스에서 실시간 추론을 위한 모델 경량화와, 레이블이 없는 데이터까지 활용할 수 있는 비지도 연속 학습으로의 확장이 필요하다.

dings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 770-778.

감사의 글

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학ICT연구센터(ITRC)의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2023-00259099)

참 고 문 헌

- [1] McCloskey, Michael, and Neal J. Cohen. "Catastrophic Interference in Connectionist Networks: The Sequential Learning Problem." *The Psychology of Learning and Motivation*, vol. 24, 1989, pp. 109-165.
- [2] Kirkpatrick, James, et al. "Overcoming Catastrophic Forgetting in Neural Networks." *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 114, no. 13, 2017, pp. 3521-3526.
- [3] Rebuffi, Sylvestre-Alvise, et al. "iCaRL: Incremental Classifier and Representation Learning." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 2001-2010.
- [4] He, Kaiming, et al. "Deep Residual Learning for Image Recognition." *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2016, pp. 770-778.

지식 증류를 활용한 다작물 병해 진단 아키텍처

유태근*, 최동빈**, 박용범***

Architecture for Multi-Crop Disease Diagnosis Using Knowledge Distillation

Tae Geun Yu*, Dong-Bin Choi** and Young-Bum Park***

요약

오늘날 많은 작물들이 밀폐된 온실을 통해 재배되며, 이러한 밀폐된 환경은 병해가 발병할 경우 아주 빠르게 확산된다. 그러므로 병해를 예방하는 것과 함께 차마 예방하지 못한 병해를 빠르게 진단하는 것이 매우 중요하다. 본 논문은 다작물을 키우는 농가에서 많은 작물의 병해에 대한 지식을 갖는 하나의 거대한 모델로부터 지식 증류를 통해 특정 작물의 병해에 대한 지식을 추출하고 적용하는 아키텍처를 제안한다.

Key words

smart farm, knowledge distillation, multi-crop disease diagnosis

I. 서론

스마트 팜이란 정보통신기술을 중심으로 사이버-물리 시스템을 활용하여 농장 관리 주기를 디지털화/지능화한 농업 방식[1]을 의미한다. 스마트 팜은 온실을 통해 외부와 격리된 환경을 조성한다. 하지만, 이러한 밀폐된 환경에서는 병해 발생 시 급속도로 확산될 위험이 크며, 조기 진단이 매우 중요해진다. 기존의 육안 진단은 노동 집약적이며,

주관적 판단에 의존하는 한계가 존재한다.

본 논문은 온실을 통해 다작물을 재배하는 스마트 팜 내 병해 진단을 위한 아키텍처를 제안한다. 해당 아키텍처에서는 각 온실의 환경을 조절하기 위한 엣지 디바이스가 존재하며, 이는 클라우드 서버와 연동되어 데이터를 주고받는다.

메인이 되는 클라우드 서버는 현재 재배 중인 작물들의 병해 진단을 위한 정보를 학습

* 단국대학교, 석사과정, dbxormsrh@dankook.ac.kr

** 단국대학교, 박사과정, dbchoi85@gmail.com

*** 단국대학교, 교수, ybpark@dankook.ac.kr

한다. 이후 지식 증류를 통해 각 온실에서 재배 중인 작물의 병해에 대한 지식을 추출하여 해당 온실의 엣지 디바이스에 전달한다. 온실의 엣지 디바이스는 전달받은 지식을 통해 작물의 병해를 진단한다.

Ⅱ. 다작물 병해 진단 아키텍처

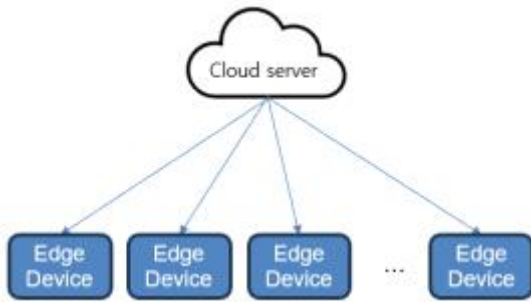


그림 1. 다작물 병해 진단 아키텍처

그림 1은 본 논문에서 제안하는 다작물 병해 진단 아키텍처를 모식화한 것이다. 각 온실에 엣지 디바이스가 위치하며 현재 재배 중인 작물들의 병해에 대한 정보를 학습한 클라우드 서버의 학습 모델이 각 온실의 작물에 대한 지식을 증류하여 엣지 디바이스에 전달함으로써 엣지 디바이스를 통해서 작물의 병해 진단이 가능하게 된다.

지식 증류란 지식과 증류를 정의하는 것으로부터 시작된다. ‘Distilling the Knowledge in a Neural Network (G. Hinton et al.)’[2]에서는 지식을 모델의 가중치가 아닌 입력 벡터를 출력 벡터로 매핑하는 모델의 함수적 능력 자체로 정의며, 증류는 크고 무거운 모델이 갖는 지식을 작고 가벼운 모델이 모방하도록 학습시키는 과정이라 정의한다.

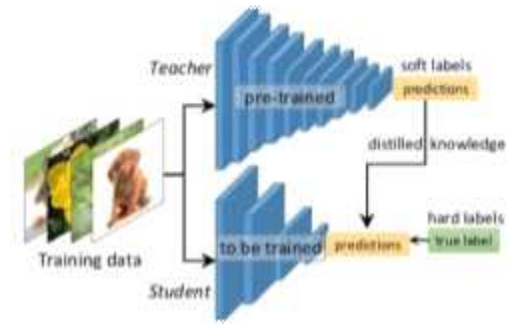


그림 2. Teacher 모델과 Student 모델을 통한 지식 증류

해당 논문에서는 모델의 최종 출력층에서 나오는 확률분포를 ‘Soft Targets’라 칭하며 그림 1의 비교적 작은 모델인 Student 모델이 입력 데이터에 대한 정답을 학습하는 것이 아닌 크고 복잡한 Teacher 모델의 Soft Targets를 학습하는 것으로 Teacher 모델의 성능과 일반화 능력을 효율적으로 물려받게 된다 언급하였다. 이러한 지식 증류 기법을 반응 기반 지식 증류(Response-based Knowledge Distillation)이라 한다.

본 논문은 해당 논문의 지식 증류 기법을 사용하여 클라우드 서버의 크고 거대한 모델을 통해 엣지 디바이스 내에서 동작이 가능한 작은 모델을 학습하여 병해에 대한 진단을 내리는 아키텍처를 구현하였다.

Ⅲ. 실 험

본 장에서는 지식 증류를 통해 특정 작물에 대한 병해 진단 능력을 Student 모델이 Teacher 모델로부터 잘 물려받게 되는지 확인한다. 학습에 사용된 데이터는 다음 표 1과 같은 작물의 병해에 대한 데이터를 갖는다.

표 1. 데이터셋 내 작물명과 병해명

작물명	병해명
Tomato	Tomato YellowLeaf Curl Virus
Tomato	Early blight
Tomato	Target Spot
Tomato	Late blight
Tomato	Septoria leaf spot
Tomato	healthy
Tomato	Tomato mosaic virus
Tomato	Bacterial spot
Tomato	Spider mites Two spotted spider mite
Tomato	Leaf Mold
Pepper	bell healthy
Pepper	bell Bacterial spot
Potato	healthy
Potato	Late blight
Potato	Early blight

각 작물별 건강한 상태와 병해에 영향을 미친 경우를 비교할 필요가 있어 healthy 상태에 대한 정보 또한 포함되어있다.

여러 종의 병해에 대한 정보를 학습하기 위해 클라우드 서버는 엡지 디바이스의 모델에 비해 더 큰 모델인 Resnet-152[3] 모델을 사용하였으며, 엡지 디바이스의 모델은 Mobilenet-v2[4]을 사용하였다.

클라우드 서버는 표 1의 모든 작물에 대한 병해를 학습하였으며, 엡지 디바이스의 모델은 반응 기반 지식 증류를 통해 클라우드 서버 모델의 지식을 물려받는다.

그림 3은 엡지 디바이스의 지식 증류 학습 곡선을 나타낸 것이다.

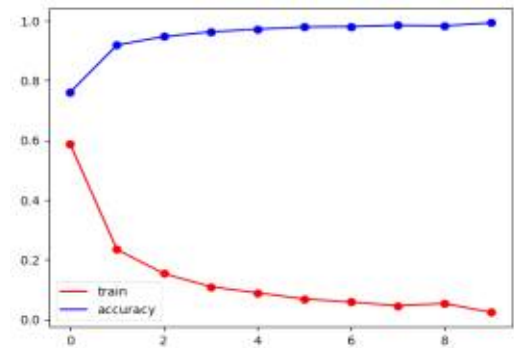


그림 3. 지식 증류를 통한 엡지 디바이스 모델의 학습 곡선

그림 3의 엡지 디바이스 모델은 검증 데이터에 대해 94%의 정확도를 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 밀폐된 스마트 팜 환경에서 병해의 급속한 확산을 막고 조기 진단을 수행하기 위해, 클라우드 서버와 엡지 디바이스 간의 지식 증류를 활용한 병해 진단 아키텍처를 제안하였다.

제안된 아키텍처는 방대한 데이터를 학습한 클라우드 서버의 Teacher 모델이 가진 지식을, 연산 자원이 제한된 엡지 디바이스의 Student 모델로 효과적으로 전이시키는 것을 핵심으로 한다. 이를 통해 엡지 디바이스는 가벼운 모델 구조를 유지하면서도 Teacher 모델의 일반화된 성능을 모방하여 독립적인 진단 수행이 가능해졌다.

실험 결과, 토마토, 고추, 감자 등의 작물 병해 데이터에 대해 지식 증류를 적용한 엡지 디바이스 모델은 94%의 검증 정확도를 달성하였다. 이는 고성능 서버에 의존하지 않고도 각 온실 현장에서 신속하고 정확한 병해 진단이 가능함을 시사한다. 결과적으로 본 연구에서 제안한 시스템은 노동 집약적인 육안 진단의 한계를 극복하고, 스마트 팜 농가의 생산성 향상 및 병해 예방에 기여할 수 있는 실효성 있는 접근법임을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원-대학ICT연구센터(ITRC)의 지원을 받아 수행된 연구임 (IITP-2025-RS-2023-00259099)

참고 문헌

- [1] Sjaak Wolfert, Lan Ge, Cor Verdouw, Marc-Jeroen Bogaardt, Big Data in Smart Farming - A review, Agricultural Systems, Volume 153, 2017, Pages 69-80.
- [2] M. Muller, Computer Go, Artificial Intelligence, Vol. 134, Issues 1-2, 2002, pages 145-179.
- [3] He, Kaiming, et al. "Deep Residual Learning for Image Recognition." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2016, pp. 770-778.
- [4] Sandler, Mark, et al. "MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), 2018, pp. 4510-4520.

HOG를 이용한 로봇 추적에 대한 연구

김동원*

Robot Tracking Using Histogram of Oriented Gradient Feature

*Dong W. Kim**

요약

이미지의 HOG(방향성+그라디언트+히스토그램) 특징을 사용하여 인간과 로봇의 후보를 탐지한다. 실시간으로 후보군을 인간과 로봇으로 분류하기 위해, 계단식 구조를 적용한다. 본 방법은 이미지 좌표계 상의 2차원 좌표로부터 인간과 로봇의 3차원 위치를 추정하고, 확률적 접근법을 사용하여 위치를 추적한다.

Key words

Robot Tracking System, Histogram of Oriented Gradient feature(HOG)

I. 서론

지능형 공간은 인간과 로봇을 위한 다양한 서비스를 제공하기 위해 잘 구성된 환경으로 정의되며, 분산형 네트워크 센서가 설치된 공간 또는 영역으로, 이를 통해 공간이 인간과 사물의 상태를 인지할 수 있다[1]. 이러한 공간상에서 인간과 로봇 간의 거리를 유지하고 충돌을 방지하기 위해 인간과 로봇의 추적은 근본적이고 중요한 과제이다. 본 논문에서는 다중 카메라 네트워크를 활용한 지능형 공간 내 인간과 로봇 추적 방법을 제안한다.

지능형 공간에서 인간과 로봇을 추적하는 목적은 세계 좌표계에서 그들의 위치를 추정하는 것이다. 이러한 환경에서는 인간과 로봇의 3차원(3D) 위치 추정 작업이 상대적으로 용이해진다. 그러나 비전 센서를 활용한 인간과 로봇 추적은 여전히 어렵고 도전적인 과제이다. 제안된 방법은 각 카메라로 촬영된 영상에서 인간과 로봇을 검출한다. 영상 좌표상의 인간과 로봇 위치로부터 지능형 공간은 확률적 접근법을 활용하여 그들의 3D 위치를 추정하고 위치를 추적한다.

* 인하공업전문대학, 정교수 (dwnkim@inhatc.ac.kr)

II. 로봇 추적 프로세스

그림 1은 제안된 방법의 과정을 보여준다. 이미지에서 인간과 로봇을 찾기 위해서는 다양한 조명 조건 하의 복잡한 배경에서도 인간과 로봇의 형태를 명확히 구별할 수 있는 견고한 특징 집합이 필요하다[2]. 따라서 HOG 특징을 채택한다.

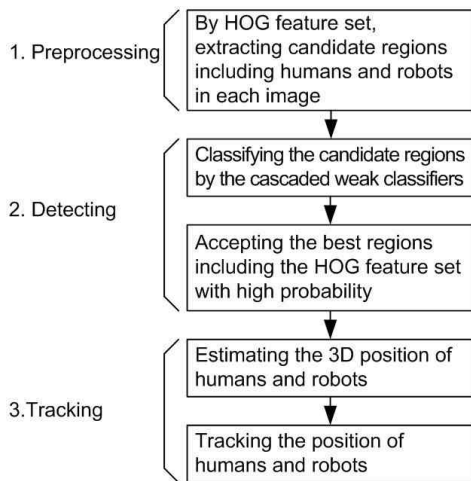


그림 1. Tracking procedures of robot.

III. 결론

로봇 추적을 위해 유비쿼터스 디스플레이 (UD) [3]라 불리는 조향 가능 프로젝터 장착 이동 로봇을 사용했다. UD의 이동 속도는 10cm/sec이다. 그림 2는 로봇의 추정 위치 궤적을 보여준다.

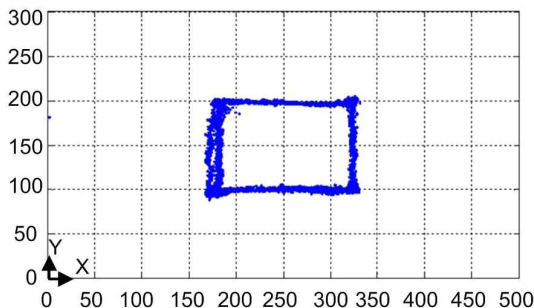


그림 2. Tracking trajectory of robot.

III. 결 론

본 논문에서는 다중 카메라 네트워크를 활용한 지능형 공간 내 비전 기반 로봇 추적 방법을 제안하였다. 제안된 로봇 추적 방법은 각 이미지에서 대상체를 추출하기 위해 HOG를 사용하며 정확도를 개선하였다.

참 고 문 헌

- [1] J. H. Lee and H. Hashimoto, "Intelligent Space – concept and contents," *Adv. Robotics.*, vol. 16, pp. 265-280, 2002
- [2] S. W. Ha and Y. H. Moon, "Multiple object tracking using sift features and location matching," *Int. J. Smart Home*, vol. 5, no. 4, 17-26, 2011
- [3] J. E. Lee, J. H. Kim, S. J. Kim, Y. G. Kim, J. H. Lee and G. T. Park, Human and Robot Localization using Histogram of Oriented Gradient(HOG) Feature for an Active Information Display in Intelligent Space, *Proceedings of the First International Conference on Engineering and Technology Innovation*, 2011, November 11-15, Kenting, Taiwan

모바일 로봇의 목표자세 결정에 대한 연구

김동원*

Goal posture determination of mobile robot

*Dong W. Kim**

요 약

로봇이 인간 사회에 점점 더 통합됨에 따라 인간과 로봇 간의 상호작용 방식은 주요 연구 주제 중 하나가 되고 있다. 지능형 공간 내 인간에게 시각 정보를 전달하기 위해 모바일 로봇에 고정된 크기의 특정 형상 이미지를 투영할 때 자유도(DOF)의 중복성으로 인해 동일한 모양과 크기의 이미지를 표면에 투사할 수 있는 다양한 상황이 존재한다. 본 논문에서는 이런 상황에서 로봇의 목표 자세를 결정하는 방법을 제시한다.

Key words

Goal posture determination, mobile robot

I. 서 론

로봇이 인간 사회에 점점 더 통합됨에 따라 인간과 로봇 간의 상호작용 방식은 주요 연구 주제 중 하나가 되고 있다[1]. 인간-로봇 상호작용에서 시각 모달리티는 가장 흔히 사용되는 방식이다. 특히 텍스트와 그래픽을 출력으로 표시하는 것은 직관적인 이해를 돕는다. 따라서 시각 정보를 활용한 많은 연구가 진행되고 있다. 이 경우 모니터나 모바일 기기와 같은 물리적 출력 장치를 사용할 수 있다. 모니터나 컴퓨터 화면은 특정 장소에 위치하여 사람들에게 정보를 제공한다. 따라서 사용

자가 정보를 얻기 위해서는 정보 매체가 위치한 장소를 찾아야 한다. 모바일 기기를 휴대하면 이 문제를 해결할 수 있지만, 작은 화면으로는 한 번에 충분한 정보를 표시하기 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 모바일 로봇 기반의 프로젝션 능동 정보 표시 시스템[2]을 도입하였다. 능동형 정보 표시 시스템에서는 화면의 위치 및 방향, 팬-틸트 각도, 호모그래피 매개변수 등 모바일 로봇의 최적 매개변수 선택이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 모바일 로봇의 목표 자세를 결정하는 방법을 제시한다.

* 인하공업전문대학, 정교수 (dwnkim@inhac.ac.kr)

II. 목표자세 결정 프로세스

모바일 로봇이 표면에 시각 정보를 투사하기 위해, 먼저 모바일 로봇의 목표 자세를 결정한다. 이를 위해 다음과 같은 여러 조건을 고려한다:

- 1) 시각 정보를 왜곡 없이 전달해야 한다. 로봇과 표면 사이의 각도가 좁으면 투사된 이미지의 해상도가 불균형해진다. 로봇과 표면 사이의 거리가 적절하지 않으면 투사된 이미지가 선명하지 않다.
- 2) 로봇은 가림 현상 없이 시각 정보를 전달해야 한다. 이동 로봇에 장착된 프로젝터의 빛이 사용자나 다른 장애물에 의해 차단되면 디스플레이 표면에 그림자가 생긴다.
- 3) 로봇은 사용자의 시야를 방해해서는 안 된다.
- 4) 로봇은 현재 위치에서 목표 위치까지 최단 경로를 따라 이동해야 한다.
- 5) 사용자 디스플레이는 동적 상황에 대응할 준비가 되어 있어야 한다.

III. 결론

사용자의 현재 위치, 화면의 중심 위치, 그리고 로봇의 현재 자세를 고려하여 목표 위치를 찾기 위해 시뮬레이션을 수행한다. 그림 2는 시뮬레이션 결과를 보여준다.

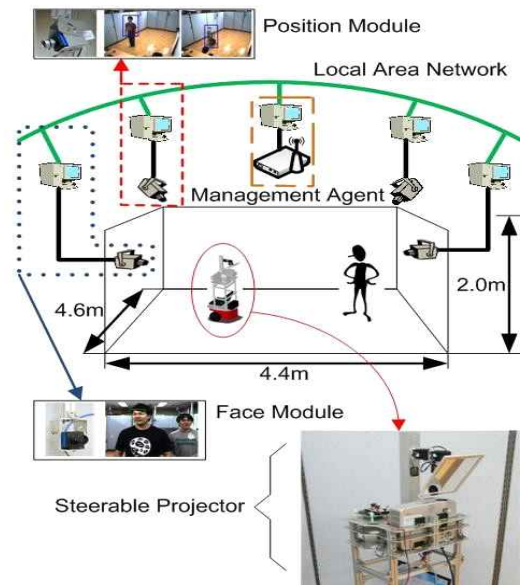


그림 1. Goal posture system of robot.

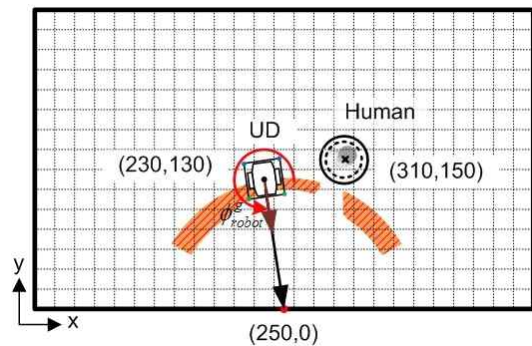


그림 2. Trajectory of robot.

참고 문헌

- [1] F. Yamaoka, T. Kanda, H. Ishiguro and O. Okuno, "A Model of Proximity Control for Information-Presenting Robots," IEEE Trans. Robot., vol. 26, pp. 187-195, 2003
- [2] J. H. Lee, "Human Centered Ubiquitous Display in Intelligent Space," Proceedings of the 33rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, November 5-8, 2007.

몬테카를로 위치 추정에 대한 연구

김동원*

Monte Carlo Localization Using the Filter-Based Random Motion Model

*Dong W. Kim**

요 약

본 논문은 무선 센서 네트워크에서 몬테카를로 위치 추정(Monte Carlo localization)을 위한 새로운 운동 모델을 제안한다. 기존의 일정 속도 운동 모델은 과정 잡음이 부적절하게 모델링될 경우 위치 추정 성능이 저하된다. 이 문제를 해결하기 위해 필터 기반 무작위 운동 모델을 대안으로 제안한다. 제안된 방법은 필터로부터 얻은 정보를 바탕으로 가우시안 확률변수로 모델링된 의사 제어 명령을 사용한다.

Key words

Monte Carlo Localization, Filter based random motion model

I. 서 론

무선 센서 네트워크(WSN) 기반 실내 실시간 위치 추적 시스템은 건설 현장, 병원, 물류 등 다양한 산업 분야에서 사용자들의 많은 관심을 받고 있다[1]. WSN 기반 위치 추적 시스템은 송신기와 수신기 간의 무선 신호 전송을 이용하며, 여기에는 도달 시간, 도달 시간 차이, 도달 각도 등 다양한 유형의 측정이 사용될 수 있다. 실내 환경에서는 무선 신호에 많은 노이즈가 포함되어 위치 추적

정확도가 저하될 수 있다. 따라서 일반적으로 확률적 필터(즉, 상태 추정기)를 사용하여 노이즈가 포함된 측정값으로부터 대상물의 위치를 추정한다[2]. 몬테카를로 위치 추정(MCL)은 입자 필터를 이용한 위치 추정법을 의미한다[3]. 비선형 칼만필터에 비해 입자 필터는 위치 추정 시 몇 가지 장점이 있다. 첫째, 초기 위치가 알려지지 않은 상황인 전역 위치 추정이 가능하다. 둘째, 비선형/비가우시안 시스템에서 비선형 칼만필터 우수한 성능을 보인다.

* 인하공업전문대학, 정교수 (dwnkim@inhatc.ac.kr)

II. 몬테카를로 위치 추정

그림 1과 같이 송신기 1대와 수신기 4대로 구성된 센서네트워크를 고려한다. 송신기는 사람, 장비, 물품 등 대상물에 부착된다. 무선 신호는 송신기에서 수신기로 전송되며, 신호 전송 시간이 측정된다. 네 개의 측정값을 바탕으로, 상태 추정기(필터)를 통해 송신기의 위치를 추정할 수 있다. 이는 송신기의 운동과 측정값을 설명하는 상태 공간 모델이 필요하다.

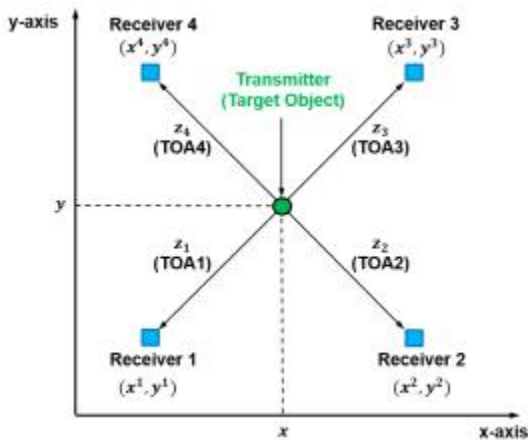


그림 1. 센서네트워크 구조.

III. 결론

시뮬레이션 시나리오는 다음과 같다. 송신기를 장착한 사람이 실내 환경에서 이동한다. 실내 공간은 정사각형 형태이며 크기는 10mx10m 이다. 사람은 위치 (2, 2)에서 출발하여 그림 1에 표시된 지그재그 궤적을 따라 이동한다. 네 개의 수신기는 모서리에 배치되며, 좌표는 (0, 0), (10, 0), (10, 10), (0, 10)이다. 네 개의 도달시간 측정은 획득되어 처리된다. 실제와 추정된 궤적은 그림 2와 같다.

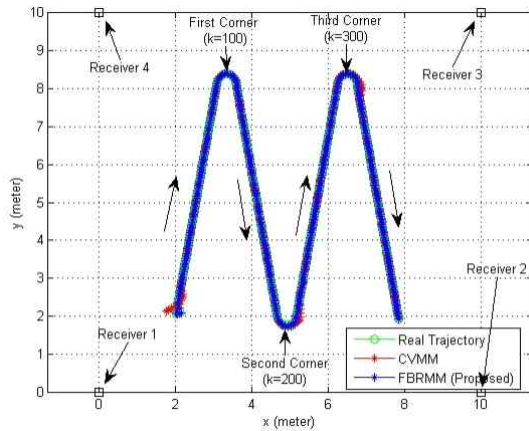


그림 2. Tracking trajectory of robot.

참고 문헌

- [1] H. Liu, H. Darabi, P. Banerjee, and J. Liu, "Survey of wireless indoor positioning techniques and systems," IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics. Part C., Applications and Reviews, Vol. 37, No. 6, pp. 1067-1080, Nov. 2007.
- [2] J. Pomarico-Franquiz and Y. S. Shmaliy, "Accurate self-localization in RFID tag information grids using FIR filtering," IEEE Trans. Industrial Informatics., Vol. 10, No. 2, pp. 1317-1326, May 2014.
- [3] S. Thrun, W. Burgard, and D. Fox, "Probabilistic Robotics," MIT Press, Cambridge, MA, USA, 2005.

생성형 AI를 활용한 국가 데이터 기초인프라 확장연구

황영순*

A Study on National Data Infrastructure Expansion Using Generative AI

Young-Soon Hwang*

요약

본 연구는 공공데이터포털의 기본 메타데이터를 넘어 생성형 AI를 활용한 확장형 메타데이터 관리 체계를 제안한다. 인프라 기초계층에서 6종의 확장 메타데이터(기본, 서비스활용, AI학습/추론, 시맨틱 관계, 품질/거버넌스, 운영/인프라)를 정의하고, LLM 기반 자동화 엔진을 통해 지속적 서비스 품질 관리와 확장형 서비스 지원 체계를 구축하고자 한다. 연구 주제를 다섯 가지로 세분화(RAG 검색, 메타데이터 품질, 인사이트 생성, 프라이버시 보존, 지식그래프)하여 연구한다. 또한, 주제들 간의 상호 연계를 통하여 4단계 성숙도 발전 모형을 구축하고, 국가 데이터 경쟁력을 갖추고 글로벌 데이터 서비스가 가능하도록 연구하고자 한다.

Key words

Generative AI, RAG, Knowledge Graph, Federated Learning, Metadata Quality, National Data Infrastructure

I. 서론

디지털 전환 시대에 데이터는 국가 경쟁력의 핵심 자원으로 부상하였다. 우리나라는 공공데이터포털, 공유데이터 플랫폼, 행정정보 공동이용 등 다양한 국가데이터 인프라를 구축해왔으나, 이들 간의 유기적 연계와 AI 기반 지능화 서비스는 아직 초기 단계에 머물

러 있다[1][2].

특히 기존 메타데이터 관리는 공공데이터 포털 표준에 따른 기본 정보(명칭, 설명, 제공 기관, 분류체계 등)에 한정되어, 서비스 활용 패턴, AI 모델 학습에 대한 추론 정보, 데이터 간 시맨틱 관계, 품질과 거버넌스 지표, 운영 인프라 정보 등 확장형 메타데이터 관리가 미흡한 실정이다[3].

* 목원대학교, 박사과정. 황영순 기술사(sooni0303@naver.com)

본 연구에서는 생성형 AI(Generative AI) 기술을 활용하여 국가데이터 인프라의 기초 계층을 확장하고, 이를 기반으로 RAG(Retrieval-Augmented Generation) 검색, 인사이트 자동 생성, 지식그래프 통합 질의, 프라이버시 보존 연합학습 등 5대 AI 융합 서비스를 단계적으로 구현하는 통합 플랫폼 연구 체계를 제안한다.

II. AI를 활용한 국가 데이터 인프라 확장 구현

2.1 확장형 메타데이터 관리 체계

인프라 기초계층에서 관리해야 할 확장형 메타데이터는 6가지 종류로 분류할 수 있다.

첫째, 기본 메타데이터는 공공데이터포털 표준에 따른 데이터셋 명칭, 설명, 제공기관, 갱신주기, 파일형식, 라이선스, 분류체계, 키워드를 포함한다.

둘째, 서비스 활용 메타데이터는 검색 쿼리 패턴을 관리하고, 사용자의 피드백과 평점, 다운로드와 API 호출 이력, 인기도와 트렌드 지표를 관리한다[4].

셋째, AI 학습을 수행시 추론 메타데이터는 임베딩 벡터 버전, 모델 성능 지표, 학습 데이터 계보, 추론에 대한 결과와 품질 로그를 포함하여 관리한다.

넷째, 시맨틱 관계 메타데이터는 엔티티 간 관계 정의, 온톨로지 매핑 정보, 도메인 간 연결 관계, 데이터 계보(Lineage)를 관리하는 점이 필요하다[5].

다섯째, 품질과 거버넌스 메타데이터는 데이터 정확성 지표, 최신성, 적시성 점수, 접근 권한 정보, 감사 이력과 규정 준수 등을 추적한다.

여섯째, 운영 및 인프라 메타데이터는 저장소 위치와 용량, API 엔드포인트 정보, 캐시 상태/TTL, 시스템 부하 지표를 관리한다.

2.2 LLM 기반 메타데이터 자동화 엔진

생성형 AI를 활용한 메타데이터 자동화 엔진은 다음과 같은 핵심 기능을 수행한다. KoGPT, Llama 3 등 한국어 특화 LLM을 Fine-tuning하여 데이터 설명문을 자동 생성하고, 누락된 메타 데이터 필드를 추론하고 완성한다. NER(Named Entity Recognition) 모델을 통해 엔티티와 관계를 자동 추출하고, 표준분류 온톨로지에 따른 분류체계 자동 태깅을 수행한다[6][7].

지속 서비스 측면에서는 실시간 품질 모니터링, 이상치에 대한 자동 탐지와 알림, 주기적 품질 진단 리포트 자동 생성등의 지원을 필요로 한다. 확장 서비스 측면에서는 신규 데이터 유형 자동 인식, 동적 스키마 확장, 멀티테넌트 분리 관리의 기능을 제공한다[8].

2.3 주요 연구 주제 및 서비스 변화

본 연구는 5가지 핵심 주제를 통해 국가 데이터 인프라 공통기반에 생성형AI 기술을 융합하여 추진하고자 한다.

주제 1은 RAG 기반 지능형 검색은 키워드 기반 단순 검색에서 시맨틱 대화형 검색으로 전환하고자 한다.

RAG는 검색 단계(retrieval)에서 의미적으로 관련성이 높은 문서를 찾아내고, 이어지는 생성 단계(generation)에서 LLM이 문서 내용을 바탕으로 자연어로 정제된 답변을 생성하는 구조를 가진다. 단순히 문서를 반환하는 것을 넘어, 사용자의 질문 의도를 반영한 설명형, 요약형, 추론형 등의 답변까지 제공할 수 있다. 벡터 데이터베이스는 문서나 용어를 고차원의 의미 벡터로 변환하여 저장하고, 사용자의 질의 역시 동일한 방식으로 임베딩하여 의미적 유사도를 기준으로 검색 결과를 반환한다. 고성능 벡터 저장소로 널리 활용되는 Milvus 및 Pinecone을 주요 후보 기술로 선정하여 대규모 임베딩을 효율적으

로 저장·검색할 수 있을 뿐 아니라, 확장성과 지연시간 측면에서 대화형 검색 시스템 구축에 적합하다.

LangChain/LlamaIndex, KoBERT/E5 임베딩 모델을 활용하여 자연어 의미 기반 검색과 개인화 추천을 구현한다[9][10]. KoBERT는 한국어 형태소와 문장 구조를 정교하게 반영하며, E5 임베딩 모델은 문장 수준 의미 유사도 학습에 최적화되어 있어 검색 정확도를 향상시키는 장점을 갖는다. 이를 통해 기존 키워드 기반 검색에서 발생하던 “표현 방식이 다르면 검색이 되지 않는 문제”를 해결하고, 사용자의 의도를 더 정확히 반영할 수 있는 의미 기반 검색 환경을 조성할 수 있다. LangChain과 LlamaIndex와 같은 LLM 오케스트레이션 프레임워크를 활용하여 검색, 요약, 추론 등을 통합한 대화형 검색 서비스를 구현할 수 있다. LangChain은 검색기(Retriever), 프롬프트 템플릿, 대화형 체인 등의 구성 요소를 유연하게 조합할 수 있는 장점이 있으며, LlamaIndex는 다양한 문서 소스에서 인덱스를 생성하여 LLM과 결합하기에 용이하다. 두가지 프레임워크를 결합하면 벡터를 검색하여 문서를 선택하고, 이에 대한 LLM 답변 생성까지의 전체 흐름을 일관되게 구성할 수 있으며, 사용자 맞춤형 프롬프트와 컨텍스트 기반 응답을 설계할 수 있다. RAG 기반 시맨틱 검색 체계는 키워드 중심의 기계적 검색에서 벗어나, 의미 기반의 문맥 이해와 대화형 응답을 제공하며, 벡터 데이터베이스, 임베딩 모델, LLM 기반 오케스트레이션을 결합하여 고품질의 사용자 맞춤형 검색 서비스를 구현한다는 점에서 큰 의의가 있다.

주제 2는 메타데이터 품질 자동화로, 수동 입력과 관리에서 AI 자동 생성/보완 체계로 전환한다. 모든 AI 서비스의 기반이 되는 고품질 메타데이터 체계를 구축하며, 메타데이터 완전성과 표준 매핑률 등을 90% 이상 향상시키는 것을 목표로 한다.

기존의 공공데이터 메타데이터는 기관별로 구조와 작성 방식이 상이하고, 많은 항목이 수동 입력에 의존함으로써 누락·오류·비일관성이 빈번하게 발생해 왔다. 이러한 문제는 검색, 추천, 분석, 연합학습 등 모든 AI 기반 서비스의 성능을 근본적으로 제약하는 요인으로 작용한다. 이러한 한계를 해결하기 위해 메타데이터 품질을 자동으로 생성하고 이를 보완·검증하는 AI 기반 품질 관리 체계를 구축하는 것을 목표로 한다.

이를 위해, 문서, 데이터셋, API 스키마 등 다양한 유형의 원천 데이터를 LLM 기반 언어모델과 규칙 기반 품질 점검 도구에 연계하여, 메타데이터 항목의 자동 추출, 표준 용어 매핑, 결측 보완, 기술적 측면과 비즈니스 측면에서 설명 자동 생성 등을 수행하는 것이 필요하다. 특히 기관 간 이질적인 필드명을 통합 표준으로 연결하기 위한 AI 기반 표준 매핑 모델을 적용하여, 데이터 간 호환성과 재활용성을 높이는 데 중점을 둔다. 목표 달성을 통해, 공공데이터 전반의 구조적 품질을 향상시키고, 이후 RAG 기반 검색 체계를 활용하고, 지식그래프를 구축하여 프라이버시 보존 연합학습 등 고도화된 AI 서비스를 안정적으로 운용하기 위한 기반을 제공할 수 있다.

주제 3은 인사이트 자동 생성으로, 전문가 수동 분석에서 자연어 자동 분석으로 전환하고자 한다. 이를 위해 Text-to-SQL 엔진, Code Interpreter, Multimodal LLM(GPT-4V)을 활용하여 분석 시간을 단축하고자 한다[11].

공공데이터 분석은 오랫동안 전문 분석가가 직접 쿼리를 작성하고 시각화 도구를 활용해 결과를 해석하는 방식에 의존해 왔다. 이 과정은 높은 숙련도를 요구할 뿐 아니라, 데이터 구조를 이해하지 못하는 일반 사용자에게는 접근성이 낮아 실질적인 분석 활용도를 제한하는 요인이 되어 왔다. 본 연구는 이러한 기존의 수작업 중심 분석 방식을 자연어

입력만으로 자동 분석 결과를 생성하는 AI 기반 분석 자동화 체계로 전환하는 것을 목표로 한다.

주제 4는 프라이버시 보존한 연합 AI 로, 민감데이터의 활용이 불가한 상태에서 연합 학습 기반 안전 활용으로 전환하고자 한다.

공공 영역에서는 개인정보 보호 규제가 강화됨에 따라 민감데이터를 직접 반출하거나 통합 저장하는 방식의 분석이 사실상 불가능한 경우가 많다. 이로 인해 데이터 기반 AI 분석 및 학습의 활용도가 크게 제한되는 문제가 지속적으로 제기되어 왔다. 이를 해결하고자 프라이버시를 보존하면서도 기관 간 협력적 학습이 가능한 연합학습(Federated Learning)과 합성데이터 기술을 결합한 AI 활용 체계를 구축하고자 한다. 우선, 본 연구는 개별 기관이 데이터를 외부로 공유하지 않은 상태에서 공동 모델을 학습할 수 있도록 Flower 기반 연합학습 프레임워크를 적용한다. 연합학습은 원본 데이터를 이동시키지 않고 기관 내부에서 부분 모델을 학습한 뒤, 모델 파라미터만을 중앙에서 통합하는 방식으로 작동하므로, 민감정보 노출 위험을 구조적으로 감소시킨다. 여기에 Differential Privacy(DP)를 도입하여, 모델 업데이트 과정에서 개인정보가 통계적으로 재식별되지 않도록 보호한다. 또한, 본 연구는 데이터 접근이 제한적인 기관에서도 분석 및 학습이 가능하도록, GAN 기반 합성데이터 생성 기법인 CTGAN (Conditional Tabular GAN)을 활용하고자 한다. CTGAN은 범주형·연속형 변수가 혼합된 실제 표 데이터의 분포를 학습하여, 특정 조건에 따른 샘플을 생성할 수 있다. 이를 통해 원본 데이터를 직접 공유하지 않고도 다양한 연구나 PoC(개념증명), 테스트 환경을 확보할 수 있으며, 특히 데이터 부족이나 희귀 케이스 문제를 완화하는 데 효과적이다. 합성데이터 생성 과정에는 파이썬 기반 종합 합성데이터 프레임워크인 SDV (Synthetic Data Vault)를

사용하여, 다양한 표, 시계열, 관계형 구조 등을 지원하는 체계적인 합성데이터 관리와 평가 환경을 구성한다. 이러한 접근을 통해 민감데이터를 직접 활용하지 않고도 원본 대비 높은 품질의 대체 데이터를 마련하여, 민감데이터 활용률을 향상시키는 것을 본 연구의 주요 성과 목표로 설정하고자 한다.[12][13].

주제 5는 지식그래프 통합 질의로, 분산 개별 데이터에서 관계 연결 통합 검색으로 전환하는 모형이다.

공공데이터는 기관별, 도메인별로 분산되어 제공되는 경우가 많아, 동일 개체에 대한 중복 정보나 상호 참조가 어려운 구조적 한계를 지닌다. 이러한 분산형 데이터 구조는 개별 데이터셋 단위의 검색·조회에는 적합하지만, 여러 영역을 동시에 아우르는 크로스도메인 질의나 정책적 의사결정 분석을 수행하기에는 제약이 존재하였다. 본 연구는 이러한 구조적 한계를 해소하기 위해, 지식그래프(knowledge graph)를 기반으로 한 통합 질의 체계를 구축하여 분산 데이터 간의 관계를 연결하고 의미 기반의 고도화된 탐색 기능을 제공하고자 한다.

이를 위해, 본 연구에서는 Neo4j 및 Amazon Neptune과 같은 그래프 데이터베이스(DB)를 활용하여, 개체(entity) 간의 관계(relation)를 중심으로 데이터를 구조화에 적용한다. 이러한 그래프 기반 저장 구조는 단순한 필드 매칭을 넘어 '기관-정책-지표-지역' 등 다양한 관계적 연결을 명시적으로 표현할 수 있으며, 도메인 간 연계를 필요로 하는 통합 검색·정책 분석에 적합하다. 또한, 분산된 데이터에서 동일 개체를 식별하고 통합하기 위한 핵심 기술로 Entity Resolution(ER)을 적용한다. ER은 서로 다른 데이터셋에 존재하는 개체가 실제로 동일한 실세계 객체인지 여부를 판별함으로써, 데이터 중복 및 불일치를 제거하고 그래프 구조의 정확성을 향상시키는 역할을 수행한

다. 본 연구는 그래프 상에서의 질의 정확도 향상을 위해 Graph Neural Network(GNN) 기반의 학습 기법도 도입한다. GNN은 그래프 구조 내의 패턴을 학습하여, 사용자 질의와 의미적으로 관련된 노드나 관계를 보다 정교하게 탐색할 수 있게 한다. 아울러, 그래프 기반 검색과 대규모 언어모델(LLM)을 결합한 GraphRAG (Graph-enhanced Retrieval-Augmented Generation) 방식을 도입하여, 그래프 질의 결과를 LLM이 해석·요약·확장함으로써 사용자에게 자연어 기반의 통합 정보를 제공하도록 설계하였다.

본 연구는 이러한 기술적 통합을 통해 크로스도메인 3개 영역에서 검색·질의 정확도 85%, 데이터 연계율 70%를 달성하는 것을 주요 목표로 수행 예정이다. 이는 기존의 개별화, 조각화된 데이터 이용 방식에서 벗어나, 데이터 간 관계를 기반으로 한 통합 지식 탐색 환경을 구현함으로써 공공데이터 활용의 깊이와 확장성을 크게 향상시키는 성과로 이어질 것으로 기대된다.[14][15].

2.4 4단계 성숙도 발전 모형

플랫폼 구축은 4단계 성숙도 모형에 따라 순차적으로 확대하고자 한다.

1단계(기반 구축, 1차 년도)는 주제 1인 메타데이터 품질 자동화를 먼저 수행하고 모든 AI 서비스의 기반을 구축한다.

2단계(지능화, 2차 년도)는 주제 1과 3인 RAG 검색과 인사이트 생성에 대한 서비스를 구성하여 사용자 만족도를 우선 달성할 필요가 있다.

3단계(통합화, 3차 년도)는 주제 5인 지식 그래프 통합 질의는 전체적인 기반이 완성된 후, 범정부 통합 검색을 실현할 수 있다.

4단계(고도화, 4차 년도)는 주제 4인 프라이버시 보존 연합 AI를 위한 연합학습 인프라는 기술과 데이터 품질 등 서비스 가능한 범위를 검토한 뒤에 모델관리가 필요하다.

전체 모델의 완성시에는 국가 데이터 경쟁력 글로벌 Top 모델을 구축하여 글로벌 데이터 서비스 수행을 목표로 사업의 타당성과 기대 효과 분석 후에 발전 모형 완성이 확장하는 것이 적합하다.

2.5 통합 플랫폼 아키텍처

플랫폼 통합 플랫폼은 4개 계층으로 구성된다. 최하단의 국가데이터 인프라 공통 기반 위에, 인프라 기초계층이 확장형 메타데이터 품질 자동화를 담당한다. 지식 및 데이터 계층은 Vector DB, 지식그래프, 메타 카탈로그, 원천데이터를 관리하며, AI 엔진 계층은 RAG, 분석생성, GraphRAG, 연합학습 엔진과 LLM 선택적 통합모델을 활용할 수 있도록 커스터마이징 유형을 관리하고, 서비스별 통합모델 모형을 설계하여 제시할 수 있도록 검토한다. 최상단의 서비스 계층은 대화형 검색, 자동분석 리포트, 통합 질의, 정책지원 시스템, 민감데이터 분석 서비스를 제공한다. 이를 통해 메타데이터 품질 관리 기반 강화, 의미 기반 검색·지식 추론 구조 확보, 고성능 AI 모델의 통합 운영, 정책 및 서비스 단에서의 실질적 가치 창출이라는 일련의 흐름을 하나의 체계 내에서 실현 가능하다. 이는 국가데이터 활용 생태계의 성숙도를 높이는 핵심 기반 구조로 기능할 것으로 기대된다.

Ⅲ. 결 론

본 연구는 생성형 AI를 활용한 국가데이터 기초인프라 확장 방안을 제시하였다. 공공데이터포털의 기본 메타데이터를 넘어 6종의 확장형 메타데이터 관리 체계를 정의하고, LLM 기반 자동화 엔진을 통해 지속적 품질 관리와 확장 서비스 지원 체계를 설계하였다.

주요 연구 주제인 RAG 검색, 메타데이터 품질, 인사이트 생성, 프라이버시 보존, 지식

그래프 등의 5가지 연구의 상호 연계 모형과 4단계 성숙도 발전 모형을 통해 3년 정도 효과적인 투자로 국가 데이터 경쟁력 글로벌 Top 모델의 수행방안을 제안한다. 향후 연구에서는 각 주제별 세부 구현 방안을 상세히 하여 심화할 예정이며, 중심 연구과제를 선정하여 파일럿 프로젝트 수행하여 보고 결과를 분석할 예정이다.

참고 문헌

- [1] 한국지능정보사회진흥원, 「2024 국가데이터백서」, 2024.
- [2] 행정안전부, 「공공데이터 관리지침」, 2023.
- [3] P. Lewis et al., "Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks," NeurIPS 2020.
- [4] LangChain Documentation, <https://docs.langchain.com/>, 2024.
- [5] W. X. Zhao et al., "A Survey of Large Language Models," arXiv:2303.18223, 2023.
- [6] OpenAI, "GPT-4 Technical Report," arXiv:2303.08774, 2023.
- [7] Anthropic, "Claude 3 Model Card," 2024.
- [8] J. Devlin et al., "BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers," NAACL 2019.
- [9] Pinecone Documentation, "Vector Database for Machine Learning," <https://www.pinecone.io/docs/>, 2024.
- [10] Milvus Documentation, "The Vector Database Built for Scale," <https://milvus.io/docs>, 2024.
- [11] M. Pourreza & D. Rafiei, "DIN-SQL: Decomposed In-Context Learning of Text-to-SQL," arXiv:2304.11015, 2023.
- [12] B. McMahan et al., "Communication-Efficient Learning of Deep Networks from Decentralized Data," AISTATS 2017.
- [13] C. Dwork & A. Roth, "The Algorithmic Foundations of Differential Privacy," Foundations and Trends in Theoretical Computer Science, 2014.
- [14] Neo4j Documentation, "Graph Database Management," <https://neo4j.com/docs/>, 2024.
- [15] D. Edge et al., "From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization," arXiv:2404.16130, 2024.

이동 로봇 강화학습의 Sim-to-Real 전이를 위한 pygame과 ROS 인터페이스

구본근*

A pygame and ROS interface for Sim-to-Real Transfer in Mobile Robot Reinforcement Learning

Bon-Gen Gu*

요 약

이동 로봇의 제어에 사용되는 강화학습은 효율적인 주행 정책 결정을 위해 많은 훈련이 필요하다. 실제 주행 환경에서의 훈련이 갖는 훈련 데이터 수집 비용, 안전성 문제 등 여러 문제로 인해 강화학습을 위한 대부분의 훈련은 시뮬레이션 환경에서 이루어진다. 본 논문은 시뮬레이션 환경에서 실제 환경으로의 전환을 효과적으로 지원하기 위한 Pygame과 ROS를 기반으로 한 강화학습 시뮬레이션 환경 구현을 위한 인터페이스를 제안한다. 제안된 환경이 정상적으로 동작함을 보이기 위해 탐험 정책을 수행한 모듈을 구현, 테스트 하였다.

Key words

Sim-to-Real, mobile robot, reinforcement learning, ROS, pygame

I. 서 론

강화 학습(reinforcement learning)은 반복적인 시행착오를 통해 에이전트의 다음 행동을 결정하는 정책을 학습하는 것으로 자율 주행, 다축 작업 로봇 등 복잡한 동작을 수행해야 하는 응용에 활용되고 있다[1]. 강화학습 에이전트의 정책은 로봇의 효율적인 제어를 위해 실제 환경에서 충분한 훈련이

필요하지만, 안전성, 훈련 시간 등 다양한 제약이 존재하여 연구·개발자들은 시뮬레이션 환경에서 강화학습 모델/알고리즘을 시험하고 있다[2].

ROS(robot operating system)은 로봇의 동작을 제어하기 위한 프레임워크로서 다양한 라이브러리, 도구 및 시뮬레이션 환경을 제공한다[3]. 강화학습을 위한 기존 시뮬레이션 환경이 ROS를 지원하지 않거나 ROS

* 국립한국교통대학교, 교수(bggoo@ut.ac.kr)

기반의 시뮬레이션 환경이 강화학습에 필요한 정보를 제공하지 않는 등 강화학습 기반 ROS 또는 ROS 기반 강화학습 응용에 대한 지원이 미흡하였다.

본 논문에서는 ROS를 이용하는 로봇 제어 분야에서 강화학습 모델의 충분한 훈련을 통해 sim-to-real transfer(시뮬레이션-실 환경 전이) 지원을 위한 시뮬레이션 환경을 제안하고, 구현한다. 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경은 pygame과 ROS를 기반으로 하고 있다.

II. 시뮬레이션 환경

그림 1은 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경의 구성요소를 나타낸 것이다. ‘로봇/목적지 관리자’는 시뮬레이션 환경에서 사용되는 모바일 로봇 객체와 목적지 객체를 관리하며, 시뮬레이션하는 에이전트의 수만큼 로봇 객체 또는 목적지 객체를 관리한다. ‘pygame 스크린 관리자’는 재생률(refresh rate)에 따라 목적지 객체와 더불어 모바일 로봇의 방향과 속도에 따라 그 위치를 계산하고, 표시한다.

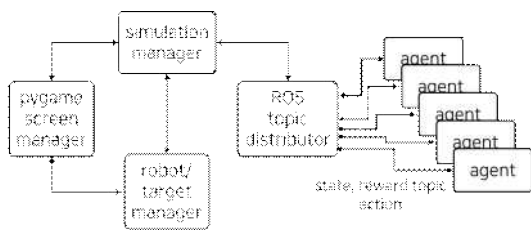


그림 1. 시뮬레이션 환경의 구성
Fig.1 Configuration of Simulation Environment

시뮬레이션 관리자’는 ‘로봇/목적지 관리자’를 통해 에이전트의 수만큼 객체를 생성하고, ‘pygame 스크린 관리자’로부터 이미지 정보를 획득하여 상태 정보 및 보상 정보를 생성한다. 이 관리자가 에이전트에게 전달하는 상태 정보와 보상 정보는 각각 다르다.

따라서, 본 논문에서 제안하는 시뮬레이션 환경은 각기 독립적으로 훈련하는 다수의 에이전트를 지원한다.

‘ROS 토픽 분배기’는 수신한 토픽에 있는 정보를 기반으로 시뮬레이션이 진행 중인 모바일 로봇 객체의 속도와 방향을 결정하여 시뮬레이션 관리자에게 전달하면, 이 관리자는 각 로봇 객체의 속도와 방향 정보를 갱신한다.

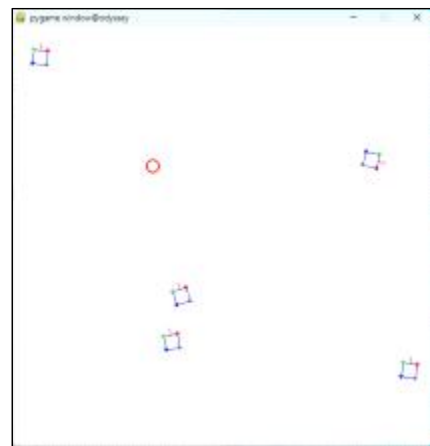


그림 2. 다섯 개 에이전트의 강화 학습 화면
Fig.2 Simulation Screen for Five Agents

그림 2는 본 연구에서 구현한 시뮬레이션 환경에서 다섯 개의 로봇 객체 즉, 에이전트가 시뮬레이션하고 있는 한 장면을 나타낸 것이다. 각 에이전트의 로봇 객체는 사각형으로 표현하였고, 각기 방향과 속도가 달라 많은 에이전트가 동시에 정책을 훈련할 수 있다.

본 논문의 시뮬레이션 환경에서 각 에이전트에게 제공하는 상태는 각 에이전트의 목적지와 로봇 객체만 표시된 흑백 이미지이다. 또, 각 에이전트에게 전달되는 보상은 각 에이전트의 목적지와 로봇 객체 간의 거리와 로봇의 전진 방향을 고려하여 결정하였다.

이렇게 결정된 상태와 보상 정보는 ‘ROS 토픽 분배기’를 통해 각 에이전트에게 전송된다. 에이전트는 상태와 보상 정보를 수신하여

그것을 기반으로 다음 행동(방향, 속도)을 결정할 수 있다.

Ⅲ. 결 론

자율 주행, 운전 보조 시스템 등에 적용된 로봇 제어에 적용된 강화학습이 효과적으로 동작하기 위해 실 환경에서 충분한 훈련이 필요하다. 하지만 안전성 확보, 충분한 훈련 시간, 다양한 시나리오 등 모두 충족시킬 수 있는 실 환경에서의 강화학습 에이전트 훈련은 여러 제한이 있어 대부분 시뮬레이션 환경에서 이루어진다.

본 논문에서는 여러 강화학습 에이전트가 상호 독립적으로 동시에 훈련할 수 있는 시뮬레이션 환경을 로봇 제어 소프트웨어 개발을 위한 프레임워크인 ROS와 시각화를 위한 pygame을 이용하여 구현하였다. 본 논문에서 제안한 시뮬레이션 환경이 정상적으로 동작함을 보이기 위해 탐색 정책을 사용하는 강화학습 에이전트를 시험 적용하였다. 이 환경은 강화학습 에이전트의 알고리즘을 DDPG, PPO 등 다른 알고리즘으로 쉽게 교체, 적용할 수 있도록 지원한다. 향후 과제로는 시뮬레이션 환경에서 훈련한 강화학습 에이전트가 실 환경에서의 동작 정확도를 평가하는 것이다.

감사의 글

본 결과물은 2025년 국립한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

참 고 문 헌

[1] S. Oh, J. Park, H. Choi, and S. Ok, "Development of Simulation Environment for a ROS-based Mobile Robot Reinforcement Learning", Fall Conf.

of KIIT, 2022, pages 533-536.

- [2] S. Salimpour, J. Queraltá, D. Granados, J. Heikkonen, and T. Westerlund, "Sim-to-Real Transfer for Mobile Robots with Reinforcement Learning: from NVIDIA Isaac Sim to Gazebo and Real ROS 2 Robots", arXiv.org, Jan. 2025.
- [3] Y. Nuin, N. Lopez, E. Moral, L. Juan., A. Rueda, V. Vilches, and R. Kojcev, "ROS2Learn: a reinforcement learning framework for ROS2", arXiv:1903.06282, Mar. 2019.

IACS UR E27과 IEC 62443-3-3 비교 분석을 통한 스마트 선박 보안 요구사항 개선 방향 제안

최동준*, 서정택**

Proposed Directions for Enhancing Smart Ship Security Requirements: A Comparative Analysis of IACS UR E27 and IEC 62443-3-3

Dong Jun Choi, Jung Taek Seo***

요 약

선박의 IT, OT 융합은 운항 효율을 높일 수 있지만 네트워크 연결 증가로 공격 표면을 확장시킨다. 현행 IACS UR E27은 선박의 사이버 복원력을 위한 최소 기준을 제시하나, 고도화된 위협을 방어하기에는 한계가 있다. 따라서 본 논문은 UR E27과 산업제어시스템 국제표준인 IEC 62443-3-3을 비교 분석하였다. 분석 결과, UR E27은 SL 1(Security Level)을 89% 반영하고 있으나, SL 2 이상의 상위 등급 반영률은 20% 미만에 그쳤다. 특히 다중 인증 및 실시간 위협 탐지 요건의 부재가 주요한 보안 공백으로 확인되었다. 이에 본 논문은 스마트 선박의 보안성 강화를 위해, UR E27이 IEC 62443의 상위 레벨 요구사항을 단계적으로 수용하여 심층 방어 체계로 개선되어야 함을 제안한다.

Key words

Smart Ship, Cyber Resilience, IACS UR E27, IEC 62443

I. 서 론

선박의 선내 IT, OT 시스템의 융합은 선박 네트워크의 공격 벡터를 확장시켜 외부 사이버 공격에 노출시키는 결과를 초래할 수 있다. 이에 국제선급협회는 선박의 사이버 복원

력 확보를 위해 UR E27을 제정하여 선내 시스템이 갖추어야 할 보안 요건을 의무화하였다[1]. 그러나 UR E27은 모든 선박에 적용 가능한 최소 기준 확립에 초점을 맞추고 있어 APT(Advanced Persistent Threat)와 같은 고도화된 공격을 방어하기에는 한계

* 가천대학교, 박사과정 (zcczcc123@gachon.ac.kr)

** 가천대학교, 교수, 교신저자 (seojt@gachon.ac.kr)

가 존재한다. 특히 선박 제어 시스템은 중단 없는 운영이 필수적인 가용성 중심의 환경이므로 산업 제어시스템 보안의 사실상 표준인 IEC 62443을 참고하여 보안성을 확보해야 한다. 따라서 본 논문은 IEC 62443-3-3을 기준으로 삼아 IACS UR E27의 보안 요구사항을 비교 분석한다. 이를 통해 UR E27의 보안 공백을 확인하고 스마트 선박의 사이버 보안성을 강화하기 위한 개선 방향을 제안하고자 한다.

II. 배경지식 및 관련연구

2.1 IEC 62443-3-3 개요

IEC 62443 표준 시리즈는 산업제어시스템과 OT 환경의 보안을 위한 국제 표준으로 자산 소유자, 시스템 통합자, 제품 공급자 등 각 이해관계자가 준수해야 할 절차와 기술적 요구사항을 포괄적으로 제시한다. 그중 IEC 62443-3-3은 IACS의 보안 등급(SL)을 달성하기 위한 시스템 보안 요구사항(System Security Requirements, SR)과 보안 수준별 기술적 통제 항목을 구체적으로 규정하고 있다[2].



그림 1. IEC 62443-3-3 기본 요구사항

2.2 UR E7 개요

IACS UR E27은 선박에 탑재되는 컴퓨터 기반 시스템 및 장비가 갖추어야 할 최소한의 사이버 보안 요건을 규정한 국제선급협회의 통일 규칙이다. 대상은 UR E26의 적용 범위에 속하는 선내 운용 기술 및 정보 기술시스템

을 포괄하며, 산업제어시스템 보안 국제표준인 IEC 62443 시리즈를 기반으로 하여 사용자 식별, 접근 통제, 데이터 무결성 보호 등의 기술적 보안 기능 구현과 보안 개발 수명주기 수립을 의무화하고 있다.

2.3 관련연구

Kim Jin et al. 은 IACS UR E26과 NIST CSF(Cybersecurity Framework), CRS(Cyber Resilient System)간의 비교를 진행하였다. 분석 결과 UR E26이 CSF항목 중 8.5%의 항목이 반영되어 있음을 확인하였고, CRS는 53.8%가 반영되어 있음을 확인하였다. 그러나 해당 연구는 CSF, CRS와 비교 분석이 진행되었지만 IEC 62443 시리즈의 내용과는 비교 분석이 진행되지 않았다 [3].

III. IEC 62443 및 UR E 27요구사항 분석

3.1 IEC 62443-3-3 및 UR E27 요구사항 비교분석

IEC 62443-3-3이 범용 산업제어시스템을 대상으로 SL 1부터 SL 4까지의 보안 수준을 포괄하는 반면, UR E27은 선박의 필수적인 사이버 복원력 확보를 위한 최소한의 요건에 집중하고 있다는 점에서 차이가 있다. IEC 62443-3-3과 UR E27의 요구사항을 비교했을 때 IEC 62443-3-3은 총 100여 개의 요구사항으로 구성되어 있으나, UR E27은 이중 약 41개 항목만을 채택하여 약 41%의 반영률을 보인다[4].

표 1. IEC 62443-3-3과 UR E27 비교

SL	62443-3-3	UR E27	반영비율
SL1	37개	33개	89%
SL2	23개	4개	17%
SL3	30개	4개	13%
SL4	10개	0개	0%
Total	100개	41개	41%

특히 식별 및 인증 영역에서 다중 요소 인증과 같은 접근 통제 수단의 부재는 원격 접속이 발생하는 스마트 선박 환경에서 계정 탈취가 제어 권한 상실로 이어지는 단일 실패 지점을 형성한다. 또한 실시간 대응 영역에서 자동화된 위협 탐지 및 모니터링 요건의 부재는 공격자가 내부망에 침투한 후 수행하는 횡적 이동에 대해 식별할 가시성을 제공하지 못한다. 이는 UR E27이 기존 선박의 보안성 확보에는 유효할지라도 외부와 자주 통신하는 스마트 선박의 고도화된 사이버 위협을 방어하기에는 보안 요구사항이 부족하다.

3.2 UR E27의 보안 수준 한계와 위험성

UR E27에서 62443-3-3 SL 2 이상의 요구사항이 부재함에 따라 발생하는 보안 공백과 그로 인한 위험성은 다음과 같다.

첫째, 다중 인증의 부재다. IEC 62443-3-3은 SL 2 이상에서 중요 자산 접근 시 패스워드 외에 생체 인식이나 토큰 등을 활용한 다중 인증을 필수적으로 요구한다. 그러나 UR E27은 기본적인 식별 및 인증을 요구한다. 이에 따라 공격자가 선원의 계정 정보를 탈취할 경우, 추가적인 인증 절차 없이 추진 제어 시스템이나 화물 관리 시스템의 관리자 권한을 획득할 수 있다. 이는 원격에서 선박 엔진을 정지시키거나 항로를 임의로 변경하는 치명적인 사고로 이어질 수 있다.

둘째, 시스템 무결성 검증 미흡이다. IEC 62443-3-3은 SL 3 단계에서 펌웨어 및 애플

리케이션의 무결성을 주기적으로 검증하고 승인되지 않은 코드의 실행을 차단할 것을 요구한다. 반면, UR E27은 데이터 전송 무결성 보호에 초점을 맞추고 있어 시스템 레벨의 변조 탐지가 어렵다. 이에 따라 유지보수 과정에서 감염된 USB 등을 통해 랜섬웨어나 백도어가 포함된 펌웨어가 선박 장비에 업데이트 될 경우 이를 탐지하지 못하고 실행하게 되어 선박 전체 시스템이 마비될 수 있다.

3.3 UR E27의 보안 요구사항 개선 방향 제안

IEC 62443-3-3 대비 IACS UR E27의 가장 큰 한계는 정적 방어에 머물러 있다는 점이다. 스마트 선박의 연결성 증가는 공격 표면을 확장시키므로 UR E27은 현재의 단일 레벨을 준수하는 체계를 넘어, 심층 방어(Defense-in-Depth) 원칙이 적용된 프레임워크로 진화해야 한다. 이를 위해 IEC 62443-3-3의 요구사항을 스마트 선박의 특수성에 맞춰 세분화하고, 기능 구현 여부가 아닌 공격 시나리오에 대한 저항성을 기준으로 하는 성능 기반(Performance-based)으로 보안 요구사항을 개정하는 방향을 제안한다.

III. 결 론

본 논문에서는 선박 사이버 복원력의 최소 기준인 IACS UR E27과 산업제어시스템 보안의 글로벌 표준인 IEC 62443-3-3을 비교 분석하였다. 분석 결과, UR E27은 기초 보안 수준의 요구사항은 89% 반영하고 있으나, 지능형 공격 방어에 필수적인 SL 2 이상의 상위 등급 반영률은 20% 미만에 그치는 점이 확인되었다. 특히 다중 인증, 시스템 무결성 검증, 감사 로그의 보호와 같은 요구사항의 부재는 공격자가 권한을 탈취하거나 펌웨어를 변조하여 선박을 물리적 위협에 빠뜨릴

수 있는 보안 공백으로 작용할 수 있다. 스마트 선박과 자율운항선박의 도입으로 사이버 안전이 곧 해상 안전과 직결되는 만큼 현재의 최소 요건만으로는 고도화된 위협을 방어하기 어렵다. 따라서 향후 IACS UR E27의 개정 시에는 IEC 62443-3-3에서 제시하는 SL 2 및 SL 3 수준의 보안 요구사항을 성능기반의 관점에서 선별적으로 도입하여 운용되는 스마트 선박의 보안을 확보하기 위한 방향으로 개정이 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(RS-2025-02218141, 선박 사이버 침해 사고 분석 기술 및 탐지·대응 기술개발, 50%)과 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원(RS-2024-00400955, 스마트선박 국제 규정대응을 위한 핵심 보안 기술 개발, 50%)을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] IACS, Unified Requirement E27: Cyber resilience of on-board systems and equipment, IACS, 2023.
- [2] IEC, Industrial communication networks - Network and system security - Part 3-3: System security requirements and security levels, IEC 62443-3-3, 2013.
- [3] 김진, 이삼열, 선박의 사이버 복원력 통합 요구사항(IACS UR E26)과 기존 사이버보안 및 사이버 복원력 프레임워크의 비교, 정보보호학회논문지, 제34권, 제5호, 2024.10, pages 1149-1162.
- [4] 한국선급, New IACS UR E27 선내 시스템 및 장비의 사이버 복원력 -개요 및 세부 요구사항-, 2022.07.

Session 2

논문 발표

- 좌장 -
김백기 교수(강릉원주대)

스트레스 기반 생체 전류 리듬 균형화 메커니즘

박성호*, 정은진**, 문창주***, 김장환****, 전병국*****, 김영철*****

Stress-Based Biocurrent Rhythm Balancing Mechanism

Sungho Park, Eunjin Jeong**, Changju Mun***, Janghwan Kim****, Byungkook Jeon*****, and R. Young Chul Kim******

요약

우리는 선행 연구에서 구축한 GSR:HRV 기반 AI 스트레스 판별 시스템에 아큐빔 III를 활용한 장기별 생체전류 측정과 전통 한의학의 반지 요법 개념을 결합하여, 생체전류 조절을 통한 스트레스 완화 가능성을 탐색하였다. 웨어러블 기기로부터 HRV(RMSSD, SDNN)를 추출하고 아두이노 기반 GSR을 측정하여 스트레스 단계를 산출한 뒤, 손 상응점에서 장기별 생체전류를 측정하여 활성도가 높은 장부에 해당하는 손가락에 은반지를 착용하도록 설계하였다. 단일 피험자 적용 결과, 초기에는 신장-폐 상응 부위의 생체전류가 높고 스트레스 단계가 3(높음)으로 분류되었으나, 은반지 착용 후 동일 조건에서 재측정한 결과 해당 부위의 생체전류가 전반적으로 감소하고 스트레스 단계가 1(낮음)으로 분류되어 장기별 생체전류 조절과 스트레스 수준 변화 간의 연관 가능성을 확인하였다. 본 논문은 피험자 수와 관찰 기간이 제한된 예비적 사례 연구이지만, GSR:HRV와 장기별 생체전류, 반지 요법을 통합한 디지털 스트레스 관리 메커니즘이다.

Key words

GSR, HRV, Bioelectric Current, AI-based Stress Assessment, Acubeam III, Ring Therapy, Traditional Korean Medicine, Digital Healthcare

I. 서론

최근 경기 침체와 경쟁 심화로 인해 일상적 스트레스가 만성화되면서 전 연령층에서 정신 건강 저하와 관련 증상이 꾸준히 증가하

* 홍익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 학부생 (andytjdgh@gmail.com)
** 홍익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 학부생 (jej031020@gmail.com)
*** 홍익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 학부생 (ckdwnan@naver.com)
**** 홍익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 박사과정(lentoconstant@hongik.ac.kr)
***** 강릉원주대학교 컴퓨터공학과, 교수(jeonbk@gwnu.ac.kr)
***** 홍익대학교 세종캠퍼스 소프트웨어융합학과, 교수(bob@hongik.ac.kr)

고 있다. 이를 관리하기 위한 디지털 헬스케어 서비스가 다양하게 등장하고 있지만, 대부분은 HRV (Heart Rate Variability, 심박변이도)와 같은 단일 생리적 지표에 의존하여 스트레스 이외의 요인이나 문화적·정서적 특성을 충분히 반영하지 못한다.

한의학에서는 스트레스를 간·심장·비장·폐·신장 오장의 기능 불균형과 밀접한 관련이 있는 것으로 본다. 그럼에도 스트레스와 장기별 생체전류 분포를 동시에 계량적으로 분석한 연구는 제한적이다.

본 논문은 GSR과 HRV로 전신의 스트레스 반응을 측정하고, 아큐빔 III를 이용해 장기별 생체전류 값을 정량화하여 스트레스와의 연관성을 분석하고자 한다. 스트레스가 있는 상태에서 특정 장기 영역의 생체전류가 증가 또는 감소한다는 가설을 설정하며, 은반지를 통해 생체전류를 조절했을 때 스트레스 정도가 어떻게 변하는지 검증한다. 이를 통해 생체전류를 조절해 스트레스 정도를 완화할 수 있는 방안을 제시하고자 한다.

2장에서는 선행 연구를 중심으로 GSR·HRV를 활용한 스트레스 측정 방법과 생체전류 측정에 대해 정리한다. 3장에서는 AI 기반 스트레스 판별 시스템, 장기별 생체전류를 활용한 한의학적 진단 메커니즘, 반지 요법을 통합한 제안 메커니즘을 제시한다. 4장에서는 실제 피험자 데이터를 활용한 적용 사례를 통해 제안 방법의 가능성을 검토하며, 5장에서는 연구 결과를 요약하고 한계 및 향후 연구 방향을 논의한다.

II. 관련 연구

2.1 스트레스 측정

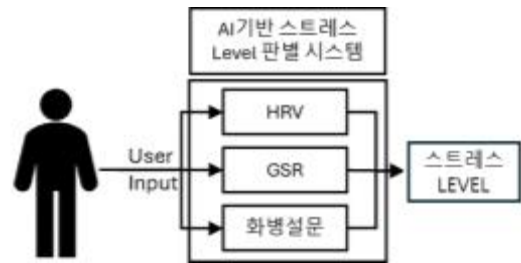


그림 1. AI 기반 스트레스 판별 시스템 메커니즘

그림 1은 선행 연구에서 제안한, GSR과 HRV를 결합해 스트레스 수준을 정량적으로 평가하는 메커니즘을 다이어그램으로 나타낸 것이다. 이 연구는 HRV 단일 지표만으로는 스트레스 이외의 요인과 문화적·주관적 특성을 반영하기 어렵다는 한계를 지적하며, 웨어러블 기기에서 얻은 HRV 지표(SDNN, RMSSD)와 GSR에서 추출한 특성 등을 함께 활용하여 자율신경계 상태와 순간적 각성 반응을 평가하고, 이를 통해 스트레스 정도를 정량적으로 산출한다.

2.2 생체전류 측정

전통 한의학은 체질, 생활 습관 등을 종합적으로 고려하여 진단한다는 강점을 가지지만, 오랜 임상 경험과 한의서 해석에 크게 의존해 현대 의학 체계에서 요구하는 표준화 측면에서는 한계를 가진다는 지적이 이루어져 왔다. 이에 일부 연구에서는 사상의학 및 팔체질의학 이론을 기반으로, 인체의 장부 상태를 ‘생체전류’라는 계량적 지표로 표현하여 한의학의 현대화를 시도하고 있다.



그림 2. 아큐빔-III

그림 2는 본 연구에 활용되는 생체전류 측정 기기이다. 선행 연구에서는 고려수지 침·서금요법 계열에서 사용하는 아큐빔Ⅲ 장비를 활용하여 손의 상응점에서 생체전류를 측정하고, 이를 통해 신장·비장·폐·심장·간·방광 6장부의 기능 상태를 추정하는 방법을 제시한다. 손바닥의 특정 부위를 각 장부의 상응점으로 설정하고, 각 지점의 전류 크기와 패턴을 분석함으로써 장부별 상대적 활성도를 평가한다.

Ⅲ. 제안 메커니즘



그림 3. 스트레스-생체전류 조절 프로세스



그림 4. 스트레스-생체전류 조절 메커니즘

그림 3과 그림 4는 본 연구에서 제안하는 스트레스-생체전류 조절 프로세스와 메커니즘을 나타낸 것이다. 먼저 피험자는 웨어러블 HRV와 GSR을 입력으로 하는 AI 기반 스트레스 단계 판별 시스템을 통해 현재 스트레스 수준을 평가받는다. 동시에 아큐빔 Ⅲ를 이용해 장기별 생체전류를 측정하여 수치가 높은 장기를 확인하고, 해당 장부에 상응하는 손가락에 은반지를 착용한다. 이후 은반지 착용을

통해 체표 생체전류를 조절한 뒤, 다시 스트레스와 생체전류를 재측정하여 스트레스 단계와 장기별 전류 분포 변화 양상을 비교·분석한다. 이하에서는 각 단계의 세부 동작 원리를 순서대로 설명한다.

3.1 AI 기반 스트레스 판별 시스템

AI 기반 스트레스 수준 판별 시스템은 단일 생리 지표에 의존하던 기존 접근의 한계를 보완하고, GSR과 HRV를 동시에 활용하여 스트레스 평가의 정밀도를 높이는 것을 목적으로 한다.

사용자의 HRV(심박변이도)와 GSR(피부 전기반응)이라는 상호 보완적 특성을 가진 두 가지 생리 데이터를 수집한다.

먼저 HRV 신호는 SDNN 및 RMSSD를 산출한 뒤, 해당 일자의 평균값을 계산하고, 약 2주간 축적된 개인별 기준선(baseline)과 비교함으로써 자율신경계의 균형 상태를 평가한다. 동시에 GSR 신호는 P2H 전처리 과정을 거친 후 피크 탐지 알고리즘을 적용하여 순간적인 각성 수준을 반영하는 대표값을 추출한다.

이와 같이 HRV를 통해 장기적인 자율신경계 상태를, GSR을 통해 단기적인 교감신경 활성화와 순간 반응을 파악함으로써, 시스템은 두 지표를 결합한 AI 기반 분석을 통해 사용자의 스트레스 수준을 보다 정밀하게 판별하도록 설계된다.

3.2 생체전류를 통한 사상체질 식별

한의학에서는 환자의 건강 상태를 파악하는 핵심 요소로 경락과 경혈에 대한 진단을 중요하게 다룬다. 경락은 생체 에너지, 즉 전기적 신호가 흐르는 통로로 이해되며, 경혈은 기(氣)와 혈(血)이 교차하는 지점으로서 체표와 내부 장기를 연결하는 역할을 한다. 김봉한의 산알 이론은 이러한 경락 체계를 과학적으로 설명하려는 시도 중 하나로, 인체

장기와 경락 사이의 연결성을 전기적 관점에서 규명하고자 한다.

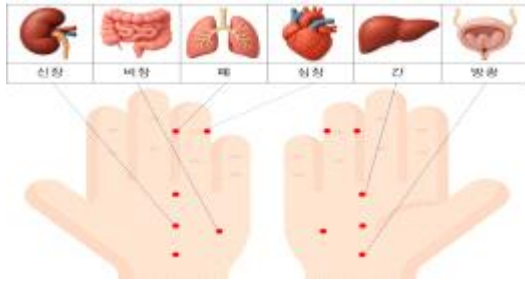


그림 5. 장기-손 상응 다이어그램

그림 5는 손바닥에서 각 장기에 대응하는 상응 부위의 위치를 나타낸다. 신장, 비장, 폐, 심장, 간, 방광에 해당하는 상응점을 표시하였으며, 양손의 손바닥에서 좌우 대칭 구조를 이루고 있다.

본 연구에서 사용하는 장치는 질환과 연관된 반응점을 찾기 위해 이러한 상응점에서의 생체전류 세기를 측정한다. 각 지점에서 측정된 전류 값의 이상 여부를 통해 해당 장기의 이상 가능성을 탐지할 수 있으며, 전류의 크기와 패턴을 바탕으로 신호의 강약을 판별하여 장기 기능 상태를 평가한다. 이를 통해 장기별 기능 정도 및 불균형 양상을 파악하고, 생체전류 정보를 기반으로 한 한의학적 진단 메커니즘을 구현하고자 한다.

3.3 반지 요법



그림 6. 해당 장부의 기운 조절에 활용되는 반지 착용 위치

그림 6는 제1지부터 제5지까지의 손가락에 목·화·토·금·수의 오행과 간·심·비·폐·신장부가 각각 상응하도록 배치한 손가락-장부 대응 관계를 나타낸 것이다. 사상체질과 팔상체질 이론을 정리한 『사상체질 팔상체질 감별법』에서는 다섯 손가락에 목·화·토·금·수의 오행성이 부여되며, 각각 간·심·비·폐·신과 같은 장부에 상응한다고 본다. 이에 따라 특정 손가락에 착용하는 반지가 해당 장부의 기운을 보하거나 사하는 도구로 활용될 수 있다고 보고, 이를 일종의 ‘반지 요법’으로 설명한다. 이 이론에서는 금반지가 기운을 보충하는 보(補) 작용을, 은반지가 기운을 흠어주고 내려주는 사(瀉) 작용을 한다고 보며, 허(虛)한 장기에는 금반지를, 실(實)한 장기에는 은반지를 착용하는 것이 원칙이라고 제시한다.

이러한 반지 요법은 전통 한의학의 오행-장부 상응 이론과 사상체질 허실 개념을 손가락에 적용한 것으로, 특히 은반지는 과도하게 항진된 장부 기능을 가라앉히고(瀉) 긴장과 열감을 완화하는 데 도움을 줄 수 있다는 관점에서 설명된다.

IV. 적용 사례

제4장에서는 제3장에서 제안한 스트레스-생체전류 조절 메커니즘이 실제 측정 데이터에 어떻게 적용되는지 한 피험자의 사례를 통해 살펴본다.

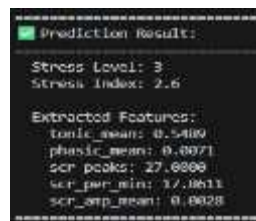


그림 7. 피험자의 GSR 측정 결과



그림 8. 피험자의 HRV 측정 결과

그림 7은 GSR 측정 결과를, 그림 8는 웨어러블 기기를 통해 얻은 HRV 측정 결과를 나타낸다. 두 표에서 스트레스 단계가 3(높음)으로 분류되어 피험자가 전반적으로 높은 스트레스 상태에 있음을 알 수 있다.

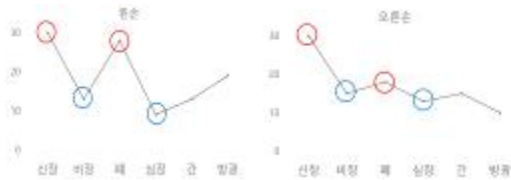


그림 9. 좌측 손바닥 생체전류 측정값 그림 10. 우측 손바닥 생체전류 측정값

그림 9과 그림 10은 피험자의 좌·우 손바닥에서 측정된 장기별 생체전류 분포를 나타낸 것이다. 그림 9의 좌측 손바닥 생체전류 그래프를 살펴보면, 신장과 폐에 해당하는 상응점에서 다른 장기에 비해 상대적으로 높은 전류값이 관찰되며, 비장·심장 등 일부 부위는 비교적 낮은 수준을 보인다.

이러한 결과는 스트레스와 장기 기능 간의 관계를 탐색할 수 있는 가능성을 시사한다. 이후 실험에서는 은반지 착용을 통해 체표 생체전류를 조절한 뒤, 장기별 전류 패턴과 스트레스 지수 변화 양상을 비교함으로써 이러한 연관성을 보다 구체적으로 검증하고자 한다.

이후 단계에서 피험자는 실험 설계에 따라 손가락의 장부 상응점 부위에 은반지를 착용한 상태로 일정 시간 안정 상태를 유지하였다. 이어서 동일한 조건에서 생체전류와 GSR·HRV를 다시 측정함으로써, 은반지 착용 전·후의 장기별 생체전류 분포와 스트레스 지수 변화를 비교·분석하였다.



그림 11. 은반지 착용 후 좌측 손바닥 생체전류 측정값 그림 12. 은반지 착용 후 우측 손바닥 생체전류 측정값

그림 11와 그림 12은 은반지 착용 후 좌·우 손에서 측정된 장기별 생체전류 분포를 나타낸 것이다. 이전 측정 결과와 비교했을 때 신장과 폐 상응 부위의 전류 값이 전반적으로 감소한 것을 확인할 수 있다. 이후 동일한 조건에서 GSR을 재측정한 결과, 시스템이 산출한 스트레스 단계는 1(낮음)으로 분류되어 피험자의 스트레스 수준이 전측정 대비 감소했음을 확인할 수 있었다.

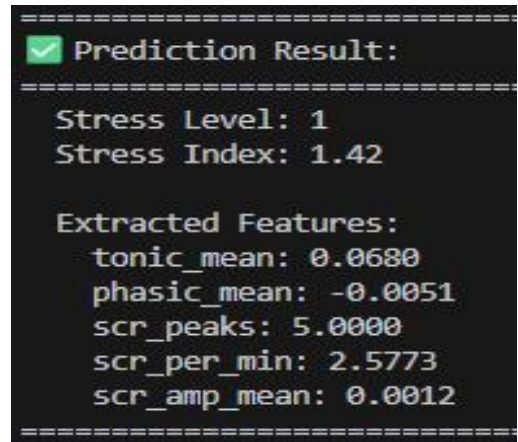


그림 13. 은반지 착용 후 GSR 기반 스트레스 판별 결과

그림 13는 은반지 착용 후 동일 조건에서 GSR을 재측정하여 AI 시스템이 산출한 스트레스 판별 결과이다. 본 연구에서 HRV는 웨어러블 기기를 통해 일정 시간 이상 축적된 심박 데이터를 기반으로 산출하도록 설계하였기 때문에, 반지 착용 직후의 단기 변화를 평가하는 단계에서는 GSR만 재측정 지표로 활용하였다.

V. 결론 및 향후 연구

본 연구는 선행 연구에서 제안된 GSR·HRV 기반 AI 스트레스 판별 시스템에 아큐빔 III를 활용한 장기별 생체전류 측정과 전통 한의학의 반지 요법 개념을 결합하여, 생체전류 조절을 통한 스트레스 완화 가능성을 탐색하였다. 웨어러블 HRV(RMSSD, SDNN) 및 아두이노 기반 GSR 모듈은 스트레스 정도를 산출하는 기준 시스템으로 활용하였고, 본 연구의 핵심 기여는 장기별 생체전류 패턴을 계량적으로 측정하고, 은반지 착용 전·후의 전류 분포 변화와 스트레스 지표 변화를 연계해 분석한 데 있다. 단일 피험자 적용 사례에서 초기 스트레스 단계는 3(높음)이었으며, 장기별 생체전류 분포에서는 손상응점 중 신장·폐 부위의 값이 상대적으로 높게 나타났다. 이후 해당 손가락 상응 부위에 은반지를 착용한 뒤 동일 조건에서 재측정한 결과, 신장·폐 상응점의 전류 값이 전반적으로 감소하고 스트레스 단계가 1(낮음)으로 완화되어, 손가락 부위 은반지 착용을 통한 장기별 생체전류 조절이 스트레스 감소와 연관될 수 있는 가능성을 확인하였다.

다만 본 연구는 단일 피험자, 단기 관찰, 대조군 부재 등 여러 한계를 가지며, 반지 요법 및 오행-장부-수지 상응 이론 자체도 현대 의학적으로 충분히 검증되지 않았다는 점에서 결과의 일반화에는 신중한 접근이 필요하다. 향후 연구에서는 다수의 피험자와 적절한 대조군을 포함한 반복 실험을 통해 은반지 착용이 장기별 생체전류와 스트레스 지표에 미치는 효과를 통계적으로 검증할 필요가 있다. 또한 GSR·HRV뿐 아니라 혈압, 호흡수, 피부온도, 우울·불안 척도 등 다양한 생리·심리 지표를 통합한 다중 지표 기반 예측 모형을 개발하고, 이를 모바일·웹 환경에서 개인 맞춤형 스트레스 관리 피드백을 제공하는 디지털 헬스케어 서비스로 확장하는

것이 향후 과제로 남는다.

참고 문헌

- [7] J. Kim, W. Jang, and R. Young Chul Kim, "A Visualization Model for Classification of Human Personality through Bio-electric Current Pattern Analysis," Proc. 2023 International Conference on Computational Science and Computational Intelligence (CSCI), pp. 1444-1448, Dec. 2023. doi:10.1109/CSCI62032.2023.00236.
- [8] 문창주, 좌금주, 박지민, 함정아, 김장환, 김영철, 「인공지능 기반 스트레스 수준 판별 시스템 연구」, 2025년 국제인공지능학회 종합학술대회 논문집, 2025.
- [9] 이명복, 『사상체질 팔상체질 감별법: 체질을 알면 건강이 보인다!』, 서울: 건강신문사, 2007.

부부 관계 척도 데이터를 활용한 이혼 위험 요인 분석 및 예측 모델

김한결*, 문영신**, 이유림***, 문지훈****

Divorce Risk Factor Analysis and Prediction Model Using Marital Relationship Scale

Hangyeol Kim*, Yeongsin Mun**, Yurim Lee*** and Jihoon Moon****

요 약

부부 간의 소통 방식과 갈등 해결 능력은 결혼 생활의 지속 여부를 결정짓는 핵심 지표이다. 본 연구는 UCI Machine Learning Repository의 'Divorce Predictors Data Set'을 활용하여 부부 관계를 진단하는 54개의 가트맨 척도 문항과 이혼 여부 간의 인과관계를 분석하였다. 데이터의 신뢰성을 높이기 위해 부정 문항의 역코딩 및 중복 변수 제거를 수행하였으며, 랜덤 포레스트와 의사결정 나무 알고리즘을 적용하여 예측 모델을 구축하였다. 분석 결과, 모델은 이혼 그룹과 비이혼 그룹을 명확히 구분하였으며, SHAP(SHapley Additive exPlanations) 기법을 통해 '싸움의 시작 방식(Atr40)'과 '결혼 생활에 대한 가치관 공유(Atr18)'가 이혼을 예측하는 가장 결정적인 변수임을 규명하였다. 본 연구는 블랙박스 모델의 한계를 넘어, 내담자에게 이혼 위험의 구체적 근거를 시각적으로 제시하는 디지털 부부 상담 플랫폼의 의사결정 지원 시스템으로 활용될 수 있다.

Key words

Divorce Prediction, Gottman Method, Decision Tree, Random Forest, SHAP

I. 서 론

이혼은 개인의 정서적 고통뿐만 아니라 사회적 비용을 유발하는 중대한 문제로, 이를

사전에 예측하고 중재하는 것은 멘탈 헬스케어 분야의 중요한 과제이다. 존 가트맨(John Gottman) 박사는 부부 간의 대화 패턴, 비난, 방어적 태도 등의 행동 지표를 통해 이혼

* 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (gksruf171717@duksung.ac.kr)
** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (munniie@duksung.ac.kr)
*** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (lllyyy@duksung.ac.kr)
**** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 교수, 교신저자 (jmoon25@duksung.ac.kr)

가능성을 높은 확률로 예측할 수 있음을 입증하였다[1][2].

최근 인공지능 기술의 발달로 이러한 심리학적 척도를 인공지능과 결합하여 객관적인 진단 서비스를 제공하려는 시도가 증가하고 있다[3][4]. 그러나 기존의 인공지능 기반 예측 모델은 높은 정확도에도 불구하고, "왜 이 부부가 이혼 위험군인가?"에 대한 구체적인 이유를 설명하지 못하는 '블랙박스(Black-box)' 문제가 존재한다[5]. 이는 상담 현장에서 내담자의 수용성을 떨어뜨리는 요인이 된다.

따라서 본 연구는 설문 데이터를 기반으로 의사결정 나무 및 랜덤 포레스트 모델을 구축하여 이혼 여부를 예측하고[6][7], SHAP(SHapley Additive exPlanations) 등 설명 가능한 인공지능(explainable Artificial Intelligence; XAI) 기법을 적용하여 모델의 판단 근거를 투명하게 규명하고자 한다[8]. 특히, 군집 히트맵(Cluster Heatmap)과 의사결정 나무 시각화를 통해 변수 간의 구조적 관계를 파악하고, 위기 가정을 위한 실질적인 행동 교정 가이드를 제안하는 것을 목적으로 한다.

II. 데이터 및 연구 방법

2.1 데이터 셋 및 전처리

본 연구는 터키의 기혼 및 이혼 커플 170쌍을 대상으로 조사된 UCI Divorce Predictors Data Set을 사용하였다[9]. 데이터는 54개의 문항(Attributes)과 이혼 여부(Class)로 구성되어 있다. 분석의 정확도를 높이기 위해, 부정적인 진술을 담은 문항(예: Atr6, Atr7 등 12개)에 대해 4-X 방식으로 역코딩(Reverse Coding)을 수행하여 점수의 방향성을 긍정 지표로 통일하였다. 또한, 변수 중요도가 낮은 11개 문항을 삭제하여 모델의 효율성을 확보하였다.

2.2 분석 방법론

변수 간의 다차원적 관계를 파악하기 위해 상관관계 분석을 수행하였다. 예측 모델링을 위해 앙상블 기법인 랜덤 포레스트와 설명력이 뛰어난 의사결정 나무를 사용하였다. 최종적으로 SHAP 기법을 도입하여 전역적(Global) 변수 중요도와 개별(Local) 데이터의 이혼 위험 기여도를 시각화하였다.

III. 분석 결과

3.1 변수 간 상관관계 및 분포 특성

문항 간의 상관관계를 군집 히트맵(Cluster Heatmap)으로 분석한 결과는 그림 1과 같다. 분석 결과, 유사성 및 조화(Atr15, Atr17), 소통 및 이해(Atr25, Atr28) 관련 문항들끼리 강한 양의 상관관계를 형성하여 클러스터를 이루고 있음이 확인되었다.

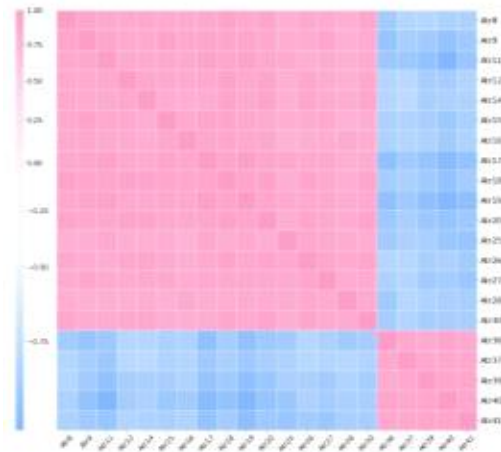


그림 1. 문항 간 상관관계 클러스터 히트맵

또한, 그림 2의 바이올린 플롯(Violin Plot)을 통해 결혼 유지 그룹(Class 0)은 '갈등 인식(Atr40)' 및 '굴욕감 주지 않음(Atr36)' 항목에서 압도적으로 높은 점수 분포를 보였지만, 이혼 그룹(Class 1)은 해당 점수가 0점에 수렴하여 두 집단이 명확하게 분리됨을 확인하였다.

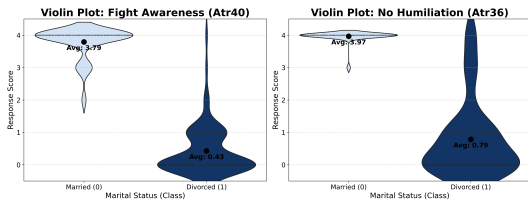


그림 2. 이혼/비이혼 그룹별 점수 분포(Violin Plot)

3.2 의사결정 규칙 도출

이혼 여부를 판별하는 규칙을 도식화하기 위해 의사결정 나무를 시각화한 결과는 그림 3과 같다. 모델은 ‘결혼 생활에 관한 생각 유사성(Atr18)’을 최상위 분기 기준(Root Node)으로 선정하였다. Atr18 점수가 1.5점 이하로 낮으면서 ‘신뢰 가치(Atr20)’ 또한 낮은 경우에는 결혼 유지 그룹으로 분류되는 비율이 높았으나, Atr18 점수가 높은 경우에는 이혼 위험이 급격히 증가하는 규칙이 도출되었다.

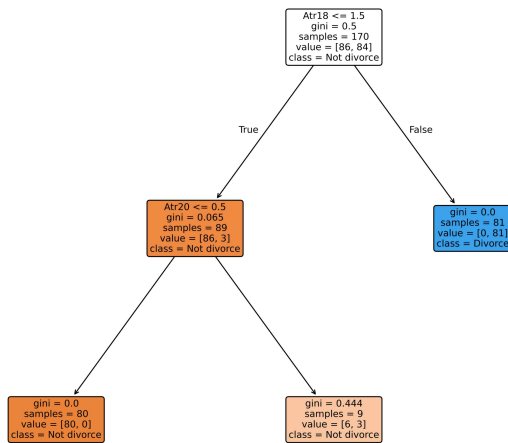


그림 3. 의사결정 나무 기반 이혼 예측 모델 시각화

3.3 중요 변수 및 개별 사례 분석

그림 4와 같이 랜덤 포레스트 모델의 예측 근거를 SHAP Summary Plot으로 분석한 결과, “무슨 일이 일어나는지 알기 전에 싸움을 시작하지 않는다(Atr40)” 문항이 이혼 예

측에 가장 큰 영향력을 미치는 것으로 나타났다. 즉, 갈등 상황에서의 충동적 싸움 시작 여부가 부부 관계의 지속성을 결정짓는 핵심 요인임을 시사한다.

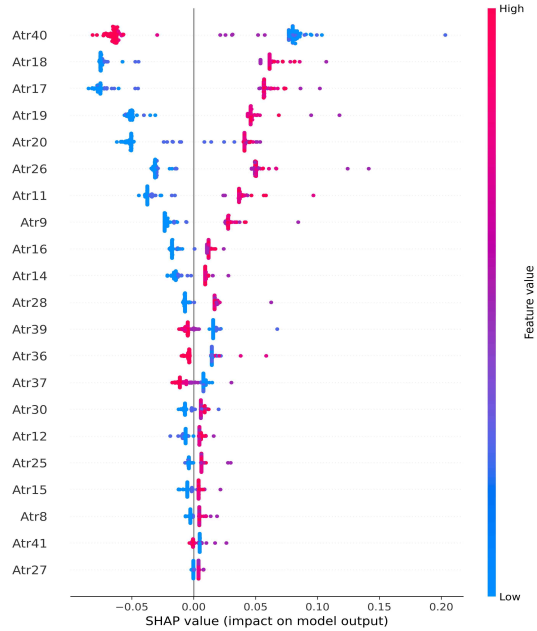


그림 4. SHAP 변수 중요도 요약(Summary Plot)

그림 5와 같이 개별 사례에 대한 정밀 분석을 위해 SHAP Decision Plot을 적용한 결과, 이혼 확률이 100%로 예측된 고위험군 샘플(Index 1)의 경우, Atr18, Atr19, Atr20 문항에서의 부정적 응답이 예측 확률을 기저값(Base Value) 대비 크게 상승시키는 요인으로 작용함을 정량적으로 확인할 수 있었다. 반면, 결혼 유지 확률이 높은 샘플(Index 84)은 갈등 관리 관련 문항에서 긍정적 점수를 보여 위험도가 상쇄되는 패턴을 보였다.

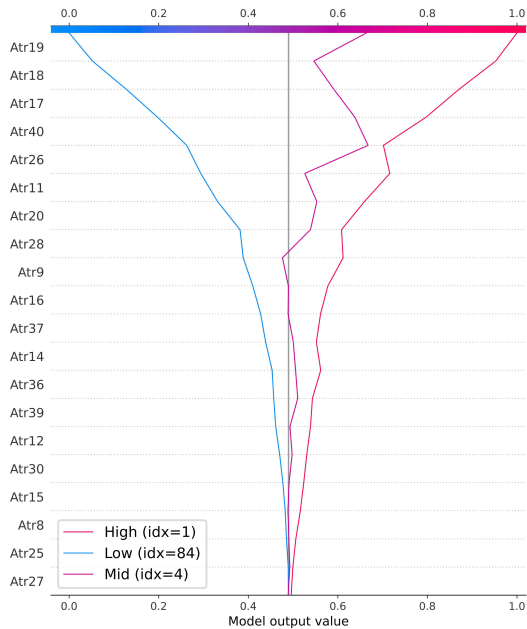


그림 5. 개별 사례 위험도 분석(Decision Plot)

IV. 결론 및 제언

본 연구는 부부 관계 데이터를 기계학습과 XAI 기법으로 분석하여 이혼 위험을 예측하고 그 원인을 규명하였다. 연구 결과, 가치관의 공유뿐만 아니라 ‘갈등 발생 시의 태도 (Atr40, Atr36, Atr41)’가 이혼을 방지하는 가장 중요한 방어 기제임이 밝혀졌다.

본 연구의 결과는 부부 상담 플랫폼에 적용되어 다음과 같은 가치를 창출할 수 있다. 첫째, 간단한 설문만으로 이혼 위험도를 수치화하여 조기 경보를 제공한다. 둘째, SHAP 분석을 통해 내담자에게 “당신의 경우, 싸움을 시작하는 방식(Atr40)이 이혼 위험을 높이는 주원인입니다”와 같은 개인화된 피드백을 제공함으로써 구체적인 행동 교정을 유도할 수 있다. 향후 연구에서는 시계열 데이터를 확보하여 부부 관계의 변화 추이를 동적으로 예측하는 모델로의 확장이 요구된다.

참고 문헌

- [1] J. M. Gottman and R. W. Levenson, “Marital processes predictive of later dissolution: Behavior, physiology, and health,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 63, no. 2, pp. 221–233, Aug. 1992.
- [2] S. Carrère, K. T. Buehlman, J. M. Gottman, J. A. Coan, and L. Ruckstuhl, “Predicting marital stability and divorce in newlywed couples,” *J. Fam. Psychol.*, vol. 14, no. 1, pp. 42–58, Mar. 2000.
- [3] J. Kong and T. Chai, “Is your marriage reliable?: Divorce analysis with machine learning algorithms,” in *Proc. 6th Int. Conf. Comput. Artif. Intell. (ICCAI)*, Istanbul, Turkey, 2020, pp. 1–4.
- [4] M. M. S. Fareed et al., “Predicting divorce prospect using ensemble learning: Support vector machine, linear model, and neural network,” *Comput. Intell. Neurosci.*, vol. 2022, art. 3687598, Jul. 2022.
- [5] S. M. Lundberg and S.-I. Lee, “A unified approach to interpreting model predictions,” in *Adv. Neural Inf. Process. Syst. (NeurIPS)*, 2017, pp. 4765–4774.
- [6] L. Breiman, “Random forests,” *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5–32, 2001.
- [7] J. R. Quinlan, “Induction of decision trees,” *Mach. Learn.*, vol. 1, no. 1, pp. 81–106, 1986.
- [8] A. Moumen et al., “Divorce prediction using machine learning algorithms in Ha’il region, KSA,” *Sci. Rep.*, vol. 14, art. 502, Jan. 2024.
- [9] M. Yöntem, K. Adem, T. İlhan, and S. Kılıçarslan, “Divorce Predictors Data Set,” *UCI Machine Learning Repository*, 2019. [Online]. Available: <https://archive.ics.uci.edu/dataset/539/divorce+predictors+data+set>

디지털 헬스케어 플랫폼을 위한 행동학적 파생 변수 설계 및 비만 위험 요인의 다변량 분석

이지현*, 김도연**, 양서윤***, 임아린****, 문지훈*****

Multivariate Analysis of Lifestyle Factors and Design of Behavioral Derived Variables for Digital Healthcare Platforms

Jihyun Lee, Doyeon Kim**, Seoyun Yang***, Arin Lim**** and Jihoon Moon******

요 약

현대 디지털 헬스케어 서비스는 사용자의 라이프로그(Life-log) 데이터를 활용한 예방적 건강 관리로 패러다임이 전환되고 있다. 본 연구는 UCI Obesity Dataset을 활용하여 신체적 결과 지표인 키와 몸무게를 배제하고, 순수 행동학적 요인만으로 비만 위험도를 예측하기 위한 모델링을 수행하였다. 특히 기존 단일 변수 분석의 한계를 극복하기 위해 '불건전 식습관 점수', '유전-생활 습관 복합 위험' 등 16종의 파생 변수(Derived Features)를 설계하는 특성 공학(Feature Engineering)을 적용하여 모델의 설명력을 강화하였다. 실증 분석 결과, 식사 사이의 간식 섭취 빈도(CAEC)와 가족력이 비만도와 가장 강력한 상관관계를 보였으며, ANOVA 분석을 통해 연령 및 식습관 요인이 비만 등급별로 통계적으로 유의미한 차이가 보임을 입증하였다. 본 연구는 ICT 기반 비만 관리 플랫폼에서 사용자에게 실질적인 행동 교정 솔루션을 제공하기 위한 핵심 알고리즘의 기초 자료로서 의의가 있다.

Key words

Digital Healthcare, Obesity Prediction, Feature Engineering, Lifestyle Factors, ICT Platform

* 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (20241240@duksung.ac.kr)
** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (doyeon6737@duksung.ac.kr)
*** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (yangseoyun2005@duksung.ac.kr)
**** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (limar0323@duksung.ac.kr)
***** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 교수, 교신저자 (jmoon25@duksung.ac.kr)

I. 서론

비만은 심혈관 질환, 당뇨병 등 다양한 만성 질환의 주요 원인으로 작용하며, 전 세계적인 공중 보건 위협 요인으로 대두되고 있다 [1][2]. 이에 따라 ICT 기반 건강관리 서비스가 확산하고 있다. 하지만 기존 서비스는 키와 몸무게에 기반한 BMI 산출에 의존하며, 비만 유발 행동 기제를 규명하고 교정하는 데에는 한계가 있다.

선행 연구를 살펴보면, Palechor 등[3]은 식습관과 신체 상태 데이터를 기반으로 비만 수준을 추정하는 데이터 셋을 구축하여 기계 학습 모델의 가능성을 제시하였으나, 여전히 신체적 결과 지표에 대한 의존도가 높다는 제한점이 있다. 또한, Görmez 등[4]과 Ganie 등[5]은 설명 가능한 인공지능을 도입하여 연령 및 특정 식습관 패턴이 비만 예측의 주요 인자임을 규명하려 시도하였으나, 대다수의 연구가 원천 데이터의 단일 변수 영향력을 분석하는 데 그치고 있어 복합적인 행동 특성을 정량화하여 플랫폼 서비스에 즉각적으로 적용하기에는 부족함이 있다.

따라서 본 연구는 신체적 지표를 분석에서 완전히 배제하여 데이터 누수(Data Leakage)를 방지하고[6], 오직 식습관, 신체 활동, 유전적 요인 등 행동학적 데이터만을 활용하여 비만 위험 요인을 규명하고자 한다. 특히, 변수 간 상호작용을 고려한 16개의 파생 변수(Derived Features)를 새롭게 설계하는 특성 공학(Feature Engineering)을 수행함으로써[7], 헬스케어 플랫폼에서 사용자에게 직관적인 행동 교정 피드백을 제공할 수 있는 모델링 기초를 마련하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구 방법

2.1 데이터 셋 및 전처리

본 연구는 멕시코, 페루, 콜롬비아 지역의 2,111명 응답자를 대상으로 수집된 'Estimation of Obesity Levels Based on Eating Habits and Physical Condition' 데이터 셋을 활용하였다[3]. 데이터는 비만도(NObeyesdad)를 포함하여 총 17개의 속성으로 구성되어 있다.

분석의 타당성을 확보하기 위해 비만도와 수학적으로 직접적인 관계가 있는 Height(키)와 Weight(몸무게), 그리고 생활 습관과 무관한 Gender(성별) 변수를 제거하여 데이터 누수(Data Leakage)를 방지하였으며, 결측치 및 이상치를 점검하고 범주형 변수에 대해 Label Encoding을, 수치형 변수에 대해 StandardScaler를 적용하여 데이터의 품질을 제고하였다.

2.2 특성 공학 (Feature Engineering)

단순 생활 습관 변수만으로는 복합적인 비만 원인을 설명하기 어렵다는 점에 착안하여, 도메인 지식을 기반으로 총 16개의 파생 변수를 설계하였다. 주요 파생 변수의 정의는 다음과 같다.

- 불건전 식습관 점수 (Unhealthy Eating Score): 고칼로리 섭취 빈도(FAVC)와 식사 사이 간식 섭취(CAEC)를 합산하고, 채소 섭취 빈도(FCVC)를 차감하여 식습관의 위험도를 정량화하였다.
- 유전-생활 습관 복합 위험 (Genetic-Lifestyle Risk): 가족력 (Family History) 유무에 따라 식습관의 악영향이 증폭될 수 있음을 가정하여 상호 작용 변수를 생성하였다.
- 좌식 생활 지수 (Sedentary Lifestyle Index): 기술 사용 시간(TUE)에서 신체 활동 빈도(FAF)를 차감하여 활동 부족 수준을 지표화하였다.

Ⅲ. 분석 결과

3.1 요인별 영향력 및 상관관계 분석

본 연구는 신체 지표를 제외한 13개 생활습관 요인과 비만도 간의 상관관계를 분석하였다. 그림 1은 신체 지표를 제외한 생활 습관 요인과 비만도 간의 상관관계를 분석한 결과이다. 식사 사이의 간식 섭취(CAEC)가 상관 계수 0.327로 가장 높은 연관성을 보였으며 ($p < 0.001$), 가족력(Family History, 0.314), 연령(0.236)이 그 뒤를 이었다. 이는 단순한 섭취 열량(Calories)보다 ‘간식 섭취 빈도’와 같은 반복적 식습관 패턴이 비만에 더 큰 영향을 미침을 시사한다.

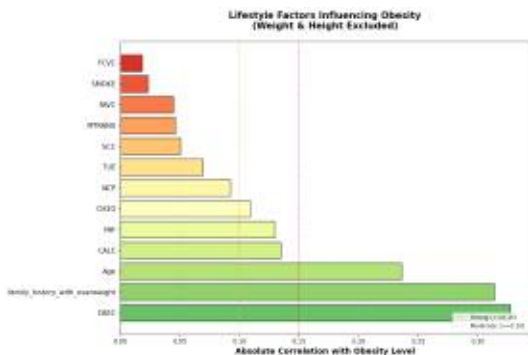


그림 1. 요인별 영향력 및 상관관계 분석

또한 그림 2의 카테고리별 영향력 분석을 통해, 식습관(Eating Habits, 0.118)이나 신체 활동(Physical Activity, 0.100)보다 유전/개인적 요인(Genetic/Personal)의 평균 상관계수가 0.275로 월등히 높게 나타남을 확인하였다. 이는 비만 예방 서비스 설계 시 사용자의 유전적 배경을 최우선으로 고려해야 함을 정량적으로 입증한다.

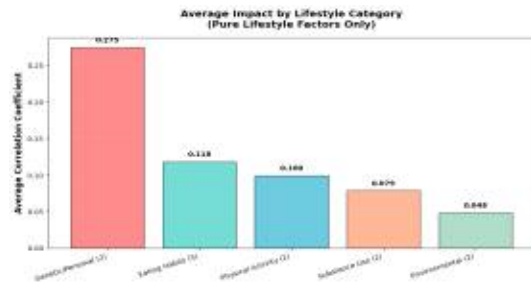


그림 2. 카테고리별 영향력 평가

3.2 비만 등급별 분포 특성 및 통계적 검증

주요 변수들이 비만 등급(저체중, 정상, 과체중, 비만 I~III) 간에 통계적으로 유의미한 차이를 보이는지 검증하기 위해 ANOVA 및 분포 시각화를 수행하였다[8]. 그림 3은 상위 3개 요인(CAEC, Family History, Age)의 비만도별 분포(Violin Plot)를 나타낸다.

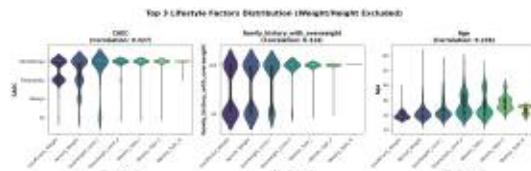


그림 3. 주요 3대 요인(CAEC, Family History, Age)의 분포 시각화

정상 체중 집단은 간식 섭취(CAEC)가 ‘가끔(Sometimes)’에 집중되지만, 비만 집단으로 갈수록 ‘자주(Frequently)’ 및 ‘항상(Always)’의 비율이 점진적으로 증가하는 패턴을 보였다. 또한 가족력 변수의 경우, 비만 등급 II, III 단계에서 가족력이 있는 비율이 압도적으로 높게 나타나는 비선형적 패턴이 관찰되었다.

ANOVA 분석 결과 채소 섭취 빈도(FCVC, $F=112.31, p < 0.001$)가 가장 높은 F-통계량을 보였으며, 연령($F=77.95, p < 0.001$), 식사 횟수(NCP, $F=26.81, p < 0.001$) 순으로 나타났다. 이는 모든 주요 생활습관 변수가 비만 등급별로 통계적으로 유의미한 차이가 있음을 의미한다.

3.3 파생 변수 간의 다중공선성 및 구조 분석

본 연구에서 생성한 파생 변수 간의 관계를 파악하기 위해 상관관계 히트맵(Correlation Heatmap)을 도출하였으며, 이는 그림 4와 같다. 분석 결과, 그림 4에서 Family_History 와 Genetic_Lifestyle_Risk 간의 상관관계는 0.92로 높게 나타났으나, 이는 의도된 상호작용 항(Interaction Term) 설계에 의한 것이다. 이러한 파생 변수는 단일 변수로는 포착하기 어려운 복합적인 비만 유발 기제를 설명하는 데 이바지한다.

이러한 변수 간의 유기적 연결성은 단일 변수만으로는 포착하기 어려운 복합적인 비만 유발 기제를 설명하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 최종적으로 13개 원본 변수와 16개 파생 변수를 포함한 29개 독립변수와 1개 종속변수, 총 30개 피처로 데이터 셋을 구성하였다.

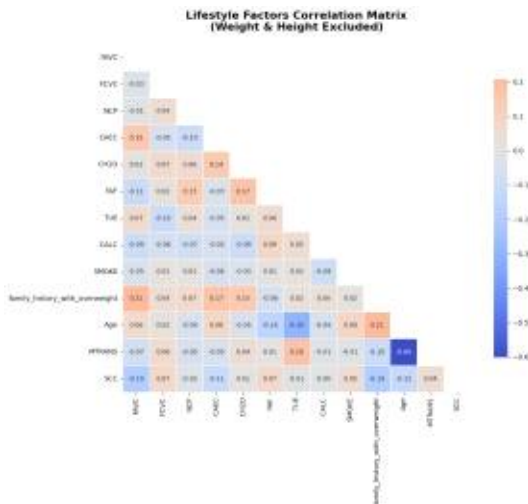


그림 4. 파생 변수 간의 다중공선성 및 구조 분석

IV. 결론 및 제언

본 연구는 ICT 헬스케어 플랫폼에서의 활용을 목적으로, 순수 생활 습관 데이터 기반

의 비만 위험도 예측 모델을 위한 주요 인자를 규명하였다. 연구 결과, 간식 섭취 빈도와 가족력이 비만 예측의 핵심 변수임이 확인되었으며, 제안된 16개의 파생 변수는 복합적인 행동 패턴을 정량화하는 데 유효함을 입증하였다.

본 연구의 결과는 헬스케어 플랫폼 서비스에 적용되어, 사용자에게 단순한 체중 감량 권고를 넘어 “좌식 생활 지수 개선”과 같은 구체적 행동 지표를 제시함으로써 서비스 효용성을 높이는 데 이바지할 것으로 기대한다. 향후 연구에서는 본 분석 결과를 바탕으로 앙상블 모델을 구축하고, SHAP 기법을 적용하여 모델의 예측 근거를 투명하게 설명할 수 있는 설명 가능한 인공지능 시스템으로의 확장이 요구된다.

참고 문헌

- [1] World Health Organization, Obesity and Overweight, WHO Fact Sheet, 2021. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- [2] A. Hruby and F. B. Hu, “The epidemiology of obesity: A big picture,” N. Engl. J. Med., vol. 373, no. 22, pp. 2197-2198, 2015.
- [3] F. M. Palechor and A. de la Hoz Manotas, “Dataset for estimation of obesity levels based on eating habits and physical condition in individuals from Colombia, Peru and Mexico,” Data Brief, vol. 25, art. 104099, 2019.
- [4] Y. Görmez, F. H. Yagin, B. Yagin, Y. Aygun, H. Boke, G. Badicu, M. S. D. S. Fernandes, A. Alkhateeb, M. B. A. Al-Rawi, and M. Aghaei, “Prediction of obesity levels based on physical activity and eating habits with a machine learning model integrated with explainable artificial intelligence,” Fron

- t. *Physiol.*, vol. 16, art. 1549306, 2025.
- [5] S. M. Ganie, P. K. D. Pramanik, and Z. Zhao, "Lifestyle data-based multic lass obesity prediction with interpretable ensemble models incorporating SHAP and LIME analysis," *Sci. Rep.*, vol. 15, no. 1, art. 36916, 2025.
- [6] S. Kapoor and A. Narayanan, "Leaka ge and the reproducibility crisis in machine learning-based science," *P atterns*, vol. 2, no. 9, art. 100347, 2021.
- [7] A. Zheng and A. Casari, *Feature Engineering for Machine Learning: Principles and Techniques*, O'Reilly Media, 2018.
- [8] G. A. F. Seber and A. J. Lee, *Linear Regression Analysis*, 2nd ed. Wiley, 2003.

유방암 악성 환자군의 심각도 세분화를 위한 하이브리드 군집-예측 모델 및 XAI 분석

서해인*, 서수민**, 이유지***, 김송희****, 문지훈*****

Hybrid Clustering-Prediction Model and XAI Analysis for Severity Stratification in Malignant Breast Cancer Patients

Hae-In Seo, Soo-Min Seo**, Yu-Ji Lee***, Song-Hee Kim****
and Jihoon Moon******

요 약

현대 의료 인공지능 분야에서 유방암 진단 모델은 주로 양성(Benign)과 악성(Malignant)을 이진 분류하는 데 집중되었으나, 실제 임상 현장에서는 악성 환자 내에서도 종양의 병리학적 특성에 따른 위험도(Severity)를 세분화하여 치료 우선순위를 결정하는 것이 필수적이다. 본 연구는 UCI Breast Cancer Wisconsin 데이터 셋을 활용하여 악성 데이터만을 추출하고, 비지도 학습(K-Means)을 통해 잠재적인 심각도 라벨을 정의한 후 이를 랜덤 포레스트로 예측하는 하이브리드 프레임워크를 제안하였다. 실험 결과, 제안된 모델은 95% 이상의 정확도로 고악성군을 식별하였으며, SHAP 및 Permutation Importance 분석을 통해 오목한 점의 수(concave points)와 최악 면적(area_worst)가 심각도를 결정짓는 핵심 인자임을 규명하였다. 본 연구는 설명 가능한 인공지능을 통해 블랙박스 모델의 불투명성을 해소하고, 의료진의 의사결정을 지원하는 대시보드 시스템의 기초 알고리즘을 제시한다는 점에서 의의가 있다.

Key words

Breast Cancer, Severity Stratification, K-Means Clustering, XAI, SHAP

-
- * 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (angela040918@duksung.ac.kr)
 - ** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (sooduk@duksung.ac.kr)
 - *** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (leech030916@gmail.com)
 - **** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (0408ksh@duksung.ac.kr)
 - ***** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 교수, 교신저자 (jmoon25@duksung.ac.kr)

I. 서 론

유방암은 전 세계적으로 여성 암 사망 원인 1위를 차지하는 질병으로, 조기 진단과 정확한 병기 설정이 생존율 증가에 결정적인 역할을 수행한다[1][2]. 최근 의료 영상 기술의 발달로 세침흡인표본(FNA) 이미지를 디지털화하고, 세포핵의 형태적 특성을 정량적으로 분석하는 기계학습 기법이 진단의 효율성을 획기적으로 제고하고 있다.

그러나 기존의 선행 연구들은 대부분 양성(Benign)과 악성(Malignant)을 구분하는 이진 분류 모델의 성능 최적화에만 집중되어 있다는 한계가 존재한다[3][4]. 임상적으로 악성 판정을 받은 환자라 할지라도 종양의 크기, 모양의 불규칙성, 조직의 치밀도 등에 따라 예후와 치료 시급성은 극명하게 달라지기 때문에, 단순한 악성 판정만으로는 환자별 맞춤형 정밀 의료를 실현하기 어렵다. 이에 따라 의료 AI의 신뢰성을 확보하기 위해 모델의 예측 근거를 투명하게 제시하는 설명 가능한 인공지능의 필요성이 대두되고 있다[5][6].

따라서 본 연구는 전체 환자가 아닌 악성(Malignant) 환자군만을 대상으로, 비지도 학습인 K-Means 군집화를 통해 잠재적인 ‘심각도(Severity)’ 라벨을 생성하고 이를 지도 학습 모델로 학습시키는 하이브리드 접근법을 제안한다. 또한 SHAP(SHapley Additive exPlanations) 기법을 적용하여 고악성(High Severity)으로 분류되는 데 이바지하는 핵심 병리학적 특징을 규명함으로써, 실제 의료 플랫폼에서 활용할 수 있는 진단 보조 지표를 도출하는 것을 목적으로 한다.

II. 연구 방법

2.1 데이터 셋 및 전처리

본 연구는 위스콘신 대학 병리학 연구소에서 제공하는 UCI Breast Cancer Wisconsin (Diagnostic) 데이터 셋을 사용하였다[7]. 데이터는 FNA 이미지에서 추출된 세포핵의 반경(Radius), 질감(Texture), 둘레(Perimeter) 등 30개의 수치형 특징으로 구성되어 있다. 본 연구의 목적에 부합하도록 진단명이 ‘M(악성)’인 데이터 212개만을 필터링하여 분석을 수행하였으며, 특징 간 스케일 차이에 의한 왜곡을 방지하기 위해 StandardScaler를 적용하여 데이터의 품질을 확보하였다.

2.2 하이브리드 심각도 정의

악성 환자군 내에는 심각도를 나타내는 명시적인 라벨(Ground Truth)이 부재하므로, 이를 해결하기 위해 비지도 학습 기법인 K-Means 알고리즘(K = 2)을 적용하였다[8]. 군집화 결과 도출된 두 그룹의 특징 평균값합(Sum of Feature Means)을 비교하여, 수치가 더 높은 군집을 ‘고악성(High Severity)’, 낮은 군집을 ‘저악성(Low Severity)’으로 정의하고 이를 예측 모델의 종속변수(Target Variable)로 설정하였다.

2.3 예측 모델링 및 XAI 적용

정의된 심각도 라벨을 예측하기 위해 앙상블 기반의 Random Forest Classifier (n_estimators = 300)를 구축하였다. 모델의 높은 예측 성능뿐만 아니라 해석력을 확보하기 위해, Permutation Importance를 통해 전역적인 변수 중요도를 산출하고, SHAP 기법을 통해 개별 샘플 단위에서 고악성을 판단하게 된 결정적 요인을 시각화하였다.

III. 분석 결과

3.1 고악성 vs. 저악성 분포 특성

정의된 심각도 그룹 간의 특징 분포 차이를 확인하기 위해 주요 변수들에 대한 히스토그램을 분석하였으며, 그 결과는 그림 1과 같다. 반경(Radius), 조직(Texture), 면적(Area) 등의 특징에서 고악성 그룹(Red)이 저악성 그룹(Blue)보다 현저히 높은 값을 보이며, 분포가 오른쪽으로 치우친(Right-skewed) 경향이 뚜렷하게 나타났다. 이는 본 연구에서 K-Means를 통해 정의한 심각도 라벨이 세포핵의 비대함과 불규칙성을 잘 반영하고 있음을 시사한다.

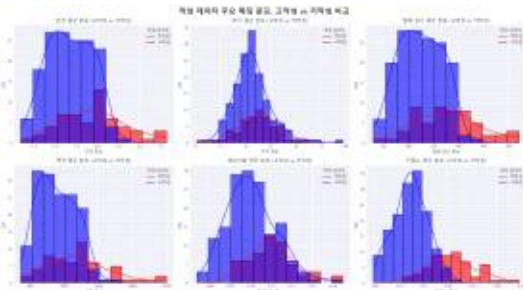


그림 1. 고악성 vs. 저악성 분포 특성

3.2 특징 간 상관관계 및 다중공선성

악성 데이터 내에서의 특징 간 다중공선성 (Multicollinearity) 구조를 파악하기 위해 상관관계 분석을 수행하였으며, 이는 그림 2의 히트맵으로 시각화되었다. 분석 결과, radius_mean, perimeter_mean, area_mean 등 크기(Size) 관련 변수 간에 0.9 이상의 강한 양의 상관관계가 관찰되었다. 이러한 높은 상관성은 단일 변수 분석의 한계를 보여주며, 차원 축소나 트리 기반 모델과 같이 다중공선성에 강건한 알고리즘의 필요성을 뒷받침한다.

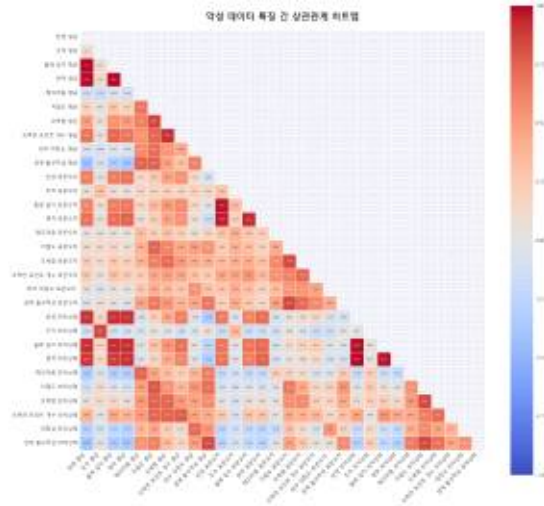


그림 2. 특징 간 상관관계 히트맵

3.3 차원 축소 및 군집 분리능 검증

30차원의 고차원 데이터를 2차원으로 축소하여 심각도 군집의 분리능을 시각적으로 검증하기 위해 그림 3과 같이 PCA(Principal Component Analysis)를 수행하였다[9]. PC1과 PC2 두 개의 주성분만으로도 고악성 (빨간색)과 저악성(파란색) 군집이 명확하게 구분되는 경계면을 형성함을 확인할 수 있다. 이는 생성된 라벨이 데이터의 내재적 구조 (Latent Structure)를 잘 반영하고 있어, 분류 모델이 학습하기에 쉬운 패턴을 보이고 있음을 의미한다.



그림 3. 차원 축소 및 군집 분리능 시각화

3.4 모델 성능 및 핵심 변수 도출 (XAI)

랜덤 포레스트 모델[10]은 5겹 교차검증에 대해 약 95.3%의 높은 정확도(Accuracy)를 기록하였다. 모델의 예측 근거를 분석하기 위해 그림 4와 같이 Permutation Importance를 산출한 결과, concave points_mean (오목한 점의 평균)과 area_worst (최악 면적)가 상위 중요 변수로 도출되었다. 더 나아가 그림 5와 같이 SHAP Summary Plot을 통해 분석한 결과, 해당 변수들의 값이 클수록 SHAP 값이 양(+)의 방향으로 크게 증가하여 고악성 예측에 기여하는 것으로 나타났다.



그림 4. 중요 변수 도출(Permutation Importance)



그림 5. 핵심 변수 기여도 분석(SHAP Summary Plot)

IV. 결론 및 제언

본 연구는 유방암 진단 데이터를 활용하여 악성 환자군 내에서의 심각도를 정량화하고 이를 예측하는 하이브리드 모델을 개발하였다. 연구 결과, 오목한 점(Concave points)의 개수와 종양의 면적(Area)이 고악성을 결정짓는 가장 치명적인 요인임이 밝혀졌으며, 이는 종양의 크기가 크고 모양이 불규칙할수록 악성도가 심각하다는 병리학적 지견과 일치한다.

향후 제안한 분석 모델을 웹 기반의 인터랙티브 대시보드(Web Dashboard)로 구현하여, 의료진이 환자의 FNA 데이터를 입력하면 즉각적으로 심각도 예측 확률과 시각적 설명 리포트를 제공하는 시스템으로 확장할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] World Health Organization, Breast Cancer: Key Facts, WHO, 2023. [Online]. Available: <https://www.who.int>
- [2] F. Bray et al., "Global cancer statistics 2018: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries," CA Cancer J. Clin., vol. 68, no. 6, pp. 394-424, 2018.
- [3] A. Osareh and B. Shadgar, "Machine learning techniques to diagnose breast cancer," in Proc. 5th Int. Symp. Health Informatics and Bioinformatics (HIBIT), pp. 114-120, 2010.
- [4] K. P. Bennett and O. L. Mangasarian, "Robust linear programming discrimination of two linearly inseparable sets," Optim. Methods Softw., vol. 1, no. 1, pp. 23-34, 1992.
- [5] S. M. Lundberg and S.-I. Lee, "A unified approach to interpreting model pr

- edictions,” in *Adv. Neural Inf. Process. Syst. (NeurIPS)*, 2017, pp. 4765-4774.
- [6] A. Holzinger, C. Biemann, C. S. Pattichis, and D. B. Kell, “What do we need to build explainable AI systems for the medical domain?” *arXiv preprint arXiv:1712.09923*, 2017.
- [7] W. N. Street, W. H. Wolberg, and O. L. Mangasarian, “Nuclear feature extraction for breast tumor diagnosis,” *Proc. SPIE*, vol. 1905, pp. 861-870, 1993.
- [8] J. B. MacQueen, “Some methods for classification and analysis of multivariate observations,” in *Proc. 5th Berkeley Symp. Math. Stat. Prob.*, vol. 1, pp. 281-297, 1967.
- [9] L. I. Smith, “A tutorial on principal components analysis,” *Tech. Rep.*, 2002.
- [10] L. Breiman, “Random forests,” *Machine Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001.

음향 특성 데이터의 탐색적 시각화 및 음악 감정 분류

박서현*, 이가은**, 김규린***, 강민정****, 문지훈*****

Exploratory Visualization of Acoustic Features and Music Emotion Classification

Seo-Hyun Park, Ga-Eun Lee**, Gyu-Rin Kim***, Min-Jung Kang**** and Jihoon Moon******

요 약

디지털 음원 시장의 성장과 함께 방대한 음악 데이터를 감정(Mood) 기반으로 자동 분류하는 기술의 중요성이 증대되고 있다. 본 연구는 Acoustic Features 데이터 셋을 활용하여 음원의 파형 및 주파수 특성을 분석하고, 이를 기반으로 4가지 감정(Angry, Happy, Relax, Sad)을 예측하는 기계학습 모델을 구축하였다. 본격적인 모델링에 앞서 Pairplot 등을 활용한 탐색적 자료 분석(EDA)을 수행하여 주요 음향 변수 간의 상관관계와 감정별 데이터 분포의 차이를 시각적으로 규명하였다. 이후 Random Forest Classifier를 적용하고 변수 중요도(MDI) 및 순열 중요도(Permutation Importance)를 분석하여 모델의 예측 근거를 검증하였다. 실험 결과, 상위 30개 변수를 선별하여 학습한 모델은 약 77.5%의 정확도를 달성하였으며, 화성 변화와 제로 교차율이 감정 분류의 핵심 인자임을 확인하였다.

Key words

Music Emotion Recognition, Exploratory Data Analysis, Random Forest, Feature Importance

I. 서 론

음악 감정 인식(MER: Music Emotion Recognition)은 오디오 신호 처리를 통해 음원의 물리적 특징을 추출하고, 이를 인간이

느끼는 감정 레이블로 매핑하는 기술이다. 최근 스포티파이(Spotify) 등 주요 스트리밍 플랫폼은 사용자의 상황에 맞는 음악 추천을 위해 고도화된 MER 기술을 도입하고 있다. 성공적인 감정 분류 모델을 구축하기 위해서

* 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (seohyun203@duksung.ac.kr)
** 덕성여자대학교 디지털소프트웨어공학부, 학부생 (ganni0304@duksung.ac.kr)
*** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (gyurink@duksung.ac.kr)
**** 덕성여자대학교 정보통계전공, 학부생 (20240766@duksung.ac.kr)
***** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 교수, 교신저자 (jmoon25@duksung.ac.kr)

는 단순히 알고리즘을 적용하는 것을 넘어, 데이터의 분포 특성과 변수 간의 상호작용을 이해하는 탐색적 데이터 분석이 선행되어야 한다[1].

기존 MER 연구들은 주로 MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients), 제로 교차율(Zero-Crossing Rate), 스펙트럼 중심(Spectral Centroid) 등의 음향 특징을 활용하여 SVM이나 Random Forest와 같은 기계학습 모델을 적용해 왔다 [2][3][4][5]. 특히 Random Forest는 다수의 의사결정 나무를 결합하여 과적합을 방지하고 변수 중요도를 제공한다는 장점이 있어 널리 사용된다[6]. 그러나 많은 연구가 모델의 최종 성능에만 집중하여, 어떤 음향적 특징이 특정 감정을 결정짓는지에 대한 탐색적 데이터 분석은 상대적으로 부족한 실정이다.

따라서 본 연구는 탐색적 데이터 분석(EDA)을 통해 음향 변수들의 분포와 상관관계를 시각적으로 분석하고, 이를 기반으로 Random Forest 모델을 구축하여 감정 예측에 기여하는 핵심 변수를 도출하는 것을 목적으로 한다.

II. 데이터 및 연구 방법

2.1 데이터 셋 및 전처리

본 연구는 400개의 음원 샘플과 50개의 음향 특성 변수로 구성된 'Acoustic Features' 데이터 셋을 사용하였다. 데이터의 품질을 높이기 위해 LabelEncoder를 사용하여 문자열 형태의 감정 레이블을 수치형 (0: Angry, 1: Happy, 2: Relax, 3: Sad)으로 변환하였으며, 결측치는 각 변수의 중앙값(Median)으로 대체하는 전처리 파이프라인을 구축하였다.

2.2 탐색적 데이터 분석

모델 학습 전, 데이터의 구조를 파악하기

위해 주요 음향 변수(Brightness_Mean, Zero-crossingrate_Mean 등)를 선정하여 시각화를 수행하였다. Seaborn 라이브러리의 Pairplot을 활용하여 변수 간의 쌍(Pairwise) 관계를 시각화하고, 감정 클래스(Class)에 따른 데이터의 군집 형성 여부를 직관적으로 분석하였다.

2.3 모델링 및 변수 선택

감정 분류를 위해 앙상블 기법인 Random Forest Classifier(n_estimators = 500)를 채택하였다. 전체 50개 변수 중 모델 성능 기여도가 높은 변수를 선별하기 위해 MDI(Mean Decrease Impurity) 기반의 변수 중요도를 산출하고[7], 상위 30개 변수만을 추출하여 최종 모델을 재학습시켰다.

III. 분석 결과

3.1 탐색적 데이터 분석 결과

본 연구는 모델링에 앞서 음향 변수들의 분포적 특성과 감정(Class)간 구조적 차이를 파악하기 위해 다양한 시각화 기반 탐색적 데이터 분석을 수행하였다. 감정 분류 문제는 단일 변수의 평균값 차이만으로 설명되기 어렵고, 고차원·비선형적 음향 패턴이 복합적으로 작용하기 때문에, 여러 시각화 기법을 결합하여 데이터의 전반적 구조를 확인하고 주요 Feature의 역할을 파악하는 과정이 필수적이다.

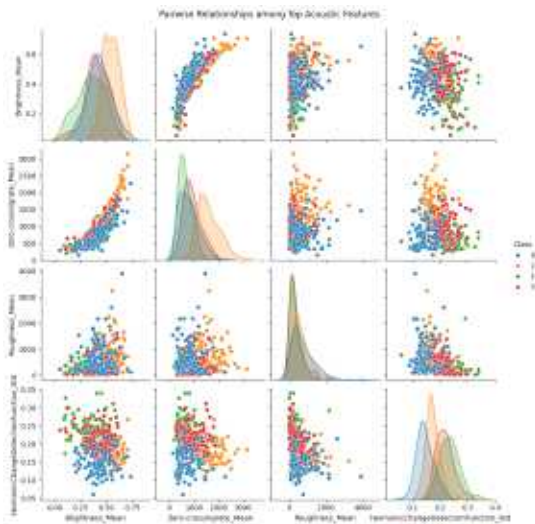


그림 1. 주요 변수 간 Pairplot

그림 1은 주요 변수인 Brightness, Zero-crossingrate, Roughness 등에 대한 Pairplot 분석 결과로 다음과 같은 특징이 발견되었다.

- 감정별 군집화: Zero-crossingrate(제로 교차율)와 Roughness(거칠기) 변수의 산점도에서 ‘Angry’와 ‘Happy’ 감정은 높은 수치 구간에, ‘Relax’와 ‘Sad’ 감정은 낮은 수치 구간에 군집하는 경향을 보였다. 이는 소리의 거칠기와 변화율이 감정의 각성(Arousal) 차원을 구분하는 주요 척도임을 시사한다.
- 변수 간 상관성: Brightness와 Zero-crossingrate 간에는 양의 상관관계가 관찰되었으나, 감정 클래스별로 그 분포가 겹쳐 있어 비선형적 분류 모델이 필요함을 확인하였다.

단일 Feature만으로는 감정 간 경계가 충분히 분리되지 않았으나, Feature 조합이 늘어날수록 감정별 구조적 차이가 강화되는 경향이 확인되었다. 이는 음향 감정 데이터가 단순 선형 모델로는 설명하기 어려운 비선형적·다차원적 구조를 가진다는 점을 나타낸다.

3.2 주요 변수 중요도 분석

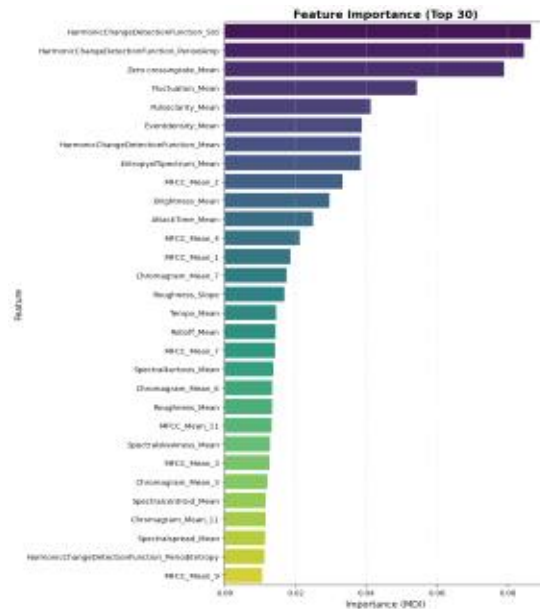


그림 2. 음악 감정 분류 모델의 변수 중요도

그림 2와 같이 Random Forest 모델을 통해 산출된 변수 중요도 분석 결과, 감정 분류에 가장 큰 영향을 미치는 상위 변수 3가지는 다음과 같다.

- HarmonicChangeDetectionFunction_Std (0.087): 화성 변화의 변동성을 나타내는 표준편차로, 곡 전반의 화성적 움직임이 감정 구분에 가장 중요한 요소임을 시사한다.
- HarmonicChangeDetectionFunction_PeriodAmp (0.085): 화성 변화 주기의 진폭 의미하며, 화성 패턴의 진폭 변화 또한 감정 구분에 높은 중요도를 보였다.
- Zero-crossingrate_Mean (0.079): 신호가 0을 기준으로 얼마나 자주 교차하는지를 나타내는 지표로, 음향 신호의 텍스처 변화나 소리의 거칠기와 관련된 특성이 감정 분류에 중요한 변수도 도출되었다. 이와 같은 결과는 음향적 특징 중 화성 변화와 신호 미세 구조가 감정 분류 성능에 핵심적인 역할을 함을 보여준다. 또한 상위 변수들이 공통으로 신호의 미세 변화량 또는 화성적 패턴의 변화성을 반영한다는 점은, 감정 분류가 단일 음향 특징보다 시간적, 구조적 변동(temporal

variation)에 더 크게 의존함을 보여준다. 즉, 특정 순간의 스펙트럼 값보다는 곡 전반에 걸친 변화 양상이 감정의 인지적 차별화에 중요한 역할을 하는 것으로 해석된다.

특히 Zero-crossingrate와 같은 고주파 미세 움직임을 반영하는 변수는 기존 MER(Music Emotion Recognition) 연구에서 각성(Arousal) 수준을 구분하는 핵심 지표로 언급되었으며, 본 연구에서도 동일한 경향이 재확인되었다[8][9]. 이는 감정 분류 모델이 단순 분류를 넘어 심리 음향적 구조를 반영해 작동하고 있음을 시사한다.

3.3 모델 성능 평가 및 검증

상위 30개 변수를 기반으로 구축한 Random Forest 모델은 평가 데이터 셋에서 정확도 77.5%, Macro F1-Score 0.77을 기록하였다. 이는 전체 데이터 셋을 활용한 모델 대비 성능 저하가 크지 않아, 주요 변수만으로도 감정 분류가 효과적으로 수행될 수 있음을 의미한다.

그림 3과 같이 혼동 행렬을 분석한 결과, 'Happy' 클래스는 재현율 1.00으로 모든 사례를 정확하게 분류하였지만, 'Sad' 클래스의 재현율은 0.55로 상대적으로 낮은 성능을 보였다. 이는 'Sad' 감정 특성이 다른 감정들과 유사한 음향적 패턴을 공유하거나, 데이터의 클래스 불균형이 영향을 미쳤을 가능성을 시사한다.

추가로 'Sad' 클래스의 분류 성능이 낮게 나타난 것은, 해당 감정이 'Relax' 클래스와 음향적 특징에서 유사한 패턴을 공유하기 때문일 가능성이 높다. 두 감정 모두 템포가 느리고 고주파 성분이 적은 경향이 있어, 모델이 두 클래스를 구분하는 데 어려움을 겪은 것으로 보인다. 이는 향후 감정 분류 모델 개선 시 템포, 리듬 변화율, 스펙트럴 대비도(Spectral Contrast)와 같은 보조 변수를 추가로 고려할 필요성을 시사한다.

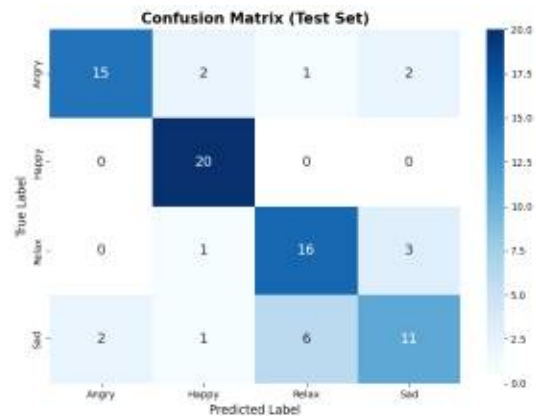


그림 3. 감정 분류 모델의 예측 성능 평가: 혼동행렬

그림 4와 같이 추가로 수행한 순열 중요도(Permutation Importance) 분석에서도 화성 변화 감지 함수 관련 변수들이 상위권을 유지하여, 해당 변수들의 예측 기여도가 통계적으로 안정적임을 재확인하였다.

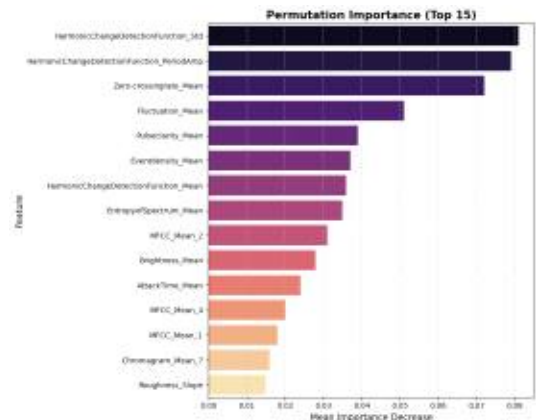


그림 4. 순열 중요도(Permutation Importance)

추가로, 상위 30개의 변수만을 사용했음에도 성능 저하가 거의 발생하지 않은 점은, 본 연구에서 도출된 중요 변수가 감정 분류의 핵심 정보 대부분을 포함하고 있음을 의미한다. 이는 향후 경량 모델(lightweight model) 개발이나 실시간 감정 인식 시스템 구축 시 처리 효율성을 크게 향상할 수 있는 근거가 된다.

IV. 결론 및 제언

본 연구는 음향 특성 데이터를 활용하여 음악 감정 분류 모델을 구축하면서, 탐색적 데이터 분석을 통해 변수 간의 관계와 감정별 분포 특성을 사전에 파악하고 이를 모델링 결과와 연계하였다. 연구 결과, 화성 변화의 변동성과 제로 교차율이 감정을 구분하는 핵심 변수임이 시각적 및 수치상으로 일관되게 확인되었다. 또한, 제안한 모델은 약 77.5%의 정확도를 달성하였으며, 이는 향후 음악 스트리밍 플랫폼에서 상황별 맞춤형 추천 서비스를 고도화하는 데 이바지할 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

- [1] J. W. Tukey, *Exploratory Data Analysis*. Reading, MA: Addison-Wesley, 1977.
- [2] T. Li and M. Ogihara, "Content-based music similarity search and emotion detection," in *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Process. (ICASSP)*, 2003, pp. 705-708.
- [3] Y.-H. Yang and H. H. Chen, "Machine recognition of music emotion: A review," *ACM Trans. Intell. Syst. Technol.*, vol. 3, no. 3, pp. 1-30, 2012.
- [4] B. J. Han, S. Rho, S. Jun, and E. Hwang, "Music emotion classification and context-based music recommendation," *Multimedia Tools Appl.*, vol. 47, no. 3, pp. 433-460, 2010.
- [5] M. McKinney and J. Breebaart, "Features for audio and music classification," in *Proc. Int. Conf. Music Inf. Retrieval (ISMIR)*, 2003.
- [6] L. Breiman, "Random forests," *Mach. Learn.*, vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001.
- [7] C. Strobl, A.-L. Boulesteix, T. Kneib, T. Augustin, and A. Zeileis, "Conditional variable importance for random forests," *BMC Bioinf.*, vol. 8, art. 25,

2007.

- [8] B. Schuller et al., "The INTERSPEECH 2010 paralinguistic challenge," in *Proc. INTERSPEECH*, 2010, pp. 2794-2797.
- [9] Y.-H. Yang, Y.-C. Lin, Y.-F. Su, and H. H. Chen, "A regression approach to music emotion recognition," *IEEE Trans. Audio, Speech, Lang. Process.*, vol. 16, no. 2, pp. 448-457, 2007.

핀테크 플랫폼의 리스크 관리를 위한 XAI 기반 신용카드 연체 예측 모델

유지우*, 손가영**, 하서영***, 김주혜****, 문지훈*****

XAI-Based Credit Card Default Prediction Model for Risk Management on Fintech Platforms

Ji-Woo You, Ga-Young Son**, Seo-Young Ha***, Ju-Hye Kim**** and Jihoon Moon******

요 약

핀테크 산업의 급성장과 함께 비대면 금융 거래가 증가함에 따라, 신용 리스크를 조기에 식별하고 관리하는 것은 플랫폼의 건전성을 좌우하는 핵심 과제이다. 본 연구는 UCI Credit Card Default 데이터 셋을 활용하여 신용카드 연체 여부를 예측하는 기계학습 모델을 구축하고, 설명 가능한 인공지능을 도입하여 모델의 불투명성을 해소하고자 하였다. 데이터의 신뢰성을 확보하기 위해 음수 청구 금액 등 이상치를 정제하고, 교육 및 결혼 상태 변수를 재범주화하는 전처리 파이프라인을 설계하였다. 랜덤 포레스트 기반의 예측 모델링 결과, 정확도 약 80%의 성능을 확보하였으며, SHAP 및 LIME 분석을 통해 '최근 상환 현황(PAY_0)'과 '신용한도(LIMIT_BAL)'가 연체를 결정짓는 가장 유의미한 변수임을 규명하였다. 본 연구는 블랙박스 모델의 한계를 극복하고, 금융 실무자가 직관적으로 활용할 수 있는 리스크 관리 대시보드의 기준 모델로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

Key words

Fintech Risk Management, Credit Default Prediction, Random Forest, Explainable AI, SHAP

I. 서 론

전통적인 금융권뿐만 아니라 빅테크 기업들이 주도하는 핀테크 플랫폼 시장에서도 신용카드 연체 예측은 수익성 확보와 건전성

* 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (jiwoo24@duksung.ac.kr)
 ** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (bwkid2005@duksung.ac.kr)
 *** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (gktjdud0716@duksung.ac.kr)
 **** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 학부생 (podo315315@duksung.ac.kr)
 ***** 덕성여자대학교 데이터사이언스학과, 교수, 교신저자 (jmoon25@duksung.ac.kr)

관리를 위한 필수적인 프로세스로 자리 잡고 있다. 기존의 신용평가 모형(CSS)은 통계적 기법에 의존하여 해석력은 높으나 비선형적인 금융 데이터의 패턴을 포착하는 데 한계가 있었다. 이에 최근 기계학습(Machine Learning)을 활용한 고도화된 예측 모델이 도입되고 있으나, 복잡한 알고리즘 특성상 예측의 근거를 설명하기 어려운 '블랙박스(Black-box)' 문제가 실무 적용의 걸림돌로 작용하고 있다[1].

따라서 본 연구는 대만 신용카드 고객 데이터를 기반으로 데이터 품질을 높이기 위한 정교한 전처리 과정을 수행하고, 랜덤 포레스트 알고리즘을 통해 연체 가능성을 예측하는 모델을 구축하고자 한다. 더 나아가, SHAP (SHapley Additive exPlanations)과 LIME (Local Interpretable Model-agnostic Explanations) 기법을 적용하여 모델이 특정 고객을 고위험군으로 판단한 원인을 시각적으로 규명함으로써, 핀테크 플랫폼 운영자가 선제적인 리스크 관리를 수행할 수 있는 설명 가능한 의사결정 지원 시스템을 제안하는 것을 목적으로 한다.

II. 데이터 및 연구 방법

2.1 데이터 셋 및 전처리 파이프라인

본 연구는 UCI Machine Learning Repository에서 제공하는 대만 신용카드 고객 연체 데이터 셋(30,000)건을 활용하였다 [2]. 데이터의 정합성을 확보하기 위해 다음과 같은 단계적 전처리 파이프라인을 적용하였다.

첫째, 청구 금액(BILL_AMT)이 음수(-)인 논리적 오류가 포함된 데이터를 식별하여 해당 고객군을 분석 대상에서 제외하였다.

둘째, 범주형 변수의 희소성을 해결하기 위해 EDUCATION(교육수준) 변수의 '기타' 및 '불명' 항목을 단일 범주로 통합하고, 의미

없는 '0' 값은 제거하였다. MARRIAGE(결혼 여부) 변수 또한 데이터 수가 극히 적은 '0' 그룹을 제거하여 모델의 안정성을 높였다.

셋째, 상환 상태(PAY_0~PAY_6) 변수 내의 '-2'와 '-1' 값은 모두 '정상 납부'를 의미하므로, 이를 '-1'로 통일하여 변수의 차원을 축소하고 해석의 용이성을 확보하였다.

2.2 탐색적 데이터 분석

변수 간의 관계를 파악하기 위해 히스토그램과 상관관계 분석을 수행하였다. 분석 결과, 연체 여부(Target)는 비연체 (77.5%), 연체(22.5%)로 분포하여 연체 고객 비율이 상대적으로 낮은 클래스 불균형 데이터임을 확인하였다. 수치형 변수 분석에서는 신용한도(LIMIT_BAL)가 낮을수록 연체율이 급격히 증가하는 반비례 관계가 관찰되었지만, 연령(AGE) 변수는 연체 그룹 간 분포 차이가 미미하여 변별력이 낮은 것으로 나타났다.

2.3 예측 모델링 및 XAI 적용

연체 예측을 위해 앙상블 기법인 Random Forest Classifier를 사용하였으며[3], 클래스 불균형을 고려하여 학습 데이터와 테스트 데이터를 계층적 샘플링(Stratified Sampling)으로 분할하였다. 모델의 해석력을 높이기 위해 전역적 해석(Global Interpretability) 도구인 SHAP Summary Plot과 국소적 해석(Local Interpretability) 도구인 LIME 및 Waterfall Plot을 복합적으로 적용하였다[1][4].

III. 분석 결과

3.1 주요 변수의 분포 및 상관성 분석

수치형 변수와 연체율 간의 관계를 시각화한 결과는 그림 1과 같다. 신용한도(LIMIT_BAL)는 구간별 연체율 차이가 뚜렷

하게 나타나(저한도 구간의 연체율이 32.2%로 고한도 구간(14.3%)보다 약 두 배 이상 높게 나타남), 신용 능력이 연체와 직결됨을 보여주었다. 반면, 청구 금액(BILL_AMT)은 연체 여부에 따른 분포 차이가 거의 나타나지 않아 단독 변수로서의 예측력은 제한적인 것으로 판단된다.

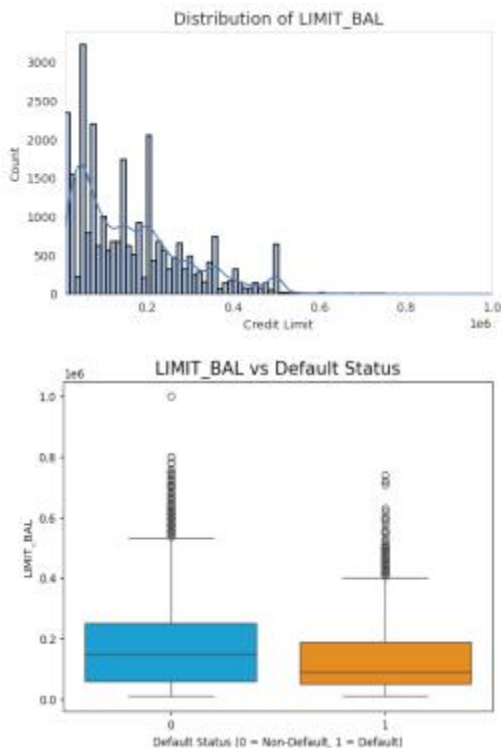


그림 1. 주요 변수(신용한도, 나이) 분포 및 연체율 비교

그림 2를 통해 변수 간 상관관계를 분석하였으며, 해당 히트맵에서는 PAY_0와 PAY_2 등 최근 상환 이력 변수 간에 강한 다중공선성이 관찰되었으나, 연체 여부(Target)와 가장 높은 양의 상관관계를 보여 핵심 예측 인자임을 시사하였다.

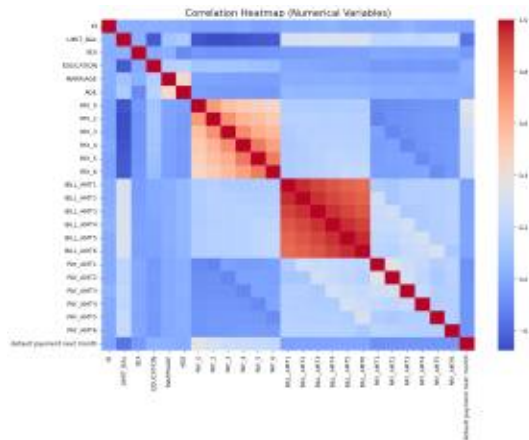


그림 2. 수치형 변수 간 상관관계 히트맵

3.2 모델 성능 및 변수 중요도

구축된 랜덤 포레스트 모델은 5겹 교차검증에 대해 약 80%의 정확도(Accuracy)를 기록하였다. 모델의 전역적 판단 기준을 확인하기 위해 SHAP Summary Plot을 분석한 결과(그림 3), PAY_0(최근 월 상환 상태)가 가장 압도적인 영향력을 행사하는 것으로 나타났다. 특히 PAY_0 값이 클수록(연체 기간이 길수록) SHAP 값이 양(+)의 방향으로 증가하여 연체 확률을 높이는 패턴을 보였으며, 반대로 LIMIT_BAL은 값이 클수록 연체 확률을 낮추는 음(-)의 영향력을 보였다.

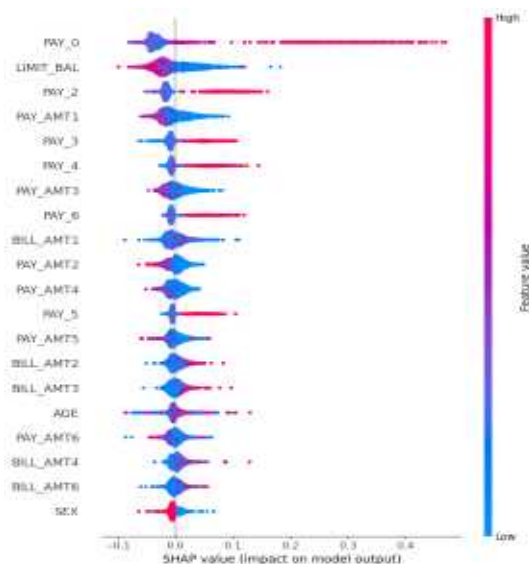


그림 3. 모델의 전역적 해석(SHAP Summary Plot)

3.3 개별 고객 리스크 분석

특정 고객의 연체 원인을 규명하기 위해 SHAP Waterfall Plot을 적용한 결과는 그림 4와 같다. 해당 고객의 경우, 낮은 신용한도 (LIMIT_BAL = 50,000)와 과거 연체 이력이 복합적으로 작용하여 연체 확률이 기저 확률(Base Value)보다 크게 상승했음을 정량적으로 확인할 수 있었다.

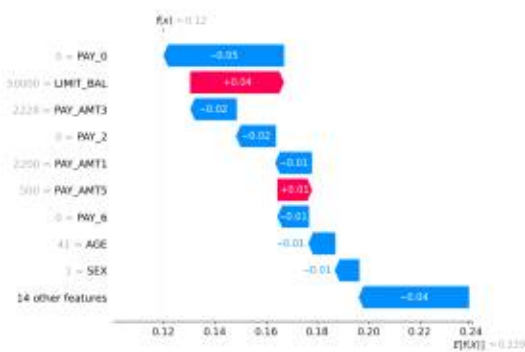


그림 4. 개별 고객 위험도 분석(SHAP Waterfall Plot)

또한 그림 5의 LIME 분석 결과에서도 동일한 변수들이 연체 예측의 주요 근거로 제시되어, 모델의 판단이 일관성 있고 신뢰할 수 있음을 입증하였다.



그림 5. 개별 고객 설명(LIME)

IV. 결론 및 제언

본 연구는 핀테크 플랫폼 환경에서 신용카드 연체를 사전에 예측하고 관리하기 위한 기계학습 기반의 분석 프레임워크를 제시하였다. 실증 분석 결과, 최근의 상환 이력 (PAY_0)과 신용 한도(LIMIT_BAL)가 연체를 예측하는 가장 강력한 선행 지표임이 밝혀

졌다. 특히 본 연구에서 적용한 설명 가능한 인공지능 기법은 단순히 연체 확률의 크기만 제시하는 데 그치지 않고, ‘이 고객이 왜 위험한가?’에 대한 변수별 기여도를 시각적으로 제시함으로써 의사결정의 투명성을 높여 준다.

이러한 결과는 플랫폼 운영자가 고위험 고객에게 선제적인 알리를 발송하거나, 개인화된 한도 조정(Credit Line Management) 전략을 수립하는 데 즉각적으로 활용될 수 있다. 향후 연구에서는 불균형 데이터 처리를 위한 SMOTE 기법 적용 및 딥러닝 기반의 시계열 분석 모델과의 성능 비교를 통해 시스템의 고도화를 추진하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] M. T. Ribeiro, S. Singh, and C. Guestrin, “Why should I trust you? Explaining the predictions of any classifier,” in Proc. 22nd ACM SIGKDD Int. Conf. Knowledge Discovery and Data Mining, 2016, pp. 1135-1144.
- [2] I. C. Yeh and C. Lien, “The comparisons of data mining techniques for the predictive accuracy of probability of default of credit card clients,” Expert Syst. Appl., vol. 36, no. 2, pp. 2473-2480, 2009.
- [3] L. Breiman, “Random forests,” Mach. Learn., vol. 45, no. 1, pp. 5-32, 2001.
- [4] S. M. Lundberg and S.-I. Lee, “A unified approach to interpreting model predictions,” in Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS), 2017, pp. 4765-4774.

패스트푸드 리뷰 분석 기반 브랜드 운영 인사이트와 모델 비교 및 대시보드 활용 연구

이봉헌*, 유재윤**, 정영애***

Brand Insights and Model Comparison through Fast-Food Review Analysis

Bongheon Lee, Jaeyoon Yoo**, Young-Ae Jung****

요 약

본 연구는 카카오맵과 요기요에서 수집한 대규모 패스트푸드 리뷰 데이터를 기반으로 감성 분석, 문서 요약, 토픽 모델링을 수행하여 브랜드·지역·플랫폼별 고객 경험 인사이트를 도출하는 것을 목표로 한다. 실제 리뷰 데이터는 HTML 정적 요소와 AJAX 응답을 파싱하여 수집하였으며, 매장명 통일화, 시도 수준의 지역 정보 추가, 형태소 기반 토큰화 및 불용어 제거 등 한국어 특화 전처리 파이프라인을 구축하였다. 감성 분석에서는 VADER, KoBERT, KoELECTRA, OktML의 성능을 비교하여 OktML을 최종 모델로 선정하고 전체 리뷰에 적용하였다. 문서 요약은 TextRank·LexRank(추출)와 KoBART·KoT5(생성)를 대상으로 ROUGE 지표를 통해 성능을 평가하였으며, 리뷰 길이 분포와 워드클라우드 분석을 통해 서술 구조 및 플랫폼 간 표현 차이를 검토하였다. 또한 Sentence-BERT 임베딩을 활용한 SVD+MiniBatchKMeans 기반 토픽 모델링을 통해 브랜드·플랫폼·지역별 핵심 주제를 추출하였다. 최종적으로 감성 추이, 히트맵, 지도 기반 시각화를 통합 분석하여, 국내 패스트푸드 리뷰의 구조적 특성과 브랜드·지역·플랫폼별 고객 경험 차이를 정량적으로 규명하고, 온라인 리뷰 데이터를 활용한 외식 소비 분석의 방법론적 기반을 성공적으로 제시하였다.

Key words

Sentiment Analysis, Document Summarization, Topic Modeling, KakaoMap, Yogiyo, Korean Review Mining, Fast-food Brands

* 선문대학교 AI소프트웨어학과, 학부생 (bongbong9292@naver.com)
 ** 선문대학교 AI소프트웨어학과, 학부생 (zoroi24@naver.com)
 *** 선문대학교 AI소프트웨어학과, 교수, 교신저자 (yajung@sunmoon.ac.kr)

I. 서론

온라인 리뷰 데이터는 소비자의 실제 경험과 평가가 자연스럽게 축적되는 자료로, 서비스 품질 모니터링과 브랜드 운영 전략 수립에서 중요한 근거로 활용된다. 특히 외식 산업은 서비스 전달 과정에서 발생하는 변수(조리 품질, 대기시간, 배달 문제 등)가 고객 만족도에 직접적으로 영향을 미치기 때문에, 대규모 리뷰의 체계적 분석은 운영 개선뿐 아니라 지역·시간대별 수요 특성을 이해하는 데 필수적이다.

카카오맵과 요기요는 각각 방문 기반 리뷰와 배달 기반 리뷰가 축적된 국내 주요 플랫폼으로, 동일 브랜드라도 두 플랫폼에서 나타나는 감성·길이·서술 방식이 상당히 다르게 나타난다. 이러한 플랫폼 간 구조적 차이는 단일 플랫폼 분석만으로는 파악하기 어려운 고객 경험의 다차원적 특성을 드러낼 수 있다는 점에서 중요한 연구적 가치를 가진다.

본 연구는 롯데리아, 맥도날드, 버거킹의 대규모 리뷰를 기반으로 데이터 수집부터 전처리, 감성 분석, 문서 요약, 토픽 모델링, 대시보드 시각화까지 이어지는 통합 분석 체계를 제안한다. 이를 통해 브랜드 특성, 플랫폼 간 차이, 지역·시간대별 패턴을 정량적으로 비교하고, 각 브랜드와 플랫폼이 제공하는 고객 경험의 구조적 특징을 도출하고자 한다. 나아가 텍스트 기반 분석의 한계를 보완하기 위해 생성 요약과 감성 분석을 결합하여, 표면적으로 드러나지 않는 불만 요인이나 반복되는 문제 유형을 식별하는 새로운 해석 방법을 제시한다.

II. 데이터 및 방법

2.1 데이터 수집

데이터 수집 과정은 플랫폼 구조를 고려하여 별도의 절차로 수행되었다. 먼저 카카오맵

의 경우 Local API를 활용해 전국 매장을 탐색하고, 수집된 place_id를 기반으로 리뷰 페이지의 DOM 구조를 분석하였다. 스크롤 이벤트와 '더보기' 버튼을 자동화하여 모든 리뷰를 로딩한 뒤, HTML 파싱을 통해 날짜, 평점, 리뷰 텍스트를 수집하였다. 카카오맵 리뷰는 짧고 간결한 문장이 많으며 긍정 표현이 높은 비중을 차지한다는 특징을 가진다. 이는 방문 경험에서 즉흥적 만족을 간단히 표현하는 경향이 반영된 것으로 해석된다.

반면 요기요는 배달 기반 서비스의 특성상 사용자 경험이 상세하게 기록되는 경향이 있어, 리뷰 길이가 길고 서술적이며 문제 상황이 구체적으로 기술되는 경우가 많다. 연구에서는 각 매장의 고유 URL을 직접 요청하여 리뷰 리스트를 파싱하고, 본문·날짜·평점을 구조화하였다. 또한 store_name, date, content를 조합하여 중복을 제거해 데이터 품질을 확보하였다.

이처럼 두 플랫폼에서 수집된 리뷰는 양적 측면뿐 아니라 질적 측면에서도 확연히 다른 분포를 나타내며, 이러한 이질성을 통합 분석함으로써 브랜드·지역·시간대 단위의 패턴을 보다 입체적으로 이해할 수 있게 된다.

2.2 전처리 및 다중 파이프라인 설계

리뷰 텍스트는 감성 분석, 요약 모델, 토픽 모델링 등 다양한 목적에 활용되기 때문에, 단일 전처리 방식으로는 모든 모델에서 최적의 성능을 기대하기 어렵다. 이에 따라 공통 정제 과정을 거친 뒤 분석 목적에 따라 네 가지 분기 전처리 파이프라인을 설계하였다.

첫째, HTML 태그·URL·광고성 텍스트 제거 및 중복 표현 정규화 등 기본 정제 과정을 수행하였다. 둘째, 감성 분석용 텍스트는 문장 구조를 보존하여 Transformer 기반 모델이 원래 의미 구조를 파악할 수 있도록 구성하였다. 셋째, TextRank와 토픽 모델링에 활용되는 텍스트는 의미 단위 분석을 방해하는

이모지·특수문자·중복 기호를 제거하고 핵심 어휘 중심의 문서 형태로 정제하였다. 넷째, KoBART·KoT5와 같은 생성 모델 입력에는 자연스러운 문장 생성이 가능하도록 표현을 보존하는 방향으로 처리하였다.

이와 같은 다중 파이프라인 방식은 동일 리뷰 데이터를 다양한 NLP 모델 실험에 재사용할 수 있도록 설계된 점에서 효율적이며, 결과적으로 모델 비교의 신뢰성을 높이는 역할을 한다.

Ⅲ. 감성 분석 및 요약 모델 비교

3.1 감성 분석 모델 비교

감성 분석 모델 비교는 플랫폼×브랜드 조합별로 수집한 리뷰 중 600개를 직접 라벨링하여 구성된 평가셋을 기반으로 수행되었다. 비교 대상 모델에는 규칙 기반(VADER), 사전학습형 Transformer(KoELECTRA, KoBERT), 전통 머신러닝(OktML)이 포함되었다.

전체 정확도에서 OktML은 0.985로 가장 높은 성능을 나타냈으며, 플랫폼별로도 카카오맵에서 0.973, 요기요에서 0.997로 매우 안정적인 결과를 보였다. 리뷰 길이 구간에서도 동일한 우위가 확인되어, 한국어 리뷰 환경에서 OktML이 신뢰도 높은 기준 모델임을 확인할 수 있었다. 이에 따라 대시보드 구성 및 후속 분석은 OktML 기반 감성 결과를 중심으로 진행되었다.

3.2 문서요약모델 및 하이브리드전략

문서 요약 모델 비교는 추출 요약(TextRank, LexRank)과 생성 요약(KoBART, KoT5)을 대상으로 ROUGE 지표를 활용해 평가하였다. 전체적으로 KoT5가 가장 우수한 성능을 보였으며, 특히 장문 리뷰에서 다른 모델 대비 높은 재현율과 정확도를 나타냈다. 반면 짧은 리뷰에서는 추출 요

약 모델과 성능 차이가 크지 않아, 리뷰 길이에 따라 적합한 요약 방식이 있음을 확인할 수 있었다.

이러한 결과를 기반으로, 리뷰 길이 30자를 기준으로 단문에는 TextRank, 장문에는 KoT5를 적용하는 하이브리드 전략을 구성하였다. 더불어 감성 분석과 요약 결과를 결합한 분석에서는, 감성 라벨은 긍정으로 분류되었으나 요약문에서 불만 요소가 드러나는 “숨은 불만” 사례가 확인되었고, 반복되는 문제 유형이 딱 한 문장으로 압축되는 현상을 관찰되었다. 이는 고객 불만의 구조적 원인을 파악하는 데 유용한 단서를 제공한다.

Ⅳ. 대시보드 기반 인사이트

4.1 대시보드 구성

대시보드는 브랜드, 매장 좌표, 감성 점수, 요약문, 토픽 정보 등을 통합한 마스터 데이터프레임을 기반으로 구성하였다. 지도 시각화, 감성 분포, 시계열 변화, 지역별 집계, 문제 유형별 토픽 구조 등 총 10개의 화면으로 설계하였으며, 브랜드·플랫폼·지역·연도 필터를 공통으로 적용하여 다양한 분석 조건을 손쉽게 탐색할 수 있도록 하였다.

4.2 브랜드·플랫폼 인사이트

브랜드별 감성 구조는 서로 다른 형태로 나타났다. 롯데리아는 평균 감성이 상대적으로 높으나 일부 매장에서 급격히 낮은 점수가 출현하는 양극화 현상이 확인되었다. 버거킹은 조리 상태·온도·일관성에 대한 불만이 반복적으로 나타났고, 맥도날드는 대기시간·키오스크·주문 누락 등 운영 절차와 관련된 문제 비중이 높았다.

플랫폼 비교에서는 요기요가 배달 과정에서 의 문제 상황을 구체적으로 기술하는 경향이 강해 감성 점수의 변동 폭이 크고 부정 비중이 상대적으로 높았다. 반면 카카오맵은

단문 긍정 리뷰가 다수이며, 방문 경험 중심의 평판을 탐지하는 데 적합한 구조를 보였다.

4.3 지역·시계열·매장 인사이트

지역 분석에서는 대도시에서 감성 점수가 상대적으로 낮고 표준편차가 크게 나타났다. 이는 유동 인구 증가와 매장 포화도가 서비스 안정성에 영향을 미친 결과로 해석할 수 있다. 반면 일부 중소도시는 평균 감성이 높고 변동성이 작아 비교적 안정적인 서비스 품질을 유지하는 것으로 나타났다.

시계열 분석에서는 주말마다 감성 점수가 일시적으로 하락하는 규칙적 패턴이 확인되었으며, 특히 요기요와 대도시 조합에서 하락 폭이 두드러졌다. 이는 배달 수요 증가에 따른 운영 부담과 직결되는 현상으로 볼 수 있다.

매장 단위 분석에서는 리뷰 수와 평균 감성을 함께 고려한 산점도를 통해 우수 매장과 리스크 매장을 명확히 구분할 수 있었다. 또한 특정 매장에서 반복적으로 등장하는 문제 유형(예: 포장 누락, 배달 지연, 조리 불량)을 요약문과 토픽 구조를 통해 추출하여 직접적인 개선 방향을 제안할 수 있었다.

V. 윤리 및 데이터 준수

본 연구는 리뷰 데이터를 활용하는 과정에서 개인정보 보호와 데이터 취급의 적절성을 중요하게 고려하였다. 수집된 모든 정보는 카카오톡과 요기요의 공개 웹페이지에서 제공되는 범위에 한정되었으며, 비공개 API 접근이나 계정 기반 정보 수집과 같은 방식은 사용하지 않았다. 리뷰 원문에 포함될 수 있는 닉네임, 연락처, 주소 등 개인 식별 가능성이 있는 요소는 초기 단계에서 배제하였고, 분석 결과 역시 개별 리뷰가 직접적으로 노출되지 않도록 집계 수준에서 제시하였다.

또한 플랫폼 간 구조적 차이에서 비롯되는 잠재적 편향을 줄이기 위해, 각 플랫폼의 리뷰 길이·서술 방식·감성 분포의 차이를 사전에 검토하고 해석 과정에서 이를 반영하였다. 감성 분석 모델의 오분류 경향도 라벨링 데이터와 비교하여 점검함으로써 분석 결과의 신뢰도를 확보하였다. 전처리 규칙, 모델 파라미터, 사용된 패키지 등 실험 환경을 문서화하여 재현성을 보장한 점 역시 본 연구의 중요한 윤리적 고려 사항이다.

VI. 결론

본 연구는 방문 기반과 배달 기반 리뷰를 통합 분석하여 브랜드·플랫폼·지역·시간대별 고객 경험 차이를 정량적으로 규명하였다. 한국어 리뷰의 구조적 특성을 반영한 다중 전처리 파이프라인을 구축하고, 감성 분석 모델 비교를 통해 OktML이 가장 안정적으로 작동함을 확인하였다. 또한 추출·생성 요약 모델을 비교한 결과, 리뷰 길이에 따라 적합한 방식이 달라짐을 확인하고 이를 기반으로 실용적인 하이브리드 요약 전략을 제안하였다.

브랜드·플랫폼 분석에서는 조리 품질, 운영 절차, 배달 안정성 등 문제 유형이 서로 다르게 나타났으며, 지역·시간대 분석에서는 대도시·주말·배달 플랫폼 조합에서 부정 감성이 집중되는 경향이 확인되었다. 이는 리뷰 데이터가 단순 만족도 측정을 넘어 실제 운영상의 반복적 문제를 식별하는 데 유용한 근거가 될 수 있음을 보여준다.

향후 연구에서는 플랫폼·기간을 확대하거나, 대규모 한국어 언어모델을 활용해 감성·요약·토픽 분석을 통합한 해석 체계를 구축할 수 있을 것이다. 본 연구에서 제시한 분석 파이프라인은 실무 환경에서도 적용 가능하며, 서비스 품질 관리와 고객 경험 개선을 위한 의사결정 도구로 활용될 수 있다.

감사의 글

"본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부
및 정보통신기획평가원의 'SW중심대학지
원사업의 연구 결과로 수행되었습니다
(2024-0-00023)"

고속도로 휴게소 리뷰 기반 감성 인텔리전스 (입점 브랜드 분석 및 의사결정 지원 대시보드)

김준혁*, 성찬영**, 이진우***, 박형규****, 정영애*****

Sentiment Intelligence and Analysis of On-Board Brands based on Highway Service Area Reviews

Jun-Hyeuk Kim, Chan-Young Sung**, Jin-Woo Lee***, Hyeong-Gyu Park****, Young-Ae Jung******

요 약

기존 고속도로 휴게소 만족도 평가는 단순 평점 시스템의 한계로 인해 시설과 입점 브랜드 만족도를 명확히 구분하지 못하는 문제점을 가진다. 본 연구는 이러한 분석적 공백을 해소하기 위해 리뷰 약 31만 건을 활용하여 휴게소 시설/경험 및 입점 카페 브랜드에 대한 객관적인 감성 인텔리전스 시스템 구축을 목표로 한다. 핵심 방법론으로, 감성 분석의 정확도 향상을 위해 KoBERT 모델을 모호한 중립 표현을 포착하는 3-Class 분류 구조로 재설계하였으며, 문맥 단절 문제를 해결하기 위해 모델의 최대 입력 토큰을 활용하는 '단일 패스 입력 최적화' 방식이 적용된 KoBART 모델을 최종 선정했다. 최종 구축된 웹 대시보드는 노선별 감성 평판과 입점 브랜드 현황을 시각적으로 제공하며, 감성 분석 기반의 우수 평가 휴게소 식별 및 리뷰 수를 활용한 최적 입지 추천 등 운영 주체의 실질적인 의사 결정을 지원하는 시스템을 구현한다.

Key words

Data Intelligence, KoBERT, Sentiment Analysis, Text Summarization, Highway Service Area

I. 서 론

최근 고속도로 휴게소는 단순한 휴식 공간

을 넘어 쇼핑, 문화, 식음료가 결합된 복합 문화 공간으로 진화하고 있다. 그러나 기존의 단순 평점 시스템만으로는 이용객의 휴게소

* 선문대학교, 학부생, (wnsgur3592@gmail.com)
** 선문대학교, 학부생, (chanyounng6@gmail.com)
*** 선문대학교, 학부생, (1604jw40@gmail.com)
**** 선문대학교, 학부생, (gudrb1038@gmail.com)
***** 선문대학교, 교수, (교신저자), (yajung@sunmoon.ac.kr)

시설 자체에 대한 만족도와 입점 프랜차이즈 브랜드(카페 등)에 대한 만족도를 명확히 구분하기 어려운 한계가 존재한다.

이에 본 연구는 Google Maps의 이용객 리뷰 데이터를 활용하여 '휴게소 시설/경험'과 '입점 카페 브랜드'라는 두 가지 핵심 도메인을 분리하여 분석하고, 이를 기반으로 객관적인 인사이트를 제공하는 감성 지능 시스템을 구축하고자 한다. 주요 연구 목표는 첫째, 전국 휴게소의 시설, 서비스, 청결도 등에 대한 감성 분석을 수행하여 트렌드를 파악하는 것이다. 둘째, 휴게소 내 입점한 주요 카페 브랜드의 점유율 및 분포 현황을 통계적으로 분석하는 것이다. 셋째, 지도 시각화를 통해 분석 결과를 직관적으로 제공하여 신규 휴게소 건설이나 리모델링 시 의사결정을 지원하는 것이다.

II. 데이터 수집 및 분석

2.1 데이터 수집 및 전처리

데이터 수집 및 정제분석을 위한 데이터셋으로는 한국도로공사 휴게소 정보(211개소), 지방행정인허가 데이터(휴게음식점), 그리고 Google Maps 리뷰(약 31만 건)가 활용되었다. 수집 단계에서 공공 데이터의 행정 명칭과 지도 서비스의 등재 명칭 간 불일치 문제가 발생함에 따라, 전수 조사를 통해 검색 엔진에 최적화된 '검색용 명칭(Ground Truth)'을 정의하여 크롤링의 완결성을 확보하였다. 또한, 휴게소와 인근 카페 데이터를 결합하기 위해 좌표 기반의 반경 매칭과 매칭 개선 알고리즘을 적용하여 입점 브랜드 데이터의 정확도를 높였다.

수집된 데이터는 그 특성에 따라 독립적인 파이프라인을 거친다. 카페 데이터는 업종, 영업 여부, 브랜드 키워드를 기반으로 한 3단

계 필터링을 통해 유효한 매장만을 선별하였다. 리뷰 텍스트 데이터는 KoNLPy를 활용한 정규화와 비식별화 과정을 거친 후, 모델별 목적에 맞춰 가공되었다. 규칙 기반 분석을 위해서는 문장 부호와 이모티콘을 보존하였으며, 딥러닝 모델 학습을 위해서는 특수문자를 제거하여 임베딩 효율을 최적화하였다.

2.2 감성 인텔리전스 모델링

KoBERT 기반 분석을 수행했을 때 2-Class(긍정/부정) 감성 분석은 "나쁘지 않다"와 같은 중립적이고 모호한 표현을 효과적으로 학습하지 못하는 한계가 있다. 이를 극복하기 위해 제안하는 모델은 KoBERT(Korean BERT)의 출력층을 긍정, 중립, 부정의 3-Class 구조로 재설계하였다. 학습 과정에서는 배치 사이즈를 가상으로 늘리는 Gradient Accumulation과 Warmup Scheduler를 적용하여 학습 안정성을 확보하였으며, 그 결과 KNU 감성 사전 대비 우수한 F1-Score를 달성하여 최종 분석 엔진으로 선정하였다.

수천 건의 리뷰를 통합 분석할 때 발생하는 '긴 문맥' 처리 문제를 해결하기 위해, 계층적 요약 알고리즘을 자체 구현하여 적용하였으나 문서를 분할할 경우 문맥이 단절되는 문제가 발생하였다. 이에 개별 리뷰들을 하나의 텍스트 스트림으로 통합하고, 모델의 최대 입력 토큰(1,024 토큰)을 활용하는 '단일 패스 입력 최적화' 방식을 적용하였다. 정답 요약문이 부재한 문제를 해결하기 위해 연구진 교차 검증을 통한 '전문가 요약문'을 직접 구축하였으며, 이를 기반으로 산출한 ROUGE Score를 통해 모델의 요약 성능을 정량적으로 검증하였다. 이를 통해 정성적 평가와 ROUGE Score 기반의 정량적 평가 모두에서 추출 요약 방식보다 높은 문맥 자연스러움과 정보 밀도를 확인하였다.



그림 1. ROUGE 성능 비교 결과 이미지

2.3 시각화 대시보드 구현

분석 결과는 Kakao Maps API 기반의 웹 대시보드를 통해 시각화된다. 구축된 시스템은 마커를 효율적으로 표현하기 위해 지능형 클러스터링 기술을 적용하였으며, 사용자의 줌 레벨에 따라 지역별 통계와 개별 휴게소 정보를 동적으로 제공한다. 사용자는 노선별, 지역별 필터를 통해 원하는 정보를 탐색할 수 있다.



그림 2. 죽암 휴게소와 입점 카페 이미지

단순 평점을 넘어 휴게소의 평가와 입점 브랜드 비율을 분리하여 제시한다. 이는 운영 주체가 '우수 평가 휴게소'의 특징을 벤치마킹하거나, 리뷰 수 기반의 수요 예측을 통해 신규 출점 전략을 수립하는 데 있어 정량적인 의사결정 지표로 활용할 수 있다.



그림 3. 웹 대시보드 이미지

III. 결 론

고속도로 휴게소 리뷰 데이터를 활용하여 시설 만족도와 입점 브랜드 현황을 분석하는 감성 인텔리전스 시스템을 구축하였다. 특히 데이터 수집의 난제였던 명칭 불일치 문제를 수동 정제로 해결하고, KoBERT 3-Class 재설계 및 단일 패스 KoBART 요약어를 통해 분석의 정확도를 확보하였다.

구축된 시스템은 다음과 같은 비즈니스 및 정책적 활용 가치를 가진다. 첫째, 감성 분석 결과를 기반으로 우수 평가 휴게소를 식별하여 휴게소 추천 전략 수립을 지원한다. 둘째, 리뷰 수를 수요의 대리 지표로 활용하여 신규 휴게소 건설 시 최적의 입지 선정에 대한 데이터 기반 추천 정보를 제공한다. 본 연구 결과가 휴게소 서비스 품질 향상과 효율적인 운영 관리에 기여할 것으로 기대된다.

감사의 글

"본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 'SW중심대학지원사업'의 연구 결과로 수행되었습니다"(2024-0-00023)

참 고 문 헌

- [1] SKT Brain, "KoBERT: Korean BERT pre-trained cased (v1)," <https://github.com/SKTBrain/KoBERT>, 2019.
- [2] Haven-Jeon, "KoBART Summarization," <https://www.google.com/search?q=https://github.com/haven-jeon/KoBART-summarization>, 2021.
- [3] KNU 한국어 감성사전, <http://dilab.kunnsan.ac.kr/knusl.html>.
- [4] 휴게소 만족도 점수, <https://www.data.go.kr/data/15043718/fileData.do>
- [5] 휴게소 만족도 점수, https://data.ex.co.kr/portal/docu/docuList?datasetId=635&serviceType=&keyWord=%ED%9C%B4%EA%B2%8C%EC%86%8C%20%EB%A7%8C%EC%A1%B1%EB%8F%84%20&searchDayFrom=undefined&searchDayTo=undefined&CATEGORY=&GROUP_TR=&sid=635
- [6] 이용자측면의 고속도로 휴게소 서비스 평가지표 개발 논문, <https://scienceon.kisti.re.kr/srch/selectPORSrchArticle.do?cn=JAKO201212049739622>

고령층 보호를 위한 선제적 격리 및 하이브리드(URL·HTML) 분석 AI 자동 피싱 탐지 시스템

이종구*, 정영애**

AI-Based Automatic Phishing Detection with Proactive Isolation and Hybrid Analysis for Elderly Protection

Jong-Gu Lee, Young-Ae Jung***

요 약

본 논문에서는 고령층 사용자를 대상으로 피싱 공격으로부터 능동적으로 보호하는 AI 기반 자동 URL 차단 시스템을 제안한다. 고령층은 제한된 디지털 문해력으로 인해 의심스러운 링크를 무의식적으로 클릭하는 경향이 있으며, 기존의 수동적 피싱 탐지 시스템은 사용자가 직접 검증해야 하는 한계로 인해 시니어 계층에게 효과적이지 못하다. 본 시스템은 사용자가 링크를 클릭하는 순간 자동으로 URL을 가로채어 접속 전에 선제적으로 위험도를 분석하고 결과를 제공하는 특징이 있다. 제안된 시스템은 URL의 구조적 특징과 웹페이지 콘텐츠를 동시에 분석하는 3단계 하이브리드 방어 아키텍처를 채택한다. 1단계는 GeoIP 및 KISA WHOIS 분석 기반 기본 정보 필터링, 2단계는 VirusTotal API를 활용한 글로벌 위협 필터링, 3단계는 Random Forest 머신러닝과 Docker 기반 RBI(Remote Browser Isolation)를 결합하여 샌드박스에서 웹사이트 HTML 소스 코드와 스크린샷을 자동으로 캡처한 후 위험도 평가를 제공한다.

Keywords

Phishing Detection, Hybrid Analysis, Automatic URL Interception, Elderly Protection, Multi-Layer Defense, HTML Content Analysis

I. 서 론

디지털 환경의 확산과 함께 URL 기반 피싱 공격이 급증하며 안전을 위협하는 심각한

사회문제로 대두되고 있다. 경찰청 통계에 따르면 2025년 1~7월 피싱범죄 피해액은 7,992억 원으로 전년 동기 대비 95% 급증하였으며, 연말에는 사상 최초로 1조 원을 돌파

* 선문대학교 AI소프트웨어학과, 학부생 (jonggu2020@naver.com)

** 선문대학교 AI소프트웨어학과, 교수, 교신저자 (yajung@sunmoon.ac.kr)

할 것으로 전망된다[1]. 특히 고령층은 제한된 디지털 문해력과 보안 인식 부족으로 인해 악성 링크를 무의식적으로 클릭하는 취약성을 보이며, 전체 피해자의 53%를 차지하는 것으로 나타났다[2]. 또한, 노화에 따른 인지 저하와 디지털 인터페이스에 대한 낮은 친숙도는 피싱 경고를 간과하게 만드는 주요 요인으로 지적된다[3]. 이러한 피해를 예방하기 위해서는 단순히 사용자 교육을 강화하는 방식이나, 기존의 수동적인 방식 보다는 링크를 클릭 시점에 자동으로 위험을 탐지하고 차단하는 기술적 접근이 더 실질적인 보호 효과를 제공할 수 있다.

본 연구는 고령층 사용자를 위한 AI기반 자동 URL 차단 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 링크 클릭 시점에 자동으로 URL을 가로채어 사용자 개입 없이 선제적 분석한다. GeoIP/WHOIS 기반의 1단계 필터링, VirusTotal API 기반 2단계 글로벌 위협 검증, AI모델과 Docker 기반 원격 브라우저 격리(RBI)를 결합한 3단계 AI 하이브리드 분

석으로 구성하여 수행한다. 또한, 샌드박스 환경에서 자동 캡처한 웹사이트 스크린샷을 통해 고령층도 직관적으로 이해 가능한 시각적 위험도 평가를 제공한다.

II. 하이브리드(URL·HTML) 분석 AI자동 피싱 탐지 시스템

2.1 시스템 아키텍처

본 시스템은 그림 1과 같이 데이터 수집 및 요청, OneLink 통합 보안 분석 서버, 그리고 활용 서비스의 3단계로 구성된다.

2.1.1 데이터 수집 및 요청

데이터 수집 계층은 일반 사용자의 URL 감시 요청 및 샌드박스 이미지 조회와 관리자의 능동적 차단 신호를 수신한다. 안드로이드 앱의 Intent Filter를 활용하여 사용자가 링크를 클릭하는 순간 자동으로 URL을 가로채어 서버로 전송한다.

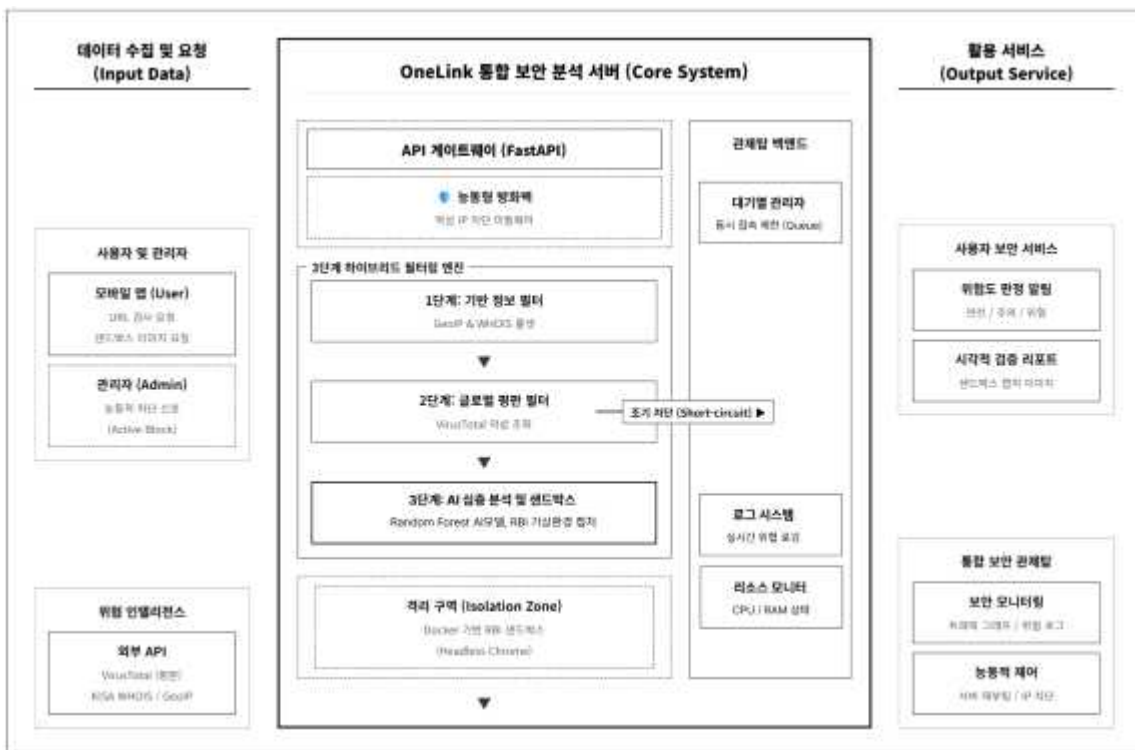


그림 1. OneLink 제안 시스템 아키텍처

2.1.2 통합 보안 분석 서버

1. GeoIP/WHOIS 휴리스틱 분석:

국내 선행 연구[4]에 따르면 피싱 도메인은 생성 후 단기간 내에 폐기 되는 ‘단명 도메인’의 특성을 보이며, 추적 회피를 위해 WHOIS 정보를 은닉하는 경향이 뚜렷하다. 이에 본 연구에서는 이러한 공격 특징에 대응하기 위해, 국외 우회 접속 등 보안 신뢰도가 낮은 IP 대역을 선별적으로 탐지하고, 생성 후 30일 미만의 신규 도메인에 대해 WHOIS 정보 은닉 여부를 중점적으로 확인한다.

2. VirusTotal API 글로벌 위협 필터링:

본 API는 70개 이상의 백신 엔진을 활용하여 위협을 정밀 분석하며, 분석 결과 5개 이상의 엔진에서 악성으로 진단될 경우 Short-circuit Logic을 적용하여 즉시 차단한다.

3. RandomForest AI + Docker RBI:

RandomForest(이하 RF) 모델은 피싱 탐지에서 가장 우수한 성능을 보인 것으로 검증되었다[5]. 본 시스템은 PhiUSIIL 데이터셋(235,795개 URL, 54개 특징)으로 학습된 모델을 적용하여 도메인 길이, 특수 문자 비율, IP사용 여부, HTTPS 인증서 유효성 등 26개의 URL 구조적 특징과 Form 태그 존재, 외부 링크, JavaScript 난독화 패턴 등 28개의 HTML 콘텐츠 특징을 분석한다.

Docker 컨테이너 기반 RBI(Remote Browser Isolation)을 통해 격리된 환경에서 웹사이트를 실행하고 스크린샷을 캡처한다. 경량 Headless Chrome 컨테이너를 사용하며, 메모리 1GB 제한과 15초 타임아웃을 적용한다. 분석 완료 후 컨테이너는 즉시 삭제되어 보안을 유지한다.

2.1.3 활용 서비스

분석 결과는 3단계로 사용자에게 제공된다. 안전한 URL은 녹색 배지로 알려주며,

주의가 필요한 URL은 노란색 배지와 위험요소 설명이 표시된다. 위험한 URL은 빨간색 배지와 함께 자동 차단되고 샌드박스 스크린샷이 제공된다. 통합 관제 대시보드는 실시간 로그, 리소스 모니터링, 보안 통계, 수동 차단 기능을 제공한다.

2.2 AI 모델 학습 및 성능

본 연구는 검증된 PhiUSIIL 벤치마크 데이터셋[6]을 채택하였으며, 해당 데이터셋은 134,850개의 정상 URL과 100,945개의 피싱 URL로 구성된다. 총 54개의 특징을 기반으로, 클래스 불균형 문제를 해소하기 위해 1:1 비율(50:50)로 리샘플링하여 학습 데이터셋을 구축하였다.

성능 평가 결과 RF 모델이 최적의 성능을 달성하였으며, 특히 미탐지율(False Negative Rate)이 0.04%에 불과하여 매우 높은 탐지 신뢰성을 입증하였다. 본 연구에서 달성한 99.9%의 정확도는 PhiUSIIL 원 논문 [6]에서 보고된 SOTA(State-of-the-Art) 성능인 RF 99.79%, XGBoost(이하 XGB) 99.73%와 동등한 수준이다. 이는 PhiUSIIL 데이터셋이 고도로 정제된 파생 특징을 포함하고 있어 높은 분류 정확도 확보가 용이한 데이터셋의 고유한 특성에 기인한 것으로 해석된다[6]. 따라서 본 연구의 높은 성능은 과적합이나 오류가 아닌, 벤치마크 데이터셋의 특성을 효과적으로 반영한 타당한 결과이다.

표 1. 현 모델 성능

모델	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
RF	0.999	0.9986	0.9996	0.9991
XGB	0.9985	0.9983	0.9992	0.9987

2.3 시스템 구현 결과

본 연구의 실효성을 입증하기 위해, 안드로

이드 클라이언트 애플리케이션과 분석 서버를 실제 구현하였다. 그림 2는 사용자가 메신저 내 URL을 클릭했을 때의 전체 구동 흐름을 보여준다. 사용자가 링크를 클릭하면 앱이 Intent Filter를 통해 즉시 URL을 가로채고 분석을 시작한다. 분석 서버는 3단계 검증을 수행한 후 직관적인 안전 등급과 서버 위치 정보를 제공한다. 사용자가 'Safe Sandbox' 버튼을 선택할 경우, Docker 컨테이너 내부에서 렌더링된 화면을 스트리밍 받아 안전하게 웹 콘텐츠를 열람할 수 있다.

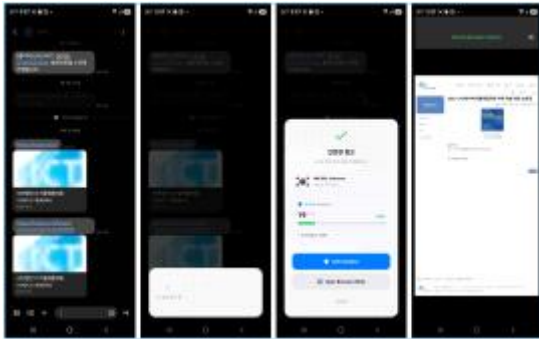


그림 2. 모바일 앱 구동 흐름도

또한, 관리자는 그림 3의 통합 관제 대시보드를 통해 실시간 트래픽과 AI모델의 예측 로그, 시스템 리소스(CPU/RAM) 상태를 모니터링 할 수 있다. 테스트 결과, 클릭부터 결과 제공까지 평균 3.5초가 소요되며 실시간 보호가 가능함을 확인하였다.



그림 3. 실시간 보안 위협 모니터링 대시보드

Ⅲ. 결 론

본 연구는 디지털 문해력이 낮은 고령층을 위한 능동적 피싱 방어 시스템을 제안하였다. 사용자가 링크를 클릭하는 순간 자동으로 URL을 가로채어 GeoIP/WHOIS 분석, VirusTotal API 필터링, RF 모델 검증의 3단계 하이브리드 분석을 수행한다. PhiUSIII 벤치마크 데이터셋을 기반으로 학습된 제안 모델은 99.90%의 정확도를 달성하여 탐지 성능의 우수성과 신뢰성을 입증하였으며, Docker 기반 샌드박스를 통해 시각적 위험도 평가를 제공한다.

본 시스템은 사용자 개입 없이 자동으로 작동하는 능동적 방어 체계로 고령층의 보안 취약성을 해결하였으며, 샌드박스 스크린샷을 통한 직관적 위험 판단을 가능하게 하였다. 향후 실시간 학습 기반 모델 업데이트와 현장 테스트를 통해 실제 환경에서의 유효성을 검증할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 2025년도 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 'SW중심대학지원사업'의 연구 결과로 수행되었습니다. (2024-0-00023)

참 고 문 헌

- [1]
- [2] 경찰청, "2025년 1-7월 피싱범죄 통계", 2025.
- [3] 금융감독원, "2024년 보이스피싱 피해현황 분석", 2025.
- [4] 황성원, "고령층의 디지털 정보화 수준이 보이스피싱 피해 예방행동에 미치는 영향", 한국콘텐츠학회논문지, 2023.
- [5] 김민수, 박영호, "지능형 피싱 탐지를 위한 URL 및 WHOIS 기반 특징 분석", 정보보호학회논문지, 2023.

- [6] 오수민, 박민서, “머신러닝 기반 피싱 사이트 탐지 모델”, 문화기술의 융합제 10권 제 4호, 2024, pp.575-580.
- [7] A. Prasad, S. Chandra, PhiUSIIL: A diverse security profile empowered phishing URL detection framework based on similarity index and incremental learning, Computers & Security Vol.136, 2024.