

2025 전자·반도체· 인공지능 학술대회

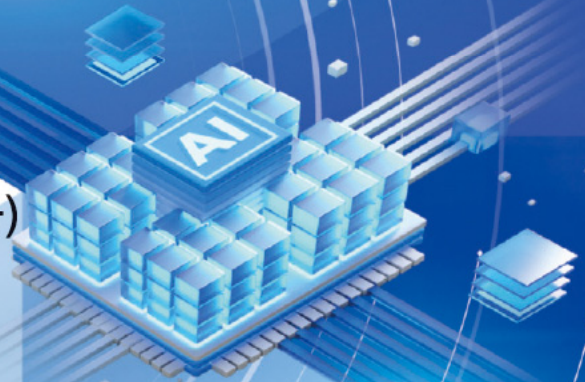
논문집

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

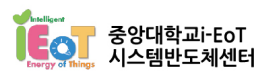


일시 : 2025년 8월 7일(목)~8일(금)

장소 : 강릉원주대학교 공학1호관



Sponsored by



논문 발표순서(구두)



구두세션 1	반도체 (학부생1)	좌장 : 박성욱 (국립강릉원주대학교)
8월 7일(목) / 09:30~10:45		공학1호관 128호

01 전하 트랩층 기반 피드백 전계효과 트랜지스터 어레이를 이용한 인메모리 XOR 연산 소자 구조 연구 CFP-793 염현준 · 권민우 (서울과학기술대학교)	14
02 ML-Assisted Inverse Design and Simulation for RDL Interposer Optimization CFP-757 유지호 · 조민선 · 이태현 · 장덕호 · 정성엽 (고려대학교)	15
03 Circuit-Level Compact Modeling of a Dual-Gate Feedback Field-Effect Transistor with Charge-Trap Flash Layer CFP-792 이재원 · 권민우 (서울과학기술대학교)	16
04 Implementation of In-Memory Computing Device Based on Double-Gate FeFET CFP-779 홍중명 · 백명현 (국립강릉원주대학교)	17
05 Implementation of Read and Write Operations in a Processing-in-Memory Device Based on Positive Feedback Transistors CFP-791 김다민 · 염현준 · 권민우 (서울과학기술대학교)	18

구두세션 2	반도체1 (Logic, Sensor)	좌장 : 박상욱 (국립강릉원주대학교)
8월 7일(목) / 09:30~10:45		공학1호관 101호

01 실온에서 작동하는 ZnO 장식된 SWCNTs 필름 기반 ppb 수준 NOx 가스 센서 CFP-772 김경은 · 김량하 · 조범수 · 김영래 (국립강릉원주대학교)	20
02 Carbon Nanotubes based H ₂ S Sensor at Extremely Low Temperature Condition CFP-782 김량하 · 김경은 · 김영래 (국립강릉원주대학교)	24
03 CMOS-Compatible 1T1R Threshold Logic for Neuromorphic Computing CFP-797 박솔지 · 이종원 (충남대학교)	26
04 Modeling of Energy Bandgap of Si with Higher Completeness as a Simultaneous Function of Temperature and Doping Concentration CFP-819 김예서 · 조성재 (이화여자대학교)	27
05 Single-Cell-Integrated Two-Terminal CMOS Transistor with Dynamic Threshold Tunability CFP-818 김수민 · 조성재 (이화여자대학교)	28

구두세션 3	반도체2 (Memory, Neuromorphic)	좌장 : 김 혁 (서울시립대학교)
8월 7일(목) / 11:00~12:15		공학1호관 128호

- 01 Improvement of Read Disturb and Retention Characteristics in FBFET-Based 1T-DRAM Using Bulk Trap and Nitride-Oxide (NO) Structure CFP-741
 김규범 · 백명현 (국립강릉원주대학교) 30
- 02 TFET-Enabled Flash Memory Synaptic Device for Neuromorphic Systems: Solving the Fan-in Challenge CFP-742
 유다교 · 김규범 · 박성욱 · 백명현 (국립강릉원주대학교) 31
- 03 Uncertainty-Aware DRAM Equalizer Optimization Using Bayesian Representation Learning and Deployment Risk Assessment CFP-749
 Usama Muhammad · 장동의 (한국과학기술원) 32
- 04 Implementation of 3D-ReRAM based on HfO₂/TaO_x with CMOS-Compatible Process CFP-775
 박민식 · 이아령 · 유현욱 · 이종원 (충남대학교) 37
- 05 General-Purpose Memory Processing Unit (GP-MemPU): Memory Network Logic and Parameter-Steered Reconfigurability CFP-814
 조성재 · 이주은 (이화여자대학교) 38

구두세션 4	인공지능	좌장 : 백명현 (국립강릉원주대학교)
8월 7일(목) / 11:00~12:15		공학1호관 101호

- 01 Wasserstein Generative Adversarial Network Model for Predicting Metastasis in Cancer CFP-704
 Akram Maryam · Kyungsook Han (인하대학교) 40
- 02 MediaPipe 와 OpenCV 를 활용한 모욕적인 손 제스처 실시간 인식 및 모자이크 필터링 시스템 구현 CFP-710
 강지은 · 최지예 · 김소연 · 손선아 (가천대학교) 41
- 03 스코어 기반 적응형 생성 모델 구현을 위한 잡음 단계 예측 모델 성능 비교 CFP-815
 조재현 · 정성훈 (한성대학교) 42
- 04 한글 프로그래밍 언어 K-Prolog 의 설계 및 구현 CFP-813
 이유민 (터프츠대학교) ; 이석원 · 김영훈 · 조찬우 · 우균 (부산대학교) 44
- 05 BEATs -BiGRU 기반 음향 이벤트 검출에서 연산 오류 최소화 방안 CFP-798
 김동준 · 박상욱 (국립강릉원주대학교) 48

구두세션 5	반도체 (학부생2)	좌장 : 정성엽 (고려대학교)
8월 7일(목) / 15:10~16:10		공학1호관 128호

- 01 Impact of Word Line Slope on Write Characteristics and Row Hammer in BCAT Structure **CFP-743**
조영명 · 백명현 (국립강릉원주대학교) 50
- 02 Work Function Engineering of Dual Metal BCATDRAM for Mitigating Pass Gate Effect and 1-Raw Disturb **CFP-817**
전휘찬 · 권민우 (서울과학기술대학교) 51
- 03 Enhanced H₂S Detection using SWCNTs Functionalized with Pillar-4-azido-1,8-naphthalic Ligand **CFP-763**
최진 · 이규원 · 김량하 · 이은지 · 김영래 (국립강릉원주대학교) 52
- 04 Work Function Engineering in Dual Metal BCAT DRAM for Optimization of Gate-Induced Leakage Currents **CFP-790**
이수빈 · 전휘찬 · 권민우 (서울과학기술대학교) 54

구두세션 6	인공지능 / 회로	좌장 : 박성준 (국립강릉원주대학교)
8월 7일(목) / 15:10~16:10		공학1호관 101호

- 01 Finding Prognostic Biomarkers from Competitive Endogenous RNA Interactions using Neural Networks **CFP-705**
AN YIRAN · Kyungsook Han (인하대학교) 56
- 02 3D Gaussian Splatting 기반 텍스처 데이터를 활용한 컬러 3D 프린팅 가능성 평가 **CFP-734**
이지흠 (홍익대학교) 57
- 03 AI 기반 딥페이크 탐지 및 미디어 리터러시 교육용 애플리케이션 개발 **CFP-740**
강예람 · 김연주 · 문예랑 · 신유지 (이화여자대학교) 58
- 04 Designable FR4 substrate-based Lange Coupler for 2.4 GHz band and Design error correction **CFP-808**
김현중 · 정진호 · 조훈희 · 최은성 · 이상민 · 전주영 (국립강릉원주대학교) 63

구두세션 7	특별세션 (My Chip 서비스)	좌장 : 김영래 (국립강릉원주대학교)
8월 7일(목) / 16:30~17:45		공학1호관 128호

- 01 내 칩(My Chip) 제작 서비스 소개 **CFP-711**
박건식 (한국전자통신연구원) 66
- 02 오픈-소스 EDA 도구 활용 “내 칩 제작 서비스” 참여하기 **CFP-715**
국일호 (한국전자통신연구원) 67
- 03 ETRI 0.5 μ m CMOS PDK 기반 아날로그 회로 설계 절차 및 주요 결과 **CFP-735**
장현규 · 김성도 · 국일호 · 원종일 · 강경남 · 박건식 · 정동윤 (한국전자통신연구원) 68

- 01 ANetFL: Adaptive Neural Network with Focal Loss for Classifying Subtypes of Pan-Cancer CFP-700
 DENG GUIYUAN · Shiyang Wang · Kyungsook Han (인하대학교) 70
- 02 A Multilayer Perceptron Model for Predicting Distant Metastasis Using Gene Correlations Specific to Individual Cancer Patients CFP-701
 KANG JIAHUI · Kyungsook Han (인하대학교) 71
- 03 스마트폰을 이용한 기침 음향 데이터의 심층학습 기반 분석 : 천식 환자 분류를 위한 전향적 임상 연구 CFP-713
 문경민 (중앙대학교 / 메타온랩) ; 박상환 · 유영주 · 장인영 · 김지연 (메타온랩) ; 최형신 (성균관대학교) · 박영미 (연세대학교) · Jenny Kwon (캘리포니아대학교) ; 구강모 (중앙대학교) ; 장윤실 (울산대학교) 72
- 04 스마트폰 게임 기반 얼굴 행동 분석을 통한 우울 및 불안 세부아형 분류 연구 CFP-780
 최지예 (가천대학교) ; 신민섭 (고려대학교) ; 전민규 (서울대학교병원) 75
- 05 흉부 방사선 영상에서 비위관 위치 정밀 확인을 위한 심층학습 기반 모델 CFP-756
 문경민 · 구강모 (중앙대학교) ; 최현수 (지오비전 / 서울과학기술대학교) ; 박인서 · 문귀성(지오비전) ; 장윤실 (울산대학교) 80

논문 발표순서(포스터)



포스터세션 1

반도체 / 회로

좌장 : 오승원 (강원대학교)

8월 7일(목) / 09:30~10:45

공학1호관 126호

01 High-performance switchable visor for augmented reality using low-voltage, fast-response cholesteric liquid crystals CFP-706	
이상희 · 오승원 · 이재환 · 이세훈 (강원대학교)	84
02 Research on the high-ASIL semiconductor with functional safety for autonomous vehicles CFP-716	
연구봉 (한국자동차연구원)	85
03 22T Partially Retentive True Single-Phase Clock Flip-Flop for Low-Power Applications CFP-717	
이동권 · 전동석 (서울대학교)	86
04 ANN-Based Compact Modeling Framework for Cell-Level DTCO Including MOL at Sub-1 nm Technology Nodes CFP-723	
정현준 · 김소영 · 공정택 (성균관대학교)	87
05 Development of Parylene-C Interposer Fabrication Technology CFP-736	
박라영 · 김민준 · 박동욱 (서울시립대학교)	88
06 유기물질 기반 Charge Trap Flash 구조 시냅스 소자의 단기 시냅스 가소성 구현 CFP-737	
김경빈 · 김보람 · 김윤 · 박동욱 (서울시립대학교)	89
07 Methane Sensing Characteristics of LiOH Decorated SWCNTs Gas Sensor CFP-739	
김재현 · 정범준 · 유다교 · 백명현 · 김영래 (국립강릉원주대학교)	91
08 A VDTC-based LDO with Enhanced Transient Response CFP-744	
신광현 · 전동석 (서울대학교)	93
09 RIV-SSD(RAG-informed Index aware Vector SSD) architecture with Data Reorganization for Hot Cluster CFP-760	
최은식 · 신동균 (성균관대학교)	94
10 Design of Bidirectional Time-Delay-Integration SPAD Detector Architecture for Low-Dose X-Ray Imaging CFP-764	
최성원 · 박수호 · 김민정 · 신민선 · 천지민 (금오공과대학교)	95
11 오프셋 트리밍을 위한 One-wire 방식 OTP 메모리 시스템 설계 CFP-766	
박진영 · 이해영 · 박시홍 (단국대학교)	96
12 Slew Rate 향상 회로가 포함된 12V Class-AB Rail-to-Rail 저전력 연산증폭기 CFP-767	
김인겸 · 이해영 · 이주찬 · 박시홍 (단국대학교)	100

13	저-데이터 모니터링 기술을 위한 이벤트 비전 센서 기반 동적 객체 감지 시스템 CFP-768	
	김하성 · 김현진 · 윤세진 · 이현근 (고려대학교)	104
14	High-Precision Prognostic Biosensor Transducer Based on Memristor Array CFP-769	
	이아령 · 이종원 (충남대학교)	110
15	Bipolar supply Gate Driver 의 Delay 및 전류 특성 개선을 위한 구조 최적화 설계 CFP-770	
	김태영 · 이해영 · 박시홍 (단국대학교)	111
16	Self-Powered Photodetector Based on Hybrid Heterostructure with Ultrahigh On/Off Ratio CFP-776	
	조범수 · 정범준 · 김영래 (국립강릉원주대학교)	114
17	Auxiliary Metal Effects in Electrochemical Ion Modification of Transparent Electrodes for Memory Applications CFP-787	
	김문수 · Byoungdeog Choi (성균관대학교)	116
18	병렬 고속 인터페이스의 Skew 보정을 위한 테스트 회로 구현 CFP-806	
	이연호 · 박윤수 · 박원기 · 이성철 (한국전자기술연구원)	117
19	Analog input buffer for Analog-to-Digital Converters CFP-805	
	박윤수 · 이연호 · 박원기 · 이성철 (한국전자기술연구원)	118
20	Highly Sensitive Hydrogen Sulfide Detection in Solution and Gas States Using an Organic Ligand-SWCNT Semiconductor Sensor CFP-804	
	이규원 · 김량하 · 최진 · 이재준 · 김영래 · 이은지 (국립강릉원주대학교)	119
21	The TCR of a Bulk Si-based NPN Temperature Sensor CFP-796	
	김승연 · 이종원 (충남대학교)	120

포스터세션 2	인공지능 / 시스템 / 제어	좌장 : 한재호 (고려대학교)
8월 7일(목) / 11:00~12:15		공학1호관 126호

01	A Review of Laminar Microcircuits in the Primary Visual Cortex for Brain-Inspired Computing CFP-697	
	윤예빈 (고려대학교/KIST) ; 한재호 (고려대학교) ; 장현재 (KIST)	123
02	XGBoost 기반 전기차 충전소 최적화 예측모델과 공간 클러스터링 분석 CFP-721	
	임소민 · 서지훈 (강남대학교)	125
03	시계열 기반 SI 모델을 활용한 리튬-이온 배터리 열화 및 수명 예측: 센서 데이터를 중심으로 CFP-722	
	김규완 · 서지훈 (강남대학교)	127
04	LLM 기반 측면 추출과 CO-Attention 을 결합한 한국어 게임 리뷰 감성분석 CFP-738	
	정환용 · 이준석 (강남대학교)	128
05	인공지능을 적용하기 위한 품질 데이터 검증 연구 CFP-745	
	정성윤 (인팩 일렉스(주))	129
06	분할 워크로드 기반 운용 비용 최적화 이기종 AI 반도체 클라우드 플랫폼 설계 CFP-746	
	김한결 · 우홍욱 (성균관대학교)	130

07 의미 임베딩과 지식그래프 어텐션을 활용한 콜드스타트 대응 하이브리드 도서 추천 시스템 CFP-747	
이유빈 · 이준석 (강남대학교)	132
08 Multimodal-based YouTube Shorts Views Analysis CFP-758	
안성준 · 곽찬희 (강남대학교)	134
09 Adaptive Window Size Selection for MDD Diagnosis using Reinforcement Learning CFP-759	
지창훈 · 황지영 · 최우혁 · 김준모 · 감태의 (고려대학교)	136
10 Continuous Memory Feature Fusion for Realistic Anomaly Image Synthesis CFP-765	
김지민 · 김지석 · 고종환 (성균관대학교)	137
11 A Modular Real-Time Gas Monitoring System for Replaceable Electrochemical Sensors CFP-771	
양민혁 · 김재현 · 김영래 (국립강릉원주대학교)	138
12 도로 인프라 안전 강화를 위한 경량 YOLOv8n 실시간 손상 검출 CFP-774	
이찬호 · 유은성 · 이미르 · 송우진 · 최진영 · 김규하 · 이상현 (호남대학교)	139
13 능동적 도청자가 존재하는 협력 비-직교 다중접속 환경에서의 물리계층보안 CFP-777	
심규성 (한경국립대학교)	142
14 과학기술분야 연구기관 연구데이터 관리 및 공유 현황 분석 CFP-778	
주원균 · 최명석 · 강남규 (한국과학기술정보연구원)	145
15 Constructing a Dataset for Korean Chart Understanding CFP-783	
김이연 · 김병준 · 김유진 · 박세홍 · 임석재 (롯데이노베이트)	147
16 Comparison on Deep Learning-Based Bearing Fault Diagnosis Using Grayscale and RGB Spectrogram Inputs CFP-784	
조운식 · 남창균 · 장보수 · 김철홍 (승실대학교)	149
17 XGBoost 기반 태양광 발전 예측에서 LLM 메타 판단의 개입 비용과 한계에 관한 연구 CFP-785	
윤지현 · 윤성필 (서강대학교)	150
18 A Lightweight Software Solution for Log Analysis CFP-786	
이시현 · 김지윤 · 김서현 · 황지온 (협성대학교)	154
19 Spatial-Aware Image Denoising through an Encoder-Decoder Framework CFP-788	
Thanh-Dat Nguyen · Le-Anh Tran · Ki-Chul Lee · Cheol Gwon · Eung-Seon Kim · Moonsik Kang (OCST Co., Ltd)	155
20 다변량 시계열 학습 기법의 최신 동향 CFP-794	
편하늘 · 장훈 (승실대학교)	156
21 AI 기반 시계열 예측과 군집화 기법을 활용한 전공 계열별 대학 졸업자 취업률 분석 CFP-724	
문성아 · 서지훈 (강남대학교)	159

01 무인영상로봇들간 Private-5G 통신을 지원하는 비상 AI 통신플랫폼 CFP-703 이준경 · 윤상식 (ETRI) ; 김명순 (마노소프트) ; 이상진 (에이치엠솔루션)	162
02 에너지 효율적 다차원 사각 격자 형성 기법 연구 CFP-709 신동훈 · 박성준 (국립강릉원주대학교)	163
03 Secure NFC-HCE Authentication with Quantum Random Number Generation and Multi-Device Key Distribution CFP-714 임시중 (한국공학대학교) ; 이상지 · 김성래 ((주)옵토스캔 ; 한준희 (준커넥트)	164
04 스마트팜 생육환경 모니터링 시스템 구축에 관한 연구 CFP-718 장훈석 (한국전자기술연구원)	165
05 EEG 와 오디오 멀티모달 융합을 통한 감정인식 CFP-719 이규혁 · 김형국 (광운대학교)	166
06 뇌혈류변화 및 후각 바이오마커 기반 인지저하 선별 모델 개발 CFP-720 김우섭 · 구원희 (NEUBREZE Inc.)	169
07 Effects of Load Knowledge and Load Magnitude on Cognitive and Physiological Responses during Lifting Tasks: A Multimodal EMG-fNIRS Study CFP-731 강재성 · 한재호(고려대학교) ; 신재영 (국립한국교통대학교)	171
08 원격근무환경과 사회적 지지가 직장인의 정신건강 치료의지에 미치는 영향분석:군집 및 로지스틱 회귀모형을 중심으로 CFP-753 최유정 · 이준석 (강남대학교)	172
09 Development of full-field Electroretinogram Measurement System CFP-761 윤상필 · 박찬기 · Mohammad Yusuf · 김한빛 · 박형주 (한국전자통신연구원)	173
10 Unity 기반 RSAR 시뮬레이터 설계 및 카메라 투영 관계 연구 CFP-762 염한울 · 이아현(순천향대학교)	174
11 알코올 사용장애 환자의 갈망 탐지: 스마트폰 활용 접근 CFP-781 도연우 (광운대학교) ; 최기홍 (고려대학교) ; 황재연 (한림대학교) ; 김아영 (한국전자통신연구원)	176
12 Designing VR content for unmanned information terminal vocational training for people with developmental disabilities CFP-789 송우진 · 유희수 · 조용성 · 조준혁 · 김규하 · 이상현 (호남대학교)	180
13 Implicit and Explicit Domain Alignment for Cross-dataset Brain-Computer Interface CFP-816 김준모 · 지창훈 · 오지혜 · 박소연 · 최우혁 · 황지영 · 감태의 (고려대학교)	181
14 Synthetic Augmentation of Functional Connectivity using R3GAN for Major Depressive Disorder Diagnosis CFP-812 황지영 · 지창훈 · 오지혜 · 최우혁 · 김준모 · 감태의 (고려대학교)	183
15 Brain Network Generation with Conditional Latent Graph Diffusion CFP-811 오지혜 · 지창훈 · 김준모 · 황지영 · 감태의 (고려대학교)	184

16	Analysis of Components Depending on Interconnection Signal Direction	CFP-803	
	박세민 · 송민기 · 유찬세 (한국전자기술연구원)		185
17	Analysis of T-Junction Power Divider Characteristics Based on N-Way Impedance Topologies	CFP-802	
	이종호 · 유찬세 (한국전자기술연구원)		186
18	Comparative Analysis of Substrate Dielectric Loss Impact on D-band SIW Bandpass Filter Performance	CFP-801	
	배근영 · 유찬세 (한국전자기술연구원) ; 육종관 (연세대학교)		187
19	Impedance Matching Using a Coaxial Structure and Analysis of Dielectric Constant Effects	CFP-800	
	박세민 · 이종호 · 유찬세 (한국전자기술연구원)		188
20	다목적 테이블탑 입체형 디스플레이 장치의 개발	CFP-799	
	김성민 · 이승현 (광운대학교) ; 유선모 ((주)엠진) ; 김경신 (국방과학연구소)		189

포스터세션 4	인공지능	좌장 : 백광현 (중앙대학교)
8월 7일(목) / 16:30~17:45		공학1호관 126호

01	A Review of Transformer-Based Spiking Neural Networks for Brain-Inspired AI	CFP-698	
	이승연 (고려대학교/KIST) ; 한재호 (고려대학교) ; 장현재 (KIST)		193
02	Biologically-Inspired Intrinsic Dynamics for Efficient Spiking Neural Networks: A Review	CFP-699	
	강규진 (고려대학교/KIST) ; 한재호 (고려대학교) ; 장현재 (KIST)		195
03	딥러닝으로 검출된 휴먼영역의 암호화 및 복호화	CFP-702	
	전명근 (충북대학교) ; 권만준 (아주자동차대학)		198
04	Time2Vec-Transformer 기반 VR 추적 정확도 향상 기법	CFP-707	
	Obasi Yetunde Oluwatoyosi · 송철 (대구경북과학기술원)		199
05	An Age-Friendly AI Smart Home System with Predictive and Autonomous Environmental Control/예측 및 환경 자율제어 기반 연령 친화형 AI 스마트홈 시스템	CFP-708	
	전명임 · 강문식 (국립강릉원주대학교)		200
06	자연어처리 분석 기반 안티포렌식 행위 탐지 및 생성증거연결을 통한 범죄혐의 증명력 향상 기법 연구	CFP-712	
	정종진 · 박종빈 (한국전자기술연구원)		201
07	ControlNet-Guided Fusion of Panoramic Visuals and Auditory Spectrograms	CFP-725	
	전서윤 · 전세영 · 배혜원 · 장지하 (서울대학교)		205
08	Object-Interactive Human Motion Generation via Affordance Reasoning	CFP-726	
	배혜원 · 전세영 · 전서윤 (서울대학교)		206
09	Robust Panoramic Localization via Hybrid Optimization	CFP-727	
	이경현 · 전세영 · 한우재 (서울대학교)		207
10	Mitigating Hallucinations in Large Vision-Language Models via Norm-Guided Visual Filtering	CFP-728	
	조현진 · 서희기 · 강동운 · 이주훈 · 전세영 (서울대학교)		208

11 Closed-form Instance Unlearning for Explicit Distributions CFP-729	
이경렬 · 전세영 (서울대학교)	209
12 Self-Cascade Coordinate-guided Residual Diffusion Models for Arbitrary-Scale Perceptual Image Super-Resolution CFP-730	
방준서 · 이준희 · 이해창 · 강동운 · 전세영 (서울대학교)	210
13 Zero-shot Diffusion Model based HighlyIll-posedInverse Problem Solvovia Tweedie Variable Optimization with Total Variation CFP-732	
문동주 · 방준서 · 전세영 (서울대학교)	211
14 Training-Free Dynamics Score Control in Text-to-Video Diffusion Models via Wavelet-Based Latent Refinement CFP-733	
이승규 · 배혜원 · 전세영 (서울대학교)	212
15 Detailed Texture Reconstruction for Multiple Interacting Humans using an Iterative Method CFP-751	
박재선 · 김광현 · 김정훈 · 전서윤 · 전세영 (서울대학교)	213
16 Dual Encoder BART 기반 한국어 문장 복원 성능 평가 CFP-752	
이성민 · 곽찬희 (강남대학교)	214
17 양상을 기계학습 모델을 활용한 CNC 가공공정의 불량품 예측 CFP-754	
이영준 · 곽찬희 (강남대학교)	215
18 가상 환경에서 단일 이미지를 이용한 CNN 기반 카메라 자세 추정 CFP-755	
손원준 · 이아현 (순천향대학교)	217
19 Classification of Ultrasonic Signals Generated by Photoacoustic Transmitter System Based on Neuromorphic Computing System CFP-809	
송준표 (단국대학교) · 박규관 · 박형원 (성균관대학교)	219

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 1] 반도체 (학부생1)

좌장 : 박성욱 (국립강릉원주대학교)



전하 트랩층 기반 피드백 전계효과 트랜지스터 어레이를 이용한

인메모리 XOR 연산 소자 구조 연구

HyunJun Yeom and Min-Woo Kwon

Seoul National University of Science and Technology, Korea

초록

기존의 폰 노이만 구조는 메모리와 프로세서 간 데이터 이동에 따른 병목 현상으로 인해 성능과 에너지 효율에 한계가 있으며, 이를 극복하기 위해 다양한 Processing in memory 기술이 제안되었지만, 대부분은 외부 연산 회로 의존성이나 집적도 제한 등의 문제를 갖고 있다.

본 연구는 연산 기능을 메모리 소자 자체에 통합할 수 있는 Feedback field-effect transistor (FBFET)를 기반으로, NAND 플래시와 유사한 구조에 집적된 메모리 어레이 내부에서의 Boolean 연산 구현 및 특성 분석을 수행하였다. 외부 연산 회로 없이 메모리 셀 내에서 직접적으로 논리 연산이 가능하며, 특히 XOR 연산의 동작을 성공적으로 구현하고 그 특성을 검증하였다. XOR 연산은 입력 데이터를 적절히 배치하고 컨트롤 게이트 전압을 조절함으로써 수행되며, 연산 결과는 메모리 셀의 상태로 정확하게 반영된다. 이러한 방식은 연산과 저장이 통합된 구조를 통해 연산 지연을 최소화하고 집적도를 향상시키는 이점을 제공한다. 본 구조는 완전한 Boolean 연산 수행은 물론, 향후 산술 연산 및 뉴로모픽 시스템과 같은 고속·저전력 응용 분야로의 확장 가능성도 갖는다.

Keywords—In-memory computing, Feedback field-effect transistor, Boolean logic operation, Charge trap memory, NAND Flash architectures

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2025-14312970).

References

- [1] M.-W. Kwon, K. Park, and B.-G. Park, "Low-Power Adaptive Integrate-and-Fire Neuron Circuit Using Positive Feedback FET Co-Integrated With CMOS," *IEEE Access*, vol. 9, pp. 159925–159932 (2021)
- [2] J. Lee, C. Misun, and M.-W. Kwon, "Charge Trap Flash Structure with Feedback Field Effect Transistor for Processing in Memory," *J. Semicond. Technol. Sci.*, vol. 23, no. 5, pp. 295–302 (2023)
- [3] H. Jeong, M. Park, and M.-W. Kwon, "Development of In-Memory Computing Device Using Positive Feedback Field Effect Transistor Based on NAND Flash Array," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 45449–45457 (2025)

ML-Assisted Inverse Design and Simulation for RDL Interposer Optimization

Jiho Yu¹, Minsun Cho¹, Deokho Jang², Taeheon Lee¹, and Sungyeop Jung^{1*}

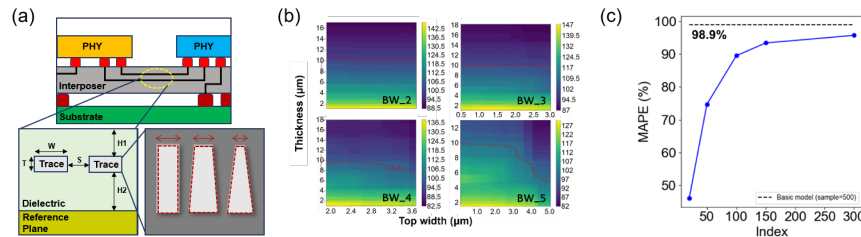
¹Department of AI Semiconductor Engineering Korea University

²Institute of Industrial Technology Korea University

Abstract

This study explores the design of RDL transmission lines targeting 100 Ω differential impedance. Using trace thickness (T), top width (TW), and bottom width (BW) as design variables, we generated a 3D simulation dataset where impedance stays within $\pm 5\%$ of the target. The dataset was used to train a machine learning-based inverse design model that automatically extracts optimal structural parameters. We also evaluated the effect of data scarcity on model performance. These results support design automation and improve efficiency in advanced transmission line design.

Figure 1(a) presents the RDL interposer structure and cross-sectional views of transmission lines, illustrating variations in trace geometry used in the design process. Figure 1(b) visualizes the impedance predictions generated by the inverse design model, showing how trace thickness and top width affect impedance under various bottom width conditions (BW_2 to BW_5). Figure 1(c) shows the prediction accuracy of the inverse model as a function of training dataset size, demonstrating performance degradation as the number of training samples is reduced from 300 to 20.



Acknowledgments

This work was supported by Korea Foundation for Women In Science, Engineering and Technology (WISET) grant (WISET-2025-128), funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT) under the Team Research Program for female engineering students. This work was supported by the Korea Planning & Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT) (RS-2024-00417909) funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea)

References

- [1] H. Kudo, ... "Signal Integrity of 2- μm -Pitch RDL Interposer for High-Performance Signal Processing in ChipletBased System," 2023 IEEE 73rd Electronic Components and Technology Conference (ECTC), pp.531-536, 2023. [2] Williams, ... "Causal characteristic impedance of planar transmission lines." IEEE transactions on advanced packaging 26.2 (2003): 165-171.

Circuit-Level Compact Modeling of a Dual-Gate Feedback Field-Effect Transistor with Charge-Trap Flash Layer

Jaewon Lee, Min-Woo Kwon*

서울과학기술대학교 전자공학과, 서울, 대한민국

Dept. of Electronic Engineering, Seoul National University of Science and Technology., Seoul, Republic of Korea.

Corresponding Author: mwkwon@seoultech.ac.kr

Abstract

Feedback Field-Effect Transistor(FBFET)와 차지 트랩 플래시 메모리(charge trap flash, CTF)구조가 결합된 구조는 초 저전력 동작과 내장형 메모리 특성을 동시에 갖출 수 있어 차세대 반도체 소자로 주목받고 있다. 본 연구에서는 해당 구조를 회로 시뮬레이션 환경에서 구현하기 위해, FBFET의 빠른 스위칭 특성과 ONO(oxide-nitride-oxide) 절연막을 통한 전하 저장 특성을 동시에 반영한 SPICE 기반 동작 모델을 개발하였다. 특히, 소자 내부에 저장된 전하가 내부 전위에 영향을 주어 전류 흐름을 유도하는 메커니즘을 축전기와 전류 원 회로로 구성함으로써, FBFET 특유의 문턱전압 이하 특성과 CTF의 비휘발성 메모리 동작을 재현하고자 하였으며, 최종적으로 제안된 회로 모델을 통하여 FBFET의 급격한 스위칭 특성 및 낮은 누설 전류 특성 뿐만 아니라, CTF 기반의 메모리 기능 또한 정확하게 반영하였음을 확인하였다.

Keywords: Positive Feedback Field Effect Transistor, Charge Trap Flash, Spice Modeling, Memory Device Simulation

Acknowledgements:

This work was supported by the National Research

Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2025-14312970).

References

- [1] M.-W. Kwon, K.-H. Park, M.-H. Baek, S. Hwang, T. Jang, and B.-G. Park, "Simulation program with integrated circuit emphasis compact modeling of a dual-gate positive-feedback field-effect transistor for circuit simulations," *J. Nanosci. Nanotechnol.*, vol. 19, no. 9, pp. 6417–6421, 2019.
- [2] L. Larcher, A. Padovani, P. Pavan, R. Fantini, A. Calderoni, A. Mauri, and A. Benvenuti, "Modeling NAND Flash memories for IC design," *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 29, no. 10, pp. 1152–1155, Oct. 2008.
- [3] J.-Y. Lee, "Charge trap Flash structure with feedback field effect transistor for processing in memory," *JSTS J. Semicond. Technol. Sci.*, Oct. 2023.

Implementation of In-Memory Computing Device Based on Double-Gate FeFET

Jong-Myung Hong¹ and Myung-Hyun Baek^{1*}

¹Department of Electronic and Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju National University
Gangneung, 25457, South Korea

초록

뉴로모픽 시스템 개발은 전력 소비와 소자 크기를 크게 줄일 수 있을 것으로 예상된다. 이러한 뉴로모픽 시스템을 구현하기 위해서는 비휘발성이며 초저전력 특성을 갖는 메모리 소자가 필요하다. 기존의 비휘발성 메모리(Non-Volatile Memory, NVM) 소자들은 높은 쓰기 전압과 CMOS 공정과의 호환성 문제를 갖는다. 반면, HfO₂ 기반 강유전체를 사용하는 Ferroelectric Field Effect Transistor(FeFET)는 비교적 낮은 전압으로 쓰기 동작이 가능하고, 낮은 공정 온도를 필요로 하므로 CMOS 공정과의 호환성이 우수하다. FeFET 를 이용하여 뉴로모픽 시스템을 설계하기 위해서는 시냅스 가중치를 구현할 수 있는 멀티레벨 기술이 요구된다. 본 연구에서는 더블 게이트 구조를 적용하여 멀티레벨을 구현하였다. 기존의 FeFET 구조는 어레이 형태로 독립적인 멀티레벨을 구현하기 어려운 한계를 갖는다. 이에 본 논문에서는 Top gate, Back gate, Drain 의 전압을 제어함으로써 독립적인 분극 제어가 가능한 구조를 설계하였다. FeFET 의 독립적인 멀티레벨 구현 가능성을 검증하기 위해 Silvaco Atlas TCAD 툴을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, potential 그래프를 통해 분극 차이를 시각화하였다. Top gate 와 Drain 전압을 통해 임의의 분극 상태를 생성한 후, Back gate 의 쓰기 전압을 높이고 각 강유전체 도메인에 인가되는 전기장을 다르게 하여 다양한 분극 상태를 구현하였다. 그 결과, 분극 상태에 따른 문턱 전압 변화가 확인되었다. 본 연구를 통해 FeFET 의 활용 가능성이 더욱 확대될 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: 뉴로모픽 시스템, FeFET, 더블 게이트, 멀티레벨

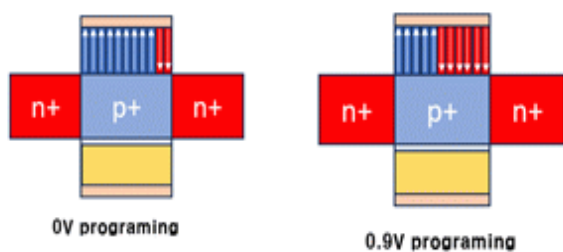


Fig1. Back gate sweep 에 따른 분극 도메인

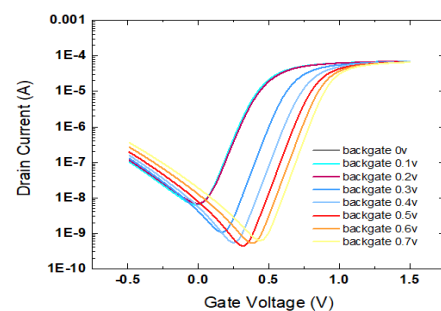


Fig2. Back gate sweep 에 따른 문턱전압 변화

References

[1] Thomas Mikolajick, Min Hyuk Park, Laura Begon-Lours, and Stefan Slesazeck, "From Ferroelectric Material Optimization to Neuromorphic Devices", *Advanced Materials*, Volume 35, issue 37, pp. 1, 2022

Implementation of Read and Write Operations in a Processing-in-Memory Device Based on Positive Feedback Transistors

Damin Kim, HyunJun Yeom and Min-woo Kwon*

Seoul National University of Science and Technology, Korea

*Corresponding Author: mwkwon@seoultech.ac.kr

초록

최근 인공지능 기술이 급격하게 발달함에 따라 데이터 처리량이 폭발적으로 증가하여 메모리와 프로세서 간의 병목 현상이 시스템 속도 저하의 주요 원인으로 손꼽히고 있다. 이를 해결하기 위해 SRAM, DRAM, ReRAM 기반의 Processing-In-Memory(PIM) 구조가 활발히 연구되고 있지만 실제로 구현된 소자는 메모리와 연산 장치가 가까이 붙어있는 processing-near-memory에 가깝다는 한계를 갖는다. 이러한 한계를 극복하기 위해 메모리와 연산 기능이 물리적으로 완전히 통합된 진정한 의미의 In-Memory Computing(IMC)구조가 필요하다. Positive Feedback Field Effect Transistor(FBFET)을 이용하면 IMC 소자를 구현하는 것이 가능하다.

본 연구에서는 선행 연구된 FBFET을 이용한 IMC 소자의 읽기(read)와 쓰기(write) 과정의 동작 특성을 TCAD 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 읽기 과정에서는 Control gate에 적절한 전압을 인가하여 And와 Or 연산이 정상적으로 수행됨을 확인하였다. 쓰기 과정은 Hot Carrier Injection(HCI) 메커니즘을 활용해 전하를 Nitride 층에 주입하여 데이터를 저장한다. 이때 Nitride 층에 전자가 주입되었을 때는 소자의 문턱전압이 높아지고 정공이 주입되었을 때는 문턱전압이 낮아지는 동작 특성을 활용해 쓰기 과정이 성공적으로 수행되었음을 확인하였다.

Keywords: Positive Feedback Field Effect Transistor, Charge Trap Flash, Memory Device Simulation

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2025-14312970).

References

- [1] Kwon, M.-W., Park, K., and Park, B.-G. "Low-Power Adaptive Integrate-and-Fire Neuron Circuit Using Positive Feedback FET Co-Integrated With CMOS." *IEEE Access*, vol. 9, pp. 159925–159932, 2021.
- [2] Jeong, H., Park, M., and Kwon, M.-W. "Development of In-Memory Computing Device Using Positive Feedback Field Effect Transistor Based on NAND Flash Array." *IEEE Access*, vol. 13, pp. 45449–45457, 2025.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 2]

반도체1 (Logic, Sensor)

좌장 : 박상욱 (국립강릉원주대학교)



실온에서 작동하는 ZnO 장식된 SWCNTs 필름 기반 ppb 수준 NO_x 가스 센서

김경은¹⁾, 김량하¹⁾, 조범수¹⁾, 김영래^{1),†}

¹⁾국립강릉원주대학교 전자공학과

e-mail : ylkim@gwnu.ac.kr

ppb-Level NO_x Gas Sensor Based on ZnO Decorated SWCNTs Film at Room Temperature

Kyung Eun Kim¹⁾, Ryang Ha Kim¹⁾, Beom Su Jo¹⁾ and Young Lae Kim^{1),†}

¹⁾Department of Electronic Engineering, Gangneung-Wonju National University

Abstract

Nitrogen oxides (NO_x) are one of the major causes of air pollution, acting as precursors to ozone layer depletion and the formation of ultrafine particulate matter. Due to their explosive and flammable nature, they pose a significant risk of explosion. In addition, NO_x gases are toxic and can cause respiratory and cardiovascular diseases in humans, highlighting the need for the development of sensors capable of detecting them. Since conventional sensors typically operate at high temperatures above 200°C, this study aims to develop a highly sensitive NO_x sensor that can operate at room temperature and detect gases at the ppb level, based on SWCNTs decorated with ZnO.

I. 서론

세계보건기구(WHO)에 따르면, 2022년 기준 전 세계 인구의 99%가 WHO가 제시하는 대기질 한계를 초과하는 공기를 호흡하고 있어 심각한 건강 위협에 노출되어 있다. 이러한 대기 오염 문제를 해결하기 위해 WHO는 화석 연료 사용 억제 및 대기 오염

저감을 위한 다양한 조치를 추진 중이며, 이 중 대기 오염의 주요 원인 물질 중 하나인 질소산화물(NO_x)의 저감이 필수적이다. NO_x는 자동차나 화력발전소, 소각로 및 산업현장 등에서 연료 연소 과정 중 생성되는 유독성 기체로 일산화질소(NO), 이산화질소(NO₂) 및 아산화질소(N₂O)를 포함한다. 또한, NO_x는 초미세먼지 전구체로 대기 오염에 기여할 뿐 아니라, NO_x는 오존과 반응하여 오존층 파괴 및 지구온난화를 가속한다. 특히, NO_x의 구성 물질 중 하나인 NO₂는 천식, 폐렴, 심혈관계 질환 등 심각한 건강 문제를 유발하므로 사전에 효과적인 관리가 필요하다. 심지어 NO_x는 대기 중 산소와 반응성이 매우 높아 폭발 위험까지 내포하고 있어, 산업현장에서의 신속하고 정확한 감지가 더욱 중요하다.

그러나 현재 상용화 제품 및 연구되고 있는 대부분의 NO_x 센서는 예열시간이 필요하며, 최소 200°C 이상, 경우에 따라 600°C 이상의 고온 작동이 필수적이다. 이는 높은 전력 소비와 센서 소자의 열화 문제를 야기하며, 시스템 복잡성과 개발의 한계를 초래한다. 게다가, 인화점이 낮은 가연성 및 폭발성 가스의 경우 고온 센서의 사용이 실제 환경에서 어려움을 동반하기 때문에, 실온에서 안정적으로 작동하는 센서의 개발이 더욱 시급한 과제로 대두되고 있다.

단일벽 탄소나노튜브(SWCNTs)는 높은 전류 밀도, 우수한 열전도성 및 화학적 안정성을 갖춘 탄소 동소체이다 [1-2]. 다양한 가스 분자에 높은 반응성을 나타내므로 CNTs 기반 가스 센서는 성능과 감도를 향상시킬 수 있다 [3]. 산화아연(ZnO)은 우수한 물리적 및 화학적 특성을 갖추고 있으며, 화학 안정성, 환경 친화성 및 저렴한 합성 비용 등의 장점을 가진다.

본 연구에서는 ZnO로 장식된 CNTs를 기반으로 한 NO_x 가스 센서를 제작하고 성능 평가를 진행한다. 채널은 실리콘(Si) 기판에 CNTs를 증착하기 위해 드롭 코팅 방법을 사용하여 제작한다. 금속 전극 증착은 화학 반응을 방지하고자 스퍼터링 방식을 이용한다. 순수한 CNTs 기반 센서의 상단에 스핀 코팅을 사용하여 ZnO 필름으로 장식한다. ZnO 필름으로 장식된 SWCNTs 기반 NO_x 가스 센서의 특성은 민감도, I-t 측정 및 전류 변화율을 통해 분석한다.

II. 본론

2.1 ZnO/SWCNTs 기반 센서 제작 과정

2.1.1 ZnO 현탁액 제조

ZnO 현탁액은 ZnO 분말 약 0.2 g, 부탄올 및 메탄올 각 7 mL를 5분간 초음파 처리하여 제조한다.

2.1.2 순수한 SWCNTs 기반 센서 제작

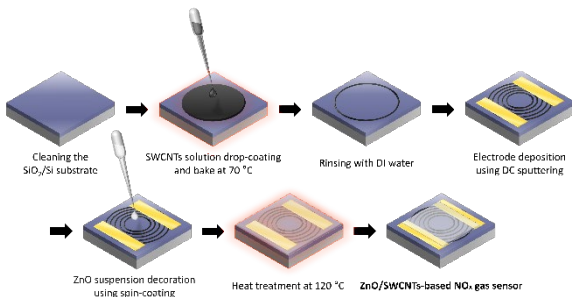


그림 1. ZnO/SWCNTs 기반 센서 제작 과정.

순수한 SWCNTs 기반 샘플을 제작하기 위해 SiO₂/Si 기판을 아세톤, IPA, DI water 순서대로 세척한다. SWCNTs를 스포이드를 이용해 드롭 코팅 방식으로 코팅한 뒤, 70°C로 설정한 핫 플레이트에서 bake한다. 이후 DI water로 행구는 과정을 반복한다.

DC 스퍼터링을 사용하여 Au 130 nm/Ti 5 nm의 전극을 증착한다.

순수한 SWCNTs 기반 센서에 ZnO 현탁액 3~4방울을 스핀 코팅하고, 핫 플레이트에서 120°C로 열처리하여 ZnO/SWCNTs 기반 센서를 제작한다

(그림 1).

2.2 가스 감지 메커니즘

NO_x 가스는 ZnO 필름에서 산화 가스로 작용한다. NO_x 분자가 ZnO 필름에 흡착되면, ZnO 필름의 저항이 증가해 전류 변화가 발생한다. 전류 변화율을 절대값으로 환산하여 센서 감도를 측정 및 분석한다. ZnO 필름의 저항이 증가하는 이유는 다음과 같이 설명된다.



먼저, NO 가스에 대하여 ZnO 필름의 전자는 NO 가스 분자와 흡착되어 저항을 생성한다. 혹은 NO 가스 분자가 산소 분자로 환원되어 N₂O를 형성할 때 저항이 발생한다 [4].

이어서 NO₂ 가스에 대해 ZnO 필름이 NO₂ 가스에 노출되기 전, 센서의 표면은 대기 중 존재하는 O₂ 분자로 덮여 있으며, NO₂에 노출된 후에는 O₂에 비해 ZnO에 대한 NO₂의 결합 에너지가 더 크기에 ZnO 필름은 부분적으로 NO₂로 덮여지게 된다. 결과적으로 센서 표면에 존재하는 결합으로 전자들이 포획되어, 자유 전자의 수가 줄어들어 전기 저항이 증가하게 된다 [5].

III. 측정 결과

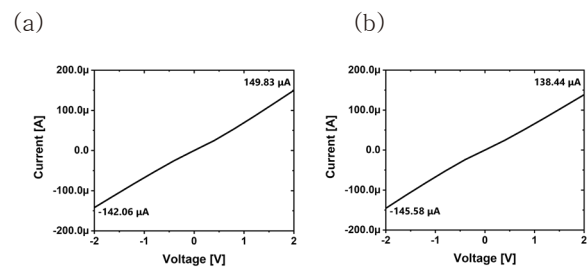


그림 2. (a) 순수한 SWCNTs 기반 센서 및 (b) ZnO/SWCNTs 기반 센서의 실온에서의 I-V 특성 그래프.

그림 2는 SWCNTs 기반 가스 센서와 ZnO/SWCNTs 기반 가스 센서의 실온 전기적 특성을 확인하기 위해 전극에 두 개의 프로브 단자를 연결하여 -2V에서 2V까지의 I-V 특성을 나타낸 그래프이다. 그 결과, SWCNTs 기반 가스 센서의 I-V 특성은 직선 형태의 선형 그래프를 나타냈으며 (그림 2. (a)), SWCNTs 기반 가스 센서 표면에 ZnO 필름을 장식한 경우에도

선형 형태의 I-V 특성을 나타냈다 (그림 2. (b)). 따라서 SWCNTs 기반 가스 센서의 I-V 특성은 가스를 안정적으로 감지할 수 있으며, ZnO 필름을 장식했을 때, SWCNTs와의 전기적 상호 작용으로 인해 안정적이고 높은 감지 특성을 얻을 수 있고, ZnO 필름을 감도 증가를 위한 가스 감지 촉매제로 사용할 수 있음을 보여준다.

ZnO/SWCNTs 기반 가스 센서와 순수한 SWCNTs 기반 가스 센서의 가스 감도, 선택성, 응답 및 회복 특성을 실온에서 평가했다. NO_x 가스에 관한 센서 평가는 향후 연구로 진행 예정이다. 이번 연구에서는 NO, NH₃, CH₄, CO, CO₂ 가스에 대해 특성을 측정하고, 목표 가스에 5분 30초 동안 노출시켰다. 실험 전류 변화율은 다음 식을 사용하여 백분율로 환산하여 응답을 도출했다.

$$\text{Sensitivity [\%]} = \frac{(R_{\text{gas}} - R_{\text{air}})}{R_{\text{air}}} \quad [6] \quad (3)$$

R_{gas}는 가스 주입 후의 저항이고, R_{air}는 공기 중의 센서 저항을 의미한다.

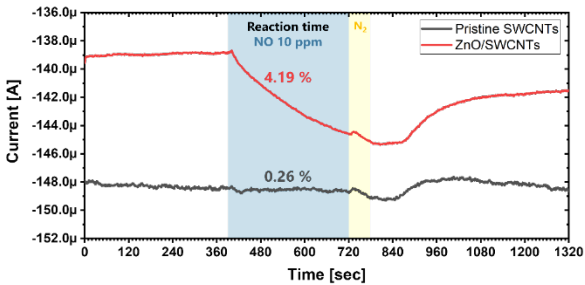


그림 3. 실온에서 10 ppm NO 가스에 대한 순수한 SWCNTs 및 ZnO/SWCNTs 기반 센서의 감도.

그림 3은 실온에서 NO 가스 농도가 10 ppm일 때 센서 소자의 감도를 측정한 결과를 나타낸 그래프이다. 순수한 SWCNTs 기반 가스 센서는 식 (3)에 따라 0.26 %의 응답을 보였고, ZnO/SWCNTs 기반 가스 센서는 4.19 %의 응답을 보였다. ZnO 필름을 장식한 ZnO/SWCNTs 기반 가스 센서의 응답은 순수한 SWCNT 기반 가스 센서에 비해 증감율 계산 결과 1512 % 증가했다. 이는 ZnO/SWCNTs 기반 가스 센서의 ZnO가 NO 가스 분자를 더 잘 흡착하고, SWCNTs의 우수한 전기적 특성으로 인해 감도가 향상되었음을 나타낸다. 또한, 순수한 SWCNTs 기반 센서보다 안정적이므로 잡음이 개선되었음을 확인할 수 있다. 그러나 회복률은 좋지

않았으며, 그 이유는 NO 가스 분자가 ZnO 필름에 강한 흡착 에너지를 갖기 때문이다. 이를 개선하기 위해 광자극 탈착 (PSD) 방식을 사용하여 ZnO와 NO 가스 분자의 강한 흡착 에너지를 분산시켜 NO 가스 분자의 탈착을 유도하였다.

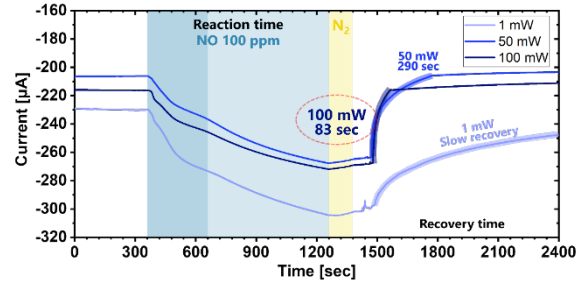


그림 4. 405 nm 레이저의 전력 크기에 따른 ZnO/SWCNTs 기반 가스 센서의 회복률 개선 비교 그래프.

회복률이 가장 높은 405 nm 파장의 레이저를 다양한 전력 크기로 조사하여 센서의 회복률을 비교 및 측정하였다. 모든 회복률 향상 실험은 100 ppm 농도의 NO 가스 환경에서 수행하였다. 광 출력이 1 mW일 때보다 100 mW일 때 가장 빠르고 높은 회복 시간 및 회복률이 관찰되었으며, 광 출력이 증가할수록 개선된 회복률을 얻을 수 있었다 (그림 4).

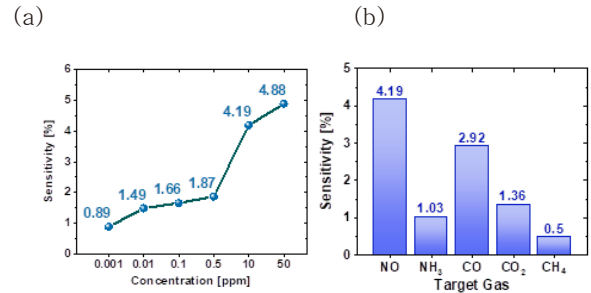


그림 5. (a) NO 가스 농도별 감도 그래프, (b) 실온에서의 유해가스에 대한 ZnO/SWCNTs 기반 센서의 선택성.

그림 5(a)는 NO 가스 농도에 따른 ZnO/SWCNTs 기반 가스 센서의 감도를 나타낸 그래프이다. 50 ppm부터 1 ppb의 저농도까지 측정한 결과, NO 가스 농도에 비례하여 감도가 점진적으로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 본 센서는 1 ppb의 미량 NO 가스도 검출할 수 있어 고성능 검출 능력을 검증했다. 유해가스들의 농도는 모두 10 ppm으로 설정하여 측정을 진행하였으며, ZnO/SWCNT 기반 가스 센서가 다른 유해가스들에 비해 NO 가스에 대한 높은

선택성을 나타내었다. 따라서 ZnO/SWCNT 기반 가스 센서는 NO_x 가스에 대한 선택성에 기인할 수 있음을 입증하였다 (그림 5. (b)).

Res Chem Intermed 46, pp. 3911-3927 (2020).

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서 제작한 ZnO/SWCNTs 기반의 가스 센서는 NO 가스에 대해 우수한 감도 및 빠른 응답시간을 가졌으며, 선택성 실험 결과를 바탕으로 NO 가스뿐만 아니라 후속 연구로 진행할 NO_x에 대해서도 우수한 감지 특성을 나타낼 것으로 예상된다. NO 가스 농도가 10 ppm일 때 ZnO/SWCNTs 기반 센서의 감도는 순수한 SWCNTs 기반 센서보다 1512 % 증가하였고, 복구 속도가 뛰어난 편은 아니나 PSD 방식을 통해 회복률을 개선하였다.

기존 선행 연구들의 ZnO를 활용한 NO_x 가스 센서는 최소 200°C 이상의 고온에서 작동 가능하였으나 본 연구에서 제작한 ZnO/SWCNTs 기반의 가스 센서는 실온에서도 작동이 가능했다.

따라서 실온에서도 높은 감도와 빠른 응답 속도를 갖는 ZnO/SWCNTs 기반의 NO_x 가스 센서는 생물체의 호흡기 질환, 대기오염 및 폭발 사고를 유발할 수 있는 NO_x 가스의 누출을 미연에 방지하는데 활용될 수 있다.

참고문헌

- [1] Mark C Strus *et. al.*, Accelerated reliability testing of highly aligned single-walled carbon nanotube networks subjected to DC electrical stressing, *Nanotechnology*, 22, p. 265713 (2011).
- [2] Motoo Fujii *et. al.*, Measuring the Thermal Conductivity of a Single Carbon Nanotube, *Phys. Rev. Lett.*, 95, p. 065502 (2005).
- [3] Jani Mäklin *et. al.*, Nitric oxide gas sensors with functionalized carbon nanotubes, *phys. stat. sol.*, (b) 244, pp. 4298-4302 (2007).
- [4] Chia-Yu Lin *et. al.*, Using a TiO₂/ZnO double-layer film for improving the sensing performance of ZnO based NO gas sensor, *Sensors and Actuators B, Chemical*, 157, pp. 361-367 (2011).
- [5] Tamvakos, Athanasios *et. al.*, NO₂ Gas Sensing Mechanism of ZnO Thin-Film Transducers: Physical Experiment and Theoretical Correlation Study, *ACS Sensors*, 1, pp. 406-412 (2016).
- [6] Gholami, P. *et al.*, Synthesis and characterization of ZnO-functionalized multiwall carbon nanotubes nanocomposite as NO_x gas sensor,

Carbon Nanotubes based H₂S Sensor at Extremely Low Temperature Condition

RyangHa Kim¹, KyungEun Kim¹, and Younglae Kim¹

¹ *Department of Electronic Engineering, Gangneung-Wonju National University, Korea*

Abstract

Hydrogen sulfide (H₂S) is a toxic and flammable gas with a characteristic rotten egg odor, emitted from both natural and industrial sources such as crude oil, livestock waste, and sewage treatment facilities [1]. It is hazardous even at trace concentrations, with exposure limits set as low as 10 ppm over an 8-hour period [2]. More critically, sub-ppm levels of H₂S have recently been observed in exhaled breath of patients with halitosis, suggesting its relevance not only in industrial but also in biomedical monitoring applications [3].

Detecting H₂S under cryogenic conditions remains a significant challenge. However, such capability is increasingly vital: for instance, NASA has identified H₂S as a contaminant in lunar regolith, highlighting the need for sensors that function reliably under extreme low temperatures in aerospace applications [4]. Furthermore, industrial settings like arctic gas fields or high-altitude operations often require low-temperature operable sensors, where conventional sensors fail due to poor material responsiveness or slow recovery at reduced temperatures.

In this study, we report the development of a chemiresistive sensor based on single-walled carbon nanotubes (SWCNTs), functionalized with 2,2,6,6-tetramethylpiperidin-1-oxyl (TEMPO) to enhance sensitivity and selectivity to H₂S. SWCNTs offer high surface-to-volume ratios, mechanical flexibility, and excellent electrical and thermal conductivity, enabling low-power operation and high stability [5]. The TEMPO-functionalized SWCNTs sensor successfully detected H₂S concentrations of 50 ppm even at -80 °C, indicating strong feasibility for cryogenic gas sensing applications (Fig. 1). Although sensor recovery remains limited in oxygen- and moisture-deficient environments, such as dry gas atmospheres, future research will address regeneration stability. Overall, this work presents a promising pathway for ultrasensitive H₂S detection under cryogenic conditions, expanding the usability of gas sensors in space exploration, extreme industrial environments, and medical diagnostics.

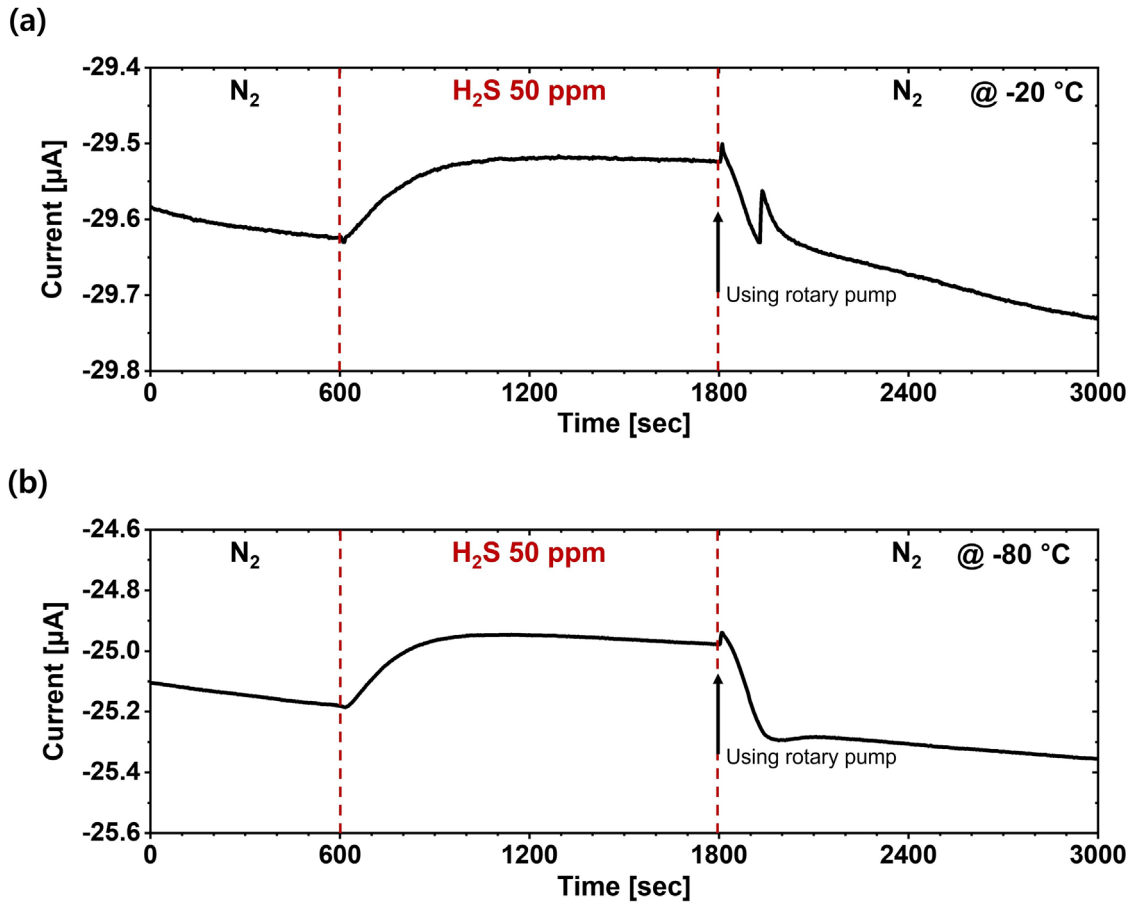


Fig 1 Response of the TEMPO-functionalized sensor to 50 ppm H₂S (a) at -20 °C, and (b) -80 °C

References

- [1] M. Azimi and A. Rostami, "Room temperature chemiresistor H₂S Gas sensor based on ZnS/PbS core-shell quantum dots," in 2021 29th Iranian Conference on Electrical Engineering (ICEE), 2021: IEEE, pp. 65-68. J. Clerk Maxwell, A Treatise on Electricity and Magnetism, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [2] L. Zhang et al., "Self-assembly gridding α -MoO₃ nanobelts for highly toxic H₂S gas sensors," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 237, pp. 350-357, 2016.
- [3] Q. Jing et al., "Ultrasensitive chemiresistive gas sensor can diagnose asthma and monitor its severity by analyzing its biomarker H₂S: An experimental, clinical, and theoretical study," *ACS sensors*, vol. 7, no. 8, pp. 2243-2252, 2022.
- [4] Mushfiq, M., Zhang, L., Ishihara, K., Paul, J., Sampathkumaran, U., Zhang, S., and Tang, Y., "Nanomaterials Based Gas Sensor for ISRU Process Contaminants," *Proc. of 53rd Int. Conf. on Environmental Systems*, pp. ICES-2024-144, Louisville, Kentucky, 2024.
- [5] Y. Wang and J. T. Yeow, "A review of carbon nanotubes-based gas sensors," *Journal of sensors*, vol. 2009, no. 1, p. 493904, 2009.

CMOS-Compatible 1T1R Threshold Logic for Neuromorphic Computing

박솔지¹, 이종원^{1*}

¹충남대학교, 대전, 대한민국

*E-mail address : jwlee@cnu.ac.kr

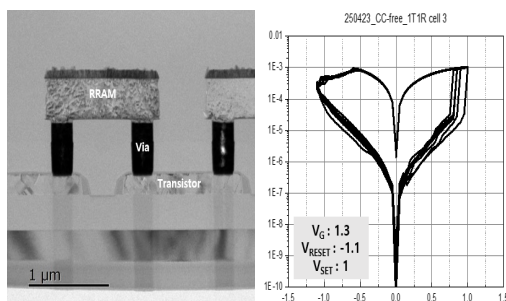
Abstract

기존 RRAM 기반 임계 로직 회로는 멤리스터의 임계 스위칭 특성을 기반으로 다양한 가능성이 제시되었으나, 대부분 시뮬레이션 수준에 머물러 실제 소자 구현 사례는 매우 제한적이었다. 이러한 한계를 극복하고자, 본 연구에서는 180nm CMOS 호환 실리콘 공정 기반으로 RRAM 과 트랜지스터를 결합한 1T1R 구조의 threshold logic NOT gate 를 실험적으로 구현하였다.

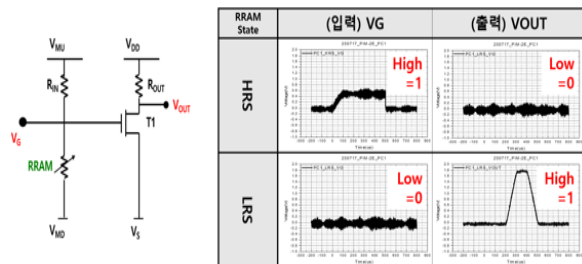
트랜지스터의 게이트 전압(VG)은 RRAM 의 저항 상태에 따라 정해진다. 고저항 상태(HRS, high resistance state)에서는 VG 가 상승하여 트랜지스터가 켜지고, 출력 전압(VOUT)은 낮아져 '0'으로 동작한다. 반대로 저저항 상태(LRS, low resistance state)에서는 VG 가 낮아 트랜지스터는 꺼지며, 출력 전압은 상승하여 '1'로 해석된다. 인가 전압을 반전시키는 인버터로서 트랜지스터의 역할은 전체 회로는 input 값과 output 값을 뒤집는 NOT 게이트로 동작한다. 저항 상태가 로직 상 출력값으로 직결되기에 RRAM 이 단순 메모리 요소를 넘어 연산의 핵심 역할로 수행하는 것이 특징이다.

RRAM 이 출력 전압을 직접 결정하는 연산 구조를 형성하며, 이러한 특성은 Perceptron-in-Memory(PIM) 소자로 확장 가능하다. 임계값에 따라 0 과 1 을 판단하는 뉴런의 역할과 유사한 인공신경망 내 퍼셉트론(Perceptron) 모델로 기대할 수 있다. 위 연구는 0 과 1 의 명확한 논리 동작, CMOS 기반 공정, 연산과 기억의 통합이라는 요소를 갖추어 차세대 뉴로모픽 반도체 기술에 새로운 방향을 제시한다.

Keywords: semiconductor devices; neuromorphic computing; Memristor



[그림 1. 1T1R 소자 구현 TEM 결과 및 I-V curve]



[그림 2. 로직 개형도 및 측정 결과]

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단을 통해 차세대지능형반도체기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00406897)

References

A. K. Maan, D. A. Jayadevi and A. P. James, "A Survey of Memristive Threshold Logic Circuits," in *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*, vol. 28, no. 8, pp. 1734-1746, Aug. 2017, doi: 10.1109/TNNLS.2016.2547842.

Modeling of Energy Bandgap of Si with Higher Completeness as a Simultaneous Function of Temperature and Doping Concentration

김예서, 조성재*

이화여자대학교 지능형반도체공학과

Department of Semiconductor Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Republic of Korea

*Corresponding Author: felixcho@ewha.ac.kr

Abstract In this work, a more complete model of energy bandgap of Si as a function of both temperature and doping concentration has been constructed. The development of model started from the modeling of density-of-states (DOS) effective masses of electron and hole from the bottom, considering their temperature and doping concentration dependencies [1]. Eqs. (1) and (2) show the modeling results of the electron and hole DOS effective masses, which are expressed as a product of temperature and doping concentration functions with the separation of variables for better manipulation. Figs. 1(a) and (b) show the electron and hole DOS effective masses from the modeling results. Energy bandgap of Si has been also modeled into a product form of functions of temperature and doping concentration as paved with Eq. (3). Here, the doping concentration dependence of energy bandgap was introduced by applying a correction factor, $r(N)$ to the purely temperature-dependent function of $E_{gi}(T) = E_g(T, N=0)$ under the intrinsic condition. It can be further refined considering the function limits with N , into the form of $E_g(T, N) = E_{gi}(T)r(N) = E_{gi}(T)[1-s(N)]$ in Eq. (3). Fig. 2(a) depicts the modeling results from Eq. (3) and clearly shows the bandgap narrowing of Si as either temperature or doping concentration increases. In order to attain higher accuracy and credibility of the developed energy bandgap model of Si, the coefficients making up the governing equations listed in Eq. (3) have been corrected with the empirically obtained values as demonstrated in Fig. 2(b). These advancements would significantly benefit the accurate prediction of temperature and doping-dependent parameters including intrinsic carrier concentration and threshold voltage [2,3], which facilitates designing electron devices for harsh environments.

$$m_e^*(T, N) = f(T) \cdot g(N), f(T) = \frac{T}{3600} + 1.061, g(N) = 1 + 0.019 \log_{10} \left(\frac{N}{10^{15}} \right) \quad (1)$$

$$m_h^*(T, N) = p(T) \cdot q(N), p(T) = 4.527 \times 10^{-11} T^3 - 7.754 \times 10^{-7} T^2 + 1.040 \times 10^{-3} T + 0.559, q(N) = 1 + 0.006 \log_{10} \left(\frac{N}{10^{15}} \right) \quad (2)$$

$$E_g(T, N) = E_{gi}(T) \cdot r(N) = E_{gi}(T) [1 - s(N)], E_{gi}(T) = 1.167 - \frac{5.14 \times 10^{-4} \cdot T^2}{T + 645}, s(N) = 0.16 \left(\frac{N}{10^{20}} \right)^{0.46} \quad (3)$$

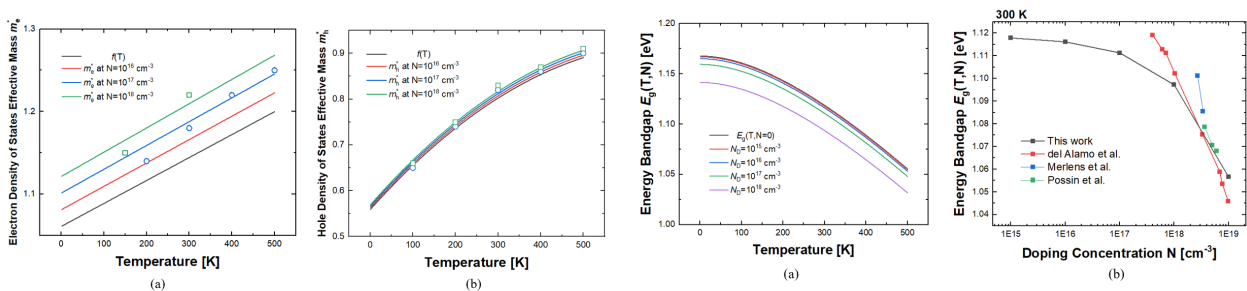


Fig. 1. DOS effective masses of (a) electron and (b) hole. Fig. 2. Energy bandgap. (a) Modeling. (b) Evaluation.

Keywords: energy bandgap modeling; temperature and doping dependencies; separation of variables; complete modeling

Acknowledgments This work was supported by MSIT under Grants 2021M3H4A6A01048300 and RS-2024-00402495.

References [1] A. P. Silard and M. J. Duța, *J. Appl. Phys.* 62(9), 3815, Nov. 1987.

[2] N. Cavassilas, J.-L. Autran, F. Aniel, and G. Fishman, *J. Appl. Phys.* 92(3), 1431, Aug. 2002.

[3] H. D. Barber, *Solid-State Electron.* 10(11), 1039, Nov. 1967.

Single-Cell-Integrated Two-Terminal CMOS Transistor with Dynamic Threshold Tunability

김수민 에리카, 조성재*

이화여자대학교 융합전자반도체공학부

Division of Electronics and Semiconductor Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Republic of Korea

*Corresponding Author: felixcho@ewha.ac.kr

Abstract As conventional complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS) scaling approaches its physical limits with economic burden, complementary field-effect transistors (CFETs) having stacked nanosheet channels are gaining attention for improved integration density and energy efficiency with the help of vertical integration. In these approaches, a compact CMOS configuration having NMOS and PMOS transistors are closely packed overcoming the limit predicted in the planar layout level [1,2]. Inspired by the technological direction, in this work, a novel single-cell-integrated two-terminal CMOS transistor having dynamic threshold tunability for both NMOS and PMOS devices is proposed and characterized [3]. As shown in Fig. 1, the CMOS cell integrates NMOS and PMOS in a single structure on the $p^+/n/p/n^+$ series junction [4]. Although they are not electrically isolated, NMOS and PMOS are designed to operate independently on the series junctions and it is notable that only two terminals are steering the operations of each transistor. Gate of a transistor is physically contacted to the channel of the transistor so that dynamic threshold switching is realized for warranting a small subthreshold swing towards low-voltage operation. In order to make an exquisite balance between unwanted leakage to gate and channel potential elevation, the gate-to-channel contact dimension needs to be carefully controlled. Figs. 2(a) and (b) present the transfer characteristics of NMOS and PMOS transistors in the dynamic-threshold CMOS (DTCMOS) cell (channel length = 50 nm, gate oxide thickness = 3 nm). It is revealed that the doping concentrations in the lightly-doped p and n regions in the series junctions are crucial factor in determining the transfer characteristics and a high enough concentration should be introduced for satisfactory switching. The proposed single-cell DTCMOS would strongly support the low-power and area-efficient logic design in the advanced large-scale integrated circuits.

Keywords: complementary metal-oxide-semiconductor (CMOS); dynamic threshold (DT); single-cell DTCMOS

Acknowledgments This work was supported by MSIT under Grants RS-2023-00258527 and RS-2024-00402495.

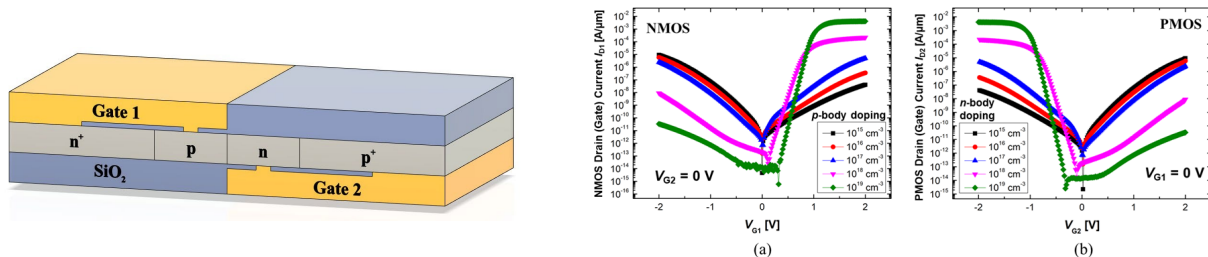


Fig. 1. Schematic of the two-terminal DTCMOS cell. Fig. 2. Transfer curves of (a) NMOS and (b) PMOS in the cell.

References [1] *IEEE International Roadmap for Devices and Systems (IRDS)*, 2024, available at <https://irds.ieee.org>.

[2] Md. H. R. Ansari, *et al.*, *Proc. 28th KCS*, Korea, Jan. 25–29, 2021. [3] F. Assaderaghi, *et al.*, *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 44, no. 3, pp. 414–422, Mar. 1997. [4] Y. Kim, *et al.*, *IEEE Electron Device Lett.*, vol. 40, no. 4, pp. 566–569, Apr. 2019.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 3]
반도체 2
(Memory, Neuromorphic)

좌장 : 김 혁 (서울시립대학교)



Improvement of Read Disturb and Retention Characteristics in FBFET-Based 1T-DRAM Using Bulk Trap and Nitride-Oxide (NO) Structure

Gyu-Beom Kim¹, Jong-Hyeon Son¹, and Myung-Hyun Baek^{1*}

¹Department of Electronic and Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju National University
Gangneung, 25457, South Korea

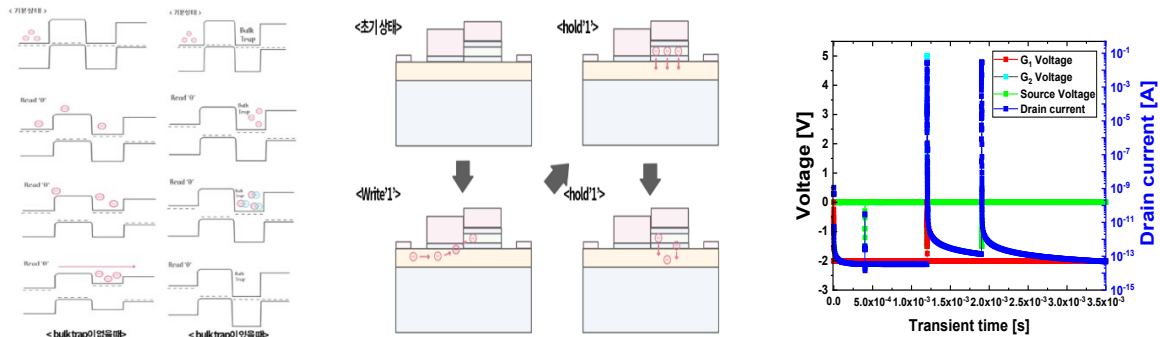
초록

본 연구에서는 기존 1T-1C DRAM 이 커패시터 면적 확보의 한계로 인해 고집적화에 제약이 있다는 점에 착안하여, Feedback Field-Effect Transistor(FBFET)를 기반으로 한 커패시터가 없는 1T-DRAM 구조를 제안하였다. FBFET 는 양의 피드백을 이용해 급격한 subthreshold swing 과 높은 온/오프 전류비를 구현하며, floating body 내 전하 축적을 통해 데이터 저장 가능한 특성을 지닌다.

FBFET 기반 DRAM 에서 발생하는 문제인 read disturb 현상 분석을 위해, '0' 상태에서 반복적인 읽기 동작을 수행하는 TCAD 시뮬레이션을 통해 floating body 로 소량의 전자 유입이 barrier 상승을 유도하고, 누적 시 '1' 상태로 뒤집히는 read failure 가 발생함을 확인하였다. 이를 해결하기 위해 bulk trap 이 소자의 데이터 유지 특성에 핵심적으로 기여함을 규명하였다. bulk trap 은 읽기 동작 중 유입된 전자와의 재결합을 통해 barrier 상승과 피드백 유발을 억제하고, read disturb 를 효과적으로 완화시킨다.

또한 retention time 향상을 위해 Nitride-Oxide(NO) 구조를 도입하고, Nitride 층의 deep trap 을 활용해 floating body 내 전자 손실을 보완하는 방안을 제안하였다. 시뮬레이션 결과, NO 구조 적용 시 기존 대비 hold time 이 개선됨을 확인하였다.

본 연구는 FBFET 기반 커패시터가 없는 1T-DRAM 의 실현 가능성을 제시하며, bulk trap 과 SONOS 구조를 통한 read disturb 및 retention 특성 개선의 구체적 방안을 제시함으로써 차세대 고집적 메모리 소자 기술 발전에 기여할 것으로 기대된다.



Acknowledgements

This research was supported by Semiconductor R&D Support Project through the Gangwon Technopark (GWTP) funded by Gangwon Province (No. GWTP 2024-029).

References

[1] C. Lee, J. Sung, and C. Shin, "Understanding of Feedback Field-Effect Transistor and Its Applications," Applied Sciences, vol. 10, no. 9, p. 3070, 2020. doi: 10.3390/app10093070.

TFET-Enabled Flash Memory Synaptic Device for Neuromorphic Systems: Solving the Fan-in Challenge

Da-Gyo Yoo¹, Gyu-Beom Kim¹, Sung Wook Park^{2*} and Myung-Hyun Baek^{2*}

¹Dept. of Electronic Engineering, Gangneung-Wonju National Univ., Korea

²Dept. of Electronic and Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju National Univ., Korea

*Corresponding Author: mhbaek@gwnu.ac.kr

Abstract

With the rapid advancement of artificial intelligence (AI), hardware-based neuromorphic systems have emerged as promising solutions for next-generation computing. These architectures mimic the brain's biological structure, where synapses are closely associated with human memory. Accordingly, synapse-mimicking electronic devices are being investigated as non-volatile memories capable of storing synaptic weights [1]. Flash memory is suitable for neuromorphic applications because of its CMOS compatibility and support for multi-level operation. However, neuromorphic systems inherently suffer from the fan-in problem, in which each neuron connects to hundreds of synapses, leading to substantial increases in power consumption. In this paper, a NOR Flash-based double-gate Tunneling Field Effect Transistor (TFET) structure is proposed. The proposed architecture enables cell-level control while improving subthreshold swing (SS) to achieve precise and energy-efficient read behavior. The proposed device reliably supports 256 analog weight levels and achieves ultra-low read currents below 10 nA. Fig. 1(a) shows the structural details of a single synaptic cell, based on a TFET integrated with a double-gate Flash memory configuration. Fig. 1(b) extends this concept to the array level, depicting how these cells are organized within a NOR Flash architecture. Fig. 2 shows the transfer curve across 256 cycles of PGM and ERS. Fig. 2(a) shows the V_{th} shift from 1 to 256 PGM cycles. As PGM pulses accumulate, electron trapping in the SONOS layer causes the I_D - V_G curve to shift right. Fig. 2(b) demonstrates the response to 1 to 256 ERS cycles. As the trapped charge is removed, the curve shifts left. Its capability to form a neural network was validated by reproducing a Multi-Layer Perceptron (MLP) model that classifies digits on the MNIST dataset [2]. The performance drop was only 0.93 % in accuracy, demonstrating its potential applicability in real-world scenarios.

Keywords: Neuromorphic Computing; TFET; NOR Flash Memory; Fan-in problem

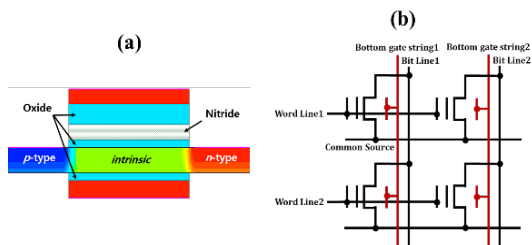


Fig. 1. (a) Schematic of proposed double gate TFET with SONOS structure. (b) Schematic of the proposed NOR Flash array structure with additional bottom gate strings.

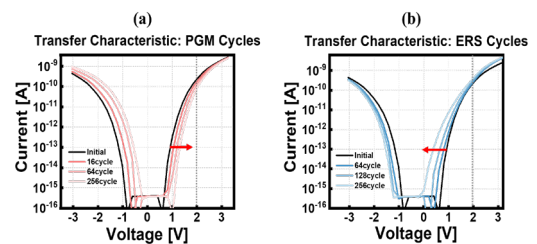


Fig. 2. Threshold voltage modulation in the double gate SONOS TFET synaptic device: V_{th} shift with 1–256 (a) PGM and (b) ERS cycles.

Acknowledgements

This research was supported by Semiconductor R&D Support Project through the Gangwon Technopark (GWTP) funded by Gangwon Province (No. GWTP 2024-029).

References

- [1] van de Burgt, Y. et al., "A non-volatile organic electrochemical device as a low-voltage artificial synapse for neuromorphic computing," *Nature Mater.*, vol. 16, no. 4, pp. 414-418, 2017.
- [2] Lillicrap, T.P. et al., "Random synaptic feedback weights support error backpropagation for deep learning," *Nat Commun.*, vol. 7, no. 1, 2016.

Uncertainty-Aware DRAM Equalizer Optimization Using Bayesian Representation Learning and Deployment Risk Assessment

Muhammad Usama and Dong Eui Chang*

School of Electrical Engineering, KAIST, Daejeon, Republic of Korea

{usama, dechang}@kaist.ac.kr

* Corresponding Author

Abstract

High-speed DRAM systems face severe signal integrity challenges requiring precise equalizer parameter optimization. Existing model-based and machine learning methods are either computationally prohibitive or lack deployment confidence assessment. We propose a Bayesian reinforcement learning framework with uncertainty quantification via Monte Carlo dropout, enabling both performance optimization and deployment risk assessment. On 300,000 waveform pairs from eight DRAM server units, our proposed optimization method achieves 37.1% mean eye opening area improvement for DFE and 41.5% for CTLE+DFE, representing 80.7% and 89.1% improvements over Q-learning and other baselines. 62.5% of CTLE+DFE configurations qualify for immediate deployment, demonstrating production-ready optimization for mission-critical applications.

I. Introduction

High-speed dynamic random-access memory (DRAM) systems require precise equalizer optimization to mitigate inter-symbol interference. Existing approaches face two critical limitations: (1) model-based methods scale exponentially ($O(k^8)$ for 8-parameter continuous-time linear equalizer (CTLE) and decision feedback equalifier (DFE)), and (2) machine learning approaches lack uncertainty quantification essential for mission-critical

deployments [1][2][3].

We introduce a Bayesian reinforcement learning (RL) framework with uncertainty-augmented state representation that enables simultaneous performance optimization and confidence assessment. The approach incorporates Monte Carlo dropout for epistemic uncertainty quantification, achieving 37.1% and 41.5% mean window area improvements within the eye-opening for DFE and CTLE+DFE respectively, representing 80.7% and 89.1% improvements over Q-learning baseline. The framework provides calibrated deployment classification with 62.5% of CTLE+DFE configurations qualifying for immediate deployment, addressing the gap between algorithmic optimization and production readiness through systematic uncertainty-aware deployment strategies.

II. Methodology

2.1 Problem Formulation

We formulate DRAM equalizer optimization as a stochastic optimization problem. Given input and output waveforms $\mathbf{d}_i, \mathbf{d}_o \in \mathbb{R}^{n_x}$, where \mathbf{d}_i and \mathbf{d}_o denote the input and output signal vectors respectively, and $n_x = 10,000$ is the signal length, sampled at 6400 Mbps (unit interval $T_{UI} = 156.25$ ps), we seek optimal equalizer parameters \mathbf{p}^* ,

$$\mathbf{p}^* = \underset{\mathbf{p} \in \mathcal{P}}{\operatorname{argmax}} \left[E_{p(\mathbf{z}|\mathbb{D})} [\mu(\mathbf{d}_o^e(\mathbf{p}, \mathbf{z}))] - \lambda \operatorname{Var}_{p(\mathbf{z}|\mathcal{D})} [\mu(\mathbf{d}_o^e(\mathbf{p}, \mathbf{z}))] \right],$$

Table 1: Performance Comparison Against Baseline Methods. Performance metrics represent eye-opening area improvement percentages. Confidence intervals are calculated using bootstrap resampling with $B = 1000$ iterations.

Method	Mean (%)	Worst-case (%)	95% CI
DFE (4-parameter)			
Ours (Bayesian RL)	37.1	33.8	[35.2, 39.0]
Deterministic A2C [5]	36.8	24.1	[34.9, 38.7]
Q-learning	26.1	18.7	[24.2, 28.0]
Particle Swarm Optimization	19.8	13.2	[18.5, 21.1]
Grid Search	13.8	8.5	[12.1, 15.5]
Bayesian Optimization [1]	11.7	7.2	[10.1, 13.3]
Policy Optimization [3]	15.5	10.1	[13.7, 17.3]
Genetic Algorithm	14.2	9.4	[12.6, 15.8]
CTLE+DFE (8-parameter)			
Ours (Bayesian RL)	41.5	38.2	[39.4, 43.6]
Deterministic A2C [5]	42.7	29.5	[40.8, 44.6]
Q-learning	28.5	20.2	[26.3, 30.7]
Particle Swarm Optimization	25.4	17.9	[23.5, 27.3]
Grid Search	15.2	10.1	[13.0, 17.4]
Bayesian Optimization [1]	18.9	12.7	[16.5, 21.3]
Policy Optimization [3]	21.3	14.8	[19.1, 23.5]
Genetic Algorithm	20.5	13.9	[18.3, 22.7]

where $\mathcal{P} = [0,1]^d$ is the parameter space, $d = 4$ for DFE ($p = \{t_1, t_2, t_3, t_4\}$) and $d = 8$ for CTLE+DFE ($p = \{G_{dc}, f_z, f_p, G_p, t_1, t_2, t_3, t_4\}$). The regularization parameter $\lambda = 0.1$ balances performance versus uncertainty minimization. The signal integrity (SI) metric $\mu(d_o^e)$ gives eye-opening area in the form of the largest rectangular window within the eye-opening. The equalized output signal is denoted d_o^e . The epistemic uncertainty estimate σ_{unc} is computed from Monte Carlo dropout as the standard deviation of latent predictions, and is used for deployment confidence assessment.

2.2 Bayesian Architecture with Uncertainty Quantification

The Bayesian autoencoder uses symmetric layers $n_x \rightarrow 512 \rightarrow 256 \rightarrow 11 \rightarrow 256 \rightarrow 512 \rightarrow n_x$ with Monte Carlo dropout. Using latent representation $z = l(d_o; \phi) \in R^{11}$ for SI assessment provides $51 \times$ speedup over direct eye diagram computation. For dropout probability $p = 0.1$ with $M = 100$ forward passes, we get

$$\widehat{\mu}_z = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M z^{(m)}, \quad \widehat{\sigma}_z^2 = \frac{1}{M-1} \sum_{m=1}^M (z^{(m)} - \widehat{\mu}_z)^2.$$

2.3 Uncertainty-Aware Reinforcement Learning

We formulate optimization as MDP $\mathcal{M} = (\mathcal{S}, \mathcal{A}, \mathcal{T}, \mathcal{R}, \gamma)$ with uncertainty-augmented state $s_t = [\widehat{\mu}_z, \widehat{\sigma}_z^T]^T \in R^{22}$. Reward function penalizes latent space inconsistency compared to the input signal and high uncertainty, $R(s_t, a_t) = -\|l(d_i) - l(d_o^e)\|_2 - \alpha \|\widehat{\sigma}_z\|_2$, where $\alpha = 0.1$. Advantage Actor-Critic (A2C) uses Gaussian policy $\pi_{\theta}(a|s) = \mathcal{N}(\mu_{\theta}(s), \sigma_{\theta}^2(s))$ with joint loss:

$$\mathcal{L}(\theta, \omega) = \mathcal{L}_{\pi}(\theta) + \beta_v \mathcal{L}_v(\omega) - \beta_h \mathcal{L}_h(\theta),$$

with parameters $\gamma = 0.98$, $\beta_v = 0.5$, $\beta_h = 0.01$. $\mathcal{L}_{\pi}(\theta)$ is the policy loss, $\mathcal{L}_v(\omega)$ is the value loss and $\mathcal{L}_h(\theta)$ gives the entropy regularization term.

2.4 Deployment Framework

Configurations are classified by uncertainty

Table 2: Uncertainty-Aware Equalizer Optimization Results. Latent uncertainty quantifies epistemic uncertainty from Monte Carlo dropout with $M = 100$ samples. Lower values indicate higher model confidence.

Method	Window Area Improvement (%)				Latent Uncertainty			
	Mean	Std	Min	Max	Mean	Std	Min	Max
DFE (4-tap)	37.1	2.2	33.8	37.5	0.021	0.002	0.02	0.03
CTLE+DFE(8-parameters)	41.5	1.7	38.2	41.8	0.019	0.002	0.02	0.02

thresholds: high reliability ($\sigma_{\text{unc}} < 0.02$), intermediate confidence ($0.02 \leq \sigma_{\text{unc}} < 0.024$), validation required ($\sigma_{\text{unc}} \geq 0.024$). Correlation analysis shows $r = -0.42$ between uncertainty and performance, enabling automated deployment decisions.

III. Experimental Results

3.1 Dataset and Training Protocol

The dataset consists of signal waveforms from CPU-to-DRAM write operations in server environments at 6400Mbps, using registered dual in-line memory modules. For each of eight DRAM units, 300,000 input/output waveform pairs were simulated, totaling 4.8 million samples. Each sample contains $n_x = 10,000$ consecutive values for both the CPU-written input and the DRAM-received output, constructed via a rolling window with single-step increments. Waveforms were sampled at 10ps intervals (one unit interval = 156.3ps), and interpolated to 1ps spacing for eye diagram visualization.

Each output sample $d_o \in R^{n_x}$ is assigned a binary validity label based on eye diagram analysis. A rectangular window of $80\text{mV} \times 35\text{ps}$ is defined in the eye-opening region: samples intersecting this window were labeled invalid ($y = 0$), otherwise valid ($y = 1$). Training uses Bayesian autoencoder (512 – 256 – 11 – 256 – 512, $p = 0.1$, 200 epochs, learning rate $\eta = 10^{-3}$) and A2C agent (22 – 128 – 64 – d , 300 epochs, learning rate $\eta = 5 \times 10^{-4}$).

For an equalized output waveform d_o^e , the SI evaluation metric used in this study is the area of the largest rectangular window within the eye-opening, denoted by $\mu(d_o^e)$ and computed using PyEye package[4]. Higher values of $\mu(d_o^e)$ indicate improved signal integrity.

Table 3: Uncertainty-Based Deployment Classification. Deployment recommendations are based on epistemic

3.2 Performance Analysis

The Bayesian RL framework demonstrates substantial improvements across both equalizer configurations while providing epistemic uncertainty quantification. Table 1 shows our approach achieves mean area improvement of 37.1% for DFE with confidence interval [35.2,39.0]% and worst-case performance of 33.8%, representing 80.7% improvement over Q-learning worst-case (33.8% vs. 18.7%) and 40.2% over deterministic A2C (33.8% vs. 24.1%)[5].

CTLE+DFE configurations achieve 41.5% mean improvement with [39.4,43.6]% confidence interval and 38.2% worst-case performance, representing 89.1% improvement over Q-learning (38.2% vs. 20.2%) and 29.5% over deterministic A2C. The framework uniquely provides uncertainty quantification alongside superior performance metrics.

3.3 Uncertainty Analysis and Deployment Classification

Monte Carlo dropout estimation enables deployment confidence assessment across 16 equalizer configurations. Table 2 shows DFE configurations exhibit uncertainty $\sigma_{\text{unc}} = 0.021 \pm 0.002$ (range 0.018–0.025) with performance $37.1 \pm 2.2\%$. CTLE+DFE demonstrates enhanced uncertainty control: $\sigma_{\text{unc}} = 0.019 \pm 0.002$ (range 0.015–0.022) with performance $41.5 \pm 1.7\%$.

Uncertainty-performance correlation $r = -0.42$ validates the capability of our framework to identify high-confidence, high-performance configurations. Shown in Table 3, High reliability configurations ($\sigma_{\text{unc}} < 0.02$) constitute 25% of DFE cases versus 62.5% for CTLE+DFE. Deployment classification reveals 43.8% immediate deployment suitability, 43.8% enhanced validation, 12.5% extensive validation across all 16 configurations.

uncertainty thresholds and systematic risk assessment.

Configuration Type	High Reliability	Moderate Confidence	Validation Required
	$(\sigma_{\text{unc}} < 0.02)$	$(0.02 \leq \sigma_{\text{unc}} < 0.024)$	$(\sigma_{\text{unc}} \geq 0.024)$
DFE (8 units)	25% (2 units)	62.5% (5 units)	12.5% (1 unit)
CTLE+ DFE (8 units)	62.5% (5 units)	25% (2 units)	12.5% (1 unit)
Overall (16 configs)	43.8% (7 total)	43.8% (7 total)	12.5% (2 total)

Deployment classification demonstrates superior performance for high-confidence configurations. Analysis across all 16 configurations reveals systematic differences in deployment readiness: 43.8% qualify for immediate deployment with low epistemic uncertainty, 43.8% require enhanced validation, and 12.5% necessitate extensive validation.

3.4 LLM-Based Technical Insights

Using GPT-4.1 large language model (LLM), our explainable AI module processes optimization results comprising equalizer parameters p , signal integrity metric $\mu(d_o)$, and uncertainty estimates σ_{unc} for automated technical assessment. The PyDantic schema and prompt used for the analysis are given below Table 4.

DFE analysis shows primary tap t_1 distribution $0.58 - 0.65$ with mean $\bar{t}_1 = 0.615 \pm 0.023$, indicating consistent optimization convergence. CTLE+DFE analysis reveals DC gain $G_{\text{dc}} = 0.72 \pm 0.025$ (range $0.69 - 0.76$) and zero frequency $f_z = 0.175 \pm 0.023$ (range $0.14 - 0.21$), indicating adaptive frequency response optimization. Threshold-based classification maps uncertainty to deployment confidence with high reliability for $\sigma_{\text{unc}} < 0.02$ (7/16 configurations), moderate confidence for $0.02 \leq \sigma_{\text{unc}} < 0.024$ (7 configurations), validation required for $\sigma_{\text{unc}} \geq 0.024$ (2 configurations).

IV. Conclusions

This work introduces a Bayesian reinforcement learning framework for uncertainty-aware DRAM equalizer optimization addressing critical mission-critical deployment limitations. The framework combines Monte Carlo dropout uncertainty quantification with actor-critic optimization, achieving 37.1% and 41.5% mean eye-opening

window area improvements for DFE and CTLE+DFE equalizers, representing 80.7% and 89.1% improvements over Q-learning baselines, respectively.

Key contributions include systematic uncertainty quantification enabling deployment confidence assessment, with 62.5% of CTLE+DFE configurations qualifying for direct deployment ($\sigma_{\text{unc}} < 0.02$). The integrated LLM-based insights module provides automated deployment recommendations with quantified risk stratification. Monte Carlo dropout integration within continuous action RL represents a methodological contribution that enables simultaneous performance optimization and confidence estimation without explicit channel modeling.

Acknowledgment

This work was supported by Samsung Electronics Co. Ltd (Contract ID : MEM230315_0004).

References

- [1] R. Medico, D. Spina, D. V. Ginste, D. Deschrijver, and T. Dhaene, "Machine-learning-based error detection and design optimization in signal integrity applications," *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology*, vol. 9, pp. 1712–1720, 2019.
- [2] R. Medico, D. Spina, D. VandeGinste, D. Deschrijver, and T. Dhaene, "Autoencoding density-based anomaly detection for signal

Table 4: PyDantic Schema and LLM Prompt Used for LLM Assessment

```

1. class LLMExplanation(BaseModel):
2.     dram_id: int
3.     method: str
4.     summary: str = Field(description="High-level summary of optimization result")
5.     technical_analysis: str = Field(description="Technical insights from LLM")
6.     uncertainty_interpretation: str = Field(description="Uncertainty analysis")
7.     parameter_insights: str = Field(description="Parameter configuration analysis")
8.     reliability_assessment: str = Field(description="Reliability and confidence assessment")
9.     recommendations: str = Field(description="Practical recommendations")
10.
11. prompt = f"""
12. You are an expert in signal integrity and DRAM equalizer optimization. Analyze the following
13. optimization result:
14. Configuration: {config_type}
15. DRAM Unit: {result.dram_id}
16. SI Metric Performance: {result.si_metric_percent:.1f}%
17. Latent Uncertainty: {result.latent_uncertainty:.3f}
18. Parameters: {dict(zip(param_names, result.parameters))}
19.
20. Context from statistical analysis:
21. - Method average SI: {method_analysis.get('mean_si', 0):.1f}%
22. - Method uncertainty average: {method_analysis.get('mean_uncertainty', 0):.3f}
23. - Parameter correlations with performance: {method_analysis.get('param_correlations', [])}
24.
25. Please provide expert analysis covering:
26. 1. Technical interpretation of the parameter configuration
27. 2. Uncertainty quantification significance for reliability
28. 3. Parameter tuning insights and sensitivity analysis
29. 4. Reliability assessment based on uncertainty level
30. 5. Practical recommendations for deployment
31.
32. Be specific, technical, and focus on the engineering implications.
33. """
34.

```

integrity applications," 2018 IEEE 27th Conference on Electrical Performance of Electronic Packaging and Systems (EPEPS), pp. 47–49, 2018.

[3] Y. Xu, L. Huang, W. Jiang, L. Xue, W. Hu, and L. Yi, "Automatic optimization of volterra equalizer with deep reinforcement learning for intensity-modulated direct-detection optical communications," *Journal of Lightwave Technology*, vol. 40, pp. 5395–5406, 2022. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:251325192>

[4] M. Usama and D. E. Chang, "Pyeye: An integrated approach for signal integrity assessment and eye diagram generation," in 2023 IEEE International Conference on Consumer Electronics-Asia (ICCE-Asia),

2023, pp. 1–3.

[5] M. Usama and D. E. Chang, "Deep reinforcement learning-based dram equalizer parameter optimization using latent representations," 2025. [Online]. Available: <https://arxiv.org/abs/2507.02365>

Implementation of 3D-ReRAM based on $\text{HfO}_2/\text{TaO}_x$ with CMOS-Compatible Process

박민식¹, 이아령¹, 유현욱¹, 이종원^{1*}

¹충남대학교 전파정보통신공학과, 대전, 대한민국

¹Dept. of Radio and Information Communications Engineering, Chungnam National Univ., Republic of Korea

*Corresponding Author: jwlee80@gnu.ac.kr

Abstract

To further improve the integration density of memristor, resistive random-access memory (ReRAM) should be developed in three-dimensional (3D) structure [1-2]. Conventional two-dimensional (2D) ReRAM devices face clear integration density limitations due to their implementation in a physically confined planar space [3]. In this study, we developed a 3D ReRAM device with enhanced per-unit-area storage density compared to 2D structures. The 3D ReRAM device was fabricated using a CMOS-compatible Back-End-of-Line (BEOL) process, as illustrated in Figure 1. The bottom electrode (BE) of the fabricated device was deposited by TiN sputtering. The switching layer (SW) was formed as a $\text{HfO}_2/\text{TaO}_x/\text{Ti}$ stack using atomic layer deposition (ALD) and reactive sputtering. For the top electrode (TE), TiN/W was deposited via sputtering and CVD. Figure 2 shows the DC I-V measurement results of the fabricated ReRAM devices after 10 cycles of each lower ReRAM (BE1-TE) and upper ReRAM (BE2-TE). The average On/Off ratio of BE1-TE and BE2-TE is 5.5 and 6.2, respectively. The difference in the average on/off ratio between BE1-TE and BE2-TE is approximately 11%, showing similar performance. This 3D ReRAM fabrication technique can be extended to multi-layered BEs, making it suitable for high-density neuromorphic circuits and systems.

Keywords: semiconductor devices; neuromorphic computing; Memristor

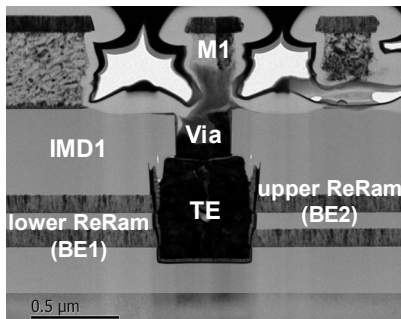


Fig. 1 TEM image of a fabricated three-dimensional (3D) ReRAM.

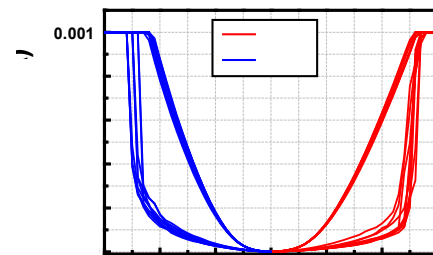


Fig. 2. DC I-V curves of BE1 and BE2 for 10 cycles.

Acknowledgment: This research(work) was supported by Next-generation Intelligence semiconductor R&D Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Korea government(MSIT)(RS-2024-00406897)

References

- [1] Bai, Y., Wu, H., Wu, R. et al., "Study of Multi-level Characteristics for 3D Vertical Resistive Switching Memory," Sci Rep 4, 5780, 2014.
- [2] Sheng-Guang Ren, A-Wei Dong, Ling Yang, Yi-Bai Xue et al., " Self-Rectifying Memristors for Three-Dimensional In-Memory Computing," Advanced Materials, vol 36, 2307218, 2023.
- [3] Hudec, B., Hsu, CW., Wang, IT. et al., "3D resistive RAM cell design for high-density storage class memory-a review," Sci. China Inf. Sci, 59, 061403, 2016.

General-Purpose Memory Processing Unit (GP-MemPU): Memory Network Logic and Parameter-Steered Reconfigurability

이주은, 조성재*

이화여자대학교 융합전자반도체공학부

Division of Electronics and Semiconductor Engineering, Ewha Womans University, Seoul 03760, Republic of Korea

*Corresponding Author: felixcho@ewha.ac.kr

Abstract

Model artificial neural network (ANN) operations are predominantly executed as software-oriented matrix computations increasingly with graphics processing units (GPUs). However, this approach is not free from the issues of excessive power consumption, system volume occupancy, and heat problems due to serial processing nature and memory bottleneck in the conventional von Neumann architecture. In order to overcome these limitations, this study attempts a hardware-oriented processing unit implemented with the weighted sum operation in the memory network in the fully analog manner [1]. The strategy is practically achieved by replacing the conventional executive algorithms by variable resistances (memories) and fundamental physical principles governing the network circuits including Ohm's law and Kirchhoff's law [2]. In the proposed architecture, the conventional logic and arithmetic operations are performed inside the network of synaptic memory devices, maximizing the operational speed and power efficiency by reducing the number of components and getting rid of time and energy consumed over data movement. The core contribution of this work is the demonstration of analog logic operations realized by neural network purely composed of memory components. Further, it would be notable that the logical function of the network can be switched only by manipulating the neural network parameters of weight and bias. Specifically, with the two-input weights (w_1 , w_2) and the bias voltage (V_B) held constant, it has been found that adjusting only the bias conductance (G_B) can change the mode of logical functions of a neuron (Fig. 1). This is a key result demonstrating that hardware flexibility can be maximized by switching a logic gate to another one through control of a single parameter (Table 1), without any physical alteration in the hardware network structure. It is proven that a new view beyond software or digital circuit-oriented logic operations can be provided by the memory network logic capable of both ANN and logic operations towards general-purpose memory processing unit (GP-MemPU). This can further evolve into on-chip computing, where the learning and parameter updates take place over cross-talks between analog and digital integrated circuits on a single chip having them in a single network.

Acknowledgements This work was supported by the National Research Foundation (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT) under Grants RS-2023-00258527 and RS-2024-00402495.

Keywords: artificial neural network (ANN), memory network, general-purpose memory processing unit (GP-MemPU)

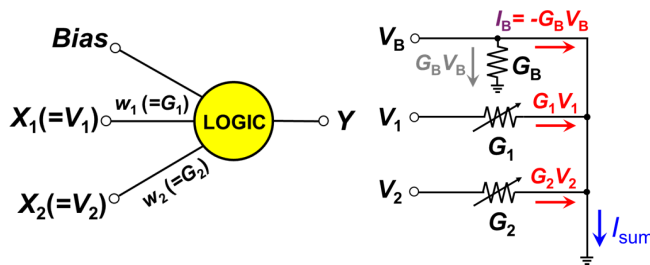


Fig. 1. Memory network. Skeleton (left) and circuit (right).

Table 1. Memory network logic operations.

V_1 [V]	V_2 [V]	I_{total} [A]	AND	OR
0	0	$-G_B V_B$	L	L
0	1	$G_2 V_2 - G_B V_B$	L	H
1	0	$G_1 V_1 - G_B V_B$	L	H
1	1	$G_1 V_1 + G_2 V_2 - G_B V_B$	H	H

References

- [1] S. Cho, "Volatile and Nonvolatile Memory Devices for Neuromorphic and Processing-in-memory Applications," *J. Semicond. Technol. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 30–46, Feb. 2022.
- [2] S. Dillavou, B. D. Beyer, M. Stern, A. J. Liu, M. Z. Miskin, and D. J. Durian, "Machine learning without a processor: Emergent learning in a nonlinear analog network," *PNAS*, vol. 121, no. 28, pp. e2319718121-1–e2319718121-8, Jul. 2024.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 4]
인공지능
(Memory, Neuromorphic)

좌장 : 백명현(국립강릉원주대학교)



Wasserstein Generative Adversarial Network Model for Predicting Metastasis in Cancer

Akram Maryam and Kyungsook Han*

Department of Computer Engineering, Inha University, Incheon, 22212, South Korea

Abstract

Metastasis, the advancement of tumor cells to distant organs is associated with poor prognosis of cancer patients. It involves a series of biological occurrences enabling cells at primary tumor sites progressively acquire the ability to invade other parts through the blood stream, lymphatics, or directly perforating to nearby structures and colonize these organs. It significantly affects the survival rates of patients. Metastasis shows many genetic and transcriptional variations. Despite many advancements made in recent years, predicting metastasis is still challenging for several reasons, which include insufficient data of tumor samples with information on metastasis and severe imbalance between tumor samples with metastasis and those without metastasis and similar gene expression patterns across tumor samples.

In this study we obtained RNA-seq gene expression data from The Cancer Genome Atlas (TCGA) and selected genes based on changes in the biweight midcorrelations of miRNAs with RNAs between metastasis and non-metastasis samples followed by PCA. The types of RNAs we considered in this study include miRNA, mRNA, lncRNAs and pseudogenes. The selected pairs of genes were used for training a classification model by expanding the small sample size of metastasis class using data augmentation. The Wasserstein Tabular-Generative Adversarial Network (WT-GAN) model was used for synthesizing positive samples. The WT-GAN synthesized samples augmented with real samples were used to train the classification model. The number of samples generated were controlled carefully by accounting two facts that data is sufficiently enriched and data patterns are not drifted. Our model showed improved performance (AUC-ROC of 90-98%) when tested on an independent dataset for COAD, KIRC, STAD, LUAD, BLCA and BRAC cancer types.

Acknowledgments This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science and ICT (2020R1A2B5B01096299).

MediaPipe와 OpenCV를 활용한 모욕적인 손 제스처

실시간 인식 및 모자이크 필터링 시스템 구현

Jieun Kang¹, Jiye Choi¹, Soyeon Kim¹, and Sunah Son¹

¹*School of Computing, Gachon University, Korea*

초록

디지털 미디어 시대에서 비언어적 의사소통, 특히 손동작의 영향력이 급격히 증가하고 있으며, 모욕적인 손동작은 실시간 방송과 미디어 콘텐츠를 통해 순식간에 대중에게 전파되어 심각한 사회적 갈등을 유발한다. 또한 현재 콘텐츠 조정 및 방송 시스템은 주로 수동 검토나 사후 편집에 의존하고 있어 실시간 또는 빠르게 확산되는 콘텐츠에 대해서는 효과적이지 못한 상황이다.

본 연구에서는 MediaPipe 를 통한 손 랜드마크 감지 기술과 심층 신경망(DNN) 기반 분류기를 결합한 하이브리드 네트워크 아키텍처를 제안한다. 제안된 시스템은 4 단계의 파이프라인으로 구성된다. (1) MediaPipe 를 활용한 특징 추출기를 통해 비디오 프레임으로부터 21 개의 3D 손 관절 좌표 추출하고, (2) 15 개의 관절 간 각도 특성 계산한다. (3) DNN 분류기가 각도 벡터를 학습 데이터와 비교하여 손동작을 분류하면, (4) 실시간 피드백을 통해 분류된 손동작 레이블 표시 및 모욕적 손동작 모자이크 필터를 적용한다.

DNN 모델은 dense layer 2 개, dropout layer, dense layer 2 개로 구성했다. 옵티마이저로는 Adam 을 사용하였고, 손실 함수로는 categorical cross-entropy 를 사용하였다. 연구에 사용된 데이터셋은 총 11 개의 클래스(비모욕적 손동작 8 개, 모욕적 손동작 3 개[1])로 구성된다. 실제 사용 환경을 반영하여 전체 중 72.7%는 비모욕적 제스처, 27.3%는 모욕적 제스처로 불균형 데이터셋을 구성했다.

MediaPipe 와 DNN 을 결합한 실시간 모욕적 손동작 감지 시스템을 개발하여 각도 기반 특성 추출을 통한 높은 분류 성능 달성하였다. 또한 프레임별 모자이크 처리를 통해 실시간으로 시각적 검열의 기능을 구현하였다.

본 연구에서 제안하는 DNN 모델은 90.91%의 정확도를 보이며 기존 KNN 모델 대비 18.7%의 성능 향상을 확인할 수 있었다. 모욕적 손동작 실시간 감지를 위한 기술적 솔루션을 제시하며, MediaPipe 와 딥러닝을 결합한 하이브리드 접근을 통해 높은 정확도와 실시간성을 동시에 달성하였다. 조명 변화에 다소 민감하다는 한계가 있으나, 향후 이미지 전처리 과정에서 보강이나 보정 기법을 사용한다면 성능의 개선이 있을 것으로 보인다.

References

- [1] Hand Gesture Recognition using DenseNet201-Mediapipe Hybrid Modelling (2025)
- [2] A Fusion of CNN, MLP, and MediaPipe for Advanced Hand Gesture Recognition (2025)

스코어 기반 적응형 생성 모델 구현을 위한 잡음 단계 예측 모델 성능 비교

조재현*, 정성훈**

한성대학교 창의융합대학 AI응용학과

e-mail : *1971471@hansung.ac.kr, **shjung@hansung.ac.kr

Comparison of Noise Step Prediction Models for Implementing Score-based Adaptive Generative Model

Jaehyun Cho* and Sung Hoon Jung**

Department of Applied Artificial Intelligence, Hansung University

Abstract

Score-based generative models have demonstrated impressive capabilities in image generation and restoration by progressively denoising data through a diffusion process. However, these models typically require prior knowledge of the noise level or diffusion timestep during both training and inference. To address this limitation, we propose a novel score-based generative model that incorporates a noise step prediction model into its architecture. This predicted noise level is then used as a condition for a score-based generative model, enabling adaptive denoising during inference. To this end, we first investigate how to best implement a noise step prediction model. Through experiments with various architectures, we find that the Vision Transformer (ViT) achieves the best performance.

I. 서론

스코어 기반 생성 모델은 데이터 분포의 기울기 (스코어 함수)를 추정하고 이를 이용해 샘플을 생성하는 방식으로, 이미지 합성 등에서 우수한

성능을 달성했다. 이 모델들은 데이터에 점진적으로 노이즈를 추가했다가 다시 제거하는 확산 과정을 기반으로 한다[1]. 하지만 기존 스코어 기반 생성 모델은 정해진 노이즈 수준(time step)에 의존하여 학습 및 추론을 수행하므로, 이미지를 적응적으로 복원하기 어렵다. 예를 들어, 노이즈를 1,000단계에 걸쳐 추가했다면, 이를 복원하는 역방향 과정에서도 동일한 1,000단계를 수행해야 한다. 이처럼 긴 반복은 학습과 추론의 효율성을 떨어뜨려, 실시간 이미지 생성이나 고해상도 합성에 제약을 초래한다. 본 논문에서는 이러한 제약을 해결하고자, 학습 및 추론 과정에서 노이즈 수준을 예측하는 보조 모델을 도입한다. 이 보조 예측 모델을 활용함으로써, 제안하는 스코어 기반 생성 모델은 입력의 노이즈 수준을 적응적으로 판단하여 추론을 수행할 수 있다. 결국, 이미지의 해상도나 콘텐츠 특성에 따라 적절한 노이즈 단계를 자동으로 선택함으로써, 추론 시 더욱 효과적인 노이즈 제거 스케줄링이 가능할 것으로 기대된다. 본 논문에서는 이러한 적응형 생성모델을 구현하기 위한 잡음 단계 예측 모델을 다양한 구조로 구현하여 성능을 비교하였다. 실험결과 ViT(Vision Transformer)가 가장 좋은 성능을 보였다.

II. 본론

제안하는 스코어 기반 적응형 생성 모델은 그림

1에서 보듯이 크게 두 가지 핵심 요소로 구성된다. 첫째는 입력 이미지 x_t 에서 노이즈 단계 \hat{t} 를 예측하는 모듈이고, 둘째는 예측된 \hat{t} 를 조건으로 받아 노이즈를 제거하는 '스코어 기반 생성 모델'이다. 두 모듈은 손실 함수 $\mathcal{L}_{total} = \mathcal{L}_{score} + \lambda\mathcal{L}_{ViT}$ 를 통해 함께 훈련되어, 노이즈 예측 정확도와 제거 성능이 상호 보완적으로 향상되도록 설계하였다. 여기서 λ 값은 노이즈 예측 모델과 생성모델 학습 비중을 결정하는 파라미터로서 초기 1에서 학습이 진행되면서 점점 작아져서 0이 되도록 스케줄링 된다.

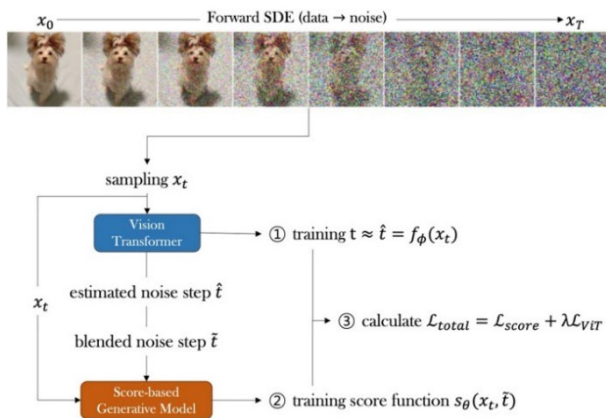


그림 1. 제안 모델 훈련 과정

이렇게 하면 초기 학습과정에서 노이즈 단계 (\hat{t})를 예측하는 ViT는 학습이 제대로 되지 않아 부정확한 값을 예측할 것이고 스코어 기반 생성모델은 이러한 부정확한 값으로 학습을 하게 된다. 그러나 학습이 진행되면서 점점 더 노이즈 예측 모델은 정확도가 높아지고 충분히 학습되면 거의 정확한 예측 값을 생성 모델에 제공하게 된다. 초기 학습과정에서 ViT가 부정확하게 예측하여 부정확한 값으로 생성망이 학습되는 것은 오히려 추론 과정에서 더 적합한 노이즈 수준 예측에 도움이 된다. 즉, 생성망이 잡음을 제거하는 단계를 몇 단계 건너 뛰어도 문제가 없도록 학습될 수 있으며 이는 추론 시 신경망이 학습한 더욱 적절한 노이즈 단계를 사용하여 이미지를 생성할 수 있게 한다. 우리는 현재 제안한 방법 전체를 구현하고 있으며, 본 논문에서는 그 중 노이즈 단계 예측 모델을 다양한 구조로 구현하여 성능을 비교한 결과를 설명한다. 표 1에서 보여주듯이, 노이즈 단계 예측 성능을 평가한 결과 ViT[2]가 U-Net[3], ResNet-50[4], EfficientNet[5], DenseNet[6], MobileNet[7] 모델 구조에 비해 월등히 낮은 RMSE(0.070)와 높은 R^2 (0.97) 점수를 기록하여 예측 정확도가 매우 뛰어남을 확인했다.

표 1: CIFAR-10 데이터 노이즈 단계 예측 성능 비교

Model	Params	RMSE↓	R^2 ↑
U-Net[3]	12.5M	0.150	0.83
ResNet-50[4]	13.0M	0.143	0.88
EfficientNet-B0[5]	12.1M	0.138	0.87
DenseNet-121[6]	13.4M	0.112	0.84
MobileNetV3[7]	11.9M	0.132	0.85
ViT	13.0M	0.070	0.97

III. 결론

본 논문은 스코어 기반 적응형 생성 모델을 구현하는데 추가적으로 필요한 잡음 단계 예측 모델을 다양한 구조로 구현하여 성능을 비교한 결과를 제시하였다. 실험결과 비전 트랜스포머(ViT)가 가장 좋은 성능을 보였다. 그래서 우리는 ViT를 이용하여 스코어 기반 적응형 생성모델 구현을 완료할 예정으로 구현이 완료되면 샘플링 시 적응적으로 잡음제거가 되어 보다 빠른 이미지 생성이 가능해질 것으로 기대하고 있다.

참고문헌

- [1] Song, Y. & Ermon, S. Generative Modeling by Estimating Gradients of the Data Distribution. *Advances in Neural Information Processing Systems* 32, (2019).
- [2] Dosovitskiy, A., Beyer, L., Kolesnikov, A., Weissenborn, D., Zhai, X., Unterthiner, T., Dehghani, M., Minderer, M., Heigold, G., Gelly, S., Uszkoreit, J., & Houlsby, N. An Image is Worth 16x16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale. *International Conference on Learning Representations* (2021).
- [3] Ronneberger, O., Fischer, P. & Brox, T. U-Net: Convolutional Networks for Biomedical Image Segmentation. *International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention*, 234–241 (2015).
- [4] Yunjong choi, Sukhee cho, "Limitation on 3D realvideo coding using MAC", ISO/IEC JTC1/ SC29/WG11 M8627, July 2002.
- [4] He, K., Zhang, X., Ren, S. & Sun, J. Deep Residual Learning for Image Recognition. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 770–778 (2016).
- [5] Tan, M. & Le, Q. V. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks. *International Conference on Machine Learning*, 6105–6114 (2019).
- [6] Huang, G., Liu, Z., Van Der Maaten, L. & Weinberger, K. Q. Densely Connected Convolutional Networks. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 4700–4708 (2017).
- [7] Howard, A. G., Sandler, M., Chu, G., Chen, L.-C., Chen, B., Tan, M., Wang, W., Zhu, Y., Pang, R., Vasudevan, V., Le, Q. V. & Adam, H. Searching for MobileNetV3. *Proceedings of the IEEE/CVF International Conference on Computer Vision*, 1314–1324 (2019).

한글 프로그래밍 언어 K-Prolog의 설계 및 구현

이유민¹, 이석원², 김영훈², 조찬우³, 우균³

¹Tufts 대학교 컴퓨터공학과, ²부산대학교 대학원 정보융합공학과, ³부산대학교 정보컴퓨터공학과
email: yumin.lee@tufts.edu, clfdka52@pusan.ac.kr, yonghun83@pusan.ac.kr, kategosari@pusan.ac.kr, woogyun@pusan.ac.kr

Design and Implementation of Korean Programming Language K-Prolog

Yumin Lee¹, Seokwon Lee², Yeonghun Kim², Chanwoo Cho³, Gyun Woo³

¹Dept. of Computer Science, Tufts University

²Dept. of Information Convergence Engineering, Pusan National University

³School of Computer Science and Engineering, Pusan National University

Abstract

This article details the design and implementation of a Korean Programming Language, K-Prolog. Despite the importance of relevant languages such as Prolog in the field of artificial intelligence (AI), their use and instruction remain limited in Korea due to the linguistic barriers that Korean users face when learning a new programming language in English. K-Prolog has been designed to help users overcome this issue, while maintaining the core functionalities of the standard Prolog. The capabilities of K-Prolog have been proven through an experiment that verified compatibility with existing Prolog code and identical execution results.

I. 서론

1970년대에 개발된 논리 프로그래밍 언어인 Prolog는 여전히 인공지능(Artificial Intelligence, AI) 분야에서 중요한 역할을 하고 있다. 최근 AI에 대한 관심이 다시 높아지고 선언적 프로그래밍이 주목받으면서, Prolog의 논리적 추론과 패턴 매칭을 활용하는 접근 방식도 재조명되고 있다[1]. 그러나 기존의 Prolog 구현체는 교육용으로 사용하기에 복잡하고 어렵다는 한계가 있다. 특히 Prolog는 내장 함수와 문법 규칙이 많아 초보 학습자에게 진입 장벽이 될 수 있다. 일반적으로 새로운 프로그래밍 언어를 배우는 것은 설명서를 읽고, 코드를 작성하며 이해하는데 어려워하는 것으로 알려져 있다[2]. 따라서, 더 간단하고 접근이 쉬운 버전의 Prolog가 필요하다.

본 논문에서는 K-Prolog를 소개한다. K-Prolog는 Prolog의 핵심 기능과 문법을 그대로 유지하면서도,

한국어를 기반으로 설계된 프로그래밍 언어이다. K-Prolog는 동형화, 역추적, 제어 구조 등 Prolog의 필수 기능을 모두 구현했으며, 한국어 사용자가 더 쉽게 접근하고 학습할 수 있도록 설계했다. 또한 연산자와 다양한 내장 술어를 지원하며, 프로그램 실행 과정을 단계별로 확인할 수 있는 디버깅 기능도 제공한다.

II. 관련 연구

2.1 KoBASIC

KoBASIC은 한국어 사용자가 영어 기반의 프로그래밍 언어를 배울 때 겪는 언어적 장벽을 해결하기 위해 개발된 교육용 언어이다[3]. BASIC의 기본 원리를 바탕으로 하되, 한국어 문법에 맞게 구조를 조정하여 교육적인 목적에 적합하도록 단순하면서도 효과적인 방식을 제공한다.

그러나 KoBASIC은 BASIC에 기반을 두고 있으므로, 기본적인 절차적 프로그래밍 개념에만 국한된다. 이에 따라 현대적인 계산 방법이나 고급 문제 해결 기법을 다루기에는 한계가 있을 수 있다. 또한 교육용에 초점을 맞춘 설계로 인해 실제 실용적인 활용 면에서는 제한적이다.

2.2 Mowkow

Mowkow는 LISP 기반의 구조를 활용하여 함수형 프로그래밍을 구현하는 데 초점을 맞춘 한국어 프로그래밍 언어이다[4]. Python으로 구현되어 있어, 설치 및 설정 과정에서 발생하는 장벽을 대부분 제거했다. 이는 한국어 프로그래밍 언어에서 흔히 발생하는 설정 및 환경 구성의 어려움을 해소한 점에서 특징이 있다.

그러나 LISP 기반의 특성상, 함수형 프로그래밍이나

LISP 문법에 익숙하지 않은 사용자에게는 학습이 어렵게 느껴질 수 있다. 또한 함수형 프로그래밍에 대한 전문적인 지식이 요구되므로, 제한된 사용자층만을 대상으로 할 수 있다.

III. 설계

K-Prolog는 Python의 Unicode 문자열 처리를 통해 한국어를 지원한다. 모든 술어, 사실, 규칙, 변수, 상수는 한국어로 정의할 수 있으며, 내장 함수 또한 한국어 기반으로 제공한다. 기본적인 논리 문법 구조는 표준 Prolog의 틀을 유지하되, 변수 표기에서는 Prolog 관례인 밑줄(_) 시작 방식을 도입하여, 한국어 문맥에서도 자연스럽게 직관적인 규칙 구성이 가능하다. 또한, 수식 평가에 사용되는 Prolog의 "is" 키워드는 프로그래밍 관용 표현 및 문맥상의 명료함을 고려해 ":"로 재설계하였다.

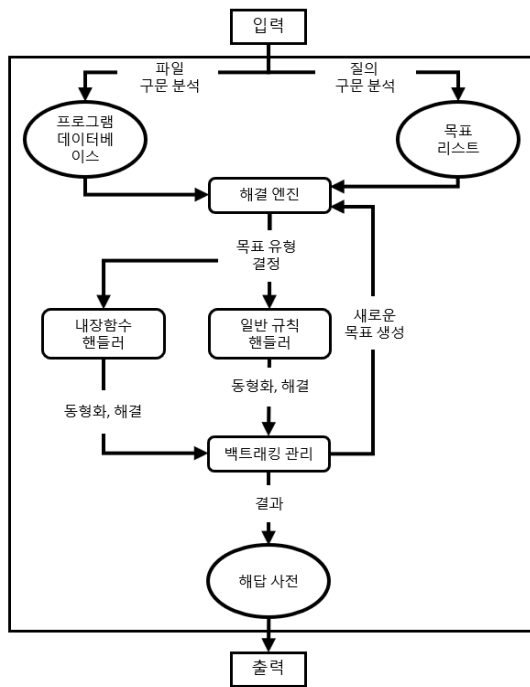


그림 1. K-Prolog 실행 구조

그림 1은 단계별 처리 과정을 거치는 모듈형 아키텍처로 설계된 K-Prolog의 실행 구조를 나타낸다. 사용자로부터 받은 입력을 질의(query) 또는 파일에서 가져온 소스코드로 구별하여 적절하게 구문 분석한다. 파일 내용은 구문 분석 후 절(clause)의 리스트로 변환되며, 이는 프로그램 데이터베이스를 구성한다. 질의는 목표(goal)의 리스트인 항목(terms)으로 구문 분석된다. 구문 분석이 완료된 후 이 두 데이터베이스는 해결 엔진으로 전달한다.

해결 엔진은 목표 리스트가 모두 처리되어 비워질 때까지 각 목표를 순차적으로 처리한다. 각 목표에 대해, 엔진은 먼저 그것이 내장 함수에 해당하는지, 아니면 프로그램 데이터베이스에 있는 사용자 정의 규칙과 매칭이 필요한지를 먼저 판단한다. 이 판별 결과에 따라, 내장 함수인 경우에는 별도의 내장 함수 핸들러에서 해당 연산자와의 패턴 매칭 및 동형화(unification)를 시도하고, 사용자 정의 규칙인 경우에는 일반 규칙 핸들러가 프로그램 내의 규칙들과 매칭을 시도한다.

선택된 핸들러에서 동형화가 성공하면, 해당 목표를 즉시 해결하거나 새로운 하위 목표들을 생성한다. 동형화가 실패할 경우에는, 백트래킹 메커니즘이 다른 규칙이나 선택 지점을 탐색하여 대체 가능한 목표를 찾는다. 이렇게 생성된 새로운 목표들은 다시 목표 리스트에 추가되어 재귀적으로 처리된다. 최종적으로 목표 리스트가 완전히 비워지면, 여러 변수 바인딩 결과가 해당 사전으로 생성된다. 해결 결과를 사용자에게 하나씩 출력하며, 세미콜론 입력이 있을 때마다 다음 해답을 출력한다.

IV. 구현

K-Prolog 구현은 Haskell로 작성된 Prolog 인터프리터[5]를 참고하여 Python으로 작성하였다. 이를 통해 기본적인 동형화 로직과 REPL 기능을 확보했다. 초기 버전을 바탕으로 고급 기능들을 점진적으로 확장해 나갔으며, 복잡한 표현식을 처리할 수 있는 구문 분석 기능, 변수와 리스트를 포함한 다양한 항의 지원, 산술 연산이나 입출력 함수 같은 내장 술어를 위한 전용 핸들러 등을 추가했다.

4.1 사용자 인터페이스

K-Prolog는 명령줄 인터페이스(CLI) 기반으로 작동한다. "?- 질의"로 표준적인 Prolog 환경을 제공하며, "[파일명]."을 통해 한국어 Prolog 파일을 적재하거나, "추적."명령어로 디버깅 모드를 활성화할 수 있다. 시스템은 연속적인 질의 상호작용을 처리하며 변수 바인딩을 한국어로 표시한다. 사용자는 쌍반점(:)을 통해 여러 해답을 탐색할 수 있다. 추적 모드에서는 단계별 디버깅이 가능하며, 계속, 중단 등의 한국어 디버깅 명령어를 지원한다.

4.2 K-Prolog 타입

K-Prolog는 다음과 같은 타입을 지원한다. 변수(variable), 정수(integer), 부동소수점 수(float), 상수(atom), 복합항(compound term), 문자열(string), 리스트(list) 등이 기본 타입으로 지원된다. 복합항은

Struct라는 클래스로 표현되며, 이 클래스는 생성자 (functor) 이름(술어 식별자), 항의 개수(arity), 중첩된 항들을 담는 인수 리스트의 세 가지 요소로 구성된다. 중첩된 구조는 인수 리스트 내부에 또 다른 Struct 객체로 포함되어, 계층적으로 표현된다.

리스트는 사용자 친화적인 괄호 표기 ([a, b, c])에서 내부적으로 Prolog의 표준 형태인 점 표기 ((a, (b, (c, []))))로 변환한다. 이 변환은 PrologList 클래스를 통해 처리한다. 구문 분석기는 일반 리스트뿐만 아니라 [HIT] 형식의 머리-꼬리 구조도 인식하며 해석한다. 이러한 내부 표현 방식은 리스트 연산에서의 동형화와 패턴 매칭을 효율적으로 수행할 수 있게 하며, 표준 Prolog 리스트 내장 함수와도 호환된다.

4.3 명령어 및 내장 함수

K-Prolog는 표준 Prolog에서 제공하는 다양한 내장 함수를 구현하고 있다. 그림 2는 내장 함수 핸들러에 구조를 나타낸다. 각 내장 함수는 모듈화된 방식으로 구현되어 있으며, 핵심 해석 엔진과 동형화되는 전용 함수를 통해 처리된다. 표 1은 표준 Prolog와 K-Prolog의 명령어와 내장 함수 간의 대응 관계를 보여준다.

```
def handle_builtins(
    goal: Struct, rest_goals: List[Term], old_unif: Dict[str, Term]
) -> Tuple[bool, List[Term], List[Dict[str, Term]]]:
    if goal.name not in BUILTINS:
        return False, [], []
    return BUILTINS[goal.name](goal, rest_goals, old_unif)
```

그림 2. 내장 함수 핸들러

컷(!), 논리부정(not) 등과 같은 제어 구조는 Prolog의 의미를 유지할 수 있도록 특수 처리된다. 특히, 컷의 경우 선택 지점을 넘어선 역추적을 방지한다.

V. 실험

실험은 기존 Prolog 문법이 K-Prolog로 변환 가능한지를 검증하는 데 목적을 두고 진행하였다. P-99[6]에 수록된 79개의 문제와 2025년 부산대학교 프로그래밍 언어 수업에서 출제한 Prolog 프로그래밍 관련 두 문제(P5, P6)를 K-Prolog로 풀 수 있는지 확인한다[6]. 실험에 사용한 코드 중 부산대학교 Prolog 프로그래밍 문제는 해당 과목의 수강생들이 제출한 Child 문제 30개, GCD 문제 22개 코드를 테스트 케이스로 활용하였다. 평가는 표준 Prolog 프로그램을 K-Prolog로 변환한 뒤, 입출력 동작을 비교하여 의미적 동등성을 검증하는 방식으로 수행하였다.

그림 3은 두 실험에서 사용된 코드 내 다양한 내장

<표 1> K-Prolog에 번역된 명령어 및 내장 함수

구분	Prolog	K-Prolog
명령어	consult	적재
	make	재적재
	halt	종료
	listing	목록
	trace	추적
	notrace	추적중단
	creep	다음
	abort	중단
내장 함수	exit	나가기
	is	:=
	not	논리부정
	fail	포기
	read	읽기
	write	쓰기
	writeln	쓰고줄바꿈
	nl	줄바꿈
	initialization	초기화
	atomic	상수인가
	integer	정수인가
	number	수
	length	길이
	append	접합
	permutation	순열
	findall	모두찾기
	setof	집합
	maplist	목록에적용
	forall	모두만족
	mod	나머지
	is_list	리스트인가
	reverse	거꾸로
	subtract	원소제거
	display	출력에쓰기
	keysort	키정렬
	flatten	평평히
	atom_concat	상수연결
	asserta	추가
	sort	정렬
	between	이내
	char_code	문자코드
	atom_chars	문자리스트
	nonvar	변수아닌가
	memberchk	원소점검
member	원소	
select	선택	
recorda	레코드기록	
ord_subset	서열부분집합	

함수의 유형별 분포를 보여준다. P-99의 경우 입출력 관련 31개(8.6%), 산술 계산 146개(40.7%), 리스트 처리 99개(27.6%), 제어 흐름 21개(5.8%), 조건 검사 35개(9.7%), 기타 27개(7.5%)의 내장 함수가 사용되었다. 반면, P5 및 P6에서는 입출력 관련 200개(51.4%), 산술 계산 63개(16.2%), 리스트 처리 1개(0.3%), 제어 흐름 121개(31.1%), 조건 검사 2개

(0.5%), 기타 2개(0.5%)로 나타났다.

VI. 결론

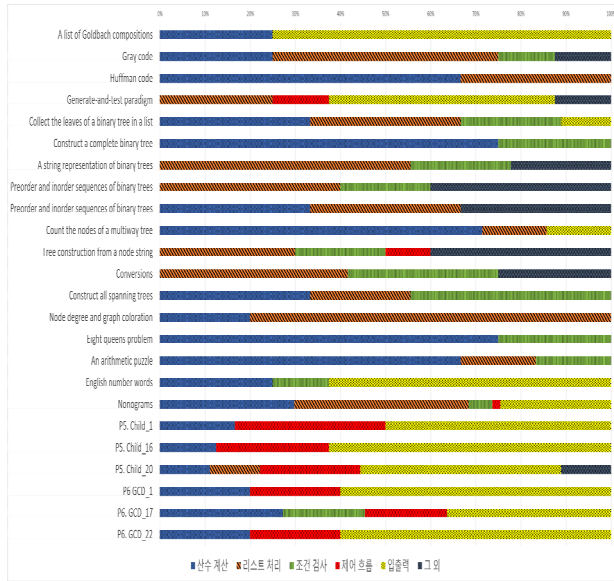


그림 3. 내장 함수 분류 분포

실험에 사용된 131개 프로그램 모두 K-Prolog로 100% 변환되었으며, 표준 Prolog와 동일한 출력을 생성하였다. 변환된 프로그램은 산술 및 리스트 연산을 위한 내장 술어, 사용자 정의 재귀 규칙, 복합 동형 화 패턴 등 다양한 Prolog 기능을 활용하였다.

본 논문에서는 논리 프로그래밍 교육에서 언어적 장벽을 해결하기 위한 프로그래밍 언어인 K-Prolog를 제안하였다. K-Prolog는 한국어로 접근할 수 있는 Prolog 인터프리터로 구현되었으며, 주석, 문서화, 식별자에 대한 한국어 지원을 제공하면서도 표준 Prolog 기능을 유지한다. 이를 통해 한국어 사용자가 논리 프로그래밍 개념에 더 쉽게 접근할 수 있도록 하였다.

실험을 통해 P-99에 있는 79개의 문제와 부산대학교 프로그래밍 언어 수업에서 사용된 52개의 Prolog 코드를 번역하였으며, 표준 Prolog 프로그램에서 K-Prolog로의 번역 정확도와 실행 결과의 동일성을 검증하였다. 이는 인터프리터의 의미적 정확성과 실용성을 입증하는 결과이다.

향후 K-Prolog의 개발 방향으로는 내장 술어 라이브러리의 확장과 고급 디버깅 술어 지원이 고려될 것이다. 이러한 기능은 교육적 목적을 유지하면서도 실용적인 측면을 강화할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, Mowkow를 기반으로 한 K-Prolog 재구현을 통해 한국어로 구성된 완전한 논리 프로그래밍 교육 스택을 구축하는 방안도 모색 중이다. 이는 교육 도구 개발에서 한국어 프로그래밍 언어의 실용적 적용 가능성을 보여줄 수 있을 것이다.

```

메인 :-
    읽기(_이름),
    모두찾기(_씨, 자식(_씨, _이름), _아이들),
    ( _아이들 = [] ->
        쓰고출바꿈(없음)
    ;
        목록출력(_아이들)
    ),
    종료.

:- 초기화(메인).

목록출력([]).
목록출력([_머리|_꼬리]) :-
    쓰고출바꿈(_머리),
    목록출력(_꼬리).

?- [자식].
자식.pl에서 적재했습니다
|: 집.
없음

?- [자식].
자식.pl에서 적재했습니다
|: 존.
집
    
```

그림 4. 부산대학교 학생 코드 번역과 입출력

또한, K-Prolog는 모두찾기(findall)와 “->” 같은 편의구문(syntactic sugar)도 문제없이 지원하였다. 그림 4는 Child 문제를 푼 학생의 코드를 K-Prolog로 번역한 코드와 그에 대한 입력 및 출력을 보여준다. 이는 K-Prolog가 폭넓고 포괄적인 Prolog 언어 지원을 제공함을 잘 보여주는 결과였다.

참고문헌

- [1] D.S. Warren, V. Dahl, T. Eiter, M. V. Hermenegildo, R. Kowalski and F. Rossi, Prolog: The Next 50 Years, Springer, 2023
- [2] J. Cheon, D. Kang, G. Kim and G. Woo, “A Concise Korean Programming Language, ‘Sprout,’” Journal of KIISE, 2015.
- [3] S. Lee, S. Yu, J. Kim, Y. Choi and G. Woo, “Implementation of the Korean Programming Language KoBASIC,” in Proceedings of the IEEK, Jeju, 2024
- [4] S. Cho and G. Woo, “Design and Implementation of Korean Functional Programming Language Mowkow Providing a Simple Usage,” in Proceedings of the IEIE, Jeju, 2024
- [5] S. Seres and M. Spivey, “Embedding Prolog in Haskell,” in Proceedings of the 1999 Haskell Workshop, pp. 23–38, 1999
- [6] P-99: Ninety-Nine Prolog Problems, <https://cliplab.org/logalg/doc/99problemsALD.html>, 2025, last visited on July 24

BEATs -BiGRU 기반 음향 이벤트 검출에서 연산 오류 최소화 방안

(An Approach for Minimizing Processing Error in Sound Event Detection based on BEATs-BiGRU model)

김동준, 박상욱*

국립강릉원주대학교, 전자반도체공학부

*email : spark2@gwnu.ac.kr

Dongjun Kim, Sangwook Park*

Department of Electronics and Semiconductor, Gangneung-Wonju National University

Abstract

음향 이벤트 검출(Sound Event Detection)은 음향 신호에 포함된 관심음향의 종류와 발생구간을 검출하는 기술로 감시 시스템, 모빌리티, 의료 분야 등에서 각광받고 있다. 국제 음향 신호 분석 챌린지인 DCASE를 통해, 음향 이벤트 검출의 성능 향상을 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 특히, Audioset [1]으로 사전학습된 트랜스포머 기반의 Bidirectional Encoder representation from Audio Transformers (BEATs) [2]를 인코더로 하고, BiGRU 계층을 연결한 모델이 최고 성능을 보여준다. 이때, BEATs에서 추출한 특징이 BiGRU의 입력과 형태가 일치하지 않아 Adaptive Average Pooling을 통해 특징의 차원을 축소한다. 이 과정에서 BEATs에 포함된 특징이 손실되는 연산오류가 발생한다. 이러한 문제를 완화하기 위해, 본 연구에서는 컴퓨터비전에서 높은 성능을 보인 You Only Look Once(YOLO) [3]를 BEATs와 BiGRU를 연결하는 가교로 활용한다. 이는 다음 두가지 이유에서 출발한다. 첫째, 음향 이벤트 검출에서 멜 스펙트로그램은 시간-주파수 영역에서 표현되어, 이미지와 유사하게 고려할 수 있다. 둘째, YOLO는 입력된 이미지를 다양한 스케일의 Feature Map을 만들고 이를 융합하는 방식을 사용하기 때문에, BEATs가 추출한 음향 특징을 효과적으로 변환할 수 있다. 이러한 접근법은 BEATs의 음향 특징을 RNN 계층으로 효과적으로 전달함으로써 음향 이벤트 검출 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: Sound Event Detection, BEATs, YOLO, Minimizing Information Loss

Acknowledgments 이 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (RS-2024-00358953)

[1] Jort F. Gemmeke, Daniel P. W. Ellis, Dylan Freedman, Aren Jansen, "AUDIO SET: AN ONTOLOGY AND HUMAN-LABELED DATASET FOR AUDIO EVENTS" in *ICASSP*, 2017.

[2] Tompkins, Sanyuan Chen* Yu Wu† Chengyi Wang Shujie Liu Daniel, "BEATs:Audio Pre-training with Acoustic Tokenizers" in *arXiv*, 2022.

[3] Ao Wang, Hui Chen, Lihao Liu, Kai Chen, Zijia Lin, Jungong Han, Guiguang Ding, "YOLOv10: Real-Time End-to-End Object Detection" in *NeurIPS*, 2024.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 5] 반도체 (학부생2)

좌장 : 정성엽(고려대학교)



Impact of Word Line Slope on Write Characteristics and Row Hammer in BCAT Structure

Yeongmyeong Cho¹ and Myung-Hyun Baek^{1*}

¹*Department of Electronic and Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, 25457, South Korea*

Abstract

Dynamic Random Access Memory (DRAM) is one of the most widely used memory devices due to its simple 1T1C (one-transistor, one-capacitor) structure, which allows for high integration and ease of fabrication. Similar to other semiconductor devices, DRAM has improved in performance through continued scaling. However, as the physical dimensions have been aggressively scaled down, various new issues have emerged. In particular, the reduced spacing between DRAM cells has led to increased cell-to-cell interference, which can cause data loss. Among these issues, Row Hammer is a critical phenomenon in which the data stored in a victim storage node is flipped due to repeated toggling of an aggressor word line.

In this study, we investigated a mitigation method for the Row Hammer effect using Silvaco TCAD simulations by implementing a word line slope greater than 90° . During the trench formation process in DRAM, a naturally formed trapezoidal PR profile results, which in turn leads to the formation of a slope exceeding 90° after etching. To quantify how this slope influences DRAM cell behavior, we simulated write operation characteristics and Row Hammer susceptibility. As a result, we found that steeper etch slope can degrade D1 Write characteristics by up to 1069 times. Moreover, by selecting an appropriate etch slope, we improved D1 Failure by up to 300.4%, without significant degradation of write characteristics. Our study demonstrates that a steeper etch slope can mitigate the Row Hammer effect and that selecting an appropriate slope can improve Row Hammer without significantly impacting the write characteristics.

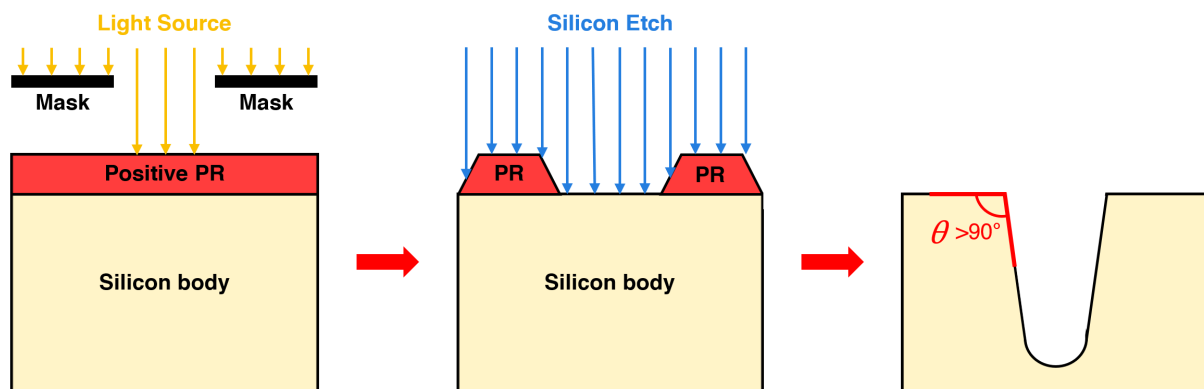


Figure 1. Process of forming a trench with a sidewall angle exceeding 90° .

Acknowledgement: This research was supported by Semiconductor R&D Support Project through the Gangwon Technopark (GWTP) funded by Gangwon Province (No. GWTP 2024-029 & 2025-034).

Work Function Engineering of Dual Metal BCAT DRAM for Mitigating Pass Gate Effect and 1-Row Disturb

Hwichan Jeon, Min-Woo Kwon*

Department of Electronics Engineering, Seoul National University of Science and Technology, Seoul, South Korea

초록

전자 기술의 발달로 인해 동적 랜덤 액세스 메모리(Dynamic random-access memory, DRAM)는 성능과 집적도를 향상시키기 위해 빠른 속도로 스케일링(scaling)이 진행되고 있으며, 이에 따라 셀 간 간섭에 의한 누설 전류 특성이 더욱 심화되고 있다. 대표적인 현상으로는 액세스 중인 워드라인의 전기장이 인접 셀의 에너지 장벽을 저하시켜 누설 전류를 유도하는 패스 게이트 효과(Pass Gate Effect, PGE), 그리고 특정 행에 반복 접근하여 인접한 행의 데이터 손상과 심각한 보안 문제를 유발하는 행 간섭(1-Row Disturb, 1-RD)이 있다. [1]

DRAM 은 게이트 유도 드레인 누설을 완화하기 위해 매립 채널 어레이 트랜지스터(Buried Channel Array Transistor, BCAT) 구조에서 듀얼 워크 평선 구조로 발전해 왔다. 이 구조는 GIDL 이 발생하는 상단 게이트의 워크 평선을 조절하는 방식으로 설계되었으나, 하단 게이트의 워크 평선 또한 PGE 및 1-RD 현상에 중대한 영향을 미치는 것으로 나타난다. 따라서 본 연구에서는 상단 및 하단 게이트의 워크 평선을 독립적으로 조절하여 두 간섭 특성에 미치는 영향을 분석하였다. TCAD 시뮬레이션을 통해 분석한 결과, 하단 게이트의 워크 평선이 두 현상에 상반된 영향을 미치는 관계임을 확인하였으며, 이를 기반으로 각 간섭 특성을 균형 있게 제어할 수 있는 설계 방안을 제시한다. 이는 고집적 DRAM 의 신뢰성 확보를 위한 설계 지침으로 작용할 수 있다.

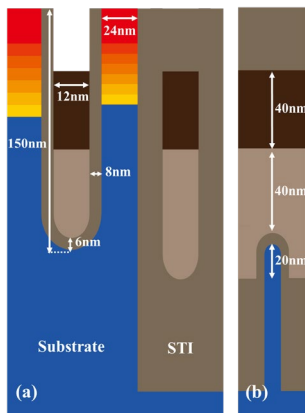


그림 1. 2D BCAT DRAM 단면도

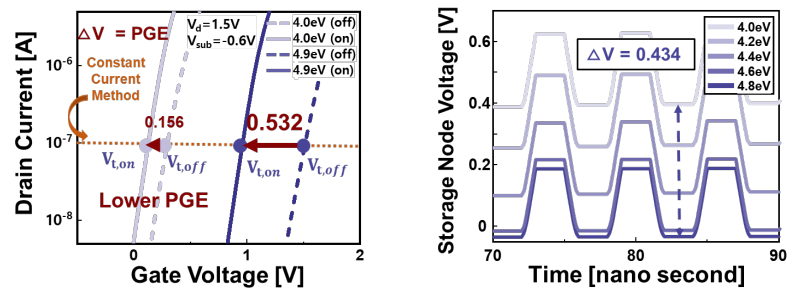


그림 2. 하단 게이트 WF 변화에 따른 PGE 와 1-RD 분석

Acknowledgements This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (RS-2025-14312970)

References [1] S. K. Gautam, S. K. Manhas, A. Kumar and M. Pakala, "Mitigating the Passing Word Line Induced Soft Errors in Saddle Fin DRAM," in IEEE Transactions on Electron Devices, vol. 67, no. 4, pp. 1902-1905, April 2020

Enhanced H₂S Detection using SWCNTs Functionalized with Pillar-4-azido-1,8-naphthalic Ligand

Kun Choi¹, Kyu Won Lee², Ryang Ha Kim¹, Eunji Lee² and Young Lae Kim¹

¹*Department of Electronic and Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju National University, Korea*

²*Department of Chemistry, Gangneung-Wonju National University, Korea*

초록

Hydrogen sulfide (H₂S) is a highly toxic and corrosive gas that poses severe health and safety risks even at trace levels, particularly in industrial and environmental settings [1]. Although H₂S is colorless with a characteristic rotten egg odor, its detection by smell is often delayed due to dispersion, making early detection critical [2]. Therefore, the development of effective H₂S gas sensors that can operate at room temperature with high sensitivity and selectivity is essential.

In this study, we investigated the H₂S sensing properties of single-walled carbon nanotubes (SWCNTs)-based sensors functionalized with a Pillar-4-azido-1,8-naphthalic ligand. SWCNTs possess high electrical conductivity, thermal conductivity, and mechanical strength, and their porous structure enables sensitive detection of gas molecules through conductivity changes upon chemical interaction with target gases such as H₂S [3]. The sensors were fabricated by uniformly depositing a mixture of SWCNTs and the ligand onto the SiO₂/Si substrate via a drop-coating method, followed by electrode formation on top of the coated surface. The sensing performance was evaluated at room temperature under nitrogen environments with controlled humidity — 3% relative humidity (dry) and 45% relative humidity (humid) — by exposing the sensor to H₂S concentrations of 5 ppm, 10 ppm, and 25 ppm. The SWCNT-based sensor functionalized with Pillar-4-azido-1,8-naphthalic ligand exhibited approximately 288% higher sensitivity than the pristine SWCNT-based sensor under dry conditions (3% RH, 25 ppm H₂S) and about 21% higher sensitivity under humid conditions (45% RH, with Pillar(5mg)/SWCNTs) (Figure 1). The results represented that both humidity and ligand content significantly influenced the H₂S gas detection.

This study highlights the critical role of ligand amount and environmental humidity in designing SWCNTs-based H₂S sensors and provides insights for improving sensor sensitivity and stability.

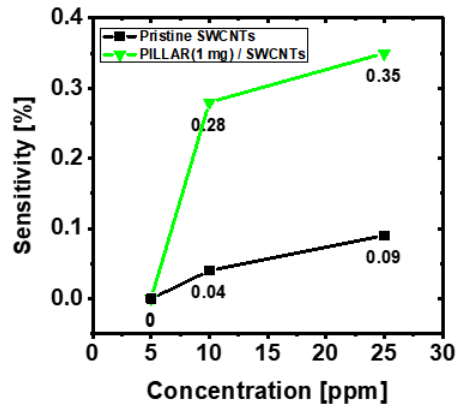


Figure 1. Sensitivity response of each sensor to 5 ppm, 10 ppm, and 25 ppm H₂S under 3% relative humidity

References

- [1] Ryangha Kim, Kyung-eun Kim, Younglae Kim, Single-walled carbon nanotubes based hydrogen sulfide gas sensor functionalized with TEMPO (2025) ISSN 0167-577X
- [2] 최재영. "H₂S 독성가스감지기기가 필요한 정량적 공정설비 기준 및 비상시 안전을 위한 위치선정 방안에 대한 연구." 국내석사학위논문 고려대학교 생명환경과학대학원, (2019) 서울
- [3] Hyun Young Jung, et al. "High-performance H₂S detection by redox reactions in semiconducting carbon nanotube-based devices", Analyst, 2013, 138, 7206-7211

Work Function Engineering in Dual Metal BCAT DRAM for Optimization of Gate-Induced Leakage Currents

Subin Lee, Hwichan Jeon and Min-Woo Kwon*

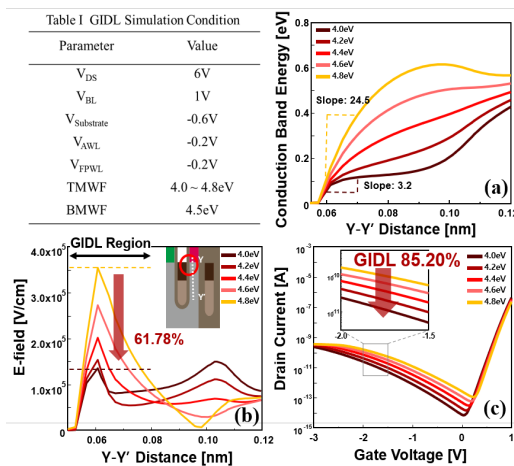
Seoul National University of Science and Technology 232 Gongneung-ro, Nowon-gu, Seoul 01811, Republic of Korea

*Corresponding Author: mwkwon@seoultech.ac.kr

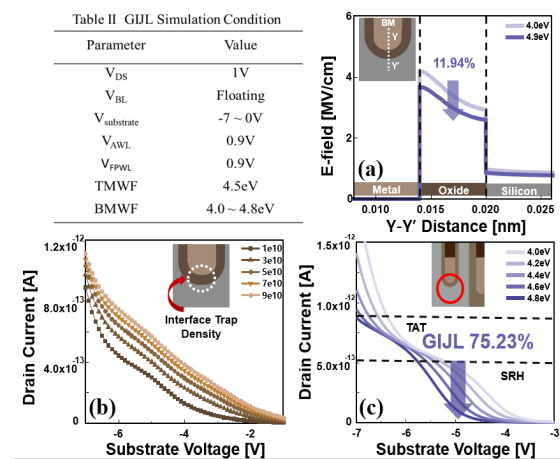
Abstract

Dynamic Random Access Memory(DRAM)의 소형화는 성능 향상에 기여해 왔지만, 그에 따라 신뢰성 문제가 더욱 부각되고 있다. 특히 Gate-Induced Drain Leakage(GIDL) 및 Gate-Induced Junction Leakage(GIJL)과 같은 누설 전류는 데이터 손실을 유발하고 소자의 신뢰성을 저해한다. 이를 해결하기 위한 방안으로, Top 게이트 금속의 일함수를 조절하는 Dual Work Function BCAT 구조가 도입되었으며, GIDL 저감에 효과적인 것으로 알려져 있다. 그러나 Bottom 게이트 금속의 일함수 또한 누설 전류 특성에 영향을 미치므로, Top 과 Bottom 게이트 금속의 일함수를 함께 최적화하는 것이 중요하다.

본 연구에서는 Top 과 Bottom 게이트 금속의 일함수를 독립적으로 조절함으로써, GIDL 및 GIJL 에 미치는 영향을 분석하였다. 시뮬레이션 결과, 기존의 Single Work Function BCAT 구조 대비 GIDL 은 77.81%, GIJL 은 47.34% 감소함을 확인하였다. 이러한 결과는 Dual Work Function BCAT 구조가 DRAM 소자의 누설 전류 문제를 효과적으로 완화하고, 전반적인 신뢰성 향상에 기여할 수 있음을 시사한다.



[Fig. 1. TCAD simulation results of GIDL characteristics]



[Fig. 2. TCAD simulation results of GIJL characteristics]

Acknowledgements

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (RS-2025-14312970).

References

[1] K. Kim et al., "14nm DRAM development and manufacturing," in Proc. IEEE Symp. VLSI Technol. Circuits (VLSI Technol. Circuits), Jun. 2023, pp. 1-2, doi: 10.23919/vlsitechnologyand cir57934.2023.10185314.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 6] 인공지능/회로

좌장 : 박성준(국립강릉원주대학교)



Finding Prognostic Biomarkers from Competitive Endogenous RNA Interactions using Neural Networks

Yiran An and Kyungsook Han*

Department of Computer Engineering, Inha University, Incheon, 22212, South Korea

Abstract

Prognostic assessment of cancer patients has always been a critical issue in cancer treatment. Accurate prognostic prediction can guide clinical treatment decisions and improve patient survival rates and quality of life. Traditional prognostic assessment methods mainly rely on clinical-pathological characteristics, but have limitations in individualized prediction. Therefore, finding reliable molecular prognostic markers is of great significance for guiding the treatment of cancer patients.

Since the new gene regulation involving competing endogenous RNA (ceRNA) interactions mediated by common microRNAs (miRNAs) was found, several computational methods have been developed to construct ceRNA networks. However, most of the ceRNA networks are restricted to represent either miRNA-target RNA interactions or lncRNA-miRNA-mRNA interactions. So far most of the ceRNA networks are restricted to represent either miRNA-target RNA interactions or lncRNA-miRNA-mRNA interactions. However, other types of RNAs can also act as ceRNAs, and variety of ceRNA interactions exist.

In this study, we constructed ceRNA network of all possible interactions of ceRNAs from RNA expression data in eight cancer types (BRCA, BLCA, COAD, LUAD, LUSC, HNSC, STAD, THCA). The RNA expression data and miRNA interaction data were collected from TCGA and multiple databases (miRTarBase, miRcode, and TargetScan), respectively. We constructed a graph neural network (GNN) model to learn embedding of RNAs and miRNAs, and then obtained potential ceRNA-miRNA-ceRNA triplets based on the embedding. We then train a PMF (Partial Multi-Layer Factorization) Neural Network with L1 Regularization and then extract important features (ceRNA-miRNA-ceRNA triplets) from the input layer weight of the neural network. In this step, we parametrize the probability mass function, optimize the survival likelihood and outputs the survival probability at multiple time points. Eventually, we constructed Lasso-Cox model to further filter features by combining survival analysis with regularization techniques and found potential prognostic biomarkers. The ceRNA triplets showed good survival prediction capabilities across different cancer types. Although the potential prognostic triplets require further investigation for clinical use, our approach is applicable to multiple types of cancer and to predict prognosis of individual cancer patients.

Acknowledgments This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science and ICT (2020R1A2B5B01096299).

3D Gaussian Splatting 기반 텍스처 데이터를 활용한

컬러 3D 프린팅 가능성 평가

이지흠¹

홍익대학교 영상 커뮤니케이션 대학원¹

초록

본 연구는 인공지능 기반의 3D 재구성 기술인 3D Gaussian Splatting(3DGS)을 실물 출력 분야에 확장 적용함으로써, 해당 기술의 물리적 구현 가능성과 실무 활용 가능성을 탐색하고자 하였다. 기존 3DGS는 실시간 렌더링 및 디지털 영상 처리에 주로 사용되던 경량형 시각화 기법으로, 본 연구에서는 이를 컬러 3D 프린팅에 적용하여 출력물의 시각적 품질을 평가하였다. 실험에는 색상과 질감이 복합적인 소형 객체를 대상으로, 3DGS 기반 메쉬 및 텍스처 데이터를 PolyJet 방식의 컬러 3D 프린터로 출력하였으며, SSIM, PSNR, LPIPS 등의 정량 지표와 전문가 인터뷰를 통해 출력물의 시각적 유사성과 실무 적용 가능성을 분석하였다. 그 결과, 출력물은 구조적·인지적 측면에서 실물과 높은 수준의 유사성을 보였으며, 색상 재현과 형상 표현 측면에서 실무 활용 가능성이 있다는 긍정적인 결과를 얻었다. 본 연구는 원래 디지털 환경에 국한되어 있던 3DGS 기술을 3D 프린팅을 통해 실물화 하여 시제품제작과 같은 프로토타이핑 분야로 확장하려는 시도로서 의의를 가지며, 향후 3DGS의 메쉬 변환 기술 발전과 더불어 다양한 객체에 대한 검증을 통해 3DGS는 기존의 3D 스캐닝 기술을 보완하거나 대체할 수 있는 새로운 실무 기술로 발전할 수 있을 것으로 예상된다

“본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2024년도 문화체육관광 연구개발사업으로 수행되었음(과제명 : Near Real 4D Nerf 기반의 VFX 시스템 "WITH" 개발 인력 양성, 과제번호 : RS-2024-00349479, 기여율:100%)”

AI 기반 딥페이크 탐지 및 미디어 리터러시 교육용 애플리케이션 개발

강예람, 김연주, 문예랑, 신유지, 임혜숙
이화여자대학교 전자전기공학과 소속

e-mail : ram0420@ewha.ac.kr, yeonjukim04@gmail.com, 2372012@ewhain.net,
yujishin@naver.com, hlim@ewha.ac.kr

Development of an AI-based Deepfake Detection and Media Literacy Education Application

Yeram Kang, Yeonju Kim, Yerang Mun, Yuji Shin and Hyesook Lim
Ewha Womans University

Abstract

본 연구에서는 딥페이크 기술의 확산으로 인해 심화되고 있는 정보 신뢰성 위기와 청소년의 미디어 리터러시 역량 강화 필요성에 주목하여, 딥페이크 탐지 기술과 교육 콘텐츠를 통합한 모바일 기반 학습 애플리케이션을 설계 및 구현하였다. 딥페이크는 GAN 기반 인공지능 기술을 활용해 실제와 유사한 콘텐츠를 생성함으로써, 단순한 기술적 현상을 넘어 사회적 신뢰를 위협하는 요소로 작용하고 있다. 이에 따라 본 연구에서는 주파수 기반의 FreqNet을 활용해 실시간 탐지 기능을 구현하였으며, Fine-tuning을 통해 탐지 정확도를 향상시켰다. Grad-CAM 기반의 시각화 기법을 사용해 결과 해석의 직관성을 높이고, 퀴즈 기반 학습, 학급별 랭킹 시스템, 추천 콘텐츠 배너 등 참여형 교육 기능을 통합함으로써, 청소년이 스스로 조작 콘텐츠를 식별하고, 미디어 환경에 비판적으로 대응할 수 있도록 설계하였다. 나아가 본 애플리케이션은 교실 수업, 가정 학습, 비교과 활동 등 다양한 교육 환경에서 활용 가능하며, AI 시대의 디지털 시민 역량 함양을 위한 실천적 교육 도구로서의 가능성을 제시한다.

I. 서론

디지털 기술의 고도화는 정보의 생성과 유통 방식을 근본적으로 변화시켰으며, 이 가운데 딥페이크(Deepfake) 기술의 등장은 진위 판별의 어려움을 심화시키고 있다. GAN(Generative Adversarial Networks) 기반의 딥페이크 기술은 실제와 구분이 어려운 음성, 영상 콘텐츠를 생성함으로써, 초상권 침해, 금융 사기, 허위 정보 확산 등 다양한 사회 문제를 초래하고 있다.

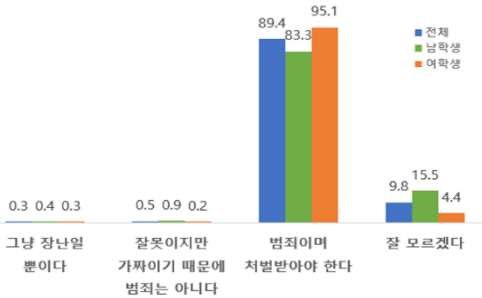
이러한 기술적 위협은 특히 청소년에게 더욱 민감하게 작용한다. 2024년 교육부에서 실시한 청소년 대상 인식조사에 따르면, 청소년의 89.4%가 딥페이크 불법 영상물을 '범죄'로 인식하고 있으며, 85.5%는 예방 교육 및 인식 개선이 필요하다고 응답했다[1]. 이는 단순한 기술의 문제가 아니라, 사회적 대응과 교육적 접근이 함께 필요한 복합적인 문제임을 시사한다. 이러한 경향은 그림 1을 통해 확인할 수 있다.

현재까지 딥페이크 대응은 주로 기술적 탐지에 집중되어 왔으나, 이를 실생활에 적용하고 청소년이 스스로 조작 여부를 판단할 수 있도록 미디어 리터러시 교육이 병행되어야 한다. 정보를 수동적으로 받아들이는 데에서 나아가, 콘텐츠의 출처와 의도를 파악하고 진위를 비판적으로 해석할 수 있는 사고력이 함께 뒷받침되어야 한다[2]. 또한 탐지 기술이 아무리 발전해도, 사용자가 그 결과를 해석하지 못하면 실질적 대응은 어렵다. 따라서 조작된 정보에

휘둘리지 않기 위해서는 기술적 탐지와 더불어, 청소년이 스스로 판단할 수 있는 교육적 기반이 함께 마련되어야 한다.

본 연구는 딥페이크 대응에 있어 단순한 기술적 탐지를 넘어, 청소년의 비판적 해석 역량과 미디어 리터러시를 동시에 기를 수 있는 통합형 교육용 애플리케이션을 개발하는 것을 목표로 한다. 사용자는 앱을 통해 딥페이크 콘텐츠의 탐지 결과를 직접 확인하고, 퀴즈 기반 학습, 교육 콘텐츠 추천, 학급 랭킹 등 참여형 학습 기능을 통해 디지털 시대에 요구되는 종합적 미디어 리터러시 역량을 효과적으로 함양할 수 있다.

학교 딥페이크 불법영상물 사건에 대한 견해



(단위 : %)

구분	전체	성 별		학교급	
		남	여	중	고
예방교육 및 인식개선	85.5	88.2	82.8	88.6	82.4
빠르고 확실한 처벌	79.8	76.2	83.2	76.8	82.6
기술적 대응책 마련	55.5	51.3	59.4	51.9	58.9
부모님/양육자의 지속적인 관심	17.8	18.8	16.8	21.7	14.1
선생님이 관심을 가지고 피해자 발생 확인	22.2	20.8	23.6	25.6	19.0
기타	1.3	2.0	0.6	1.7	0.9

그림 1. '학교 딥페이크 불법영상물 관련 청소년 인식조사 결과 발표' 보도자료

II. 관련 연구 및 기술적 배경

2.1 미디어 리터러시 교육의 한계와 과제

미디어 리터러시는 정보 사회에서 필수적인 시민 역량으로 자리 잡았으며, 교육과정 전반에서 중요성이 꾸준히 강조되어 왔다. 그러나 실제 교육 현장에서는 여전히 교과 간 내용 편차가 크고, 성취 기준이 학습 목표 또는 교수 및 학습 방법 수준에 그치는 경우가 많아 교사 해석에 따라 적용 수준이 달라지는 문제가 나타난다. 아울러 교사 연수 부족, 평가 기준의 미비, 교수 및 학습 자료의 부재 등으로 인해 미디어 리터러시 교육은 여전히 일관성과 지속성을 확보하지 못하고 있는 실정이다[3].

2.2 딥페이크 탐지 기술

기존 연구는 딥페이크 탐지 성능 향상에 치우쳐 있어,

실사용자를 위한 해석 지원이나 학습 연계와 같은 실천적 접근은 상대적으로 미흡한 실정이다. 이로 인해 청소년을 포함한 비전문가 집단은 탐지 결과를 이해하거나 신뢰하는 데 어려움을 겪으며, 탐지 경험이 일회성 진단에 그치는 경우가 많다. 따라서 딥페이크 대응에는 기술적 탐지와 더불어 이해, 판단, 대처 능력을 함께 기를 수 있는 학습 기반 접근이 요구된다.

III. 시스템 설계 및 구현

3.1 전체 시스템 아키텍처

본 애플리케이션은 딥페이크 탐지 기능과 미디어 리터러시 교육 콘텐츠를 통합한 모바일 기반 학습 플랫폼으로, 클라이언트-서버 구조를 바탕으로 설계되었다. 전체 시스템은 모바일 클라이언트(Flutter)와 서버 백엔드(FastAPI), 그리고 모델 연산 및 데이터 관리 계층(PyTorch, Supabase)으로 구성되며, 사용자가 실시간으로 콘텐츠를 탐지하고 학습할 수 있도록 유기적으로 작동한다.

사용자는 앱에 YouTube 영상의 URL을 입력하고, 영상 재생 중 조각이 의심되는 구간을 캡처하여 딥페이크 여부를 탐지할 수 있다. 캡처된 이미지는 서버로 전송되어 사전 Fine-tuning된 FreqNet 모델에 입력되고, 모델은 해당 이미지가 딥페이크일 확률을 분석하여 즉각적인 피드백을 제공한다. 특히 이 과정은 일회성 분석 구조로 설계되어, 입력 이미지나 탐지 결과가 서버나 데이터베이스에 저장되지 않는다. 이는 개인정보 보호 및 저작권 침해 문제를 예방하기 위한 방안으로, 민감한 정보의 저장 없이 실시간 분석 기능을 제공한다는 점에서 실용성과 안전성을 동시에 확보하고 있다.

모바일 클라이언트는 Flutter 프레임워크를 기반으로 하며, 백엔드는 FastAPI를 활용해 사용자 요청을 처리한다. 학습 기록과 퀴즈 참여 이력 등은 Supabase(PostgreSQL 기반) 데이터베이스에 저장되어, 사용자별 학습 경향을 분석하거나 랭킹 기능 등과 연동되는 구조로 구성되어 있다. 딥페이크 탐지를 위한 모델은 PyTorch 기반의 FreqNet으로 구현한다. 표 1은 전체 시스템 개발 환경을 요약한 것이다.

표 1. 개발 환경 구성

Division	Complement
OS	Windows 11 Home
IDE	VS Code, Android Studio, Google Colab

Front End	Flutter
Back End	FastAPI
Database	Supabase(PostgreSQL 기반)
Model	FreqNet (PyTorch 기반)

이러한 아키텍처 구성은 향후 기능 확장성과 유지보수의 용이성을 고려한 구조이며, 실시간 딥페이크 탐지, 교육 콘텐츠 추천, 퀴즈 기반 학습, 피드백 제공 등 다양한 기능을 모바일 환경에서 안정적으로 통합 구현하는 데 중점을 두고 있다. 그림 2는 본 애플리케이션의 전체 시스템 아키텍처를 시각적으로 나타낸 것이다.

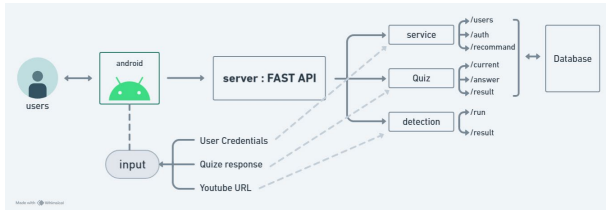


그림 2. 전체 시스템 아키텍처 개요

3.2 딥페이크 탐지 모델 (FreqNet)

본 연구에서는 딥페이크 이미지의 조작 여부를 신뢰성 있게 탐지하기 위해 FreqNet 모델을 기반으로 한 주파수 분석 기반의 딥러닝 탐지 구조를 적용하였다. FreqNet은 기존 CNN 기반 모델이 주로 사용하는 공간 도메인(spatial domain) 뿐만 아니라 주파수 도메인(frequency domain)의 정보를 동시에 학습함으로써, 주파수 도메인에서 발생하는 고주파 왜곡(high-frequency artifacts)을 효과적으로 포착할 수 있어, JPEG 압축, 블러, 노이즈 삽입 등 다양한 변형 조건에서도 높은 탐지 신뢰도를 유지할 수 있다[4].

본 연구에서는 GitHub에 공개된 Deepfake_XAI 프로젝트의 FreqNet 모델을 기반으로 모델 구조와 학습전략을 연구 목적에 맞게 수정하여 적용하였다[5].

FreqNet 모델은 그림 3과 같이 입력 이미지의 주파수 정보를 기반으로 딥페이크 여부를 탐지하는 구조로 설계되었다. 먼저 Fourier Transform Layer를 통해 이미지를 2차원 주파수 영역으로 변환하며, 이때 복소수 형태의 주파수 성분은 이후 Magnitude Scaling 단계를 통해 실수 크기 스펙트럼으로 변환된다. 이 변환된 주파수 이미지가 모델의 주요 입력으로 사용된다. Backbone CNN은 ResNet 계열의 구조를 경량화하여 구성되었으며, 합성곱, 정규화, ReLU 활성화 함수 등을 통해 고차원 주파수 기반 특징을 추출한다. 마지막으로 Fully Connected Layer에서는 특징 벡터를 기반으로 이진 분류를 수행하며, 분류 결과는 확률 값 형

태로 출력되어 사용자에게 전달된다.



그림 3. FreqNet 기반 딥페이크 탐지 모델 구조

3.3 Grad-CAM 시각화

딥러닝 기반 탐지 모델의 판단 근거를 사용자에게 시각적으로 전달하기 위해 Grad-CAM(Gradient-weighted Class Activation Mapping) 기법을 적용하였다. 활용한 시각화를 통해 탐지 근거를 제공하고 있다 [6]. Grad-CAM은 모델이 입력 이미지의 어느 영역을 중점적으로 판단 근거로 삼았는지를 heatmap 형태로 시각화하여 제공한다.

탐지 결과 화면에서는 히트맵이 겹쳐진 이미지와 함께 표시되며, 이를 통해 사용자는 모델의 판단 과정을 직관적으로 이해할 수 있다. 이러한 시각화는 단순한 탐지를 넘어, 딥페이크의 시각적 특징에 대한 학습적 피드백으로 작용한다.

3.4. Fine-tuning 및 성능 개선 평가

3.4.1. 학습 데이터 및 설정

본 연구는 최신 딥페이크 이미지의 복잡성과 고해상도 특성을 고려하여, FreqNet 기반 모델에 대해 fine-tuning을 진행하였다. 학습에는 딥페이크 이미지와 실제 이미지를 포함한 공개 데이터셋을 활용하였으며, 데이터는 모두 256x256 크기로 리사이즈 후 텐서 형태로 변환되어 입력되었다[7]. 학습 구성은 표 2와 같다.

표 2. 학습 환경 구성

배치 크기	32
에포크 수	5
손실 함수	BCEWithLogitsLoss
최적화 알고리즘	Adam
프레임워크	PyTorch
학습 환경	Google Colab T4 GPU

3.4.2. 학습 결과 및 테스트 평가

학습이 진행될수록 손실 값은 지속적으로 감소하고 정확도는 안정적으로 향상되었다. 특히 2번째 에포크 이후 급격한 정확도 향상이 관측되었으며, 이후 69.52%의 정확도를 유지하였다. 표 3은 학습 과정 중 주요 성능 지표를 요약한 것이다.

표 3. Fine-tuning 과정 중 모델 학습 성능 변화

Epoch	Loss	Accuracy(%)
1	10.6445	51.15
2	9.3504	68.68

3	9.0656	69.52
4	8.7565	69.52
5	8.5174	69.52

학습 완료 후에는 총 499개의 샘플로 구성된 독립된 테스트셋을 통해 모델 성능을 평가하였다[7]. 평가 결과, Fine-tuning 후 모델은 76.95%로 크게 향상된 성능을 나타낸다. 표 4는 두 모델의 테스트 정확도를 비교한 결과이다.

표 4. Fine-tuning 전후 모델 정확도 비교

Model	Accuracy	맞은 개수/전체
원본 FreqNet	44.49	222/499
Fine-tuned FreqNet	76.95	384/499

이러한 결과는 FreqNet 모델이 fine-tuning을 통해 새로운 데이터에 효과적으로 적응할 수 있음을 보여주며, 주파수 기반 탐지 방식의 실질적 유효성을 뒷받침한다.

IV. 시스템 구성 및 UI 구현

본 연구에서 개발한 애플리케이션은 FreqNet 기반의 딥페이크 탐지 기술과 미디어 리터러시 학습 콘텐츠를 통합한 교육 플랫폼으로, 사용자 중심의 인터페이스와 체험형 기능 구성을 통해 학습 몰입도 및 자율성을 강화하였다. 본 장에서는 전체 시스템 내 주요 기능과 UI 흐름을 중심으로 구성 요소를 설명한다.

4.1. 사용자 정보 관리

사용자는 회원가입, 로그인, 정보 수정 기능을 통해 자신의 정보를 안전하게 관리할 수 있으며, 선택적으로 학교 정보를 입력할 수 있다. 아이디 중복 확인, 비밀번호 이중 입력 등 입력 검증 절차가 포함되어 있고, 마이페이지에서는 기존 정보를 불러와 손쉽게 수정할 수 있다. 관련 화면은 그림 4와 같다.



그림 4. 로그인, 회원가입, 정보 변경 페이지

4.2. 딥페이크 탐지

딥페이크 탐지 기능과 관련된 페이지는 그림 5와 같다. 사용자는 유튜브 영상 URL을 입력하고, 해당 영상의 특정 지점을 선택해 ‘여기를 캡처해서 탐지하기’ 버튼을 누르면 영상이 일시정지되며 사용자 화면이 자동으로 캡처되어 딥페이크 여부를 실시간으로 탐지할 수 있다. 서버는 FreqNet 모델을 통해 이미지를 분석하고, 결과는 확률 수치와 Grad-GAM 기반 히트맵으로 제공된다.

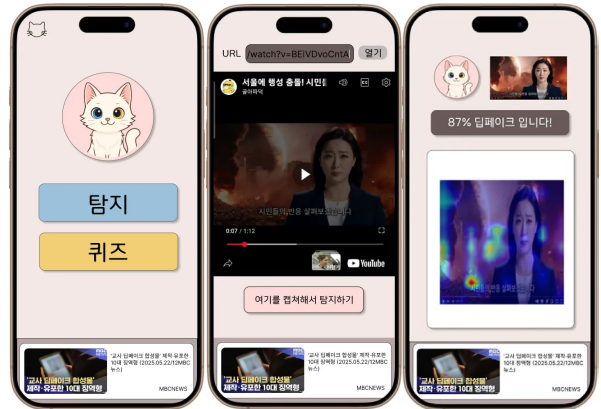


그림 5. 탐지 관련 페이지

4.3. 미디어 리터러시

4.3.1. 퀴즈 기반 학습

퀴즈와 관련된 페이지는 그림 6과 같다. 이미지 분석형, 윤리 판단형 등 다양한 유형의 퀴즈가 제공되며, 사용자는 제시된 이미지나 문장을 기반으로 O/X 판단을 내려야 한다. 답안 제출 후 즉각적으로 정답 여부와 해설이 제공되어, 사용자가 딥페이크의 특징을 학습하도록 돕는 역할을 한다. 퀴즈 풀이에 따른 사용자의 점수는 개인 레벨과 연계된다.



그림 6. 퀴즈 관련 페이지

4.3.2. 학급별 랭킹

학급별 랭킹과 관련된 페이지는 그림 7과 같다. 사용자의 탐지 및 퀴즈 점수는 학급 내 순위로 환산되며, 마이페이지에서 누적 점수와 등수를 확인할

수 있다. 이를 통해 자연스러운 경쟁을 유도하고 학습 참여를 유도한다.



그림 7. 학급 랭킹 관련 페이지

4.3.3. 추천 콘텐츠 배너

애플리케이션 하단에는 딥페이크 관련 뉴스, 교육 영상 등 추천 콘텐츠가 배너 형태로 주기적으로 제공되며, 이는 학습 동기를 유도하고 문제에 대한 현실 인식을 강화하는 데 기여한다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 디지털 조작 기술 중 하나인 딥페이크에 대응하고, 청소년 및 일반 사용자의 미디어 리터러시 역량을 효과적으로 강화하기 위한 교육용 애플리케이션을 제안하였다. 제안된 시스템은 FreqNet 기반 딥페이크 탐지 기술과 퀴즈 중심의 교육 콘텐츠를 통합하여, 기술 탐지와 학습이 연계된 실용적 교육 환경을 구현하였다.

애플리케이션은 사용자 친화적인 UI를 기반으로 다양한 기능을 통합해 체험 중심의 학습 경험을 제공하며, 사용자가 직접 탐지 실습과 반복 학습에 참여할 수 있도록 설계되었다. 또한 콘텐츠는 저작권과 개인정보 보호 기준을 고려하여 윤리적 사용 환경을 지원한다.

향후 본 애플리케이션은 교실 수업, 가정 학습, 비교과 활동 등 다양한 교육 현장에 적용 가능하며, 향후 탐지 정확도 개선과 콘텐츠 다양화를 통해 활용 범위를 넓혀갈 수 있다. 궁극적으로 본 연구는 AI 시대에 요구되는 비판적 사고력과 정보 해석 능력을 갖춘 디지털 시민 양성에 기여하는 유의미한 도구로 자리매김할 수 있을 것이다.

참고문헌

[1] 교육부, “학교 딥페이크 불법영상물 관련 청소년

인식조사 결과 발표”, 교육부 보도자료, 2024.12.11

[2] 조희연, “서울 학생 미디어 교육의 현황과 과제: 미디어 리터러시 교육의 필요성과 지향을 중심으로”, 『한국방송학회 2020 가을철 정기학술대회 논문집』, 한국방송학회, pp.71-76, 2020.

[3] 이지선, 김아미, 변경가 외 2인, “2022 개정 교육과정의 미디어 리터러시 교육 요소 분석 및 체계화”, 『한국언론진흥재단 지정주제 연구보고서 2023-08』, 한국언론진흥재단, pp.1-196, 2023.

[4] Chuangchuang Tan, Zhepeng Wang, Jiaming Xu, Lei Zhang, Jie Liu, Tongliang Liu, "Frequency-Aware Deepfake Detection: Improving Generalizability through Frequency Space Learning", AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI), 2024.

[5] Ez-Sy01. (2023). *Deepfake_XAI*. [Online]. Available: https://github.com/Ez-Sy01/Deepfake_XAI

[6] Ramprasaath R. Selvaraju, Michael Cogswell; Abhishek Das, Ramakrishna Vedantam, Devi Parikh; Dhruv Batra, "Grad-CAM: Visual Explanations from Deep Networks via Gradient-Based Localization", IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), 2017, pp. 618-626.

[7] S. Bagchi, "Deepfake Image Detection," Kaggle Dataset, 2025. [Online]. Available: <https://www.kaggle.com/datasets/saurabhbagchi/deepfake-image-detection>. [Accessed: 29-Dec-2024].

Designable FR4 substrate-based Lange Coupler for 2.4 GHz band and Design error correction

김현중 1, 정진호 2, 조훈희 2, 최은성 2, 이상민 1, 전주영 1*

¹국립강릉원주대학교 전자·반도체공학부, 강릉, 대한민국

1Dept. of Electronic and semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju National, South KOREA

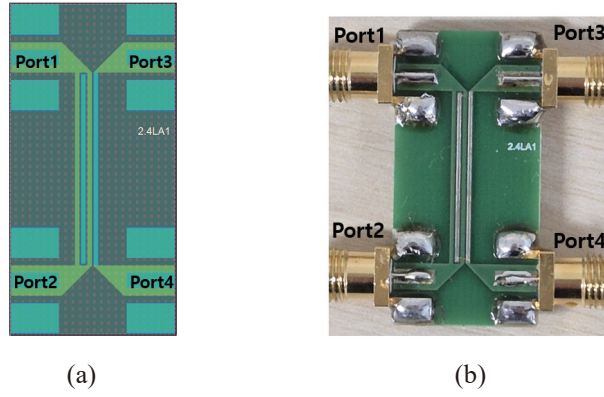
²국립강릉원주대학교 전자공학과, 강릉, 대한민국

2Dept. of Electronic Engineering, Gangneung-Wonju National, South KOREA

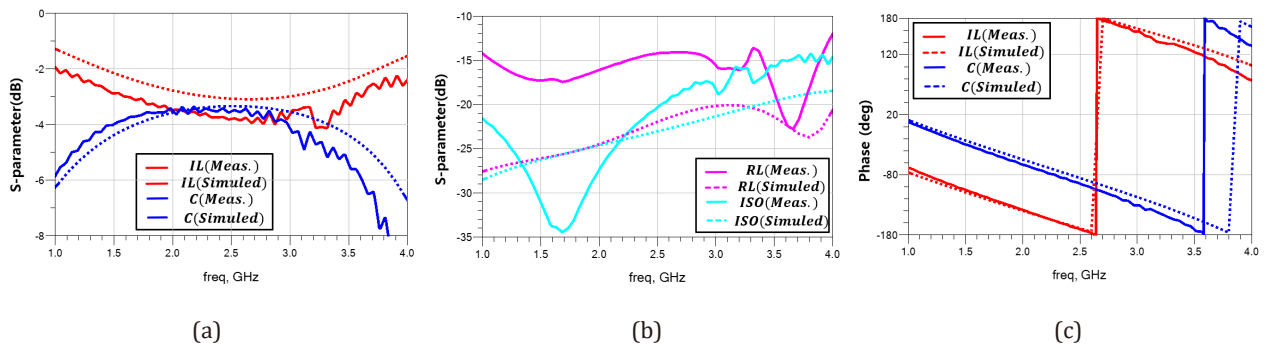
Abstract

본 연구에서는 2.4 GHz 대역에서 동작하는 Lange Coupler 를 FR4 기판 위에 구현하고, 설계 초기 단계에서 발생한 와이어 본딩 인덕턴스 고려 부족 문제를 인식하고 개선한 사례를 다룬다. Lange Coupler 는 전력 분배 및 위상 제어 특성이 우수하여 다양한 RF 회로에 사용된다 [1],[2]. 하지만 고주파 동작 특성 확보를 위해서는 실제 환경, 특히 와이어 본딩의 영향까지 반영된 설계가 필수적이다. 초기 설계에서는 전기적 특성만을 고려한 이상적인 모델을 기반으로 Coupler 를 설계하였으며, 설계된 Lange Coupler 는 상용 EM 시뮬레이터를 통해 중심 주파수 2.4 GHz 에서 약 600 MHz 의 대역폭 FBW (25%), 약 22dB 이상의 반사 손실과 격리도, 3.3dB 의 결합계수, 약 90 도의 위상 차 특성을 나타내도록 최적화되었다. 이 과정에서 와이어 본딩이 추가로 유발하는 인덕턴스를 반영하지 않아 제작 후 성능 열화가 발생하였다. 실제 측정에서는 결합계수 3.5dB, 반사손실 15dB, 위상 차 8도 오차 등의 문제가 관찰되었으며, 그 원인을 분석한 결과 와이어 본딩에 의한 인덕턴스 증가가 주요 요인임을 확인하였다.[3] 이를 해결하기 위해, 본 연구에서는 와이어 본딩을 병렬로 다수 배치하여 전체 인덕턴스를 효과적으로 감소시키는 구조로 개선하였다. 병렬 연결을 통해 전기적 경로의 임피던스를 감소시켰고, 그 결과 결합계수 및 반사손실 특성이 시뮬레이션 수준에 근접하게 회복되었으며 위상 정합도도 향상되었다. 본 연구는 단순 설계에서 실제 구현으로 이어지는 과정에서 반드시 실제 환경까지 고려해야 함을 강조하며, 설계 오류를 조기에 발견하고 효과적으로 보정한 사례로서 Lange Coupler 설계자들에게 실질적인 참고가 될 수 있다.

Keywords: Lange Coupler; Wire bonding; Inductance



[Fig. 1. Lange Coupler 이미지 (a) Layout (16 x 32mm²) (b) 모듈사진]



[Fig. 2.시뮬레이션 및 측정 결과 비교 (a)삽입손실, 결합계수 (b)반사손실, 격리도 (c)위상차이]

This research was supported by Semiconductor R&D Support Project through the Gangwon Technopark(GWTP) funded by Gangwon Province(No. GWTP 2024-029)

References

- [1] Inkwon Ju, Dong Pil Chang (2023), "Design and Measurement of a Folded Lange Coupler for a K-band MMIC HPA", 한국통신학회 하계종합학술발표회
- [2] David M. Pozar (2011), *Microwave Engineering*, Wiley
- [3] Y. Lai (2008), "A New Ka-Band Doubly Balanced Mixer Based on Lange Couplers," *IEEE Microw. Wirel. Compon. Lett.*

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 7] 특별세션 (My Chip 서비스)

좌장 : 김영래(국립강릉원주대학교)



‘내 칩 (My Chip) 제작 서비스’ 소개

박건식

한국전자통신연구원 초실감메타버스연구소 반도체소부장기술센터

초록

반도체설계검증인프라활성화사업(출연처: 과학기술정보통신부)은 반도체 설계분야의 인력양성을 위하여 대학·대학원생들에게 공공기관의 반도체 팹을 활용한 CMOS IC 설계검증 서비스를 제공하고, 공공팹의 공정장비 고도화와 팹연계를 추진하고 있다. ‘내 칩 (My Chip) 제작 서비스’는 반도체 팹을 보유하고 있는 한국전자통신연구원, 서울대학교, 대구경북과학기술원에서 학생들이 설계한 IC 를 MPW (Multi-Project Wafer)로 제작하여 Bare-die 와 패키지 칩을 전달하고, 학생들이 본인의 설계 칩을 직접 평가함으로써 반도체 설계와 특성검증의 전 과정에 대한 실무 경험 기회를 제공하고 있다. 설계검증용 MPW 제작 지원을 위해 공공팹 3기관은 동일한 특성을 갖는 2-Poly/3-Metal 의 0.5 μ m CMOS 기술을 구축하고, 설계자에게 PDK (Process Design Kit)를 제공하고 있다. 본 발표에서는 ‘내 칩 제작 서비스’에서 제공하는 CMOS 기술과 PDK, MPW 참여를 위한 가이드와 ‘내 칩 제작 서비스’ 추진 경과 및 2025 년 MPW 일정에 대해 소개한다.

2023 년 시범적으로 진행한 ‘내 칩 제작 서비스’에는 12 개 대학에서 46 팀, 총 125 명의 학생이 참여하여 본인의 칩을 설계하였고, 한국전자통신연구원(ETRI)에서 MPW 제작 및 패키지를 수행한 후 칩을 전달하였다. ‘내 칩 제작 서비스’가 본격적으로 시작된 2024 년에는 대학교의 학사일정에 맞추어 봄/여름/가을/겨울학기에 학생들이 설계에 참여하는 일정으로 4 차례의 접수를 받아 총 86 팀, 246 명의 학생이 참여하였으며, 공공팹 3기관에서 총 6 회의 MPW 를 제작한 후 칩을 전달하여 학생들이 본인의 칩이 정상적으로 동작하는지를 평가함으로써 반도체 회로설계와 칩 검증까지 이어지는 실무 이론 및 경험을 체득할 수 있었다. 2025 년의 경우 현재 3 차 ‘내 칩 제작 서비스’를 공고하여 신청을 받고 있으며, 2026 년부터는 연 12 회의 MPW 를 진행하여 많은 학생들에게 설계검증의 교육기회를 제공할 예정이다. 또한, 공공팹의 인프라 개선을 통해 CMOS MPW 의 안정적인 성능 유지와 균일도를 향상시키고 TAT(Turn-Around-Time)를 단축시킴으로써 대학의 교육 프로그램으로 자리잡을 수 있도록 추진할 예정이다.

우리나라 반도체산업에서 메모리반도체는 세계 1위를 유지하고 있지만, 이보다 시장이 2배 이상 큰 시스템반도체의 경우 시장점유율이 약 3%로 매우 낮아 기술개발과 더불어 인력양성이 절실한 상황이다. 특히, 반도체산업 인력의 경우 업계에서 필요한 인력 대비 배출인력이 약 1/10 수준으로 매우 부족하기 때문에, 공공기관의 반도체 인프라를 활용하여 국가 주도로 추진되는 ‘내 칩 제작 서비스’를 통해 반도체설계 인력을 양성함으로써 국가 반도체산업의 기술경쟁력 확보에 기여할 것으로 기대한다.

사사: 이 연구는 과학기술정보통신부 반도체설계검증인프라활성화사업(RS-2023-00258732)의 지원을 받아 수행된 연구임.

오픈-소스 EDA 도구 활용 “내 칩 제작 서비스” 참여하기

국일호

한국전자통신연구원 초실감메타버스연구소 반도체소부장기술센터

e-mail: goodkook@etri.re.kr

Applying “My Chip MPW Service” using Open-Source EDA Tool-Chain

Ilho Kook

Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

초록

“내 칩 제작 서비스”는 반도체 설계 실무 인재 양성을 위해 반도체를 제작해주는 사업이다. 고가의 반도체 설계 도구는 MPW의 참여를 어렵게 하는 걸림돌이 되고 있다. 또한 제작을 마친 칩의 테스트도 만만치 않은 난제라 할 것이다. 다행히 최근 소프트웨어 분야에서 성공적인 성과를 이뤄낸 오픈-소스 운동에 반도체 설계 도구 역시 활발하여 높은 완성도를 보여주고 있다. 이 도구들은 해외 유수의 교육용 MPW 사업에서 반도체 설계 방법론으로 자리 잡았다. 무료로 사용할 수 있는 오픈-소스 반도체 설계 도구들은 시간과 장소에 구애받지 않으며 상용 도구에 접근하기 어려운 한계를 극복할 수 있어 가히 ‘반도체 설계의 민주화’라고 일컬어진다. 이에 오픈-소스 반도체 설계 도구를 활용하여 “내 칩 제작 서비스”의 CMOS 공정용 표준 셀 기반 “디자인 킷”을 수립하고 실리콘 검증까지 수행하였다. “내 칩”을 “내 책상”위에서(My Chip on My Desk) 설계하고 테스트까지 수행할 수 있도록 구성된 이 “디자인 킷”은 깃-허브 저장소를 통해 공개되었고 지속적으로 업데이트 되고 있다. 본 강연은 “내 칩 제작 서비스”의 MPW에 참여 방법을 실제 예를 보며 안내한다.

1. “내 칩 제작 서비스”의 MPW 참여 지원서 작성법
2. 오픈-소스 EDA 도구 활용 표준 셀 기반 반도체 설계
3. 시스템 수준 설계 및 RTL 검증 기법, 칩 테스트 전략: Co-Simulation & Co-Emulation
4. 설계 사례 영상 시연(핑-퐁 비디오 게임, FIR 필터, 고위 합성: C++ 제공된 계산기)
5. “반도체 설계 교실” 소개

“내 칩”을 설계하려면 학부 과정에서 쌓아온 전자회로, 컴퓨터 구조 등의 하드웨어 뿐만 아니라 컴퓨팅 언어, 알고리즘, 운영체제 등 모든 학습 역량이 총동원되어야 한다. “내 칩 제작 서비스”의 MPW 참여는 단지 레이아웃 도면의 생성과 칩의 제작에 국한되지 않고 알고리즘 개발, 설계 자동화 도구, 설계의 검증 그리고 칩 테스트 등 폭넓은 반도체 산업의 생태계 전반을 체험 학습하는 계기가 될 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 과학기술정보통신부 2024년 나노-소재기술개발사업(랩고도화)고경력 전문인력 기술컨설팅 및 첨단반도체연구개발 장비 지원사업(RS-2024-00461164)의 지원을 받아 수행된 연구임.

ETRI 0.5 μm CMOS PDK 기반 아날로그 회로 설계 절차 및 주요 결과

장현규, 김성도, 국일호, 원종일, 강경남, 박건식, 정동윤
한국전자통신연구원
e-mail : janghg@etri.re.kr

Design Methodology and Key Results of Analog Circuits Using ETRI 0.5 μm CMOS PDK
Hyun Gyu Jang, Seongdo Kim, Ilho Kook, Jong Il Won, Kyung Nam Kang, Kun Sik Park, and Dong Yun Jung
Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI)

초록

“내 칩 제작 서비스”는 반도체 설계 인력 양성을 위해 대학(원) 생이 설계한 칩을 ETRI 0.5 μm CMOS 기술을 통해 무료로 제공하는 서비스이다. 이를 위해 칩을 설계하고 시뮬레이션 하는데 필요한 모든 ETRI 0.5 μm CMOS 제작 특성 정보가 담긴 PDK (process design kits)의 제공이 필수적이다. 다만, 회로 설계가 익숙하지 않은 대학(원)생에게 ETRI 0.5 μm CMOS PDK 뿐만 아니라 다른 반도체 파운드리 PDK를 이용하여 원하는 회로를 설계하는 것은 어려움이 존재한다. 이를 위해 “내 칩 제작 서비스”에서는 기초적인 인버터 회로를 기반으로 작성된 “디자인 튜토리얼”을 제공하고 있다[1]. “디자인 튜토리얼”은 PDK를 이용한 라이브러리 생성부터 Schematic 회로 설계, Pre-simulation, 및 Layout 설계를 포함하며, ETRI 0.5 μm CMOS 공정에 적합한지 확인하는 DRC(design rule check), Schematic 회로와 Layout 회로가 동일한지 확인하는 LVS(layer versus schematic), 기생 성분을 추출하는 PEX(parasitic extraction) 및 Post-simulation 가이드를 제공하고 있다. 이와 더불어 “내 칩 제작서비스”는 제작된 칩을 bare-die 와 패키지 형태로 제공하고 있으며, 이를 위해 0.5 μm CMOS PDK는 28-pin 패키지용 PAD, 범용 I/O (GPIO, general-purpose input/output)를 포함하고, 사용법 또한 “디자인 튜토리얼”을 통해 제공하고 있다. 본 발표에서는 “디자인 튜토리얼”을 기반으로 ETRI 0.5 μm CMOS PDK의 구성, 인버터 기반의 회로 설계 방법에 대해 소개하고자 한다. 또한, 매 MPW 마다 자체적으로 설계한 표준 회로를 통해 공정의 신뢰성을 확인하고 있는데 설계 특성과 평가 결과를 비교하여 “내 칩 제작 서비스”의 높은 공정 신뢰성을 소개하고자 한다 [2].

References

- [1] <https://www.kion.or.kr/css/myPage/bussiness/myChip/info>
[2] 장현규 외, “ETRI 0.5 μm CMOS 기반 고정밀 기준전류발생회로 설계 및 분석”, 대한전자공학회 추계학술대회, 2024, pp.464-466

Acknowledgement

이 논문은 과학기술정보통신부 반도체 설계 검증 인프라 활성화 사업(RS-2023-00258732)의 지원을 받아 수행된 연구임.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[구두세션 8]

인공지능/헬스케어

좌장 : 유찬세(한국전자기술연구원)



ANetFL: Adaptive Neural Network with Focal Loss for Classifying Subtypes of Pan-Cancer

Guiyuan Deng , Shiyang Wang and Kyungsook Han*

Department of Electrical and Computer Engineering , Inha University , Incheon , 22212 , South Korea

Abstract

Accurate identification of cancer subtypes is imperative for the advancement of precision oncology, as it facilitates the development of tailored therapies based on molecular profiles and enhances prognostic outcomes. Given the rapid accumulation of large-scale transcriptomic data across multiple cancer types, the development of robust and generalizable models for classifying cancer subtypes has become increasingly important. However, most existing approaches are intended for classifying subtypes of single cancers only and cannot be used in multiple cancers.

To address these challenges, we propose an Adaptive Neural Network with Focal Loss (ANetFL), a unified deep learning framework designed for classifying subtypes of all cancers using RNA-seq gene expression data. The model incorporates focal loss to effectively handle subtype imbalance by placing greater emphasis on minority and hard-to-classify samples. The model further integrates a comprehensive feature engineering pipeline that first applies analysis of variance (ANOVA) to eliminate uninformative features, followed by mutual information analysis to measure statistical relevance between features and subtype labels. Subsequently, XGBoost is employed to rank and select the most discriminative features, resulting in a compact and informative feature set. To enhance subtype separability and reduce data dimensionality, linear discriminant analysis (LDA) is applied to the selected features.

The neural architecture incorporates residual connections to mitigate gradient vanishing and Gaussian noise injection at the input layer to enhance robustness against biological or experimental variability. An adaptive learning rate scheduler was implemented during training to accelerate convergence and reduce the risk of overfitting. ANetFL was evaluated on RNA-seq datasets from 15 cancer types in The Cancer Genome Atlas (TCGA), encompassing more than 60 molecular subtypes, and further validated on independent datasets obtained from the MET500 metastatic cancer cohort. The results demonstrate that ANetFL outperforms traditional classifiers in multiple performance metrics, thus demonstrating both robust predictive capacity and strong generalizability.

A Multilayer Perceptron Model for Predicting Distant Metastasis Using Gene Correlations Specific to Individual Cancer Patients

Jiahui Kang and Kyungsook Han*

Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University, Incheon, 22212, South Korea

Abstract

Cancer metastasis refers to the spread of tumor cells from the primary site to other organs and is the main cause of cancer-related death. Cancer metastasis is usually classified into two types based on metastatic sites: lymph node metastasis and distant metastasis. Distant metastasis is more difficult to detect than lymph node metastasis because the detection of distant metastasis requires a full-body examination. So far, several machine learning methods have used to predict lymph node metastasis, but predicting distant metastasis has received much less attention due to the complexity and heterogeneity of distant metastatic cancer.

In this study, we developed multilayer perceptron (MLP) models based on gene interactions and gene correlations of individual cancer patients. First, we constructed a differential gene correlation network using the topological differences between the gene correlations of cancer patients with distant metastasis and those without distant metastasis. Using the network, we derived a gene correlation network unique to each cancer patient. Our machine learning framework has two stages: first, we predict whether or not distant metastasis will occur; then, for patients predicted to have metastasis, we further predict the metastatic site. Since a single patient with distant metastasis may have multiple metastatic sites, predicting metastatic sites is a multi-label classification problem. To predict one or more metastatic sites in a single patient, we transformed the multi-label classification problem into multiple binary classification problems. In testing our MLP model on an independent dataset which was not used in training the model, the model achieved a high performance. It showed an area under the curve (AUC) of 0.94 for predicting distant metastasis and an average AUC of 0.95 for predicting metastatic sites. Our approach will help predict distant metastasis and potential metastatic sites in cancer patients of early stage, thereby can be used as an aid in determining personalized treatment plans.

Acknowledgments This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science and ICT (2020R1A2B5B01096299).

스마트폰을 이용한 기침 음향 데이터의 심층학습 기반 분석 : 천식 환자 분류를 위한 전향적 연구

문경민^{1,2}, 박상환², 유영주², 장영인², 김지연², 최형신³, 박영미⁴, 권효선⁵, 구강모¹, 장윤실⁶

¹중앙대학교. ²메타온랩. ³성균관대학교. ⁴연세대학교. ⁵University of California, San Francisco, USA.
⁶울산대학교.

e-mail : ml.pulmogicu@gmail.com

Deep Learning-Based Analysis of Cough Sound Data Using a Smartphone: A Prospective Study for Asthma Patient Classification

Kyoung Min Moon^{1,2}, Sang Whan Park², Young Joo Yu², Young In Jang², Ji Eon Kim², Hyounghsin Choi³, Young Mi Park⁴, Jenny Kwon⁵, Kang-Mo Gu¹, Yoonsil Jang⁶

¹Chung-Ang University College of Medicine, Korea. ²MetaOnLab, Korea. ³Sungkyunkwan University, Korea. ⁴Yonsei University College of Medicine, Korea. ⁵University of California, San Francisco, USA. ⁶University of Ulsan College of Medicine, Korea.

Abstract

This paper presents a smartphone-based system for asthma classification using AI-analyzed cough sounds. A hybrid model combining CNNs and Bi-LSTM was developed to process log-mel spectrograms of 1,212 cough samples from 257 participants. The model achieved up to 86.44% accuracy in distinguishing asthma, showing potential as a diagnostic aid in resource-limited settings.

I. 서론

천식은 기침, 호흡곤란, 쌉쌉거림, 흉부 압박감 등의 반복적인 증상을 유발하는 만성 호흡기 질환으로, 다양한 연령대에서 발생하며 전 세계적으로 유병률이 증가하고 있다. 천식 환자의 기침은 일반적으로 마른 기침 형태로, 고주파 성분과 날카로운 음향적 특성을 가지며, 이는 정상적인 점액성 기침과 구분되는 특징이다. 그러나 이러한 음향 차이는 숙련된 전문가가 아니면 구별이 어렵고, 이를 체계적으로 분석하거나 진단에 활용할 수 있는 명확한 기준은 아직 마련되어 있지 않다. 기존의 천식 진단 방식은 폐기능 검사, 병력 청취 등 복잡하고 시간이 오래 걸리는 절차를 필요로 하며, 이로 인해 치료 시작이 지연되는 문제가 있다.

본 연구는 스마트폰으로 수집된 기침 음향 데이터를 활용해, 심층학습 기반의 CNN-BiLSTM 모델을

적용하여 천식 유무를 분류하는 방안을 제안한다. 의료 장비 없이도 활용 가능한 이 모델은, 호흡기 질환에 익숙하지 않은 일반인이나 일선 의료진에게 유용한 보조 도구가 될 수 있으며, Grad-CAM 기반의 시각화와 함께 분류 정확도를 분석하여 그 유효성을 검증하였다.

II. 본론

본 연구는 천식 진단을 위한 기침 소리 분석의 타당성을 평가하고자, 임상 전문가의 검증 하에 스마트폰으로 수집된 기침 데이터를 기반으로 인공지능 모델을 학습시키는 전향적 연구로 설계되었다. 기침은 의료진이 직접 수집하였고, 총 276명의 환자로부터 1,411개의 기침 음원이 확보되었다.

이 중 전문의의 다수의견을 바탕으로 각 음원에 대해 '정상' 또는 '비정상'으로 분류하였다. 기침 소리는 1초 길이의 슬라이딩 윈도우 5개로 나누어 CNN-BiLSTM 모델에 입력되었고, 이는 시간적·공간적 특성을 동시에 학습할 수 있도록 설계되었다. 전체 데이터는 천식 여부와 기침의 양상에 따라 4개 그룹으로 분류되었으며, 두 가지 실험(정상 vs. 천식, 기침 여부를 고려한 분류 vs. 고려하지 않은 분류)을 통해 모델의 예측 성능을 평가하였다.

임상적 특징 비교에서는 천식군이 유의하게 고령이며 폐기능 지표가 낮았고, 비정상 기침의 비율도 높게 나타났다. 이를 통해 기침 소리의 음향적 특성과 질병 상태가 임상적으로도 연관성이 있음을 확인하였다.

III. 구현

본 연구에서 구현된 심층학습 모델은 5개의 연속된 기침 윈도우를 입력으로 받아 CNN 계층에서 특징을 추출하고, Bi-LSTM 계층을 통해 시간 순서상의 연관성을 학습하도록 구성되었다. 모델은 log-mel 스펙트로그램 기반의 2D 이미지 형태로 기침 소리를 처리하며, 최종 출력은 시그모이드 함수를 이용해 이진 분류(천식 vs. 정상)를 수행하였다. 학습은 Adam 옵티마이저와 binary cross-entropy 손실 함수를

사용하였으며, 학습률 감소 스케줄러와 클래스 비율 기반 가중치를 적용하여 최적화를 진행하였다. 모델 성능 해석을 위해 Grad-CAM을 활용하여 스펙트로그램 이미지의 어떤 영역이 예측에 영향을 주는지를 시각화하였다. 결과적으로 CNN-BiLSTM 모델은 단순 FC 또는 LSTM 구조보다 우수한 정확도(최대 86.4%)와 F1-score를 보였으며, 다윈도우 입력이 단일 윈도우보다 높은 분류 성능을 보였다. 모델은 Python 3.12, TensorFlow 2.12, NVIDIA RTX 3090 환경에서 구현되었으며, 실험 설계, 데이터 전처리, 통계 분석 전 과정은 동일 환경 내에서 수행되었다.

	Accuracy	AUC	Precision	Recall	Specificity	F1 score
Fold 1	0.826	0.877	0.767	0.559	0.932	0.647
Fold 2	0.845	0.912	0.750	0.700	0.905	0.724
Fold 3	0.864	0.907	0.821	0.719	0.930	0.767
Fold 4	0.879	0.942	0.815	0.803	0.914	0.809
Fold 5	0.830	0.863	0.698	0.661	0.893	0.679
FC	84.50	0.85	84.50	84.50	89.90	0.84
LSTM	83.92	0.84	83.92	83.92	88.15	0.84
one window ¹	83.43	0.83	83.43	83.43	88.35	0.83
Mean	0.849	0.900	0.770	0.688	0.915	0.725

표. 기침 소리 분석을 포함한 천식 예측 분류 결과

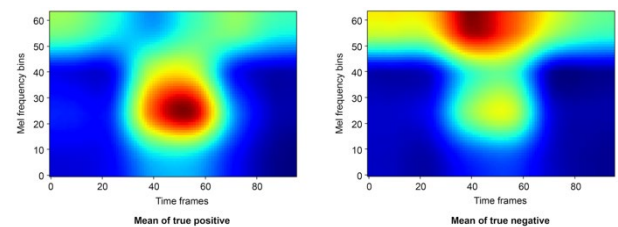


그림. 기침 소리 특성에 기반한 Grad-CAM을 이용한 천식 예측 분석

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 스마트폰으로 수집한 기침 소리의 주파수 정보를 기반으로, 천식 환자와 정상인을 구분하는 심층신경망 모델을 구현하였다. CNN과 Bi-LSTM 기반 모델은 시간적 특성과 고주파 영역 분석을 통해 천식의 특징적인 기침 양상을 효과적으로 분류하였으며, Grad-CAM 분석을 통해 모델의 판별 근거를 시각화하였다. 전문가의 임상 판단을 바탕으로

데이터를 구성하였지만, 객관적이고 표준화된 분류 기준의 부재는 여전히 한계로 남아 있다. 본 연구는 단일 기관의 데이터에 기반하여 일반화에 제한이 있으나, 향후 다양한 환경과 질병을 포함한 데이터셋을 확보하여 성능을 확장할 수 있다. 특히, 천식뿐 아니라 COPD, 폐렴, 코로나19 등 호흡기 질환 전반에 적용할 수 있는 모델로 발전시킬 수 있으며, 의료 자원이 부족한 환경에서 진단 보조도구로 활용될 가능성을 제시하였다.

참고문헌

- [1] Bethesda: Global Strategy for Asthma Management and Prevention (2021)
- [2] Global asthma prevalence in adults: findings from the cross-sectional world health survey, BMC Public Health. (2012)
- [3] Analysis of the cough sound: an overview, Pulm. Pharmacol. (1996)
- [4] Assessing the sound of cough towards vocality, Med. Eng. Phys. (2002)
- [5] Describing and quantifying asthma comorbidity: a population study, PLOS ONE. 7 (2012)
- [6] COVID-19 diagnosis from cough acoustics using ConvNets and data augmentation. arXiv. Preprint posted online (2021)
- [7] Attention-based hybrid CNN-LSTM and spectral data augmentation for COVID-19 diagnosis from cough sound, J. Intell. Inf. Syst. (2022)
- [8] Development of machine learning for asthmatic and healthy voluntary cough sounds: a proof of concept study, Appl. Sci. (2019)
- [9] Adverse effects of β -agonists, J. Allergy Clin. Immunol. 110(6) Suppl (2002)
- [10] Bronchial provocation tests in asthma, Arch. Dis. Child. 45 (1970)
- [11] Grad-CAM: visual explanations from deep networks via gradient-based localization, Int. J. Comput. Vis. (2020)
- [12] Full-gradient representation for neural network visualization. Paper presented at: Neural Information Processing Systems annual meeting, Vancouver, BC, Canada, (2019)
- [13] Theory and Applications of Digital Speech Processing, Pearson, London, (2011)
- [14] Past and trends in cough sound acquisition, automatic detection and automatic classification: a comparative review, Sensors (Basel). (2022)
- [15] Interpretation and visualization techniques for deep learning models in medical imaging, Phys. Med. Biol. (2021)

스마트폰 게임 기반 얼굴 행동을 통한 우울 및 불안 세부아형 분류 연구

최지예¹, 신민섭², 전민규³, 변상원^{4*}, 김아영^{5*}

¹가천대학교 AI·소프트웨어학부

²고려대학교 심리학부

³서울대학교병원 정신건강의학과

⁴인천대학교 전자공학부

⁵한국전자통신연구원 (ETRI) 디지털바이오의료연구본부 의료정보연구실

e-mail: aykim@etri.re.kr

Classification of Depression and Anxiety Subtypes Based on Facial Behavioral Analysis During Smartphone Game Play

Jiye Choi¹, Min-Sup Shin², Mingyu Jeon³, Sangwon Byun^{4*}, Ah Young Kim^{5*}

¹School of Computing, Gachon University, Korea

²Korea University School of Psychology, Seoul, Korea

³ Department of Psychiatry, Seoul National University Hospital, Seoul, Republic of Korea

⁴Department of Electronics Engineering, Incheon National University, Incheon, Korea

⁵Medical Information Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daejeon, Korea

Abstract

The objective of this study is to examine the relationship between various frame-based characteristics, including action unit (AU), pose, and gaze, as extracted from facial images using OpenFace, and the depression/anxiety subtype scores of subjects. The subjects' self-reported questionnaire scores consisted of five subtypes: Avolition-Anhedonic type, Negative Rumination type, Low Self-Esteem type, Sad-Dysphoric type, and Agitated Anxiety type. Each score was normalized and severity grouped (low, high) to be used as the basis for analysis. The results of the OpenFace analysis

yielded a total of 274 higher-order statistical features (mean, median, skewness, etc.). These features were then merged with the subtype scores to calculate correlation coefficients. The analysis indicated a significant correlation between the skewness of the distribution of certain AUs and the RMS of the gaze area with subtype scores. The present study demonstrates the capacity for face-based behavioral characteristics to serve as indicators of distinct subtypes within the spectrum of mental health conditions.

I. 서론

우울증과 불안장애는 전 세계적으로 주요한 건

강 문제로, 사회경제적 부담이 막대한 질환이다 [1-2]. 우리나라는 특히 우울증 유병률이 높고, 정신장애로 인한 연간 사회경제적 비용이 약 7조 원에 이르는 등 조기 선별과 예방적 개입의 중요성이 지속적으로 강조되고 있다[3]. 그러나 정신장애는 복합적이고 이질적인 임상 양상과 정상·질병 경계의 모호성으로 인해 고위험군의 조기 선별이 쉽지 않다[4]. 특히 우울 및 불안은 증상 내 이질성이 크고, 타 정신질환과의 공병률도 높아 고위험군을 정확히 파악하고 적시에 개입하는 것이 더욱 어렵다[5].

기존 연구[6]들은 우울과 불안을 단일 척도로 평가하거나 임상 진단에 초점을 맞춘 한계가 있었으나, 본 연구는 실생활 속에서 스마트폰 앱 기반으로 실시간 생활 데이터를 수집·분석하는 디지털 신경심리 평가 시스템을 개발하여, 개인의 우울 및 불안 위험군을 선별하고 세부아형(subtype)까지 정밀하게 분류하고자 하였다. 특히, 본 연구는 얼굴 행동 단위(Action Unit, AU) 시계열 데이터 등 비언어적 행동 지표를 분석함으로써, 피험자의 미세한 정서·행동 반응과 내적 심리 상태를 정량적으로 추정하고자 하였다. 이를 통해 기존 진단 도구의 공학적 한계를 극복하고, 실제 일상 속에서 편리하게 활용할 수 있는 고위험군 선별 및 아형 분류 시스템의 가능성을 탐색하였다. 더불어, 이와 같은 스마트폰 앱 기반 평가 과정은 일상 기능 저하가 명확하지 않아 사각지대에 놓인 정신건강 고위험군에게 자신의 문제를 명확히 인식하고, 자발적인 치료 동기를 유발할 수 있는 디지털 솔루션으로도 기대된다. 궁극적으로는 본 연구가 메타버스 및 다양한 디지털 치료 기술, AI 진단분류 시스템 등과 연동되어 정신건강 분야의 조기 평가 및 예방적 개입 모델로 확장될 수 있을 것이다.

II. 본론

2.1 데이터 수집 실험 프로토콜

실험 대상자는 만 19세 이상 50세 이하의 성인 중, 독립적으로 설문지를 작성할 수 있고 스마트폰 사용이 가능한 자로, 연구의 목적 및 절

차에 충분히 이해하고 동의한 사람을 대상으로 모집하였다. 우울증 선별도구(PHQ-9) 또는 범불안장애 척도(GAD-7)에서 10점(moderate) 이상인 경우 준임상군으로 분류하였으며, 본 연구에서는 준임상군 67명의 데이터를 분석에 활용하였다. 참여자는 IRB 승인 하에 모집 공고와 전화 면담을 거쳐 선정되었으며, 서울대학교병원 정신건강의학과 외래에서 연구 설명 및 동의 절차 후 스마트폰 앱 기반 신경심리 검사 과제와 자기보고식 척도 평가를 실시하였다.

데이터 수집은 그림1의 실험 프로토콜에 의해 진행되었으며 얼굴 영상은 모바일 디바이스(갤럭시 S25)의 카메라를 사용하여 수집되었다. 실험 프로토콜 중 사용된 각각의 TASK 정보는 표1에서 확인할 수 있다.

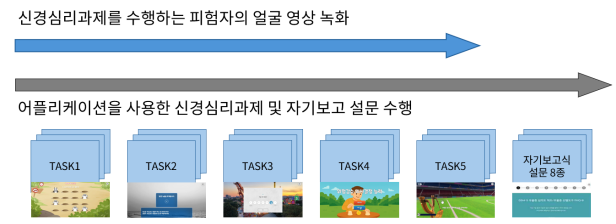


그림1) 실험 프로토콜

실험에 사용된 TASK 종류		
	TASK 종류	TASK내용
1	Catching Raccoon	너구리 등장 순서를 기억 후 올바르게 선택, 동시에 음성으로 출력되는 숫자들을 듣고 조건에 맞는 숫자의 개수 계산
2	Mood Induction Negative	과거 슬펐던 정서적 사건에 대한 1분간의 회상을 통한 부정 정서 유발 이후 긍정/부정/중립 범주별 단어 암기
3	Mood Induction Positive	과거 행복했던 정서적 사건에 대한 1분간의 회상을 통한 부정 정서 유발, 긍정 정서 유발 이후 긍정/부정/중립 범주별 단어 암기
4	Risk Taking	고위험-고소득 또는 저위험-저소득 조건을 선택하여 상금/폭탄이 들어있는 컵 선택

5	Soccer	손가락으로 세기를 조절하여 공차기 및 제한시간 내 사다리 타기 결과 계산
---	--------	--

<표1. TASK 5종 및 TASK별 수행 내용>

2.2 우울 및 불안 준입상군의 세부아형

5가지의 세부아형은 표2에서 묘사된 자기보고식 설문 8종 (우울증 선별도구, 범불안장애 7문항 척도, 수준2 우울증 척도, 자기존중감 척도, 수준2 불안 척도, 반추적 반응 척도, 불안민감성 척도, 고통감내력 부족 척도)의 결과를 사용하여 분류하였으며 각 아형에 대한 설명은 아래와 같다.

1. 무욕-무쾌감 유형 (Avolition-Anhedonic type, AVA 유형)
2. 부정적 반추사고 유형 (Negative Rumination type, NR 유형)
3. 낮은 자존감 유형 (Low Self-Esteem type, NSE 유형)
4. 슬픔-침울 유형 (Sad-Dysphoric type, SD 유형)
5. 초조 불안 유형 (Agitated Anxiety type, AGA 유형)

사용된 자기보고식 설문 8종	
1	우울증 선별도구 (PHQ-9)
2	범불안장애 7문항 척도 (GAD-7)
3	수준 2 우울증 척도 (PROMIS Depression-SF)
4	자기존중감 척도 (Rosenberg Self-esteem Scale)
5	수준 2 불안 척도 (PROMIS Anxiety-SF)
6	반추적 반응 척도 (Rumination Response Scale)
7	불안민감성 척도 (Anxiety Sensitivity Index-3)

8	고통감내력 부족 척도 (Distress Intolerance Index)
---	--

<표2. 자기보고식 설문 8종>

III. 구현

3.1 특징 추출 및 통계적 요약

정신건강 연구에서 얼굴 행동 단위(Action Units; AUs)는 특정 근육의 움직임 을 기반으로 정서 상태를 정량화하는 데 활용된다. 이전 연구에서는 얼굴 표정, 시선, 자세 등을 포함하는 다중 모달 특성이 우울감 탐지에 효과적임을 보였다. 본 연구에서는 음성, 생체신호 등 타 modality 없이 얼굴 행동 시계열에 집중하여, 각 세부아형별로 어떤 표정 변화 패턴이 심각도 그룹을 구분할 수 있는지를 탐색하였다. 특히 AU05_r (skewness), AU12_r (kurtosis) 등은 정서 표현의 강도와 복잡성과 관련이 있으며, 이는 우울·불안 아형의 행동 표현 차이를 반영한다.

또한 시선 방향 및 눈의 형태 정보는 감정적 회피 또는 참여 수준을 정량화하는 데 도움을 주며, 이러한 지표 를 거리나 면적 형태로 요약해 아형 분류에 활용하였다.

각 영상에 대해 OpenFace를 활용해 프레임 단위 AU 지표, 시선 좌표, 자세(pose) 정보를 추출하였다. 이렇게 얻은 28개의 특징에 대해 평균, 중앙값, 최빈값, 표준편차, 왜도, 첨도, RMS 등 총 8~9개의 통계 특징을 계산하였다. 시선 거리와 시선 다각형 면적에 대해서도 동일한 통계처리를 적용함으로써 총 274개의 특징 벡터를 구성하였다.

3.2 데이터 라벨링, 분류 및 평가

데이터 라벨로는 표준화된 아형 점수(AVA, NR, NSE, SD, AGA, WW)를 중앙값 기준으로 이진 분류하여 High/Low 그룹 라벨을 생성하여 사용하였다. 분류 모델로써 XGBoost와 Decision Tree를 사용하여 각 아형별 High/Low 그룹을 분류하고, 샘플 수가 작은 점을 고려하여 Weighted average가 적용된 f1-score,

precision, recall을 기준으로 평가하였다.

Subtype	Metric (Weighted Average)	Task1 CatchingRaccoon		Task2 MoodInduction Negative		Task3 MoodInduction Positive		Task4 RiskTaking		Task5 Soccer	
		XGBoost	DecisionTree	XGBoost	DecisionTree	XGBoost	DecisionTree	XGBoost	DecisionTree	XGBoost	DecisionTree
AVA	Precision	0.61	0.53	0.61	0.84	0.49	0.67	0.57	0.57	0.66	0.54
	Recall	0.64	0.50	0.64	0.79	0.64	0.64	0.57	0.57	0.69	0.54
	f1-score	0.63	0.51	0.63	0.74	0.56	0.65	0.57	0.57	0.66	0.54
NR	Precision	0.42	0.42	0.50	0.35	0.39	0.50	0.65	0.58	0.80	0.77
	Recall	0.43	0.43	0.50	0.36	0.43	0.50	0.65	0.57	0.69	0.77
	f1-score	0.42	0.42	0.48	0.35	0.38	0.48	0.64	0.56	0.65	0.77
NSE	Precision	0.60	0.65	0.71	0.65	0.56	0.49	0.57	0.51	0.69	0.45
	Recall	0.57	0.64	0.71	0.64	0.57	0.50	0.57	0.50	0.69	0.46
	f1-score	0.57	0.64	0.71	0.64	0.55	0.49	0.57	0.50	0.69	0.46
SD	Precision	0.76	0.71	0.38	0.47	0.32	0.40	0.63	0.57	0.88	0.69
	Recall	0.71	0.64	0.50	0.50	0.36	0.57	0.64	0.57	0.85	0.69
	f1-score	0.72	0.65	0.43	0.49	0.34	0.47	0.63	0.57	0.84	0.67
AGA	Precision	0.65	0.80	0.55	0.43	0.57	0.51	0.51	0.51	0.38	0.59
	Recall	0.64	0.79	0.57	0.43	0.57	0.50	0.50	0.50	0.38	0.54
	f1-score	0.64	0.79	0.51	0.43	0.57	0.50	0.50	0.50	0.38	0.50

표3) 분류기와 과제, 세부아형에 따른 분류 성능, 세 가지 지표(precision, recall, f1-score)가 모두 0.65가 넘는 결과에 대해서 굵은 글씨로 표기함

IV. 결론 및 향후 연구 방향

표3에서 확인할 수 있듯이 스마트폰 게임 기반 얼굴 행동 데이터와 자기보고식 척도를 결합하여 우울 및 불안 세부아형(AVA, NR, NSE, SD, AGA)의 중증도 그룹(저위험/고위험)을 분류한 결과, XGBoost와 결정트리(Decision Tree) 모델 모두에서 비교적 우수한 분류 성능을 보였다.

특히 '너구리 잡기(CatchingRaccoon)' 과제에서 DecisionTree를 활용한 AGA 아형의 분류(precision: 0.80, recall: 0.79, f1-score: 0.79)과 '공차기(Soccer)' 과제에서 XGBoost를 활용한 SD 아형의 분류(precision: 0.88, recall: 0.85, f1-score: 0.84)이 가장 높은 예측 정확도를 기록했다.

또한, AVA와 NR, NSE 아형은 'MoodInduction Negative'와 'Soccer' 등의 일부 과제에서 중간 이상의 f1 score(0.66~0.77)를 나타내었다. 반면, 일부 과제 및 아형에서는 상대적으로 낮은

성능이 관찰되었으며, 분류 정확도는 아형 및 과제별로 다소 차이를 보였다.

본 연구에서는 스마트폰 게임 기반 얼굴 행동 데이터와 자기보고식 척도를 활용하여 우울 및 불안 세부아형의 중증도 분류 가능성을 확인하였다. 분석 결과, 특정 과제와 아형(예: 너구리 잡기-AGA, 공차기-SD)에서 비교적 높은 분류 성능이 확인되었으며, 이는 얼굴 행동 기반 비언어적 지표가 정신건강 세부아형 분류에 유의미한 정보를 제공할 수 있음을 시사한다. 또한, 게임 상황에 따라 아형별 예측 성능의 차이가 존재함을 확인하여, 다양한 맥락에서의 행동 데이터 수집의 중요성을 제안하였다. 향후 연구에서는 얼굴 행동 데이터뿐만 아니라, 생체신호(예: 심박, 피부전도 등)와 음성, 영상 정보를 통합적으로 분석하여 우울 및 불안 세부아형의 분류 정확도를 높이고자 한다. 멀티모달 데이터 기반 분석을 통해 각 신호의 상호작용 및 복합적 패턴을 규명하

고, 보다 실시간적이고 정밀한 정신건강 위험군 평가 및 조기 선별 시스템을 개발하는 것이 목표이다.

또한, 실제 임상 및 일상생활 환경에서 활용 가능한 디지털 정신건강 평가 도구로의 확장 가능성을 모색할 예정이다.

Acknowledgement

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. RS-2023-00224823, Development of real-life applicable remote screening system for high-risk mental health based on psychiatric evidence using metaverse)

참고문헌

- [1] Kessler, R. C. et al. (2005). "Lifetime prevalence and age-of-onset distributions of DSM-IV disorders in the National Comorbidity Survey Replication." *Archives of General Psychiatry*, 62(6), 593-602.
- [2] World Health Organization. (2017). "Depression and Other Common Mental Disorders: Global Health Estimates."
- [3] Ministry of Health and Welfare, Korea (보건복지부). (2021). 「정신질환 실태조사」.
- [4] Insel, T. R. (2014). "The NIMH Research Domain Criteria (RDoC) Project: precision medicine for psychiatry." *American Journal of Psychiatry*, 171(4), 395-397.
- [5] Kotov, R., Krueger, R. F., Watson, D. et al. (2017). "The Hierarchical Taxonomy of Psychopathology (HiTOP): A dimensional alternative to traditional nosologies." *Journal of Abnormal Psychology*, 126(4), 454-477.
- [6] Onnela, J. P., & Rauch, S. L. (2016).

"Harnessing Smartphone-Based Digital Phenotyping to Enhance Behavioral and Mental Health." *Neuropsychopharmacology*, 41(7), 1691-1696.

[7] Thati, R. P., Dhadwal, A. S., Kumar, P., & P, S. (2023). A novel multi-modal depression detection approach based on mobile crowd sensing and task-based mechanisms. *Multimedia tools and applications*, 82(4), 4787-4820. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-12315-2>

흉부 방사선 영상에서 비위관 위치 정밀 확인을 위한 심층학습 기반 모델

문경민¹, 최현수^{2,3}, 박인서², 문귀성², 구강모¹, 장윤실⁴

¹중앙대학교. ²지오비전. ³서울과학기술대학교. ⁴울산대학교.

e-mail : ml.pulmogicu@gmail.com

Deep Learning-Based Model for Precise Verification of Nasogastric Tube Positioning in Chest Radiographs

Kyoung Min Moon¹, Hyun-Soo Choi^{2,3}, Inseo Park², Gwiseong Moon², Kang-Mo Gu¹, Yoonsil Jang⁴

¹Chung-Ang University College of Medicine, Korea. ²ZIOVISION Co. Ltd, Korea. ³Seoul National University of Science and Technology, Korea. ⁴University of Ulsan College of Medicine, Korea.

Abstract

This paper presents a deep learning-based system for accurate nasogastric tube positioning in chest radiographs. The model combines nnU-Net for segmentation and MedCLIP-pretrained ResNet50 for classification, trained on 1,799 images. It achieved 65.35% Dice score and 99.72% AUC, demonstrating high diagnostic performance and clinical utility.

I. 서론

딥러닝 기술은 영상 인식, 자연어 처리, 감성 분석 등 다양한 분야에서 기존 방법을 능가하는 성능을 보이며 주목받고 있으며, 최근에는 의료 영상 분석

분야에서도 활발히 활용되고 있다. 특히 비위관(NG tube)의 위치 판별과 같은 영상 기반 임상 문제에 대해 자동화된 진단 지원을 제공하고자 다양한 딥러닝 모델들이 적용되고 있다. 그러나 기존 연구들은 주로 분류(classification) 모델에 집중되어 있어, 위치 정보를 명확하게 시각화하거나 설명하는 데 한계가 있었다.

본 연구는 이러한 문제를 해결하기 위해, 흉부 방사선 영상 내 비위관의 위치를 세분화(segmentation)하고 이를 기반으로 안전한 삽입 여부를 분류하는 심층학습 모델을 제안하였다. 이 접근 방식은 비위관의 경로를 시각적으로 표시함으로써, 영상 판독 경험이 적은 임상 의도들 직관적으로 삽입의 완전성과 안전성을 판단할 수 있도록 돕는다. 결과적으로 본 모델은 임상 현장에서의 활용 가능성을 높이고, 환자 안전 향상에 기여할 수 있다.

II. 본론

본 연구는 흉부 방사선 영상에서 비위관(NG tube) 위치를 정확히 분류하기 위한 이단계 딥러닝 모델을 제안한다. 총 2,627개의 익명화된 흉부 X-ray 영상이 3개 병원에서 수집되었고, 이 중 1,799개는 학습 및 검증에, 450개는 내부 테스트에, 378개는 외부 검증에 활용되었다. 임상의 4인이 참여한 라벨링 과정에서는 비위관이 정상 삽입된 경우를 'complete', 비정상 삽입된 경우를 'incomplete'로 정의하였다. 연구는 세 단계(세분화, 입력 병합, 분류)로 구성되며, 첫 단계에서는 nnU-Net을 이용해 X-ray 영상에서 비위관 선(line)과 끝단(tip)을 정밀하게 분할하였다. 두 번째 단계에서는 원본 영상과 세분화 마스크를 결합하여 형상 인식 기반 입력 데이터를 구성하였고, 마지막 단계에서는 ResNet-50 기반 분류 모델에 이를 입력해 비위관 위치의 적절성을 판별하였다. 특히, 분류 성능 향상을 위해 MedCLIP으로 사전 학습된 모델을 활용하였고, 모델 해석을 위해 Grad-CAM을 적용하여 예측의 근거를 시각화하였다. 이러한 접근 방식은 위치 정보를 명확히 제시함으로써 의료 현장에서의 해석 가능성과 활용도를 높인다.

III. 구현

모든 딥러닝 모델은 PyTorch 프레임워크를 기반으로 구현되었으며, 세분화 모델은 5-Fold 교차 검증과 앙상블 기법을 통해 학습되었다. 입력 이미지는 512×512 크기로 정규화되었고, 수평 뒤집기, 밝기 및 대비 변화, 회전 등 다양한 데이터 증강 기법이 적용되었다. 분류 단계에서는 X-ray 영상과 세분화된 마스크를 병합한 입력을 사용하여 MedCLIP으로 사전 학습된 ResNet-50 모델을 학습하였고, 최적화에는 SGD를 사용하였다. 학습률은 분류기보다 특징 추출기에 10배 낮게 설정되었으며, 전체 모델은 100 epoch 동안 학습되었다. 성능 평가는 Dice, Jaccard, Macro F1-score, Balanced Accuracy, AUC-ROC, AUC-PR 등의 지표로 수행되었으며, 외부 검증에서도 높은 일반화 성능을 확인하였다. 또한, Grad-CAM을

통해 모델이 중점을 두는 영상 영역을 시각화하였고, 일부 오분류 사례에서는 부적절한 영역에 주목하는 한계도 확인되었다. 연구 결과는 실제 임상 적용을 고려하여 웹 기반 프로토타입으로 구현되었으며, 직관적인 사용자 인터페이스를 통해 실시간 분석을 지원한다.

Methods	Macro F1-score	B-ACC	AUC-ROC	AUC-PR
ResNet-18 ($x + m^l$)	94.36±7.20	96.27±4.64	97.98±3.85	93.61±12.09
ResNet-34 ($x + m^l$)	93.95±7.51	95.44±5.09	97.78±3.62	93.38±11.82
ResNet-50 ($x + m^l$)	95.72±3.98	97.04±1.61	99.57±0.35	99.04±0.85
ResNet-50 (pre-trained w/ MedCLIP) ($x + m^l$)	97.83±1.09	98.83±0.66	99.96±0.03	99.89±0.11
ResNet-50 (pre-trained w/ MedCLIP) ($x + m^l$) (external)	78.99±2.37	83.94±3.23	92.27±2.59	86.78±3.62

표. NGT 위치 분류에 대한 테스트 및 외부 데이터셋 기반의 층화 5-겹 교차검증 결과

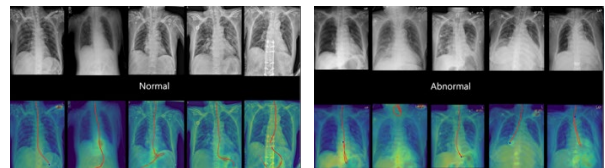


그림. 외부 검증 데이터셋에 대한 정상/비정상 예측 마스크 결과

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 흉부 방사선 영상에서 비위관(NG tube)의 위치를 정확하게 분류하기 위해 세분화와 분류를 통합한 이단계 심층학습 모델을 제안하였다. 제안된 모델은 nnU-Net 기반의 세분화와 MedCLIP으로 사전 학습된 ResNet50 분류기를 조합하여 높은 정확도와 AUC(99.72)를 달성하였으며, Grad-CAM을 통해 모델의 의사결정 근거를 시각적으로 해석할 수 있도록 하였다. 기존 연구들이 주로 단일 분류에 초점을 맞춘 것과 달리, 본 연구는 위치 정보까지 제공함으로써 임상의의 판단을 지원하고 해석 가능성을 향상시켰다.

다만, NG tube 끝단의 정의 불명확성과 다양한 영상 장비 간의 도메인 차이, 클래스 불균형 문제 등은 모델의 일반화와 해석력에 영향을 줄 수 있는 제한점으로 확인되었다. 이를 개선하기 위해 향후 연구에서는 팁 위치 라벨링 정제, 다양한 장비 기반 데이터 보강, 클래스 보정 기법 적용이 필요하다. 또한 제안한 구조는 중심정맥관(CVC)이나 기관삽관 튜브 등 타 의료기기에도 확장 적용이 가능하므로, 이를 바탕으로 범용 의료 영상 분석 플랫폼으로의 확장이 기대된다.

마지막으로, 본 연구는 실제 임상 적용을 고려하여 웹 기반 프로토타입(<https://ngtube.ziovision.ai>)을 구현하였으며, 향후 PACS 연동, 추론 속도 개선,

데이터 보안 강화를 통해 임상현장 도입 가능성을 더욱 높이고자 한다.

참고문헌

- [1] Automated detection of enteric tubes misplaced in the respiratory tract on chest radiographs using deep learning with two centre validation. *Clin. Radiol.* (2022).
- [2] Assessment of critical feeding tube malpositions on radiographs using deep learning. *J. Digit. Imaging* (2019).
- [3] Development of cnn models for the enteral feeding tube positioning assessment on a small scale data set. *BMC Med. Imaging* (2022).
- [4] Rethinking the inception architecture for computer vision. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (2016)
- [5] X-ray checks of ng tube position: A case for guided tube placement. *Br. J. Radiol.* (2021).
- [6] Modified double u-net architecture for medical image segmentation. *IEEE Trans. Radiat. Plasma Med. Sci.* (2022)
- [7] Deep residual learning for image recognition. In *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, (2016).
- [8] An automated 3d multi-feature attention based approach for spine segmentation using a multi-stage network pruning. *Comput. Biol. Med.* (2025).
- [9] An automated deep learning approach for spine segmentation and vertebrae recognition using computed tomography images. *Diagnostics* (2023).
- [10] An automated multi-scale feature fusion deep learning model for spine fracture segmentation using mri. *Biomed. Signal Process. Control* (2024).
- [11] An automated multi-scale feature fusion network for spine fracture segmentation using computed tomography images. *J. Imaging Inform. Med.* (2024)

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[포스트세션 1]

반도체 / 회로

좌장 : 오승원(강원대학교)



High-performance switchable visor for augmented reality using low-voltage, fast-response cholesteric liquid crystals

Sang-Hee Lee¹, Jae-Hwan Lee¹, Se-Hoon Lee¹, and Seung-Won Oh^{1,*}

¹ Department of Electrical Information Communication Engineering, Kangwon National University, Samcheok, Gangwon 25913, Republic of Korea

* ohseungwon@kangwon.ac.kr

Abstract

We present a high-performance switchable visor designed for augmented reality (AR) applications, employing a dye-doped cholesteric liquid crystal (CLC) that operates at an ultra-low driving voltage of just 6 V—an 86% reduction compared to conventional 44 V CLC devices. By utilizing a 270° twist configuration, the device achieves a substantial transmittance modulation of 35%, while maintaining an initially transparent state. The incorporation of a low-refractive-anisotropy LC suppresses waveguiding effects, further enhancing optical contrast. To overcome the slow relaxation typical of negative dielectric LCs, we integrated dual-frequency LCs, enabling ultrafast switching with turn-on and turn-off times of 6.18 ms and 1.83 ms, respectively. These combined features deliver high contrast, low power consumption, and real-time responsiveness—critical for wearable AR systems. Experimental demonstrations show that the visor selectively darkens AR content regions without compromising background transparency, offering a compelling solution for next-generation AR displays that require both dynamic control and energy efficiency.

References

- [1] S.-W. Oh, J.-M. Baek, J. Heo, T.-H. Yoon, *Dyes Pigment.* 2016, **134**, 36.
- [2] R. T. Azuma, *Presence: Teleoperators & Virtual Environments* 1997, **6**, 355.
- [3] R. Azuma, Y. Baillet, R. Behringer, S. Feiner, S. Julier, B. MacIntyre, *IEEE Comput. Graph. Appl.* 2001, **21**, 34

Research on the high-ASIL semiconductor with functional safety for autonomous vehicles

KyuBong Yeon and DuHo Lee

Korea Automotive Technology Institute, Korea

Abstract

This paper proposes the high ASIL (Automotive Safety Integrity Level) semiconductor with the functional safety (ISO 26262) for the automotive harsh environment in autonomous vehicles. The goal of the described semiconductor was to verify the reliability and ASIL of the functional safety for a SoC (System on Chip). Fault Injection is a fundamental step for demand based high reliability automotive semiconductor. The self-diagnostics is an essential element for fault injection test of automotive SoC. The testing of the ASIL by injecting reproducible disturbances is vital for reliability and fault tolerance technique of high quality in SoC for autonomous vehicles.

ACKNOWLEDGMENT

This paper is a study on the “Development of core technologies for demand-based, high-reliability automotive semiconductors” project, which was supported by the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology and promotion as funded by the Ministry of Trade, Industry and Energy in 2025. (00143400)

References

- [1] ISO 26262-1:2018(en) Road vehicles — Functional safety — Part 11: Guidelines on application of ISO 26262 to semiconductors. International Standardization Organization.
- [2] Considerations for ISO 26262 ASIL Hazard Classification. SAE International. Archived from the original on 2018-10-26.
- [3] KyuBong Yeon, Duho Lee, “Fault Injection Evaluation Systems for the safety-critical In-Vehicle Communication Networks”, 6th World congress on Electrical Engineering Computer Science and Information Technology, 2018.
- [4] Christian Ebner, Kirill Gorelik, Armin Zimmermann, "Automated Design Exploration and Dynamic Safety Analysis for Optimization of Mechatronic Systems in Safety-Critical Automotive Applications", IEEE Systems Journal, vol.17, no.4, pp.5357-5368, 2023.
- [5] Manu Jo Varghese, Adnan Anwar, Frank Jiang, Robin Doss, "Novel CAN Bus Fuzzing Framework for Finding Vulnerabilities in Automotive Systems", 2024 54th Annual IEEE/IFIP International Conference on Dependable Systems and Networks - Supplemental Volume (DSN-S), pp.56-58, 2024.

ANN-Based Compact Modeling Framework for Cell-Level DTCO Including MOL at Sub-1 nm Technology Nodes

정현준¹, 공정택², 김소영²

¹성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과, ²성균관대학교 정보통신대학

초록

1 nm 이하 공정 노드에서는 NMOS 과 PMOS 간 평면 간격 한계를 극복하고 집적도를 높이기 위한 차세대 소자로 forksheet FET (FSFET)가 주목받고 있다. 이러한 신소자 구조에 대한 사전 타당성 분석을 위해서는 technology computer-aided design (TCAD) 기반 시뮬레이션, 컴팩트 모델 개발, 벤치마크 회로를 활용한 design-technology co-optimization (DTCO) 분석이 필수적이다. 그러나 기존의 컴팩트 모델링은 대부분 선단 공정 front-end-of-line 에 한정되어 있으며, 실제 회로 성능에 중요한 영향을 미치는 buried power rail 과 수직 비아 등 middle-of-line (MOL) 요소의 영향력을 소자 수준에서 충분히 반영하지 못하는 한계가 있다. 특히, MOL RC 의 영향도가 더욱 심화되고 있어, 이를 포함한 정밀한 모델링이 요구된다. 본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, MOL 구조로 인해 저하된 소자의 전기적 특성 (I-V, C-V)을 artificial neural network (ANN)을 통해 모사하는 컴팩트 모델링 프레임워크를 제안한다. 그림 1 (a)와 같이 제안된 ANN 모델은 BPR 및 MOL 구조 변동을 포함하는 FSFET 소자의 전기적 특성을 학습하며, MOL 의 design rules [1]를 확인하는 과정을 포함하여 Verilog-A 형태로 구현된다. 구현된 모델은 SPICE 시뮬레이션으로 평가되었으며, 그림 1 (b)와 같이 TCAD 결과 대비 98% 이상의 높은 정확도를 확인하였다. 제안하는 프레임워크는 process design kit 혹은 셀 라이브러리가 구축되기 이전 단계에서도 다양한 소자 구조의 power, performance, area (PPA)를 평가할 수 있으며, 최적화에 활용할 수 있다.

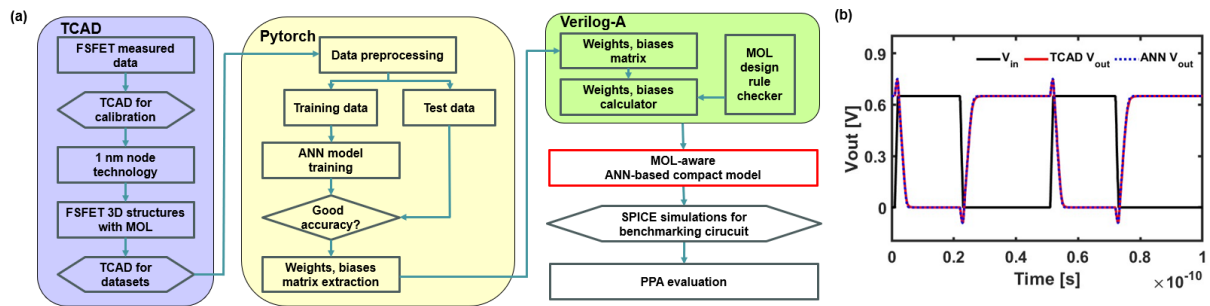


그림 1 The overview of the proposed methodology: (a) the ANN-based compact modeling flow and (b) comparison of inverter circuit simulation for TCAD and the ANN-based compact model.

Acknowledgments 본 연구는 한국 연구 재단의 지원(과제번호: RS 2020-NR049544)과 삼성전자의 지원(과제번호: LSI230306_0011)을 받아 수행된 연구임. 또한 IDEC 에서 EDA tool 을 지원받아 수행하였음.

References

[1] G. Gaddemane *et al.*, "Exploring GAA-Nanosheet, Forksheet and GAA-Forksheet Architectures: a TCAD-DTCO Study at 90 nm & 120 nm Cell Height," in *IEEE Journal of the Electron Devices Society*, doi: 10.1109/JEDS.2024.3498092.

Development of Parylene-C Interposer Fabrication Technology

박라영¹, 김민준², 박동욱*

¹서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학과, 서울, 대한민국

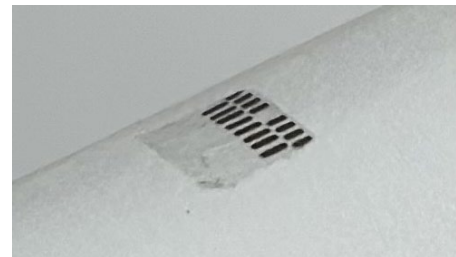
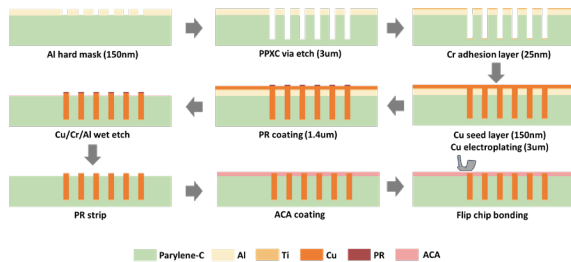
³Dept. of Electrical and Computer Engineering, Univ of Seoul, Korea

*Corresponding Author: dmddnjs7@uos.ac.kr

Abstract

As the demand for high-density 3D integration and flexible packaging increases, conventional silicon or glass-based interposers face limitations such as high fabrication cost, mechanical rigidity, and incompatibility with reworkable processes. To overcome these challenges, this study presents a fabrication process for a flexible Parylene-C interposer with vertical interconnects. A 10 μm -thick Parylene-C film was deposited by chemical vapor deposition (CVD) on a silicon substrate. Through-Parylene-C Vias (TPCVs) were formed by O_2/CF_4 reactive ion etching using an Al hard mask. A Ti/Cu seed layer (25 nm/200 nm) was then deposited by e-beam evaporation and sputtering, followed by Cu electroplating at 25 mA/cm² to fill the vias. After photolithographic masking and selective wet etching, Cu remained only within the vias. The overall fabrication process is illustrated in Fig.1. The completed Parylene-C interposer, shown in Fig.2, maintains mechanical flexibility and transparency, demonstrating its suitability for flexible vertical interconnects. This interposer platform is compatible with low-temperature back-end-of-line (BEOL) processin. As a future application, it may enable vertical stacking of two thin-film transistors (TFTs) to implement a 2T0C DRAM structure, potentially contributing to improved density in DRAM array integration.

Keywords: semiconductor devices; Through-Parylene-C Via (TPCV); Cu electroplating; Flexible substrate;



[Fig. 1. Schematic diagrams of the TPCV fabrication process] [Fig. 2. A picture of flexible Parylene-C interposer]

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2025-RS-2023-00260091) supervised by the IITP(Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation). It is also partly supported by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) grant funded by the Korea Government (MOTIE) (P0017011, HRD Program for Industrial Innovation)

References

- [1] S. Wang et al., "Low-temperature Cu-to-Cu bonding using anisotropic conductive films with Cu particle fillers," *IEEE Trans. Compon. Packag. Manuf. Technol.*, vol. 14, no. 3, pp. 535–543, 2024.
- [2] D. Kim et al., "Effects of deposition temperature on Parylene-C properties," in *Proc. IEEE Int. Conf. Micro Electro Mechanical Systems (MEMS)*, Taipei, Taiwan, 2013, pp. 882–885.
- [3] J. Maeng et al., "Parylene interposer as thin flexible 3-D packaging enabler for wireless applications," *IEEE Trans. Microw. Theory Techn.*, vol. 59, no. 12, pp. 3410–3418, 2011.

유기물질 기반 Charge Trap Flash 구조 시냅스 소자의

단기 시냅스 가소성 구현

Kyeungbin Kim¹, Boram Kim¹, Yoon Kim* and Dong-wook Park*¹University of Seoul, Korea, *Corresponding authors

초록

본 연구에서는 시냅스 특성을 보이는 전하 트랩 (CTF) 기반의 유기 단기 기억 소자를 제안한다. 채널 물질로는 용액 공정 및 스핀 코팅이 가능한 p 형 고분자인 PDPP2T-TT-OD (DPP-DTT)를 사용하여 제작 공정을 단순화했다. 기판 및 게이트 절연층으로는 패틸린-C 를, 전하 포획층으로는 HfO_x를 적용하였다. 프리시냅스 역할을 수행하는 게이트 단자에 프로그램 펄스를 인가하면 DPP-DTT 의 정공이 HfO_x 층에 포획되어 드레인 전류가 변화하며 시냅스 특성을 모사한다[1]. 제작된 소자는 paired pulse facilitation (PPF), post-tenanic potentiation (PTP) 등 생체 시냅스의 핵심적인 단기 시냅스 가소성(short-term plasticity, STP) 특성을 성공적으로 모사하였다[2]. 이러한 간격 의존적인 신호 변화는 시간에 따른 입력 변화를 효과적으로 반영할 수 있어, 시계열 정보 처리에 유리한 특성을 나타낸다. 나아가 본 소자를 physical reservoir computing(PRC) 시스템에 적용하여, MNIST 데이터셋 기반의 이미지 분류 시뮬레이션을 수행한 결과, 시계열 정보 처리 능력을 입증하였다. 제안된 소자는 휘발성 전도도 특성을 바탕으로 고차원 동적 응답을 구현함으로써, PRC 구조와의 높은 호환성과 뉴로모픽 연산 응용 가능성을 지니며, 저전력·고속 뉴로모픽 하드웨어 플랫폼로서의 활용 가능성을 보여준다.

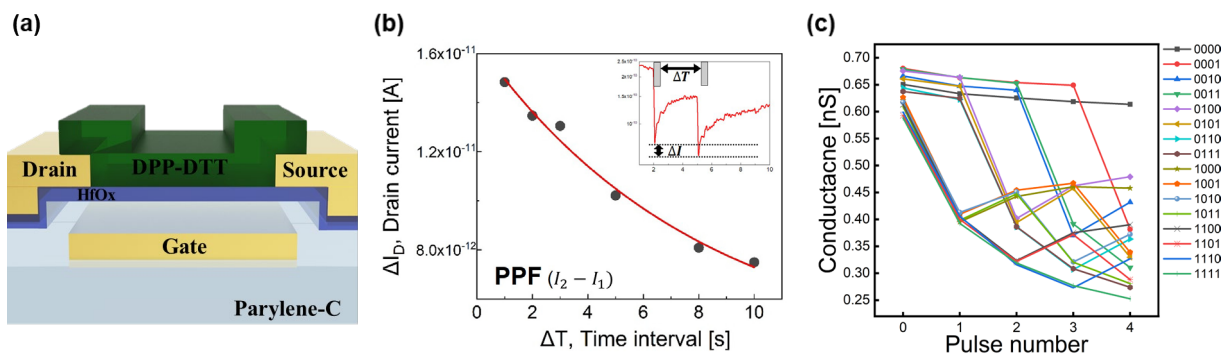


Fig 1. (a) Device structure (b) PPF characteristic (c) Conductance according to bit stream

Acknowledgments This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC support program(IITP-2024-RS-2023-00260091), and National R&D Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the MSIT (grant nos. No. RS-2024-00411764, 2021M3H2A1038042). It is also partly supported by Korea Institute for Advancement of Technology (KIAT) grant funded by the Korea Government (MOTIE) (P0017011, HRD Program for Industrial Innovation)

References

- [1] Jeon, Yu - Rim, et al. "Synaptic Characteristics of Fully Depleted Silicon - on - Insulator Metal - Oxide - Semiconductor Field - Effect Transistors and Synapse - Neuron Arrayed Neuromorphic Hardware System." *Advanced Intelligent Systems* 6.6 (2024): 2300754.
- [2] Kim, Gunhee, et al. "Organic thin-film transistors with a bottom bilayer gate dielectric having a low operating voltage and high operational stability." *ACS Applied Electronic Materials* 2.9 (2020): 2813-2818.

Methane Sensing Characteristics of LiOH decorated SWCNTs Gas Sensor

Jae Hyeon Kim¹, Beom Joon Jung², Da-Gyo Yoo², Myung-Hyun Baek¹ and Young Lae Kim^{1*}

¹*Department of Electronic and Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju Nat'l University, Korea*

²*Department of Electronic Engineering, Gangneung-Wonju Nat'l University, Korea*

초록

Recently, as methane is increasingly recognized for its contribution to greenhouse gas emissions, potential explosion risks, and asphyxiation hazards in confined or poorly ventilated spaces, the demand for reliable and sensitive methane gas detection has grown. Methane is a colorless, odorless, and highly flammable gas, with explosion risks at concentrations above 4% [1]. Therefore, developing highly sensitive and room-temperature-operable methane sensors is critical for environmental safety and industrial applications.

Single Walled Carbon Nanotubes, SWCNTs have found a wide range of applications, from molecular electronics to field effect transistors, in micro electronics, opto-electronics, gas storage, sensing, field emission devices and components in high performance composites, nano-biotechnology, and nano-medicine [2]. And LiOH was selected as a functional layer due to its high affinity for polarizable gases and ability to modify the electronic structure of the SWCNTs. The fabricated device, consisting of a LiOH decorated SWCNT layer, was tested under CH₄ various concentrations.

Based on actual measured data, for the pristine SWCNT, a methane concentration of 50 ppm showed a sensitivity of only 0.15%. However, LiOH decorated SWCNT deposited device showed 75.25%, which is over about 500 times higher compared to pristine SWCNTs without LiOH modification. At a low concentration of 1 ppm, the sensor exhibited a sensitivity of 61.3%, representing more than 142 times improvement from the baseline (0.43%) with bare SWCNTs. These results confirm that the introduction of LiOH significantly enhances the methane adsorption interaction with the SWCNT surface, thus improving sensor response.

References

[1] S. Srivastava, S.S. Sharma, S. Kumar, S. Agrawal, M. Singh, Y.K. Vijay, Characterization of gas sensing behavior of multi walled carbon nanotube poly aniline composite films, *Int. J. Hydrogen Energy* 34 (2009) 8444–8450.

[2] J. P. Raval, P. Joshi, and D.R. Chejara, “9-Carbon nanotube for targeted drug delivery”, in Applications of Nanocomposite Materials in Drug Delivery, Inamuddin, A.M. Asiri, and A. Mohammad Eds. : Woodhead Publishing, 2018, 99. 203-216

A VDTC-based LDO with Enhanced Transient Response

Kwanghyun Shin, and Dongsuk Jeon*

Seoul National University, Seoul, Korea

Abstract

This work presents a Voltage Difference Time Converter (VDTC)-based Low-Dropout Regulator (LDO) that incorporates a pulse generator and adaptive biasing technique for improving transient response. While the previous VDTC LDO achieved efficient regulation by combining VDTC with a charge pump (CP), its transient performance is limited by the clock frequency and the limited evaluation time within half a clock cycle [1].

In the proposed design, a pulse generator enables the minimization of the duty cycle of the reset phase, allowing the VDTC to utilize nearly the entire clock period, thereby extending the effective charge pump pulse width beyond the conventional half-cycle limit.

Additionally, an adaptive biasing scheme using a replica of the power transistor increases the charge pump current when the load current is increased, improving the regulator's response and regulation under varying load conditions.

Fig. 1(a) illustrates the overall architecture of the proposed design, which builds upon the baseline in [1]. Fig. 1(b) shows the simulated transient response when the load current changes from 2mA to 30mA within 1 ns. With enhanced transient response, the proposed LDO shows an improved settling time compared to the previous architecture.

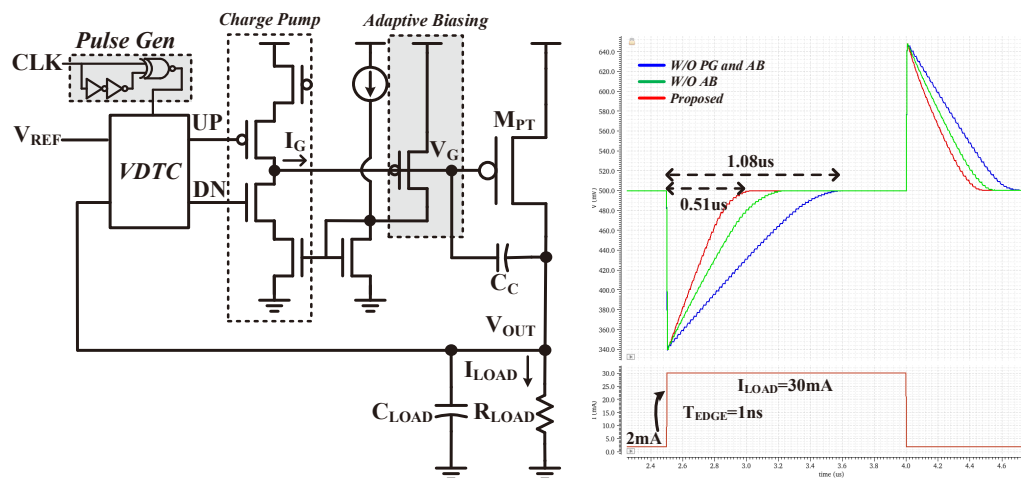


Fig 1. (a) Block diagram of proposed LDO, (b) Simulated load transient responses at VDD=0.7V, VOUT=0.5V, and Fc=50MHz.

References

- [1] K. Shin, D. -W. Jee and D. Jeon, "A 65nm 0.6–1.2V Low-Dropout Regulator Using Voltage-Difference-to-Time Converter With Direct Output Feedback," in IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs, vol. 68, no. 1, pp. 67-71, Jan. 2021, doi: 10.1109/TCSII.2020.3007760.

RIV-SSD (RAG-informed Index aware Vector SSD) architecture with Data Reorganization for Hot Cluster

최은식^{1*}, 신동균²

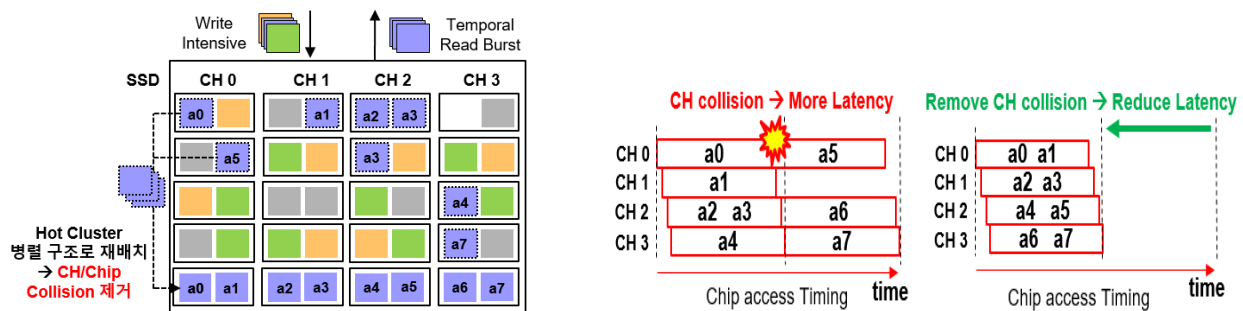
¹ Sungkyunkwan University, Samsung Electronics, Korea, eun88choi@skku.edu

² Sungkyunkwan University, Korea, dongkun@skku.edu

Abstract

RAG(Retrieval Augmented Generation)는 외부 대규모 데이터를 가져와 벡터로 변환 및 SSD 저장 후, 언어 모델의 입력으로 활용하는 프레임워크로 주기적인 벡터데이터의 대량 삽입(write intensive)과 삽입 직후 특정 벡터 데이터에 단기적인 읽기 집중 패턴(temporal read burst)이라는 복합적인 IO 특성을 유발한다. 대규모 데이터를 실시간으로 빠르게 처리하기 위해 AI 워크로드 맞춤형 SSD 최적화는 AI 쿼리 응답 속도와 처리량 향상의 핵심 과제로 부상하고 있다. 본 연구는 RAG 워크로드의 구조적 특성을 반영하여 자주 접근되는 벡터 클러스터만을 동적으로 식별하고, Post-Indexing 으로 인해 SSD 내부에서 파편화되어 분산 배치되어있는 클러스터 데이터를 SSD 병렬 구조를 활용하도록 물리적으로 연속된 공간에 재배치함으로써 읽기 성능을 최적화하는 RIV-SSD (RAG-informed Index aware Vector SSD) 기법을 제안한다. 데이터 전체에 대한 선행 분석 없이, 클러스터 단위의 실시간 접근 통계를 기반으로 실제 Hot 데이터만을 선별 처리하여 삽입, 인덱싱, 쿼리가 동시 수행되는 RAG 시나리오에서 높은 효율을 유지한다. 또한 추가적인 하드웨어 자원없이 Index 구조를 활용해 SSD의 채널/칩 병렬 구조에 맞도록 물리적 재배치하여 채널 충돌과 랜덤 I/O 병목을 완화하고, 효율적인 순차 읽기 접근을 가능케 한다. 범용 벡터 검색 엔진 Milvus[1]의 클러스터 인덱싱과 RAG 워크로드를 분석하여 FEMU[2]에서 구현되었으며, RAG에서 주기적으로 빈발하는 burst 쿼리 구간에서 latency를 줄이고, SSD 내부 병목을 완화하여 전체 시스템의 처리량을 향상시킨다. 대규모 AI 생성 시스템에서 요구되는 저장장치 계층의 최적화와 AI 검색 성능을 만족시키기 위한 Index aware 스토리지 기법으로서, 스토리지 시스템과 AI 응용 간의 co-design의 가능성을 보여준다.

Keywords: Data Fragmentation; Data Reorganization; Index-aware SSD; SSD Parallelism



References

[1] Milvus Developer Team, "Milvus: A Purpose-Built Vector Data Management System," in SIGMOD, 2021.

[2] H. Li, M. Hao, M. H. Tong, S. Sundararaman, M. Bjørling, and H. S. Gunawi, "The CASE of FEMU: Cheap, Accurate, Scalable and Extensible Flash Emulator," in Proceedings of the 16th USENIX Conference on File and Storage Technologies (FAST'18), 2018, pp. 83-90.

Design of Bidirectional Time-Delay-Integration SPAD Detector Architecture for Low-Dose X-Ray Imaging

Seongwon Choi, Suho Park, Minjeong Kim, Minseon Shin and Jimin Cheon*

School of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology

Gumi 39177, Republic of Korea

*E-mail: jimmin.cheon@kumoh.ac.kr

I. Introduction

Conventional CMOS image sensors (CIS) and CCDs suffer from analog-domain noise like dark current, readout, reset, fixed-pattern, and quantization noise. In contrast, single-photon avalanche diodes (SPADs) deliver pulse outputs in the digital domain, inherently suppressing readout, reset, and quantization noise. Fixed-pattern noise is further averaged via time-delay integration (TDI) boosting SNR by $20 \log(\sqrt{N})$ dB. [1]

This paper proposes a TDI-SPAD Architecture that prevents error bit generation in flip flops and simple external signal to minimize the line transfer time.

II. Proposed TDI-SPAD Architecture

Figure1 shows the bidirectional TDI-SPAD implements bidirectional TDI functionality with less amount of degradation in pixel performance due to the added metal lines by placing SRAM arrays both above and below the pixel array. As shown in Figure2, line drivers are designed and implemented to avoid risk of setup and hold time violation and error caused by leakage. Figure3 gives an example of N-line TDI operation timing diagram.

III. Conclusion

The SPAD device combined with TDI technology enables high-SNR imaging even under low-dose X-ray illumination. The proposed circuit has been functionally verified via Spectre simulation for a 10-bit, 1-pixel, 4-line configuration. In future work, we plan to optimize the binary counter's area to increase the fill factor and to implement an analog counter to further enhance the fill factor. [2][3]

References

- [1] X. Kong, C. Mao, X. Hu and F. Yan, "Time-Delay-Integration Imaging Implemented With Single-Photon-Avalanche-Diode Linear Array," in *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 5, pp. 6012-6023, 1 March, 2021,
- [2] B. Park, H. -S. Choi, J. Jeong, T. Kim, M. -J. Lee and Y. Chae, "A 113.3-dB Dynamic Range 600 Frames/s SPAD X-Ray Detector With Seamless Global Shutter and Time-Encoded Extrapolation Counter," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 58, no. 11, pp. 2965-2975, Nov. 2023.
- [3] B. Park *et al.*, "5.6 A 400×200 600fps 117.7dB-DR SPAD X-Ray Detector with Seamless Global Shutter and Time-Encoded Extrapolation Counter," *2023 IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*, San Francisco, CA, USA, 2023, pp. 100-102.

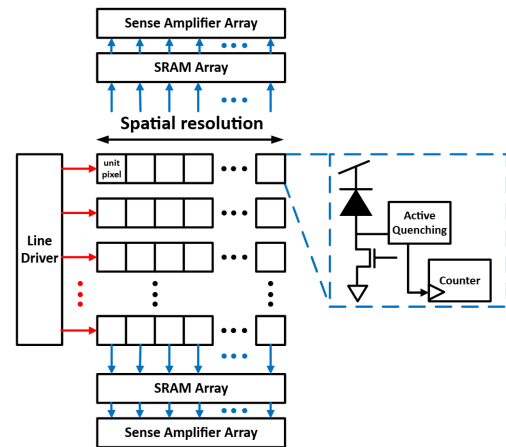


Figure 1. Architecture of Bidirectional TDI-SPAD

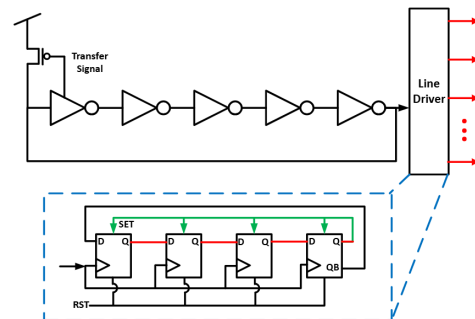


Figure 2. Architecture of 4-line driver circuit

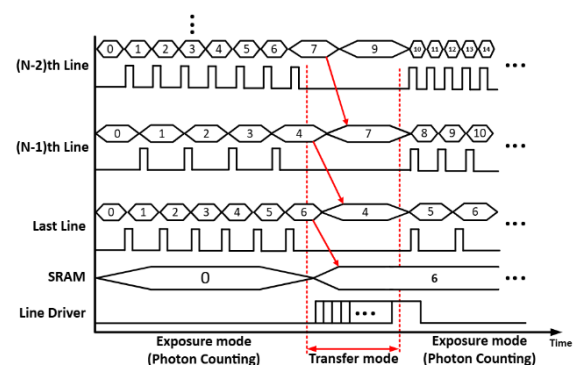


Figure 3. Timing diagram of N-line TDI operation

오프셋 트리밍을 위한 One-wire 방식 OTP 메모리 시스템 설계

*박진영, 이혜영, 박시홍
단국대학교 파운드리공학과

e-mail : qkrwlsdud54@gmail.com, hlee22@dankook.ac.kr, shihong@dankook.ac.kr

Design of One-wire OTP memory system for offset trimming

*Jinyoung Park, Hyeyoung Lee, Shihong Park
Department of Foundry Engineering Dankook University

Abstract

The OTP (One-Time Programmable) memory system is utilized in various applications, such as device offset trimming and configuration adjustments, which can be performed after the packaging process is completed. In this paper, we propose an OTP interface that enables both write and read operations through a single pin. The write operation is performed by distinguishing between HIGH and LOW signals based on the pulse width after a rising edge is applied to the pin, allowing sequential programming of memory cells. During the read operation, data stored in the memory cells is sequentially output based on an internal oscillator signal, and the stored data is represented as a duty ratio through PWM encoding. The proposed single pin read/write OTP memory system is widely adopted in PMIC products with limited pin counts, serving as a practical solution instead of I2C communication.

I. 서론

반도체 칩은 설계 단계에서 목표한 특성값을 가지도록 제작되지만, 공정 과정에서 어쩔 수 없이

발생하는 공정 편차가 존재한다. 미세한 공정 편차라도 정밀도가 요구되는 앰프 입력단이나 밴드갭 회로 등 아날로그 회로에서는 성능에 치명적인 영향을 미친다. 그렇기 때문에 공정 편차를 보정해 주는 Trimming 작업이 필수적이다.

OTP 메모리 시스템은 패키징 공정 이후 IC 내부에서 최종 Trimming을 수행한다. 본 논문에서는 OTP 메모리를 기반으로 한 Trimming 데이터를 One-Wire 방식으로 제어하여, 한 개의 핀으로 Write 및 Read 동작을 모두 수행할 수 있게 설계하였다. 이 방식은 사용 핀 수가 제한적인 PMIC 제품에 적합하다.

II. 본론

2.1 One-wire 구조 및 동작

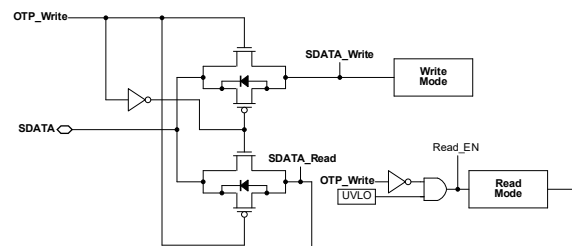


그림 1. One-Wire 구조 회로도

그림 1은 One-Wire 구조 회로도 이다. SDATA 핀을 통해 Write 하고자 하는 데이터를 입력할 수 있고 프로그램이 된 메모리셀을 Read 할 수 있다.

위 회로는 Transmission Gate로 Signal Path를 만들어 양방향으로 신호전달이 가능하도록 설계하였다. Write 동작 시 IC 내부에서 OTP_Write에 High 신호를 인가한다. 그러면 SDATA의 신호가 SDATA_Write에 전달되고 Write 동작을 수행한다.

Read 동작 시 IC 내부에서 OTP_Write에 Low 신호를 인가한다. 충분한 V_{in} 전압으로 UVLO(Active Low)가 Off 되면 Read_EN이 On 되고 Read 동작을 수행한다. OTP_Write이 Low 일 때 SDATA_Read 신호가 SDATA에 전달되어 SDATA 핀으로 Read Mode 출력을 확인할 수 있다.

OTP_Write의 상태에 따라서 SDATA가 SDATA_Write과 연결될 수도 있고 SDATA_Read와 연결될 수도 있다. 이때 PMOS Back Diode의 Anode가 SDATA 핀과 연결되는 구조로 되면 SDATA가 High/Low로 움직일 때 Back Diode를 타고 본래 Open 되어야 했던 쪽 Node로 신호가 전달될 수 있기 때문에 그림 1과 같이 SDATA와 PMOS Back Diode의 Cathode가 연결되도록 설계하였다.

2.2 Write/Read 동작

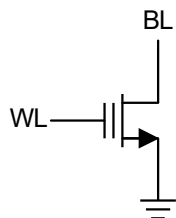


그림 2. 메모리셀

[그림 2] 메모리셀 Write 동작 시 원하는 주소의 WL에 8V를 인가한다. 이때 프로그램을 하고 싶은 셀의 BL에는 8V를 인가하고 프로그램 하고 싶지 않은 셀에는 0V를 인가한다. BL = 8V인 경우 Drain에 8V가 인가 되어있기 때문에 Source에 있는 전자가 Drain 쪽으로 이동하려 하는데 이때 Gate에서도 8V의 전압으로 전자를 당기고 있기 때문에 몇몇 전자들이 Floating Gate에 Trap 된다. 그로 인해 Floating Gate Transistor의 V_{th} (Threshold Voltage)가 높아지게 된다. BL = 0V인 경우 V_{th} 는 유지된다.

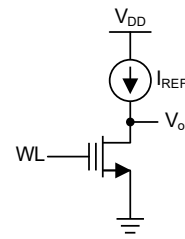


그림 3. 메모리셀의 프로그램 상태 확인

그림 3을 보면 Read 동작 시 WL = 5V를 인가하고 BL에 전류를 흘려주어 V_o 을 측정한다. 프로그램이 된 상태라면 V_{th} 가 높아져서 Floating Gate Transistor는 프로그램 되기 전 상태보다 전류를 덜 흘려주게 되고 V_o 은 상승하게 된다. 프로그램 되지 않은 메모리셀의 V_o 은 전 상태 그대로 유지될 것이다. V_o 에 따른 차이를 Sense Amplifier로 증폭시켜서 확실하게 High/Low 만들어진 신호를 읽는다.

III. 구현

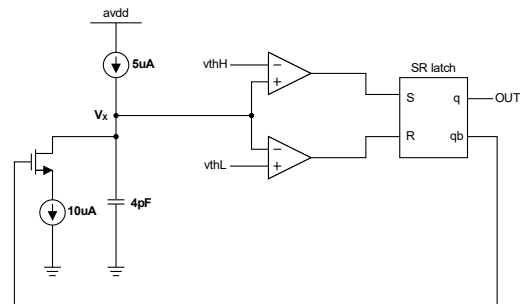


그림 4. Two Comparator Oscillator

Read Mode에서 Timing을 제어하기 위한 원클럭을 그림 4와 같이 Two Comparator Oscillator로 설계하였다. $V_{thH} = 3.75V$, $V_{thL} = 1.25V$ 로 설정하였다.

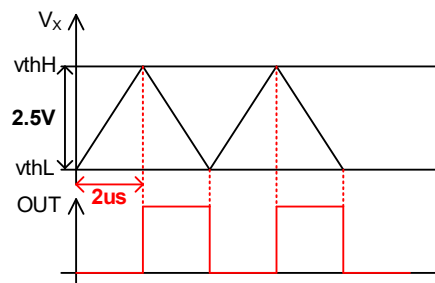


그림 5. Two Comparator Oscillator 출력 파형

[그림 5] 4pF의 Capacitor를 5uA의 전류로 $V_{thH} - V_{thL} = 2.5V$ 만큼 변화시키는데 필요한 시간은 2us이다. ($\because CV = IT$) Capacitor를 충전, 방전시키는 전류는 5uA로 같기 때문에 주기가 4us인 클럭을 만들 수 있다.

4us 주기를 갖는 원클럭을 가지고 8bit Counter를 통해 주기를 최대 2^8 배까지 분주시켰다.

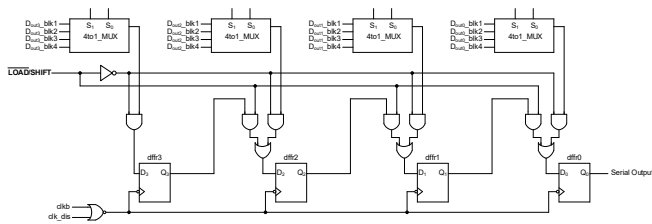


그림 6. 4bit PISO Shift Register

그림 6은 PISO(Parallel In Serial Out) Shift Register 구조를 사용하여 Write이 된 메모리셀 데이터를 병렬로 불러와 Load (Active Low)시간 동안 D Flip-Flop에 메모리셀 데이터를 저장하고 클럭이 들어오면 저장된 값이 출력으로 나오게 된다. 첫 bit가 출력으로 나온 뒤 다음 클럭이 들어오기 전에 Shift Mode (Active High)로 바꿔주어야 클럭이 칠때마다 메모리셀의 데이터가 한 bit씩 출력으로 나오는 것을 확인할 수 있다.

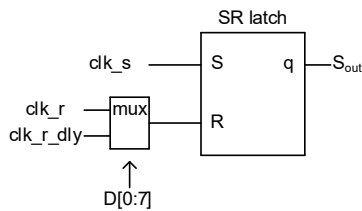


그림 7. PWM Encoding 회로도

그림 7은 Serial Output으로 나온 출력을 알아보기 편하게 PWM Encoding 해주는 회로도 이다. 그림 8을 보면 클럭(clk_s) 주기를 16us로 설정하여 한 bit당 16us의 시간동안 나타난다. Clk_s 가 칠 때 SR Latch의 S가 High가 되며 값이 저장된다. 메모리셀의 데이터가 Low면 clk_r 이 R에 저장되고, 메모리셀의 데이터가 High면 clk_r_dly 가 R에 저장된다. 결과적으로 메모리셀의 상태를 On Duty에 따라 알 수 있도록 구현하였다.

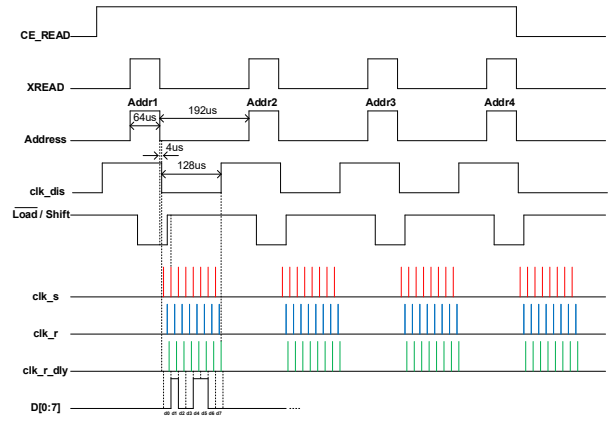


그림 8. Read Mode Timing Diagram

IC 내부에서 OTP_Write signal을 Low로 설정하고 V_{in} 이 충분하여 UVLO가 Off상태이면 CE_READ 가 High가 되고 이때부터 Counter Block이 동작하여 원클럭을 분주시킨다. 분주된 클럭으로 메모리셀 데이터를 저장하는 시간 XREAD 신호, Address 신호, 클럭을 멈춰주는 clk_dis 신호, D Flip-Flop에 신호를 넣어주거나 담겨있는 신호를 Shift 해주는 Loadb/Shift 신호를 만들었다.

High/Low로 나온 메모리셀 데이터가 XREAD가 On된 Timing에 SR Latch에 저장된다. SR Latch에 저장된 데이터는 Load Mode에서 D Flip-Flop에 들어있다가 clk_dis 가 Low로 떨어져 D Flip-Flop의 클럭이 동작하기 시작하면 bit0의 데이터값이 출력으로 나오게 된다. 다음 클럭이 나오기 전에 Load Mode에서 Shift Mode로 바꾸지 않는다면 다음 클럭 때 bit0의 데이터가 반복적으로 나오기 때문에 반드시 Shift Mode로 변경해줘야 한다. Clk_s 의 주기는 16us이기 때문에 첫번째 클럭이 치고 다음 클럭이 치는 시간의 50%인 8us 이후에 Shift Mode로 변경하여 Setup Time과 Hold Time을 확보하였다.

또한 PWM Encoding시 On Duty가 8us인지 12us인지로 출력값을 확인하기 때문에 마지막 clk_s 가 나오고 최소한 12us가 확보된 뒤 clk_dis 가 On 되어야 한다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

One-wire 방식은 병렬로 뽑은 메모리셀 데이터를 직렬 출력으로 바꾸고 출력과 입력을 하나의 핀으로 해결할 수 있도록 합치는 게 중요하다. 그렇게 때문에 시뮬레이션으로는 병렬 출력을 다시 직렬 출력으로 바꾸고 Read Mode 동안 그 과정이 잘 일어나는지 확인하였다.

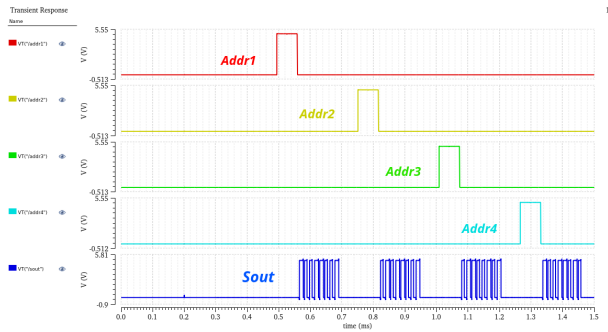


그림 9. 각 주소에 해당하는 직렬 출력 파형

본 논문에서 제안하는 OTP 메모리는 8bit EPROM Cell이 총 4개가 있는 4 X 8bit로 설계되었다. 그림 9를 보면 각 주소에 신호가 들어오는 시간동안 Write된 메모리셀의 데이터를 받아서 저장하고 직렬 출력으로 나타낸 파형이다.

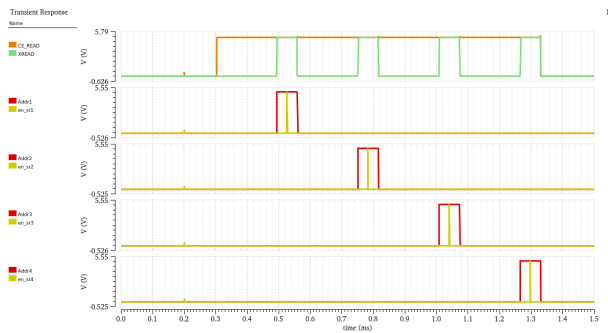


그림 10. Data 저장 Timing 파형

그림 10은 Read Mode가 시작되는 CE_READ와 각 주소에서 Write이 끝난 데이터를 읽는 시간 XREAD를 만들어서 시뮬레이션 파형으로 나타낸 모습이다. 빨간색 파형은 Addr[n]이라는 이름을 가지고 각 주소가 언제 Read 되는지 알려주는 파형이다. 노란색 파형은 en_sr[n]이라는 이름을 가지고 High일 때 Read한 데이터를 SR Latch에 저장해주는 파형이다. En_sr[n] 파형은 60ns 정도 High 상태로 있다가 다시 Low로 내려간다. 60ns는 SR Latch에 값을 저장하기 충분한 시간이다. 또한 XREAD가 On 되었을 때 기준으로 31us의 충분한 Setup Time과 Hold Time을 가지고 있기 때문에 SR Latch에 값이 잘못 저장될 일은 없다.

향후 연구로는 설계한 OTP 메모리 시스템을 직접 테스트하여 문제점을 파악하고 개선시킬 계획이다. 더 나아가 PMIC 내부에 Trimming용 OTP로 사용할

것이다.

참고문헌

- [1] Texas Instruments, SN74ALS166 Parallel-Load 8-Bit Shift Register Datasheet, Rev. D, Apr. 1982 [Revised Aug. 2000].
- [2] Mark Glenewinkel, "Interfacing the MC68HC705C8A to the DS2430A 1 Wire™ EEPROM", Application Note AN1755, Freescale (Motorola), 1998.
- [3] Maxim/Analog Devices, "DS28E05 1 Wire EEPROM", Datasheet, 2016.

Slew Rate 향상 회로가 포함된 12V Class-AB Rail-to-Rail 저전력 연산증폭기

김인겸, 이해영, 이주찬 그리고 박시홍

단국대학교 소속

e-mail : a72240294@dankook.ac.kr

12 V Class-AB Rail-to-Rail low power op amp with slew rate enhancement circuit

In Kyum Kim, Hye young Lee, Ju Chan Lee and Shihong Park

Dankook University

Abstract

This paper proposes a high-speed, low-power operational amplifier (op-amp) designed for operation in a 12V high-voltage environment. Both a conventional and the proposed op-amp architecture were designed and fabricated as integrated circuits (ICs), then measured to facilitate a direct comparison of key performance metrics. Measurements of the fabricated IC demonstrate that the proposed structure consumes a quiescent current of 122 μA under a heavy load condition with an output current of 5mA. This represents a significant 63% reduction in quiescent current compared to the 330 μA consumed by the conventional structure. The amplifier with the proposed structure is expected to find broad application in systems requiring high speed, high current drive, and high efficiency under a 12V high-voltage environment. The design and fabrication of the proposed amplifier utilized DB HiTek's 0.18 μm 30V BCD process.

I. 서론

최근 산업용 센서, 배터리 관리 시스템 및 차량용 전장 등에서는 고전압 환경에서도 빠른 응답속도와 높은 전류 구동 능력 및 저전력 특성을 동시에 만족하는 연산 증폭기의 수요가 증가하고 있다. 기존

저전압 소자 기반 증폭기는 고전압 구동 시 소자 내압의 한계 및 입출력 전압 범위 한계에 의해 사용이 제한된다. 본 논문에서는 12V에서 사용가능한 고속, 고전류 구동 및 저전력 특성을 만족하는 증폭기를 제안하며, 증폭기의 내압 문제 및 local loop 안정도 문제에 대한 해결책을 제시한다.

II. 본론

2.1 기존 class-AB 증폭기

[3]에서 제안하는 증폭기는 낮은 전압에서 구동 가능한 class-AB 구조의 출력단을 갖는다. 간단한 구조로 class-AB control loop를 구성할 수 있다는 장점이 있지만 sinking load에서 증폭기 내부의 대기전류가 증가한다는 단점이 있다.[2]

2.2 제안된 Class-AB 증폭기 구조

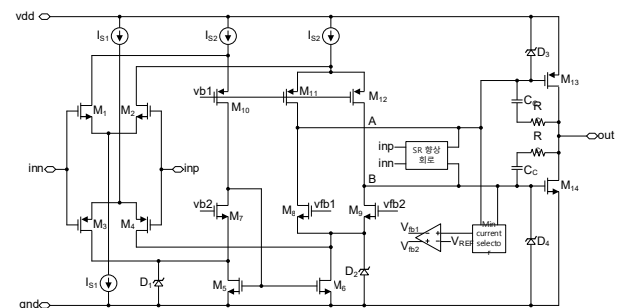


그림 1. 제안된 증폭기

본 논문에서 제안하는 증폭기는 [2]에서 제안하는 minimum current selector를 이용해 기존 문제였던 sinking load에서의 대기전류 증가를 해결하였다. 또한

DEMOS 및 Diode 소자를 사용하여 12V 이하의 전원에서 동작이 가능하게 하였으며 Slew rate 향상 회로를 추가하여 고속으로 동작하는 증폭기를 제안한다. 출력단은 양방향 부하 20mA를 구동하면서 전원에서부터 약 300mV 떨어진 전압까지 swing할 수 있다.

2.3 Diode clamp 내압보호

제안된 증폭기에서는 12V 전원에서 동작을 보장하기 위해 M1~M4 및 M7~12는 12V DEMOS를 사용하였다. DEMOS 구조에 의해 각 노드에서 보이는 기생 capacitance을 고려했을 때 증폭기의 과도응답 상황에서 M7과 M8의 source 전압이 5V이상 증가하는 것을 확인하였다. D1과 D2를 이용해 해당 노드 전압을 clamping하여 M5 ~ M9의 VGS 및 VDS 내압을 보호하였다.

2.4 local loop 안정도 보상

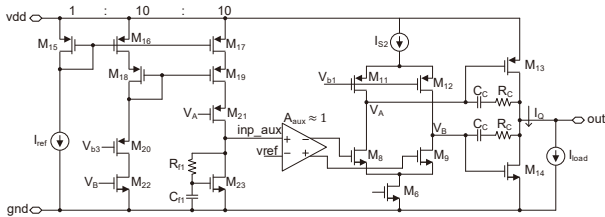


그림 2. 12V Class AB control loop

그림 2는 [2]에서 제안하는 Minimum current selector 구조에서 M20과 C_{f1}, R_{f1}을 추가하여 12V 전원에서 동작 가능하게 한 class-AB control loop 회로이다. M20은 heavy sinking load에서 M16의 V_{DS} 내압을 보호해주며 항상 triode에서 동작하도록 V_{b3}를 바이어스 하였다. 그림 2 회로를 통해 heavy load에서도 증폭기의 대기 전류가 증가하지 않을 수 있다. [2]

Class-AB control loop는 증폭기 내부에 존재하는 local loop이며 이 loop는 C_c와 R_c에 의해 아래와 같은 pole과 zero를 동반한다.

- $W_{P1} = 1/C_c R_A$ 혹은 $W_{P1} = 1/C_c R_B$
- $W_{Z1} = 1/R_c C_c$

one-pole system을 만들기 위해서 W_{Z1}을 상쇄시켜야 하므로 C_{f1}을 추가하여 pole을 만들었다.

Local loop의 안정도는 A, B 노드에서 보이는 저항성의 차와 load에 따라 local loop의 feedback 경로가 바뀌기 때문에 load 전류에 의해 영향을 받는다. 특히 sourcing load에서 커지는 local loop의 DC gain에 의해 unity gain frequency가 증가하게 되어 고주파수 영역에서 보이는 pole에 의해 Phase margin이 감소한다. 따라서 R_{f1}을 추가하여

고주파수에 zero를 추가함으로써 sourcing load에서의 Phase margin을 충분히 확보하였다.

C_{f1}과 R_{f1}에 의한 pole과 zero는 아래와 같다.

- $W_{P2} = \frac{g_{m23}}{C_{f1}} \rightarrow W_{Z1}$ 상쇄
- $W_{Z2} = \frac{1}{R_{f1} C_{f1}} \rightarrow$ 고주파수 pole 상쇄

2.5 Slew rate 향상 회로

제안된 증폭기는 miller 보상기법을 사용하여 A와 B 노드에서의 Slew rate이 전체 증폭기 속도에 지배적인 영향을 미친다.

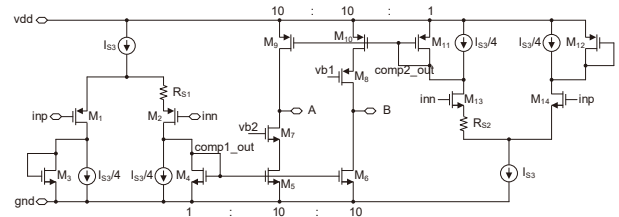


그림 3. Slew rate 향상회로

그림 3은 증폭기의 differential 입력을 inp와 inn에 받아 증폭기의 offset이 100mV 이상일 때 A와 B 노드에 큰 전류를 구동해줌으로써 A, B 노드의 Slew rate를 향상시킨다. 최대 20uA까지 추가적인 전류를 A, B 노드에 구동해줄 수 있게 설계하였다.

Ⅲ. 구현

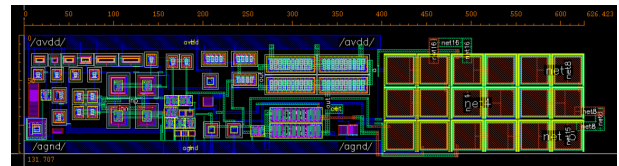


그림 4. [3]에서 제시된 증폭기 layout

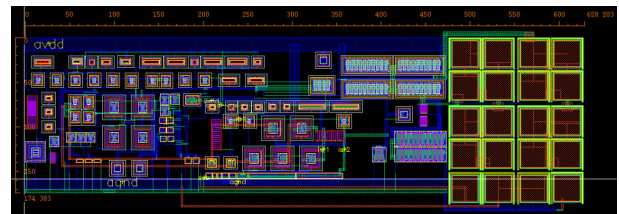


그림 5. 제안된 증폭기 layout

[3]에서 제안된 증폭기와 본 논문에서 제안되는 증폭기는 모두 DB HiTek 사의 0.18 μm 30V BCD 공정을 사용해 만들었으며 layout은 그림 4와 그림 5와 같다.

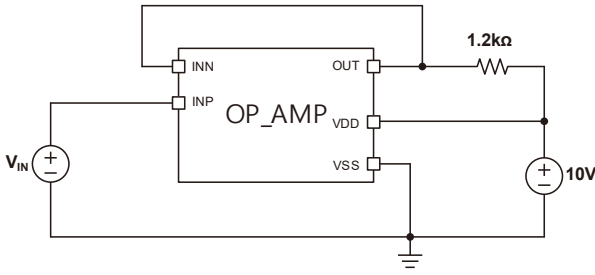


그림 6. 증폭기 대기전류 측정 회로

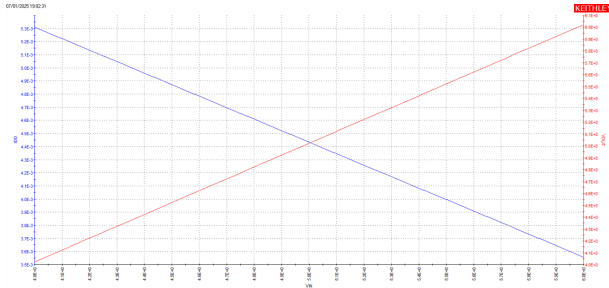


그림 7. [3]에서 제시된 증폭기의 5mA sinking load에서의 전원 전류

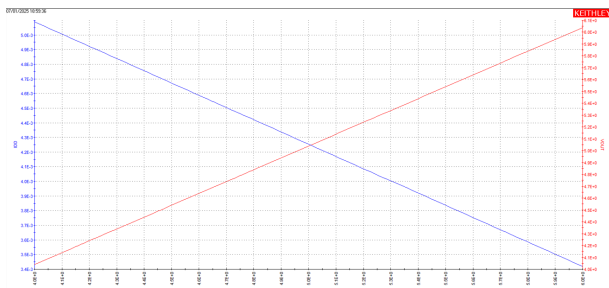


그림 8. 제안하는 증폭기의 5mA sinking load에서의 전원 전류

그림 7과 그림 8은 Keithley 장비를 사용하여 3.3mA ~ 5mA sinking load 상황에서의 두 증폭기의 전원 전류와 출력전압을 나타낸 파형이다. 실험 환경은 그림 6과 같으며 VIN을 4V에서 6V까지 sweep하였다.

	Isink = 5mA	Isink = 4mA	Isink = 3.3mA
기존 증폭기 대기전류	329uA	278uA	243uA
제안하는 증폭기 대기전류	122uA	118uA	117uA

표 1. Sinking 전류에 따른 두 증폭기의 대기 전류

전원 전류와 부하 저항에 흐르는 전류를 빼서 증폭기의 대기 전류를 구할 수 있고 5mA, 4mA 3.3mA sinking 전류 상태에서의 대기 전류는 표 1과

같다. 5mA의 sinking 전류를 구동할 때 제안하는 증폭기의 대기전류가 기존 증폭기보다 약 63% 정도 감소한다는 것을 알 수 있었다.

그림 9와 그림 10은 unity gain feedback에서 12V 공급 전압과 입력에 peak to peak가 6V인 pulse파를 인가했을 때, 두 증폭기의 입력과 출력의 전압을 측정된 파형이다. 기존 증폭기와 제안된 증폭기의 rising slew rate은 다음과 같다.

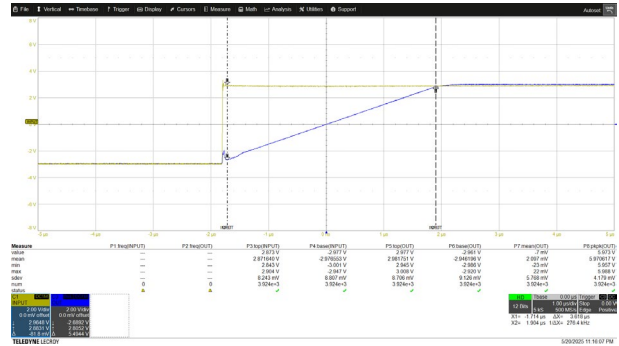


그림 9. [3]에서 제시된 증폭기의 rising edge

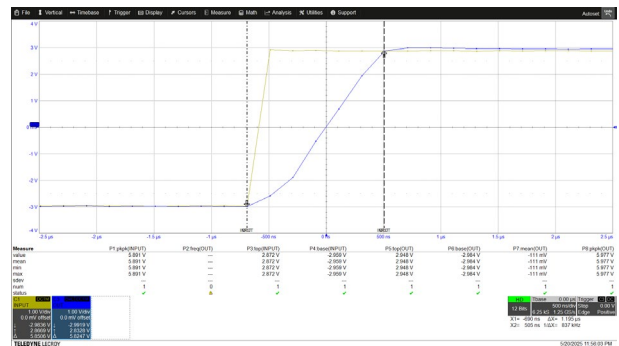


그림 10. 제안하는 증폭기의 rising edge

기존 증폭기의 slew rate : $SR^+ = 1.516 [V/us]$

제안된 증폭기의 slew rate : $SR^+ = 4.83 [V/us]$

제안된 증폭기의 slew rate이 약 3.1배 더 큰 것을 알 수 있다. 측정 결과 falling slew rate 또한 제안된 증폭기가 약 3.4배 더 큰 것을 확인하였다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

해당 연구를 통해 저전압 및 고전압에서 고전류를 안정적으로 구동하며 낮은 대기전류를 소모하는 증폭기를 설계할 수 있었다. 특히 고전압 상황에서 발생하는 내압 및 local loop 안정도 문제를 해결하여 12V에서 동작 가능한 고속, 고효율 증폭기를 설계하였고 제작된 증폭기를 측정해 본 결과 기존 증폭기보다 좋은 특성을 가져가면서 안정적으로 증폭기가 구동하는 것을 확인할 수 있었다.

참고문헌

- [1] M. Loikkanen, Design and Compensation of High Performance Class AB Amplifiers, Doctoral dissertation, Univ. of Oulu, Finland (2010)
- [2] L. Liu, M. Chen, W. Huang, X. Liao, and J. Xu, "A high current-efficiency rail-to-rail Class-AB op-amp with dual-loop control," *IEEE Trans. Circuits Syst. II, Exp. Briefs*, vol. 69, no. 11, pp. 4218-4222 (2022)
- [3] K.-J. de Langen and J. H. Huijsing, "Compact low-voltage power-efficient operational amplifier cells for VLSI," *IEEE J. Solid-State Circuits*, vol. 33, no. 10, pp. 1482-1496, Oct. (1998)
- [4] A. Roy, K. Bansal, and N. Agarwal, "On the stability, transient and quiescent current control of one low-voltage class-AB op-amp architecture," in *Proc. 2021 IEEE 34th Int. System-on-Chip Conf. (SOCC)* (2021)

저-데이터 모니터링 기술을 위한 이벤트 비전 센서 기반 동적 객체 감지 시스템

김하성¹, 김현진¹, 윤세진¹, 이현근^{1,*}

¹고려대학교 과학기술대학 지능형반도체공학과

e-mail : {khs092812, hyunguri77, pauer3792, hklee4}@korea.ac.kr

A Dynamic Object Detection System Based on Event-Based Vision Sensors for Low-Data Monitoring Technology

Hasung Kim¹, Hyunjin Kim¹, Sejin Yoon¹, Hyunkeun Lee^{1,*}

¹Department of AI Semiconductor Engineering Korea University, Sejong, South Korea

I. 서론

Abstract

Event-Based Vision Sensors (EVS) are neuromorphic image sensors that differ from conventional frame-based sensors by outputting data only when changes in the scene occur, making them particularly suitable for dynamic object detection. In this study, we propose a monitoring system based on EVS and outline its core operating principles. To process the asynchronous output data efficiently, we employ a lightweight spatio-temporal clustering method that avoids the complex algorithms such as YOLO and Faster-RCNN (Deep learning-based detection technique). The system enables various inference tasks—such as estimating the brightness of unknown individuals' clothing and detecting approach behavior toward entrances—despite the minimal amount of data. These results demonstrate the potential of EVS for low-data, high-efficiency monitoring applications.

일반적으로 널리 알려진 방법 용 카메라 (Closed-circuit Television, CCTV)는 상보성 금속 산화막 반도체 이미지 센서 (CMOS Image sensor, CIS) 기반으로 설계되어 있다. CIS는 프레임 기반 이미지 센서 (Frame-based Image sensor)로, 빠른 속도로 여러 장의 사진을 찍는 원리이다. 이러한 CIS의 동작 방식에 의해 초마다 많은 양의 데이터가 축적된다 [1]. 특정 영역을 감시하는 동안에 특이사항이 없더라도 지속적으로 데이터를 출력하고 있으며, 이러한 데이터의 과부하는 종종 데이터 손실을 일으키는 경우 및 사용자가 필요한 영상 데이터를 얻기 위해 직접 탐색을 하는 불편한 작업을 거치도록 한다. 비록 자동차에 탑재되는 블랙박스과 같이 충격이 감지되었을 때의 영상을 별도로 저장하는 기술이 있어 직접 탐색해야 한다는 불편한 점을 줄일 수 있지만, 이러한 시스템의 경우 가속도계와 이미지 센서 등 여러 센서를 융합하는 방식이기에 설계의 복잡성이 증가하며, 지속적으로 영상 데이터를 출력한다는 단점은 해결할 수 없다.

반면에 이벤트 비전 센서(Event Vision Sensor, EVS)는 빛의 강도 변화를 감지(Sensing) 하여 측정하고 있는 장면의 움직이는 대상에 대해서만 데이터를 출력한다. 쉽게 말해 불필요한 배경 (Redundant background data) 데이터를 출력하지

않고, 움직이는 동적인 객체에 대해서만 각 픽셀이 비동기적(Asynchronous)으로 동작하기 때문에 [2] CIS에 비해 처리하는 데이터양이 크게 감소하고 데이터를 이미지화 할 필요가 없어 이미지 처리에 필요한 시간과 메모리를 크게 줄일 수 있다.

본 논문에서는 EVS의 동작원리 및 특징을 간단하게 기술하고, 기존의 CIS 모니터링 체계(CIS-based monitoring system)의 반복 데이터 출력 문제를 해결하고, 동작 시에 필요한 메모리를 줄여, 현대 인공지능 산업의 핵심으로 꼽히는 데이터 경량화 모니터링 시스템 개발에 대한 내용을 기술한다.

II. 본론

2.1 Operating Principles of EVS

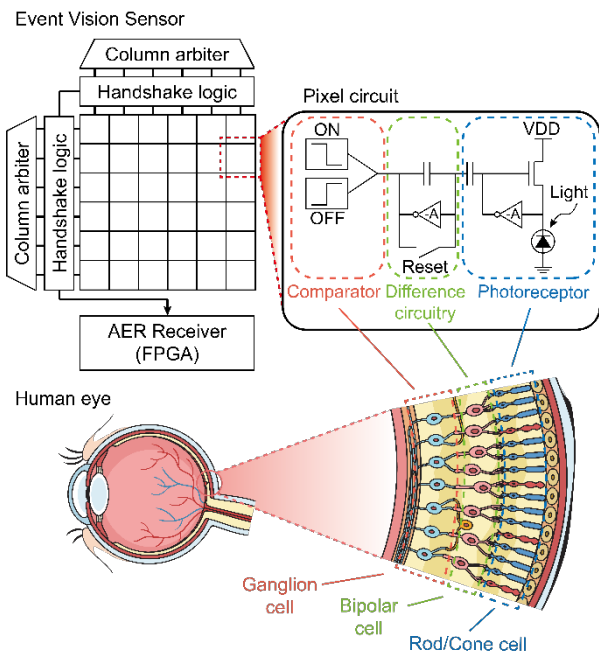


그림 1. EVS의 생체 모방 디자인과 동작 원리

그림 1. 과 같이 EVS는 생체 원리를 모방한 뉴로모픽 센서(Neuromorphic sensor) 이다 [2]. 망막의 간상세포/원추세포(Rod/Cone cell)이 광자극을 전기신호로 변환하여 전달하듯 EVS의 광수용부(Photoreceptor)는 포토 다이오드를 통해 광신호를 전류에서 전압 신호로 변환하여 차분 회로(Difference circuitry)에 전달한다 [3]. 전달된 신호는 변화하는 경우에만 양극 세포(Bipolar cell)를 통해 신경절 세포(Ganglion cell)에 전달되어 뇌에 인식되며, 이 과정은 EVS의 Difference circuitry와 비교기(Comparator)에서 이뤄지는 동작과 매우

유사하다. EVS는 또한 각 위치 별로 병렬 처리를 하여 실제 망막 모방을 완성한다.

2.2 Processing techniques for Event data

EVS의 Asynchronous한 특징 덕분에 CIS에서는 필수적으로 여겨지는 이미지화(Imaging) 단계를 생략할 수 있으나 [2], CIS와는 다른 데이터 처리과정이 필요하다. EVS의 이벤트 데이터는 X축 주소(X address, x), Y축 주소(Y address, y), 시간(Time, t), 극성(Polarity, p)로 이루어져 있다. 여기서 극성이란, EVS가 감지한 임계치를 넘는 빛 변화가 어두워지는 변화인지(OFF) 밝아지는 변화인지(ON)를 의미하며 각각 0과 1, 1비트의 데이터 사이즈를 갖는다. 결국 Polarity를 제외하고 x, y, t 상의 3차원 공간에서의 데이터 처리를 수행할 수 있다 [4]. 즉, x, y 공간 상의 움직임과 t 시간 상의 움직임을 분석하는 시공간 분석(Spatio-Temporal analysis, ST analysis) 이 가능하다 [4]. ST analysis는 시간에 따라 이벤트가 발생하는 EVS의 큰 장점 중 하나인데, 시간에 따른 정밀한 변화를 추적할 수 있기 때문에 CIS보다 정밀 추적에 유리하다. 또한 시공간 상의 근접성을 고려할 수 있기 때문에 노이즈를 필터링 하기에도 유리하다 [5].

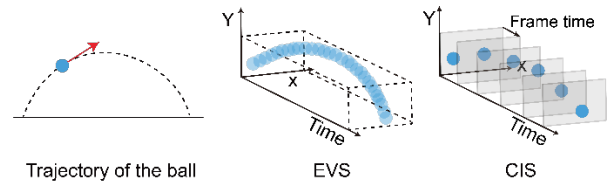


그림 2. 시공간 상에 가공된 이벤트 데이터

그림 2. 는 Processing을 거친 이벤트 데이터를 시공간 상에서 보여주면서 CIS와의 결과차이를 보여준다. 동적인 객체를 추적하는데 있어 데이터와 시간 정밀도 측면에서 EVS가 유리함을 알 수 있다.

이러한 객체 추적의 장점을 지닌 EVS를 모니터링 시스템에 적용함으로써 더욱 효율적인 감시 체계 및 객체 추적 알고리즘을 개발하고자 한다.

2.3 개발 목표

ST analysis 기반 인접한 다수 이벤트를 정확하게 추적하는 알고리즘을 개발하고 이벤트 데이터로부터 얻을 수 있는 특징을 추출하여 적은 양의 이벤트 데이터만으로도 여러 정보를 얻을 수 있다는 것을 증명하여 EVS 기반 모니터링 시스템의 현실적인 적용 가능성을 제안한다.

III. 구현

3.1 연구 환경

본 연구에는 128x128 CMOS-based EVS로 측정하였다 [3]. 이벤트 Processing 및 알고리즘 개발에는 매트랩(MATLAB)을 사용하였다.

EVS로 측정되는 데이터는 현장 프로그래머블 게이트 어레이(Field-Programmable Gate Array, FPGA)와 상호작용을 통해 최종 이벤트 데이터를 출력하며, 출력된 데이터는 데이터 이동장치(Travel logic)을 통해 사용자의 기기로 저장된다. Raw 데이터는 MATLAB에서 후 공정(Post-processing)을 거쳐 측정된 데이터의 분석을 수행한다.

3.2 동적 객체 감지 알고리즘

EVS로 측정된 데이터를 Post-processing하고나면, 시공간 상의 데이터로 표현할 수 있다. ST analysis를 통해 사람의 움직임을 감지하기 위해서 객체의 움직이는 속도 및 그때의 면적을 고려하여 특정할 수 있도록 ST기반 클러스터링(ST-based Clustering, STC)을 사용하였다. 이 방식은 도로 위 차량 궤적 데이터를 시공간 Clustering으로 묶어, 특정 구간에서 밀집, 정체가 발생하는 시간대를 추적하는 등 교통 흐름 분석은 물론 비디오 감시 및 이상행동 탐지에 사용되는 잘 알려진 기술이다 [6-7].

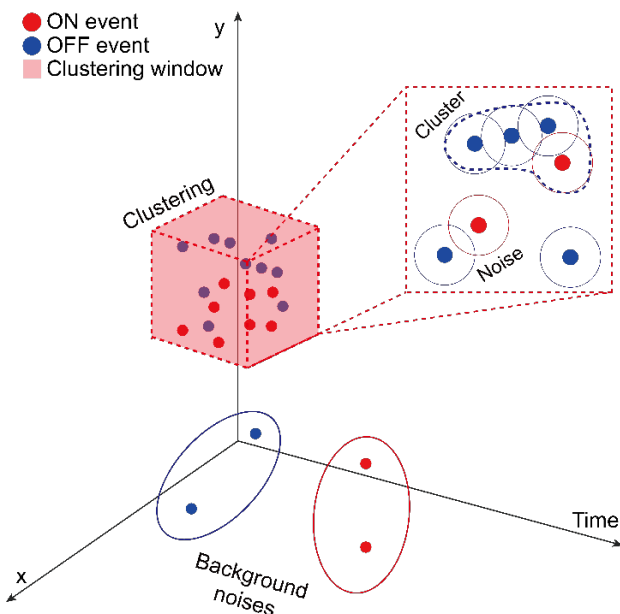


그림 3. STC 알고리즘 개념도

그림 3. 은 STC 방식의 Clustering 개념에 대한 그림으로, 데이터가 밀집된 부분을 Detection 하는 데 있어 효과적인 방식이다. STC 방식에서 조절해야하는 변수(Factor)는 크게 세가지가 있다. 첫번째는 공간 상의 Clustering 범위, 두번째는 공간 상의 Cluster를 실제 Cluster로 판별하는 임계치, 세번째는 시간 상의 Clustering 범위이다. 이러한 변수를 최적화하고나면, 인간 움직임에 대한 이벤트 집단을 효과적으로 분별해낼 수 있다.

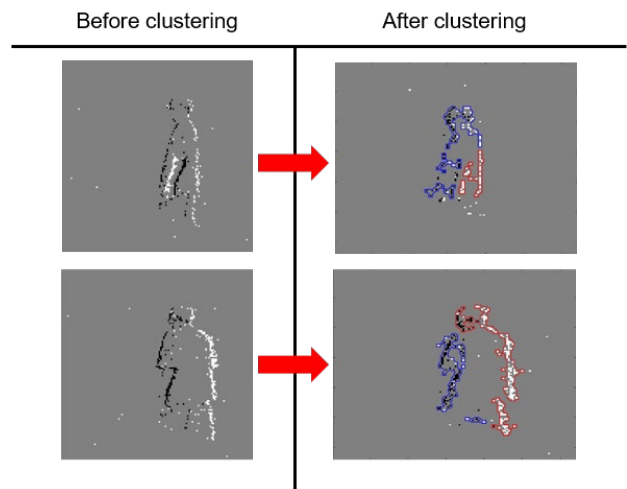


그림 4. ST-Clustering 최적화

그림 4. 는 특정 공간 안에서 걸어가는 사람을 EVS로 측정하여 STC 방식을 적용하여 바운딩한 결과로, 실험에 사용한 EVS 이벤트와 노이즈 특성에 맞춰 바운딩 최적화 작업을 진행한 그림이다. Factor를 최적화 함으로써 목표를 안정적으로 타게팅 할 수 있다. 특히 사람 주변의 배경 잡음은 대부분 Cluster로 판별되지 않고 필터링되었기 때문에, 이를 Post-processing을 통해 제거할 수 있었고, 최종 데이터의 크기를 감소시킬 수 있었다.

3.3 의상 명도 추측

EVS의 동작 특성 상, Background(벽이나 바닥)의 색을 중간 명도로 유지한다면, 침입자(Unknown)의 의상 명도를 추측할 수 있다. 즉, 객체의 진행 방향에 ON 이벤트가 발생하는 경우 Unknown의 의상이 밝음을 의미하고, OFF 이벤트가 발생하는 경우 그 반대를 의미한다. 비록 배경의 색과 유사한 명도의 의상의 경우 감지가 어려울 수 있지만, 이벤트 출력이 사라지는 것은 아니므로, Unknown detection에는 크게 어려움이 없었다.

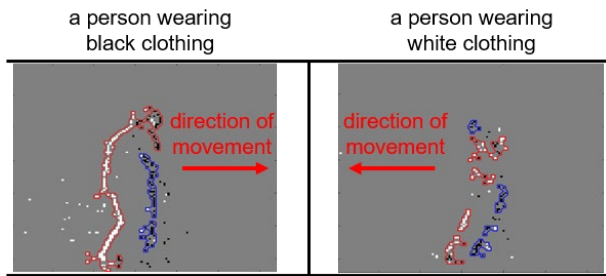


그림 5. Unknown의 의상에 따른 이벤트 발생

그림 5. 는 Unknown의 의상에 따라 진행 방향에 어떤 이벤트가 발생하는지를 명확하게 보여준다. 비록 조명의 각도에 따라 밝은 의상의 경우에도 OFF 이벤트와 섞여 명확하지 않은 경우도 있어 Cluster에 속한 이벤트의 Polarity가 ON 이벤트가 다수라면 빨간색 엷지, 반대라면 파란색 엷지로 표시하여 가시성을 높였다.

3.4 출입문 개폐 유추

본 연구의 측정 환경에 출입문을 두어 출입문 개폐 사실 유무를 판단할 수 있도록 알고리즘 개발 및 최적화를 진행하였다. 기존 알고리즘에서 주로 추가된 사항은 EVS가 측정하고 있는 영역 중에 출입문이 위치한 곳의 이벤트 급증을 감지하는 것이다. 즉, Cluster가 출입문 주변에서 사라지거나 나타나면 출입문에 대한 접근으로 인지하는 것이다. 이는 모니터링 영역에 출입 금지 영역이 있는 경우, 접근을 감지할 수 있는지에 대한 시뮬레이션 실험이다.

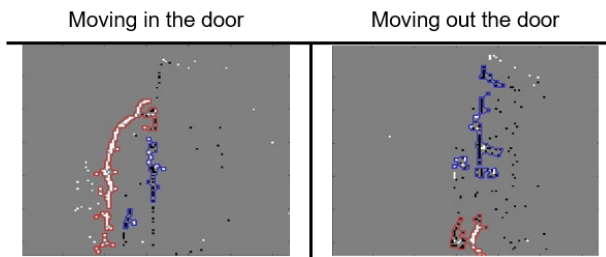


그림 7. 출입문을 통해 이동할 때 Cluster 형태

그림 7. 을 보면, 출입문을 들어가고 나갈 때 Cluster가 출입문 주변에 집중된 것을 알 수 있다. 출입문에 대한 이벤트임을 판별하는데 있어 요소는 Cluster의 존재가 출입문 주변에서 사라졌을 때로 결정하면 가장 간단하게 이를 구현할 수 있다. 그렇지만 예외적인 상황이 있을 수 있으므로 해당 알고리즘은 추후 개선이 필요하다.

3.5 사용자 인터페이스

시스템 개발의 최종 목표이자 핵심 요소인 사용자 인터페이스 및 시스템 처리이다. 사용자 인터페이스를 구현하여 실제 사용자가 사용하기에도 적합하다는 것을 보이고자 한다. 인터페이스 개발에는 MATLAB을 사용하였다.

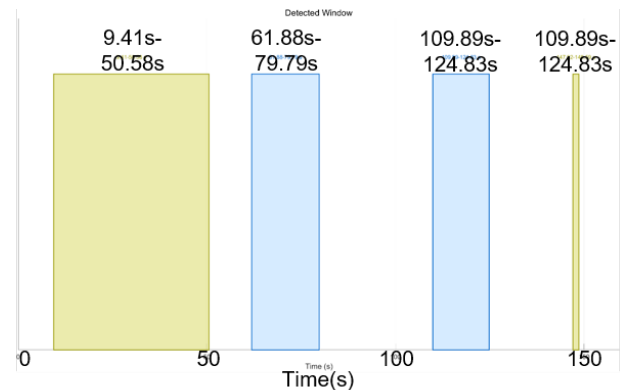


그림 8. 인터페이스를 통해 확인한 측정 데이터

그림 8. 은 사용자 인터페이스의 기본 화면이다. 해당 화면에는 타이밍 다이어그램을 통해 동적 객체가 감지된 타이밍을 시간과 함께 볼 수 있으며, 노란색은 동적 객체 감지 윈도우, 파란색은 출입문 접근에 대한 윈도우이며, 실제 데이터와 정확하게 정보가 일치한다.

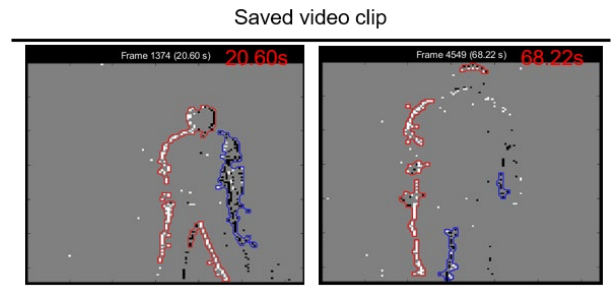


그림 9. 감지 윈도우를 클릭했을 때 보이는 화면

인터페이스에서 보고싶은 타이밍의 윈도우를 클릭하면, 그림 9. 와 같이 선택한 타이밍의 이벤트 데이터를 프레임화 한 영상을 볼 수 있다.

프레임 정합은 이벤트가 측정된 시간에 따라 MATLAB의 한계 속도인 100fps로 재생할 수 있도록 각 프레임에 이벤트 데이터를 채우는 방식으로 진행하였다 [3][8]. 이벤트의 출력 최소 단위는 100us로, 이벤트가 100us마다 나올 수 있음을 의미한다. 이벤트가 최소 30개 이상이 모여야 Cluster로 분류되므로, 이론 상 최소 333.3 fps CIS와 동등한 속도 스펙을 가진다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 세상의 CCTV와 같은 모니터링 시스템을 모두 커버할 수 있는 하드웨어(Hardware)를 제안하는 것이 아니다. 모서리 감지(Edge-detection) 능력이 뛰어난 EVS가 감시 체계에 도입되었을 때의 장점과 데이터를 Post-processing하는 과정을 통해 다양한 정성 분석이 가능하며 특히 ST analysis가 가능하기 때문에 CIS보다 적은 데이터로도 정밀 분석이 가능하다는 점을 강조한다. 또한 YOLO와 같은 딥러닝 기반 객체 검출 기술과 같은 고도의 알고리즘을 구현하지 않고도 충분히 Unknown에 대한 추적이 가능함을 시사한다.

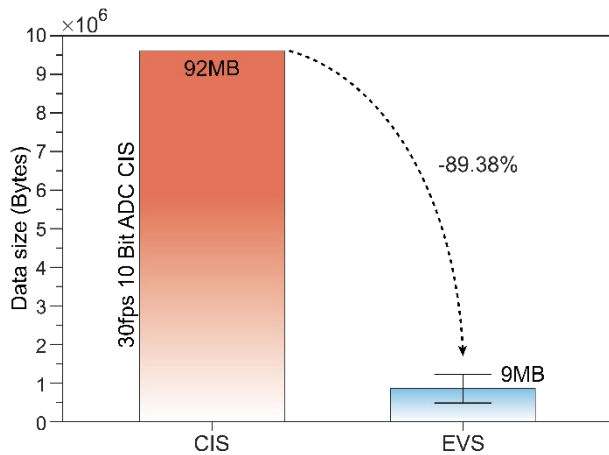


그림 10. CIS와 EVS의 측정 데이터 크기 비교

그림 10. 은 3분 동안 CIS로 측정된 데이터의 크기와 EVS로 측정했을 때의(그림 8. 의 데이터) 데이터 크기를 비교한 결과로, 두 데이터 크기 차이는 감지된 동적 객체가 없을수록, 측정시간이 길어질수록, 프레임율이 높은 CIS일수록 그 차이가 기하급수적으로 증폭된다. 여러 상황들에 대해 시뮬레이션을 해 본 결과, 대체로 10Bit ADC 탑재 CIS 기준 10%의 데이터를 사용하여 모니터링 시스템을 구축할 수 있다. 또한 Unknown의 활동 외에 정적인 환경이 대부분인 건물 내부 공간 Monitoring system에 사용하는 것이 효율적이다.

이러한 EVS의 데이터는 추후 스파이킹 신경망(Spiking Neural Network, SNN)과 같은 딥러닝 기술에 적용될 수 있으며[9], 더욱 정밀하고 정확도 높은 시스템으로 개발될 것으로 예상된다. 또한 특히 저 데이터라는 측면에서, 인공지능에 적용되었을 때 최고의 성능을 보여줄 것이라고 기대된다 [10].

참고문헌

- [1] R. P. Kleihorst *et al.*, "Xetal: a low-power high-performance smart camera processor," *ISCAS 2001. The 2001 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (Cat. No.01CH37196)*, Sydney, NSW, Australia, 2001, pp. 215-218 vol. 5, doi: 10.1109/ISCAS.2001.922023
- [2] P. Lichtsteiner, C. Posch and T. Delbruck, "A 128× 128 120 dB 15 μs Latency Asynchronous Temporal Contrast Vision Sensor," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 43, no. 2, pp. 566-576, Feb. 2008, doi: 10.1109/JSSC.2007.914337.
- [3] D. Seo, J. -G. Kim, I. Yeo, H. Lee and B. -G. Lee, "Analysis of Pixel Noise in Dynamic Vision Sensors," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 72, no. 3, pp. 1081-1092, March 2025, doi: 10.1109/TCSI.2025.3526965.
- [4] Mueggler, Elias & Bartolozzi, Chiara & Scaramuzza, Davide. (2017). Fast Event-based Corner Detection. 10.5244/C.31.33.
- [5] Xavier Clady, Sio-Hoi Ieng, Ryad Benosman, Asynchronous event-based corner detection and matching, *Neural Networks*, Volume 66, 2015, Pages 91-106, ISSN 0893-6080, <https://doi.org/10.1016/j.neunet.2015.02.013>.
- [6] Zhang, Ke & Li, Huiping & Shan, Yu & Li, Meng. (2021). Spatial-Temporal Trajectory Clustering and Anomaly Analysis Based on Improved OPTICS Method. 189-198. 10.1061/9780784483565.019.
- [7] Zheng, Hao & Liu, Jianfang & Liao, Mengyi. (2021). Study on Local Optical Flow Method Based on YOLOv3 in Human Behavior Recognition. *Journal of Computer and Communications*. 09. 10-18. 10.4236/jcc.2021.91002.

[8] Zheng, X., Liu, Y., Lu, Y., Hua, T., Pan, T., Zhang, W., Tao, D., & Wang, L., "Deep Learning for Event-based Vision: A Comprehensive Survey and Benchmarks," *arXiv preprint arXiv:2302.08890*, 2024. Available: <https://arxiv.org/abs/2302.08890>.

[9] Viale, A., Marchisio, A., Martina, M., Masera, G., & Shafique, M., "CarSNN: An Efficient Spiking Neural Network for Event-Based Autonomous Cars on the Loihi Neuromorphic Research Processor," *arXiv preprint arXiv:2107.00401*, 2021. Available: <https://arxiv.org/abs/2107.00401>.

[10] Kosta, A. K., & Roy, K., "Adaptive-SpikeNet: Event-based Optical Flow Estimation using Spiking Neural Networks with Learnable Neuronal Dynamics," *arXiv preprint arXiv:2209.11741*, 2023. Available: <https://arxiv.org/abs/2209.11741>.

High-Precision Prognostic Biosensor Transducer Based on Memristor Array

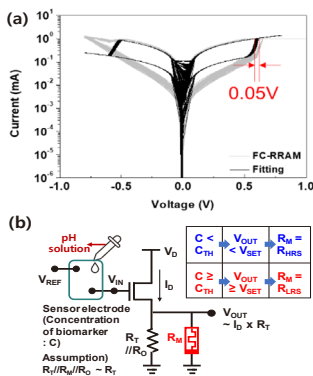
이아령¹, 이종원*

¹충남대학교 신소재공학부, 대전, 대한민국

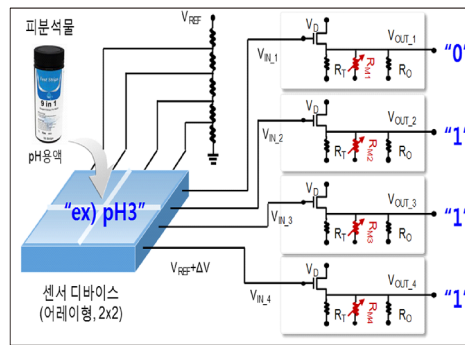
*Corresponding Author: jwlee80@cmu.ac.kr

Abstract

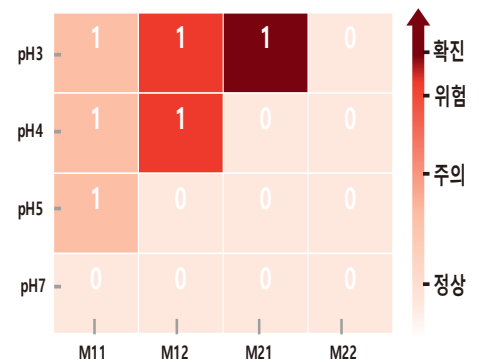
필라멘트 기반 저항 변화 메모리(RRAM)는 ON/OFF 두 상태 간 급격한 전환을 보이는 임계 전압 스위칭 특성을 지닌다. 본 연구는 이 특성을 기존 뉴로모픽 응용이 아닌 전기화학 바이오센서에 적용하여, 센서 단에서 복잡한 연산 없이 직접 이진 판단이 가능한 threshold-sensing 트랜스듀서를 구현하였다. 이는 갑상선 질환, 인플루엔자, COVID-19 와 같이 특정 임계치를 기준으로 진단되는 질병에 적합한 방식이다. CMOS 호환 공정 기반으로 제작된 filament-confined RRAM(FC-RRAM)메리스터 소자는 $\pm 0.05V$ 이하의 V_{SET} 산포로 높은 균일도를 확보하였고, LTspice 기반 시뮬레이션[1]을 통해 I-V 곡선과 정밀하게 피팅되었다(그림 1(a)). (그림 1(b))는 구현된 RRAM 기반 전기화학 바이오센서의 회로도를 나타낸다. 메리스터가 HRS 에서 LRS 로 전환되면 디지털 '1'출력을 발생시킨다. 해당 구조는 2x2 메리스터 센서 어레이형태로 제안되어, LTspice 시뮬레이션을 통해 검증되었다.(그림 2) 각 셀(M11~M22)은 동일한 V_{SET} 을 가지되, 기준 전압(V_{REF})을 달리하여 상이한 pH 응답 임계 값을 갖도록 구성하였다. 이에 따라 pH 가 낮아질수록 순차적으로 더 많은 셀이 스위칭되며, 4 비트 코드 형식으로 2 비트 분해능의 진단 결과가 생성된다. 시뮬레이션 결과, 입력 7.0, 5.0, 4.0, 3.0 에 대해 각각 [0000], ~[0111]의 코드가 생성되었고(그림 3), 이는 '정상-주의-위험-확진'진단 단계와 대응된다. 본 구조는 입력 신호를 이진화하여, 단일 어레이 기반의 다단계 진단을 가능하게 한다. 나아가 각 셀의 민감도를 독립 조절함으로써 4-bit 이상의 고분해능 진단 회로로의 확장이 가능하며, 다양한 바이오마커 조합을 기반으로 복수 질병의 예후까지 진단 가능한 고집적 전기 화학 바이오센서 플랫폼으로 발전할 수 있는 기술적 잠재력을 가진다.



[그림 1. 메리스터 및 회로도]



[그림 2. 2x2 어레이 트랜스듀서 구조]



[그림 3. 출력 코드 및 진단 결과]

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단을 통해 차세대지능형반도체기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00406897)

References [1] D. Biolek, M. D. Ventra, and Y. V. Pershin, "Reliable spice simulations of memristors, memcapacitors and meminductors," Radioengineering, vol. 22, no. 4, pp. 945–968, June 2013.

Bipolar supply Gate Driver의 Delay 및 전류 특성 개선을 위한 구조 최적화 설계

김태영, 이해영, 박시홍
단국대학교 파운드리공학과

e-mail : kcs4207@naver.com, hlee22@dankook.ac.kr, shihong@dankook.ac.kr

Optimized Structural Design for Enhancing Delay and Current Characteristics of Bipolar-Supply Gate Drivers

Taeyoung Kim, Lee hye young, Shihong Park
Dankook University , korea

Abstract

SiC MOSFET-based high-speed switching environments exhibit increased risk of malfunction due to Miller turn-on, and conventional bipolar gate drivers—which begin from a negative voltage—suffer from longer propagation delays and complex power-level provisioning. Therefore, we introduce a current-boost structure in the level-shift circuit and integrate an internal power supply, reducing rising/falling edge delays by 14.15 ns/14.68 ns and reliably delivering up to 10 A/11 A of drive current. Consequently, we demonstrate that gate drive timing precision and system reliability can be enhanced without external power sources.

Keywords : gate driver, SiC MOSFET, bipolar supply

I. 서론

최근 전력 스위칭 시스템에서는 실리콘 MOSFET 대비 수 kV/ μ s 이상의 높은 dv/dt, 수백 나노초

이하의 빠른 스위칭, 그리고 낮은 R_{on} 특성을 갖는 SiC MOSFET 전력반도체 채택이 증가하고 있다. 그러나, 고속 스위칭 소자들은, 높은 dv/dt로 인해, Miller turn-on 현상이 문제가 주요 된다. [1] 이를 억제하기 위해, gate drv out 단이 -VEE에서 +VCC로 스위칭하는 bipolar supply gate driver가 사용된다. [2] 그러나, 기존의 bipolar driver는 gate 전압이 negative 전압부터 시작되기 때문에 gate threshold 전압까지의 시간이 길어져, 전체 propagation delay가 증가한다. 또한 양방향 전원 사용으로, 전원레벨설계가 복잡하다는 단점이 있다. 본 논문에서는 위와 같은 문제점을 해결하기 위해, 전류 부스트 토폴로지를 내장하여 propagation delay를 개선하고, 최대 10A/11A의 구동전류를 drive하는 내부 rail 구조를 통합설계하여, gate drv 특성을 개선하였다.

II. 본론

2.1 회로 구조

본 논문에서는, bipolar supply driver의 propagation delay를 개선하고, 내부 전원 구조를 통합 설계함으로써, SiC MOSFET 기반 고속 스위칭 시스템에서 안정적으로 구동을 달성하는데 중점을 두었다. GND 대비 신호 구동 및 Propagation delay를 줄이기 위해 사용한 회로는 그림1과 같다.

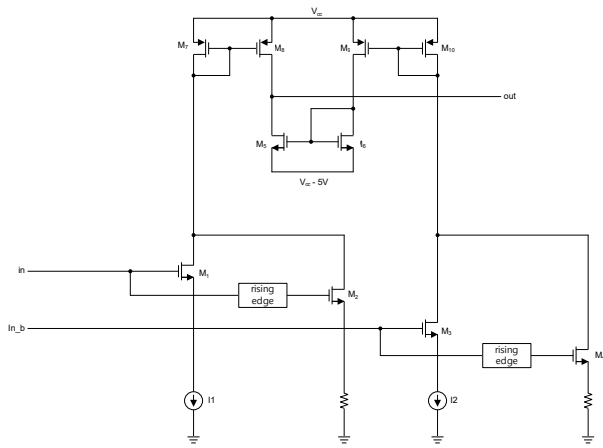


그림 1. Level - shift 회로도

위의 Level shift 회로는 GND기준으로 들어온 입력 신호를 VCC level로 shift 하는 동작을 한다. 이때, 회로의 delay에 영향을 미치는 것은 전류 I1, I2 (2uA)의 크기다. 이를 개선하기 위해, 전류의 크기를 키운다면, delay는 개선되지만 quiescent current의 양이 증가하여 전력 소모가 증가하게 된다. 본 논문에서는 rising edge 신호를 사용하여, input이 들어온 후 초기에 짧은 시간 동안만 I1,I2 보다 큰 전류를 사용하여 (306uA), delay를 효과적으로 개선하였다.

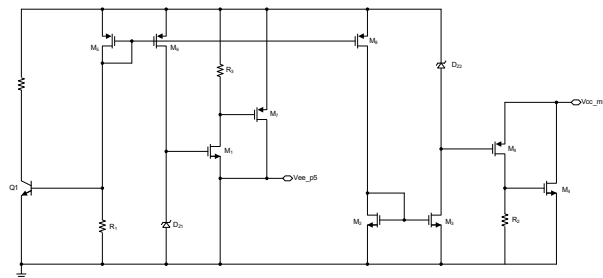


그림 2. 내부 Rail 구조 회로도

그림 2는 bipolar supply에서, Drive단 구동을 위한 내부 Rail 구조이다. Vee+p5 rail은 Vzener - Vgs, Vcc-m5 rail은 Vzener + Vgs전압으로 설계하였다. 이를 통해, VEE, VCC level이 변해도 안정적으로 5V rail을 구동할 수 있다. 또한, drive단 출력 mosfet이 10V/11A의 큰 전류를 구동하므로 drive 구동시, 충분한 전류를 빠르게 공급할 수 있는 rail이 필수적이다. 따라서 feedback mosfet을 사용하여 rail전압이 변화하여도, 빠르게 복구되도록 설계 하였다.

2.2 시뮬레이션 결과

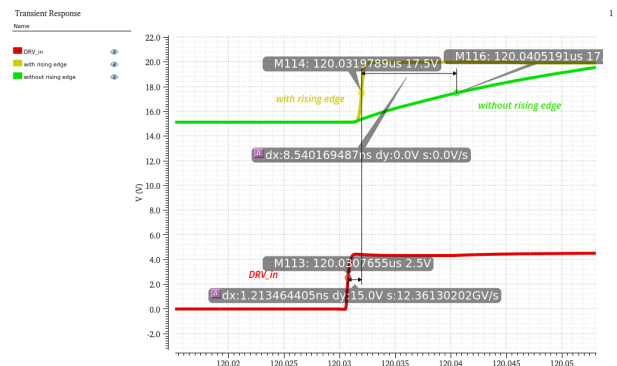


그림 3. Level shift delay 시뮬레이션 결과

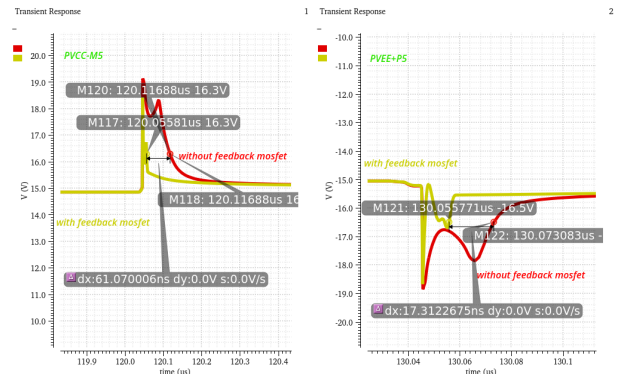


그림 4. 내부 Rail 시뮬레이션 결과

그림3에서, Level shift 구조에 rising edge를 적용했을 때, input 대비 Level shift delay가 8.5ns 감소한것을 확인할 수 있다.

그림4는 내부전원 rail의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 평소에는 각각 VCC-m5, VEE+p5 전압을 유지하다가, drive단 구동시에 변화하는 rail 전압을 feedback mosfet을 사용해 빠르게 복구시킨다. 내부 rail은 feedback mosfet을 사용하지 않았을 때보다 각각 61ns/ 17ns 더 빠르게 회복한다.

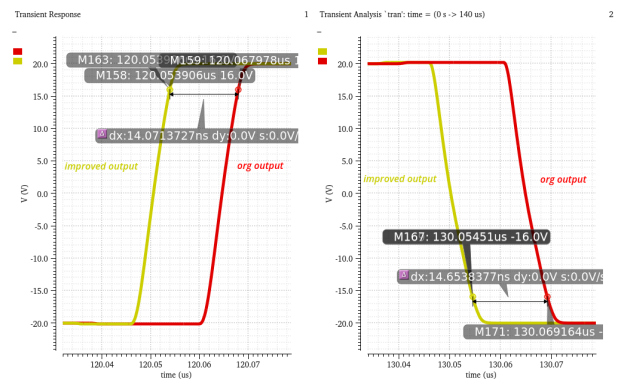


그림 5. Gate driver Output 시뮬레이션 결과

그림5는 그림 3,4의 회로들을 적용하여 propagation delay를 개선시킨 결과를 나타낸다. 기존방식 대비 propagation delay를 rising/falling 기준 14.07ns/14.65ns를 감소시켰다. 또한,rising /falling

각각 53.40ns/54.01ns으로, VCC - VEE = 40V의 High Voltage gate driver를 구동하면서도 빠른 delay를 확보하였다.

III. 구현

그림 6은 제작한 게이트 드라이버의 layout 도면을 나타낸다. Reiceve coil을 내장하여, input signal을 받을 수 있게 하였다.

그림 7은 input signal을 gnd 대비 5V입력으로 주었을 때, output이 -20V to 20V로 swing하는 것을 측정한 결과 파형이다. 이를 통해 gnd 기준 신호로, bipolar supply gate driver를 구현한 것을 확인할 수 있다.

그림 8은 gate driver의 propagation delay를 측정한 결과파형이다. Input signal 50% to output 90% delay가 38.8ns의 빠른 delay를 갖는 것을 확인할 수 있다.

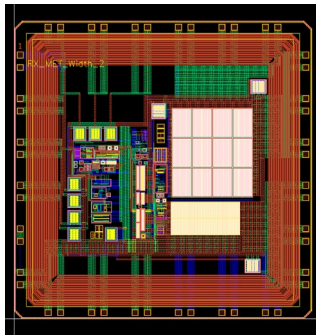


그림 6 . Gate driver layout 도면

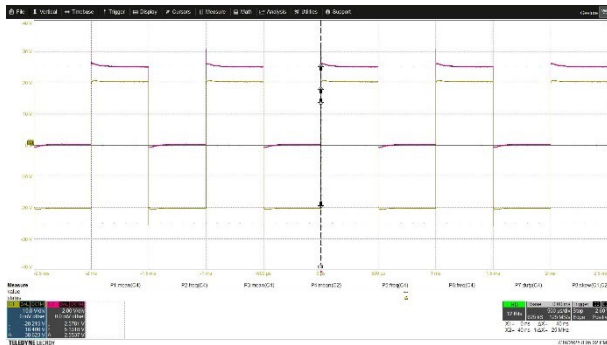


그림 7. Gate driver의 output 측정 파형

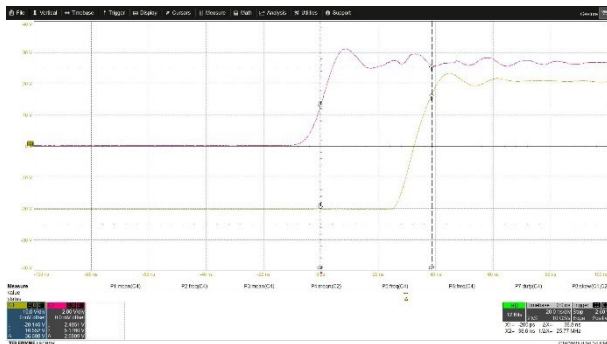


그림 8. Propagation delay 측정 파형

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 level shift 회로에 더 큰 구동 전류를 유도하는 구조를 제안하고, 이를 통해 propagation delay를 효과적으로 개선하였다. 또한, GND 기준의 로직 신호를 받아, 내부 level shift를 통해 양전원으로 변환함으로써, 시스템의 호환성과 구현 용이성을 확보하였다. 또한 내부 전원구조만으로도, 외부 mosfet의 구동 타이밍의 정밀도 및 시스템 신뢰성을 향상시킬 수 있음을 확인하였다. 향후, SiC 및 IGBT 기반 시스템에 본 구조를 적용함으로써 고속, 고전압 스위칭 환경이 요구되는 전력모듈에 활용될 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] ROHM Co., Ltd., "Hand Book: Fundamentals of SiC Power Devices," TWHB-16_001_kr, ROHM Co., Ltd., Jan. 2024.
- [2] WE-online, "6 W Isolated Bipolar Auxiliary Power Supply for SiC-MOSFET Gate Driver," Reference Design RD001d, WE-online, May 10 2022.

Self-Powered Photodetector Based on Hybrid Heterostructure with Ultrahigh On/Off Ratio

Beomsu Jo¹, Beom Joon Jung¹, Young Lae Kim^{1*}

¹Department of Electronic Engineering, Gangneung-Wonju National University, Republic of Korea

*Corresponding Author: ylkim@gwnu.ac.kr

Abstract

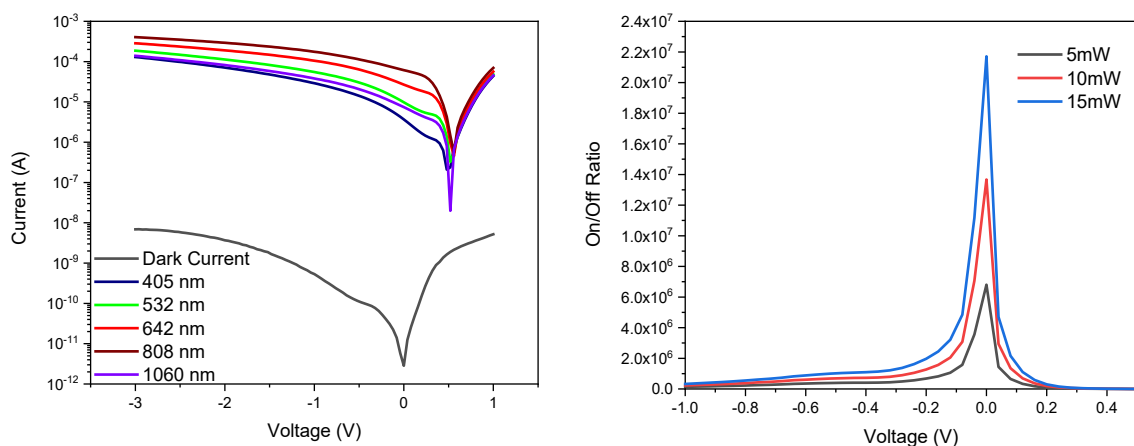
Two-dimensional materials, particularly rhenium-based transition metal dichalcogenides (TMDCs) like rhenium diselenide (ReSe₂) and rhenium disulfide (ReS₂), offer layer-independent direct bandgaps suitable for broadband photodetection [1]. However, many such devices require external bias for high performance, increasing power consumption and limiting applications in low-power systems such as wearable sensors. This work addresses these challenges by developing self-powered photodetectors with enhanced sensitivity and remarkably high on/off ratio through hybrid heterostructure architectures.

We fabricated a vertically stacked ReSe₂/ReS₂/Silicon (Si) heterostructure using van der Waals assembly, forming a type-II band alignment that enables efficient carrier separation. The device was characterized under various illumination wavelengths (405-1060 nm) and power densities, with measurements of electric properties.

The photodetector exhibits self-powered operation with an ultralow dark current of 2.83×10^{-12} A and an outstanding on/off ratio of 2.17×10^7 at zero bias. It achieves broadband response from visible to near infrared. Power-dependent study indicates that deep trap states in the ReS₂/ReSe₂ layers introduce photoconductive gain at low intensities while suppressing it at high powers, a mechanism consistent with earlier ReS₂/Si self-powered photodiodes [2].

This heterostructure demonstrates a promising strategy for low-power, high-performance optoelectronics, with implications for sustainable sensing and multispectral imaging. Future work will explore integration into flexible substrates for wearable applications.

Keywords: TMDC, Self-powered, Photodetector, Heterostructure, Rhenium



[Fig. 1. I-V characteristics of the photodetector]

[Fig. 2. On/Off ratio under 808 nm]

References

- [1] Jariwala, B., et al. (2016). "Synthesis and Characterization of ReS₂ and ReSe₂ Layered Chalcogenide Single Crystals." *Chemistry of Materials* 28(10): 3352-3359.
- [2] Intonti, K., et al. (2024). "ReS₂/Si 2D/3D vertical heterojunction as a self-powered photodiode." *Applied Physics Letters* 125(17).

Auxiliary Metal Effects in Electrochemical Ion Modification of Transparent Electrodes for Memory Applications

Moonsoo Kim¹, Byoungdeog Choi*

¹Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon-si, Korea

E-mail: jonykms@skku.edu

Abstract

Electrochemical ion modification offers a simple yet effective strategy to reduce the forming voltage in transparent resistive switching and charge trapping memory devices. In this study, we investigate the role of auxiliary metal electrodes in modulating the surface chemistry and electrical characteristics of indium tin oxide (ITO), a widely used transparent electrode material. ITO substrates were used as working (anode) electrodes, while copper (Cu) and molybdenum (Mo) served as auxiliary (cathode) electrodes in an aqueous electrolyte containing halide ions. Comparative electrochemical analysis revealed that Cu facilitated more efficient halide ion release and surface incorporation than Mo. This led to enhanced current flow in ITO-based diodes after treatment, indicating improved electrochemical activation.

Optical characterization using UV-Vis spectroscopy showed a ~6% decrease in transmittance at 550 nm after treatment, primarily due to increased surface roughness and diffuse scattering. Concurrently, four-point probe measurements indicated a rise in sheet resistance, consistent with the formation of a more disordered surface layer. Importantly, Cu-assisted treatment not only improved the uniformity of ion incorporation but also enabled better resistive switching behavior and significantly lower forming voltages compared to Mo. These findings highlight the critical influence of the auxiliary electrode material on the electrochemical treatment process and its resulting impact on device performance.

This work provides valuable insights into the optimization of transparent oxide electrodes for next-generation optoelectronic memory applications, emphasizing the role of auxiliary metals in tuning electrochemical modification outcomes.

Keywords:

Electrochemical Ion Modification, Transparent electrode, Auxiliary electrode, Surface engineering

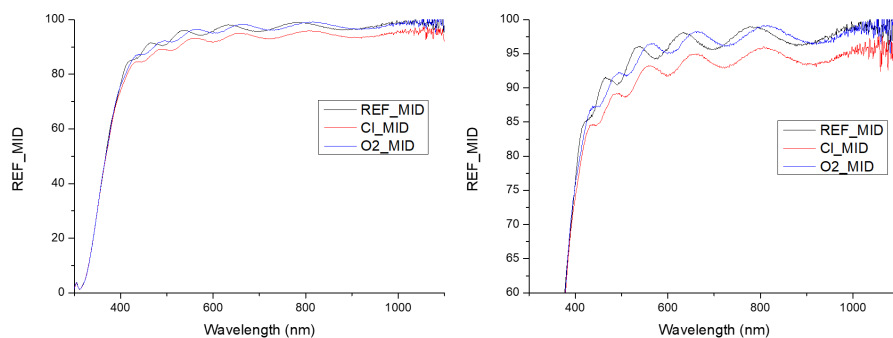


Figure 3. Wavelength-dependent transmittance of indium tin oxide (ITO) before and after oxygen plasma and electrochemical treatment, measured using UV-Vis spectroscopy.

병렬 고속 인터페이스의 Skew 보정을 위한 테스트 회로 구현

이연호, 박윤수, 박원기, 이성철 *

한국전자기술연구원

초록

최근 AI 가속기 시장의 급성장과 함께 고대역폭 메모리(High Bandwidth Memory, HBM)에 대한 수요가 급격히 증가하고 있다. HBM은 대규모 병렬 연산을 수행하는 GPU 및 NPU와 같은 AI 연산 장치에 최적화된 메모리로, 높은 대역폭과 낮은 전력소모를 제공하여 AI 연산에 핵심적인 역할을 한다. 향후에는 HBM 외에도, 대용량 저지연의 특성을 갖는 Storage Class Memory(SCM)가 가속기 아키텍처 내에 보조 메모리 계층으로 함께 사용될 가능성이 높다. 특히 GPU와 HBM 사이에 SCM 기반의 Processing-In-Memory(PIM) 구조가 추가되면, 데이터 이동 병목을 줄이고 시스템 전력 소모 및 처리 속도를 획기적으로 개선할 수 있다. 이러한 고속 병렬 메모리 구조를 효과적으로 구현하기 위해서는 병렬 고속 인터페이스의 신뢰성(reliability) 확보가 필수적이며, 그 핵심 요소 중 하나는 각 병렬 핀 간의 skew를 정밀하게 보정하는 deskew 기술이다[1]. 본 논문에서는 메모리 인터페이스의 집적도와 설계 복잡도를 동시에 고려하여, 메모리 측의 부담을 최소화하는 구조를 제안하였다. 제안된 방식은 memory side에 단순한 PRBS7 패턴 생성기만을 구현하고, 이를 활용하여 controller side에서 효과적인 deskew를 수행함으로써 전체 시스템의 타이밍 마진을 극대화할 수 있다. 본 논문은 이러한 구조의 설계와 구현 방법을 포함하고 있다.

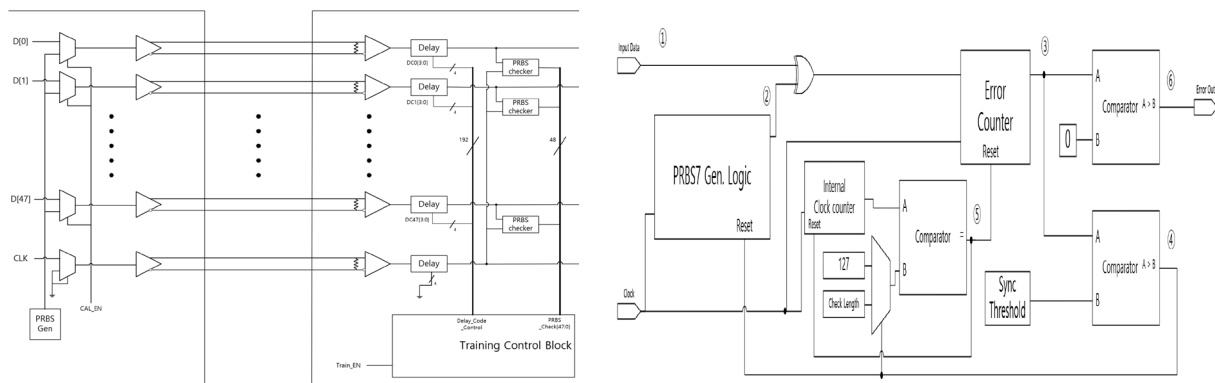


그림 1 데이터 채널 Deskew 기능을 위한 전체 구성도 및 DATA Checker 블록도

Acknowledgments -이 연구는 2023년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(‘RS-2025-00232599’).

References [1] Hu, An, and Fei Yuan. "Intersignal timing skew compensation of parallel links with voltage-mode incremental signaling." IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers 56.4 (2008): 773-783.

Analog input buffer for Analog-to-Digital Converters

박윤수*, 이연호, 박원기, 이성철

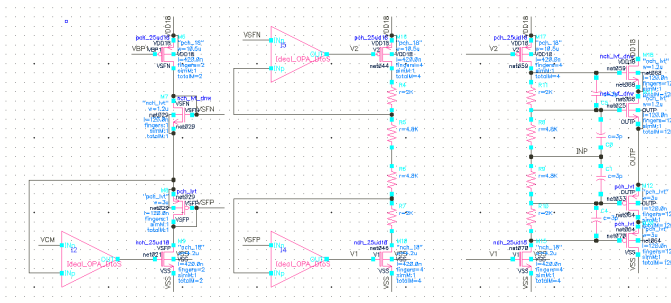
한국전자기술연구원, 성남, 대한민국

*Corresponding Author: parkys@keti.re.kr

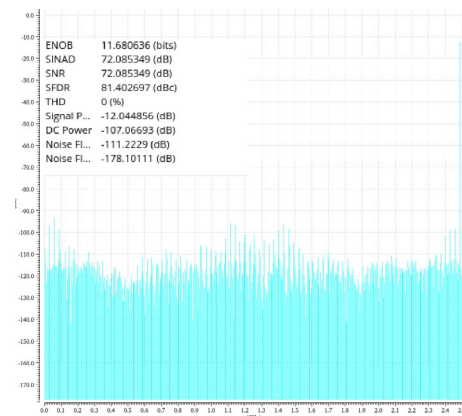
Abstract

본 논문에서는 고속 Analog-to-Digital Converter(ADC)의 입력 신호를 구동하기 위한 아날로그 버퍼를 구현하였다. 아날로그 입력 버퍼는 ADC의 요구 성능보다 마진을 갖도록 높은 속도에서 동작하고, 높은 선형성을 가져야 한다. 일반적으로 많이 사용되는 증폭기를 활용한 피드백 방식의 버퍼는 수동 소자를 활용하여 높은 선형성을 갖지만 동작 속도가 제한적이고, 전력 소모가 높다. 본 논문에서는 ADC 구동을 위해 SF를 활용한 Flipped source follower, push-pull source follower(PPSF) 등 여러 구조를 탐구하였다. 그 결과 높은 에너지 효율을 갖는 PPSF 아날로그 버퍼를 설계하였다. PPSF는 PMOS와 NMOS SF를 동시에 사용하여 흐르는 단위 전류당 높은 transconductance를 얻을 수 있다. 따라서 일반 SF보다 2배의 에너지 효율을 갖는다. 일반 SF는 body effect, channel-length modulation 등으로 인해 낮은 선형성을 갖는다. 위의 문제를 해결하기 위해 Deep N Well(DNW) NMOS를 사용하였고, Cascode 트랜지스터를 활용하여 높은 선형성을 얻을 수 있었다. 해당 아날로그 버퍼는 65nm 공정에서 설계되었고 2.5GHz의 속도에서 70dB 이상의 해상도를 달성하였다.

Keywords: analog buffer; analog-to-digital converter; power efficiency; linearity; source follower



[Fig. 1. Schematic diagram of PPSF]



[Fig. 2. Spectrum of the output signal]

이 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 산업기술평가관리원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임('RS-2025-00232599')

References

- [1] R. G. Carvajal *et al.*, "The flipped voltage follower: a useful cell for low-voltage low-power circuit design," in *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, vol. 52, no. 7, pp. 1276-1291, July 2005
- [2] A. M. A. Ali *et al.*, "A 12-b 18-GS/s RF Sampling ADC With an Integrated Wideband Track-and-Hold Amplifier and Background Calibration," in *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, vol. 55, no. 12, pp. 3210-3224, Dec. 2020

Highly Sensitive Hydrogen Sulfide Detection in Solution and Gas States Using an Organic Ligand–SWCNT Semiconductor Sensor

Kyu Won Lee¹, Ryangha Kim², Kun Choi², Jaejun Lee¹, Young Lae Kim^{2*} and Eunji Lee^{1*}

¹Department of Chemistry, Gangneung-Wonju National University, South Korea

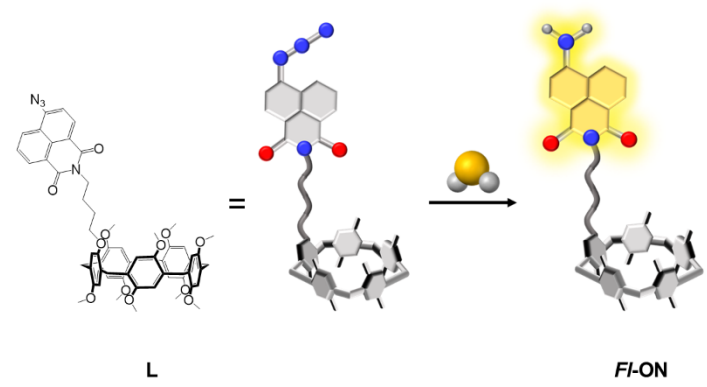
²Department of Electronic & Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju National University, South Korea

*Corresponding Author: ylkim@gwnu.ac.kr, ejlee@gwnu.ac.kr

Abstract

Monitoring hydrogen sulfide (H₂S) is crucial not only due to its roles in biochemical signaling and potential as a biomarker, but also because of its toxicity in environmental processes. Therefore, detecting H₂S in both liquid and gas phases is essential for comprehensive monitoring in biological and environmental systems. Herein, we designed and synthesized a pillar[5]arene-based sensor (L) with 4-azido-1,8-naphthalic for selective H₂S detection. The azide group in the sensor was reduced to an amine group in the presence of H₂S, exhibiting the most significant red shift and fluorescence turn-on. Furthermore, this sensor demonstrated the capability to detect H₂S not only in solution but also in the gas phase. Based on this, the ligand was integrated into a single-walled carbon nanotube (SWCNT) semiconductor to fabricate a sensor device for practical H₂S detection. The sensing performance was evaluated under nitrogen atmospheres with controlled humidity levels — 3% relative humidity (dry) and 45% relative humidity (humid). Under dry conditions, the sensor exhibited approximately 288% higher sensitivity than the pristine SWCNT-based sensor, and a sensitivity increase of about 21% was observed even under humid conditions. These results indicate that the developed sensor has strong potential for on-site detection of H₂S with high selectivity and sensitivity.

Keywords: hydrogen sulfide(H₂S), pillar[5]arene, sensor, semiconductor



References

- [1] Zhang, Y.; Zhang, L., *Microchem. J.*, **2020**,159, 105394.
- [2] Lippert, A. R.; New, E. J.; Chang, C. J., *J. Am. Chem. Soc.* **2011**,133, 10078-10080.
- [3] Zhu, J.; Miao, C.; Wang, X., *J. Photochem. Photobiol. A: Chem.* **2023**, 440, 114659.

The TCR of a Bulk Si-based NPN Temperature Sensor

Seungyeon Kim¹ and Jongwon Lee^{1*}

Chungnam University

e-mail : jwlee80@cnu.ac.kr

Abstract

By employing an NPN structure on a bulk silicon substrate to minimize leakage current, a cost-effective and high-performance IoT sensor is proposed in this paper. The proposed sensor is designed with high-doped top N-region and P-region on N-type wafer. The characteristics of the proposed structure are verified through TCAD simulations.

I. Introduction

In the fourth industrial revolution, it is necessary to make high-performance IoT sensors. The development of silicon-based temperature and pressure(piezoresistive) sensors is being actively researched due to the high reproducibility of stabilized foundry processes. Conventional silicon-based sensors have been predominantly researched on SOI(Silicon-On-Insulator) substrates. However, SOI substrates have a disadvantage of being expensive. So, in this study, we used bulk Si. Within bulk Si structures, a single PN junction is prone to leakage current. Therefore, an NPN structure was employed [1]. This paper focuses on the change in resistance according to the dopant and concentration in the Top N-region of the proposed structure.

II. Simulation

The program used for implementation is Sentaurus

WorkBench from Synopsys, Inc., utilizing the SDE and SDevice tools.

The doping concentration is set to $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ for the N-wafer, $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ for the P-type region, and $1.5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ for the top N-region. For the mobility model, 'PhuMob', 'DopingDependence', and 'IncompleteIonization' were used [2].

The total length(x-axis), width(y-axis), and height(z-axis) of the structure were set to $225 \mu\text{m}$, $1000 \mu\text{m}$, and $1.85 \mu\text{m}$

2.1 The concentration of the top N-region

The concentration of top N region is important because it determines TCR(Temperature Coefficient of Resistance) on temperature sensors. Therefore, this study confirmed that as the doping concentration of the top N-region increases, the TCR also increases.

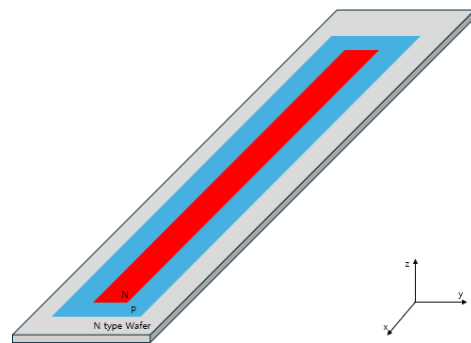


Fig 1. Structure of Si Sensor

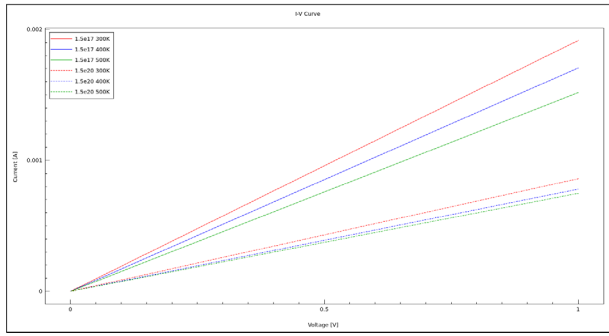


Fig 2. I-V Curve for various concentration

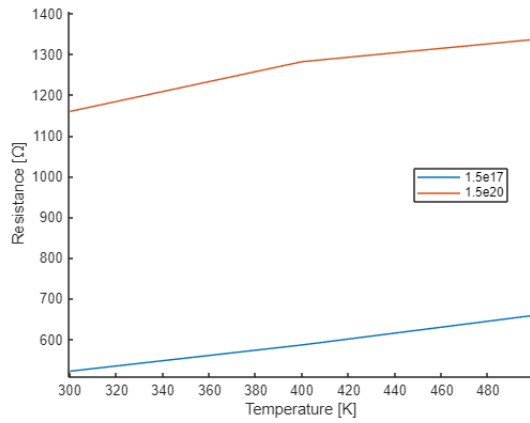


Fig 3. Resistance vs Temperature

While lower concentrations have the advantage of a more linear resistance change, higher concentration benefit from a larger rate of resistance change, resulting in a higher TCR.

2.2 The Dopant species of the top N-region

To improve the TCR, simulations were also designed according to the dopant species. It was confirmed that there was no TCR improvement effect depending on the dopant species.

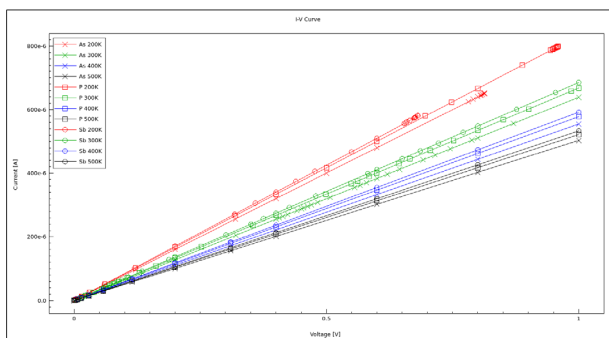


Fig 4. I-V Curve for various dopant species

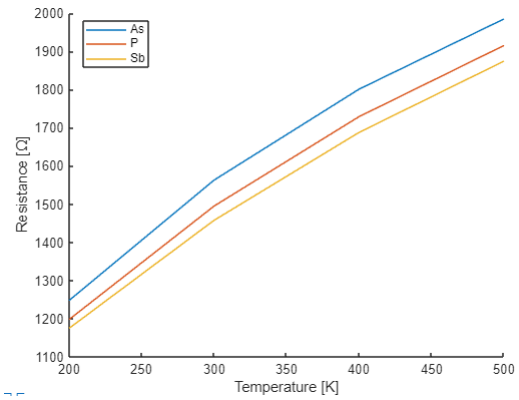


Fig 5. Resistance vs Temperature

III. Conclusion

To establish a suitable TCR for a bulk Si-based NPN temperature sensor, research on parameters such as doping concentration and sensor structure is necessary. In this paper, we have identified the parameters affecting the TCR of bulk Si-based sensors, which are more cost-effective and suitable for mass production.

Acknowledgements

This research(work) was supported by Next-generation Intelligence semiconductor R&D Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Korea government(MSIT)(RS-2024-00406897)

References

- [1] Takaya Sugiura, High-Temperature Operational Piezoresistive Pressure Sensor on Standard CMOS Process, 2023.
- [2] Takaya Sugiura, Review: Numerical Simulations of Semiconductor Piezoresistance for Computer-Aided Designs, 2023.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[포스트세션 2] 인공지능 / 시스템 / 제어

좌장 : 한재호(고려대학교)



A Review of Laminar Microcircuits in the Primary Visual Cortex for Brain-Inspired Computing

Yebeen Yoon¹, Jae-Ho Han^{1*}, and Hyun Jae Jang^{2*}

¹Korea University, Korea ²Korea Institute of Science and Technology, Korea

초록

The neocortex is built from a canonical six-layer microcircuit; in primary visual cortex (V1) orientation-tuned thalamic drive excites layer 4 spiny-stellate neurons, which project vertically to layers 2/3 where horizontal recurrent axons integrate local context and relay activity to deeper targets [1]. Ascending apical dendrites of layer 5 pyramidal neurons receive this supragranular input and send descending collaterals that converge on layers 2/3 and 6, embedding a local feed-forward/feed-back loop [2]. Layer 6 corticothalamic neurons close a longer loop by modulating thalamic relay gain and returning refined predictions to layer 4 [3, 4]. Millisecond-scale inhibition gates these interactions. Parvalbumin-expressing fast-spiking interneurons (PV) deliver rapid feed-forward inhibition that sharpens temporal fidelity; somatostatin-expressing dendrite-targeting interneurons (SOM) provide feedback inhibition that suppresses apical dendritic calcium spikes; and vasoactive-intestinal-peptide interneurons (VIP) transiently disinhibit those dendrites during locomotion or attention, together forming the canonical VIP–SOM–pyramidal disinhibitory circuit [5, 6]. Inspired by this circuitry, cortical laminar principles are already shaping both algorithms and hardware. Predictive-coding networks such as PredNet cleanly separate “prediction” units (layer-1/6–like) from “error” units (layer-2/3–like), enabling sample-efficient video forecasting while approximating back-propagation [7, 8]. Intel Loihi 2 carries the idea into silicon with programmable dendritic and somatic compartments, as well as on-chip three-factor learning rules, allowing μ W-scale weight updates during inference [9]. IBM TrueNorth achieves real-time vision at only a few tens of mW by routing spikes through a hierarchically programmable cross-bar that mimics layer-4-style fan-in and layer-6-style fan-out [10, 11]. Building on this, a four-class soft winner-take-all (sWTA) circuit was implemented on TrueNorth, in which VIP neurons transiently release SOM-mediated feedback inhibition; when placed in front of a Vision Transformer, the module improved accuracy and robustness while keeping spike counts low [12]. Transposing such layer-specific excitation–inhibition motifs onto silicon foreshadows selective-attention co-processors, spike-efficient learning rules, and low-power vision coprocessors—showcasing how neocortical microcircuitry continues to inspire the next generation of intelligent machines.

References

- [1] Sun, Wenzhi, et al. "Thalamus provides layer 4 of primary visual cortex with orientation-and direction-tuned inputs." *Nature neuroscience* 19.2 (2016): 308-315.
- [2] Thomson, Alex M., and A. Peter Bannister. "Interlaminar connections in the neocortex." *Cerebral cortex* 13.1 (2003): 5-14.

- [3] Bastos, Andre M., et al. "Canonical microcircuits for predictive coding." *Neuron* 76.4 (2012): 695-711.
- [4] Sherman, S. Murray, and R. W. Guillery. "Distinct functions for direct and transthalamic corticocortical connections." *Journal of neurophysiology* 106.3 (2011): 1068-1077.
- [5] Tremblay, Robin, Soohyun Lee, and Bernardo Rudy. "GABAergic interneurons in the neocortex: from cellular properties to circuits." *Neuron* 91.2 (2016): 260-292.
- [6] Pi, Hyun-Jae, et al. "Cortical interneurons that specialize in disinhibitory control." *Nature* 503.7477 (2013): 521-524.
- [7] Lotter, William, Gabriel Kreiman, and David Cox. "Deep predictive coding networks for video prediction and unsupervised learning." *arXiv preprint arXiv:1605.08104* (2016).
- [8] Whittington, James CR, and Rafal Bogacz. "An approximation of the error backpropagation algorithm in a predictive coding network with local hebbian synaptic plasticity." *Neural computation* 29.5 (2017): 1229-1262.
- [9] Davies, Mike, et al. "Advancing neuromorphic computing with loihi: A survey of results and outlook." *Proceedings of the IEEE* 109.5 (2021): 911-934.
- [10] Merolla, Paul A., et al. "A million spiking-neuron integrated circuit with a scalable communication network and interface." *Science* 345.6197 (2014): 668-673.
- [11] Akopyan, Filipp, et al. "Truenorth: Design and tool flow of a 65 mw 1 million neuron programmable neurosynaptic chip." *IEEE transactions on computer-aided design of integrated circuits and systems* 34.10 (2015): 1537-1557.
- [12] Iqbal, Asim, et al. "Biologically Realistic Computational Primitives of Neocortex Implemented on Neuromorphic Hardware Improve Vision Transformer Performance." *bioRxiv* (2024): 2024-10.

Acknowledgements

This research was supported by the Korea Institute of Science and Technology (KIST) Institutional Program (2E33561) and the National R&D Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (NRF-2021R1C1C2012843). J.-H. Han was supported by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2025-RS-2022-00156225) supervised by the IITP (Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation) and by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant (No. RS-2024-00415812).

XGBoost 기반 전기차 충전소 최적화 예측모델과 공간 클러스터링 분석

So Min Yim¹, Ji Hoon Seo²

^{1,2}Kangnam University, Korea

초록

국내의 전기차(EV) 보급이 늘어남에 따라 충전소 인프라의 효율적 배치와 운영이 중요한 과제로 떠오르면서 이에 관련된 우수한 연구들이 점진적으로 진행되고 있다[1][2].

본 연구는 기존 연구에서 시도하지 못한 새로운 아이디어로 분석의 신뢰성을 높이기 위해서 인구 밀도 등의 일부 공간 변수에 대한 의존성을 해소하고 단일 모델이 아닌 지역별 수요와 공급의 차이를 반영할 수 있는 분석 모델을 제안한다. 즉, 본 연구는 기존 연구의 한계를 보완하기 위해서 서울시 25 개 자치구를 대상으로 전기차 등록 대수(종속변수)를 예측하였고, 독립변수로는 전기차수, 인구수, 주차면수, 도로연장, 월평균소득, 버스노선수 등 교통·사회·경제·물리적 변수를 통합적으로 활용하였다. 여기서 도로연장은 자치구별 모든 도로의 총 연장 거리이며, 단위는 미터(m)로 사용되었다. 이러한 데이터를 기반으로 XGBoost 회귀모델과 K-Means 클러스터링 기법을 적용하여 수요를 예측하고 유사한 지역군을 군집화한 뒤 지도 기반 시각화를 수행하였다.

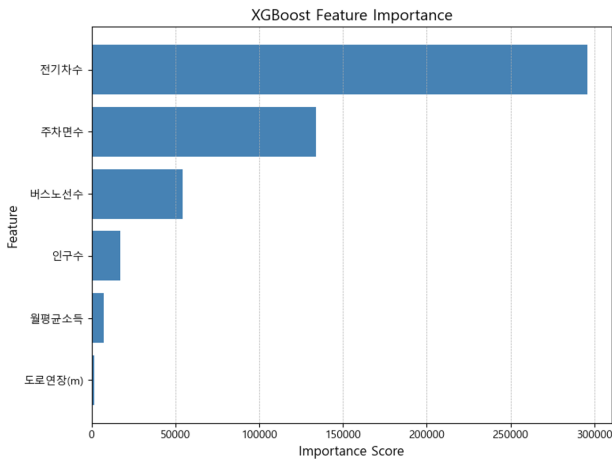


그림 1. XGBoost 변수 중요도 분석 결과

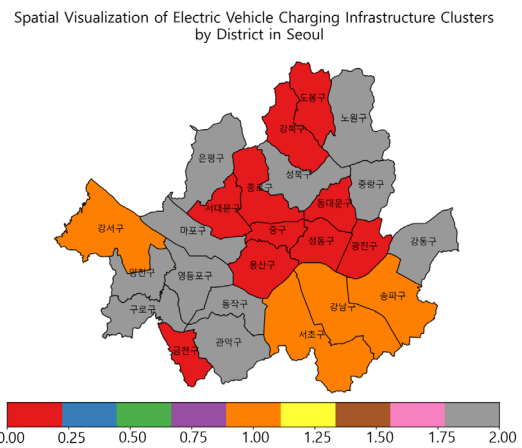


그림 2. 서울시 전기차 인프라 클러스터 지도

분석 결과, [그림 1]을 살펴보면 전기차 등록 대수와 주차 공간이 충전소 배치에 가장 큰 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 버스노선수와 인구 규모 등도 일정 부분 기여하는 것으로 확인된다. 특히 교통 접근성과 버스노선수 변수의 기여도는 기존 단일 변수 기반 분석의 한계를 보완하는 중요한 인사이트를 제공한다.

[그림 2]는 서울시 자치구별 전기차 인프라 클러스터링 결과를 보여주며, 자치구는 공급 취약형(0), 공급 과밀형(1), 균형·성장형(2)의 세 가지 유형으로 구분되었다. 이에 따라 인프라 확충·재배치·단계적 공급 등 지역 특성에 맞는 맞춤형 전략 수립의 필요성이 시사된다. 또한 지도 시각화는 정책 결정자가 지역 간 격차를 직관적으로 이해하는 데 도움을 줄 수 있다.

본 연구는 단순한 전기차 보급 대수만으로는 충전소 설치의 형평성과 효율성을 충분히 확보하기 어렵다는 점을 보여주었으며, 지역별 수요와 특성을 반영한 단계적 확충과 적정 입지 기준 마련이

필요함을 시사한다.

References

- [1] J. Sung, K. Kil, J. Choi, K. Lee, and B. An, "Selecting the optimal location for electric vehicle charging stations," Proceedings of the Korean Institute of Electronics Engineers Conference, vol. 2022, no. Fall Conf., pp. 524-525, Nov. (2022)
- [2] Y.-L. Choi, S.-H. Im, H.-S. Jung, S.-M. Kim, and J.-W. Nam, "Machine Learning based EV Charger Location Optimization," Proceedings of the Korean Institute of Electronics Engineers Conference, vol. 2023, no. Summer Conf., pp. 2652-2656, Jun. (2023)

시계열 기반 AI 모델을 활용한 리튬-이온 배터리 열화 및 수명 예측:

센서 데이터를 중심으로

Kyu Wan Kim¹, Ji Hoon Seo²

^{1,2}Kangnam University, Korea

초록

본 연구는 리튬이온 배터리의 잔여 수명(RUL: Remaining Useful Life)을 예측하고 열화 상태를 조기에 인지하기 위한 AI 기반 분석 기법을 제안한다. NASA Battery Aging Dataset(B0033 셀)의 방전 사이클 데이터를 활용하여, STL 분해를 통해 용량 변화의 추세 및 열화 속도를 파생 변수로 도출하였다. 이를 기반으로 XGBoost 회귀 모델과 LSTM 모델을 병행 설계하여 예측 정확도 및 모델별 특성을 비교 분석하였다. XGBoost는 변수 해석에, LSTM은 열화 급변 구간의 반응성에 강점을 보였으며, STL 기반 변수는 두 모델 모두에서 주요 예측 변수로 확인되었다.

기존 연구에서는 열화 진단을 위한 수명 모델링이 주로 정적인 조건에서 수행되었으며, 다양한 운용 환경을 반영한 시계열 기반 예측에는 한계가 존재해 왔다[1]. 특히 배터리의 열화는 비선형적이고 시간에 따라 변화하는 특성을 가지므로, 이를 반영할 수 있는 LSTM 기반 딥러닝 기법의 적용 필요성이 제기되고 있다[2]. 본 연구는 이러한 시계열 AI 기법을 실제 센서 데이터에 통합 적용함으로써, 기존 회귀 기반 진단 방식의 한계를 극복하고자 하였다. 분석 결과, STL 기반 열화 지표는 모델 성능 향상에 실질적 기여를 하였으며, 이는 향후 산업 현장의 실시간 수명 예측 및 유지보수 전략 수립에 유용하게 활용될 수 있다. 이에 따라 본 연구는 AI 기반 예측과 센서 기반 진단 기술을 융합한 배터리 열화 인지의 실용적 모델을 제시한다.

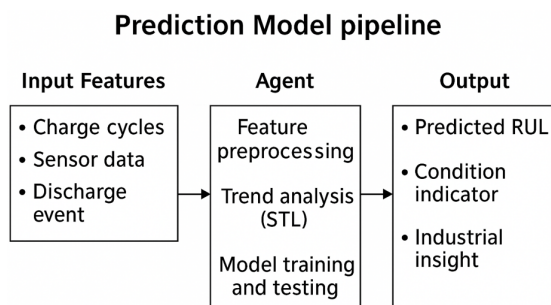


그림 1. 배터리 열화 및 수명 예측을 위한 분석 파이프라인

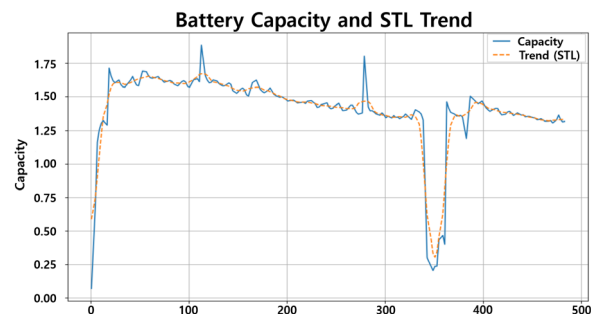


그림 2. 배터리 열화 및 수명 예측을 위한 STL 기반 시계열 분석 시각화

References

- [1] Wang, Z. (2025). Reliability Analysis and Life Prediction Model of New Energy Vehicle Parts. *Innovation in Science and Technology*, 4, 58-67.
- [2] Xiaoyu Li, Lei Zhang, Zhenpo Wang, Peng Dong. (2019). Remaining useful life prediction for lithium-ion batteries based on a hybrid model combining the long short-term memory and Elman neural networks, *Journal of Energy Storage*, Volume 21, 2019, Pages 510-518, ISSN 2352-152X.

LLM 기반 측면 추출과 CO-Attention을 결합한 한국어 게임 리뷰 감성분석

Hwan Woong Jeong¹, and Junseok Lee¹

¹Department of AI Convergence Engineering, Kangnam University, Korea

초록

기존 단일 리뷰 기반 감성분석은 리뷰의 다면적 특성을 반영하지 못하고 전체적인 감성만 분류하는 한계를 갖는다[1]. 또한, 블랙박스 형태의 학습 과정으로 인해 해석 가능성이 부족하여 실무진에게 구체적인 통찰력을 제공하는 데 어려움이 있다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하고자 리뷰에서 추출한 측면, 카테고리, 감성 근거를 구조화하여 End-to-End 측면 감성 분석 파이프라인을 제안한다. 이를 통해 BERT 계열 딥러닝 모델의 블랙박스 문제를 해결하고, 입력 단계에서부터 설명 가능성을 확보함으로써 해석 가능한 감성분석을 가능하게 할 것으로 기대한다.

실험을 위해 2020년 05월부터 06월까지 STEAM 플랫폼의 한국어 게임 리뷰 데이터[2]를 활용하였다. 수집된 데이터는 게임 이용자 특유의 은어와 속어가 포함된 실제 사용 언어 패턴을 반영한다. GPT-4.1의 Few-shot template 기법[3]을 통해 각 리뷰에서 측면, 카테고리, 감성 근거 등의 정보를 체계적으로 추출하였으며, 최종 데이터셋은 추출한 샘플 1000개(긍정 500개, 부정 500개)를 8:2 비율로 학습 및 검증에 활용하였다.

제안된 모델은 KLUE/RoBERTa-base 모델[4]에 삼중 Co-Attention 메커니즘[5]을 통합하였으며 기존 단일 리뷰 입력방식의 베이스라인과 비교했다. 그 결과, 정확도 0.7750, F1-Score 0.7749로 베이스라인 모델 대비 약 5.43%의 성능 향상을 확인했다. 제안된 모델에서 베이스라인 대비 성능 향상이 이루어진 것은 Attention 다양성 분석 결과 또한 학습이 진행될수록 구조화된 정보 간 의미 있는 상호작용이 발생함을 시사한다. 본 연구는 측면 기반 감성분석에서 구조화된 정보 추출과 다방향 Attention 결합이 기존 감성분석의 해석적 한계를 극복하고, 설명가능한 AI 구현을 위한 실질적 방법론을 제공함을 입증한다. 나아가, 제안된 파이프라인은 다양한 리뷰 도메인으로 확장할 수 있는 범용 프레임워크로서의 잠재력을 지닌다.

References

- [1] Jieun Woo, Jiwon Heo, Taeyeon Won, Youngjoong Ko, and Yun-Gyung Cheong, "Aspect-Based Sentiment Analysis of Korean Reviews," in 한국정보과학회 학술발표논문집, 2024, pp. 1058-1060.
- [2] Steam, "Store: Steam," [Online]. Available: <https://store.steampowered.com/>. [Accessed: 9-Jul-2025].
- [3] Água, M., Antonio, N., P. Carrasco, M., & Rassal, C. (2025). Large Language Models Powered Aspect-Based Sentiment Analysis for Enhanced Customer Insights. *Tourism & Management Studies*, 21(1), 1-19. <https://doi.org/10.18089/tms.20250101>
- [4] "klue/roberta-base," Hugging Face Model Hub. [Online]. Available: <https://huggingface.co/klue/roberta-base>
- [5] A. Vaswani *et al.*, "Attention is all you need," in *Advances in Neural Information Processing Systems 30*, pp. 5998–6008, 2017.

인공지능을 적용하기 위한 품질 데이터 검증 연구

정성윤

인팩 일렉스㈜

초록

차량 내 전장품의 장착 비율이 증가하여 전장 시스템의 동작 신뢰성은 주행 안전에 필수적인 요소로 자리잡았다. 그래서 전장품의 품질 관리는 자율주행차의 안전 주행을 위한 기본 전제 조건이 되고 있다. 대량 양산하는 전장품의 품질을 확보하기 위하여 사용하는 전통적인 통계적 방법인 식스-시그마 방법론은 100 만개 중에 3 개의 불량을 용인하는 가장 현실적인 방법이다.

그러나, 아직 100 만개 정도의 품질 데이터가 확보 되지 못한 신제품의 경우 통계적 방법론의 정합성 여부는 먼 미래의 일이 된다. 불량을 사전 검출하기 위하여 인공지능을 활용할 수 있는 방법을 찾아 보고자 한다. 하기는 차량 출입을 손가락의 터치로 인식하는 전장품의 Capacitive 터치의 측정 데이터이다. 작은 샘플의 데이터를 AI 를 활용하기 위하여 통계적 방법을 활용하여 AI 의 예측 알고리즘을 적용하기 위한 사전 데이터를 검증하고자 한다.

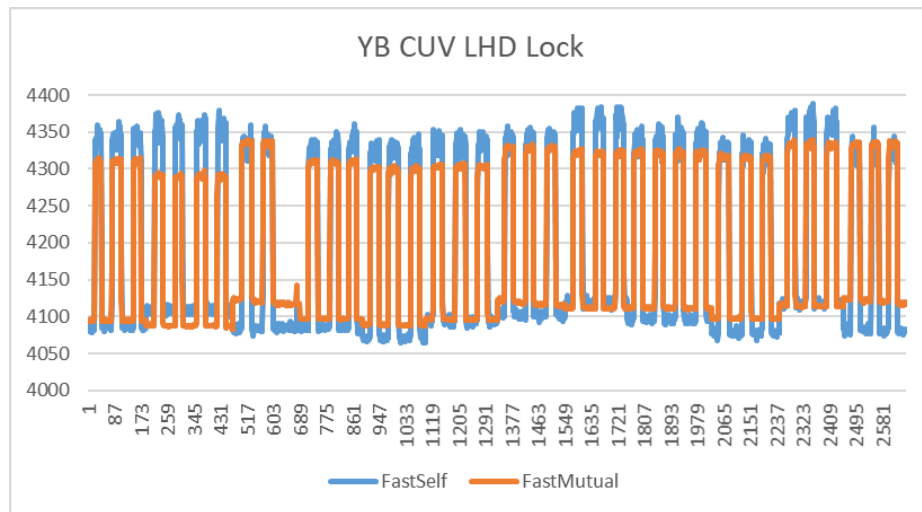


그림 1. 12 개 샘플의 터치 데이터

References

- [1] 김정혁, “빅데이터 기반 6 시그마 방법론의 유효성 분석” 석사학위 논문
- [2] Hyongsik Nam et al, “Review of Capacitive Touchscreen Technologies: Overview, Research Trends, and Machine Learning Approaches” <https://ieeexplore.ieee.org/document/7563413>, 2001

분할 워크로드 기반 운용 비용 최적화 이기종 AI 반도체 클라우드 플랫폼 설계

김한결*, 우홍욱**

*성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

**성균관대학교 소프트웨어학과

e-mail : taylor4359@skku.edu, hwoo@skku.edu

Split Workload-based Operational Cost Optimization Heterogeneous AI Semiconductor Cloud Platform Design

Hangyeol Kim and Honguk Woo
Sungkyunkwan University

Abstract

The rapid growth of Large Language Models (LLMs) has led to soaring data center power consumption and costs, making energy efficiency a critical issue. This paper introduces a dynamic management platform to optimize LLM operational costs. Our approach involves partitioning workloads into functions, placing them on the most power-efficient hardware, and then dynamically re-placing them based on real-time monitoring of energy usage. This cyclical process of prediction, placement, and adaptation enhances the sustainability of LLM services and offers a practical solution to rising energy costs.

I. 서론

LLM 서비스 수요가 급증함에 따라 추론 및 학습 클러스터의 전력 소비량 감소가 핵심 기술로써 부상하고 있다. 최근 연구는 GPU 1대당 수백 와트, 클러스터 기반 수백 kW의 전력이 요구됨을 보고하며 전력 및 탄소 저감을 위한 시스템 수준의 대응이

시급함을 알 수 있다[1, 2]. 그러나 모델 최적화나 하드웨어 가속에 집중된 기존 연구들은 전력 기반의 스케줄링과 비용 최적화 측면에서 상대적으로 부족하다[3]. 이에 본 논문은 LLM 워크로드를 함수 단위로 세분화하고, 각 분할 워크로드의 전력 프로파일링을 이용하여 동적 배치 및 오케스트레이션을 결정하는 플랫폼 설계를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 플랫폼은 중앙집중식 컨트롤러에 의해 오케스트레이션 되는 GPU, NPU 등이 장착된 노드 및 클러스터를 관리하는 온프레미스 배포 환경이다. 분할된 워크로드를 기반으로 훈련 및 추론 작업이 요청이 되면, 워크로드가 사용하는 라이브러리 및 연산자(Operator)의 종류에 따라 전력 프로파일이 우수한 가속기를 사용하는 노드 및 클러스터에 배치하고 이를 주기적으로 모니터링하여 소비 자원의 흐름에 따라 워크로드를 재배치하는 형식으로 자원의 효율성을 증가시켜 소비전력을 감소시키는 방식으로 운용 비용을 최적화한다.

II. 클라우드 플랫폼 배경 기술

2.1 분할 워크로드

LLM 워크로드는 단일의 거대한 단위로 처리되어 전체 작업의 시작부터 끝까지 동일한 컴퓨팅 자원에 할당되는 것이 일반적이다. 그러나 추론 및 훈련

과정은 서로 다른 특성을 가진 여러 단계로 구성된다. 본 연구에서 제안하는 분할 워크로드는 이러한 LLM 워크로드를 모델의 구조적 또는 기능적 단위를 기준으로 더 작은 함수로 나누는 개념이다[1, 4]. 이는 클라우드 컴퓨팅의 FaaS(Function as a Service)와 유사한 접근 방식으로, 거대한 작업을 잘게 쪼개어 각 함수의 특성에 맞는 최적의 환경에서 독립적으로 실행하는 것을 목표로 한다.

2.2 워크로드 비용 계산

효과적인 전력 기반 스케줄링을 위해서는 각 워크로드가 특정 하드웨어에서 실행될 때 소모하는 전력량을 정확하게 측정하고 이를 바탕으로 비용으로 정량화 하는 과정이 필수적이다.

본 연구에서는 워크로드 단위의 정밀한 에너지 소비량 측정을 위해 오픈소스 도구인 Kepler를 활용하는 방안을 기반으로 한다. 수집된 프로세스별 자원 사용 데이터와 총 전력 소모량 데이터를 분석하여, 노드 전체의 전력 소비량을 개별 워크로드에 비례하여 할당한다. 에너지 소비량은 워크로드의 실행 비용을 산정하는 핵심 지표로서 스케줄러는 이 비용 정보를 바탕으로 에너지 효율적인 노드에 워크로드를 배치하거나 재배치하는 등의 오케스트레이션을 수행한다.

III. 클라우드 플랫폼 동작 설계

3.1 예측 기반 최적 할당

워크로드가 시스템에 처음으로 유입될 때, 최적의 전력 효율적인 하드웨어 조합에 할당하는 배치 단계이다. 워크로드의 과거 로그 데이터와 트래픽 패턴을 오프라인으로 학습한 전력 예측 모델을 통해 해당 워크로드의 예상 부하를 추정한다.

스케줄러는 예측된 워크로드 부하와 하드웨어 프로파일을 결합하여 가능한 가속기 조합별 예상 전력 소비량과 성능을 시뮬레이션한다. 분석 결과를 바탕으로 전력 효율, 처리 속도 등 목표에 가장 부합하는 최적의 하드웨어 조합을 선정하고, 해당 자원에 워크로드를 배치한다.

3.2 동적 재배치

초기 배치가 완료된 워크로드는 고정된 상태로 머무르지 않는다. 플랫폼은 실시간 모니터링을 통해 변화하는 상황에 맞춰 워크로드를 능동적으로 재배치함으로써 클러스터 전체의 비용을 지속적으로 최적화한다.

모니터링 결과에 따라 워크로드 재배치를 결정한다.

특정 가상 클러스터에서 에너지 비용 급증이 예측이 된다면, 스케줄러는 해당 워크로드를 자원 적합도가 더 높은 다른 클러스터로 실시간 마이그레이션을 수행한다.

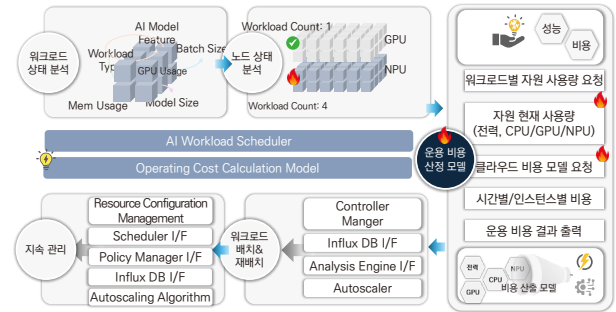


그림 1. 클라우드 플랫폼 동작 구조

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 LLM의 서비스 수요 급증에 따른 막대한 전력 소비와 운영 비용 문제를 해결하기 위한 동적 워크로드 관리 플랫폼을 제안했다. 제안된 플랫폼은 워크로드를 함수 단위로 분할하고, 예측 모델을 기반으로 최적의 하드웨어에 배치하며, 지속적인 모니터링을 통해 변화하는 상황에 맞춰 동적 재배치를 수행하는 순환적 최적화 메커니즘을 핵심으로 한다. 특히 다양 AI 반도체의 전력 효율(전성비)을 핵심 지표로 활용하여 비용을 정량화 하고, 이를 바탕으로 최적 배치를 수행하는 접근 방식을 통해 시스템 전체의 에너지효율을 극대화하는 설계를 진행했다. 이러한 예측, 배치, 모니터링, 재배치 그리고 모델 강화로 이어지는 피드백 루프는 클러스터가 항상 최적의 운영 상태를 유지하도록 보장하며, 이는 LLM 서비스의 지속 가능성을 높이는 데 크게 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] G. Wilkins, Hybrid Heterogeneous Clusters Can Lower the Energy Consumption of LLM Inference Workloads, e-Energy '24.
- [2] A. S. Luccioni, Estimating the carbon footprint of BLOOM, a 176B parameter language model, Journal of Machine Learning Research, 2023.
- [3] E. Livshits, Properties of Inconsistency Measures for Databases, SIGMOD '21.
- [4] Z. Wang, GEMINI: Fast Failure Recovery in Distributed Training with In-Memory Checkpoints, SOSP '23.

의미 임베딩과 지식그래프 어텐션을 활용한 콜드스타트 대응 하이브리드

도서 추천 시스템

Yubin Lee¹, and Junseok Lee¹

¹Department of AI Convergence Engineering, Kangnam University, Korea

초록

기존 도서 추천 시스템은 평점이나 클릭 로그 같은 사용자 행동 데이터에 대한 의존성으로 인해 신규 사용자 또는 서비스 초기 단계에서 추천 품질이 급격히 저하되는 콜드스타트 문제를 겪는다. 또한 협업 필터링 및 콘텐츠 기반 필터링은 데이터 희소성과 도서의 의미적 이해 부족으로 단순한 유사도 기반 추천 한계를 지닌다.

본 연구는 이러한 한계를 극복하기 위해 지식그래프 어텐션 신경망(KGAT), SBERT 기반 의미 임베딩, 그리고 대규모 언어모델(LLM)을 융합한 하이브리드 도서 추천 시스템을 제안한다. 제안 시스템은 다음의 특징을 갖는다. 첫째, 사용자의 자연어 쿼리만으로도 고품질 추천이 가능하며, 도서 메타데이터를 활용해 도메인 특화 지식그래프를 구축하고 결측 정보를 자동 보완한다. 둘째, SBERT를 통해 도서 설명과 사용자 쿼리를 의미 공간에 임베딩하고, KGAT 모델로 지식그래프의 구조적 관계를 학습한다. 마지막으로, LLM을 활용해 쿼리 속 감성 및 장르 키워드를 추출하여 최종 추천 결과를 생성한다.

제안된 시스템의 성능은 사용자 행동 데이터 없이 측정된 비지도 지표를 통해 평가되었다. 특히, 다양성(엔트로피 1.359)에서 기존 방식 대비 뚜렷한 향상을 보여 콜드스타트 환경에서도 효과적인 추천 성능을 입증했다. 본 시스템은 의미적 특성과 구조적 관계, 사용자 의도를 종합적으로 반영하여 개인화된 도서 추천을 제공하며, 설명 가능성과 추천 다양성 측면에서 실용적인 프레임워크로 기능한다.

References

- [1] 조성웅, 오종권, 이지원, 손휘재. 지식그래프 기반의 문화유산 추천시스템. 정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지, 31(2), 76-83. 10.5626/KTCP.2025.31.2.76 (2025)
- [2] 김정민, 신영욱, 전태수. 지식 그래프(Knowledge Graph)를 활용한 사용자 맞춤 도서 추천 시스템. Proceedings of KIIT Conference, 제주. (2023)
- [3] 콘도코이치, 황세웅, 황석형, 정영애. Word2Vec 유사도 기반의 협업 필터링을 이용한 도서 추천 시스템 제안. JOURNAL OF PLATFORM TECHNOLOGY, 13(1), 31-42. (2025)
- [4] 임정훈, 조창제, 김종현. 연관규칙을 활용한 학교도서관 도서추천시스템 개발에 관한 연구. 정보관리학회지, 39(3), 1-22. <https://doi.org/10.3743/kosim.2022.39.3.001> (2022)
- [5] 최준혁, 김대수, 임기욱. 군집분석과 베이지안 학습을 이용한 웹 도서 동적 추천 시스템. 한국지능시스템학회

논문지, 12(5), 385-392. (2002)

[6] 김진천. 시맨틱웹 기반 개인 맞춤형 도서 추천 시스템. 한국정보통신학회논문지, 15(5), 1097-1104. (2011)

[7] 김선준, 오혜연. 위치 정보를 이용한 오프라인 도서 추천 시스템. 한국 HCI 학회 학술대회, (2012)

Multimodal-based YouTube Shorts Views Analysis

¹SungJun An, ¹Chanhee Kwak

¹KangNam University, Korea

초 록

현재 디지털 콘텐츠 소비시장의 핵심으로 자리잡은 숏폼(Short-Form) 콘텐츠는 빠른 소비 패턴으로 인해 시청자의 즉각적인 흥미 유발이 중요하다. 본 연구는 숏폼 콘텐츠의 대표적인 형태이자 가장 많은 사용자를 보유한 YouTube Shorts[1]를 중심으로 콘텐츠의 썸네일 이미지와 제목 텍스트가 콘텐츠 조회수 성과에 미치는 영향을 탐색한다. 이를 위해 유튜브 API와 크롤링을 통해 썸네일 이미지, 조회수, 좋아요 수, 싫어요 수를 수집했으며, 각 조회수를 구간별로 나눠 모델을 학습시켰다. 기존 연구들은 주로 다중 회귀분석, 구조방정식, 분산분석 등과 같은 통계적 분석 방식이나 다중모형 분석을 활용하여 조회수에 영향을 미치는 요인들을 분석하는 데 중점을 두었다 [2]. 또한, 일부 연구에서는 SHAP와 같은 설명 가능한 AI 기법을 사용해 이러한 요인들의 영향력을 해석하였다[3].

그러나 시청자의 즉각적인 흥미 유발에 결정적인 영향을 미치는 썸네일 이미지와 제목 텍스트의 복합적인 상호작용을 통합 분석하여 각 요소의 영향력을 심층적으로 해석하고 예측 정확도를 높인 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 제안하는 방법론은 YouTube Shorts의 시각적 및 언어적 특성을 포착하기 위해 멀티모달 학습에 강점을 지닌 CLIP 기반 임베딩을 핵심적으로 활용한다. 특히 CLIP은 이미지와 텍스트 간의 의미론적 관계를 동시에 학습하는 강력한 능력을 지니고 있어, 썸네일과 제목 간의 상호작용이 조회수에 미치는 복합적인 영향을 분석하는데 이상적인 도구이다.

CLIP을 이용해 추출된 특징들을 Fusion 기법을 통해 결합하고, 경량 머신러닝 분류 모델인 LighGBM을 학습시켜 특정 조회수 구간에 속할 확률을 예측하였다. SMOTE 기법으로 학습 데이터의 클래스 불균형을 해소하고 OpenAI의 CLIP-ViT-Large-Patch14 모델을 적용한 결과, 모델은 최종적으로 0.67의 분류 정확도를 달성하였다. 특히 10만~100만 조회수 구간에 속하는 영상에 대해서는 0.78의 높은 F1-Score와 0.83의 Recall을 기록하여 가장 우수한 예측 성능을 보였다. 주요 조회수 구간에서의 높은 예측력은 실제 콘텐츠 기획에 활용될 잠재력이 충분함을 시사한다.

궁극적으로 본 연구는 콘텐츠의 시각적(썸네일), 언어적(제목) 요소가 조회수에 미치는 영향을 분석해 크리에이터, 엔터테인먼트 산업, 방송사에서 효과적인 콘텐츠 기획 전략 수립에 기여할 수

있을 것으로 기대된다.

References

- [1] 한국저작권위원회, 저작권 기술산업 통계정보 보고서, 국내외 스포츠 이용 현황 (2024)
- [2] Kim, Jongho, Kim, Kihan. "Determinants of Consumption for YouTube Sport Contents: A Big Data Analysis using Multi-level Regression", pp.28-51, No.3, Vol.26, 2021, June
- [3] Lee Seung-kyu, Oh hyeon-jin, Lim hyeong-seop, Choung eun-hye. "Predictive Views per Subscriber Counts Model Based on Youtube Thumbnails Using Machin Learning Approach". The Journal of the Korea Contents Association, pp.5-6, 2024, May

Adaptive Window Size Selection for MDD Diagnosis using Reinforcement Learning

Chang-Hoon Ji¹, Jiyoung Hwang¹, Woohyeok Choi¹, Jun-Mo Kim¹, Tae-Eui Kam^{1*}

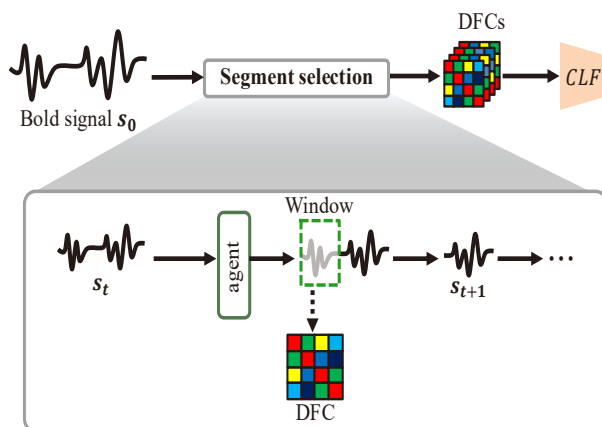
¹Dept. of Artificial Intelligence, Korea University, Republic of Korea

*Corresponding Author: kamte@korea.ac.kr

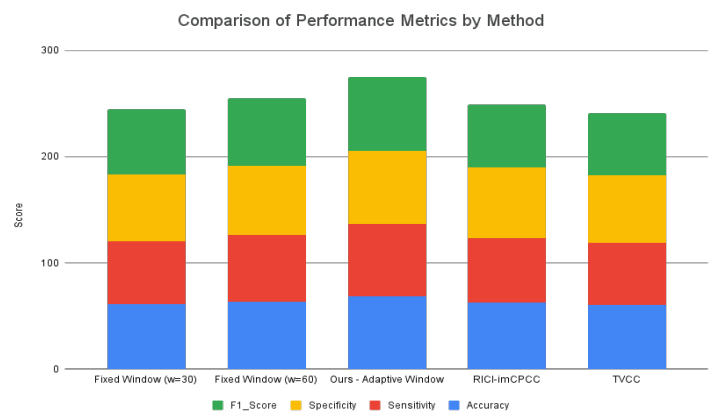
Abstract

Major Depressive Disorder (MDD) is characterized by complex, time-varying aberrations in brain networks. However, conventional dynamic functional connectivity (dFC) analysis is limited by its "one-size-fits-all" approach of applying a fixed window size that fails to capture these individual differences. To address this, a personalization framework based on reinforcement learning (RL) is proposed, specifically utilizing the Rainbow DQN algorithm [1]. As illustrated in Figure 1, this framework searches for an optimal single window size for each subject. The proposed RL agent is designed to learn a data-driven policy that selects a window size capable of generating the most diagnostically useful dFC features, with the agent utilizing the final classification performance as a direct reward. Through rigorous validation on an MDD dataset, our model achieved superior diagnostic accuracy, surpassing both fixed-window and other state-of-the-art adaptive techniques, as shown in the performance comparison in Figure 2. In this process, it was discovered that MDD patients and healthy controls exhibit different window size preferences, suggesting a new data-driven biomarker. Specifically, the tendency for MDD patients to prefer longer windows is a significant finding that may reflect the cognitive inflexibility and sluggish brain dynamics associated with the disorder. The present study demonstrates that the optimization of window size via RL is a powerful strategy that enhances both the accuracy and interpretability of dFC analysis. This framework has the potential to facilitate precise diagnosis, customized to the distinct brain state of individual patients, thereby serving as a fundamental basis for the development of objective biomarkers to assess treatment response.

Keywords: Dynamic Functional Connectivity, Reinforcement Learning, Major Depressive Disorder



[Fig. 1. Overview of the Proposed RL Framework]



[Fig. 2. Performance Comparison of the Baseline Models]

References

[1] Hessel, Matteo, et al. "Rainbow: Combining improvements in deep reinforcement learning." Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. Vol. 32. No. 1. 2018.

Continuous Memory Feature Fusion for Realistic Anomaly Image Synthesis

Ji Min Kim¹, Ji Seok Kim¹, and Jong Hwan Ko¹

¹ Sungkyunkwan University, Korea

초록

Anomaly detection aims to identify instances with abnormal or defective patterns that deviate from normal data. It is essential in various vision applications, including defect detection, medical imaging, and surveillance. Unlike supervised classification, anomaly detection faces challenges due to the rarity of anomalous samples.

To address this, data augmentation methods have been proposed, mainly categorized into pixel-level and feature-level approaches. Pixel-level augmentation replaces regions of normal images with out-of-distribution patches, object parts from other images, or noise-masked regions. However, these often yield unrealistic anomalies that degrade performance in supervised settings. Feature-level methods apply noise (e.g., Perlin, Gaussian) to features extracted from normal images, improving realism but lacking explicit anomaly generation. To overcome these issues, we propose a novel feature-level anomaly synthesis framework using continuous memory representations.

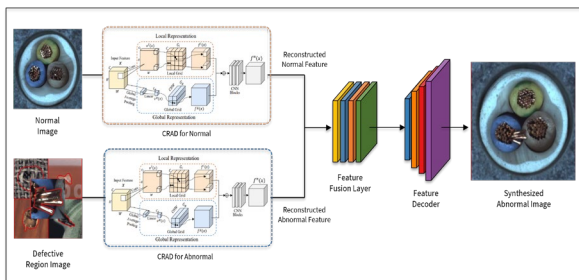


Fig 1. Overall Structure of Proposed Method



Fig 2. Qualitative results of our approach

Leveraging normal images and cropped anomaly regions, we train a CRAD [1] model to generate features that are fused via a synthesis module and reconstructed into anomalous images with a decoder. The fusion process applies transformations such as scaling, interpolation, padding, and translation to control anomaly size and position at sub-pixel precision. Our method generates semantically realistic anomalies grounded in real features, achieving high fidelity with low computational cost. This work was supported by SEMES-Sungkyunkwan University collaboration funded by SEMES and National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government(MSIT).

References

- [1] Lee, Joo Chan, et al. "Continuous memory representation for anomaly detection." ECCV. (2024)

A Modular Real-Time Gas Monitoring System for Replaceable Electrochemical Sensors

Min Hyeok Yang¹, Jae Hyeon Kim¹, and Young Lae Kim^{1*}

¹Department of Electronic and Semiconductor Engineering, Gangneung-Wonju Nat'l University, Korea

Abstract

NO_x, CO, NH₃ 등의 유해가스 노출은 산업 현장과 도시 환경에서 여전히 주요한 안전 및 환경 문제로 남아있다. 이들 가스는 일정 농도 이상 흡입 시 생명을 위협할 수 있으며, 전 세계적으로 매년 다양한 규모의 유해가스 누출 사고가 보고되고 있다. 실시간 감지와 초기 대응의 미흡으로 인해 피해가 커지는 사례도 지속적으로 발생하고 있다 [1, 2].

기존의 유해가스 감지 시스템은 대부분 특정 가스에 맞춰 고정형으로 설계되어 있으며, 감지 대상 가스가 변경될 경우 시스템의 전면적인 재설계가 요구된다. 또한 전기화학식 센서는 개체별 출력 특성이 달라 정밀한 보정이 요구되기 때문에 비전문가가 운용하기 어려운 한계가 있다. 특히, 최근 개발된 착용형 유해가스 감지 시스템 역시 이러한 한계를 가지며, 다양한 가스를 선택적으로 감지하기 어려운 구조를 가지고 있다[2].

본 연구에서는 다양한 전기화학식 가스 센서를 손쉽게 교체하고 운용할 수 있는 모듈형 아두이노 기반 가스 모니터링 시스템을 개발하였다. 시스템은 객체지향 프로그래밍 구조를 기반으로 하여 센서별 클래스를 정의하고, 센서 간 물리적 핀 교체만으로 감지 대상을 즉시 전환할 수 있도록 구현하였다.

측정된 센서 전류 값은 아날로그 입력을 통해 수집되며, 대기 중 초기 전류를 기준으로 변화율(%)을 계산하여 모바일 앱(Blynk)에 실시간으로 시각화된다. 설정된 변화율 임계치 초과 시 앱을 통해 사용자에게 즉각적인 경고 알리를 전송함으로써, ppm 단위 보정 없이도 유해가스 노출 상황을 직관적으로 인지할 수 있는 구조를 갖추었다.

제안된 시스템의 작동 검증을 위해, 센서의 최종 보정 이전 단계에서는 실험실용 정밀 측정기기(Keithley2450)를 활용하여 기준 전류 데이터를 확보하고, 이를 Python 기반 시리얼 통신을 통해 아두이노 시스템에 전달함으로써 전체 감지, 경보 흐름을 시뮬레이션하였다. 그 결과, 센서 교체 구조, 모바일 경보 시스템 등 전체 기능이 일관되게 동작함을 확인할 수 있었다.

본 시스템은 산업 현장, 실내 공기질 모니터링, 연구소 환경 등 다양한 응용 분야에서 실용적으로 활용 가능하며, 향후 웨어러블 기기 형태로 확장함으로써 휴대성과 실시간 모니터링 기능을 갖춘 차세대 개인 맞춤형 유해가스 감지 플랫폼으로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: toxic gas detection; real-time gas monitoring; alert system; IoT(Internet of Things); Arduino; data visualization

References

[1] J. Selman, J. Spickett, J. Jansz, and M. Benjamin, "An investigation into the rate and mechanism of work-related confined space fatalities," *Safety Science*, vol. 109, pp. 333–343, 2018.

[2] Rajakumar, P.; Choi, J. "Helmet-Mounted Real-Time Toxic Gas Monitoring and Prevention System for Workers in Confined Places," *Safety and Health at Work*, 2023.

도로 인프라 안전 강화를 위한 경량 YOLOv8n 실시간 손상 검출

이찬호*, 유은성**, 이미르*** 송우진****, 최진영*****, 김규하*****, 이상현*****

호남대학교 컴퓨터공학과

e-mail : cksgh05@naver.com*, jd962q@gmail.com**, pumi08073@gmail.com***,
swj1041405@gmail.com****, rhdtlrwjr26@naver.com*****, kim9659@honam.ac.kr*****,
leesang64@honam.ac.kr*****

Lightweight YOLOv8n-Based Real-Time Damage Detection for Enhanced Road Infrastructure Safety

Chan-Ho Lee*, Eun-Seong Yu**, Mi-reu Lee***, Woo-Jin Song****, Jin-Yeong Choi *****,
Kyu-Ha Kim*****, Sang-Hyun Lee*****

Department of Computer Engineering, Honam University, Korea

Abstract

Road surface defects pose significant challenges to traffic safety and maintenance budgets. This study proposes a real-time (25 FPS) detection approach for potholes and cracks using the lightweight object-detection model YOLOv8n. The network was trained for 500 epochs on a combined dataset of 4,481 images—merging the public Roboflow Road Damage Detection set with additional field-collected data—and evaluated on an NVIDIA RTX 6000 GPU. The model achieved a mean average precision (mAP) of 0.82 and an overall accuracy of 0.83. With only 3.2 million parameters, the model is compact enough to run directly on vehicle-mounted edge devices, enabling on-board diagnostics without cloud connectivity. Early-stopping analysis further showed that performance plateaued after roughly 130 epochs, suggesting the network can be rapidly fine-tuned with newly collected data at low computational cost. These results indicate the model's potential to

automate road inspections, reduce maintenance costs, and prevent traffic accidents. Future work will focus on expanding the dataset to include nighttime and unpaved-road scenarios and on further backbone optimizations to enhance speed and accuracy for edge deployments.

I. 서론

2022년 1월부터 2024년 2월까지, 총 26개월 동안 국민신문고·안전신문고 등에 접수된 포트홀 관련 민원은 52,262건으로 집계되었으며, 2024년 1월 이후 전년 동기 대비 약 5.8배 급증하였다[1].

2024년 2월 평택제천고속도로에서는 포트홀로 인해 달리던 차량 18대의 타이어가 파손되는 사고도 발생하였다[2].

이처럼 도로 손상이 빈발하는 현실은 인프라의 선제적·지속적 모니터링 필요성을 시사한다. YOLO(You Only Look Once) 계열 객체 탐지기는 단일 신경망 구조로 실시간 탐지가 가능하며, YOLOv8n 모델은 약 3.2 M 파라미터의 경량 및 고속이라는 장점이 있다[3].

본 연구는 YOLOv8n을 활용해 포트홀·균열 등 도로 손상을 실시간으로 탐지하고, 엣지 디바이스 적용

가능성을 실증하고자 한다.

II. 본론

2.1 데이터셋 구성 및 전처리

데이터셋	훈련	검증	합계
	데이터	데이터	
Road Damage Detection (Roboflow)	2,416	1,093	3,509
자체 촬영 이미지	748	224	972
합계	3,164	1,317	4,481

표 1. 데이터셋 구성 표

표와 같이 데이터셋은 Roboflow의 Road Damage Detection 공개 데이터셋과 자체 촬영 이미지를 통합해 총 4,481장으로 훈련 3,164장, 검증 1,317장을 구축하였다. 모든 이미지는 3개 클래스로 균열, 악어균열, 포트홀로 재라벨링하였으며, Mosaic 0.7, 수평 플립 0.7, $\pm 15^\circ$ 회전, Shear 0.1 등 증강 기법을 적용해 모델의 일반화 성능을 높였다.

2.2 모델 구조 및 학습 설정

탐지 모델로 YOLOv8n(3.2 M parameters, 8.7 GFLOPs)을 채택하였다.

하이퍼파라미터는 epochs = 500, batch = 16, learning rate = 0.001, Optimizer = SGD, Scheduler = Cosine Annealing으로 설정하고, NVIDIA RTX 6000 (48 GB) GPU에서 학습을 수행하였다.

2.3 성능 평가

Model	mAP	Recall	Precision	Accuracy	FPS
YOLOv8n	0.82	0.84	0.75	0.83	25

표 2. 성능 평가 결과

표 2는 YOLOv8n의 성능 평가 결과이다. 검증 세트 기준 mAP(0.5) 0.82, Recall 0.84, Precision 0.75, Accuracy 0.83, FPS 25를 달성하였다. 클래스별 mAP은 균열 0.85, 악어균열 0.78, 포트홀 0.78의

성능을 보였다.

2.4 기존 연구 비교

모델	mAP	특징
YOLOv8n	0.82	25 FPS, 엣지-디바이스 직행
MN-YOLOv5	0.536	MobileNetV3 백본 + Coordinate Attention, K-Means 앵커, 라벨 스무딩, 구조 재파라미터화

표 3. 기존 연구 비교

MN-YOLOv5는 MobileNetV3 백본 기반에 Coordinate Attention, K-Means 앵커, 라벨 스무딩, 구조 재파라미터화를 적용한 경량화 모델로서, YOLOv5s 대비 파라미터 수와 연산량을 각각 40% 이상 절감하면서도 mAP는 0.536까지 향상시킨 사례이다[4]. 그러나 해당 논문에서는 GPU 환경에서의 실측 FPS 수치는 보고되지 않았다.

반면, 본 연구의 YOLOv8n 모델은 mAP 0.82와 25 FPS를 동시에 달성하여 실시간성과 현장 적용성을 모두 입증하였으며, 특히 별도의 경량화 과정 없이 엣지 디바이스에서 바로 구동 가능한 점에서 우수성을 지닌다.

III. 구현

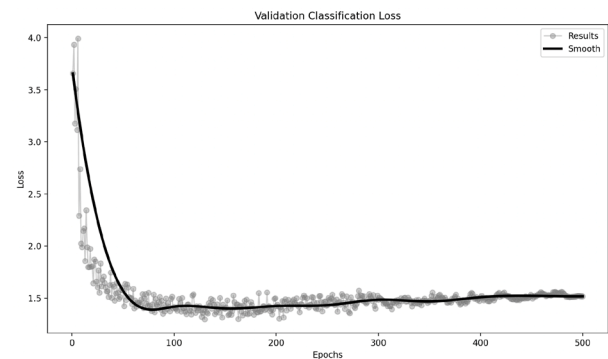


그림 1. 손실 값 비교

그림 1은 YOLOv8n의 모델 학습 중 Validation classification loss의 변화를 시각화 하였다. 초기 손실 값은 약 3.9에서 시작하여 학습이 진행되었으나 계속 감소하였으며, 약 130 epoch에서 1.2976으로 가장 낮은 손실 값을 기록했다. 전체 loss 값은 하향 추세를 보이며, YOLOv8n이 점진적으로 예측 성능을 향상시키는 것으로 보인다.

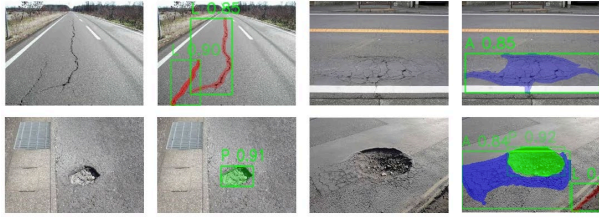


그림 2. 원본 이미지와 도로 손상 탐지 결과 비교

그림 2는 탐지 결과를 시각화 한다. L은 균열로 정확도 0.90, 0.85를 보이고, A는 악어균열로 정확도 0.85, P는 포트홀로 정확도 0.91으로 탐지되었다. 이를 통해 다중 객체 탐지, 실시간 식별 능력을 입증한다.

실측 추론 속도는 25 FPS로 실시간 도로 주행 영상 분석 요건을 충족한다. 파라미터 수가 적어 차량 탑재 엣지 단말이나 모바일 SoC에 온디바이스 배치가 가능하므로, 유지보수 차량·CCTV 관제 시스템 등 현장에서 곧바로 활용할 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 YOLOv8n을 활용해 포트홀·균열을 실시간으로 탐지하는 모델을 제시하고, mAP 0.82, FPS 25의 성능을 달성하였다. 이는 도로 유지보수 자동화와 비용 절감, 교통 안전 강화에 기여할 수 있다.

향후 연구에서는 야간·비포장 도로 데이터를 포함하도록 20,000장 이상으로 데이터셋을 확장하고, 다중 스펙트럼 및 심도 데이터 융합으로 악조건 환경 대응력을 높이며, DLA-34 등 경량 백본과 결합하여 혼합모델을 통해 TensorRT 기반 최적화로 정확도와 속도를 동시 향상할 예정이다.

이를 통해 스마트 시티 인프라와 통합된 지능형 도로 관리 시스템의 핵심 모듈로 발전할 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] 국민권익위원회, 「포트홀(도로파임)」 관련 민원 분석, 2024. 4. www.acrc.go.kr
- [2] MBC 뉴스, “평택제천고속도로에 포트홀..차량 18대 타이어 파손”, 2024. 2. <https://imnews.imbc.com/>
- [3] Ultralytics, “yolov8n.pt has 3.2 M parameters”, GitHub Issue #13145, May 2024. <https://github.com/>

- [4] G. Guo and Z. Zhang, “Road Damage Detection Algorithm for Improved YOLOv5,” Scientific Reports, 12:15523, September 2022.

능동적 도청자가 존재하는 협력 비-직교 다중접속 환경에서의 물리계층보안

심규성

한경국립대학교 컴퓨터응용수학부

e-mail : kyusung.shim@hknu.ac.kr

Physical Layer Security on Cooperative NOMA with active Eavesdropper.

Kyusung Shim

School of Computer Engineering and Applied Mathematics, Hankong National University

Abstract

In this paper, we investigate physical layer security in cooperative non-orthogonal multiple access (NOMA) networks in the presence of an active eavesdropper. In the considered system, the base station transmits messages to multiple users using superimposed coding. The cell-center user acts as a relay to assist the cell-edge user, while the cell-edge user transmits artificial noise to degrade the eavesdropper's channel quality. Meanwhile, the active eavesdropper is capable of both intercepting legitimate transmissions and emitting jamming signals to impair the legitimate users' channel conditions. Numerical results demonstrate that the proposed cooperative NOMA scheme significantly influences the transmit power allocation strategy.

I. 서론

기술이 발전함에 따라, 다양한 분야에 통신이 적용되고 있다. 대표적인 분야가 사물인터넷(Internet-of-Things: IoT)이다^[1]. 기존의 통신은 대부분 사람이 데이터를 수집하고 이를 서버나 다른

사용자에게 전달하였다. 하지만, 최근에는 장비 스스로 데이터를 측정하고 이를 스스로 서버나 다른 장비로 전송을 한다. 이를 통하여, 엄청나게 많은 데이터 수집이 가능해졌다. 그리고 이렇게 모인 데이터를 바탕으로 새로운 의미들을 추출하고 최근에는 인공지능에도 이러한 데이터들이 사용되고 있다.

이러한 경향을 위해서는 기존보다 뛰어난 데이터 전송 기법이 필요하다. 기존의 다중 접속 방법들은 주로 시간과 주파수에 따라 채널을 나누고, 해당 채널은 한 명의 사용자에게 할당하는 방식이었다. 해당 방식은 다른 사용자와의 채널이 중첩되지 않기 때문에 수신 측에서 수신된 신호로부터 메시지를 추출하는데 매우 용이하다. 하지만 한 번에 한 명의 사용자 메시지만 전송하기 때문에 효율적이지는 않았다. 따라서, 요즘과 같이 다양한 데이터를 동시에 전송하는 네트워크 상황에는 적합하지 않다. 또한 기술의 발전으로 인하여 신호처리 방법 역시 정교해지고 있다. 따라서, 기존의 하나의 슬롯에 하나의 메시지만 전송하는 직교식 다중접속(Orthogonal Multiple Access)에서 하나의 슬롯에 다양한 메시지를 중첩해서 전송하는 진보된 다중접속(Advanced Multiple Access)으로 추세가 변하고 있다. 본 논문에서는 진보된 다중접속 기술 중 하나인 비-직교 다중접속 Non-Orthogonal Multiple Access: NOMA)의 먼 사용자의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 협력 비 직교 다중접속(Cooperative

NOMA)에서 고려되고 있다^[2]. 본 논문에서는 능동적 도청자가 존재하는 협력 비-직교 다중접속 네트워크가 물리계층보안에 미치는 영향에 대해서 연구하였다

II. 시스템 모델

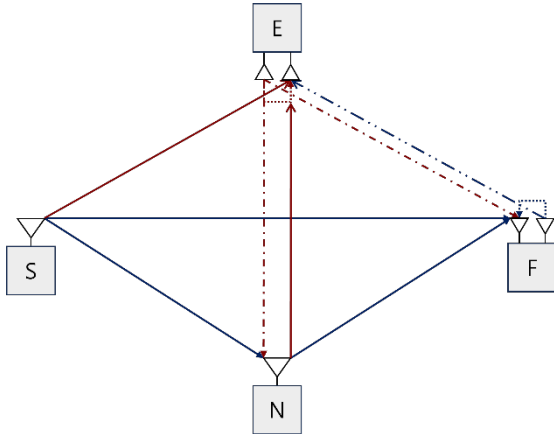


그림 1. 능동적 도청자가 존재하는 협력 비-직교 다중접속 네트워크 개념도

그림 1은 본 논문에서 제안하는 능동적인 도청자가 존재하는 협력 비-직교 다중접속 네트워크의 개념도이다. 그림 1에서와 같이, 기지국은 하나의 안테나를 갖고 있고, 이를 통하여 다중 사용자 메시지를 중첩해서 전송한다. 이때, 가까운 사용자의 경우, 상대적으로 채널 상태가 좋기 때문에 낮은 전송파워를 할당하고, 먼 사용자의 경우, 상대적으로 채널 상태가 나쁘기 때문에, 높은 전송파워를 할당한다. 가까운 사용자는 기지국이 전송한 신호로부터 자신의 메시지를 디코딩하기 위해서는 먼 사용자의 수신된 신호에서 제거해야 한다. 이를 위해서, 가까운 사용자는 Successive Interference Cancellation(SIC)를 이용한다. 이를 통하여, 가까운 사용자 관점에서의 간섭인 먼 사용자의 메시지를 제거한다. 그리고 자신의 메시지를 디코딩한다. 이와 달리, 먼 사용자는 가까운 사용자보다 더 많은 전송파워를 할당 받기 때문에, 직접 디코딩이 가능하다.

무선 주파수의 원리에 따라 주변에 있는 다른 사용자도 해당 신호를 수신할 수 있다. 따라서, 능동적 도청자도 해당 신호를 엿들을 수 있고, 도청자는 합법적인 사용자(가까운 사용자와 먼 사용자)보다 뛰어난 디코딩 성능을 갖고 있어서, 두 사용자의 메시지를 엿들은 신호로부터 구분할 수 있다.

본 논문에서 제안하는 네트워크에서는 먼 사용자의 성능(Throughput)을 향상시키기 위해서, 가까운 사용자가 먼 사용자의 메시지를 다시 전송하는 협력전송을 실시한다. 이를 통하여, 먼 사용자는

기지국과 가까운 사용자로부터 신호를 수신 받게 된다. 이를 통하여, 먼 사용자는 보다 나은 성능을 보장받을 수 있게 된다. 하지만, 능동적 도청자도 해당 신호를 엿들을 수 있다. 이때, 능동적 도청자는 합법적인 사용자들의 전송을 엿들을 뿐만 아니라 이들의 전송을 방해하기 위해서 인위적 잡음(Artificial Noise)를 발생한다. 이러한 위협으로부터 신호를 보호하기 위해서 먼 사용자도 인위적 잡음을 생성한다.

III. 성능평가

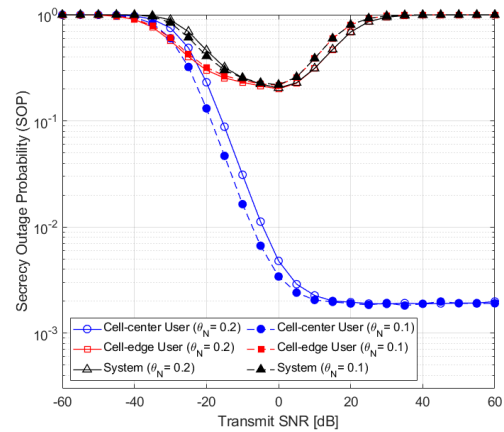


그림 2. 전송파워에 따른 보안실패확률(SOP)

그림 2은 본 논문에서 고려한 능동적 도청자가 존재하는 협력 비-직교 다중접속 시스템에서 전송파워 변화에 따른 보안 실패 확률 (SOP)이다. 그림에서와 같이, 전송파워가 증가함에 따라 가까운 사용자의 보안실패확률이 감소하는 것을 볼 수 있다. 하지만, 일정 전송파워 이상인 경우에는 보안 실패 확률의 변화가 매우 적은 것을 알 수 있다. 먼 사용자의 경우에는 기지국의 전송파워가 증가함에 따라 보안 실패 확률이 아래로 볼록한 패턴을 갖는다. 그리고 시스템 전체의 보안 실패 확률은 아래로 볼록한 패턴을 갖는다. 이를 통하여, 가까운 사용자의 보안 실패확률보다 먼 사용자의 보안 실패확률일 전체 시스템 보안성능에 더 많은 영향을 주는 것을 확인하였다. 또한, 전송 파워 할당 계수가 보안 실패 확률에 영향을 미침을 확인하였다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에는 능동적 도청자가 존재하는 협력 전송 시스템에서 전송파워가 보안실패확률에 미치는 영향에 대해서 연구를 진행하였다. 이를 통하여, 가까운 사용자보다 먼 사용자가 보안 실패 확률에 더 많은 영향을 미치는 것을 확인하였다.

현재 본 연구진은 현재의 연구결과를 바탕으로
기지국이 여러 개의 안테나는 장착하고, 이를
선택하기위한 기회주의적 스케줄링 방법에 대한
연구를 진행 중에 있다.

Acknowledgements

This work was supported by Korea Institute of
Marine Science and Technology Promotion (KIMST)
grant funded by the Ministry of Oceans and Fisheries
under Grant KIMST RS-2021-KS211509.

참고문헌

- [1] K. Shim, S.-H. Park, B.-S. Kim, and B. An,
"Exploiting Opportunistic Scheduling Schemes on
Cooperative NOMA Networks Under Active
Eavesdropper," *IEEE Access*, vol. 13, no. no, pp.
111484-111507, June 2025.
- [2] T. N. Do, D. B. da Costa, T. Q. Duong and B. An,
"Improving the Performance of Cell-Edge Users
in NOMA Systems Using Cooperative Relaying,"
IEEE Transactions on Communications, vol. 66,
no. 5, pp. 1883-1901, May 2018.

과학기술분야 연구기관 연구데이터 관리 및 공유 현황 분석

주원균¹, 최명석¹, 강남규¹

¹한국과학기술정보연구원 데이터플랫폼센터, 대전, 대한민국

*Corresponding Author: joo@kisti.re.kr

Abstract

연구데이터란 일반적으로 “연구개발과제 수행 과정에서 실시하는 각종 실험, 관찰조사 및 분석 등을 통하여 산출된 사실자료로서 연구 결과의 검증에 필수적인 데이터”를 의미한다[1][2]. 디지털 전환 가속화와 연구데이터의 가치 증대에 따라 연구데이터의 체계적 관리와 공유·활용은 과학기술 연구의 핵심 요소로 부상하고 있다. 이에 따라 정부는 「국가연구데이터 관리 및 활용 촉진에 관한 법률안」을 국회에 상정하고, 관련 가이드라인 마련을 추진 중이다. 본 연구는 이러한 제도적 변화에 대응하기 위해 국가과학기술연구회(NST) 산하 출연(연) 연구자들을 대상으로 연구데이터 관리와 공유 실태, 인식, 제도 개선 요구를 종합 분석하였다.

과학기술정보통신부가 주최하고 한국과학기술정보연구원이 주관한 설문조사 결과를 기반으로 과학기술분야 정부출연연구기관 소속 연구자들의 연구데이터 관리 현황과 공유 실천 수준을 파악하고, 향후 정책 및 제도 개선에 활용 가능한 기초자료를 제공하는 것을 목적으로 한다. 2025년 5월 8일부터 28일까지 3주간 온라인 설문조사를 통해 23개 출연(연) 소속 956명의 연구자로부터 응답결과를 수집하였다. 주요 항목으로는 연구데이터 관리·활용 현황, 공개 대상과 범위, 제공 방식, 데이터 관리계획(DMP), 연구자의 인식 및 요구사항 등이 포함되었다. 특히, 2018년부터 2024년까지의 유사 조사와 비교분석을 병행하여 시계열적인 인사이트를 도출하였다.

연구데이터 공유에 대한 긍정적인 인식은 84.5%로 지속적으로 높게 나타났으며, 실제 데이터 관리 비율은 65.9%, 공개 실천 비율은 71%로 전년 대비 크게 향상되었다. 반면, DMP(Data Management Plan)에 대한 인식 부족(71.3%)과 작성 미경험은 여전히 큰 과제로 확인되었다. 연구데이터 제공 방식에서는 공공 플랫폼과 논문 연계 제출 방식의 선호가 증가한 반면, 소속기관 리포지토리나 직접 전달 방식은 감소 추세를 보였다. 공유 시점은 과거의 ‘3년 이후 공개’에서 ‘성과 발표 직후’로 점차 단축되고 있으며, 보상 체계에 대해서는 단순 금전 보상보다 포괄적 성과 인정(65.4%)을 선호하는 경향이 나타났다. 연구데이터 공유를 가로막는 주요 장애요인은 보안 문제, 제도 미비, 보상 부족 순으로 나타났다.

본 연구는 연구자들이 데이터 공유를 긍정적으로 인식하면서도, 실질적인 공유 확산을 위해서는 법·제도적 장치와 인센티브, DMP 교육 및 지원 체계 마련이 필수적임을 시사한다. 본 분석 결과는 향후 연구데이터법 제정 및 정책 수립에 있어 실증적 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: research data management; science and technology policy; data sharing and utilization

이 논문은 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 2025 년도 기본사업으로 수행된 연구입니다.(과제번호: K25L3M1C2)

References

- [1] 과학기술정보통신부, 국가연구개발정보처리기준 과학기술정보통신부고시 제 2020-102 호, 2020.
- [2] 한나은 외, "과학기술분야 정부출연연구기관 연구데이터 관리 방안 연구," 한국문헌정보학회지, 58 권 2 호, 151-175 쪽, 2024.

Constructing a Dataset for Korean Chart Understanding

김이언, 김병준, 김유진, 박세홍, 임석재

롯데이노베이트

Abstract

최근 Vision-Language Model(VLM)은 이미지와 텍스트를 함께 이해하고 처리하는 멀티모달 인공지능 기술로 주목받고 있으며 문서 이해, 표/차트 해석, 시각 질의응답 등 다양한 분야에서 활용 가능성을 보이고 있다. 특히 차트는 복잡한 수치 정보를 직관적으로 전달하는 시각 표현 방식으로, 데이터 기반 의사결정 과정에서 중요한 역할을 한다. 하지만 차트는 막대, 선, 원 등 시각적 요소뿐만 아니라 축, 범례, 라벨과 같은 텍스트 정보가 복합적으로 포함되어 있으며 이를 정확히 해석하기 위해서는 시각-언어 통합 추론 능력이 요구된다. 본 연구에서는 한국어 차트 이미지를 기반으로 VLM의 학습 및 평가에 활용할 수 있는 한국어 차트 데이터셋을 구축하였다. 제안된 데이터셋은 크게 세 가지 구성 요소로 이루어져 있다. 첫째, 차트 이미지에 대한 다양한 질의하는 QA 데이터로, 정보 추출 중심의 Level 1(OCR 기반), 통계 및 관계 추론 중심의 Level 2, 그리고 추세 해석 중심의 Level 3 문항으로 구성된다. 둘째, 차트 정보를 마크다운(Markdown) 형식의 표로 변환한 Chart-to-Table 데이터로 시각 정보를 정형화된 형태로 변환하여 모델이 명시적인 수치 기반 추론을 수행할 수 있도록 하였다. 셋째, 축, 범례, 색상, 라벨 등의 차트 시각적 요소 및 메타 정보를 해석하고 전체적인 경향과 차트를 분석한 Analysis 데이터로 모델이 단순 수치 추출을 넘어 차트 전반에 대한 해석과 판단을 수행할 수 있도록 설계하였다. 제안한 데이터셋으로 Qwen2.5-VL 7B 모델을 학습한 결과, 자체 구축한 질의 응답 평가 데이터셋에서 기존 모델에 비해 11.32% 성능 향상을 보였다. 또한 다양한 형식(컴퓨터 생성 및 손글씨 기반)의 차트·문서·표 이미지를 포함한 한국어 벤치마크인 K-DTCBench 평가에서 정확도 89.58%를 기록하였다. 본 연구는 한국어 차트 기반 질의응답 모델의 가능성을 제시하며, 향후 보다 정교한 멀티모달 모델 설계에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: Vision-Language Model, Chart Understanding, Korean Dataset

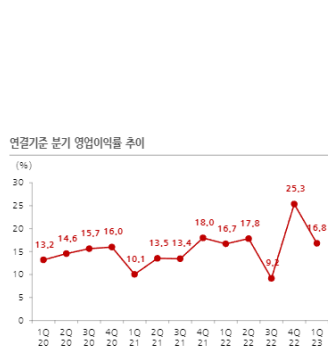


Fig. 1. Chart Analysis Dataset

1. 차트 제목 및 주제 요약
 - 이 차트는 2020년 1분기부터 2023년 1분기까지 분기별 영업이익률(%)의 변화를 보여줍니다.
 2. x 축과 y 축의 항목 및 단위 설명
 - x 축: 각 연도별 분기(1Q, 2Q, 3Q, 4Q)를 나타냅니다.
 - y 축: 영업이익률(%)로, 이익이 매출에서 차지하는 비율을 퍼센트로 표시하고 있습니다.
 3. 범례(Legend) 및 각 항목의 의미 설명
 - 빨간 점과 선은 각 분기의 영업이익률 수치를 선 그래프로 연결한 것입니다. 별도의 범례는 없지만, 모든 점은 '영업이익률(%)'을 의미합니다.
 ...

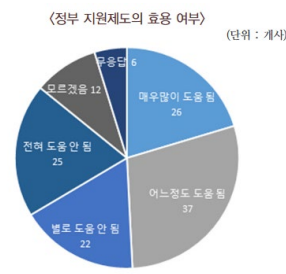


Fig. 2. Chart-to-Table Dataset

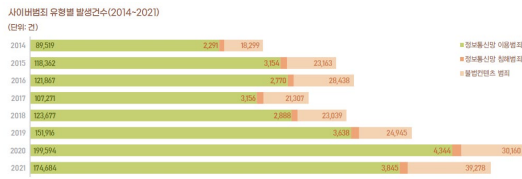


Fig. 3. Chart QA Dataset

- Lv.1 2019 년에 발생한 정보통신망 침해범죄 건수는 몇 건입니까?
3,638 건
- Lv.2 2020 년에 세 가지 범죄 유형의 합계는 몇 건입니까?
234,098 건 (199,594 + 4,344 + 30,160 = 234,098)
- Lv.3 불법컨텐츠 범죄가 2020 년 이후 어떻게 달라졌는지 설명하세요.
2020 년에 30,160 건이었던 불법컨텐츠 범죄는 2021 년에 39,278 건으로 크게 증가하였습니다.
증거: 연도별 표 데이터를 보면 2021 년 값이 이전 해보다 약 9,000 건 이상 급증했음을 알 수 있습니다.

Acknowledgment 이 연구는 과학기술정보통신부의 재원으로 한국지능정보사회진흥원의 지원을 받아 구축된 "차트 이미지-텍스트 쌍 데이터"을 활용하여 수행된 연구입니다. 본 연구에 활용된 데이터는 AI 허브(aihub.or.kr)에서 다운로드 받으실 수 있습니다.

References

[1] Shuai Bai et al., "Qwen2.5-VL technical report", *arXiv preprint* arXiv:2502.13923, 2025.
 [2] Xudong Yang et al., "AskChart: Universal chart understanding through textual enhancement", *arXiv preprint* arXiv:2412.19146, 2024.

Comparison on Deep Learning–Based Bearing Fault Diagnosis Using Grayscale and RGB Spectrogram Inputs

Grayscale과 RGB 스펙트로그램 입력을 적용한 딥러닝 베어링 고장 진단 비교

Yoonsik Cho¹, Changkyun Nam², Bosu Chang³, and Cheol Hong Kim⁴(Corresponding author)

¹⁻³Master's Course, Department of Computer Science and Engineering, Soongsil University, Seoul 06978, Korea

⁴Professor, School of Computer Science and Engineering, Soongsil University, Seoul 06978, Korea

초록

산업 현장에서 사용되는 전기 모터는 연속 회전에 따른 부품 간 마찰과 외부 충격으로 고장이 발생하며, 그중 베어링 고장이 가장 빈번하게 나타난다. 베어링 고장으로 장비의 오작동과 불량률이 증가하므로, 베어링 고장을 조기에 진단하고 신속히 정비하는 능력은 필수적이다. 소음 및 진동 데이터를 활용한 고장 진단 기법이 활발히 개발되었으며, 최근에는 진동·음향 데이터를 스펙트로그램으로 변환하여 딥러닝 기반 진단을 수행하는 연구가 소개되고 있다. 이 중 입력 이미지 크기를 줄이면서도 정확도를 유지하고 연산량을 줄이는 연구와 RGB 3 채널 스펙트로그램을 사용하는 연구도 소개되고 있다. 본 연구에서는 음향 방출(AE) 신호를 단시간 푸리에 변환(STFT)하여 RGB 와 Gray Scale 스펙트로그램으로 각각 변환한 후, 32×32 크기로 축소하여 입력 이미지로 사용하였다. MobileNet-V3-Small 모델을 사용하여 학습(Train), 검증(Validation), 테스트(Test) 과정을 수행하였다. 실험 결과, RGB 와 Gray Scale 간의 평균 정확도 차이는 크지 않았으며, 연산량은 RGB 가 Gray Scale 대비 약 27%가 많았다. 비록 RGB 가 높은 정확도를 보였으나 연산 부하가 상대적으로 크므로, Gray Scale 방식이 보다 효율적일 수도 있음을 확인하였다.

References

- [1] 김동환, 손석만, 김연환, 배용채, “진동신호 특성 예측 및 분류를 통한 회전체 고장진단 방법”, 한국소음진동공학회 학술대회 논문지, pp. 90-93, Oct. 2014
- [2] Minh Tuan Pham, Jong-Myon Kim and Cheol Hong Kim, “Intelligent Diagnosis Method using Acoustic Emission Signals for Bearing under Complex Working Conditions”, Appl. Sci, Vol.10, No.20, Oct. 2020
- [3] 김찬진, 박재현, 김철홍. (2021-06-23). 딥러닝을 사용하는 베어링 고장 진단의 효율성 향상을 위한 이미지 크기 조절 방안. 한국정보과학회 학술발표논문집, 제주.
- [4] A. Howard et al., "Searching for MobileNetV3," 2019 IEEE/CVF International Conference on Computer Vision (ICCV), Seoul, Korea (South), 2019, pp. 1314-1324, doi: 10.1109/ICCV.2019.00140.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(RS-2024-00453676).

XGBoost 기반 태양광 발전 예측에서 LLM 메타 판단의 개입 비율과 한계에 관한 연구

윤지현¹, 윤성필²

^{1,2}서강대학교 경영전문대학원 인공지능 빅데이터 이노베이션, 서울, 대한민국

e-mail : dbswlgus94@sogang.ac.kr

XGBoost-Based Solar Power Forecasting with LLM Meta-Judgment:
A Study on Intervention Ratio and Limitations

Youn jihyeon and Yun seongpil

^{1,2}AI and Big Data Innovation MBA, Sogang Business School, Sogang Univ., Korea

Abstract

This study evaluates the impact of LLM intervention ratios on the performance and stability of XGBoost-based solar power forecasting. Using 2024 data from Jeollanam-do, we tested full (100%), collaborative (74.1%), and selective (20.6%) LLM intervention strategies. Full intervention maintained stability but offered no performance gain, while collaborative intervention degraded accuracy. In contrast, selective intervention preserved both XGBoost-level accuracy and stability. These findings suggest that LLMs are more effective when selectively applied in uncertain situations rather than uniformly integrated.

I. 서론

재생에너지 확대에 따라 태양광 발전량 예측의 중요성이 한층 부각되고 있다. 정확한 태양광 발전 예측은 효과적인 전력망 통합과 에너지 관리에 필수적이나, 일사량 및 기온 등 환경 요인의 변동성 때문에 예측의 신뢰성이 어려운 과제이다[1].

이러한 어려움 때문에 과거부터 통계적 모델에서 머신러닝에 이르는 다양한 접근법이 개발되었으며, 최근에는 하이브리드 모델로 예측 성능을 높이려는 시도가 이루어지고 있다. 예를 들어 CNN과 XGBoost를 결합한 하이브리드 모델은 변화무쌍한 기상 조건에서도 태양광 발전량 예측 정확도를 향상시켰다[2]. 이처럼 XGBoost와 같은 그래디언트 부스팅 기법은 비선형 관계를 포착하는 데 강점을 보여 다양한 에너지 예측 문제에 활용되어 왔다.

대규모 언어 모델(LLM)의 부상으로 시계열 예측 분야에도 자연어 처리 기법을 접목하려는 새로운 연구

방향이 나타났다. LLM은 시계열과 같은 순차 데이터의 복잡한 패턴을 파악할 수 있어 이론적으로 계절성과 추세가 뚜렷한 데이터에 대해서는 LLM이 높은 예측 능력을 보인 반면, 주기성이 불분명한 데이터에는 한계를 드러낸다고 보고되었다[3]. 또한 에너지 도메인에 특화된 LLM 연구도 진행되고 있다. Qiu 등(2024)은 에너지 예측 전용 LLM(EF-LLM)을 개발하여 부하 및 풍력과 함께 태양광 발전량 예측에서 성공적인 결과를 거두었음을 밝혔다[4].

그러나 전반적으로 LLM을 시계열 예측에 적용하는 연구는 아직 초기 단계로서 명확히 확립된 기법이 부족하다는 지적이 있다[3]. 일부 연구에서는 사전학습된 LLM을 그대로 시계열 예측에 사용하는 것이 반드시 이득이 아닐 수 있음도 보여준다. Tan 등(2024)은 최신 LLM 기반 예측 기법들을 분석한 결과, 모델에서 LLM 부분을 제거하거나 단순 주의(attention) 기제로 대체해도 성능이 저하되지 않고 오히려 향상되는 경우도 있었다고 보고하였다[5].

이러한 결과는 LLM 단독으로는 시계열 데이터의 복잡한 의존성을 충분히 학습하지 못 할 수 있음을 알 수 있으며, 본 연구에서는 XGBoost와 LLM을 결합한 하이브리드 접근법을 태양광 발전량 예측에 적용하여, 그 효과와 한계를 분석한다. 하이브리드 XGBoost-LLM 모델의 예측 성능을 기존 단일 모델들과 비교 분석하고, 다양한 상황에서의 장단점과 제약 요소를 파악한다. 이를 통해 LLM과 전통적 예측 모델을 결합하여 태양광 발전 예측 정확도 향상에 기여할 수 있는지 LLM의 개입 비율을 조정하며 평가하고, 향후 하이브리드 에너지 예측 모델 개발을 위한 시사점을 제시하고자 한다.

II. 본론

2.1 XGBoost를 활용한 시계열 예측

XGBoost(Extreme Gradient Boosting)는 트리 기반의 그래디언트 부스팅 머신을 최적화한

알고리즘으로, 병렬 처리를 통한 학습 속도 향상과 정규화에 의한 과적합 방지 기능을 갖추고 있다. 시계열 예측에 적용하기 위해서는 시계열 데이터를 지도 학습 문제로 변환하는 특성 공학 과정이 필요하다. 본 연구에서는 과거 시점의 발전량을 지연 변수(lagged features)로 추가하고, 연도, 월, 일, 요일, 시간대 등 시간 정보를 파생 변수로 생성해 입력 데이터에 포함하였다. 또한 기온, 습도, 풍속, 일사량과 같은 기상 데이터를 함께 입력함으로써, 발전량에 영향을 미치는 요인을 포괄적으로 반영하였다. XGBoost는 이러한 다양한 변수들의 비선형 관계를 효과적으로 학습하고 안정적인 예측 성능을 발휘했으며, 이를 베이스라인 모델로 선정하였다.

2.2 LLM을 이용한 메타 판단 시스템 설계

본 연구에서는 LLM을 XGBoost 예측 결과에 ‘메타 판단자’로 개입시켜 기존 예측을 보완하거나 해석적 맥락을 더하도록 설계하였다. HyperCLOVA 기반의 LLM은 기상 및 계절 요인으로부터 생성된 컨텍스트와 Random Forest, XGBoost, Ridge의 예측 결과를 입력으로 받아 최종 발전량을 판단하도록 구성하였다. LLM의 출력값이 파싱되지 않거나 오류가 발생한 경우에는 XGBoost의 예측값을 채택해 안정성을 확보하도록 했다.

2.3 LLM 개입 기준에 따른 세 가지 접근법 정의

LLM을 메타 판단자로 활용할 때, 개입 비율과 기준을 어떻게 설정하느냐에 따라 예측 성능과 안정성 간의 균형이 달라질 수 있다. 이를 실험하기 위해 세 가지 접근법을 정의하였다.

2.3.1 전면적 LLM 메타 판단 (Complete LLM Meta-Judgment)

모든 테스트 샘플(718건)에 대해 LLM이 100% 개입하여 최종 예측을 수행하도록 한 방식이다. Random Forest, XGBoost, Ridge의 예측값과 주요 기상 컨텍스트를 프롬프트로 전달하고, LLM이 최종 값을 판단하도록 했다. 이 방식은 LLM의 안정성과 전면적 적용 가능성을 평가하는 데 목적이 있다.

2.3.2 협력형 LLM 메타 판단 (Collaborative LLM Meta-Judgment)

LLM의 ‘분석가’ 역할을 강조하여 개입 기준을 완화한 방식이다. 모델 간 불일치 비율이 5%를 초과하거나 절대 오차가 250MWh를 초과하는 경우에 LLM이 개입하도록 했다. LLM의 해석적 기여를 최대한 살리고자 높은 개입 비율(74.1%)을 허용하였으며, 이를 통해 불확실한 사례에서 LLM의 잠재적 이점을 검증하고자 했다.

2.3.3 완화된 LLM 메타 판단 (Balanced-Selective LLM Meta-Judgment)

성능과 안정성 간의 균형을 최우선으로 설정한 방식이다. 모델 간 불일치 비율이 10% 이상이면 동시에 절대 오차가 500MWh 이상인 경우에만 LLM이 개입하도록 했다. 개입 비율은 20.6%로 낮지만, 기존 XGBoost의 강점을 최대한 유지하면서

LLM의 보완적 해석을 살리려는 것이 목표였다.

2.4 모델별 실험 환경 및 성능 지표

본 연구는 대한민국에서 태양광 발전량이 전국 최고인 전라남도를 기준으로 분석하였으며, 전라남도 지역의 2024년 기상청 ASOS 데이터(113,881건)와 한국전력거래소 발전량 데이터(8,785건)를 병합 및 전처리한 후, 전체 샘플 수는 3,590건으로 훈련 데이터는 2,872건(80%), 테스트 데이터는 718건(20%), 사용한 특성 수는 48개이다. 훈련된 모델과 각 모델의 테스트 데이터셋에서의 성능은 다음과 같다. 지점명은 목포, 여수, 흑산도, 완도, 순천, 영광군, 보성군, 강진군, 장흥, 해남, 고흥, 광양시, 진도군이 있으며, 기온(°C), 기온 QC플래그, 강수량(mm), 강수량 QC플래그, 풍속(m/s), 풍속 QC플래그, 풍향(16방위), 풍향 QC플래그, 습도(%), 습도 QC플래그, 증기압(hPa), 이슬점온도(°C)변수가 있다.

모델의 입력 변수로는 태양광 발전 효율과 밀접한 관련이 있는 기상 요인인 기온, 습도, 풍속, 풍향, 전운량 그리고 가장 핵심적인 변수인 일사량 등을 선정하였다. 또한, 발전량에 나타나는 주기성과 계절성을 모델이 학습할 수 있도록 시간 관련 변수(연, 월, 일, 요일, 시간)를 추가적인 입력 특성으로 활용하였다.

세 가지 접근법의 예측 성능은 R² (결정계수), RMSE(평균제곱근오차), LLM 파싱 성공률, LLM 개입률 등으로 평가하였다. 이를 통해 각 접근법의 예측 정확도뿐 아니라 안정성과 실용성을 종합적으로 분석하였다.

거래일자	거래 시간	지역	연료원	전력거래량 (MWh)
2024-01-01	8	전라남도	태양광	2.075911
2024-01-01	9	전라남도	태양광	135.5772
2024-01-01	10	전라남도	태양광	451.7593
(생략)				
2024-12-31	22	전라남도	태양광	50.99028
2024-12-31	23	전라남도	태양광	12.66204
2024-12-31	24	전라남도	태양광	2.901276

표 1. 한국전력거래소(KPX) 지역별 시간별 태양광 발전량 데이터(일부)

지점	지점명	일시	기온 (°C)	강수량 (mm)	풍속 (m/s)	습도 (%)	(생략)
165	목포	2024-01-03 30:00 AM	3.9	2	2.5	91	...
169	흑산도	2024-09-02 5:00:00 PM	25.7	-	2.9	92	...
258	보성군	2024-05-01 12:00:00 AM	14.4	-	2.4	85	...
260	장흥	2024-01-16 10:00:00 PM	-0.7	-	0.4	73	...
262	고흥	2024-04-29 6:00:00 AM	15.6	10.4	3.1	94	...
266	광양시	2024-08-16 11:00:00 PM	26.4	7.7	0.4	93	...
(생략)							

표 2. 기상청 종관 기상관측(ASOS) 데이터(일부)

III. 구현

3.1 데이터 전처리

수집된 데이터는 모델 학습에 적합한 형태로 가공하기 위해 여러 단계의 전처리 과정을 거쳤다. 결측치는 기상 데이터의 컬럼별 특성을 고려하여 시계열 보간이 가능하도록 처리하였다. 강수량, 적설, 일조시간, 일사량은 결측치가 사실상 0인 경우, 즉 비가 안왔거나 눈이 안 온 것의 경우가 많기 때문에 0으로 대체하였다. 온도, 습도, 풍속, 기압 등은 연속적인 물리량이므로 시계열 보간(interpolate(method='time'))을 사용하였다.

groupby('지점')을 활용하여 각 지점별로 독립적으로 처리하였고, 앞뒤 값이 없을 경우엔 bfill(뒤에서 채우기), ffill(앞에서 채우기)를 사용하였다. 품질플래그QC열은 분석에 불필요하므로 제거하였고, 모든 수치형 변수는 0과 1 사이의 값으로 변환하는 최소-최대 정규화(Min-Max Scaling)를 적용하였다. 마지막으로 시계열 데이터의 특성을 모델이 명시적으로 학습할 수 있도록 과거 시점의 발전량 데이터(lag features)나 특정 기간의 이동평균(moving averages)과 같은 파생 변수를 생성하여 모델의 입력 특성으로 추가하였다.

3.2 모델링 절차

3.2.1. 베이스라인 모델: XGBoost

특성 엔지니어링이 완료된 데이터셋을 이용하여, 세 가지 베이스라인 회귀 모델 Random Forest, XGBoost, Ridge을 학습하고 성능을 비교분석하였다.

순위	모델명	R ² Score	RMSE (MWh)	MAE (MWh)
1	XGBoost	0.9625	926.91	594.10
2	Random Forest	0.9463	1109.43	687.14
3	Ridge	0.8925	1568.92	1247.75

표 3. 모델별 성능지표

XGBoost 모델이 테스트셋 기준 가장 높은 R²(0.9625)를 기록하며 최적의 성능을, Ridge회귀는 상대적으로 낮은 성능을 보였으므로, 베이스라인으로 XGBoost를 선정하였다.

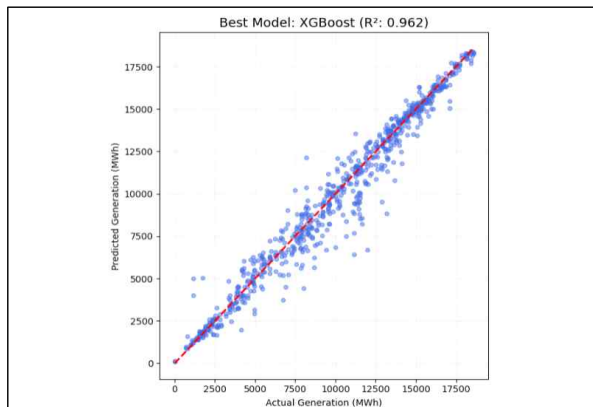


그림 1. XGBoost 예측값과 실제값의 산점도

3.2.2. 전면적 LLM 메타 판단(Complete LLM Meta-Judgment)

실험데이터는 총 718건의 데이터셋으로 구성하였으며, 각 샘플에 대해 베이스라인 모델들의 예측값과 기상, 계절요인을 기반으로 컨텍스트를 생성하고, 이를 프롬프트 형태로 LLM(HyperCLOVA기반)에 입력하여 최종 예측값을 도출하였다. LLM의 출력값이 수치로 파싱되지 않는 경우엔 XGBoost 예측값을 대신 사용하였다.

모든 테스트 케이스에 대해 LLM을 100% 개입하도록 하였으며, Random Forest, XGBoost, Ridge의 예측값과 주요 날씨 컨텍스트를 프롬프트로 제공하여 LLM이 최종 발전량을 결정하였다.

파싱 성공률은 99.3%로, LLM의 안정성은 높았고, 최종적으로 전면적 LLM 메타 판단 시스템의 결정계수(R²)은 0.9625로, 기존 베이스라인(XGBoost)과 동등한 수준의 성능을 유지했다. RMSE 또한 926.93으로 안정적인 수준이었으므로, LLM을 메타 판단에 전면적으로 적용해도 성능이 XGBoost를 넘어서지 못했고, 동일한 수준을 유지했다. 이는 LLM이 안정적으로 동작은 하지만, 현 시점에서는 ML모델을 대체하기에는 불충분함을 알 수 있다.

지표	값
LLM 적용률	100%
R ²	0.9625
RMSE	926.93
파싱 성공률	99.3%

표 4. Complete LLM 성능지표

3.2.3. 협력형 LLM 메타 판단(Collaborative LLM Meta-Judgment)

협력형 LLM 모델은 LLM을 '분석가' 역할로 설정해 완료된 기준을 적용하여 LLM의 개입 비율을 높였다. LLM 개입 기준은 '모델 간 불일치 비율 > 5%' 또는 '절대 차이 > 250MW' 중 하나라도 만족할 경우 LLM이 개입하도록 설정했다.

이로 인해 LLM 개입 비율이 74.1%로 높았으나, R²는 0.8961로 하락했고 RMSE는 1542.64로 증가하여 성능 저하가 확인되었다. 파싱은 100%되었으나, LLM의 판단이 일관성과 수치적 정확도에서 다소 떨어졌다.

지표	값
LLM 적용률	74.1%
R ²	0.8961
RMSE	1542.64
파싱 성공률	100%

표 5. Collaborative LLM 성능지표

3.2.4. 완화된 LLM 메타 판단 (Balanced-Selective LLM Meta-Judgment)

완화된 LLM은 성능과 안정성의 균형을 목표로 하여, LLM 개입 기준은 모델 간 불일치 비율 > 10% 및 절대 차이 > 500MW를 동시에 만족할 경우에만 LLM이

개입하도록 했다.

결과적으로 LLM 개입 비율은 20.6%에 그쳤지만, R^2 은 0.9622로 XGBoost와 유사한 수준을 유지했고 RMSE는 930.29로 안정적이었다. 파싱 성공률은 79.1%로 다소 낮았지만 전체적인 안정성 및 효과가 가장 높았다.

지표	값
LLM 적용률	20.6%
R^2	0.9622
RMSE	930.29
파싱 성공률	79.1%

표 6. Balanced-Selective LLM 성능지표

IV. 분석

Complete LLM의 경우 전면적으로 LLM을 적용했음에도 불구하고 XGBoost 이상의 성능향상은 없었지만 안정성은 충분히 확보되었다. Collaborative LLM은 개입 기준을 지나치게 완화하여 LLM이 과도하게 개입함으로써 성능이 크게 저하되었다. Balanced LLM은 개입 기준을 적절히 설정함으로써, LLM의 장점을 살리면서도 XGBoost수준의 성능과 안정성을 유지하였다. LLM의 기여도는 불확실성이 높은 케이스에서 추가 해석과 보완을 제공하였으며, 모든 케이스에 전면적으로 적용하거나 지나치게 관대하게 적용할 경우 오히려 수치적 안정성이 저해되는 결과를 보였다.

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 신재생에너지의 안정적인 전력계통 연계를 위해 필수적인 태양광 발전량 예측의 정확도를 향상시키기 위한 목적으로 고성능 머신러닝 모델인 XGBoost에 거대 언어 모델(LLM)을 결합하는 하이브리드 접근법의 실효성을 다각도로 검증하였다. 전라남도의 실제 기상 데이터와 발전량 데이터를 활용하여 XGBoost를 베이스라인으로 설정하고 LLM의 개입수준과 자율성을 달리한 세 가지 전략의 성능을 비교 분석하였다.

본 연구에서의 최적 전략은 완화된 LLM 메타 판단(Balanced-Selective LLM)이었다. 적절히 엄격한 기준을 설정해 LLM이 꼭 필요한 케이스에서만 개입하도록 하여, XGBoost의 우수한 성능을 유지하면서도 LLM의 해석적 장점을 더했다. 요약하면, LLM을 예측 파이프라인에 통합할 때 지나친 개입보다는 적절히 선별된 개입이 바람직하며, LLM은 수치 예측보다는 설명가능성과 불확실성 대응 측면에서 더 큰 가치를 지님을 시사한다.

본 연구 결과는 인공지능 분야의 만능 해결사처럼 여겨지기도 하는 LLM에도 명백한 적용의 한계가 있음을 보여준다. 모든 종류의 문제를 LLM으로 해결하려는 접근 방식은 비효적이거나 역효과를 낼 수 있다. 반대로, XGBoost와 같이 특정문제 유형에 고도로 특화되고 오랜 기간 검증된 모델은 해당

도메인에서 여전히 가장 강력하고 신뢰성있는 솔루션임을 보여준다.

LLM의 진정한 강점인 비정형 데이터 처리, 자연어 이해에서 활용하는 것이 더 유망한 방향일 수 있다. LLM은 도메인에 특화되지 않은 상태에서는 수치적 정확도에 기여하기는 어려웠으며, 불확실성이 높은 사례에 대해 설명가능성을 높이고, 전문가의 판단을 보완할 필요가 있었다.

향후에는 LLM의 성능을 더욱 향상시키기 위해 몇 가지 개선 방향이 필요하다. 첫째, 프롬프트 엔지니어링의 강화이다. 본 연구에서는 상대적으로 단순한 프롬프트를 사용하였으나, 더 정교한 도메인 컨텍스트와 세분화된 지시어를 포함한 프롬프트를 설계하여 LLM이 보다 일관성 있고 합리적인 판단을 내리도록 유도하는 것이다. 둘째, 도메인 특화 튜닝이다. 현재 사용한 LLM은 범용적인 언어모델이기 때문에, 태양광 발전 및 전력 수요와 같은 특정 도메인 데이터에 최적화되어 있지 않다. 도메인 데이터셋으로 파인튜닝하여 해당 분야의 특성과 데이터 분포를 이해하고 반영하는 능력을 강화할 수 있다. 셋째, LLM개입을 상황에 맞게 동적으로 판단하고 자동화된 방식으로 적용하는 것이다. 이를 통해 보다 효율적이고 신뢰성 높은 운영이 가능할 수 있다. 마지막으로, 하이브리드 앙상블 모델을 사용하는 것이다. XGBoost와 LLM의 예측을 단순히 선택하는 것이 아니라, 두 모델의 강점을 고려하여 가중치를 부여한 가중합 앙상블 방식을 도입함으로써, 전체적인 예측 성능을 한층 높이는 것이다. 이를 통해 전통적 ML의 안정성과 LLM의 해석 가능성을 동시에 활용하는 시너지를 극대화할 수 있을 것이다. 결론적으로, 이러한 향후 연구를 통해 LLM 기반 메타 판단시스템의 한계를 극복하고 예측 성능과 설명가능성을 동시에 충족하는 차세대 의사결정 지원 시스템으로 발전시킬 수 있다.

참고문헌

- [1] Tareq Salameh et al., 2025, "Adaptive neuro-fuzzy inference system for accurate power forecasting for on-grid PV systems: A case study in Sharjah, UAE", *Energies*, 18(7), 2025
- [2] Safia B. Bashir et al., 2024, "A Novel Hybrid CNN-XGBoost Model for Photovoltaic System Power Forecasting", *Proc. 6th Int. Youth Conf. on Radio Electronics, Electrical & Power Engineering (REEPE)*, IEEE 2024
- [3] Mingyu Jin et al., 2024, "Time Series Forecasting with LLMs: Understanding and Enhancing Model Capabilities", *ICLR 2024*
- [4] Zihang Qiu et al., 2024, "EF-LLM: Energy Forecasting LLM with AI-assisted Automation, Enhanced Sparse Prediction, Hallucination Detection", *arXiv preprint*, 2024
- [5] Mingtian Tan et al., 2024, "Are Language Models Actually Useful for Time Series Forecasting?", *NeurIPS 2024*

A Lightweight Software Solution for Log Analysis

이시현¹, 김지윤¹, 김서현¹, 황지은^{1*}

¹협성대학교 소프트웨어공학과, 화성, 대한민국

*Corresponding Author: zhwang@uhs.ac.kr

Abstract

1. Background

고도화되는 사이버 위협과 AI 기술 발달이 맞물리며, AI를 활용한 능동 공격 감지 시스템 구축이 늘어나고 있다. 하지만 이러한 시스템의 도입은 너무 큰 컴퓨팅 자원과 비용을 요구한다. 한편, 많은 GUI 기반 로그 분석 소프트웨어는 실시간 분석을 보장하지 못하거나, 웹 로그에 대한 백업 기능을 제공하지 못한다. 또한 설치 과정이 복잡하고 인터페이스가 사용자 친화적이지 않은 경우가 많다.

2. Objectives

본 연구는, '쉽게 설치하여 사용 가능한 경량화 된 범용 로그 해석 도구' 개발을 목적으로 한다. 이는, 적은 컴퓨팅 자원을 소비하며, 적은 비용으로 운용할 수 있고, 실시간 분석을 보장하며, 웹 로그에 대한 안전한 백업 기능을 제공하며, 설치 과정이 간단하고, 인터페이스가 사용자 친화적인 웹 기반의 로그 분석 도구를 말한다.

3. Methods

Docker container 기반의 시스템을 구성한다. 본 소프트웨어는 사용자를 위한 인터페이스를 Next.js 와 React 로 구현하여 제공하며, 호스트 시스템에 리버스 프록시로 연결하여 사용하도록 설계되었다. 해당 서비스는 내부적으로 격리된 PHP-Apache container 에 준비된 API 와 통신한다. API 는 본 시스템의 핵심 기능(로그의 분석을 통한 웹 공격 감지, 로그의 백업, 로그를 기반으로 한 AI 보안 보고서 작성 등.)을 제공한다.

4. Results

경량의 로컬 LLM 과 정규식에 기반한 로그 분석을 통해, 웹 공격을 능동적으로 감지하고 시각화 하여 제시하는 소프트웨어 개발이 완료되었다.

5. Conclusions

소규모 사업체 혹은 개인이 저비용으로 적용하여 사용 가능한 경량 로그 분석 툴의 배포를 통하여, 개인과 사회 차원에서 발생 가능한 보안사고를 최소화할 수 있을 것이다.

공격 징후를 탐지하는 정규식 세트를 개선할 예정이다. 추후 BERT 등의 언어모델을 통한 로그 분석 연구를 수용하여, 감지 정확도를 개선할 예정이다.

Keywords: lightweight log analysis; real-time log monitoring; regex-based attack detection; local LLM integration

References

- [1] 박재연, 이승연, 이하은, 이종우. "리눅스 아파치 웹 서버 실시간 로그 분석을 통한 공격 탐지 프로그램 개발" 정보과학회 컴퓨팅의 실제 논문지. vol. 24, no. 4, pp. 190-197, 2018, doi: 10.5626/KTCP.2018.24.4.190
- [2] 김점구. "웹 보안 모니터링을 위한 로그 분석 시스템 설계 및 구현" 한국차세대컴퓨팅학회 논문지 12, no.3 (2016) : 105-111.

Spatial-Aware Image Denoising through an Encoder-Decoder Framework

Thanh-Dat Nguyen¹, Le-Anh Tran¹, Ki-Chul Lee¹, Cheol Gwon¹, Eung-Seon Kim¹, and Moonsik Kang²

¹OCST Co., Ltd., Seoul, South Korea

²Department of Electronic Engineering, Gangneung-Wonju National University, South Korea

Image denoising is a fundamental task in computer vision, aiming to recover clean images from noisy inputs while preserving structural integrity. This paper introduces an innovative adaptation of the Encoder-Decoder Network with Guided Transmission Map (EDN-GTM) [1], originally developed for image dehazing, to address image denoising. This adaptation is motivated by the conceptual parallels between dehazing and denoising, as both seek to remove unwanted visual artifacts (haze and noise, respectively) while retaining important image features. Notably, the transmission map in dehazing provides structural guidance, which can serve as a spatial attention mechanism. Leveraging this insight, we reinterpret the transmission map as a spatial guidance mechanism for a U-Net-based architecture [2] to enhance denoising performance. The proposed network, inspired by EDN-GTM, is redesigned to be more compact while still incorporating a Spatial Pyramid Pooling module and Swish activation to better preserve edges and textures. An overview of the proposed framework is shown in Figure 1. Experimental results on a synthetic dataset demonstrate that the proposed model achieves favorable denoising performance with high visual quality (see Figure 2), effectively balancing noise suppression and structural preservation, with an average inference time of only 31 ms per 512×512 image.

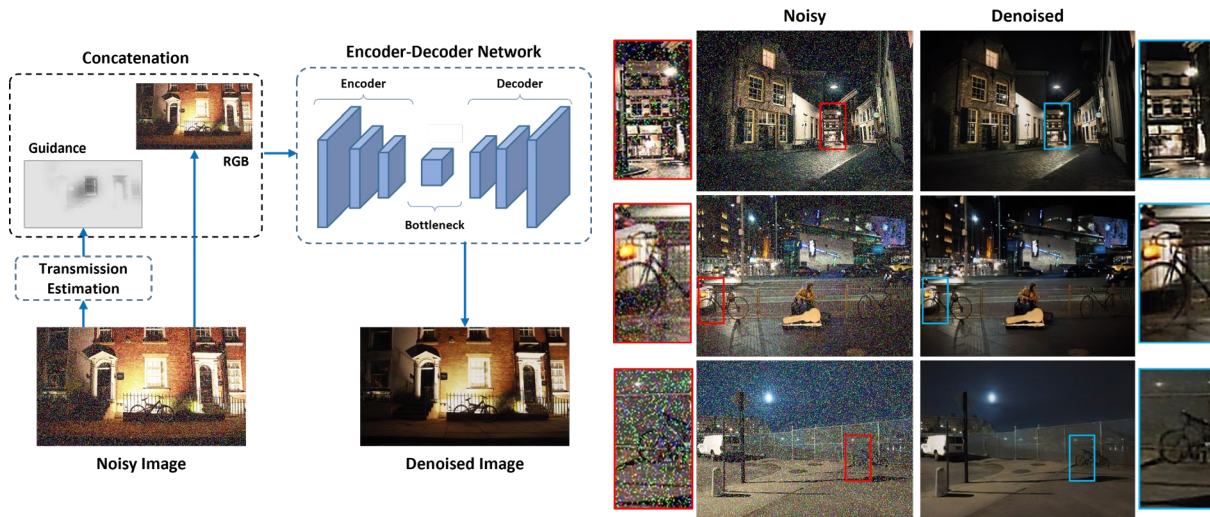


Figure 1. The proposed framework.

Figure 2. Denoising results.

References

- [1] L.-A. Tran, S. Moon, and D.-C. Park, "A novel encoder-decoder network with guided transmission map for single image dehazing," *Procedia Computer Science*, vol. 204, pp. 682–689, 2022.
- [2] L.-A. Tran and M.-H. Le, "Robust u-net-based road lane markings detection for autonomous driving," in *IEEE International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, pp. 62–66, 2019.

다변량 시계열 학습 기법의 최신 동향

편하늘, 장훈

승실대학교 소속

e-mail : give100021@gmail.com, hoon@ssu.ac.kr

Recent Advances in Multivariate Time Series Learning: A Survey

Haneul Pyeon and Hoon Jang

Soongsil University

Abstract

최근 다양한 산업 분야에서 대규모 센서 기반 데이터가 축적되면서, 시계열 데이터를 활용한 정밀한 예측과 해석의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 특히 다변량 시계열(Multivariate Time Series, MTS) 데이터는 변수 간의 복잡한 상호작용을 고려해야 하므로, 이를 효과적으로 학습하기 위한 모델 설계가 핵심 과제로 부상하고 있다. 본 논문은 이러한 배경에서 MTS 데이터를 처리하기 위한 최신 학습 기법들을 정리하고, 특히 ROCKET, PatchTST, TARNet 세 가지 대표적인 접근 방식을 중심으로 기술 동향을 분석한다. 각각의 방법은 시계열 특성을 반영한 고속 변환 기반 학습, 시계열 전용 Transformer 구조, 예측 성능 향상을 위한 attention 기반의 인과 추론 기법을 특징으로 한다. 본 서베이는 각 기법의 구조, 성능, 적용 사례 등을 비교 분석함으로써 MTS 학습 기술의 현재와 미래 방향성을 조망하고, 향후 연구자들이 적절한 방법론을 선택하고 확장하는 데 기초 자료를 제공하고자 한다.

I. 서론

최근 데이터 수집 기술과 계산 자원의 발전으로 산업, 의료, 금융, 에너지 등 다양한 분야에서 다변량 시계열(Multivariate Time Series, MTS) 데이터의 활용이 빠르게 확산되고 있다[1]. 이러한 데이터는 시간에 따라 여러 변수들이 동시에 변화하며

상호작용하기 때문에, 이를 효과적으로 처리하기 위한 예측 및 분석 모델이 필수적이다. 기존의 전통 통계 기법이나 단변량 기반 모델들은 이러한 복잡성을 충분히 반영하지 못한다는 한계가 있으며, 이를 보완하기 위한 다양한 딥러닝 기반 접근법이 활발히 연구되고 있다. 특히 최근에는 시계열의 구조적 특성과 상호의존성을 반영하거나, 인과 추론을 결합하여 모델의 예측 성능과 해석 가능성을 동시에 확보하고자 하는 시도가 주목받고 있다. 본 논문에서는 그중에서도 세 가지 대표적인 MTS 학습 모델인 ROCKET, PatchTST, TARNet을 중심으로 기술 동향을 살펴본다. ROCKET은 무작위 1D 합성곱 필터를 이용해 시계열 데이터를 빠르게 변환하고, 간단한 통계 기반의 특성 벡터를 통해 고속 분류를 수행하는 방식으로 실용성과 정확도를 모두 확보한 모델이다. PatchTST는 시계열 데이터를 패치 단위로 분할하여 Transformer에 입력함으로써, 시계열 예측에 최적화된 구조와 뛰어난 장기 예측 성능을 제공하며, 기존의 인코더-디코더 방식을 벗어난 간결한 구조로도 우수한 결과를 달성하였다. TARNet은 원래 인과 추론을 위한 신경망 구조로 제안되었으나, representation learning과 treatment-specific head 구조를 통해 시계열 내 원인-결과 관계를 효과적으로 학습하며 예측에 활용되고 있다. 본 논문은 이들 세 모델의 구조, 학습 방식, 적용 가능성 등을 비교 분석함으로써 다변량 시계열 학습 기술의 현재 흐름을 정리하고, 향후 연구 방향과 확장 가능성에 대한 통찰을 제시하고자 한다[1][2][3].

II. 본론

2.1 ROCKET

ROCKET(Random Convolutional Kernel Transform)은 시계열 분류를 위해 제안된 경량형 학습 기법으로, 수천 개의 무작위 1차원 합성곱 커널을 사용하여 시계열 데이터를 고차원 특징 공간으로 변환한 뒤, 선형 분류기를 통해 예측을 수행한다. 이 모델의 가장 큰 특징은 커널을 학습하지 않고, 길이, 가중치, 편향, dilation, padding 등 거의 모든 파라미터를 무작위로 설정한다는 점이다. 이러한 방식은 다양한 시간적 스케일과 패턴을 포착할 수 있는 커널 집합을 만들어내며, 복잡한 시계열 구조를 간단한 방식으로 효과적으로 요약할 수 있게 한다[1]. ROCKET은 각 커널을 통해 생성된 feature map으로부터 두 가지 통계값을 추출한다. 하나는 전체 값 중 가장 큰 값인 최대값(max)이고, 다른 하나는 양수로 나타난 값의 비율(ppv, proportion of positive values)이다. 특히 ppv는 시계열 내에서 특정 패턴이 얼마나 자주 나타나는지를 정량적으로 표현할 수 있어, 분류기의 판별력을 높이는 데 크게 기여한다. 커널의 수가 많아질수록 추출되는 특징의 수 또한 증가하지만, 커널이 학습되지 않고 한 층 구조로만 구성되어 있어 계산 비용은 낮고 구현이 간단하다. 이렇게 생성된 특징 벡터는 주로 Ridge Regression 또는 로지스틱 회귀 분류기에 입력되어 최종 예측을 수행한다. 일반적으로 중소형 데이터셋에서는 빠른 정규화와 교차검증이 가능한 Ridge Regression이, 대규모 데이터셋에서는 확장성이 좋은 로지스틱 회귀가 사용된다.

ROCKET은 커널을 학습하지 않음에도 불구하고 다양한 시계열 분류 문제에서 높은 정확도를 보이며, 특히 빠른 처리 속도와 단순한 구조 덕분에 baseline 모델로 널리 활용되고 있다. 이러한 점에서 ROCKET은 복잡한 학습 없이도 시계열 데이터의 다양한 특징을 포착할 수 있는 효율적인 방법으로 평가된다[1].

2.2 PatchTST

PatchTST(Patch-based Time Series Transformer)는 시계열 예측을 위해 제안된 Transformer 기반 모델로, 시계열 데이터를 패치 단위로 분할하여 입력하는 방식이 특징이다. 기존의 시계열 Transformer 모델들이 주로 인코더-디코더 구조를 사용하거나 각 시점(time step)을 독립적인 토큰으로 처리한 데 비해, PatchTST는 시계열 전체를 고정된 길이의 패치들로 나누어 하나의 시퀀스로

간주하고, 이를 입력 토큰으로 사용함으로써 더 길고 복잡한 시계열 예측에 강한 성능을 보인다[2].

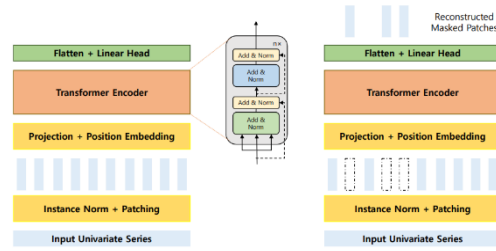


그림 1. PatchTST 모델 구조

그림 1은 PatchTST의 전체 구조를 시각적으로 요약한 것으로, 입력 시계열을 일정한 길이의 패치로 분할한 후, 각 패치를 선형 임베딩하여 Transformer 인코더에 입력하는 과정을 보여준다. 각 패치에는 위치 정보를 보완하기 위한 positional encoding이 추가되며, 다변량 시계열의 경우 각 변수(채널)는 독립적으로 인코딩된다. Transformer 인코더는 이러한 패치 임베딩을 self-attention 메커니즘을 통해 처리하며, 시계열의 장기 의존성과 전역 패턴을 효과적으로 학습한다.

PatchTST는 복잡한 디코더 없이 인코더만으로 구성되어 있어 구조가 단순하고 효율적이며, 시계열 예측에 특화된 모델 설계를 반영한다. 특히, 기존 모델들에서 흔히 사용되던 recursive prediction이나 masking 없이도 안정적인 장기 예측 성능을 달성할 수 있도록 설계되었다. 또한, 채널 독립적 학습 방식은 변수 간 간섭을 줄이고 모델의 일반화를 도우며, 실험적으로도 다변량 시계열 예측에서 우수한 결과를 보여준다.

PatchTST는 Transformer의 전역적 처리 능력을 유지하면서도 시계열 예측에 적합한 입력 구조와 훈련 방식을 갖추고 있으며, 다양한 공개 시계열 벤치마크에서 강력한 성능을 나타내는 대표적인 최신 예측 모델이다[2].

2.3 TARNet

TARNet(Treatment-Agnostic Representation Network)은 개별 처치 효과(Individual Treatment Effect, ITE)를 추정하기 위해 제안된 모델로, 입력 공변량으로부터 처치와 무관한(shared) 표현을 학습하고, 이를 기반으로 각 처치 조건에 따른 결과를 예측한다. 이러한 구조는 시계열 예측 영역에서도 변수 간의 인과 관계를 해석하고, 시간에 따른 조건적 예측을 수행하는 데 유용하게 적용될 수 있다[3].

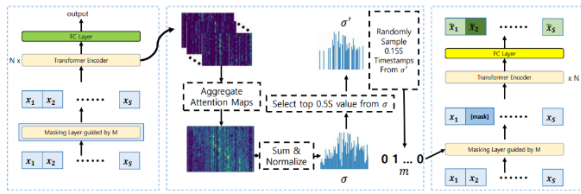


그림 2. TARNet 모델 구조

그림 2는 TARNet의 전체 구조를 시각적으로 요약한 것으로, 입력 데이터를 공통 인코더(shared representation layer)를 통해 잠재 표현 공간으로 매핑한 뒤, 각 처치 조건에 대응되는 개별 예측기를 통해 결과값을 추정하는 과정을 보여준다. 이 구조는 입력 시계열 또는 상태 변수들이 어떤 외부 처치나 조건에 의해 영향을 받을 수 있는 상황에서, 예측 대상과의 인과 관계를 분리하여 추정할 수 있도록 설계되어 있다.

특히, shared representation은 공변량 간의 복잡한 상호작용을 학습하면서도 처치 정보와 독립적인 표현을 생성하며, 이로 인해 모델은 잠재적 confounding을 억제하고 보다 안정적인 결과 예측이 가능하다. 이후 branch 구조로 분기되는 treatment-specific head들은 각각의 조건에 따른 결과를 독립적으로 추정함으로써, 개별적이고 해석 가능한 예측을 가능하게 한다.

TARNet은 표면적으로는 단순한 feedforward 네트워크처럼 보이지만, 인과 추론이라는 목적에 맞춘 구조적 설계와 표현 학습 전략이 내재되어 있어, 시계열 도메인에서는 조건적 예측, 시나리오 기반 예측, 또는 시계열적 개입 효과 추정 등에 적용할 수 있는 유연한 기반을 제공한다. 이러한 특성은 특히 MTS 환경에서 변수 간 인과관계를 반영한 정밀한 예측을 가능하게 하며, 복잡한 시계열 구조에 대한 해석력과 예측력을 동시에 요구하는 응용 분야에서 주목받고 있다[3].

III. 결론

본 논문에서는 최근 다변량 시계열(Multivariate Time Series, MTS) 데이터를 효과적으로 학습하기 위한 세 가지 주요 모델인 ROCKET, PatchTST, TARNet을 중심으로 이들의 구조적 특성과 학습 방식, 적용 가능성을 비교 분석하였다. 각 모델은 서로 다른 관점에서 시계열 데이터의 복잡성과 고차원성을 다루고 있으며, 다양한 응용 환경에서 실질적인 성능과 효율성을 입증하고 있다.

ROCKET은 학습되지 않는 무작위 합성곱 커널 기반의 특징 변환 방식을 통해 간결하면서도 빠르고 강건한 분류 성능을 제공하며, 특히 전처리 부담이

적고 계산 효율성이 높은 점에서 실용적인 모델로 평가된다. PatchTST는 Transformer의 장기 의존성 학습 능력을 시계열 예측에 최적화된 형태로 재구성하여, 패치 기반 입력 구조와 간결한 인코더 설계를 통해 우수한 예측 성능과 범용성을 보여주었다. TARNet은 인과 추론 기반의 구조를 시계열 분석에 응용함으로써, 조건적 예측 및 변수 간 인과 관계 해석이라는 측면에서 높은 해석력과 확장 가능성을 제공한다.

이러한 모델들은 단순한 예측 정확도를 넘어서, 시계열 데이터의 구조적 이해, 변수 간 상호작용 학습, 인과 관계 추정 등 다양한 분석 목적을 아우를 수 있는 잠재력을 갖고 있다. 따라서 본 논문이 제시한 비교와 분석은, 연구자들이 특정 문제 상황에 맞는 모델을 선택하거나 새로운 하이브리드 모델을 설계하는 데 있어 실질적인 방향성을 제공할 수 있을 것이다. 또한 본 서베이를 바탕으로, 향후 MTS 기반의 시계열 분석이 더욱 정밀하고 신뢰 가능한 예측 및 의사결정 도구로 발전하기 위한 이론적·기술적 토대를 마련할 수 있기를 기대한다.

IV. Acknowledgement

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 지원을 받아 수행되었음(2024-0-00071)

참고문헌

- [1] Dempster, A., Petitjean, F., & Webb, G. I. (2020). ROCKET: Exceptionally fast and accurate time series classification using random convolutional kernels. *Data Mining and Knowledge Discovery*, 34(5), 1454–1495.
- [2] Nie, W., Yuan, H., & Wu, J. (2023). A Time Series is Worth 64 Words: Long-term Forecasting with Temporal Attention. *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*.
- [3] Shalit, U., Johansson, F. D., & Sontag, D. (2017). Estimating individual treatment effect: generalization bounds and algorithms. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning (ICML)*, 70, 3076–3085.

AI 기반 시계열 예측과 군집화 기법을 활용한 전공 계열별 대학 졸업자 취업률 분석

문성아, 서지훈

강남대학교 소속

e-mail : crescentmoon@kangnam.ac.kr

An AI-Based Analysis of Employment Rates by Academic Discipline Using Time Series Forecasting and Clustering Techniques

SungAh Moon and Jihoon Seo

Kangnam University

Abstract

본 연구는 2014년부터 2023년까지의 고등교육기관 졸업자 통계를 기반으로, 계열별 취업률의 변화 추이를 분석함으로써 고등교육의 취업 준비 효과를 실증적으로 검토하고자 한다. 분석에는 교육통계서비스에서 제공하는 '고등교육기관 졸업자 취업통계연보' 데이터를 활용하였으며, 문과, 이과, 예체능 등 다양한 계열별로 연도별 취업률 변화를 비교하였다[1]. 이를 통해 특정 계열의 취업률이 장기적으로 어떻게 변화해 왔는지를 시각화하고, 고용 시장에서의 전공 계열 간 격차를 도출하였다. 데이터 전처리 및 분석은 Python을 기반으로 진행되었으며, 기술 통계와 시각화 기법을 중심으로 계열별 취업률의 패턴을 확인하였다. 연구 결과는 고등교육의 계열 선택이 졸업 후 취업에 미치는 영향을 파악하는 데 기여하며, 향후 고등교육 정책 수립 및 진로 상담에 실질적인 시사점을 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

I. 서론

최근 고등교육의 대중화로 인해 대학 졸업생의 경력은 학생 자신과 사회 전체에 중요한 문제로

간주된다. 특히 학문 계열 간 노동 시장 기회의 차이는 개인의 경력 선택에 직접적인 영향을 미칠 뿐만 아니라 고등교육기관 정책 설계에도 중요한 역할을 한다. 실제로 항상 매우 높은 취업률을 보이는 계열이 있는 반면, 구조적 제약으로 인해 매우 낮은 취업률을 보이는 계열도 있다. 이러한 불일치는 고등교육의 역할에 대한 논쟁을 촉발시키고, 학문 계열 선택과 노동 시장 참여에 대한 전략적 접근의 중요성을 강조한다.

분석 대상은 고등교육기관을 졸업한 인원 중 통계에 포함된 전공 계열의 졸업자이다. 분석에 포함된 전공 계열은 인문계열, 사회계열, 교육계열, 공학계열, 자연계열, 의약계열, 예체능계열 총 7개의 계열이다.

II. 본론

2.1 전공 계열별 취업률 변화 추세

[그림1]은 지난 10년간 주요 분야별 취업률을 시계열로 분석한 결과이다. 의학계열은 평균 약 83%의 높은 취업률을 보였고, 공학계열 또한 65%에서 최대 72% 사이로 비교적 높은 취업률을 유지하였다. 반면, 인문학 및 교육 계열은 약 50%의 낮은 취업률을 유지했다. 10년 간의 평균치를 기준으로 보면, 의약(83.0%) 및 공학(68.5%) 계열이 상위권을 차지했으며, 교육계열은 49.6%로 가장 낮았다. 이러한 결과는 실무 중심 전공일수록 높은

취업률을 보인다는 경향을 뒷받침한다[2]. 또한 표준편차를 활용해 계열별 취업률의 변동성을 분석한 결과, 의약계열(1.06%)이 가장 안정적이었으며, 공학(2.62%)과 예체능(2.37%) 계열은 상대적으로 높은 변동성을 보였다.

[그림2]는 전공 간 취업률 변화의 상관관계를 시각화한 그래프로, 공학과 자연과학 간에는 0.68, 사회과학과 교육 간에는 0.83의 높은 상관관계가 확인되었으나, 예체능계열은 다른 계열과 낮은 상관관계를 보였다. 이는 각 전공별로 산업과의 연계 구조에 본질적인 차이가 있음을 시사한다[2].

[그림3]은 K-Means 클러스터링 결과를 나타내는 그래프이다. K-Means 클러스터링 결과 전공 계열은 크게 세 개의 군집으로 구분되었다. 첫 번째 군집은 의약 및 공학 계열로 구성되며, 이들은 높은 평균 취업률과 낮은 표준편차를 기반으로 안정적인 고용 구조를 보였다. 두 번째 군집은 자연과학과 예체능 계열로, 비교적 중간 수준의 고용률과 일정 수준의 변동성을 특징으로 하였다. 세 번째 군집은 인문 및 교육 계열로, 낮은 평균 취업률과 상대적으로 불안정한 고용 양상을 보였다. 이러한 군집 분석 결과는 전공 선택 시 고용 안정성에 대한 실질적 정보를 제공한다는 점에서 의의가 있다.

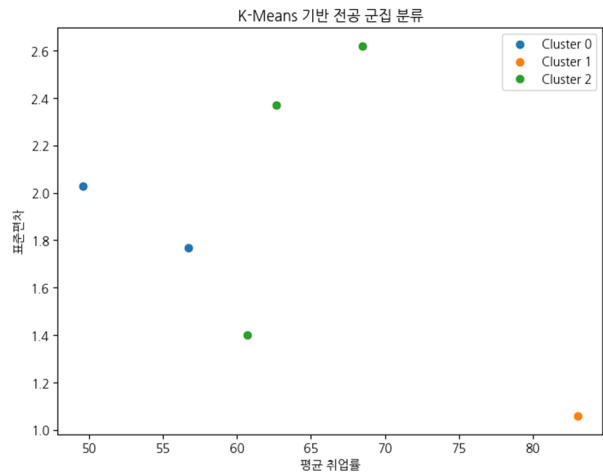


그림 3. 전공 계열 간 K-Means 클러스터링 분석

III. 결론 및 정책적 시사점

고등교육은 특정 계열, 특히 의약 및 공학 분야에서 직업 연계 기능이 뚜렷하게 작동하고 있지만, 인문·예체능·교육 계열에서는 구조적 불일치가 지속되고 있다[2]. AI 기반 분석 결과는 이러한 전공 계열별 고용 구조의 유형화 및 향후 고용 전망에 대한 실증적 근거를 제공하였다.

K-Means 클러스터링을 통해 도출된 계열 유형은 교육정책 및 진로지도 과정에서 전공 선택 시 고려할 수 있는 고용 안정성 지표로 활용 가능하다. 특히 의약 및 공학 계열이 고용 안정성이 높고 구조화된 경로를 제공하는 반면, 인문 및 예체능 계열은 다양하고 비정형적인 경로를 따르는 경향이 있음이 확인되었다.

또한 Prophet 기반 시계열 예측 결과는 향후 몇 년간 특정 계열의 고용률이 지속적으로 상승 또는 정체될 가능성을 제시하며, 계열별로 맞춤형 대응 전략 수립의 근거를 제공한다. 고등교육 기관은 이러한 예측 데이터를 바탕으로 커리큘럼 개편, 현장실습 강화, 자격 기반 교육 도입 등의 조치를 보다 전략적으로 고려할 수 있다.

참고문헌

- [1] 교육부·한국교육개발원. (2014-2023). 고등교육기관 졸업자 취업통계연보.
- [2] 이지훈 외. (2015). 「대학취업률에 대한 이론적 고찰 및 질적 차이 분석」. 취업진로연구, 5(3), 109-130.

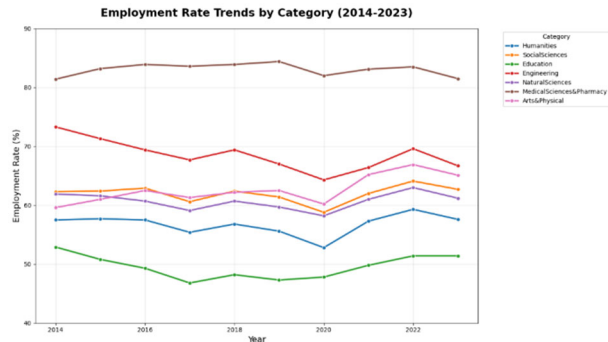


그림 1. 전공 계열별 취업률 변화 추이

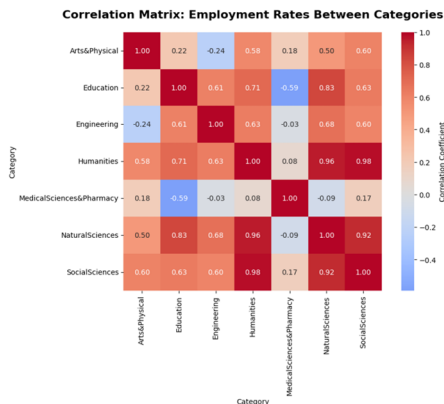


그림 2. 전공 계열 간 상관관계 분석

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[포스트세션 3] 통신/IoT/헬스케어

좌장 : 구본태(한국전자통신연구원)



무인영상로봇들간 Private-5G 통신을 지원하는 비상AI통신플랫폼

Joon Kyung Lee¹, Sang Sik Yoon¹, Myoung Soon Kim² and Sang Jin Lee³

¹ETRI, ²Manosoft Inc., ³HMSolution Inc., Korea

초록

본 Horizon-Europe 국제공동연구의 SYNERGISE 프로젝트는 극한 자연재해 및 인적재해가 발생했을 때 재난현장에 응급구조요원(First Responder: FR)들이 긴급출동하여 무인지능로봇들(XAI+AR)을 앞장세워 극히 위험한 재난현장에 선제 투입하고, 현장지휘본부와 응급구조요원(로봇)들 간에 실감적으로 증강현실로 동시 협업할 수 있는 C3I/IMS 지휘체계 기반의 통합 Toolkit 긴급재난구조플랫폼을 개발하고 있다. (2023.09. ~ 2027.02.: 3.5 년)

본 Horizon-Europe 의 유럽,미국,일본,한국 등 18 개 기관들이 참여하는 SYNERGISE 에서 ETRI 는 대형화재, 가스노출, 지진, 신종 도시형 대형참사 등 극한재난구조용 로봇들을 후방에서 Closed-loop 형태로 AI/ML 기반 품질보장지능형 비상통신망을 외부전문없이 비전문가도 1 시간(→30 분) 이내에 자동·자율적으로 구축할 수 있는 휴대이동형 유·무선통합 자율비상통신망/서비스를 개발한다.

2024 년(2 차년도) 11 월 그리스 재난훈련센터에서 재난현장과 원격지휘소 간을 긴급하게 통신연결하는 Private-5G 통신장치 및 gNodeB 와 Core Plane 을 설치하여 5G 스마트폰, 5G UE-NAT 라우터, 5G-to-Satellite(LEO)와의 인터넷 연결성을 확인하였으나, Radio Unit 부품의 고가격으로 현재 낮은 수준의 데이터 전달용량과 짧은 전송거리만을 개발하여 해외 재난훈련센터에서 PoC 연결성 실증시험을 확인하였다. 향후 2025 년에는 데이터 전달용량을 20~100Mbps 로 확대하고 전송범위도 100m x 100m 로 확대하여 많은 수의 구조도구들(예: 생체슈트/측위발표, 드론/개/뱀-로봇들)에 통신 Capacity 를 늘리고, 모든 구조도구들 간에 긴급히 통신할 수 있도록 전원-on 시 10~20 분 내에 긴급통신망이 작동되도록 고도화하였다.

최종적으로는 재난안전 지능화 비상자율통신망 구축 및 운용을 위해 비상통신망 내 SDN/ONOS/학습지능(AI/ML) 기반의 SON-지능통신망 자율관리를 구축하여 SIP/VoIP 음성서비스 뿐만 아니라 멀티미디어 기반의 스마트안경 구조헬멧이 더 복잡한 증강현실 기능을 이용하여 비상운용 매뉴얼/지시사항들을 가상객체로 띄워 즉각적이며 손쉽게 복잡다단한 사고들을 쉽게 수습할 수 있는 초기 지능형 메타버스 비상통신망을 제공하여 한국의 재난안전청(예: 소방청, 경찰청, 군사 작전지역 등) 산하 LEO/Private-(B)5G 혹은 Long-range AIoT 연동 WiFi-6E/7E 등과 연동되는 비상통신망 적용 범위를 확대하고자 한다.

Keywords: SYNERGISE, Disaster Rescue XAI+AR Robots, Private-5G Field Communication

Acknowledgment: 본 논문은 EU-Horizon Europe “SYNERGISE” 국제공동연구과제와의 연계 일환하여 수행하고 있으며, 2023 년도 과기정통부와 IITP 의 연구재원으로 지원을 받아 수행되고 있는 3 차년도 연구결과임. (2023.07. ~ 2025.12., 과제명: 극한재난 구조용 지능형 상황인지 초실감 원격협업 및 이동형 자율 네트워크링 핵심기술 개발, “정보통신융합국제공동연구” 분야임)

References

- [1] 이준경 외 5 인, "The Research on a Cloud Intelligence Communication Platform of Smart Edge Devices supporting for Metaverse Spatial Reality", IARIA 내 NetWare/AFIN 2023, (ISBN: 978-1-68558-093-3, September 25~29, 2023, Porto, Portugal)

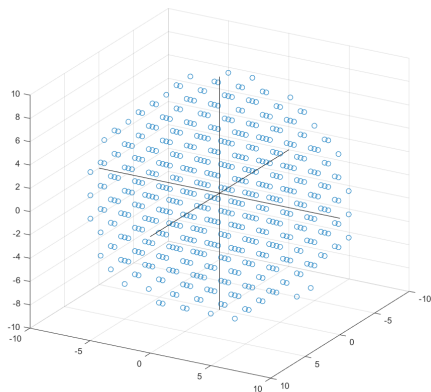
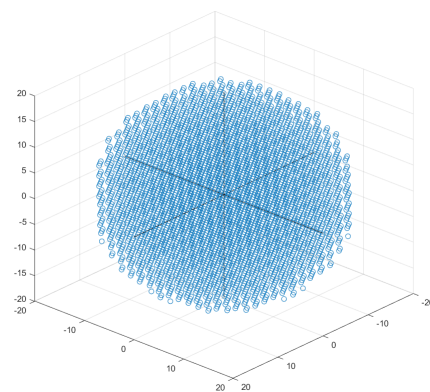
에너지 효율적 다차원 사각 격자 형성 기법 연구

신동훈*, 박성준*

*강릉원주대학교 전자·반도체공학부

초록

무선 통신시스템의 전송 효율을 개선하고 초고속 데이터 전송을 구현하기 위해 변조심볼 당 다수의 비트를 탑재하여 전송하는 고차변조 기법이 널리 활용되고 있다^[1]. 대표적으로 사용되는 고차변조에는 사각 직교진폭변조(square quadrature amplitude modulation, SQAM)이 있으며, 최근에는 SQAM의 에너지 효율을 개선하는 원형 경계 사각 직교진폭변조(circular square quadrature amplitude modulation, C-SQAM)의 구현 방안이 제시되고 이론적 한계가 분석되었다^[2]. 본 연구에서는 상기 C-SQAM 기법에서 제안된 개념을 3차원 사각 격자로 확장한다. 즉, 균일 정사각 격자 환경에서 평균 에너지를 최소화하는 M 개 지점을 추출하는 방법을 제시하고, 그림 1, 2와 같이 M 의 증가에 따라 격자의 외형이 빠르게 구형으로 수렴함을 보인다. 또한, 제안 기법의 평균 에너지와 평균 인접 심볼 개수를 도출하고 기존 정사각 큐브 형태의 격자와 비교함으로써 M 에 따른 특성 변화를 고찰한다. 분석 결과, $M = 512 (= 2^6)$ 일 때 평균 에너지 이득은 0.2665 dB, $M = 4096 (= 2^9)$ 일 때 평균 에너지 이득은 0.3268 dB임을 확인하였다.

그림 1. $M=512$, C-SQAM그림 2. $M=4096$, C-SQAM

References [1] C. Compagnone and B. Glazer, "A coherent digital amplitude and phase modulation scheme," *IEEE Tr: Commun.*, vol. 10, no. 1, pp. 90-95, 1962. [2] M. Seong and S.-J. Park, "Quadrature amplitude modulation with circular boundary," *J.KICS*, vol. 49, no. 6, pp. 801-806, Jun. 2024.

Secure NFC-HCE Authentication with Quantum Random Number Generation and Multi-Device Key Distribution

See Jong Leem¹, Sang Zee Lee², Sung Rae Kim², and Junhee Han³

¹TECH UNIVERSITY OF KOREA, Korea ²OptoScan Co., Ltd, Korea ³Junconnect Co., Korea

초록

Near Field Communication (NFC) with Host Card Emulation (HCE) enables secure mobile authentication and payment systems, yet faces challenges like session initialization instability. This study presents a novel framework that integrates a buffer file mechanism, quantum random number generator (QRNG), and a multi-device key distribution system to enhance the security and reliability of NFC-HCE applications. To address HCE initialization failures, a buffer file temporarily stores transaction data, ensuring data integrity with a 95% success rate in transaction continuity under stress testing. For heightened security, a QRNG-enabled server generates high-entropy key pairs for cryptographic operations. Upon an OTP request from a smartphone, the server distributes private and public keys to both the requesting smartphone and a PC client sharing the same user ID, enabling secure multi-device authentication. Lightweight encryption protects buffered data, while QRNG-based keys reduce the risk of cryptographic attacks. This approach minimizes computational overhead, making it suitable for resource-constrained devices. The proposed system offers a scalable, secure solution for NFC-HCE applications, with potential in mobile payments, access control, and IoT ecosystems. Future work will explore adaptive buffer optimization and advanced QRNG-based cryptographic protocols to further enhance performance and security.

Keywords: NFC, HCE, Quantum Random Number Generator, OTP, Multi-Device Authentication, Information Security

References

- [1] Alattar, M., & others. (2014). Host-Based Card Emulation: Development, Security, and Ecosystem Impact Analysis.
- [2] Ozdenizci, B., & others. (2016). A Tokenization-Based Communication Architecture for HCE-Enabled NFC Services.
- [3] Axion Technologies LLC. (n.d.). Quantum Random Number Generation on a Chip. *Chain Reaction Innovations*.
- [4] Freemindtronic. (2021). NFC HSM: A Secure and Flexible Solution for NFC Applications. *Freemindtronic*.
- [5] Hosseinzadeh, S., & others. (2022). NFC Threats and Attacks: Applying a Low-Cost Algorithm for Secure Channel Using Twofish.

스마트팜 생육환경 모니터링 시스템 구축에 관한 연구

Hoon-Seok Jang¹¹Korea Electronics Technology Institute, Korea

초록

정보통신기술의 발전으로 사물인터넷(IoT) 기반 기술의 개발이 삶의 질을 향상시키고 있으며, 다양한 분야로 그 응용이 확대되고 있다. 특히 스마트팜은 한국 농촌 지역이 직면한 지속 가능성 위기의 해결책으로 주목받고 있다. 스마트팜은 작물의 생산성과 품질을 높이기 위해 생육 환경을 최적화하는 농장이다. 스마트팜 내 생육환경 데이터 수집/분석/시각화를 통해 생산성 향상과 작물 관리의 추가적인 가능성이 열릴 수 있다. 본 논문은 스마트팜 작물 생육환경 모니터링 시스템 구축에 관해 제안한다. 데이터 수집을 위해 메인보드와 센서 보드 간 RS-485 통신을 통해 9 가지 센서 데이터 (온도, 습도, CO₂, 일사, 지온, 지습, 토양 EC, 배액 EC, 배액 pH)를 획득하여 DB에 저장 후 모니터링 시스템 내 시각화한다. 이후 저장된 데이터를 커널 밀도 추정 분석, 공적분 분석, 상관관계 히트맵 분석 등을 수행하여 스마트팜 생육환경 모니터링 시스템 내 시각화한다. 구축된 스마트팜 생육환경 모니터링 시스템을 통해 수집 데이터 실시간 모니터링 및 데이터의 분포, 변화 추세, 상관관계 등을 확인할 수 있다. 앞으로는 장기 데이터를 확보하여 보다 정밀하고 정확한 데이터 분석을 하여 모니터링 시스템 내 반영할 계획이다.

References

- [1] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A Literature Review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 164-173, May 2015.
- [2] N. H. Motlagh, M. Mohammadrezaei, J. Hunt, and B. Zakeri, "Internet of Things (IoT) and the Energy Sector," *energies*, vol. 13, no. 2, pp. 494, January 2020.
- [3] S. Kim, M. Lee, and C. Shin, "IoT-Based Strawberry Disease Prediction System for Smart Farming," *Sensors*, vol. 18, no. 11, pp. 4051, November 2018.
- [4] K. H. Son, H. S. Sim, J. K. Lee, "Precise Sensing of Leaf Temperatures for Smart Farm Applications," *horticulturae*, vol. 9, no. 4, pp. 518, April 2023.
- [5] I. Jebli, F. Z. Belouadha, M. I. Kabbaj, and A. Tilioua, "Prediction of solar energy guided by pearson correlation using machine learning," *Energy*, vol. 224, pp. 120109, June 2021.
- [6] S. H. Han, H. Mutahira, and H. S. Jang, "Prediction of Sensor Data in a Greenhouse for Cultivation of Paprika Plants Using a Stacking Ensemble for Smart Farms," *Applied Sciences*, vol. 13, pp. 10464, September 2023.

EEG와 오디오 멀티모달 융합을 통한 감정인식

Kyu-Hyeok Lee, and Hyoung-Gook Kim
Kwangwoon University, Republic of Korea

초록

최근 감정 인식(Affective Computing)[1]은 인간-컴퓨터 상호작용(HCI), 정신건강 모니터링, 지능형 서비스 설계 등 다양한 응용 분야에서 중요한 연구 주제로 부상하고 있다. 특히 보다 정확하고 정밀한 감정 추론을 위해, 생리적 신호와 외부 자극 반응을 함께 분석하는 멀티모달 감정인식[2]에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이 가운데 뇌파(Electroencephalogram, EEG) 신호는 인간의 내면적 감정 상태를 비교적 직접적으로 반영할 수 있는 생리학적 지표로 주목받고 있으며, 오디오 신호는 감정 표현 및 감성 자극과 밀접하게 연관된 정보로서 중요한 보완적 역할을 수행한다.

본 논문에서는 이러한 이질적 모달리티인 EEG 와 오디오 신호 간의 상호보완적 특성을 효과적으로 활용하기 위해, 심층 신경망 기반의 멀티모달 감정 인식 방법을 제안한다. 제안된 모델은 두 신호의 시공간적 표현(spatio-temporal representation)을 각각 추출한 후, 이를 융합 학습(fusion learning)을 통해 통합하여 감정 상태를 정밀하게 분류하는 것을 목표로 한다.

구체적으로는 먼저 EEGNet[3]과 Temporal Convolutional Network(TCN)[4]을 활용하여 EEG 데이터의 시공간 패턴을 추출하고, 사전 학습된 VGG 네트워크(VGGish)[5]와 TCN 을 적용하여 오디오 신호의 시공간 임베딩을 도출한다. 이렇게 획득한 EEG 및 오디오의 고차원 특징은 통합되어 다층 퍼셉트론(Multi-Layer Perceptron, MLP)에 입력되며, 최종적으로 네 가지 감정 범주(예: 고각도 긍정, 고각도 부정, 저각도 긍정, 저각도 부정)로 분류하는 구조를 갖는다. 모델의 성능 검증을 위해

감정 인식 분야에서 널리 사용되는 DEAP[6] 데이터셋을 활용하였으며, 실험 결과 제안된 멀티모달 모델은 EEG 단일모달 기반 기존 모델에 비해 더 높은 분류 정확도와 안정적인 학습 성능을 나타냈다. 이는 EEG 와 오디오라는 서로 다른 모달리티가 각기 다른 감정 정보를 상호보완적으로 제공함을 실증적으로 보여주는 결과이다.

본 연구의 주요 기여는 다음과 같다. 첫째, EEG 및 오디오 신호의 시공간적 특징을 동시에 고려한 멀티모달 딥러닝 구조를 설계하였다. 둘째, 각 모달리티 간의 정보 정렬 및 융합을 통해 감정 인식의 정밀도를 향상시켰다. 셋째, DEAP 을 기반으로 실험을 수행함으로써 제안된 모델의 실용 가능성을 확인하였다. 결론적으로, 본 연구는 생리신호와 오디오 신호를 통합한 멀티모달 딥러닝 모델이 정확하고 신뢰성 있는 감정 인식을 가능하게 함을 보여주며, 향후 감성 컴퓨팅 및 감정 기반 인터페이스 설계분야에서의 실질적인 적용과 확장을 기대하게 한다.

Acknowledgements

본 논문은 2024년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2023R1A2C1006756).

References

- [1] G. Pei, et al. "Affective computing: Recent advances, challenges, and future trends." *Intelligent Computing* 3 (2024): 0076.
- [2] B. Pan, K. Hirota, Z. Jia, and Y. Dai, "A review of multimodal emotion recognition from datasets, preprocessing, features, and fusion methods," *Neurocomputing*, 561, 126866 (2023).
- [3] V. J. Lawhern, A. J. Solon, N. R. Waytowich, S. M. Gordon, C. P. Hung, and B. J. Lance, "EEGNet: a compact convolutional neural network for EEG-based brain-computer interfaces," *J. Neural Eng.* 15, 056013 (2018).
- [4] S. Bai, J. Z. Kolter, and V. Koltun. "An empirical evaluation of generic convolutional and recurrent networks for sequence modeling," *arXiv preprint arXiv*, 1803.01271 (2018).
- [5] K. Simonyan, "Very deep convolutional networks for large-scale image recognition," *arXiv preprint arXiv*, 1409.1556 (2014).
- [6] S. Koelstra, C. Muhl, M. Soleymani, J.-S. Lee, A. Yazdani, T. Ebrahimi, T. Pun, A. Nijholt, and I. Patras, "DEAP: A

database for emotion analysis; using physiological signals,” IEEE trans. on affective computing, 3, 18-31 (2011).

뇌혈류변화 및 후각 바이오마커 기반 인지저하 선별 모델 개발

Wooseop Kim¹ and Wonhoe Gu¹

¹NEUBREZE Inc., Korea

초록

급속한 인구 고령화로 인해 치매와 같은 신경 퇴행성 질환의 발병률이 급격히 증가하여 심각한 사회경제적 부담을 초래하고 있다. 현재 설문 기반 선별 검사는 경도인지장애(MCI)나 주관적 인지저하(SCD)와 같은 초기 인지기능 저하를 감지하는데 어려움을 보인다. 이를 해결하기 위한 다양한 방식들이 시도되고 있으나, 최근 후각 기능의 저하가 인지저하의 초기 바이오마커로써 검증되고 있는 연구결과[1, 2]들이 나타나고 있다.

따라서 본 연구에서는 해당 바이오마커를 활용해 보다 정확하고 진보된 선별 검사모델을 개발하고자 한다. 개발 모델은 기존에 있던 행동 데이터 기반 진단 방식과 다르게, 개인의 후각기능과 후각자극에 따른 prefrontal cortex 내 산소포화도 변화와 같은 바이오마커를 주요 특징으로 활용하여 치매로의 전환 이전 경도인지장애, 주관적인지저하를 선별하고자 한다.

이러한 고감도 바이오마커는 더욱 객관적이고 신뢰성 높은 선별을 가능하게 할 것으로 판단된다. 우리는 초기 AI 모델을 개발하기 위해 정상 인지(NC), 경도 인지 장애(MCI), 치매(DT) 그룹에 대한 10,000 건의 합성 데이터를 생성하였다. 해당 데이터 생성은 기존 연구결과에서 도출된 정상, 경도인지장애, 치매 그룹의 후각기능검사 점수와 뇌혈류농도 데이터 통계[3,4]를 참조하여 생성하였다. 더불어 일반적인 데이터가 가지는 노이즈 특성을 반영하기 위해 전체데이터의 약 5%는 가우시안 노이즈를 임의로 생성하여 추가해 일반적인 데이터의 특성을 모방하였다.

생성된 데이터 기반으로 분류에 최적화된 모델을 찾기 위해, 먼저 5 개의 분류 후보 모델(로지스틱 회귀, 의사결정 트리, 지원 벡터 머신, 랜덤 포레스트, XGBoost)을 선별, 생성하여 평가하였고, 그 결과 XGBoost 가 0.8255 라는 우수한 F1 score 를 보여 해당 모델을 최적모델로 선정 후에 Grid search 를 통해 hyperparameter 튜닝을 거쳐 0.8531 로 향상시켰다.

이 후 최적화된 parameter 를 통해 최종 생성된 XGBoost 모델은 0.8767(약 88%)의 최종 분류 정확도 보였다. 향후 모델 성능 향상을 위해 합성데이터에 대한 의존도를 줄이고 실제 데이터로의 전환 과정을 통해 더욱 견고하고 높은 정확도를 보이는 모델을 도출할 예정이며, 이러한 강력한 툴은 인지저하 및 치매 조기선별 관리/모니터링에 기여할 것으로 판단된다.

Acknowledgements

This work was supported by the Technology development Program (00511159) funded by the Ministry of SMEs and Startups (MSS, Korea).

References

- [1] Diez, Ibai, et al. "Tau propagation in the brain olfactory circuits is associated with smell perception changes in aging." *Nature Communications* 15.1 (2024): 4809.11-24.
- [2] Murphy, Claire. "Olfactory and other sensory impairments in Alzheimer disease." *Nature Reviews Neurology* 15.1 (2019): 11-24.
- [3] Kim, Hye Ri, et al. "Cut-off scores of an olfactory function test for mild cognitive impairment and dementia." *Psychiatry Investigation* 17.10 (2020): 1021.
- [4] Kim, J., et al. "Classification of Alzheimer's disease stage using machine learning for left and right oxygenation difference signals in the prefrontal cortex: a patient-level, single-group, diagnostic interventional trial." *European Review for Medical & Pharmacological Sciences* 26.21 (2022).

Effects of Load Knowledge and Load Magnitude on Cognitive and Physiological Responses during Lifting Tasks: A Multimodal EMG-fNIRS Study

Jaesung_Kang¹, Jae-Ho Han², Hyeong-Dong Kim^{1*} and Jaeyoung Shin^{3*}

¹*Department of Public Health Sciences, Korea University, Seoul, 02841, Republic of Korea,*

²*Department of Brain Engineering, Korea University, Seoul, 02841, Republic of Korea,*

³*Department of AI Data Engineering, Korea National University of Transportation, Uiwang, 16106, Republic of Korea*

Abstract

Accurate knowledge of object weight is essential for effective motor planning and physiological regulation during lifting tasks. Lack of such knowledge may lead to altered neuromuscular strategies and increased injury risk [1]. This study investigated how weight knowledge (known vs. unknown) and load magnitude (3 kg vs. 9 kg) affect cognitive and physiological responses. Thirty healthy adults performed repetitive lifting tasks under a 2×2 factorial design. Surface electromyography (EMG), inertial measurement units (IMUs), and functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) were used to monitor erector spinae (ES) muscle activity, lumbar kinematics, and prefrontal cortex (PFC) activity, respectively. Two-way repeated-measures ANOVA and paired t-tests assessed main and interaction effects. Subjective exertion was evaluated using the Borg CR-10 Scale. Results showed that unknown weight significantly increased ES activation ($p = .045$) and PFC oxygenated (HbO) and deoxygenated hemoglobin (HbR) levels ($p < .001$ and $p = .030$, respectively). Load magnitude also significantly influenced ES activation ($p = .004$) and HbO levels ($p < .001$). These findings indicate that cognitive uncertainty and physical load jointly modulate neuromuscular and cortical responses. This study supports the value of multimodal assessments and highlights the importance of considering both cognitive and physical demands in ergonomics and injury prevention [2].

Acknowledgments This work was supported by the Ministry of Education of the Republic of Korea and the National Research Foundation of Korea (NRF-2023S1A5A2A03085474)

References

- [1] W. Elsayed, A. Farrag, M. El-Sayyad, and W. Marras, "Changes in muscular activity and lumbosacral kinematics in response to handling objects of unknown mass magnitude," *Hum Mov Sci*, vol. 40, pp. 315–325, 2015, doi: 10.1016/j.humov.2015.01.008.
- [2] Z. Chen et al., "Heavier Load Alters Upper Limb Muscle Synergy with Correlated fNIRS Responses in BA4 and BA6," *Cyborg and Bionic Systems*, vol. 4, 2023, doi: 10.34133/cbsystems.0033.

원격근무 환경과 사회적 지지가 직장인의 정신건강 치료의지에 미치는 영향 분석

: 군집 및 로지스틱 회귀모델을 중심으로

Yujung Choi¹, and Junseok Lee¹

¹ Department of AI Convergence Engineering, Kangnam University, Korea

초록

본 연구는 코로나 19 이후 재택 및 원격근무가 확산됨에 따라 원격근무 여부가 직장인의 정신건강 치료의지에 미치는 영향을 분석한다. 기존연구들은 원격근무가 스트레스, 업무효율, 고립감 등에 미치는 영향을 탐구해왔으나 실제로 정신건강 문제를 인식했을 때 치료를 받으려는 의지와 원격근무 사이의 관계를 분석해왔던 연구는 드물었다[1-4]. 원격근무 환경에서 정신건강치료의지가 줄어들 수 있다는 가설을 검증하기 위해 연구를 진행하였다. 이를 위해 비지도 군집화 기법인 Gaussian Mixture Model 을 활용하여 원격근무 여부, 사회적 지지, 수면, 스트레스 정도를 기준으로 취약군, 중간군, 견고군 세 클래스로 군집화 하였다. 정신건강치료의지를 종속변수로 설정하고 원격근무 여부, 사회적 지지 점수, 수면 시간, 스트레스 정도를 독립변수로 설정하여 각 클래스별로 로지스틱 회귀분석을 진행하였다[5]. 분석 결과, 원격근무 비율 높고 사회적 지지 및 수면 시간이 낮으며 스트레스 수준이 높은 취약군에서만 스트레스 정도가 치료 의지에 유의미하게 영향을 미치는 것으로 나타났다 ($p < 0.05$). 반면 중간군과 견고군에서는 원격근무 여부, 사회적 지지, 수면, 스트레스 어느 변수도 유의미하지 않았다. 전체 집단 분석에서는 드러나지 않았던 원격근무와 치료의지의 관계성을 클래스로 군집화 한 후 발견할 수 있었다. 본 연구 결과는 조직 전체보다는 취약클래스에 대한 맞춤형 스트레스 관리 등 우선 지원이 필요함을 시사한다. 향후 연구에서는 직무 강도, 조직문화 등 다양한 변수를 추가하여 보다 세밀한 분석을 수행할 필요가 있다.

References

- [1] Charlotte E. Hall 외, "The Relationship between Homeworking during COVID-19 and Both Mental Health and Productivity: a systematic review", BMC psychology, Vol.11, No.1, 2023.
- [2] 김호연 외, "재택근무, 일-가정 갈등, 우울·불안과의 연관", 2022년도 제 68차 대한직업환경의학회 가을학술대회 논문집, 2022.
- [3] 박정흠 외, "코로나19 위기가 근로자 정신건강 및 근무행태에 미친 영향", 한국조세제정연구원, 2023.
- [4] Dearbhla O'Hare 외, "A cross-sectional investigation on remote working, loneliness, workplace isolation, well-being and perceived social support in healthcare workers", BJPsych Open, Vol.10, No.2, 2024.
- [5] M. Mashayekhi, Mental Health, Kaggle, <https://www.kaggle.com/datasets/mahdimashayekhi/mental-health>, Accessed: Jul. 2025

Development of full-field Electroretinogram Measurement System

Sangpil Yun¹, Chanki Park^{1*}, Mohammad Yusuf¹, Hanvit Kim¹, Hyung Ju Park¹

¹Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daejeon, Korea

*Corresponding Author: chanki@etri.re.kr

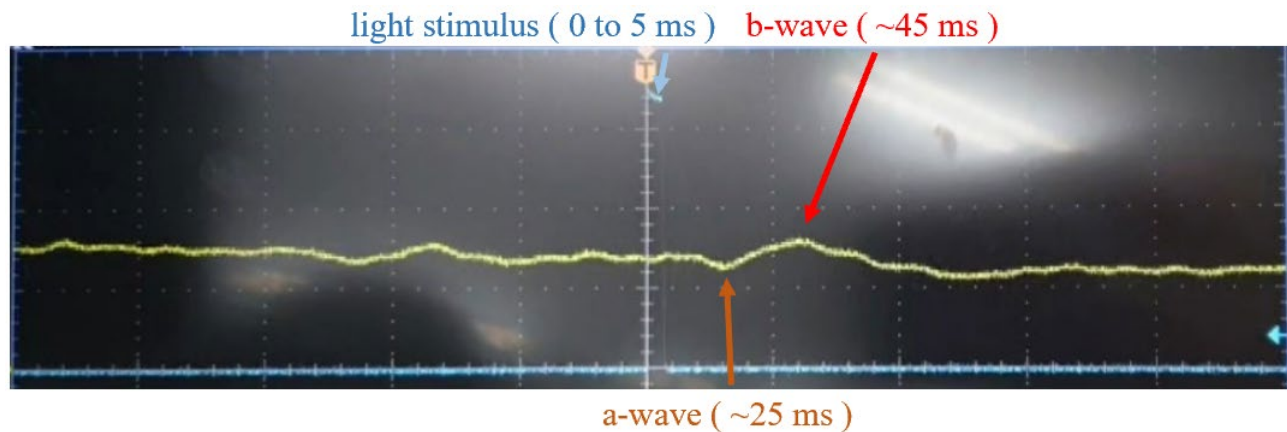
Abstract

Full-field ERG (ffERG)는 망막 전체에 퍼지는 섬광 자극에 대한 집합적인 전기생리학적 반응을 기록하는 방식으로, 망막의 전반적인 기능을 평가하는 데 널리 사용된다.^[1] 그러나 현재 ERG 장비는 대부분 고가의 외국산 장비에 의존하고 있는 실정이다. 본 연구의 목적은 국내 기술로 개발한 ffERG 측정 시스템을 구현하고, 이를 통해 생체신호 측정의 접근성을 높이는 데 있다.

피부 전극으로부터의 신호는 Common Mode Rejection Ratio 약 125 dB의 차동증폭기, 고역통과 필터, 증폭기, 저역통과 필터를 거치도록 구성된다. 또한 광 자극은 마이크로 컨트롤러를 통해 제어되며, 광 자극 시간은 5ms로 구현되었다. 해당 시스템을 활용하여 광순응 7 cd·s/m² 조건에서 ffERG 측정을 수행한 결과, 18~27 uV 크기의 ffERG 신호와 약 25 ms와 45 ms 지점에서 a-wave와 b-wave가 관찰되었다.

본 연구는 정밀한 광 자극 제어 기술과 생체신호 측정 회로를 결합한 ERG 측정 시스템의 가능성을 제시하며, 향후 안과 진단 장비의 국산화 및 생체신호 기반 진단 기술의 발전에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

Keywords: Full-field Electroretinography (ffERG), Electroretinogram, Diagnostic tools, Electrophysiology



[Fig. 1. Transient ffERG. The yellow trace represents the ERG signal (500 mV/div), and the blue trace represents the photodetector output (1 V/div). The horizontal scale is 20 ms/div.]

Acknowledgement

This work was supported by the Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korean government (MSIT-2022-0-00025)

References

[1] Robson, Anthony G., et al. "ISCEV Standard for full-field clinical electroretinography (2022 update)." *Documenta Ophthalmologica* 144.3 (2022): 165-177.

Unity 기반 RSAR 시뮬레이터 설계 및 카메라 투영 관계 연구

염한울, 이아현

순천향대학교 메타버스&게임학과 소속

e-mail : hanool1213@naver.com, ahyun.lee@sch.ac.kr

Unity-Based RSAR Simulator: Design and Analysis of Camera Projection Geometry

Hanul Yum and Ahyun Lee

Department of Metaverse&Game, Soonchunhyang University

Abstract

To address the inefficiency of verifying camera-projector calibration on physical hardware, this paper presents a robotic spatial augmented reality simulation framework in Unity. Camera extrinsic parameters are estimated by applying the direct linear transformation algorithm to a synthetic 3D-2D point dataset and validated against ground-truth values. The simulator offers an efficient, flexible testbed for AR research and will be extended to include virtual projection and distortion correction for broader experimentation.

I. 서론

프로젝션 기반 AR(Augmented Reality, 증강현실) 시스템의 성능은 가상 객체의 현실 정합도에 따라 결정되며, 이를 위해 카메라-프로젝터 시스템의 정밀한 캘리브레이션이 필수적이다. 하지만 물리적 시스템을 통한 알고리즘 검증은 시간과 비용 측면에서 비효율적이다. Huang 등[1]은 구조화된 광 패턴을 활용한 단일 샷 기반 캘리브레이션 기법을 제안하며, 실시간성과 정확성을 모두 충족하는 효율적인 대안을 제시한 바

있다.

이러한 한계를 극복하고 관련 알고리즘의 유효성을 효율적으로 사전 검증하기 위한 방안으로, 본 연구에서는 Unity 엔진 기반의 RSAR(Robotic Spatial AR, 로봇공간증강현실) 통합 시뮬레이터를 제안한다. 연구의 기반을 확립하기 위해 가상 환경 내 카메라와 월드 좌표계 간의 기하학적 투영 관계를 수학적으로 정립하였으며, 해당 모델을 바탕으로 프로젝트 캘리브레이션 알고리즘 개발을 위한 기초 연구를 수행하였다.

II. 본론

본 연구에서 제안하는 카메라 외부 파라미터 추정 방법론으로 다음의 절차를 수행하였다. 먼저, 월드 좌표계에 정의된 3차원 참조점 X 와 가상 카메라에 투영된 2차원 대응점 x 로 구성된 데이터셋을 구축한다. 다음으로, 이 3D-2D 대응점 정보를 기반으로, 투영 변환(Projection Transformation) 행렬을 계산하여 3차원 공간과 2차원 이미지 평면 간의 기하학적 관계를 모델링한다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = P \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

이때, 3차원 공간 좌표 $[x, y, z, 1]^T$ 와 2차원 이미지 좌표 $[x, y, 1]^T$ 간의 관계는 다음과 같은 투영 행렬

수식으로 표현된다. 최종적으로, 산출된 투영 행렬을 수학적으로 분해하여 카메라의 외부 파라미터인 회전 행렬 R과 이동 벡터 t를 복원하고, 이를 실제 값과 비교함으로써 제안된 방법론의 정확성을 정량적으로 검증한다.

III. 구현

구현에 사용된 시뮬레이션 및 알고리즘 검증 환경은 Unity와 Python을 연계하여 구축하였다. 그림 1은 이러한 시뮬레이터의 구성 예시를 시각적으로 보여준다. Unity 환경에서는 256x256 픽셀 해상도의 RenderTexture를 사용하여 가상 카메라 뷰를 구현하였다. 또한, 캘리브레이션 정확도 검증에 필요한 정답 데이터 확보를 위해 Unity의 내장 API인 WorldToScreenPoint 함수를 활용하였다. 이를 통해 3차원 월드 좌표를 2차원 스크린 픽셀 좌표로 직접 변환하고, 렌더링된 이미지와 비교 검증이 가능한 형태로 가공하였다.

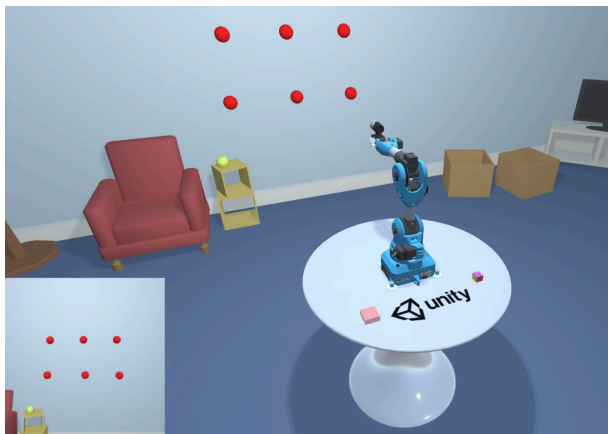


그림 1. Unity환경에서 구현된 RSAR 시뮬레이터 구성

표 1. 투영행렬 계산 및 이미지 좌표 비교 결과

No.	Predicted (x, y)	Ground Truth(x, y)
1	(72.29, 156.28)	(72.25, 156.24)
2	(125.76, 157.04)	(125.71, 156.97)
3	(179.23, 157.05)	(179.18, 156.97)
4	(67.88, 100.34)	(62.83, 100.32)
5	(128.58, 100.60)	(128.53, 100.56)
6	(183.40, 99.88)	(183.35, 99.83)

알고리즘 계산은 Python 환경에서 수행되었으며, 특히 Numpy 라이브러리를 이용하여 3차원 및 2차원 좌표를 투영 행렬의 입력 형식인 동차 좌표

(Homogeneous Coordinates) 행렬로 구성하였다. 표 1은 계산된 투영행렬 P을 통해 예측된 이미지 좌표와 실제 Unity에서 추출한 이미지 좌표간의 비교 결과를 보여준다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 Unity 엔진을 기반으로 한 RSAR 시뮬레이션 프레임워크를 설계하고, 이를 통해 카메라-월드 좌표계 간의 기하학적 투영 관계를 정립하고 검증하였다. 이는 Kholodilin 등[2]의 Unity 기반 가상 검증 연구와 유사하나, 본 연구는 AR 프로젝션 환경에 초점을 맞추고 실제 투영 기반 정합 알고리즘 실험을 염두에 둔 점에서 차별화된다. 이러한 접근은 향후 물리적 실험에 필요한 시간과 비용을 절감하는 데 기여할 수 있다.

향후 연구에서는 가상 프로젝터 투사 기능과 렌즈 왜곡 등 실세계 오차 보정 모델을 추가하여 현재의 프레임워크를 확장할 것이다. 이를 통해 시뮬레이션의 정밀도와 현실성을 한층 더 고도화해 기술적 완성도를 높일 수 있다. 궁극적으로 본 시스템을 정교한 프로젝션 맵핑 기술의 개발과 검증을 위한 포괄적인 RSAR 연구 플랫폼으로 발전시키는 것을 목표로 한다.

사사문구

“본 연구는 2025년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구 결과로 수행되었음”(2021-0-01399)

참고문헌

[1] B. Huang, Y. Tang, S. Ozdemir, and H. Ling, “A Fast and Flexible Projector-Camera Calibration System,” *IEEE Trans. Autom. Sci. Eng.*, vol. 18, no. 3, pp. 1049–1063, Jul. 2021.

[2] I. Kholodilin, Y. Li, and Q. Wang, “Calibration and three-dimensional reconstruction with a photorealistic simulator based on the omnidirectional vision system,” *Int. J. Adv. Robot. Syst.*, vol. 18, no. 6, pp. 1–11, Dec. 2021.

알코올 사용장애 환자의 갈망 탐지: 스마트폰 활용 접근

도연우¹, 최기홍², 황재연³, 김아영^{4*}

¹광운대학교 전자공학과

²고려대학교 심리학과

³한림대학교 강동성심병원 정신건강의학과

⁴한국전자통신연구원 (ETRI) 디지털바이오의료연구본부 의료정보연구실

e-mail : aykim@etri.re.kr

Digital Detection of Alcohol Craving in Patients with Alcohol Use Disorder: A Smartphone-Based Approach

Yeonu Do¹, Kee-Hong Choi², Jae Yeon Hwang³ and Ah Young Kim^{4*}

¹Department of Electronic Engineering, Kwangwoon University, Seoul, Korea

²School of Psychology, Korea University, Seoul, Korea

³Department of Psychiatry, Kangdong Sacred Heart Hospital

⁴Medical Information Research Section, Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI), Daejeon, Korea

Abstract

This paper presents a machine learning approach for detecting and predicting craving episodes in patients with Alcohol Use Disorder (AUD) using multimodal data collected from smartphones during daily life. Traditional craving assessments in clinical settings rely on retrospective self-reports, which limits the ability to capture real-time fluctuations in craving intensity. To overcome these limitations, we collected daily active survey responses—including mood, stress, and alcohol intake—as well as behavioral data from six individuals diagnosed with AUD over the course of one month. Leveraging these smartphone-derived features, we trained and

evaluated multiple machine learning models (Random Forest, Logistic Regression, XGBoost, and LightGBM) to classify craving intensity into two levels (low, high). Our models achieved an overall classification accuracy of approximately 60–63%, with the highest performance observed for detecting low craving states. Correlation analysis indicated that negative affect and stress levels were strongly associated with craving intensity. These findings demonstrate the feasibility of utilizing both passive and active smartphone data for real-time craving detection in AUD patients, paving the way for personalized digital interventions without the need for additional wearable sensors.

I. 서론

알코올 갈망(craving)은 알코올 사용장애(Alcohol Use Disorder, AUD)의 핵심 증상으로, 재발 및 치료 성과와 밀접한 관련이 있다[1-2]. 기존의 갈망 평가는 주로 회상에 의존한 자기보고식 설문지나 정기적인 임상 면담에 기반해 이루어져 왔다. 그러나 이러한 방법들은 회상 편향(recall bias)과 더불어, 실제 일상에서의 갈망 변동성을 충분히 포착하지 못하는 한계가 있다[3].

최근 스마트폰의 보급과 함께, 일상생활에서 자연스럽게 수집되는 행동 및 심리 데이터를 활용하여 개인의 상태를 연속적이고 비침습적으로 측정할 수 있는 디지털 표현형(digital phenotyping) 접근이 활발히 연구되고 있다. 특히 스마트폰을 이용한 능동적 데이터(예: 매일의 기분, 스트레스, 음주량 설문)와 수동적 데이터(예: 센서 기반 행동 패턴) 수집은 알코올 사용장애 환자의 갈망 변동성을 실제 생활 맥락에서 보다 정밀하게 이해할 수 있는 가능성을 제공한다[4-5]. 그럼에도 불구하고, 국내외에서 스마트폰 기반 다변량 데이터를 활용한 실시간 갈망 탐지 및 예측 연구는 아직 미흡한 실정이다[5-7].

본 연구에서는 알코올 사용장애 진단을 받은 환자들을 대상으로, 스마트폰을 통해 일상에서 수집된 다양한 심리·행동 데이터를 분석하여 갈망 강도의 2 단계(낮음/높음) 분류가 가능한 머신러닝 모델을 개발하고, 그 예측 성능 및 관련 변수 간의 관계를 탐색하였다. 이를 통해 모바일 환경 기반 맞춤형 개인 전략 개발을 위한 실증적 근거를 마련하고자 한다.

II. 본론

2.1 연구 대상 및 데이터 수집

본 연구는 알코올 사용장애 환자 8명을 대상으로 약 한 달간 스마트폰 앱(마인드랩)을 활용하여 진행하였다. 참가자는 한림대학교 강동성심병원 및 춘천성심병원에서 모집하였으며, 임상연구윤리위원회(IRB) 승인을 받은 후 연구에 참여하였다. 연구 기간 동안 참가자들은 매일 음주 및 행동 관련 설문(예: 기분, 스트레스, 음주량)과 행동 데이터를 일 4 회(오전/오후/저녁/밤) 단위로 입력하였다.

2.3 분석 방법

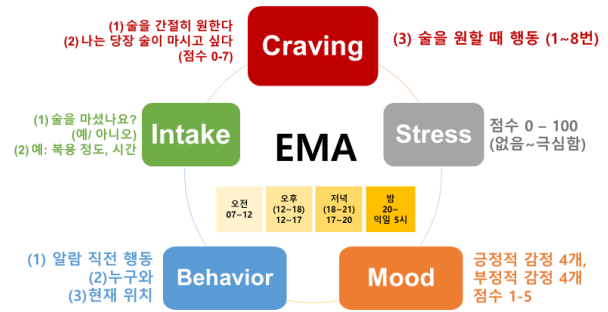


그림 1. 데이터 수집을 위한 설문 구조

스마트폰 앱에서 수집하는 음주 및 행동 관련 설문은 다섯 개의 영역으로 구성된다.

- (1) Stress: 0 점(스트레스 없음)부터 100 점(극심한 스트레스)까지의 연속적인 척도로 현재 스트레스 수준을 자가 보고한다.
- (2) Mood: 8 개의 감정 항목(긍정적 감정 4 개, 부정적 감정 4 개)에 대해 각 항목당 1 점(거의 없음)에서 5 점(매우 강함)까지의 리커트 척도로 평가한다.
- (3) Intake: 직전 설문 이후 음주 여부(예/아니오)를 확인하며, 음주한 경우 섭취량과 시간 정보를 함께 기입한다.
- (4) Behavior: EMA 알람 직전 수행 중이던 활동(예: 기분, 일, 휴식 등), 함께 있던 사람(동료, 가족 등), 현재 위치(집, 실외 등)를 자가 보고한다.
- (5) Craving: 갈망 수준을 세 가지 항목으로 측정한다.
 - ① 술을 간절히 원한다 (0-7 점),
 - ② 나는 지금 당장 술을 마시고 싶다 (0-7 점),
 - ③ 술을 원할 때 행동(1~8 번 중 선택).

2.2 변수 및 데이터 전처리

Craving 의 ①번과 ②번 항목은 전반적으로 유사한 경향을 보였으며, 본 연구에서는 예측을 위한 갈망 점수로 ②번 항목(이하 want_score)을 채택하였다. 각 설문 응답에는 제출 시점의 날짜 및 타임블럭 정보(오전, 오후, 저녁, 밤)가 포함되어 있으며, 이를 피쳐로 활용하기 위해 해당 시간대를 각각 0(오전)부터 3(밤)까지의 정수형 라벨로 변환하였다. 이후 Craving 데이터를 기준으로, 동일한 일자 및 시간대(time_block)를 갖는 Stress 및 Mood 응답을 병합하였고, 병합된 행 중 하나라도 결측값이 포함된 경우 해당 행은 분석에서 제외하였다.

갈망 점수를 이진화하여 '갈망 없음(Low: 0 점)'과

‘갈망 있음(High: 1 점 이상)’의 두 단계로 구분한 뒤, 주요 변수와의 관계 분석 및 예측 모델 비교를 수행하였다. 갈망 유무를 예측하기 위한 분류 모델로는 총 4 개의 머신러닝 모델(Random Forest, Logistic Regression, XGBoost, LightGBM)을 활용하였다. 모델의 일반화 성능을 보다 공정하게 평가하기 위해, 6 명의 데이터를 학습에 사용하고 2 명의 데이터를 테스트에 사용하는 방식의 10-fold 교차 검증을 적용하였으며, 각 모델은 동일한 피험자 조합이 반복되지 않도록 구성하여 총 10 회 반복 실험을 수행하였다. 최종 성능은 Accuracy, F1-score(weighted), F1-score(macro)의 평균값을 기반으로 비교 평가하였다.

III. 실험 결과

상관분석 결과, 갈망 점수(want_score)는 스트레스 점수(stress_score)와 가장 강한 양의 상관관계($r = 0.36$)를 나타냈다. 또한, 부정적 감정인 ‘화나는/지긋지긋한’, ‘지친/지루한’과 각각 $r = 0.32$, $r = 0.31$ 로 유의한 양의 상관성을 보였다. 반면, ‘사랑하는/애정 어린’ 등 긍정적 정서와는 $r = -0.12$ 로 음의 상관관계가 확인되었다. 또한 하루를 네 개의 시간대(오전~밤)로 구분한 time_block 변수 또한 $r = 0.25$ 의 양의 상관을 보였으며, 시간대가 늦어질수록 갈망 수준이 다소 증가하는 경향이 나타났다. 이는 스트레스와 부정적 정서가 높아질수록 갈망 수준 역시 증가하며, 저녁이나 밤 시간대일수록 갈망이 더 두드러질 수 있음을 시사한다(그림 2).

그림 3 은 네 가지 머신러닝 모델(RandomForest, LogisticRegression, XGBoost, LightGBM)의 갈망 점수 이진 분류 결과를 10-fold 교차검증을 통해 누적 집계한 Confusion Matrix 형태로 비교한 것이다. 모든 모델에서 갈망 점수가 낮은 집단(low)에 대해서는 가장 높은 F1-score 와 예측 정확도를 나타냈으며, 이는 표 1 의 성능 지표에서도 확인할 수 있다. 반면 갈망 점수가 높은 집단(high)은 전반적으로 낮은 정분류율을 보였다.

표 1 은 10-fold 결과의 평균으로 산출된 각 모델의 정확도(Accuracy), F1-score(Weighted, Macro),

그리고 집단별 F1-score(Low, High)를 요약한 것이다. 네 모델 중에서는 Logistic Regression 이 가장 우수한 성능을 보였다.

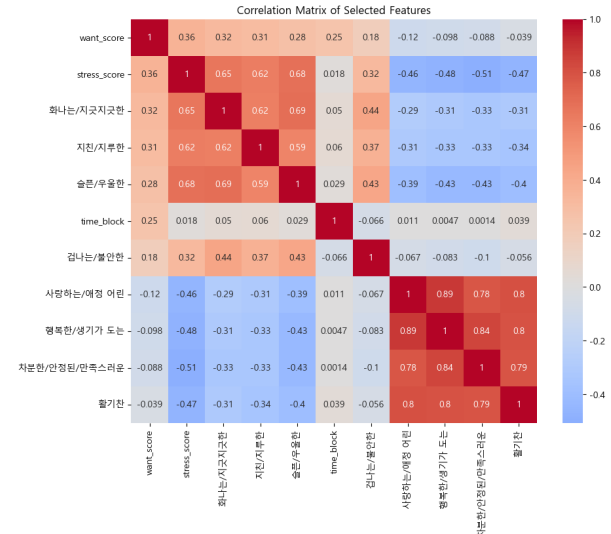


그림 2. 주요 변수 간 상관계수 행렬

모델 / 지표	Accuracy	F1 Weighted	F1 Macro	F1 Low	F1 High
Random Forest	0.649	0.642	0.604	0.701	0.507
Logistic Regression	0.687	0.686	0.627	0.732	0.523
XGBoost	0.630	0.625	0.586	0.685	0.487
LightGBM	0.629	0.627	0.586	0.679	0.493

표 1. 모델 별 성능 지표 (10-fold 평균)

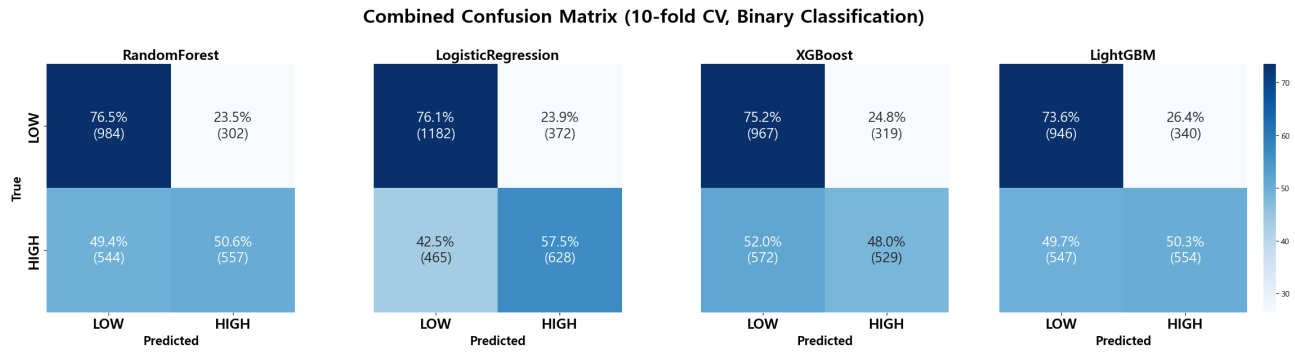


그림 3. 모델 별 누적 Confusion Matrix

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서는 스마트폰 기반 일상 데이터와 머신러닝 기법을 활용하여 알코올 사용장애 환자의 갈망 수준을 2 단계로 분류하였다. 주요 결과로, 갈망 점수가 낮은 집단에서는 비교적 높은 예측 성능을 보였으나, 높은 갈망 집단에 대해서는 분류 정확도가 다소 제한적이었다. 이는 고강도 갈망 상태에 해당하는 데이터의 수가 적어 발생하는 데이터 불균형과 함께 활용 가능한 변수의 한계가 복합적으로 작용한 결과로 판단된다.

향후에는 passive 데이터(스마트폰 센서 기반 행동 데이터 등)와 active 데이터(설문 응답)를 모두 정교하게 통합 및 분석하는 방안을 모색할 예정이다. 이를 통해 실제 생활에서의 다양한 맥락을 포착하고, 고강도 갈망 상태의 예측력을 향상시킬 수 있는 알고리즘 및 데이터 수집 방법론을 개발할 계획이다. 궁극적으로, 환자 개인의 상태 변화에 실시간으로 대응할 수 있는 맞춤형 디지털 개입 전략 마련에 기여하고자 한다.

Acknowledgement

This work was supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Ministry of Science and ICT (MSIT) of the Korean government (RS-2024-00422599).

참고문헌

[1] Livingston MD, Xu X, Komro KA. Predictors of recall error

in self-report of age at alcohol use onset. *J Stud Alcohol Drugs.* 2016 Sep;77(5):811-8. doi: 10.15288/jsad.2016.77.811. PMID: 27588540; PMCID: PMC5015473.

[2] Cherpitel CJ, Ye Y, Stockwell T, Vallance K, Chow C. Recall bias across 7 days in self-reported alcohol consumption prior to injury among emergency department patients. *Drug Alcohol Rev.* 2018 Mar;37(3):382-388. doi: 10.1111/dar.12558. Epub 2017 May 3. PMID: 28470876; PMCID: PMC5670029.

[3] Davis CG, Thake J, Vilhena N. Social desirability biases in self-reported alcohol consumption and harms. *Addict Behav.* 2010 Apr;35(4):302-11. doi: 10.1016/j.addbeh.2009.11.001.

[4] Kianersi S, Parker M, Ludema C, Agle J, Rosenberg M. Introduction and validation of an ecological momentary assessment methodology to measure alcohol use among college students. *SAGE Open.* 2024;14(2):1-14.

[5] Drobos DJ, Thomas SE. Assessing craving for alcohol. *Alcohol Res Health.* 1999;23(3):179-86. PMID: 10890813; PMCID: PMC6760375.

[6] Drobos DJ, Thomas SE. Assessing craving for alcohol. *Alcohol Res Health.* 1999;23(3):179-86. PMID: 10890813; PMCID: PMC6760375.

[7] Mayhugh RE, Rejeski WJ, Petrie MR, Laurienti PJ, Gauvin L. Differing patterns of stress and craving across the day in moderate-heavy alcohol consumers during their typical drinking routine and an imposed period of alcohol abstinence. *PLoS One.* 2018 Apr 19;13(4):e0195063. doi: 10.1371/journal.pone.0195063.

Designing VR content for unmanned information terminal vocational training for people with developmental disabilities

Woo Jin Song¹, Hee Su Yoo², Joo Jun Hyeok³, Yong Seong Jo⁴, Kyu Ha Kim⁵, Sang Hyun Lee⁶

¹호남대학교 컴퓨터공학부, 광주, 대한민국

email: swj1041405@gmail.com¹, heesooyu@gmail.com², ham2325@naver.com³, pp5047@naver.com⁴, kim9659@honam.ac.kr⁵, leesang64@honam.ac.kr⁶

Abstract

본 연구는 발달장애인의 낮은 고용률 문제를 해결하기 위한 접근으로, 무인 정보 단말 안내 업무를 중심으로 VR 기반 직업 교육 콘텐츠 설계 방안을 제안한다. 발달장애인의 인지·행동 특성 및 학습 어려움을 고려하여, 반복 학습, 시각 자료 활용, 낮은 초기 숙련도, 인지적 부담, 자율성 부족 등의 특성을 반영하는 설계 요소를 선행 연구 분석을 통해 도출하였다. 콘텐츠 설계 시 주요 요소로는 실제 작업 환경과 유사한 가상 공간 구현[1], 사용자에게 따른 난이도 조절[2], 학습 지속을 유도하는 실시간 피드백 시스템[3], 인지적 부담을 줄이는 직관적인 UI/UX 설계[4], 자기주도 학습을 지원[5]하는 콘텐츠 구조가 있다.

이러한 요소를 바탕으로 본 연구는 발달장애인의 직무 이해도 향상 및 전이 능력 강화에 기여할 수 있는 콘텐츠 설계 방향을 제시하며, 향후 콘텐츠 구현 및 효과 검증을 위한 실증 연구의 기초로 활용될 수 있다.

Keywords: VR, Developmental disabilities, Job training, unmanned information terminals, Design elements

이 개발자료는 광주광역시 RISE 사업비로 개발되었음.

References

- [1] 하주영 and 박진완, "발달장애인의 직무훈련을 위한 VR 기능성 게임에 관한 연구 : Road to Wheel Master 중심으로," 디지털콘텐츠학회논문지, vol. 25, no. 6, pp. 1453-1463, 2024, doi: 10.9728/dcs.2024.25.6.1453
- [2] 손지영, "장애 학생을 위한 가상현실 기반 교육에 대한 국내 문헌 검토," 특수교육: 이론 및 실제, 제 19 권, 제 1 호, pp. 233-260, 2018.
- [3] 백종남, "자폐 스펙트럼 장애 아동의 실제 생활 적응 기술 훈련을 위한 가상현실(VR) 시리어스 게임 설계 프레임워크 및 행동주의 요소," 행동분석 및 지원학회지, 제 8 권, 제 3 호, pp. 157-174, 2021.
- [4] A. Shaker, X. Lin, D. Y. Kim, J.-H. Kim, G. Sharma, and M. A. Devine, "Design of a virtual reality tour system for people with intellectual and developmental disabilities: A case study," Comput. Sci. Eng., vol. 22, no. 1, pp. 7-17, 2019.
- [5] P. Biswas, P. Orero, M. Swaminathan, K. Krishnaswamy, and P. Robinson, "Adaptive accessible AR/VR systems" ,Jan. 2021.

Implicit and Explicit Domain Alignment for Cross-dataset Brain-Computer Interface

Jun-Mo Kim¹, Chang-Hoon Ji¹, Ji-Hye Oh¹, Soyeon Bak¹, Woohyeok Choi¹, Jiyoung Hwang¹,

Tae-Eui Kam^{1*}

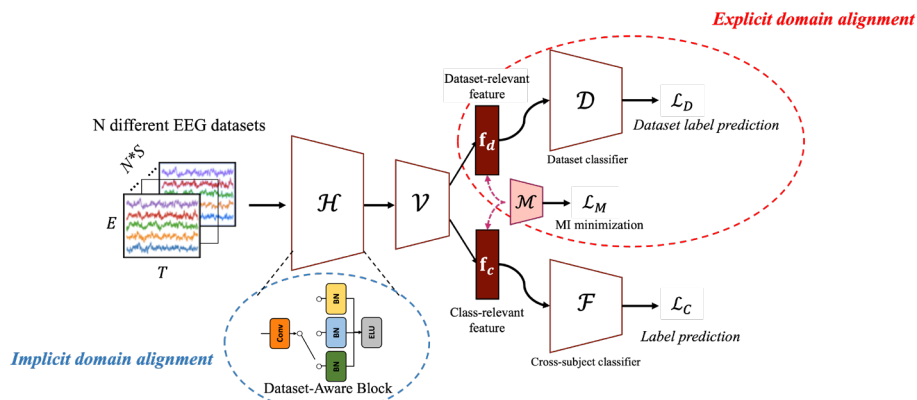
¹Dept. of Artificial Intelligence, Korea University, Republic of Korea

*Corresponding Author: kamte@korea.ac.kr

Abstract

Brain-computer interfaces (BCIs) are systems that translate brain activity, such as electroencephalography (EEG) signals, into interpretable commands, and have gained increasing attention in neuroscience and engineering. A major challenge in BCI research is the large variability of EEG signals across individuals, which limits the generalizability of models to unseen users. While many recent studies have proposed cross-subject frameworks to address this issue, these approaches are often restricted to a single dataset. However, collecting large-scale EEG datasets is both costly and time-consuming, making it essential to leverage multiple existing datasets to build more generalizable BCI systems. This introduces additional challenges due to domain discrepancies across datasets. In this paper, we propose a unified EEG classification framework that addresses both inter-subject and inter-dataset variability. As illustrated in Figure 1, our method first performs *implicit domain alignment* using a dataset-aware feature extractor to reduce dataset-specific style differences. The model then disentangles each EEG signal into class-relevant and dataset-relevant features. An EEG label classifier is trained on the class-relevant features, while a dataset classifier is trained on the dataset-relevant features. During training, we apply mutual information minimization between the two features to remove dataset-specific information from the class-relevant features, a process referred to as *explicit domain alignment*. We evaluate our method using three motor imagery EEG datasets, BCI Competition IV-2a [1], KU-MI [2], and GIST-MI [2]. The model was trained using all subjects from all datasets except the target subject, and evaluation was conducted on the target subject. The results in Table 1 demonstrate that it significantly outperforms baseline model across datasets. These results highlight the effectiveness of combining implicit and explicit domain alignment strategies to develop scalable and robust BCI systems.

Keywords: Brain-computer Interface, Motor Imagery, Electroencephalography, Domain Generalization



[Fig. 1. Overview of the Proposed Framework.]

	BCIC-IV	KU-MI	GIST-MI
Baseline (EEGNet)	60.27	77.40	80.80
Ours	76.56	77.58	83.06

[Table 1. Experimental results of our method compared to the baseline.]

References

- [1] Tangermann, Michael, et al. "Review of the BCI competition IV." *Frontiers in neuroscience* 6 (2012): 55.
- [2] Kim, Jun-Mo, et al. "Meta-learning-based cross-dataset motor imagery brain-computer interface." 2024 12th International Winter Conference on Brain-Computer Interface (BCI). IEEE, 2024.

Synthetic Augmentation of Functional Connectivity using R3GAN for Major Depressive Disorder Diagnosis

Jiyoung Hwang¹, Chang-Hoon Ji¹, Ji-Hye Oh¹, Woohyeok Choi¹, Jun-Mo Kim¹, Tae-Eui Kam^{1*}

¹Dept. of Artificial Intelligence, Korea University, Republic of Korea

*Corresponding Author: kamte@korea.ac.kr

Abstract

Major Depressive Disorder (MDD) is a mental disorder characterized by depressed mood and loss of interest, significantly impacting daily life. Accurate diagnosis is crucial for ensuring effective treatment. However, distinguishing MDD from healthy controls using functional connectivity (FC) data is often challenged by the limited number of FC samples, with additional challenges arising from class imbalance. To mitigate this by augmenting the training dataset, we modified R3GAN to specialize in generating FC data for MDD diagnosis. R3GAN employs a discriminator loss combining Relativistic Pairing GAN (RpGAN) loss with R1 and R2 regularization penalties. We modified both the generator and discriminator to process single channel inputs and enforced symmetry on the generator for FC structure. Rather than using fixed low filter pass based interpolative resamplers, we introduced trainable convolutional modules, ConvTranspose2d for upsampling and Conv2d for downsampling. We conducted an ablation study on REST meta MDD dataset on Site 20 to evaluate the contributions of regularizations by progressively removing R1 and R2 from the full configuration (RpGAN + R1 + R2). As shown in Figure 2, the full configuration outperformed the non-augmented model on all metrics. Removing either R1 or R2 reduced performance, highlighting the importance of both components. These results demonstrate the effectiveness of synthetic augmentation with R3GAN for improving MDD detection using FC data.

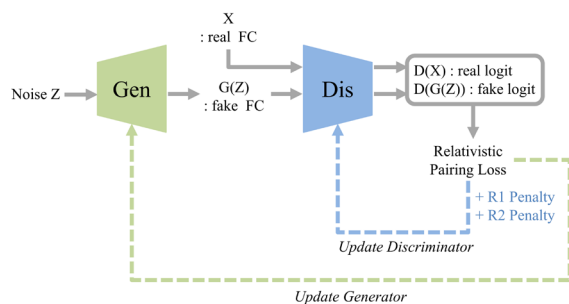


Fig 1. Overall Framework of R3GAN

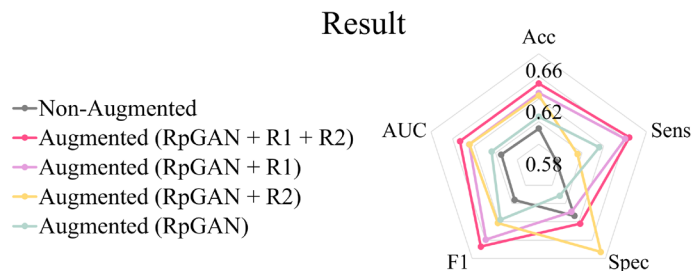


Fig 2. Results under Different Experimental Settings

References

- [1] Huang, Y., Gokaslan, A., Kuleshov, V., & Tompkin, J. (2024). The GAN is Dead; Long Live the GAN! A Modern GAN Baseline. *Advances in Neural Information Processing Systems 37 (NeurIPS 2024)*.

Brain Network Generation with Conditional Latent Graph Diffusion

Ji-Hye Oh¹, Chang-Hoon Ji¹, Jun-Mo Kim¹, Jiyoung Hwang¹, Tae-Eui Kam^{1*}

¹Dept. of Artificial Intelligence, Korea University, Republic of Korea

*Corresponding Author: kamte@korea.ac.kr

Abstract

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition marked by altered functional connectivity (FC) patterns, which may serve as biomarkers for diagnosis. However, high inter-individual variability in FC and the lack of large-scale datasets make it difficult to build robust diagnostic models. Traditional models based on Generative Adversarial Networks (GANs) for FC generation often suffer from training instability and mode collapse, reducing the quality and diversity of the generated data. To address these challenges, we introduce FC-Diff, a novel framework that augments FC data using latent graph diffusion. As shown in Fig. 1, FC-Diff first transforms each FC matrix into a graph, where nodes represent brain regions and edges denote inter-regional connectivity. This graph is then encoded into a latent space via a graph encoder. A forward diffusion process incrementally adds noise to the latent vector, which is subsequently denoised using a conditional U-Net. Finally, a graph decoder reconstructs the denoised latent into a synthetic FC matrix. This approach allows for precise and high-fidelity FC generation. To better control class-conditional generation, we incorporate Classifier-Free Guidance (CFG) [1], enabling conditioning on diagnostic labels (e.g., ASD vs. healthy control) without sacrificing diversity. This helps the model generate FCs that capture disease-specific characteristics while preserving the variability needed for robust training. We validate FC-Diff on the ABIDE I NYU dataset, demonstrating improved stability and generation of diverse, high-quality FC samples. As shown in Fig. 2, FC-Diff consistently outperforms all baseline methods, achieving top scores across all evaluation metrics except sensitivity (SEN), where it ranks second. These results establish FC-Diff as a robust and effective tool for synthetic FC generation, advancing ASD research and diagnosis.

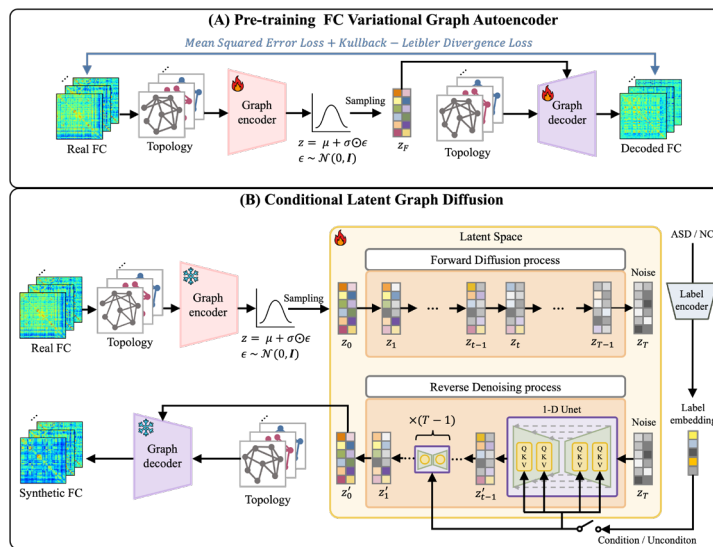


Fig. 1. Overview of the FC-Diff

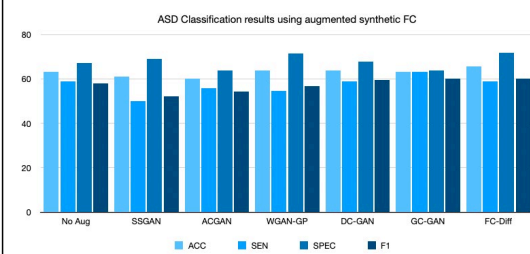


Fig. 2. Overall Comparison Results

References

[1] Rombach, Robin, et al. "High-resolution image synthesis with latent diffusion models." *Proceedings of the IEEE/CVF conference on computer vision and pattern recognition*. 2022.

Analysis of Components Depending on Interconnection Signal Direction

박세민¹, 송민기¹, 유찬세^{1*}

¹한국전자기술연구원 융복합전자소재연구센터, 성남, 대한민국

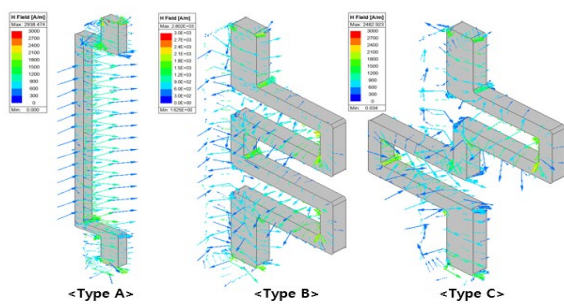
¹Dept. of Electronic Convergence Materials and Devices Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Korea

*Corresponding Author: ychs@keti.re.kr

Abstract

최근 전기차 보급 확대에 따라 배터리 관리 시스템(BMS)용 DC/DC 컨버터의 에너지 효율 향상이 필수 과제로 대두되고 있다[1]. 특히 전력반도체 패키지 구조에서 chip 과 wire-lead-pin 등 interconnection 경로에 존재하는 기생 성분은 스위칭 손실 증가 및 전력변환효율 저하를 유발한다. 본 논문에서는 interconnection 의 기생 인덕턴스 감소를 위해 interconnection 패턴 변화에 따른 자기장 상쇄 효과를 확인하기 위해 모델 별 기생성분을 주파수 100 MHz 에서 추출하여 비교하였다. 모든 모델은 총 길이 2.3 mm, silver($\sigma=63.00 \times 10^6$ S/m)를 사용하고, 패턴 차이를 제외한 모든 조건을 동일하게 적용하여 진행했다. 분석 결과, 각 모델의 인덕턴스는 $L_{Type A}=1.92$ nH, $L_{Type B}=0.93$ nH, $L_{Type C}=0.95$ nH 로 나타났으며, Type B, C 는 Type A 대비 약 1 nH 의 기생 인덕턴스 감소 효과를 보였다. 원인 분석을 위해 각 model 의 자기장 분석 결과, 수직구조인 Type A 은 신호경로가 일정하여 자기장 벡터가 단일방향으로 형성되었으나, Type B 와 C 는 패턴 변화로 인해 자기장 벡터가 상반된 방향으로 형성되어 자기장 상쇄 현상이 발생하였다. 본 논문은 interconnection 의 패턴 설계를 통해 자기장 상쇄를 유도하여 전력반도체 모듈 내 기생 인덕턴스를 효과적으로 개선할 수 있음을 제안한다.

Keywords: interconnection; parasitic inductance; magnetic field; signal direction



Pin model	Type A	Type B	Type C
Inductance(nH)	1.92	0.93	0.95
Capacitance(fF)	19.06	13.70	14.00
SRF(GHz)	26.30	44.60	43.60

[Fig. 1. 3D structures and magnetic field vector distribution of each type] [Fig. 2. Extracted L, C and SRF at 100 MHz]

본 연구는 산업통상자원부 화합물소재기반 차세대 전력반도체 기술개발사업 ‘고집적화, 고방열, 고신뢰성 (Automotive Qual) 을 가진 EV 340kW 급 BMS 용 SiP 전력반도체 SiC MOSFET Module 개발’ 과제로 수행되었음. (과제 번호: 00155610)

References

[1] C. Chen, F. Luo and Y. Kang, "A review of SiC power module packaging: Layout, material system and integration," in CPSS Transactions on Power Electronics and Applications, vol. 2, no. 3, pp. 170-186, Sept. 2017

Analysis of T-Junction Power Divider Characteristics Based on N - Way Impedance Topologies

이종호¹, 유찬세^{1*}

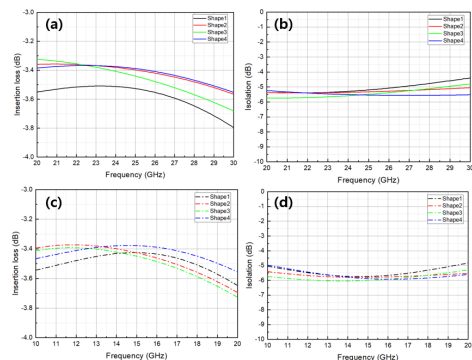
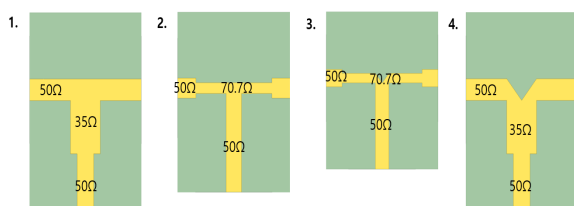
¹한국전자기술연구원 융복합전자소재연구센터, 성남, 대한민국

*Corresponding Author: ychs@keti.re.kr

Abstract

무선 통신 기술의 발전과 데이터 트래픽의 증가로 인해 초고주파 대역의 통신 시스템에 대한 필요성이 증가하고 있다. 특히 10GHz 이상의 고주파수 대역에서는 기존에는 문제가 되지 않았던 기판 손실과 임피던스 부정합으로 인한 손실이 시스템 성능에 큰 영향을 미친다. 이에 따라 정교한 임피던스 매칭을 통해 입력 단에서의 불필요한 손실을 최소화하는 것이 중요하다. 본 연구에서는 Ku-band와 K-band에서 동작하는 T-junction power divider의 다양한 임피던스 토폴로지에 따른 삽입 손실(insertion loss) 및 절연 특성(isolation)을 비교 분석하였다. 시뮬레이션에는 유전율 $\epsilon_r = 2.97$, 손실 탄젠트 $Df = 0.003$ 를 가지는 상용 Magtron8 기판 특성과 copper 전극을 사용하였다. 비교한 토폴로지는 총 4종이며, 각각 50Ω, 35.4Ω, 70.7Ω의 선로의 조합으로 구성되었다. 목표 주파수는 Ku-band의 15GHz, K-band의 25GHz로 설정하고, 각 구조의 손실 특성을 비교하였다. 그 결과, shape 4 형상이 두 주파수 대역 모두에서 가장 우수한 insertion loss 및 isolation 특성을 보였다. 해당 구조는 50Ω과 35.4Ω 선로로만 구성되어 있으며 목표 주파수에서 최대 특성에 도달한 반면, 70.7Ω 선로를 사용하는 경우 삽입 손실의 최소점이 목표 주파수보다 낮은 주파수에서 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 10GHz 이상의 고주파수에서 임피던스 매칭이 중요한 power divider 설계 시에는 70.7Ω보다 35.4Ω 선로를 활용하여 설계하는 것이 더 효율적임을 제안한다.

Keywords: t – junction; power divider; ku - band; k – band; impedance topology;



[Fig. 1. Four types of T-junction power divider structures] [Fig. 2. Simulated results of the T-junction power dividers: (a), (b) for Ku-band; (c), (d) for K-band]

Acknowledgments 본 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호:RS-2025-00433902)

References

[1] D. Pozar, Microwave Engineering, 4rd ed. Hoboken, New Jersey : John Wiley Sons Inc., pp. 324–328,2011.

Comparative Analysis of Substrate Dielectric Loss Impact on D-band SIW Bandpass Filter Performance

배근영¹, 육종관², 유찬세^{1*}

¹한국전자기술연구원 융복합전자소재연구센터, 성남, 대한민국

¹Dept. of Electronic Convergence Materials and Device Research center, Korea Electronics Technology Institute, Korea

²연세대학교 전기전자공학과, 서울, 대한민국

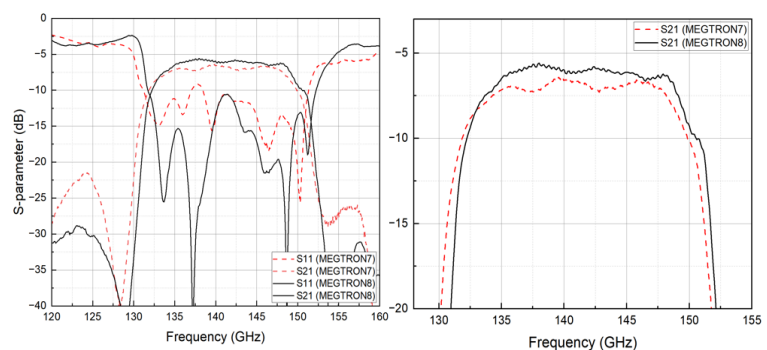
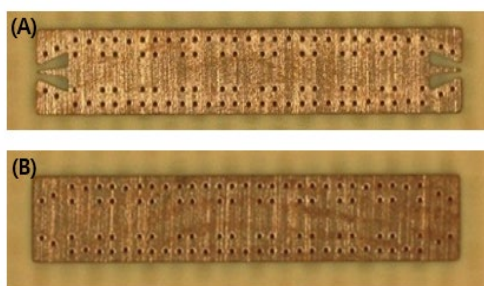
²Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Korea

*Corresponding Author: ychs@keti.re.kr

Abstract

Substrate integrated waveguide(SIW)는 초 고주파 대역에서 기존의 planar 형태인 microstrip 구조 대비 낮은 손실을 제공하여, 차세대 무선 통신 시스템 구현을 위한 유망한 구조로 주목받고 있다. 그러나 SIW 구조는 사용된 기판의 유전 특성, 특히 유전손실 값에 따라 삽입손실 특성이 민감하게 변화한다. 본 연구에서는 기판의 유전 손실이 SIW bandpass filter의 특성에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위해, 중심주파수 140 GHz와 대역폭 18 GHz를 갖는 10-pole SIW BPF를 Chebyshev prototype g value를 이용하여 설계했다. 이후 Panasonic 사의 MEGTRON7($\epsilon_r = 3.21, \tan\delta = 0.0053 @100 \text{ GHz}$)과 MEGTRON8($\epsilon_r = 3.28, \tan\delta = 0.0032 @100 \text{ GHz}$)을 각각 적용하여 시편을 제작하고 측정 결과를 비교하였다. 분석 결과, 동일한 설계 파라미터에도 불구하고 중심주파수인 140 GHz에서 두 기판 간 삽입 손실(S21)의 차이가 0.6 dB 이상 발생함을 확인하였다. 이는 초 고주파 SIW bandpass filter 설계 시, 단순히 낮은 손실의 기판을 선택하는 것을 넘어, 목표 성능에 적합한 유전 특성을 갖는 기판을 설계 초기 단계에서부터 선정하고 이를 적극적으로 반영한 체계적인 설계 최적화가 필수적임을 나타낸다.

Keywords: substrate integrated waveguide; dielectric loss; low loss; bandpass filter



[Fig. 1. Fabricated BPF (A)top view, (B)bottom view]

[Fig. 2. S-parameter comparison of SIW BPF]

이 연구는 2024년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구임(과제번호:20024393).

References

[1] A. Sharma and S. C. Shrivastava, "Analysis of resonant frequency & quality factor of Dielectric Resonator at different dielectric constant materials," 2008 International Conference on Recent Advances in Microwave Theory and Applications, Jaipur, India, 2008, pp. 593-595

Impedance Matching Using a Coaxial Structure and Analysis of Dielectric Constant Effects

박세민¹, 이종호¹, 유찬세^{1*}

¹한국전자기술연구원 융복합전자소재연구센터, 성남, 대한민국

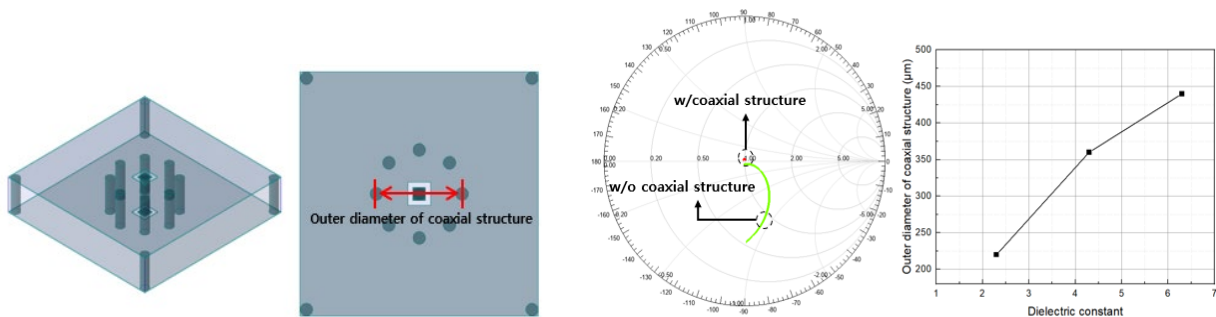
¹Dept. of Electronic Convergence Materials and Devices Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Korea

*Corresponding Author: ychs@keti.re.kr

Abstract

Sub-THz 대역에서의 통신 및 레이더 시스템 발전으로 인해 초고주파 기반 interposer 위상 배열 안테나(phase array antenna) 시스템 패키징 기술의 중요성이 대두되고 있다[1]. 특히, transition via의 임피던스 매칭 최적화는 필수적이며, interposer 기판의 물성은 transition via의 임피던스에 직접적인 영향을 미친다. 본 연구에서는 D-band에서의 transition via로 인한 임피던스 부정합 개선을 위해 coaxial structure 설계 방법을 제시하였으며, 기판 유전율 변화에 따른 임피던스 매칭 특성을 분석하였다. 전자기 시뮬레이션 결과, D-band에서 ($\epsilon_r=4.3$, $\tan\delta=0.003$ 기준) coaxial structure 적용 시 Smith chart에서 구조 적용 전/후 비교를 통해 임피던스 부정합이 개선되었음을 확인하였으며, $S_{21}>0.06$ dB, $S_{11}<37.15$ dB로 임피던스 부정합으로 인해 발생한 신호 손실이 개선됨을 확인하였다. 또한, coaxial 구조의 최적 외경은 $\epsilon_r=2.3$ 에서 $220\ \mu\text{m}$, $\epsilon_r=4.3$ 에서 $360\ \mu\text{m}$, $\epsilon_r=6.3$ 에서 $440\ \mu\text{m}$ 로 나타나, 기판 유전율 증가에 따라 transition via와 주변 ground via 간 커패시턴스가 증가하여 외경이 커짐을 확인하였다. 본 연구는 coaxial 구조를 이용한 정밀한 임피던스 매칭 및 부정합 개선 가능성을 제시하며, 초고주파 interposer 기반 위상 배열 안테나 설계 시, 목표 성능에 적합한 유전 특성을 가진 기판을 설계 초기부터 고려하고 이를 반영한 체계적인 임피던스 최적화가 필수적임을 제안한다.

Keywords: D-band; transition via; coaxial structure; impedance; insertion loss; dielectric



[Fig. 1. Coaxial structure 3D model tilt view/top view] [Fig. 2 w/o, w/coaxial structure smith chart]

[Fig.3 ϵ_r -outer diameter at impedance matching]

본 연구는 2025년도 산업통상자원부 및 산업기술기획평가원(KEIT) 연구비 지원에 의한 연구로 수행되었음.
(RS-2025-00433902)

References

- [1] A. Ahmed, L. Li, M. Jung, S. Li, D. Baltimas and G. M. Rebeiz, "140-GHz 2-D Scalable On-Grid 8× 8-Element Transmit-Receive Phased Arrays With Up/Down Converters Demonstrating a 5.2-m Link at 16 Gbps," in IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, vol. 72, no. 5, pp. 2852-2868

다목적 테이블탑 입체형 디스플레이 장치의 개발

김성민¹, 유선모², 김경신³, 이승현⁴

^{1,4}광운대학교 실감융합콘텐츠학과, ²㈜엠진, ³국방과학연구소

e-mail : ¹kevz3612@gmail.com, ²smyoo@amgine.co.kr, ³bugmaker@kakao.com,

⁴shlee@kw.ac.kr

Development of a Multi-Purpose Tabletop Three-Dimensional Display Device

¹Sungmin Kim, ²Sunmo Yoo, ³Kyungshin Kim, ⁴Seunghyun Lee

^{1,4}Dept. of Immersive Content Convergence of Kwangwoon Univ., ²Amgine Co. Ltd, ³Agent of Defense Development.

Abstract

This study aims to validate a tabletop holographic display service for 3D data visualization. To achieve this, we evaluate the technological maturity of intuitive and seamless 3D data visualization enabled by tabletop holograms and assess the market potential of the corresponding display production service.

I. 서론

본 연구에서는 홀로그램 기술을 새로운 3D 시각화 기법으로 규정하고 그 가치와 응용 가능성에 대한 분석을 통해, 향후 관련 산업 생태계 조성의 방향성을 제시하고자 한다. 본 연구 결과를 이용하여 차세대 시각화 기술의 상업적, 기술적 확장 가능성에 대한 중요한 실증적 근거를 제공하는 것을 또 다른 목표로 둔다. 즉, 3D 데이터 시각화를 위한 테이블탑 홀로그램 디스플레이 제작 서비스를 실증하는 것을 최종 목표로 두었으며, 이를 위해 테이블탑 홀로그램을 활용한 직관적이고 무결한 3차원 데이터 시각화 기술의 가능성을 검증하고, 해당 기술을 기반으로 한 디스플레이 제작 서비스의 시장 가능성에 관해 고찰하였다..

II. 본론

2.1 3D 모델 기반의 스테레오 프린팅

본 연구에서는 스테레오 프린팅을 위한 절차로 다음과 같은 절차를 수행하였다.

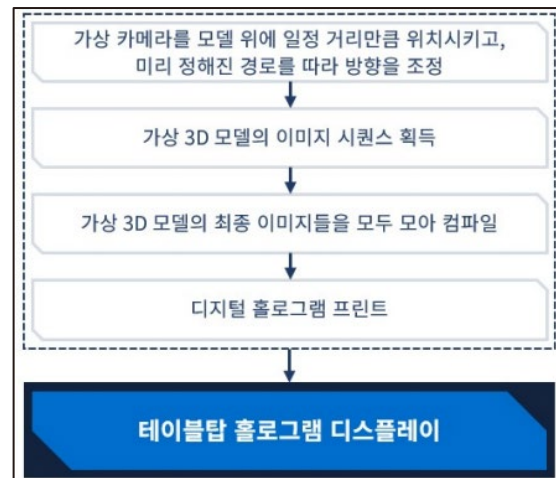


그림 1 스테레오 프린팅 절차

2.2 이미지 수집 및 홀로그래피 시각화 구축

개발을 수행하기위해 먼저 가상 촬영 기법을 활용하여 고정밀 3D 이미지를 수집하는 과정을 수행하였다. 이를 위해, 생성된 고정밀 3D 모델 상에 가상 카메라를 설정된 거리 및 이동 경로에 따라 배치하고, 해당 모델을 다양한 시점에서 촬영하여

3차원 이미지 시퀀스를 획득하였다.

아울러, 정보집약적인 홀로그래피를 구현하기 위해 인쇄된 홀로그램 지도를 활용하였다. 이 지도는 백색광 광원을 통해 조명되며, 이를 기반으로 45도에서 최대 120도까지의 시야각(Field of View)을 제공하는 전시야각(full-view) 홀로그램으로 시각화될 수 있도록 시스템을 구축하였다. 해당 시스템은 3D 데이터의 시각적 몰입도와 이해도를 극대화하는 데 중점을 두었다.

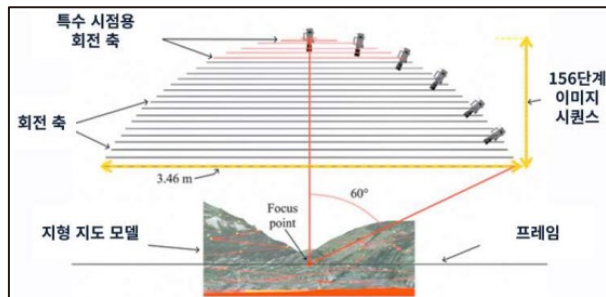


그림 2 홀로그램 생성을 위한 이미지수집

디지털 홀로그램 인쇄를 위한 핵심 단계로서 다시점 이미지(compiled multi-view images)를 활용한 호겔(hogel; holographic element) 제작 방법을 제시하였다. 디지털 홀로그램 인쇄에 적합한 데이터 형식을 갖추기 위해, 획득한 다시점 이미지들은 특정 배열 규칙에 따라 재구성되며, 이를 통해 3차원 물체의 광학 필드를 정확하게 복제할 수 있는 호겔 생성이 가능하다.

재배열된 데이터는 디지털 홀로그램 프린터에 전달되어, 최종적으로 시차 정보를 온전히 담고 있는 페어 이미지 기반의 고해상도 홀로그램으로 인쇄된다. 이러한 과정은 시차 기반 시각 정보의 정밀한 표현과 디스플레이 구현의 품질 향상을 목표로 하며, 그 결과물은 높은 몰입도와 사실적인 3차원 시각화를 가능케 한다.

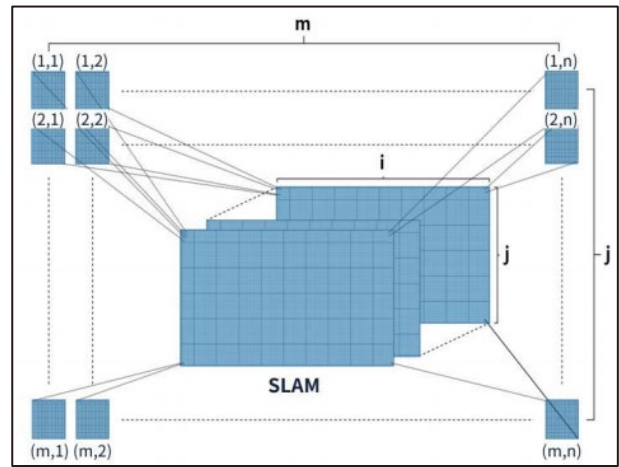


그림 3 호겔생성을 위한 디지털 데이터 재배열

III. 구현

연구의 목적인 고해상도 테이블탑 홀로그램 디스플레이를 구현하기 위해, 768개의 다시점 영상(multi-view images)을 기반으로 디지털 홀로그램 프린팅 과정을 수행하였다. 이를 위해 획득된 다시점 이미지를 데이터 재배열(data rearrangement) 방식으로 처리하여, S/W 기반의 공간 광 변조기(SLM: Spatial Light Modulator)를 활용한 프린팅에 적합한 형태로 변환하였다.

또한, 호겔 단위(hogel-level) 기록 방식의 정밀도를 높이기 위해 레이저 및 셔터를 이용한 제어 시스템을 적용하였다. 이러한 제어 기술은 광학적 일관성과 해상도를 확보하는 데 핵심적인 역할을 하며, 최종적으로 높은 품질의 3D 시각화를 가능하게 하는 테이블탑 디스플레이의 제작 기반을 제공한다.

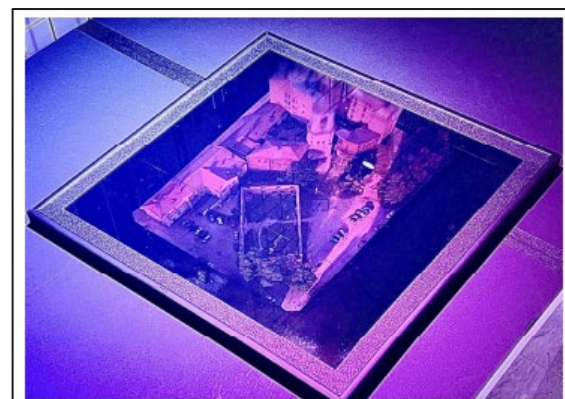


그림 4 디지털 홀로그램 입체 지도 결과

구분	항목	측정값
재질 및 물리적 속성	중간 재질	실버할라이드
	매질의 해상도	500 lpm (line per mm)
	플레이트 치수	40cm × 30cm
	수평 시야각	150°
	수직 시야각	150°
	항공사진 해상도	250
3D 및 처리 정보	홀로그램의 광학적 해상도	1,728,000 × 1,296,000
	3D 모형의 정점 수	55,664
	패싱 수	111,324
	순차적 영상에 사용되는 시간	~5GB
	렌더링에 필요한 시간	~60min
지리 정보	노출에 소요되는 시간	20Hz
	선택한 지리적 포인트 수	6,811,284
	선택한 지리적 라인 수	114,520
	선택한 지리적 다각형 특징 수	36,820

그림 5 개발품의 주요 특성

IV. 결론 및 향후 연구 방향

연구에서는 고정밀 3D 데이터를 효과적으로 시각화할 수 있는 테이블탑 홀로그램 디스플레이 시스템의 구현 및 실증을 통해, 직관적이고 몰입감 있는 차세대 시각화 기술의 가능성을 입증하였다. 스테레오 프린팅 기반의 이미지 수집과 다중 시점 데이터를 활용한 디지털 홀로그램 프린팅 기술을 결합함으로써, 768개의 다시점 영상을 정밀하게 배열하여 고해상도 홀로그래픽 디스플레이를 제작하는데 성공하였다.

특히 호겔 단위의 정밀 제어 기술과 시야각 확장을 위한 광학적 설계는, 실사용 환경에서의 데이터 인지성과 시각적 몰입도를 높이는 핵심 요소로 작용하였다. 본 시스템은 향후 과학, 국방, 의료, 교육 등 다양한 분야에서 정보 시각화의 새로운 패러다임을 제시할 수 있는 기반 기술로서의 잠재력을 가진 것으로 평가 가능할 수 있다는 결론이다.

향후 연구에서는 다음과 같은 방향으로의 확장이 필요하다. 첫째, 홀로그램 디스플레이의 실시간 데이터 반영을 위한 동적 렌더링 및 자동 데이터 재배열 기술의 도입이 요구된다. 둘째, 사용자 맞춤형 시야 최적화를 위한 인터랙티브 홀로그래피 시스템으로의 확장 연구가 필요하다. 셋째, 소형화 및 상용화를 위한 프린팅 해상도 개선, 광원 효율 향상, 비용 절감형 소재 개발 등이 후속 연구 과제로 제시된다. 이를 통해 테이블탑 홀로그램 기술은 보다 폭넓은 산업 분야로의 응용 가능성을 실현할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] 지형도를 이용한 디지털 홀로그램 입체 지도 제작에 관한 연구, 광운대학교 박사학위 청구논문, 2023년도
- [2] 이승현 ; 필립 중데, “실버 할라이드 감광유제를 이용한 칼라 홀로그래피 제작 기술”, 2017
- [3] 이승현, “홀로그래피 입문-원리와 실제”, 진샘미디어, 2012.
- [4] M. S. Yoon, “Recent Technology of 3D Content for Digital Holography”, Electronic and Telecommunications Trens, vol. 32, no. 5, pp. 49-64, 2017.
- [5] Gentet P and Lee S. H, “Holostereosynthesis : An Improvement to Louis Lumière’s Photostereosynthesis Technique”, Applied sciences, Vol. 12, No. 12524, pp. 1-7. 2022.
- [6] Gabor D., “A new microscopic principle”, Nature, Vol. 161, pp. 777-778, 1948.
- [7] W. L. Bragg, “The X-ray microscope”, Nature, Vol. 149, pp. 470-471, 1942.
- [8] Tricoles, G., “Computer generated holograms: an historical review”. Applied optics, 26(20), pp. 4351-4360, 1987.
- [11] S. A. Benton, "Hologram reconstruction with extended incoherent sources" J. of the Optical Society of America, Vol. 59, pp. 1545-1546, 1969.
- [12] S. A. Benton, “ 'Alcove' Holograms for Computer-Aided Design”, SPIE Proc. True 3-D Imaging Technologies and Display Technologies, Vol. 0761, pp. 53-63, 1987.

Conference on Electronics, Semiconductor, and AI 2025

[포스트세션 4]

인공지능

좌장 : 백광현(중앙대학교)



A Review of Transformer-Based Spiking Neural Networks for Brain-Inspired AI

Seungyoun Lee^{1,2}, Jae-Ho Han^{1*}, and Hyun Jae Jang^{2*}

¹Korea University, Korea ²Korea Institute of Science and Technology, Korea

초록

Spiking Neural Networks (SNNs)—the third-generation neural models that process information through discrete spikes—have recently been fused with Transformer-style self-attention, giving rise to Transformer-Based Spiking Neural Networks (T-SNNs) that marry event-driven efficiency with rich representational capacity [1-3]. This review systematically traces the development of T-SNNs from early conceptual models in 2021 to state-of-the-art architectures reported through 2025 [1-8, 10]. We categorise and compare major algorithmic advances that have enabled spike-native self-attention, including addition-only spiking attention, spatio-temporal attention fusion [11], membrane-potential residual pathways [3], and ternary spike coding [12]. Performance trends reveal significant gains, with top-1 ImageNet-1K accuracy improving from 74.8 % (Spikformer, 2023) [1] to 83.7 % (SGLFormer, 2024) [4]. T-SNNs also demonstrate competitive results on neuromorphic benchmarks, achieving 98.96 % on DVS-Gesture and 81 % on CIFAR10-DVS [6]. Energy efficiency is also a focus of this review. Comparative profiling shows that spiking attention modules eliminate multiplications and soft-max operations, reducing per-attention energy costs by up to $89\times$ and overall inference energy by approximately 57 % compared with early spiking ResNets [1]. We examine various learning strategies—ANN-to-SNN conversion, surrogate-gradient descent [1, 3], and biologically inspired local learning rules such as e-prop [9]—highlighting their respective advantages in performance, biological plausibility, and hardware compatibility. Finally, we outline open challenges, including the lack of standardised energy-benchmarking protocols, limited deployment on neuromorphic hardware [10], and the need for more biologically grounded training paradigms [9]. By consolidating architectural, algorithmic, and energetic data across recent studies, this review provides a comprehensive overview of the current landscape and future directions for T-SNNs in the context of brain-inspired, energy-efficient AI.

References

- [1] Zhou, Zhaokun, et al. "Spikformer: When Spiking Neural Network Meets Transformer." ICLR. 2023.
- [2] Yao, Man, et al. "Spike-driven Transformer." NeurIPS. 2023.
- [3] Zhou, Chenlin, et al. "Spikingformer: Spike-driven residual learning for transformer-based spiking neural network." arXiv preprint arXiv:2304.11954 (2023).
- [4] Zhang, Han, et al. "SGLFormer: spiking global-local-fusion transformer with high performance." *Frontiers in Neuroscience* 18 (2024): 1371290.

- [5] Bal, Malyaban, and Abhronil Sengupta. "SpikingBERT: Distilling BERT to Train Spiking Language Models Using Implicit Differentiation." Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. Vol. 38. No. 10. Association for the Advancement of Artificial Intelligence, 2024.
- [6] Zhou, Chenlin, et al. "Enhancing the performance of transformer-based spiking neural networks by SNN-optimized downsampling with precise gradient backpropagation." arXiv preprint arXiv:2305.05954 (2023).
- [7] Zou, Shihao, et al. "Event-based human pose tracking by spiking spatiotemporal transformer." arXiv preprint arXiv:2303.09681 (2023).
- [8] Zhou, Zhaokun, et al. "Spikformer v2: Join the high accuracy club on imagenet with an snn ticket." arXiv preprint arXiv:2401.02020 (2024).
- [9] Bellec, Guillaume, et al. "A solution to the learning dilemma for recurrent networks of spiking neurons." Nature communications 11.1 (2020): 3625.
- [10] Yao, Man, et al. "Spike-driven Transformer V2: Meta Spiking Neural Network Architecture Inspiring the Design of Next-generation Neuromorphic Chips." The Twelfth International Conference on Learning Representations (2024).
- [11] Lee, Donghyun, et al. "Spiking transformer with spatial-temporal attention." Proceedings of the Computer Vision and Pattern Recognition Conference. 2025.
- [12] Guo, Yufei, et al. "Ternary spike: Learning ternary spikes for spiking neural networks." Proceedings of the AAAI conference on artificial intelligence. Vol. 38. No. 11. 2024.

Acknowledgements

This research was supported by the Korea Institute of Science and Technology (KIST) Institutional Program (2E33561) and the National R&D Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (NRF-2021R1C1C2012843). J.-H. Han was supported by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2025-RS-2022-00156225) supervised by the IITP (Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation) and by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant (No. RS-2024-00415812).

Biologically-Inspired Neuronal Dynamics for Efficient Spiking Neural Networks: A Review

Kyujin Kang¹, Jae Ho Han^{1*}, and Hyun Jae Jang^{1*}

¹Korea University, Korea ²Korea Institute of Science and Technology, Korea

초록

Spiking Neural Networks (SNNs), emerging as the third generation of neural networks, are grounded in early neuron models such as Lapique's integrate-and-fire ^[1] and the Hodgkin–Huxley formulation ^[2], later simplified in adaptive spiking models like Izhikevich and AdEx ^[3,4]. Recent SNN research increasingly focuses on embedding biologically realistic neuronal dynamics. These include burst firing, spike-frequency adaptation, threshold modulation, and subthreshold response behavior ^[5–8], which enhance temporal selectivity and support energy-efficient computation like real cortical neurons. For instance, SNNs equipped with adaptation mechanisms (e.g., AdEx) demonstrate up to 2.4× improvement in spike sparsity and 30–40% reduction in classification error under noisy inputs compared to non-adaptive models ^[9]. Burst-enabled models have been shown to achieve 10–15% increased robustness to jittered spike patterns and improved learning stability in dynamic environments ^[5,10]. From an engineering standpoint, these mechanisms support latency-aware, low-power computation when deployed on neuromorphic hardware such as Loihi, where dynamic thresholding and adaptation reduce energy consumption by over 5× compared to conventional spiking models ^[13,14]. These neuron-level dynamics are critical in contexts requiring event-based processing, such as real-time robotics, tactile sensing, and low-bandwidth environments ^[12,15]. While STDP continues to serve as a biologically plausible synaptic rule ^[16,17], this review emphasizes that core performance gains in modern SNNs arise from modeling intrinsic cellular behavior rather than synaptic learning alone. Integrating adaptive dynamics observed in pyramidal and inhibitory neurons leads to more robust, scalable, and energy-aware SNN architectures suitable for embedded AI applications ^[11,12,18,19]. Future research should focus on developing standardized benchmarks and theoretical frameworks to rigorously characterize and optimize such dynamics for deployment in scalable, low-power neuromorphic platforms.

References

- [1] Lapique, L. (1907). Recherches quantitatives sur l'excitation électrique des nerfs. *Journal of Physiol Pathol Générale*.
- [2] Hodgkin, A. L., & Huxley, A. F. (1952e). A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve. *J Physiol*, 117(4), 500–544.
- [3] Izhikevich, E. M. (2004). Which model to use for cortical spiking neurons? *IEEE Transactions on Neural Networks*, 15(5), 1063–1070.
- [4] Brette, R., & Gerstner, W. (2005). Adaptive exponential integrate-and-fire model as an effective description of neuronal activity. *J Neurophysiol*, 94(5), 3637–3642.
- [5] Krahe, R., & Gabbiani, F. (2004). Burst firing in sensory systems. *Nat Rev Neurosci*, 5(1), 13–23.
- [6] Naud, R., Marcille, N., Clopath, C., & Gerstner, W. (2008). Firing patterns in the adaptive exponential integrate-and-fire model. *Biol Cybern*, 99, 335–347.
- [7] Benda, J., & Herz, A. V. (2003). A universal model for spike-frequency adaptation. *Neural Comput*, 15(11), 2523–2564.
- [8] Mensi, S., Naud, R., et al. (2012). Parameter extraction and classification of three cortical neuron types reveals two distinct adaptation mechanisms. *J Neurophysiol*, 107(6), 1756–1775.
- [9] Pozzorini, C., et al. (2015). Automated high-throughput characterization of single neurons by means of simplified spiking models. *PLoS Comput Biol*, 11(6), e1004275.
- [10] Insanally, M. N., et al. (2024). Contributions of cortical neuron firing patterns, synaptic connectivity, and plasticity to task performance. *Nat Commun*, 15, 6023.
- [11] Thakur, C. S., et al. (2018). Large-Scale Neuromorphic Spiking Array Processors. *Front Neurosci*, 12, 891.
- [12] Davies, M., et al. (2018). Loihi: A Neuromorphic Manycore Processor with On-Chip Learning. *IEEE Micro*, 38(1), 82–99.
- [13] Lin, T. H., et al. (2020). Mapping a spike-based algorithm on Loihi. *Neuromorphic Computing and Engineering*, 1(2), 026002.
- [14] Boahen, E. K., et al. (2025). Bio-Inspired Neuromorphic Sensory Systems from Intelligent Perception to Nervetronics. *Advanced Science*, advance online publication.
- [15] Bi, G.-Q., & Poo, M.-M. (1998). Synaptic Modifications in Cultured Hippocampal Neurons: Dependence on Spike Timing, Synaptic Strength, and Postsynaptic Cell Type. *J Neurosci*, 18(24), 10464–10472.
- [16] Song, S., Miller, K. D., & Abbott, L. F. (2000). Competitive Hebbian learning through spike-timing-dependent synaptic plasticity. *Nat Neurosci*, 3(9), 919–926.
- [17] Roy, K., Jaiswal, A., & Panda, P. (2019). Towards spike-based machine intelligence with neuromorphic computing. *Nature*, 575(7784), 607–617.
- [18] Xiao, Y., et al. (2025). Bio-plausible reconfigurable spiking neuron for neuromorphic computing. *Science Advances*, advance online publication.
- [19] Zenke, F., & Vogels, T. P. (2021). Surrogate Gradient Learning in Spiking Neural Networks. *Neural Computation*, 33(4), 899–925.

Acknowledgements

This research was supported by the Korea Institute of Science and Technology (KIST) Institutional Program (2E33561) and the National R&D Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Science and ICT (NRF-2021R1C1C2012843). J.-H. Han was supported by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2025-RS-2022-00156225) supervised by the IITP (Institute for Information & Communications Technology Planning & Evaluation) and by the National Research Foundation of Korea (NRF) grant (No. RS-2024-00415812).

딥러닝으로 검출된 휴먼영역의 암호화 및 복호화

권만준, 전명근*

아주자동차대학 미래자동차공학부, 충북대학교 지능로봇공학과
초록

본 논문은 영상을 이용한 AI 서비스에서 개인정보 보호를 위해 휴먼 영역(얼굴이나 실루엣)을 보호하는 기법을 제안한다. 지능형 CCTV 등과 같이 특정 영역을 지속적으로 촬영하거나, 개인 인증을 위해 얼굴을 촬영하는 경우, 이 영상에 포함된 휴먼 영역은 개인을 식별할 수 있는 개인정보에 해당한다.

AI 기술의 발달로 인해 이러한 영상이 대규모 인공지능 모델의 학습 데이터로 사용될 경우 다양한 위협에 노출될 수 있다 [1]. 이를 방지하기 위해 기존에는 촬영된 영상에서 휴먼 영역을 마스킹하는 기법이 사용되어 왔으나, 이러한 단순한 마스킹은 원본 영상의 훼손을 초래하여 법적 근거나 수사 목적 등으로 원래의 휴먼 영역을 복구해야 할 경우에 대응하기 어렵다.

또한 복구 요구에 대응하기 위해 전체 영상을 암호화해 저장하는 방식은, 특정 영상 부분만 복원하고자 할 때도 전체를 복호화해야 하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해, 본 연구에서는 그림 1 과 같이 YOLO 기반 딥러닝을 활용하여 검출된 휴먼 영역만을 XOR 암호화해 저장하고, 이를 복호화하는 방법을 제안한다.

이를 위해 휴먼 영역 정보만을 추출하여 파일에 저장하는 표준화된 방법을 제안하며, 필요한 경우 암호화된 동영상 파일과 함께 원래의 동영상을 복원하는 기법과 절차를 기술한다.

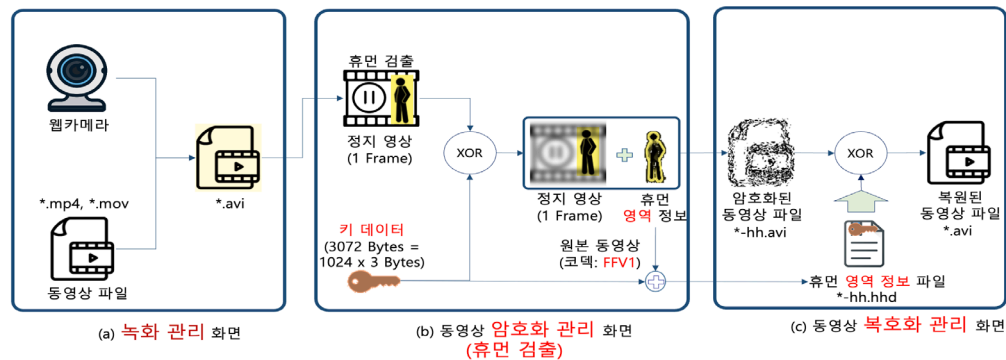


그림 1 딥러닝으로 검출된 휴먼영역의 암호화 및 복호화 과정

감사의글: 이 논문은 국가표준기술력향상사업(20015312)의 결과임

References

- [1] TTA, 인공지능(AI) 서비스 개인정보보호 프레임워크, 2024.12
- [2] National Institute of Standards and Technology. Artificial Intelligence Risk Management Framework (AI RMF 1.0), 2023.

Time2Vec-Transformer 기반 VR 추적 정확도 향상 기법

Obasi Yetunde Oluwatoyosi¹, and Cheol Song^{1,2,†}인공지능 전공¹, 로봇기계전자공학과²

DGIST

초록

미세 조작을 위한 의료 분야의 가상현실(VR) 셋업은 위치추적 정밀도 향상을 위해 센서 융합 기술이 요구됩니다. 본 연구는 VR 컨트롤러의 위치 추적 시스템의 정확도를 향상시키는 방법을 소개합니다. 여기서는 Time2Vec 인코딩과 Transformer 아키텍처를 결합한 모델을 학습하였습니다. 시간, VRC 위치, 관성 측정 장치(IMU) 센서, 고정밀 선형 모터 데이터, 그리고 Isaac Sim의 합성 데이터셋을 사용하여 제안된 모델을 학습하였습니다. 또한, 여러 참가자의 실험에서 측정된 데이터를 활용한 결과도 검증하였습니다. 최종 결과는 Time2Vec+Transformer 모델이 동적 실험에서 위치 정확도를 향상시켜, 실제 데이터에서 평균 0.20 mm, 합성 데이터에서 0.001 mm의 평균제곱근오차 (RMSE)를 보여줍니다. 제안된 Time2Vec+Transformer 모델을 VR 환경 내에 구현함으로써, 특히 동적 상황에서 특히 정확도를 많이 향상시켰습니다. 이러한 수준의 정확도는 미세수술 훈련과 같은 정밀 응용 분야에 필수적입니다.

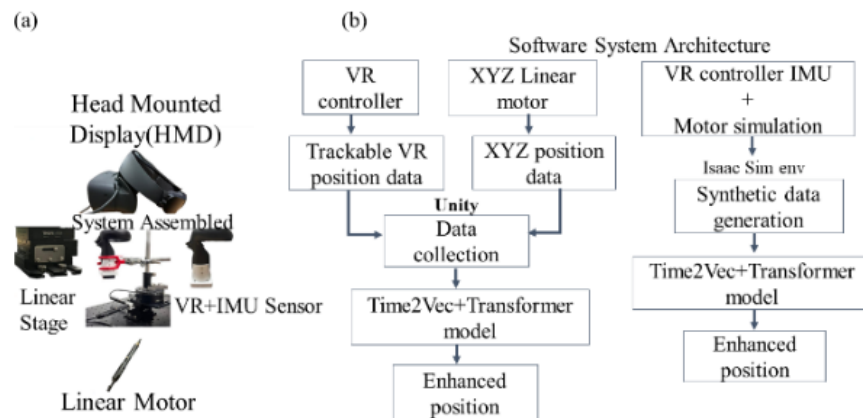


그림 1. 본 연구에 사용된 하드웨어 및 소프트웨어

References [1] M. McCullough, T. F. Osborne, C. Rawlins, R. J. Reitz III, P. M. Fox, and C. Curtin, "The impact of virtual reality on the patients and provider's experience in wide-awake, local-only hand surgery," *Journal of Hand Surgery Global Online*, vol. 5, no. 3, pp. 290–293, 2023.

An Age-Friendly AI Smart Home System with Predictive and Autonomous Environmental Control

전명임, 강문식

강릉원주대학교 전자반도체공학부

초록

고령 인구의 증가에 따라 사용자 중심의 지능형 스마트홈 시스템에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있다. 본 논문에서는 고령자의 행동, 수면, 정서 상태를 실시간으로 예측하고, 이를 기반으로 스마트홈 환경을 자율적으로 제어하는 연령 친화형 AI 스마트홈 시스템을 제안한다. 제안된 프레임워크는 환경 및 웨어러블 센서를 통한 데이터 수집, Node-RED 및 MQTT 기반 실시간 처리, LSTM 기반 예측 모델, 그리고 스마트조명 및 헬스케어 기기와 연동된 자율 제어 인터페이스로 구성된다. 예측 모델은 취침·기상·외출·휴식의 행동 유형, 수면/비수면 상태, 안정·불안·우울의 정서 상태를 분류하는 다중 클래스 문제로 정의되며, 공개 데이터셋(CASAS, SHiFE)을 기반으로 실험한 결과, 행동 예측 정확도 91.2%, 수면 예측 88.6%, 정서 예측 84.3%를 기록하였다. Confusion matrix 분석을 통해 '외출-휴식', '불안-우울' 간의 혼동 양상이 확인되었으며, 이는 향후 멀티모달 입력 보완의 필요성을 의미한다. 스마트조명 및 헬스케어 기기를 활용한 구현 실험에서 평균 응답 시간은 2.3초, 제어 성공률은 97.9%로 측정되어 실시간성과 안정성을 입증하였다. 특히 수면 예측 기반 조명 조절은 평균 수면 시간 증가 및 야간 각성 빈도 감소에 기여하였다. 본 연구는 고령자 맞춤형 예측 기반 제어 프레임워크의 실현 가능성과 기술적 유효성을 검증하였으며, 향후 정서 인식 고도화 및 개인화된 제어 전략으로의 확장성을 제시한다.

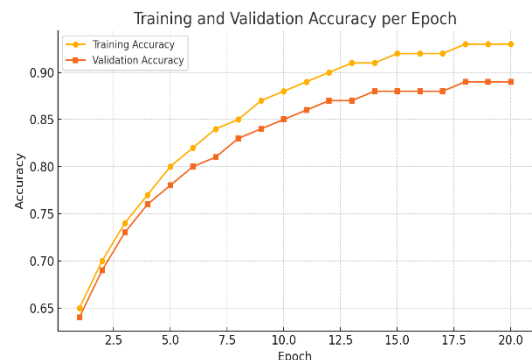
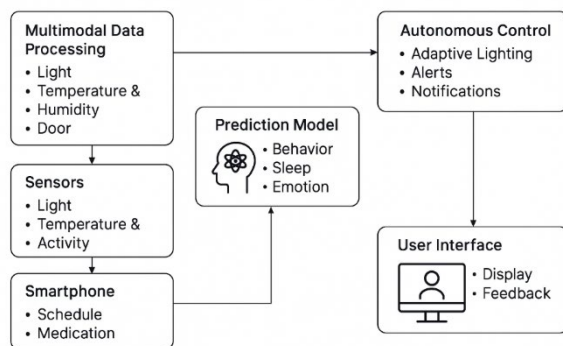


그림 1. 연령 친화형 AI 기반 스마트홈 시스템 구조 그림 2. Epoch별 학습 및 검증 정확도 변화

References

- [1] World Health Organization, "Falls: Key Facts," WHO Fact Sheet, Sep. 2023. [Online]. Available: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/falls>
- [2] D. Kim, Y. Lee, and Y. Cho, "Development of smart healthcare system based on real-time vital signs for elderly people," *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 1028, Jan. 2022.
- [3] X. Wang, J. Wang, X. Zhang, W. Li, and H. Wang, "A deep learning approach for real-time emotion recognition in smart homes using physiological signals", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 68, no. 2, pp. 113–122, 2022.

자연어처리 분석 기반 안티포렌식 행위 탐지 및 생성증거연결을 통한 범죄혐의 증명력 향상 기법 연구

정종진, 박종빈

한국전자기술연구원 정보미디어연구센터

e-mail : mozzalt@keti.re.kr, jpark@keti.re.kr

Study on techniques for enhancing the probative power of criminal suspicion through anti-forensic behavior detection and generation evidence linkage based on natural language processing analysis

Jong-Jin Jung and Jong-Bin Park

Korea Electronic Technology Institute

of a digital evidence-based intelligent investigation support system in the future.

Abstract

This study proposes a technique to enhance the evidentiary power of criminal suspicion through anti-forensic behavior detection and evidence linkage based on natural language processing (NLP). By analyzing messenger, email, and SNS conversation contents secured from suspects' mobile phones, PCs, etc., we define intentional acts to conceal crimes as 'anti-forensic acts' and implement an anti-forensic behavior detection model to detect them. The detection targets consist of a total of five: 1) deletion circumstantial acts, 2) forgery circumstantial acts, 3) access to specific sites, 4) encryption attempts, and 5) false simulation circumstantial acts. The results of NLP-based behavioral context analysis are linked to actual behavioral evidence such as logs and file access records in digital devices, and are visualized in chronological order through AI analysis. This can integrate fragmentary circumstantial information into a single context to enhance the reliability and persuasiveness of proving criminal suspicions. This study is expected to contribute to the development

I. 서론

디지털 포렌식 기술의 발전에도 불구하고, 범죄자는 흔적을 지우거나 조작하여 수사를 방해하는 '안티포렌식(Anti-Forensic)' 기법을 지속적으로 활용하고 있다. 특히 메신저, SNS, 이메일 등 비정형 자연어 데이터를 통해 범죄 행위 은폐를 시도하는 사례가 늘고 있으며, 이에 대한 효과적인 탐지와 증거 연결이 요구되고 있다. 본 연구는 자연어처리(NLP) 기반 분석을 통해 대화 내용에 내재된 안티포렌식 정황을 탐지하고, 이를 디지털 기기의 실제 행위 증거와 연결함으로써 범죄 혐의 입증의 신뢰성을 제고하고자 한다. 삭제, 위변조, 특정 사이트 접속, 암호화, 거짓 모의 등 5가지 주요 안티포렌식 행위를 탐지 대상으로 정의하고, 해당 정황을 AI 기반 모델로 분석 및 분류한다. 이후 관련 기기 로그 및 파일 기록 등과 연계하여 시간 흐름에 따른 행위 흐름을 시각화함으로써 증거 간 인과 관계를 명확히 제시한다. 본 연구는 기존 포렌식 중심 수사의 한계를 보완하고, 지능형 디지털 범죄 대응에 실질적 기여가 가능한 기초 기술로서의 의의를 갖는다.[1]

II. 본론

2.1 안티포렌식 행위 탐지

안티포렌식(Anti-Forensic)은 디지털 포렌식 분석을 회피하거나 방해하기 위한 일련의 기술적·심리적 행위를 의미한다. 이러한 행위는 수사기관의 추적을 피하거나 증거 확보를 어렵게 만들기 위한 목적으로 수행되며, 디지털 범죄 환경이 고도화됨에 따라 다양한 형태로 진화하고 있다. 본 연구에서는 안티포렌식 행위를 범죄 혐의자가 디지털 기기 상에서 증거를 은폐하거나 조작하기 위해 수행한 정황상의 행위로 정의하며, 특히 메신저, SNS, 이메일, 음성녹음 등 비정형 자연어 기반 대화 내역을 분석하여 해당 의도적 행위를 탐지하는 과정을 ‘안티포렌식 행위 탐지’로 규정한다. 즉, 자연어처리 기반 분석을 통해 디지털 대화 내용에서 행위자의 ‘은폐 또는 왜곡 의도’를 식별하고, 이를 실제 행위 증거와 연계하여 디지털 범죄의 흐름을 재구성하는 것이 본 연구의 핵심이다.[2] 본 연구에서는 안티포렌식 행위를 다음의 5가지 대표적 유형으로 구분하고 이를 표 1과 같이 정의한다.

표 1. 정의한 안티포렌식행위 유형별 설명

안티포렌식 행위 유형	간략 정의
삭제 정황 행위	범죄 관련 대화, 파일, 로그 등을 고의로 삭제하거나 삭제를 지시한 행위
위변조 정황 행위	기존 디지털 데이터를 수정하거나 조작하여 원본의 의미나 내용을 왜곡하는 행위
특정 사이트 접속 행위	증거 은폐 또는 범죄 실행과 관련된 사이트(예: 다크웹, 파일분산저장소 등)에 접속한 정황
암호화 시도	파일, 디렉터리 또는 전체 장치에 대한 암호화를 시도하거나 실행한 행위
거짓 모의 정황 행위	허위로 사실을 꾸미거나 알리바이를 조작하기 위해 타인과 공모하거나 시뮬레이션한 대화 및 행동

2.2 안티포렌식 행위 탐지 모델 구성

안티포렌식 행위 탐지를 위해서는 우선 범죄 혐의자의 디지털 기기에서 획득한 비정형 자연어 데이터를 효과적으로 수집하고, 그 안에서 범죄 은폐 의도가 내포된 정황을 식별할 수 있는 분석 모델이 필요하다. 본 연구에서는 메신저 대화, 이메일, SNS 메시지, 음성대화 녹취 텍스트 등 다양한 자연어 데이터를 대상으로, 행위자의 의도와 맥락을 해석할 수 있는 자연어처리(NLP) 기반 탐지 모델을 설계하였다.[3] 모델 구성은 크게 다음의 세 단계로

이루어진다.

첫째, 디지털 기기 내 자연어 데이터를 수집 및 정제하여 분석 가능한 형태로 전처리한다. 이때 시간 정보, 발화자 정보, 메타데이터 등도 함께 추출하여 정황 인식 정확도를 높인다.

둘째, 전처리된 텍스트를 기반으로 문장 간 의미 연결, 특정 키워드 및 표현 패턴 분석, 대화 흐름 속 비정상적 발언 패턴 등을 식별할 수 있는 NLP 알고리즘을 적용한다. 예컨대 "지웠어", "암호 걸었어", "XXX 들어가서 보내", "혹시 들킬까봐" 등의 문맥은 안티포렌식 정황으로 분류될 수 있다.

셋째, 탐지된 정황은 앞서 정의한 5가지 안티포렌식 유형(삭제, 위변조, 사이트 접속, 암호화, 거짓 모의) 중 하나 이상으로 분류되며, 이후 실제 행위 증거(기기 로그, 접근 기록 등)와 연결하여 의도된 행위 → 실제 실행 간 인과성을 모델 내에서 구조화한다. 이 모델은 Rule-based 방식과 학습 기반 방식(Hybrid)으로 병행 구성되며, 수사 실무자가 신뢰할 수 있는 해석 가능성과 자동화 수준을 모두 확보하는 데 목적이 있다. 다음 장에서는 탐지 모델에서 도출된 결과와 실제 디지털 로그 데이터를 연결하여 증거성을 강화하는 연결 기법에 대해 설명한다.[4]

2.3 생성증거 연결 및 시각화 기법

생성 증거란, 사용자의 의도적 행위(예: 삭제, 위변조, 접속 등)가 실제 디지털 기기에서 수행된 결과로 남겨진 로그, 시스템 기록, 파일 변경 이력 등 객관적인 디지털 흔적을 의미한다. 이는 행위자가 남기지 않으려 했으나 시스템이 자동으로 생성한 증거로, 행위 정황을 입증하는 중요한 실질 증거로 활용될 수 있다. 안티포렌식 행위 탐지 모델에서 추출된 자연어 기반 정황 정보는, 단독으로는 행위자의 의도를 시사하는 간접 증거에 그칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 탐지된 정황 정보를 해당 디지털 기기에서 실제 수행된 행위 기반 로그 정보와 연결하여, ‘의도-실행’ 간의 인과 관계를 명확히 밝히는 연결 기법을 제안한다.

우선, 각 안티포렌식 행위 유형에 해당하는 실제 기기 로그 또는 시스템 기록의 예시는 다음과 같다. 삭제 정황의 경우 파일 삭제 로그, 휴지통 접근 기록, DB 삭제 명령 기록 등이 해당하고, 위변조 행위는 파일 수정 이력, 파일 해시값 변경, 문서 메타데이터 변화 등이 이에 포함된다. 특정 사이트 접속은 브라우저 히스토리, DNS 요청 로그, VPN 사용 이력 등으로 확인 가능하며, 암호화 시도는 암호화 명령어 실행 기록, 특정 암호화 프로그램 설치 로그, 파일 포맷 변경 이력 등을 통해 식별할 수 있다. 거짓 모의 정황의 경우, 타 사용자와의 공모 대화 이후 나타나는 비정상적 기

기 사용 흐름 등이 단서가 될 수 있다. 이러한 실제 로그 및 행위 기반 데이터를 탐지된 자연어 정황과 시간 정보(Timestamp)를 기준으로 연계하여, 행위 흐름을 선형적으로 구성한다. 이를 통해 대화 내용에서 “지웠어”라고 말한 직후 실제로 해당 파일이 삭제된 기록이 존재하는 경우, 해당 정황은 단순한 의심 수준을 넘어 구체적 실행으로 연결된 증거가 된다. [5]

본 연구에서는 이러한 연결 정보를 시계열 그래프 및 타임라인 시각화 형태로 제공함으로써, 수사자가 특정 시점의 대화와 기기 행위 간의 상관성을 직관적으로 파악할 수 있도록 지원한다. 또한 여러 정황이 복합적으로 얽힌 사건의 경우, 복수의 정황 간 시간 순 흐름을 하나의 맥락으로 재구성할 수 있어, 범죄 혐의 입증의 논리적 설득력을 높이는 데 기여한다.

III. 구현

3.1 탐지된 안티포렌식 행위와 생성증거 연결 구현

본 장에서는 제안한 안티포렌식 행위 탐지 및 생성 증거 연결 기법을 실제 사례에 적용하여 그 유효성과 실효성을 검증한 결과를 구현된 화면을 통해 제시한다. 아래 그림1은 주요 범죄 혐의자들이 수사망이 좁혀오자 중요 증거물을 삭제했는지를 서로 확인하는 대화를 포착하여 파일삭제 정황을 탐지하였고, 해당 대화가 이루어진 시점 전후로 디지털기기에서 해당 파일들의 삭제 로그 기록들을 표현하여 범죄혐의를 입증하는 시각화 그림이다.

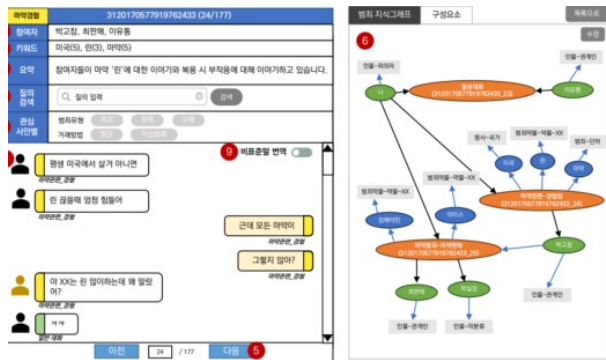


그림 1 파일삭제 정황 탐지 및 생성 증거 연결

그림 2는 위변조 행위를 사용자 음성대화 녹음파일을 자연어 분석처리 하여 탐지하고, 해당 파일에 대해 위변조 시도 로그 기록을 찾아 연결함으로써 범죄 혐의 입증에 도움을 주는 시각화 화면이다.

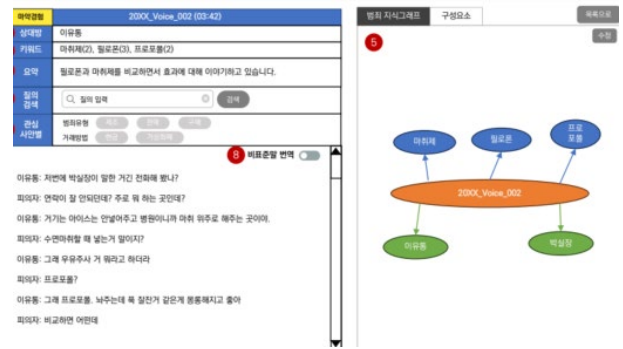


그림 2 위변조 정황 탐지 및 생성 증거 연결

탐지된 정황과 실제 로그는 시간 정보를 기준으로 자동 정렬되어 타임라인 형태로 시각화되었다. 예를 들어, “다 지우고 자백해”라는 메신저 대화 직후 1분 이내에 특정 디렉터리 내 파일이 삭제된 로그가 확인되었고, 이 두 정황은 시계열 그래프 상에서 연속적으로 표시되었다. 이와 같은 시각화는 수사자가 개별 정황을 통합적으로 판단하고 사건의 흐름을 재구성하는 데 큰 도움을 줄 수 있다.

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구는 디지털 환경에서 범죄 혐의자의 의도적으로 증거를 은폐하거나 조작하는 안티포렌식 행위를 탐지하고, 해당 행위와 실제 생성된 디지털 증거를 연결하여 범죄 혐의의 증명력을 향상시키는 기법을 제안하였다. 이를 위해 자연어처리(NLP) 기반의 분석 모델을 통해 메신저, 이메일, SNS 등 비정형 텍스트 내에서 은폐 정황을 탐지하고, 기기 로그 및 시스템 기록 등 생성 증거와 시계열 기반으로 연결하는 구조를 설계하였다. 실험을 통해 제안한 기법은 삭제, 위변조, 사이트 접속, 암호화, 거짓 모의 등 5가지 안티포렌식 유형에 대한 정황 탐지를 안정적으로 수행하였으며, 특히 탐지된 결과를 시간 순으로 시각화함으로써 수사자의 직관적인 해석과 사건 흐름의 이해를 지원할 수 있는 실용성을 확인하였다. 그러나 본 연구는 제한된 수의 시나리오 및 실험 데이터를 기반으로 수행되었으며, 다양한 실제 범죄 유형과 다중 사용자 환경에서의 정황 탐지 및 연결 정확도는 추가적인 검증이 필요하다. 또한 음성 기반 자연어 데이터, 다국어 환경, 암호화된 대화 플랫폼 등 보다 복잡한 상황에 대한 대응 모델은 후속 연구가 요구된다.

향후에는 수사기관의 수사 절차 및 시스템 환경과의 연계성 강화를 위해, 본 연구 결과를 모듈화된 API 형태로 제공하거나, 법적 증거 효력 확보를 위한

디지털 증거 인증 기술과의 통합도 고려할 예정이다. 또한, 안티포렌식 행위의 고도화에 대응하기 위한 적응형 탐지 알고리즘 및 위협 시나리오 기반 사전 학습 시스템 개발도 중장기 과제로 추진할 계획이다.

Acknowledgement

이 논문은 2025년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. RS-2023-00225661, 디지털 증거의 증명력 제고를 위한 인과관계 추론 및 표현 기술 개발)

참고문헌

- [1] 김희두, 임희석, "사전학습 언어모델을 활용한 범죄 수사 도메인 개체명 인식", 한국융합학회논문지 제13 권 제 2 호, pp. 13-20 (2022)
- [2] Ko, Hyunwoong, et al. "A Technical Report for Polyglot-Ko: Open-Source Large-Scale Korean Language Models." arXiv preprint arXiv:2306.02254 (2023)
- [3] Dettmers, Tim, et al. "Qlora: Efficient finetuning of quantized llms." arXiv preprint arXiv:2305.1431 (2023)
- [4] OpenAI. "ChatGPT." ChatGPT - OpenAI, <https://platform.openai.com/docs/guides/chat>
- [5] Ban, B. A survey on awesome korean nlp datasets. In 2022 13th International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)(pp.1615-1620).IEEE. (2022)

ControlNet-Guided Fusion of Panoramic Visuals and Auditory Spectrograms

Suh Yoon Jeon^{a,1}, Hyewon Bae^{a,1}, Ji Ha Jang^{a,1}, and Se Young Chun^{a,b,*}

^aDept. of ECE, ^bIPAI&INMC, Seoul National University, Korea

¹equal contribution, *corresponding author

Abstract

Spectrogram art is a creative form of multimodal expression that fuses visual and auditory modalities by embedding meaningful imagery into the frequency-time domain of audio signals. However, existing methods [1] are constrained to short audio and simplistic visuals. To overcome these limitations, we present **SpecArtDiff**, a framework that generates context-rich panoramic images and extended, coherent music by leveraging shared latent space diffusion models for panoramic image [2] and music generation [3]. To bridge the structural and semantic gap between modalities, we incorporate ControlNet modules guided by Canny edge maps, which serve as structural priors. This enables the creation of spectrograms that closely adhere to both image and audio prompts while producing high-quality images and music. SpecArtDiff achieves cross-modal alignment, advancing the state of multimodal generative art.

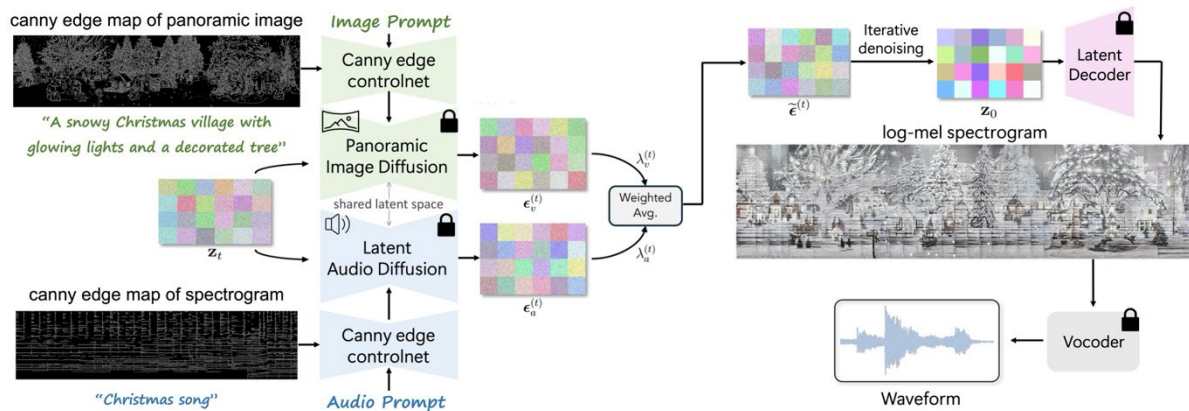


Fig 1. Overall Pipeline. SpecArtDiff generates spectrograms that represent both visual and auditory modalities via latent diffusion models and ControlNet guided by Canny edge maps from panoramic images and spectrograms.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References [1] Chen et al., “Images that sound: Composing images and sounds on a single canvas.” NeurIPS, 2024. [2] Lee et al., “Syncdiffusion: Coherent montage via synchronized joint diffusions,” NeurIPS, 2023. [3] Forsgren et al., “Riffusion – Stable diffusion for real-time music generation,” 2022.

Object-Interactive Human Motion Generation via Affordance Reasoning

Hyewon Bae^{a,†}, Suh Yoon Jeon^{a,†} and Se Young Chun^{a,b,*}

^aDept. of ECE, ^bINMC & IPAI, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea

[†] Authors contributed Equally. ^{*} corresponding author

Abstract

Existing text-to-motion models [1] often fail to produce realistic and physically grounded human-object interactions, typically generating coarse and implausible motions. We propose a framework for object-interactive human motion generation guided by affordance-aware contact reasoning. Given an input text, our method synthesizes contact-consistent motions by leveraging interaction cues such as functional parts and localized contact regions. These cues are encoded into spatial affordance maps, guided by a contact prior that captures plausible human-object interactions. This prior serves as a key inductive bias for generating physically grounded motions. A contact-aware loss further encourages physically plausible contact during training. Fig. 1 illustrates the overall pipeline of our method, highlighting how the contact prior informs affordance extraction and motion generation. Experimental results demonstrate that our approach generates more realistic and contact-grounded motions compared to prior baselines [2].

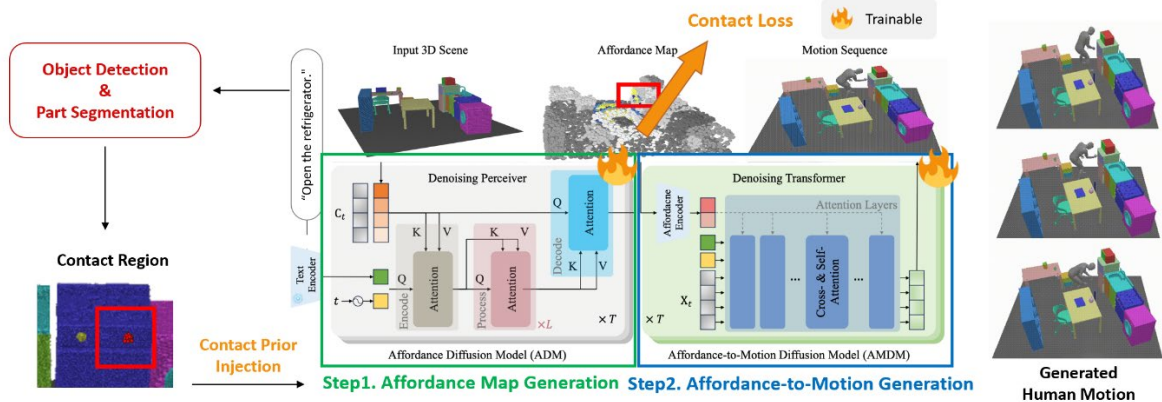


Fig 1. Overview of our motion generation pipeline with contact prior and contact loss.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References [1] Guo, Chuan, et al. "Generating diverse and natural 3d human motions from text." CVPR. 2022. [2] Wang, Zan, et al. "Move as you say interact as you can: Language-guided human motion generation with scene affordance." CVPR. 2024.

Robust Panoramic Localization via Hybrid Optimization

Kyeonghyun Lee^{a,*}, Woojae Han^{b,*}, and Se Young Chun^{a,b,c,†}

^aDept. of ECE & ^bIPAI & ^cINMC, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea

*co-first authors, †corresponding author

Abstract

Panoramic localization estimates the 6-DoF camera pose of a panoramic image within a known 3D environment, using visual cues such as color or geometry. Color-based methods (e.g., PICCOLO [2], CPO [3]) achieve high accuracy but require good pose initialization, making them unreliable under large viewpoint changes. In contrast, geometry-based methods (e.g., FGPL [1]) are fast and robust to such changes, but their accuracy is limited by sparse and noisy feature matches. Despite their complementary strengths, no prior work has effectively combined these two paradigms. We propose a hybrid framework for panoramic image localization that combines geometric candidate pose search with color-based pose refinement. We introduce a two-stage approach that first uses a geometry-based method to generate a candidate pose, and then applies a color-based refinement to improve accuracy. This design leverages geometric robustness for initialization and color consistency for precision. Experiments on Stanford 2D-3D-S and OmniScenes demonstrate that our method significantly reduces pose errors and maintains robustness under motion and variation in scenes.

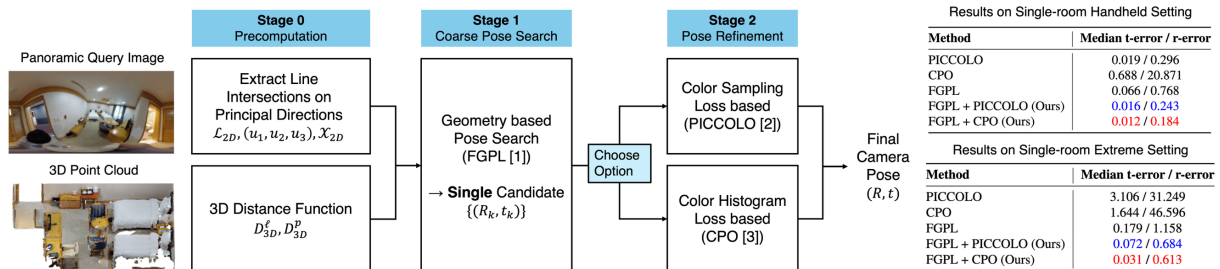


Fig 1. Hybrid panoramic localization pipeline combining geometric pose search (FGPL [1]) with color-based refinement (PICCOLO [2], CPO [3]). Our method leverages fast geometric initialization and accurate color matching, achieving state-of-the-art performance across diverse settings.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References [1] Junho Kim et al. “Fully geometric panoramic localization.” *CVPR 2024* [2] Junho Kim et al. “Piccolo: Point cloud-centric omnidirectional localization.” *ICCV 2021*. [3] Junho Kim et al. “Cpo: Change robust panorama to point cloud localization.” *ECCV 2022*

Mitigating Hallucinations in Large Vision-Language Models via Norm-Guided Visual Filtering

Hyunjin Cho¹, Hoigi Seo¹, Dong Un Kang¹, Jooheon Lee², and Se Young Chun^{1,2,3,*}

¹Dept. of ECE, ²IPAI, ³INMC, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea

*corresponding author

Abstract

Large vision-language models (LVLMs) have demonstrated impressive performance in image understanding, enabling them to generate detailed captions and answer a wide range of questions based on visual inputs [1]. However, current LVLMs exhibit hallucinations, where the generated outputs deviate from the actual visual content [2]. In this work, we propose a norm-guided visual filtering method that mitigates hallucinations in a training-free manner, without introducing auxiliary models. Based on the observation that insignificant visual tokens tend to have higher feature norms compared to more informative ones, we employ a masking strategy that zeroes out high-norm tokens, thereby effectively suppressing hallucination generation. We evaluate our method on the CHAIR [3] and confirm its efficacy.

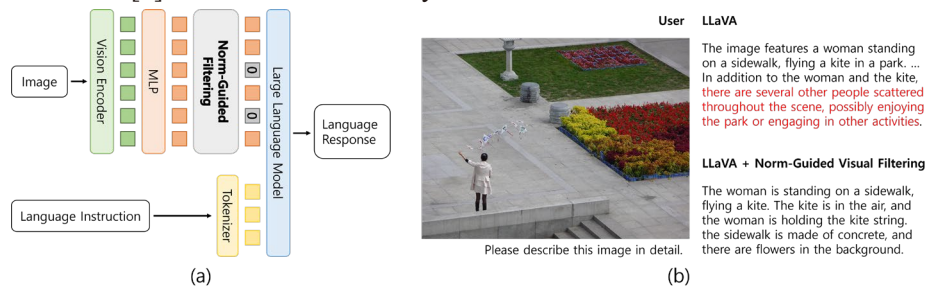


Fig 1. (a) An overview of the text generation process with norm-guided visual filtering. (b) Our method effectively reduces hallucinated content in the generated responses. Hallucinations are highlighted in red.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References

- [1] Liu, Haotian, et al. "Visual instruction tuning." *NeurIPS* 2023. [2] Huang, Qidong, et al. "Opera: Alleviating hallucination in multi-modal large language models via over-trust penalty and retrospection-allocation." *CVPR* 2024. [3] Rohrbach, Anna, et al. "Object Hallucination in Image Captioning." *EMNLP* 2018.

Closed-form Instance Unlearning for Explicit Distributions

Kyungryeol Lee¹ and Se Young Chun^{1,2,*}

¹Dept. of ECE, ²IPAI&INMC, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea

*corresponding author

Abstract

Recent advances in generative modeling have highlighted the growing need for techniques that enable fine-grained control over what a model retains or forgets. One critical challenge in this domain is *instance unlearning*—the removal of specific data points from a trained model’s generative capacity[1]. In this work, we provide a rigorous theoretical framework for instance unlearning in the setting of explicit probability distributions. We formulate the unlearning problem as a constrained optimization that seeks to suppress probability mass within a targeted interval while minimizing deviation from the original distribution. By leveraging Lagrangian duality, we derive a closed-form solution for the optimal unlearned distribution. Our approach introduces a tunable regularization parameter that explicitly controls the trade-off between unlearning strength and distributional fidelity. We demonstrate through analytical examples how this solution selectively reduces the likelihood of undesired instances without severely distorting the overall distribution. This formulation serves as a foundational step toward principled unlearning mechanisms and offers valuable insights for extending such approaches to more complex or implicit generative models[2].

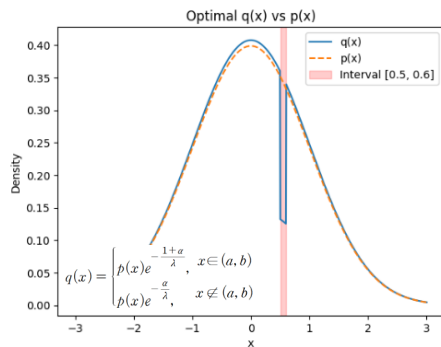


Figure 1. Instance unlearning results for explicit distributions $p(x) \sim \mathcal{N}(0, 1)$. Through our algorithm, for the unlearning interval (0.5, 0.6), the resulting probability is reduced to about one-third, while at the same time the probability distribution $q(x)$ is almost maintained in the other part.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References [1] Alberti et al., *Data unlearning in diffusion models*, ICLR. (2025) [2] Ho et al., *Denosing Diffusion Probabilistic Models*, NeurIPS. (2020)

Self-Cascade Coordinate-guided Residual Diffusion Models for Arbitrary-Scale Perceptual Image Super-Resolution

Junseo Bang^{a,1}, Joonhee Lee^{a,1}, Haechang Lee^a, Dong Un Kang^a, and Se Young Chun^{a,b,*}

^aDept. of ECE & ^bINMC & IPAI, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea

¹Equal contribution, * corresponding author

Abstract

Unlike conventional super-resolution (SR) methods restricted to fixed scaling factors, arbitrary-scale image super-resolution (ASISR) enables continuous upsampling with a single model. Recently, diffusion-based methods have gained attention for their superior perceptual quality but still struggle to generate fine-grained details at unseen scaling factors [1, 2]. To overcome this limitation, we propose a self-cascade diffusion framework with a progressive multi-stage upsampling strategy, allowing the model to generalize from a single scaling factor to a wide range of resolutions. In addition, we introduce a coordinate-guided residual diffusion model, which enhances detail generation by denoising in the residual space and effectively incorporating resolution information via a coordinate adapter. Extensive experiments demonstrate our method outperforms existing methods in perceptual quality, especially under out-of-distribution conditions.

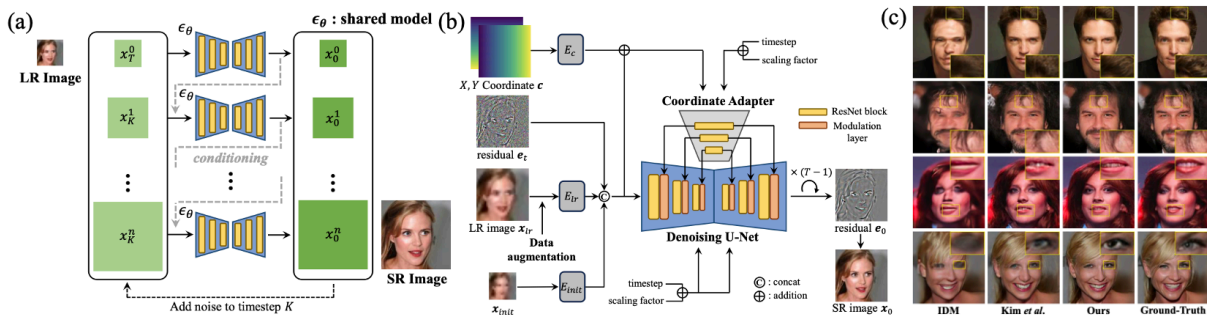


Fig 1. (a) Progressive upsampling framework of our proposed method. (b) Overall architecture of a coordinate-guided residual diffusion model. (c) Qualitative comparison of existing ASISR methods.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References [1] Sicheng Gao, *et al.* "Implicit diffusion models for continuous super-resolution." *CVPR*, 2023. [2] Jinseok Kim and Tae-Kyun Kim. "Arbitrary-scale image generation and upsampling using latent diffusion model and implicit neural decoder." *CVPR*, 2024.

Zero-shot Diffusion Model based Highly Ill-posed Inverse Problem Solver via Tweedie Variable Optimization with Total Variation

Dong Ju Mun^{1,a}, Junseo Bang^{1,a}, and Se Young Chun^{a,b,*}

^aDept. of ECE, ^bIPAI&INMC, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea

¹equal contribution *corresponding author

Abstract

Diffusion models(DM) have demonstrated remarkable performance in solving various ill-posed inverse problems. However, their efficacy remains under-investigated for real-world scenarios involving large and complex degradation kernels, such as in lensless imaging. Our investigation reveals that existing zero-shot diffusion models (ZS-DMs), such as DPS [1] that relies on a least-squares fidelity term, and DiffPIR [2] that utilizes a pseudo-inverse-based fidelity, exhibit significant performance degradation in such highly ill-posed settings. This instability arises from the sensitivity of the forward operator and its pseudo-inverse to perturbations. To address this limitation, we introduce Tweedie variable optimization with total variation for diffusion models (TOTV-DM), a novel zero-shot framework designed for robust reconstruction in the inverse problems with large and complex kernel degradations. Our method enforces data consistency by optimizing the clean data manifold estimate from Tweedie's formula at each timestep using a total variation (TV) regularizer, enabling high-quality results in highly ill-posed inverse problem scenarios.

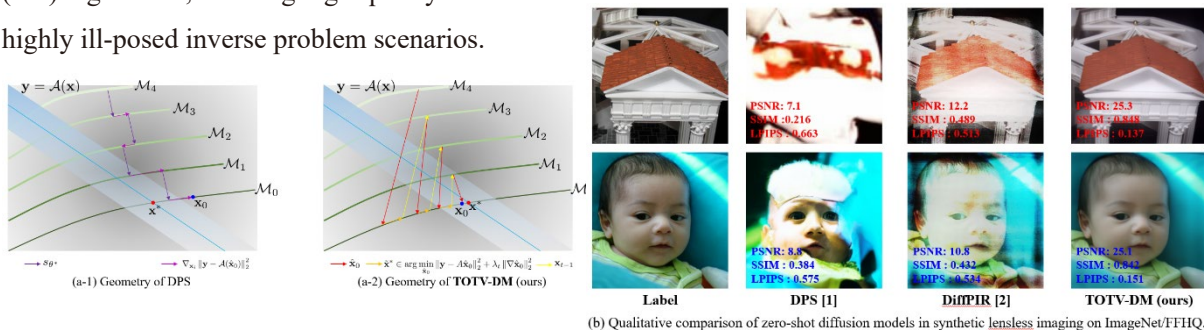


Fig 1. (a) Conceptual illustration of the geometries of two different diffusion processes. (b) Qualitative comparison of zero-shot diffusion models in synthetic lensless imaging on ImageNet/FFHQ.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References [1] Hyungjin Chung et al. “Diffusion posterior sampling for general noisy inverse problems.” ICLR, 2022. [2] Y. Zhu et al. “Denoising diffusion models for plug-and-play image restoration.” CVPRW, 2023.

Training-Free Dynamics Score Control in Text-to-Video Diffusion Models via Wavelet-Based Latent Refinement

Seunggyu Lee^{1,*}, Hyewon Bae^{1,*}, and Se Young Chun^{1,2,**}

¹Dept. of ECE & ²IPAI & INMC Seoul National University, South Korea

*Equally contributed, ** corresponding author

Abstract

Text-to-video (T2V) diffusion models have made significant strides in generating visually coherent video sequences from textual prompts [1]. However, recent efforts to enhance temporal consistency often come at the expense of degraded video dynamics, which are crucial for capturing visual liveliness and fidelity [2]. In this work, we analyze the latent video representations of T2V diffusion models through wavelet decomposition, revealing distinctive spatio-temporal frequency distribution patterns that differentiate static videos with minimal dynamics from highly dynamic videos. Based on these insights, we propose **WaveCtrl**, a simple yet effective training-free method that refines wavelet-based latent representations to control dynamics score throughout the sampling process in T2V diffusion models, effectively balancing temporal consistency and expressive motion with neither additional training nor external supervision. Extensive experiments demonstrate that WaveCtrl enhances dynamics score while preserving visual fidelity, operating in a plug-and-play manner with minimal computational overhead.

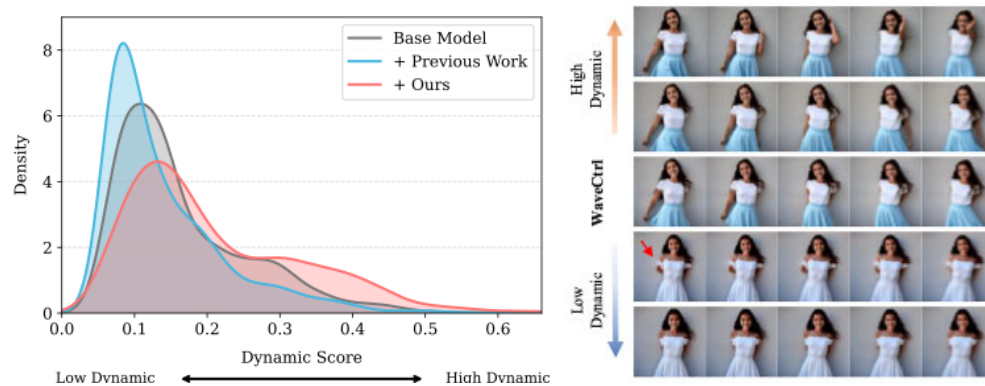


Fig1. (Right) Dynamics score distributions across videos generated using various methods on the DEVIL benchmark [3] prompts. (Left) Effect of WaveCtrl on dynamic Score control in video generation.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government (MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References [1] Rombach, Robin, et al. "High-resolution image synthesis with latent diffusion models." CVPR. 2022. [2] Wu, Tianxing, et al. "Freeinit: Bridging initialization gap in video diffusion models." ECCV, 2024. [3] Liao, Mingxiang, et al. "Evaluation of text-to-video generation models: A dynamics perspective." NeurIPS, 2024

Detailed Texture Reconstruction for Multiple Interacting Humans using an Iterative Method

Jason Park^a, Gwanghyun Kim^a, Junghun J. Kim^b, Suh Yoon Jeon^a, and Se Young Chun^{a, b, *}

^aDept. of ECE, ^bIPAI&INMC, Seoul National University, Seoul, 08826, South Korea

*Corresponding author

Abstract

Texture reconstruction for 3D models of multiple humans in close social interactions is useful as multi view images of humans are readily available through forms such as video[1]. However, prior works are limiting as they do not consider potential multi view misalignments present in the input sequence of images, often resulting in artifacts in the final texture such as blurring and omitted details[2]. In this work, given the initial 3D geometry of interacting humans obtained through a diffusion process followed by explicit mesh optimization, we aim to improve the quality of the reconstructed texture of multiple humans by iteratively improving the texture. We start from an initial texture and gradually optimize the texture using losses such as L2 similarity, producing a more plausible texture for the given human model.

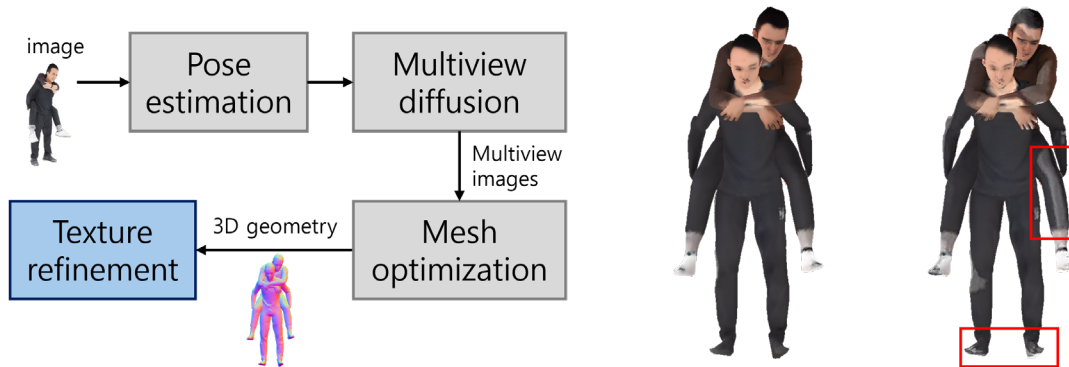


Fig. 1. Overview(left) and comparison of the reconstructed texture using the baseline(center) and the proposed method(right) obtained from 6 multiview images of the scene. Detailed features are preserved in the right figure, as highlighted by red rectangles.

Acknowledgments This work was supported in part by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) [NO.RS-2021-II211343, Artificial Intelligence Graduate School Program (Seoul National University)]. Also, the authors acknowledged the financial support from the BK21 FOUR program of the Education and Research Program for Future ICT Pioneers, Seoul National University.

References

- [1] Jiang, Zeren, et al. "Multiply: Reconstruction of multiple people from monocular video in the wild." *CVPR 2024*.
- [2] Li, Peng, et al. "PSHuman: Photorealistic Single-view Human Reconstruction using Cross-Scale Diffusion." *CVPR 2025*.

Dual Encoder BART 기반 한국어 문장 복원 성능 평가

Seong Min Lee¹, and Chan Hee Kwak¹

¹Kangnam University, Korea

초록

최근 SNS, 뉴스 댓글 등 다양한 실사용 환경에서 조사 탈락과 어순 교란이 빈번히 발생하며, 이로 인해 어절 간 문법적 관계와 의미 해석이 모호해진다. 이러한 손상된 입력은 대형 언어 모델의 downstream task에서 문장 이해 성능을 크게 저하시킨다[1]. 특히, 조사 탈락과 어순 교란이 동시에 발생하면, 어절 간 문법적 관계와 의미론적 연결고리를 구분하기 어려워지며, 단순 단어 재배열을 넘어 복잡한 문법·의미 복원을 요구한다[2]. 기존 sequence to sequence 모델은 영어처럼 어순 중심 구문 해석을 전제로 설계된 경우가 많다. 이러한 접근은 한국어처럼 조사 탈락과 어순 교란이 혼합된 다중 노이즈 상황에 취약한 모습을 보여준다[2]. 본 연구는 SIKO 데이터셋을 이용해 조사 탈락 및 어순 교란이 포함된 문장 복원 문제를 해결한다.

제안하는 Dual Encoder BART는 기존 BART를 기반으로, 의미와 위치 정보를 분리하는 병렬 구조로 설계되었다[3]. 첫 번째 인코더는 기존 BART Encoder와 동일한 구조로 손상된 문장에서 어휘·문맥 의미를 추출한다. 두 번째 인코더는 positional embedding을 제거한 뒤, Self Attention 층에 RoPE를 적용해 손상된 문장의 각 어절 간 상대적 위치 정보를 학습한다[4]. 이후 두 인코더 출력을 내적 후 Gumbel Sinkhorn 알고리즘으로 soft permutation 행렬로 근사 후 hard permutation으로 변환한 뒤 첫 번째 인코더의 출력에 행렬 곱하여 정렬시킨다[5]. 이후 Decoder의 cross attention에는 앞 단계에서 산출된 정렬된 의미 인코더와, 두 번째 인코더에서 얻은 위치 표현을 SwiGLU로 결합하여 K, 첫 번째 인코더의 결과를 V로 주입한다.

실험 결과 제안한 모델의 BLEU score는 67.32, KoBART-base-v2는 66.28로 기존 모델보다 복잡한 다중 노이즈 복원 task에서 본 모델의 실용적 가능성을 여준다.

References

- [1] Kim, Jong Myoung, et al. "Does Incomplete Syntax Influence Korean Language Model? Focusing on Word Order and Case Markers." *In First Conference on Language Modeling (COLM 2024)*, 2024.
- [2] Shin, Hyopil, et al. "KoBALT: Korean Benchmark for Advanced Linguistic Tasks." *arXiv preprint arXiv:2505.16125*, May 2025
- [3] Lewis, Mike, et al. "BART: Denoising Sequence-to-Sequence Pre-training for Natural Language Generation, Translation, and Comprehension." *Proceedings of ACL 2020*, pp. 7871–7880
- [4] Su, Jianlin, et al. "RoFormer: Enhanced Transformer with Rotary Position Embedding." *Neurocomputing*, vol. 568, 2023, pp. 127063
- [5] Mena, Gonzalo E., et al. "Learning Latent Permutations with Gumbel-Sinkhorn Networks." *Proceedings of the Sixth International Conference on Learning Representations (ICLR 2018)*.

양상블 기계학습 모델을 활용한 CNC 가공공정의 불량품 예측

Young Joon Lee¹, and Chanhee Kwak¹

¹Kangnam University, Korea

초록

본 연구는 CNC(Computerized Numerical Control) 가공 공정에서 발생하는 제품 불량률 조기에 예측하고 공정 효율성을 향상하기 위해 양상블 기계학습 모델을 활용한 불량품 예측 시스템을 개발하였다. 기존의 CNC 가공 공정은 가공이 완료된 후 육안 검사 등을 통해 불량 여부를 판단하므로, 문제가 발생했을 때 즉각적인 대응이 어렵고 생산 손실이 발생하는 단점이 있다. 선행 연구에서는 여러 가지 부스팅(Boosting) 알고리즘 기반의 머신러닝 모델을 사용하여 성능을 비교한 후 CNC 공정의 주요 변수를 SHAP(SHapley Additive exPlanations)을 통해 분석하여 불량 원인을 규명하였고, 또 다른 연구에서는 심층 신경망을 이용하여 CNC 공정의 품질 개선 가능성을 제시하였다. 본 연구에서는 KAMP(Korea AI Manufacturing Platform)에서 제공한 CNC 머신 AI 데이터셋(32,046 개의 샘플, 48 개 변수)을 활용하였다. 이 데이터는 X 축, Y 축, Z 축, 스핀들 및 기타 변수 등 CNC 공정에서 나타나는 다양한 특성을 포함하며, 정형 데이터 분석에 적합한 형태로 구성되어 있다. 제안된 모델은 XGBoost, LightGBM, TabNet 세 가지 모델의 예측 결과를 Logistic Regression 을 활용하여 스택킹함으로써 최종 예측 성능을 향상시켰다. Logistic Regression 은 각 모델의 예측값을 효과적으로 결합하는 선형 모델로, 과적합 방지와 학습 시간 등의 요소를 고려하여 스택킹의 메타 러너로 선택되었다. XGBoost 는 그래디언트 부스팅 기반의 트리 모델로 정형 데이터에서 뛰어난 성능을 보이며, LightGBM 은 메모리 효율성과 빠른 학습 속도를 제공하여 대용량 제조 데이터 처리에 적합하면서도 높은 정확도를 유지한다. TabNet 은 정형 데이터에 특화된 딥러닝 모델로서 어텐션(attention) 메커니즘을 통해 주요 특성을 자동으로 선택하고 해석 가능한 예측을 제공한다. 본 연구는 서로 다른 강점을 가진 세 모델을 결합하여 각 모델의 장점을 극대화하고 단점을 보완하고자 하였다. 또한, 5-fold 교차 검증을 수행하여 모델의 과적합과 편향을 줄였으며, 모델의 해석력을 높이기 위해 SHAP 과 TabNet Mask 를 활용하여 변수의 중요도와 영향력을 분석하였다. 기존 연구들이 단일 심층 신경망 또는 단일 트리 기반 모델 중심으로 접근한 것과 달리, 본 연구에서는 하이브리드 양상블 접근법을 통해 더 높은 정확도를 달성하였다. 제안된 스택킹 모델은 선행 연구의 심층 신경망 대비 정확도(Accuracy)를 0.9151 에서 0.9735 로 향상시켜 분류 정확도를 개선하였다. 또한, TabNet Mask 와 SHAP 분석 모두에서 Feature42(= M_sequence_number)가 압도적으로 높은 기여도를 보였고, Feature 39·8·32·37(계측 전류·출력 전력 계열)도 모든 모델에서 일관되게 상위권을 차지해 불량 예측의 핵심 변수임이 확인됐다. 이를 통해 CNC 공정의 불량률을 낮추고 설비 활용률을 효과적으로 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] 중소벤처기업부, Korea AI Manufacturing Platform(KAMP), CNC 머신 AI 데이터셋, UNIST(울산과학기술원, ㈜

이피엠솔루션즈), 2020.12.14., www.kamp-ai.kr

[2] KAMP (Korea AI Manufacturing Platform). CNC 머신 AI 데이터셋 분석실습 가이드북(2020)

[3] Hong, Ji Soo · Jung, Young Jin · Kang, Sung Woo. “Defect Prediction and Variable Impact Analysis in CNC Machining Process”, Journal of Korean Society for Quality Management, vol. 52, no. 2, 2024, pp. 185-199. (2024)

가상 환경에서 단일 이미지를 이용한 CNN 기반 카메라 자세 추정

손원준, 이아현

순천향대학교 메타버스&게임학과

e-mail : {wonjun8179, ahyun.lee}@sch.ac.kr

Implementation of CNN-based Camera Pose Estimation from a Single Image in a Virtual Environment

Wonjun Son and Ahyun Lee

Department of Metaverse & Game, Soonchunhyang University

Abstract

This paper proposes a method based on a Convolutional Neural Network (CNN) to predict a camera's rotation values from a single image captured in a virtual 3D environment. The proposed CNN model successfully predicts a camera's X and Z-axis rotation from a single image with low error, showing its potential for applications in augmented reality and robotics.

I. 서론

카메라의 위치와 방향을 추정하는 자세 추정 기술은 증강현실, 자율주행, 로보틱스 등 다양한 분야의 핵심 요소이다. 이러한 기술은 여러 센서의 정보를 융합하거나 연속된 이미지 프레임 간의 기하학적 관계를 분석하는 복잡한 계산 과정을 필요로 한다. 최근 딥러닝 기술, 특히 합성곱 신경망(CNN)이 이미지 인식 및 분석 분야에서 뛰어난 성능을 보인다[1]. CNN 기반의 방식은 별도의 센서 없이 카메라 이미지의 특징만을 학습하여 자세를 예측하는 것을 목표로 한다. 본 논문은 Unity 엔진으로 구축된 가상 3D 환경에서 생성된 단일 이미지로부터 카메라의 X, Z축 회전 값을 예측하는 CNN 모델을 제안하고 구현한다. 최종적으로 제어된 환경에서

수집된 데이터셋으로 학습된 모델의 성능을 평가하고, 향후 일반화된 환경으로의 확장 가능성을 탐구하는데 목적을 둔다.

II. 본론

2.1 데이터 생성

정확한 회귀(Regression) 모델을 학습시키기 위해서는 잘 정제된 대량의 데이터가 필수적이다. 본 연구에서는 데이터 수집의 일관성과 효율성을 위해 Unity 3D 엔진을 사용하여 가상의 육면체 방을 제작하고, 제어된 환경에서 학습 데이터를 생성했다. 카메라는 특정 위치에 고정시킨 후, 회전 값을 변경하며 데이터를 수집했다. Y축 회전을 5도(°)씩 점진적으로 변경하면서, 각각의 Y축 각도에서 X축과 Z축 회전 값을 -20°부터 20°까지 5° 단위로 체계적으로 조합하여 총 5,000장 이상의 이미지 데이터를 생성했다.

이미지에 더 많은 특징 정보가 담길 수 있도록 카메라의 화각(Field of View)은 넓게 설정하고 데이터 수집 전 과정에서 고정했다. 각 이미지를 200x200 픽셀 크기로 캡처하였다. 캡처한 이미지에 대한 정답 값인 X축과 Z축 회전 값을 CSV 파일에 기록하여 {이미지, x축의 회전값, z축의 회전값} 쌍으로 구성된 데이터 세트를 구축했다.

2.2 모델 설계 및 학습

카메라 회전 값 예측을 위해 PyTorch 프레임워크를 사용하여 합성곱 신경망(CNN) 모델을 설계하고 지도

학습(Supervised Learning) 방식으로 훈련을 진행했다. 모델은 Conv2d, ReLU, MaxPool2d로 구성된 3개의 합성곱 블록과 2개의 Linear 계층으로 구성되었으며, 손실 함수로는 평균 제곱 오차(MSE), 옵티마이저로는 Adam을 사용했다. 학습 데이터의 80%는 모델 훈련에, 20%는 학습 중 성능을 검증하는 검증 세트로 사용했다. 에포크(Epoch)에 따른 훈련 손실(Training Loss)과 검증 손실(Validation Loss)의 값이 안정적으로 함께 감소하며 낮은 값으로 수렴하는 것을 통해, 과적합 없이 학습이 안정적으로 이루어졌음을 확인할 수 있다.

III. 실험

학습된 모델의 최종 성능은 학습 및 검증 과정에 사용되지 않은 완전히 새로운 랜덤 테스트 세트를 사용하여 평가했다. 이 테스트 세트는 X, Z축 회전 값을 -20° 에서 20° 사이의 임의의 값으로 설정하여 생성했으며, 이를 통해 모델이 특정 패턴을 암기한 것이 아니라 이미지의 특징으로부터 회전 값을 추론하는 일반화 능력을 갖추었는지 검증하고자 했다. 그림 1은 랜덤 테스트 세트에 대한 축별 평균 절대 오차(MAE)를 정량적으로 보여준다. X축의 평균 오차는 0.25° , Z축의 평균 오차는 0.62° 로 매우 낮게 측정되었다. 이는 모델이 보지 못한 데이터에 대해서도 높은 정확도로 회전 값을 예측함을 의미한다.

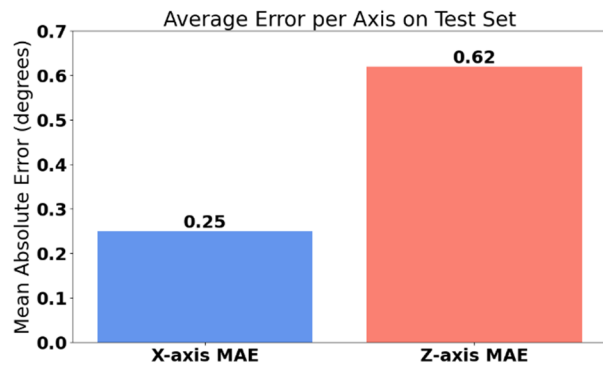


그림 1. 랜덤 테스트 세트의 축별 MAE

그림 2는 예측 값과 실제 값의 상관 관계를 시각적으로 나타낸 산점도이다. X축과 Z축 모두에서 데이터 포인트들이 완벽한 예측을 의미하는 붉은 점선에 매우 가깝게 밀집해 있어, 모델의 예측이 실제 값과 거의 일치함을 알 수 있다.

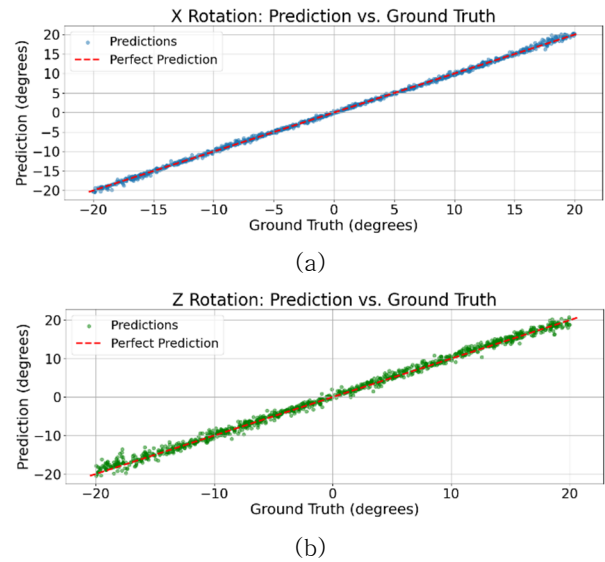


그림 2. 랜덤 테스트 세트의 예측 값과 실제 값 비교 산점도: (a) x축, (b) z축

IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문은 Unity 가상 환경에서 생성된 이미지 데이터셋과 CNN 모델을 이용하여 단일 이미지로부터 카메라의 X, Z축 회전 값을 예측하는 방법을 제안하고 구현했다. 실험 결과, 제안된 모델은 학습 과정에서 보지 못한, 완전히 새로운 랜덤 테스트 세트에 대해 X축 평균 0.25° , Z축 평균 0.62° MAE를 기록했다. 이는 딥러닝 기반의 접근법이 제어된 환경 내에서 카메라 자세 추정 문제에 매우 효과적으로 적용될 수 있음을 명확히 보여준다.

사사문구

“본 연구는 2025년 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 SW중심대학사업의 연구 결과로 수행되었음”(2021-0-01399)

참고문헌

[1] ALZUBAIDI, Laith, et al. Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *Journal of big Data*, 2021, 8.1: 53.

Classification of Ultrasonic Signals Generated by Photoacoustic Transmitter System Based on Neuromorphic Computing System

송준표¹, 박규관², 박형원*²

1) 단국대학교 전자전기공학과, 용인, 대한민국

2) 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과, 수원, 대한민국

Department of Electronics and Electrical Engineering, Dankook University, 152 Jukjeon-ro, Suji-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 16890, Republic of Korea

Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University, 2066 Seobu-ro, Suwon, Gyeonggi-do, 16419, Republic of Korea

*Corresponding Author: hwbaac@skku.edu

Abstract

인간의 뇌 구조를 모방한 인공 신경망(Artificial neural network; ANN) 기반 비구조화(unstructured) 데이터 처리에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1]. 하드웨어 기반 신경망 (Hardware neural network; HW-NN)은 기존의 직렬 연산 구조를 벗어나 병렬 연산 구조를 가져 소프트웨어 기반 신경망 (Software neural network; SW-NN) 대비 빠른 처리 속도, 낮은 전력 소모, 높은 정확도 등의 구현이 가능하다 [2,3]. 초음파 혹은 광초음파는 영상 및 센서 분야에서 광범위하게 활용되고 있으나, 매질 전파 중의 주파수 성분에 따른 감쇠, 매질 경계에서의 반사 및 산란 등 다양한 변화 요인에 영향을 받는다. 본 연구에서는 광초음파 생성 시스템을 통해 표적으로부터 획득한 비구조화된 초음파 산란 신호(unstructured ultrasonic back-scattered signal)의 분류를 위해 HW-NN 기반 뉴로모픽 컴퓨팅 시스템을 적용하는 방법을 분석하였다. 또한 뉴로모픽 분석에 기초한 광초음파 시스템의 구현 방법들을 비교 분석하고 응용 가능성을 제시하고자 한다.

Keywords: 하드웨어 인공 신경망 (Hardware neural network, HW-NN); 뉴로모픽 컴퓨팅 (Neuromorphic computing); 초음파 신호 분류 (Ultrasound signal classification)

References

- [1] Backus, John. "Can programming be liberated from the von Neumann style? A functional style and its algebra of programs." *Communications of the ACM* 21.8 (1978): 613-641.
- [2] Dohyung Kim et al., "Room-Temperature-Processable Highly Reliable Resistive Switching Memory with Reconfigurability for Neuromorphic Computing and Ultrasonic Tissue Classification", *Adv. Funct. Mater.* 2023, 33, 2213064.
- [3] Dohyung Kim et al., "Highly Reliable 3D Channel Memory and Its Application in a Neuromorphic Sensory System