# 2025년도 기본사업 세부(협약)과제 최종보고서

보안등급: 일반[√], 보안[ ]

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 부처명 | | 과학기술정보통신부 | | 사업명 | 한국전자통신연구원 연구운영비지원 (기본사업) |
| 전문기관명 | | 한국전자통신연구원 | | | |
| 과제유형 | | ■ 기초 □ 응용 □ 개발 □ 기타 | | | |
| 대과제 | 과제명 | 인간 중심의 자율지능과 공존하는 초지능 정보사회 기반 제공 | | | |
| | 과제책임자 | 유 원 필 | 직할부서 및 부서명 | 인공지능창의연구소 | |
| | | | 전화번호 | 042-860-4887 | |
| 세부(협약)과제 | 과제명 국문 | 인간 중심의 자율지능시스템 원천기술 연구 | | | |
| | 과제명 영문 | Human-centered autonomous intelligence original technology research | | | |
| | 과제책임자 | 최 정 단 | 직할부서 및 부서명 | 인공지능창의연구소 AI로봇연구본부 | |
| | | | 전화번호 | 042-860-5884 | |
| 과제수행기간 | 총 과제수행 기간 | 2020. 01. 01 - 2028. 12. 31 ( 9 년 개월) | | | |
| | 단계 1단계 | 2020. 01. 01 - 2021. 12. 31 ( 2 년 개월) | | | |
| | 단계 2단계 | 2022. 01. 01 - 2024. 12. 31 ( 3 년 개월) | | | |
| | 단계 3단계 | 2025. 01. 01 - 2025. 12. 31 ( 1 년 개월 ) | | | |

| 연구개발비 (단위:천원) | | 정부출연금 | 민간부담금 현금 | 민간부담금 현물 | 합계 현금 | 합계 현물 | 합계 계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 총계 | | 32,734,000 | 245,000 | 1,130,200 | 32,979,000 | 1,130,200 | 34,109,200 |
| 1단계 | 1년차 | 7,181,000 | 74,000 | 327,200 | 7,255,000 | 327,200 | 7,582,200 |
| 1단계 | 2년차 | 4,495,000 | 30,000 | 120,000 | 4,525,000 | 120,000 | 4,645,000 |
| 2단계 | 3년차 | 4,417,000 | 52,000 | 175,000 | 4,469,000 | 175,000 | 4,644,000 |
| 2단계 | 4년차 | 4,422,000 | 52,000 | 175,000 | 4,474,000 | 175,000 | 4,649,000 |
| 2단계 | 5년차 | 6,053,000 | 18,500 | 166,500 | 6,071,500 | 166,500 | 6,238,000 |
| 3단계 | 6년차 | 6,166,000 | 18,500 | 166,500 | 6,184,500 | 166,500 | 6,351,000 |

| 참여인력(M/Y) | 총 참여인력 | 590명( 202.8 M/Y) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | 1단계 ('20~'21) | 1년차 139명( 52.82 M/Y) |
| | | | | 2년차 73명( 24.44 M/Y) |
| | | | 2단계 ('22~'24) | 3년차 104명( 30.32 M/Y) |
| | | | | 4년차 70명( 25.18 M/Y) |
| | | | | 5년차 90명( 30.38 M/Y) |
| | | | 3단계('25) | 6년차 114명( 39.66 M/Y) |

| 공동연구개발기관 등 (해당 시 작성) | 기관명 | 책임자 | 직위 | 휴대전화 | 전자우편 | 비고 역할 | 비고 기관유형 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 공동연구개발기관 | ㈜비피앤솔루션 | 배경훈 | 대표 | | | 공동 | 중소기업 |
| | ㈜에이테크 | 김정완 | 대표 | | | 공동 | 중소기업 |
| | 유진기술㈜ | 김영근 | 대표 | | | 공동 | 중소기업 |
| | 에스아이에스㈜ | 신인승 | 대표 | | | 공동 | 중소기업 |
| | 부경대학교 | 김채규 | 교수 | | | 공동 | 대학 |
| | 중앙대학교 | 박은지 | 교수 | | | 공동 | 대학 |
| | Georgia Tech Research Corporation | Woon-Hong Yeo | Associate Professor | | | 국제공동 | 해외대학 |
| | Stony Brook University | Michael Ryoo | Associate Professo | | | 국제공동 | 해외대학 |
| 위탁연구개발기관 | 울산과학기술원 | 김남훈 | 교수 | | | 위탁 | 대학 |
| | 한국과학기술원 | 주재걸 | 부교수 | | | 위탁 | 대학 |
| | 건국대학교병원 | 김준식 | 연구교수 | | | 위탁 | 대학 |
| | 부산대학교 | 안석균 | 교수 | | | 위탁 | 대학 |
| | 연세대학교 | 이종민 | 조교수 | | | 위탁 | 대학 |
| 연구개발기관 외 기관 | | | | | | | |

| 실무담당자 | 성명 | 박 정 호 | 직할부서 및 부서명 | 초지능창의연구소 |
|---|---|---|---|---|
| | | | 전화번호 | 042-860-6635 |

이 보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 과제 중단, 협약 해약, 제재처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2025년 12월 31일

세부과제책임자 : 최 정 단 (인)

대과제책임자 : 유 원 필 (인)

**한국전자통신연구원장** 귀하

# 세부(협약)과제 연차보고서 요약문

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 사업명 | 한국전자통신연구원 연구운영비지원(기본사업) | | | | | | | |
| 대과제명 | 인간 중심으로 자율지능과 공존하는 초지능 정보사회 기반 제공 | | | | | | | |
| 세부(협약)과제명 | 인간 중심의 자율지능 시스템 원천기술 연구 | 과제 유형 | 기초[√] 응용[ ] 개발[ ] 기타[ ] | TRL | 시작 | 2 | | |
| | | | | | 종료 | 5 | | |
| 1 세세부과제명 | 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술 개발 | 과제 유형 | 기초[ ] 응용[√] 개발[ ] 기타[ ] | TRL | 시작 | 2 | | |
| | | | | | 종료 | 6 | | |
| 2 세세부과제명 | 인간 시각증강 AI 핵심원천 기술 연구 | 과제 유형 | 기초[ ] 응용[√] 개발[ ] 기타[ ] | TRL | 시작 | 2 | | |
| | | | | | 종료 | 5 | | |
| 3 세세부과제명 | Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구 | 과제 유형 | 기초[√] 응용[ ] 개발[ ] 기타[ ] | TRL | 시작 | 3 | | |
| | | | | | 종료 | 5 | | |
| 국가과학기술 표준분류 | 1순위 EE0202 | 50% | 2순위 EE0108 | 30% | 3순위 EE0109 | 20% | | |
| 총 과제수행 기간 | 2020. 01. 01 - 2028. 12. 31 ( 9 년 개월) | | | | | | | |

총연구개발비: 총 34,109,200 천원
* 정부지원연구개발비: 32,734,000 천원
* 기관부담연구개발비: 1,375,200 천원

| 연구개발비 (단위:천원) | | 정부출연금 | 민간부담금 | 합계 |
|---|---|---|---|---|
| 총계 | | 32,734,000 | 1,375,200 | 34,109,200 |
| 1단계 | 1년차 | 7,181,000 | 401,200 | 7,582,200 |
| 1단계 | 2년차 | 4,495,000 | 150,000 | 4,645,000 |
| 2단계 | 1년차 | 4,417,000 | 227,000 | 4,644,000 |
| 2단계 | 2년차 | 4,422,000 | 227,000 | 4,649,000 |
| 2단계 | 3년차 | 6,053,000 | 185,000 | 6,238,000 |
| 3단계 | 1년차 | 6,166,000 | 185,000 | 6,351,000 |

| 과제수행 목표 및 내용 | | | |
|---|---|---|---|
| | 최종 목표 | | ○ 현실과 가상의 시공간 환경에서 휴먼증강 및 인간과 자율지능시스템의 상호작용이 가능한 자율지능공존 원천기술 확보 |
| | 전체 내용 | | ○ 지능형 상황인지 플랫폼 고도화 및 실증시험<br>○ 사용자 체험형 인터페이스 기술 개발<br>○ 고정밀 드론 시뮬레이션 핵심기술 개발<br>○ 드론 탐지를 위한 지능형 레이더 핵심기술 개발<br>○ 시각-청각 변환 및 변환 신호 전달 시스템 개발<br>○ 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>○ 감각지각증강 자가-학습 시스템 개발<br>○ 제조 협업지능 프레임워크 고도화 및 사업화 추진<br>○ 지능형 로봇기반 제조기업 SEQ 서비스 시스템 개발 및 현장 실증시험<br>○ 드론 CPS 객체 간 동기화 및 상호작용 기술 개발<br>○ 다중감각 확장을 위한 다중 감각 지각 메커니즘 분석<br>○ 양팔/핸드 로봇 HW 플랫폼 및 텔레오퍼레이션시스템 개발<br>○ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발 |
| | 1단계 | 목표 | [1차년도]<br>○ 주력 산업 고도화를 위한 지능형 상황인지 플랫폼 고도화 및 실증시험<br>○ 상황적합형 상호작용 제공 사용자 체험형 인터페이스 기술 개발<br>○ 고정밀 드론 시뮬레이션 핵심기술 개발<br>○ 소형드론 탐지를 위한 능동위상배열기반 2x2채널 RF 송수신 반도체 및 신호처리 플랫폼 기술 개발<br>○ 시각-청각 변환 및 변환 신호 전달 시스템 개발<br><br>[2차년도]<br>○ 산업 데이터 거래 플랫폼 및 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구<br>○ 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>○ 시각-청각 변환 기반 감각지각증강 자가-학습 시스템 개발 |
| | | 내용 | [1차년도]<br>○지능형 상황인지 플랫폼 고도화 및 실증시험<br>- 휴먼/환경 상황인지 단위 플랫폼고도화 및 상황인지 통합 플랫폼 개발 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | - 통합 플랫폼 시험 검증용 테스트 베드 구축 및 시험 및 검증<br>ㅇ사용자 체험형 인터페이스 기술 개발<br>- 인간의 지각능력 증강을 위한 능동 입체화 촉각소자 기술 개발<br>ㅇ고정밀 드론 시뮬레이션 핵심기술 개발<br>- 고정밀 객체 모델 및 드론 물리엔진 개발<br>- 분산 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 드론 시뮬레이터 활용기술 연구<br>ㅇ드론 탐지를 위한 지능형 레이더 핵심기술 개발<br>- 소형드론탐지용 능동위상배열기반 2x2채널 RF 송수신 반도체 및 신호처리 플랫폼<br>ㅇ시각-청각 변환 및 변환 신호 전달 시스템 개발<br>- 단일 감각 신호의 전환 및 고유 신호 생성 요소 기술 개발<br>- 단일 감각 신호 전달 및 지각 학습 요소 기술 개발<br>- 상황별 우세 감각 분석 및 지각 검증 플랫폼 설계<br><br>[2차년도]<br>ㅇ 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구<br>- 산업 데이터 거래 플랫폼 구조 연구<br>- 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구<br>- 로봇지능(고정,이동)의 SEQ(Saftey, Efficiecny, Quality) 서비스 적용을 위한 환경조사 및 분석<br>ㅇ 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 통합공간 객체 투영 기술 연구<br>- 대규모 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 드론 시뮬레이터 응용 기술 실증 및 고도화<br>ㅇ 감각지각증강 자가-학습 시스템 개발<br>- 시각 정보의 청각 신호 전환을 위한 딥러닝 기반 고유 신호 생성 기술 개발<br>- 청각으로 전환된 시각 고유 신호의 전달 기술 개발<br>- 제한된 환경에서 청각 기반 지각 학습 프레임워크 설계 및 기본 구조 개발<br>- 시각 정보의 청각 전환에 대한 리시버 반응 메커니즘 규명 |
| | 2단계 | 목표 | ㅇ 제조기업 SEQ 향상을 위한 기반 플랫폼 및 서비스 기술 개발<br>ㅇ 드론 CPS 객체 간 동기화 및 상호작용 기술 개발<br>ㅇ 교육이론 기반 감각지각 증강 학습 프레임워크 및 시각증강 요소 기술 개발<br>ㅇ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 설계 |
| | | 내용 | ㅇ 지능형 로봇기반 제조기업 SEQ 서비스 시스템 개발 및 현장 성능 평가<br>- 제조 협업지능 프레임워크 구현 및 제조 AI 솔루션 지원<br>- 로봇 기반 산업현장 순찰 및 현장 이상상황 실시간 모니터링 기능 구현<br>- 산업 현장 품질 관리를 위한 자율로봇 기술 구현 및 시제품 개발<br>- 산업 제조현장의 고중량 물류 이송이 가능한 전방위 지능형 무인 이송 시스템<br>ㅇ 드론 CPS 객체 간 동기화 및 상호작용 기술 개발<br>- 통합공간 객체 동기화 기술 연구<br>- 통합공간 객체 간 정밀 모니터링/제어 기술 개발<br>- 드론 CPS 활용기술 및 활용성 연구<br>ㅇ 교육이론 기반 감각지각 증강 학습 프레임워크 및 시각증강 요소 기술 개발<br>- 시각정보의 효율적인 요약을 위한 영상분석 기술 개발<br>- 시각정보의 다중감각 전달을 위한 단일 감각 변환 기술 고도화<br>- 교육이론을 적용한 시각정보의 청각대체 학습프레임워크 개발<br>- 동물 모델 및 EEG 신호 기반 다중감각 대체 신호 지각 기전 분석<br>- 시각복원을 위한 생체신호 분석 및 형상가변소재 합성 연구<br>ㅇ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 설계 및 개발<br>- 핸드 조작 스킬 정의 및 양팔/핸드 로봇 테스트베드 구축<br>- 핸드 조작 스킬 데이터셋 구축<br>- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크 (IL/VLA 모델) 설계 및 개발<br>- 로봇 트랜스포머 설계 연구 및 로봇 조작 스킬 연구 |
| | 3단계 | 목표 | ㅇ 제조 협업지능 프레임워크 및 SEQ 서비스 기술 산업현장 실증 시험<br>ㅇ 단일 감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 및 시력증강 알고리즘 개발<br>ㅇ사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발 |
| | | 내용 | ㅇ 제조 협업지능 프레임워크 및 SEQ 서비스 기술 산업현장 실증 시험 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | | | - 협업지능 프레임워크 기반 제조현장 Safety 서비스 기술 현장 실증시험<br>- 협업지능 프레임워크 기반 SEQ AI 서비스 기술 사업화<br>- 제조 데이터 보호거래 플랫폼 시제품 고도화 및 실증시험<br>- 음향 신호 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 실증시험 및 사업화<br>- 산업현장 맞춤 AMR 플랫폼 기술 실증시험 및 사업화<br>ㅇ 단일 감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 및 시력증강 알고리즘 개발<br>- 시각증강 AI 기술 상세 구조 설계<br>- 단일 대체감각 기반 시각대체 알고리즘 최적화<br>- 단일 생체신호 기반 시력증강 알고리즘 개발<br>ㅇ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발<br>- 핸드 조작 스킬 데이터셋 구축<br>- 양팔/핸드 로봇 테스트베드 및 핸드 조작 환경 고도화<br>- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크 (IL/VLA 모델) 개발<br>- Dexterous Control Robot Transformer 설계<br>- 조작 스킬의 선택적 재사용/ 조합을 통한 확장성 연구 |
| 과제 수행과정 및 내용 | | | **ㅇ 과제 수행과정**<br>- (자율제조) 제조기업 경쟁력의 주요 요소인 작업현장의 안전관리와 관련하여 대기업과 중소기업 등 수요기관에 설문을 실시하고 현안 문제해결을 위한 기술설계 및 제조기업에 특화된 고성능 AI 솔루션을 제공하기 위한 제조 AI 협업지능 프레임워크 개발<br>- (인간-로봇 협업) 다중 로봇과 인간의 협업으로 진행될 스마트 공장의 발전 추세에 맞추어 4족 다중 로봇간 협업기술을 기반으로 제조현장 작업자의 이상행위 및 작업설비 이상유무를 판단하는 기술개발 및 실 제조현장에 테스드베드를 구축하고 기술검증을 위한 실증을 수행함<br>- (인간시각 증강 AI 기술) 단일 대체 감각으로 공간정보를 전달하기 위한 알고리즘 개발과 대뇌 신경 활동 분석을 통한 검증을 수행하고, 시력증강을 위한 요소 기술을 개발하여 논문으로 발표함<br>- (Five Fingers 휴먼케어 로봇) 향후 확장성을 고려한 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크(VLA) 설계 및 학습용 양팔/양손 로봇 테스트베드를 구축하고, 이를 기반으로 학습용 데이터셋을 구축하여 3종의 로봇에 대해 조작 인공지능 모델을 개발하고 성능을 평가함<br><br>**ㅇ 과제 수행내용**<br>**[산업현장 자율협업지능 기술]**<br>- 협업지능 프레임워크 기반의 제조 SEQ 서비스 기술 현장 실증시험 및 사업화 추진<br>• 제조 SEQ 서비스 향상을 위한 세부 기술별 현장 실증시험을 실시하고 관련 분야에서의 사업화 추진<br>• 지능로봇 기반 이상상황 감시 기술에 대한 현장 실증시험 실시( (주)에이스앤이(울산소재) )<br>• 협업지능 프레임워크 기반 제조품질 서비스 기술 사업화 추진<br>• 발전기 웨지 체결강도 인식기술에 대한 현장 실증 및 사업화 추진<br>• 고중량 AMR 무인 이송체 기술의 실증 및 사업화 추진<br><br>**[인간 시각증강 AI 기술 개발]**<br>- 단일 감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 및 시력증강 알고리즘 개발<br>• 시각증강 AI기술 상세 구조 설계<br>• 시각정보 요약을 위한 상황 분석 AI 모델 연구<br>• 임베디드 플랫폼에서 고정 프로세스 분할 기반 가속화 방법 연구<br>• 감각 수용체별 신호전달 특성 분석 및 단일 대체감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 연구<br>• 시력 의도 분석을 위한 생체신호와 시력 의도간 상관관계 분석<br>• 생체신호 기반 시력 조절을 위한 AI 알고리즘 및 데이터 변화 적응 연속 학습 기술 연구<br>• 형상가변소재 기반 렌즈 구조 성형 및 초점가변 특성 연구<br><br>**[Five Fingers 휴먼케어 로봇]**<br>ㅇ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발<br>- 핸드 조작 스킬 데이터셋 구축: 1) (양팔/핸드로봇) 5개 태스크(캔 정리, 과자/라면 수납, 양말 정리, 책 정리, 양손 물체 분류) 대상. 총 1,000회 분량 시연 데이터셋 수집, 2) (한팔/그리퍼) Open, Close, Pick, Place 4개 태스크 총 1,256 에피소드 시연 데이터 수집, 3) (휴머노이드) 4개 태스크 대상 (과일/야채 분류, 걸레닦기, 냄비옮기기, 냄비에 야채 넣기), 총 1,160 에피소드 분량 언어 이해 시연 데이터셋 수집<br>- 양팔/핸드 로봇 테스트베드 및 핸드 조작 환경 고도화: 1) 실시간 충돌 예측/회피 기반 안전한 로봇 |

텔레오퍼레이션, 2) 데이터 글러브 및 페달 클러치를 활용한 양팔/핸드 로봇 텔레오퍼레이션 기술개발
- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크 (IL/VLA 모델) 개발: 1) (양팔/핸드) 싱글태스크 정책 모델 기반 작업 성공률: 평균 78%, 2) (한팔/그리퍼 언어이해) 언어이해 기반 멀티태스크 VLA 모델 성능 95%, 3) (휴머노이드 언어이해) 멀티 태스크 VLA 모델 기반 작업 성공률: 평균 60%
- Dexterous Control Robot Transformer 설계
- 조작 스킬의 선택적 재사용/ 조합을 통한 확장성 연구

과제 수행결과 및 목표달성도

**○ 과제 수행결과**

| 구분 | 1단계 |
|---|---|

| 논문 | | 특허 | | | | 기술이전 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SCI(건) | 비SCI(건) | 해외(건) | | 국내(건) | | 건수 | 금액(백만원) |
| | | 출원 | 등록 | 출원 | 등록 | | |
| 17 | 37 | 16 | 4 | 17 | 2 | 9 | 410 |

정량
- •(기타) JCR 상위 20% SCI 논문 6건 게재
- •(기타) 3극 특허 2건
- •(기타) 울산시 미래박람회, ETRI 테크데이 전시
- •(기타) JCR 상위 20% SCI 논문 3건 게재
- •(기타) (정보과학회 KCC 2021) 휴먼증강-다중감각융합 기술 워크샵 개최(21.06)

정성
- •현장중심 실증을 통한 기술이전 및 상용화 지원
- •생체적합성 투명 기능성 능동가변소재 독자적 개발 (생체적합성: 공인시험기관 검증완료)
- **•(세계최초)** 빛에 응답하여 고속으로 진동 촉감을 생성하는 촉각 출력 인터페이스 개발
- •드론탐지 송수신 반도체 MWC 출품확정 (코로나로 전시취소)
- •소형무인이동체(RCS=0.01m2)를 탐지할 수 있는 X-band 소형 레이더 핵심 반도체 부품개발
- •사람 대상으로 검증 불가능한 감각 대체 기전 및 지각 과정을 동물 모델로 확인하는 계기 마련
- •고가의 fMRI 방법으로도 분석이 불가능한 대뇌 감각 정보처리 연관성 분석을 EEG를 활용하여 대뇌 감각 정보처리 과정을 분석하는 방법 제시
- **•(세계최초)** 다양한 시각 정보 학습 및 사용자 학습 데이터 축적 가능 학습 프레임워크 개발
- •대규모(100대) 드론 동시 시뮬레이션 시험 성공
- •기존 대비 정보 전달 2배 향상, 다양한 시각 정보 전달 가능한 V2A 변환 알고리즘 확보
- **•(세계최초)** 객관적 검증이 가능한 딥러닝 기반 지각 해상도 검증 모델 개발 및 실제 시각장애인 실험을 통한 AI모델과의 상호연관성 검증

| 구분 | 2단계 |
|---|---|

| 논문 | | 특허 | | | | 기술이전 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SCI(건) | 비SCI(건) | 해외(건) | | 국내(건) | | 건수 | 금액(백만원) |
| | | 출원 | 등록 | 출원 | 등록 | | |
| 15.4 | 76 | 12 | 4 | 22 | 6 | 7 | 350 |

정량
- •(사업화)협업지능 프레임워크 기반 SEQ 솔루션 사업화 매출 18.6억원
- •(표준화) 블록체인 기반 제조데이터 거래 플랫폼 TTA 표준
- •(기타) JCR 상위 20% 논문 1건, JCR 상위 21% 논문 1건 게재 및 우수학술대회(CVPR) 2건 발표
- •(기타) 울산시 미래박람회, ETRI 테크데이 전시
- •(기타) 신규인력고용(9명)
- •(사업화) 협업지능 프레임워크 기반 SEQ 솔루션 사업화 매출 8.3억원, AGV 매출 1.0억원
- •(기타) 신규인력고용 16명
- •(기타) IF 상위 20% 논문 5건 게재
- •(기타) 드론쇼코리아 전시, 폴란드 항공연구소 기술발표, 드론작전사령부 기술발표
- •(기타) JCR 상위 5% 논문 1건, SCIE논문 3건 게재 및 우수학술대회 3건 (AAAI, ICCV, CVPR) 발표
- •(기타) KCC 2023 휴먼증강 기술 워크샵 개최
- •(기타) 기술이전 3건 (1.3억)
- •(기타) JCR 상위 3.3% 논문 1건, SCIE 논문 2건 게재 및 우수학술대회 5건 (CVPR 등) 발표
- •(기타) KCC 2024 휴먼증강 기술 워크샵 개최
- •(기타) 우수학술대회 2건(ECCV*2) 발표
- •[기타] 우수학술대회 워크샵(ECCVW,NeurIPS, CoRLW*3) 5건 발표

정성
- •제조기업 Safety 지원을 위한 중소기업 대상 DB 수집 및 테스트베드 구축
- •제조기업 공정지원 및 품질향상 지원용 시제품 개발
- **•(세계최초)** 베플 구간이 있는 발전기 내부 주행 및 웨지 검사용 협동 로봇 시제품 개발
- •CPS 내 다중(실제-가상) 드론 간 유기적연동 기술 개발
- •대규모 분산 드론 시뮬레이션 기능 및 CPS 기능 통합 개발
- **•(세계최고)** 정보 전달량(2배), 지각률(2.7%) 향상된 윤곽, 위치, 크기, 거리, 공간 지각 가능한 V2A 알고리즘 개발

정량
- •제조기업 Safety 지원 기술 성능 검증을 위한 SK에너지 제조현장 테스트베드 구축
- •드론 CPS 내 군집 드론의 효율적 제어 및 모니터링 (군사목적 전술훈련 지원)
- •다양한 필드시험을 통한 드론 CPS 기술 및 활용성 검증
- **•(세계최초)** 학습 효과 제고를 위한 교육 이론(사용자 숙달 수준) 기반 학습 모델 정립 → 학습 효과 향상(5%↑) 검증
- **•(세계최초)** 동물 모델 및 대뇌 EEG 분석을 통한 신경가소성에 대한 뇌 반응 기전을 시공간을 통합적으로 분석할 수 있는 기반 마련 → JCR 상위 5% 저널 게재
- • 다중 로봇 기반 제조현장 안전을 위한 현장 실증시험 실시 (한국전력연구원)
- • 다중 로봇 기반 제조현장 안전기술에 대한 방송매체 홍보(YTN,TJB,KBS)
- • 중재 기반 감각대체 학습 프레임워크를 통한 시각대체 학습 효과 향상 → 지각률 10.4% 증가
- • EEG 신호 분석을 통한 청각대체 신호의 지각 경로 규명 → JCR 상위 3.3% 저널 게재
- • 사람 작업 동작을 모방하여 실시간 양팔/양손 작업이 가능한 로봇 테스트베드 구축
- • 기존 SOTA(UT Austin/NVIDIA, '24.06) 대비 높은 9.7%p 성능, 모델 크기 0.32B/추론 속도 33Hz의 경량/고속 VLA 모델 개발

| 구분 | 3단계 |
|---|---|

| 논문 | | 특허 | | | | 기술이전 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| SCI(건) | 비SCI(건) | 해외(건) | | 국내(건) | | 건수 | 금액(백만원) |
| | | 출원 | 등록 | 출원 | 등록 | | |
| 3.5 | 35 | 7 | 2 | 20 | 5 | 1 | 30 |

정량
- •(사업화)협업지능 프레임워크 기반 품질서비스 기술 및 AMR 등 사업화 3건, 매출 1,720백만원
- •(표준화) 블록체인 기반 제조데이터 거래 플랫폼 기술 (한국정보통신기술협회)
- •(기타) 기술이전 1건 (0.3억)
- •(기타) 발전기 품질검사 연구소 기업 설립 1건
- •(기타) SCIE 상위 10% 논문 1건
- •(기타) JCR 상위 5% 논문 2건 포함 SCIE 3건 게재, 우수학술대회 7건 (CVPR, CHI 등) 발표
- •(기타) KCC 2025 휴먼증강 기술 워크샵 및 광주디자인비엔날레 2025 기술 전시
- •(기타) 우수학술대회 3건 (ICRA, AAAI, ICLR), 우수학술대회 워크샵 4건 (ICCVW 2건, NeurIPSW 2건) 발표

정성
- • 실 제조현장에서의 이상상황 감시 기술 실증시험 실시 ((주)에이스앤이@울산)
- • 지능로봇 기반 제조현장 안전기술에 대한 홍보(WAVE2000, ETRI 테크데이 등)
- • 다종의 아날로그 게이지 인식률 94% 달성
- • 교육이론 기반 감각대체 학습 프레임워크 제안 및 실험을 통한 검증 → JCR 상위 2% 저널 게재
- • 사용자 시선의도 분석을 위한 차별성 있는 생체 신호 데이터셋(대규모, 다채널, 시선추적 정보 포함) 구축
- • 충돌을 방지하고 안전한 로봇 조작이 가능한 로봇 텔레오퍼레이션 및 스킬 추론 시스템
- • 한팔/그리퍼, 양팔/핸드(4 fingers), 휴머노이드 양팔/헨드(5 fingers) 등 다양한 유형의 로봇에 대한 로봇 조작 지능 기반 기술 확보를 통해 향후 응용 가능성과 활용 효율 향상

※ 과제 수행결과: 과제 수행에 따라 발생한 정량적, 정성적 연구개발성과, 기타 계획하지 않은 성과 등

**○ 과제 수행 목표달성도**

가. 공통지표

| 구분 | 기본지표 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 지표명 | 총사업 연도 | 1단계 | | 2단계 | | | 3단계 |
| | | | '20년도 | '21년도 | '22년도 | '23년도 | '24년도 | '25년도 |
| 과학적 성과 | SCI(E) 논문 | 35.9 | 10 | 7 | 3 | 8 | 4.4 | 3.5 |
| 기술적 성과 | 국내특허(출원) | 62 | 14 | 6 | 8 | 9 | 5 | 20 |
| | 국내특허(등록) | 13 | 2 | 0 | 1 | 4 | 1 | 5 |
| | 국제특허(출원) | 39 | 14 | 6 | 5 | 6 | 1 | 7 |
| | 국제특허(등록) | 9 | 0 | 3 | 0 | 0 | 4 | 2 |
| 경제적 성과 | 기술이전(건) | 17 | 9 | 0 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| | 기술료(억원) | 7.9 | 4.1 | 0 | 0.6 | 1.6 | 1.3 | 0.3 |

<table>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">구분</th><th colspan="8">심화지표</th></tr>
<tr><th>지표명</th><th>총사업 연도</th><th colspan="2">1단계</th><th colspan="2">2단계</th><th colspan="2">3단계</th></tr>
<tr><th></th><th></th><th></th><th>'20년도</th><th>'21년도</th><th>'22년도</th><th>'23년도</th><th>'24년도</th><th>'25년도</th></tr>
<tr><td>과학적 성과</td><td>표준화된 IF 상위 20% SCI 논문(건)</td><td>21.5</td><td>6</td><td>3</td><td>1</td><td>5</td><td>4</td><td>2.5</td></tr>
<tr><td rowspan="3">기술적 성과</td><td>특허활용률 (기술이전건수/ 특허등록보유건수)</td><td>6.99</td><td>4.5</td><td>0</td><td>1.0</td><td>0.75</td><td>0.6</td><td>0.14</td></tr>
<tr><td>국제표준승인표준 기고서(건)</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>3극 특허(건)</td><td>2</td><td>2</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
<tr><td>경제적 성과</td><td>연구비 대비 기술료 수입(%)</td><td>5.6</td><td>5.6</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>관련 분야에 대한 기여</td><td>○ 관련 분야 과학적·기술적·경제적·사회적 기여
<table>
<tr><td>과학적</td><td>• 산업현장 자율협업지능 기술<br>- 지능로봇을 활용하여 고위험 제조현장의 안전을 안전을 지원하기 위하여 실 제조현장에 테스트베드((주)에이스앤이@울산)를 구축하였고 실증시험을 추진하여 현장 적용성을 평가하였음<br>- 이를 통해 제조현장에서 발생할 수 있는 다양한 사고위험을 사전에 감지하여 작업장과 작업자의 안전을 위한 기반 마련<br>- SCIE논문 1건 게재 (상위 10%)<br>• 단일 감각기반 시각대체 알고리즘 최적화 및 단일 생체신호 기반 시력증강 알고리즘 개발로 사람의 시각능력을 증강하기 위한 핵심기술 확보<br>- 시각 정보를 효과적으로 요약할 수 있는 객체 검출 및 영역 분할 기술을 개발하여 시각대체 연구 분야 활성화 토대 마련<br>- 피부부착형 생체신호 수집 센서, 생체신호 기반 사용자 의도 분석 AI 모델 기술을 개발하여 사용자 시선의도에 응답하는 시력 조절 기술 연구 토대 마련<br>- SCIE논문 3건 게재 (상위 5% 이내 2건), 우수학술대회(CVPR, CHI 등) 7건 발표<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇<br>- 충돌을 방지하고 안전한 로봇 조작이 가능한 텔레오퍼레이션 시스템 기술 확보<br>- 한팔/그리퍼 매니퓰레이터, 양팔/핸드 로봇, 휴머노이드 양팔/핸드 로봇 등 다양한 유형의 로봇에 대응하는 로봇 자율조작 기술 확보<br>- 우수학술대회 논문 3건 발표(ICRA, AAAI, ICLR 각 1건)</td></tr>
<tr><td>기술적</td><td>- 제조데이터 보호거래 플랫폼 시제품 개발 및 협업지능 프레임워크와의 연동기술에 대한 실 제조데이터 기반 실증시험으로 제조데이터를 보호하면서 AI 서비스를 제공할 수 있는 기반 마련<br>- 제조현장에서 재해빈도가 높은 사고예방 및 관리자의 반복 순찰에 대한 업무 부담 감소를 위해 지능로봇 기반의 기술을 실 제조현장에 적용하기 위한 실증시험을 추진하였음<br>- 대규모 발전기의 웨지 체결강도 검사를 위한 반자율 주행로봇 및 AI 기반 품질검사 시스템의 발전소 실증시험 및 관련에 대한 기술 사업화 추진<br>- 국내출원특허(5건), 국내등록특허(2건), 국제특허출원중(1건)<br>• 감각 대체 및 사용자 생체신호 기반 자율 시력 조절 관련 핵심 기술에 대한 특허 출원을 통해 IPR 선점<br>- 국내특허출원(8건), 국내특허등록(3건), 국제특허출원(4건) 국제특허등록(2건)<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇<br>- 적은 데이터 학습량으로 목표 성능 초과 달성<br>- 고자유도 휴머노이드 조작을 안정적으로 수행할 수 있는 핵심 기반 기술 확보<br>- 국제 특허 3건, 국내 특허 7건 출원</td></tr>
<tr><td>경제적</td><td>• 산업현장 자율협업지능 기술<br>- 산업현장에서 발생하는 주요 원인에 대한 사전 판단 기술로 연간 산업재해 사망자 감소에 기여하고 이에 따른 사회적 비용 절감 효과 기대<br>- 기술이전 (1건, 30,000천원), 사업화 3건(매출: 1,720백만원)</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td></td><td>
<table>
<tr><td></td><td>• 사람의 손상 또는 저하된 시각 능력을 증강하여 일상에서 자유로운 삶을 영위하고, 산업 및 제조 현장에서 경제적 활동까지 가능하게 하는 시각 증강 핵심 기술 확보를 통한 생산성 향상 기여<br>- 전 세계적으로 생산가능연령(15~64세)에 속한 1.6억 명의 사람들이 시력장애를 겪고 있으며, 이로 인한 잠재적 생산성 저하는 4,110억 달러로 추정<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇<br>- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크를 2가지 방식(모방학습 및 VLA)으로 개발. 각 방식의 장점(모방학습: 각 태스크의 작업 성공률 향상, VLA: 언어 이해 기반으로 로봇 활용의 사용자 편의성 증대)에 따라 산업적 활용 가능</td></tr>
<tr><td>사회적</td><td>- 산업현장의 사고 예방을 위해 실 제조현장에 테스트베드를 구축하여 실증시험을 진행하였으며, 기술 완성도를 높여 사고 없는 안전한 작업장의 생산성 향상을 기대할 수 있음<br>• 인간의 손상 또는 저하된 시각 능력을 복원하기 위한 요소기술을 확보하여 인간의 삶의 질 향상하기 위한 휴먼증강 기술 개발 확산에 기여<br>- 인간의 삶의 질을 향상하고 건강수명을 연장할 수 있는 기술 개발 확산을 위한 휴먼증강 공개워크샵 개최 (한국컴퓨터종합학술대회 2024 연계)<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇<br>- 언어이해를 기반으로 하는 인터페이스를 제공하여 휴먼케어 로봇, 인터랙티브 작업 로봇 등을 일반 사용자도 활용가능하게 함으로써 로봇 사용자 층을 확대 가능</td></tr>
</table>
○ 후속 과제에 도움을 줄 수 있는 연구 결과<br>- 디지털 무인 공장 및 작업자와 공존하는 협업로봇 공장 운영에 대비한 기술과제에 활용<br>- 감각대체 기술 개발 및 사용자 시선 분석 연구 과제에 활용 가능<br>- 조작지능 학습용 데이터셋 구축 및 양팔/양손 로봇 조작 VLA 모델 개발에 활용 가능</td></tr>
<tr><td>성과관리 및 활용계획</td><td>○ 성과관리 현황<br>- (데이터 생산 및 관리)<br>• 기본적으로 원본 데이터는 제조기업과의 설문조사 및 인터뷰를 통해 자발적인 제출로 수집<br>• 수집된 데이터는 컴퓨터 알고리즘을 통해 활용 가능한 형태의 정제된 데이터로 변환하며 AI 학습을 위한 훈련데이터로 활용 가능함<br>• 시각복원을 위한 AI 모델 학습을 위해 학습 대상의 정보와 이에 대응하는 생체신호 센서 데이터 수집<br>• 시각대체 실험 참가자의 감각대체 학습과정 및 실험 후 인터뷰를 통해 데이터 수집<br>• 수집된 데이터는 데이터베이스에 저장하여 보관<br>• 실제 로봇 및 시뮬레이션 환경에서 로봇을 제어하며 명령/궤적/영상 데이터를 수집<br>• 수집된 데이터셋은 정제된 데이터로 변환하며 AI 학습을 위한 훈련 데이터로 활용가능함<br>- (연구데이터 저장 및 보존)<br>• 수집되고 정제된 데이터는 외부 접근이 차단된 보안 저장소에 저장됨<br>• 백업서버를 활용하여 분기별로 데이터 백업 실시<br>• 연구를 통해 수집되는 모든 정보는 외부 접근이 차단된 보안 저장소에 저장됨<br>• 사용자 대상의 설문지, 인쇄물 등의 서면자료 역시 익명화하여 별도의 저장소에 보관하며 3년간 보관함<br>• 시험 참가자가 시험 중도 탈락 또는 동의를 철회하는 경우 기 수집된 자료(개인정보, 설문지)는 참여 중지가 결정된 즉시 폐기함<br>• 원내 연구데이터 리포지터리(edr.etri.re.kr)를 통한 데이터 관리<br>• 하드디스크를 활용한 매년 데이터 백업 실시<br>- (데이터 공동활용)<br>• 본 데이터를 활용한 AI 훈련데이터와 학습모델을 제조 솔루션을 개발할 기업과 원본 데이터를 제공한 제조기업에 공개<br>• 본 데이터를 활용하여 시각대체/복원 기술의 학습과정 또는 콘텐츠를 개발할 기업에만 익명으로 저장된 결과 데이터 공유<br>• 본 데이터셋을 비공개 서버에 업로드 후, 라이센스에 대한 동의서를 받고 다운로드 링크를 전달<br><br>○ 성과활용 계획<br>- (기술적)<br>• 제조기업에 특화된 제조 AI 협업지능 프레임워크 및 제조기업 경쟁력 요소인 안전관리 시스템 개발<br>• 손상된 감각기관의 정보를 전달하는 단일 감각기반 감각대체 기술을 다중 감각기반 감각대체 기술로 확장/고도화하여 인간의 감각지각 능력의 한계를 극복할 수 있는 초감각 기술 개발에 활용<br>• 양팔/양손 로봇 HW 및 텔레오퍼레이션 시스템은 로봇 조작 인공지능 프레임워크(VLA) 학습용 데이터셋 수집에 활용, 조작 지능 모델은 한팔/그리퍼, 양팔/핸드, 휴머노이드 로봇의 조작에 활용<br>- (사회문제해결)<br>• 제조기업 현장의 안전 확보에 의한 안전한 일터 조성 및 사고에 의한 사회적 비용 절감 효과<br>• 사람의 손상 또는 저하된 시각 능력을 증강하여 일상생활에서 자유로운 삶을 영위하고, 산업 및 제조</td></tr>
</table>

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 현장에서 경제적 활동까지 가능하게 함으로써 잠재적 생산성 저하 문제 해결<br>- (확보된 기술의 사업화 전략)<br>• 제조 AI 협업지능 시스템 기반의 독립적인 제조기업 지원용 AI 솔루션 개발이 가능하여, 제조기업 맞춤형 안전관리 시스템 현장 적용<br>• 기술개념 검증이 완료된 단일 감각기반 감각대체 기술을 확장하여 정보 전달량을 향상 할 수 있는 다중감각 기반의 감각대체 기술을 개발하고, 수요기관과 연계한 시범적 실증테스트를 통해 기술 최적화 후 사업화 진행<br>• 고난도 조작 스킬과 사람의 명령을 이해하는 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 기술을 통해 기존 산업용 로봇, 협동로봇, 물류로봇, 재난/안전/시설관리 로봇 등의 고부가 가치화 | | | | | |
| 국문핵심어<br>(5개 이내) | 협업지능<br>프레임워크 | 지능형 로봇 기반<br>SEQ 서비스 | 감각대체 | 시각증강 | 멀티 핑거<br>로봇 조작 | 언어 이해<br>로봇 조작 |
| 영문핵심어<br>(5개 이내) | Collaborative intelligence framework | Intelligence robot based SEQ services | Sensory substitution | Vision augmentation | Multifinger Robot Manipulation | Language-guided Robot Manipulation |

# 목 차


**1. 과제 개요 ····· 1**

1-1. 과제 수행계획 ····· 1

1-2. 현황 및 접근방법 ····· 4

**2. 과제목표 및 수행과정 ····· 13**

2-1. 과제목표 ····· 13

2-2. 과제 연차별 수행과정 및 내용 ····· 15

2-3. 과제수행기간 추진체계 및 방법 ※ 최종연도 ('25년) 기준 ····· 223

**3. 과제 수행결과 및 목표달성도 ····· 238**

3-1. 과제 수행결과 ····· 238

3-2. 목표달성도 ····· 268

**4. 관련 분야에 대한 기여 ····· 269**

4-1. 과학적·기술적·경제적·사회적 파급효과 (최종연도 기준) ····· 269

4-2. 후속 과제에 도움을 줄 수 있는 연구 결과 ····· 270

**5. 성과관리 및 활용계획 ····· 272**

5-1. 성과관리 현황 ····· 272

5-2. 성과활용 계획 ····· 273

**6. 연구개발비 사용실적 ····· 274**

# 1 과제 개요

## 1. 과제 수행계획

### 가. 과제 수행의 필요성

□ 산업현장 자율협업지능 기술개발

- 주요국들의 4차산업혁명 대응 및 제조혁신을 위한 다양한 정책 추진 중
  - 제조업 중심의 4차산업혁명 선도적 대응, 기술확보, 기반마련 등을 위한 주요국들의 정책 추진 중으로 국내 또한 선제적 대응체계 마련 필요
  - 국내 또한 다양한 정책을 추진 중이나 4차산업혁명 적응 국가 조사결과, 하위권을 달성함에 따라 주요국 대비 부진한 대응으로 新시장형성 단계에서 기술적 선점 확보 필요
- 제조데이터 활용을 위한 데이터 보호·보안 기반 부재
  - 데이터를 기반으로 4차산업혁명기술을 도입하여 제조혁신을 이끌어내나, IT기술로 OT를 직접 제어가 가능해짐에 따라 제조데이터 유출 사례 발생 및 데이터 보호기반 마련 필요
  - 공급기업-수요기업 간 솔루션 개발, 제조데이터 분석 등의 목적으로 데이터 전송 시 데이터 유출에 대한 보안·보호기반 부재

□ 인간 시각증강 AI 기술 연구

- 인간이 얻는 정보의 80%를 제공하는 시각의 손실은 삶의 질 저하로 직결되어 시급히 해결되어야 할 과학적·사회적 난제로, 비수술적 방법으로 시각을 대체하는 기술은 시도 사례가 적고 실패 위험이 큰 혁신적인 연구임
  - 인공눈이 손실된 눈의 기능을 대체하는 유일한 방법으로 인정받고 있으나, 외과적 수술이 필요하고 전달 가능한 정보량이 제한되어, 비수술적·비침습적인 방법으로 시각을 대체할 수 있는 혁신적이고 창의적인 새로운 방법의 필요성 대두
- 인간이 성장하고 노화되면서 지속적으로 저하되는 시력으로 인한 삶의 불편함을 해소하는 데 필요한, 신체적 변화와 상황에 맞게 능동적으로 시력을 복원하는 기술은 개념조차 정립되지 않은 도전적인 연구임
  - 저시력, 노안 시력 교정은 렌즈의 주기적인 교체가 필요하며, 다초점 안경이나 외과 삽입 수술은 고정 초점 렌즈를 사용하여 나이·환경에 따라 지속적으로 일어나는 시력 변화에 유기적인 대응이 어려움
- 인간의 감각기관은 감각기관 별로 상이한 해상도와 전달 특성을 갖고 있어, 하나의 감각기관을 대체하기 위해서는 다수의 감각기관을 특성에 맞게 융합하는 기술이 요구되나, 이러한 기술은 아직 시도되지 않고 있는 혁신적인 기술이며, 시각대체 기술은 Touchless, Screenless 실현을 통해 Invisible 컴퓨팅을 실현할 파괴적인 기술임
  - 오감의 손실이나 상실로 인하여 감지하지 못했던 외부 자극과 정보들을 지각할 수 있게 하여 사람의 뇌가 가진 능력을 극대화하기 위한 원천기술 개발이 필요하며, 이를 위해서는 정보량이 가장 많은 시각을 다중 감각으로 대체하는 기술을 선도적으로 개발하고 사용자 대상 실험을 통한 기술 검증 필요
- 인간의 저하된 초점조절 능력을 생체신호를 기반으로 사용자 시선에 맞게 실시간으로 렌즈의 초점을 조절하여 보완하는 시각복원 기술은 기존 산업의 디지털 전환 및 신산업 창출에 기여하고, VR·AR 디바이스의 기술적 한계인 수렴초점 불일치 문제를 해결하여 실감 콘텐츠 산업/메타버스 서비스 시장 성장에 기여할 파괴적 기술임
  - 애플사의 비전 프로 출시로 VR 디바이스에 관한 관심이 증가하고 있지만, 기존 VR·AR 디바이스와 같이 수렴초점불일치(Vergence-Accomodation-Conflict) 문제가 존재하며, 이를 해결하기 위해서는 초점가변



렌즈 기술을 활용하는 것이 필요함

**(인간 시각증강 AI 기술)** 인간의 신체적(물리적) 한계로 감지하기 어려웠던 외부의 시각 자극을 눈으로 직접 감지한 것처럼 뇌가 직관적으로 이해할 수 있게 하고(**시각대체**), 눈의 저하된 초점조절 능력을 대신하여 사용자의 시선 의도에 맞게 렌즈 초점거리를 조절하여 시력을 향상하는(**시각복원**), 인간의 시각 능력을 증강하는 기술

□ **Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구**

- (과제 개요) 사용자의 명령을 이해하고 추론하며 사람과 유사한 구조의 손가락(Multifingers)을 가지는 한팔/양팔 핸드를 사용하여 고난도 자율조작이 가능한 로봇 인공지능 원천기술 개발
  - (적용분야) 휴먼케어 로봇(가정환경의 일상생활 지원 로봇 등)을 위한 인터랙티브 자율조작 기술 → 장애인/사무환경 작업 보조 로봇, 중소제조 공장 작업자 보로 로봇 등으로 확대 가능




- (과제 수행의 필요성) 휴먼케어 로봇의 고부가 가치화를 위해서는 핸드를 사용한 자율조작 원천기술 확보가 필수
  - AI기술을 단순 적용한 탁상형/인형 형태 반려로봇이 가정용 로봇시장에 출시되었으나 로봇이 물리적으로 제공할 수 있는 서비스가 없어 AI 스피커 등과의 확실한 차별성을 제공하지 못하고 있음
  - 휴먼케어 로봇의 실용화를 위해서는 물리적 서비스 제공이 필수적이며, 인간과 유사한 구조를 가지는 로봇 핸드를 이용한 고난도 자율조작 원천기술 확보가 필요

### 나. 과제 수행의 중요성

- **(주력산업 고도화)** 주력산업이 밀집된 지역의 경제 활성화를 위한 요구를 반영하여 조선 및 플랜트, 자동차 기업의 경쟁력 향상을 위한 ICT 기술 개발과 이를 통한 지역 중소.중견기업의 동반성장을 유도
- **(데이터 기반 제조산업 지능화)** 제조산업현장의 협업지능 플랫폼에 기반한 제조산업 고도화 및 해당 산업군의 요구사항 반영
  - 제조산업현장 데이터는 센서로부터 입력된 공정 정보로부터 가변적 환경에 일관되게 적용하고 확장성을 위해

필수적으로 분석되어야 하는 것으로 보호 및 거래 플랫폼 기술개발을 통해 신뢰성있고 안전하게 관리하는 것을 목표로 함

- 다수의 공정 데이터를 처리 할수 있는 개발자 및 자발적 사용자 참여형 플랫폼을 개발함으로써 대용량 공정 데이터 처리를 위한 유연/분산 프로세스 확립이 가능하도록 개발함

- **(로봇과 상호공존 하는 작업장)** 자율지능 협업로봇과 작업자가 같은 공간내에서 상호 협력하는 미래의 스마트 제조산업에 대응
  - 제조산업의 급격한 디지털화에 대비하고 제조산업의 SEQ 서비스 지원을 위해 지능로봇 기반으로 각 분야의 대표서비스를 발굴하고 현장 운영하기 위한 기술개발 필요함
- **(시각증강 AI 기술 선도)** 선제적인 R&D 투자로 개념 정립 단계인 시각증강 AI 기술의 핵심 원천기술 확보를 추진할 시, 지속 가능한 경쟁 우위 기술 선점을 통해 대내외 변화 요구 및 환경변화에 적극적으로 대응하여 ETRI의 중장기적 위상 변화에 기여할 revolution 기술 확보 가능
  - 시각대체 기술은 현재 실현 가능성이 일부 검증된 태동기 기술로, 장기적인 사용자 대상 실험 수반 및 다양한 시도가 필요하여 민간투자가 어려우나 사회 전반에 걸쳐 파괴적 혁신 유도가 가능한 고위험·도전형 미래형 핵심 원천 기술임
  - 시각복원 기술은 ETRI에서 보유하고 있는 웨어러블 컴퓨팅, 인공지능, 형상가변소재 기술 등 원천기술을 기반으로 조기에 우위 선점이 가능한 분야임
- **(고난도 자율조작 기술 선도)** 인간의 신체와 유사한 구조의 양팔/핸드를 갖춘 로봇 기반의 고난도 자율조작 기술. 특히 사람의 명령을 이해하는 로봇 조작 지능은 전세계적으로 기술 개발 초기 단계로 두 기술이 융합된 기술 확보를 통해 사람과 인터랙션(소통)하며 고난도 자율조작이 가능한 로봇 기술을 선도 가능
- **(서비스 로봇 고부가가치화)** 고난도 조작 스킬과 사람의 명령을 이해하는 인공지능 모델(LLM/VLM, VLA 등) 기반 로봇 조작 지능 기술을 통해 기존 산업용 로봇, 협동로봇, 물류로봇, 재난/안전/시설관리 로봇 등의 고부가 가치화에 기여 가능

### 다. 과제 수행의 제약요인

- (제조산업 데이터 활용 제약성) 대기업 중심의 대형 제조현장에서의 환경 및 설비에 대한 데이터 수집 인프라 구축 및 데이터 수집 시스템 구축은 양호하게 되어 있으나 보안 시설 및 대외비 형태로 대부분 관리되고 있어 제3의 기관이 활용하기에는 많은 제약 사항이 있음
- (제조산업에 특화된 기술 제공 필요성) 현재 발전되고 있는 지능 기술연구는 이미 많은 학습용 데이터가 구축된 사례를 중심으로 진행되고 있어 데이터 확보가 미비한 제조현장의 경우 제조영역별로 새로운 지능 알고리듬 개발이 필요함
- 인간 시각증강 AI 기술
  - (시각대체) 감각별 상이한 전달 특성으로 모든 시각정보($10^6$)를 단일 대체감각(청각 $10^4$, 촉각 $10^2$)으로 전달 불가능하며, 새로운 자극에 대해 뇌를 학습 시킬 수 있는 효과적인 학습 방법론 부재
  - (시각복원) 시각 의도와 관련된 생체신호 수집 장치의 한계(사용성, 수집정확도 등)가 존재하며, 생체 신호가 사용자 상태, 환경, 노이즈 등에 따라 분석 의미가 가변적이여서 이를 극복하기 위한 알고리즘 개발 필요
  - (기전분석) 공간적 반응을 분석하는 fMRI로는 시각대체에 대한 시공간적 뇌반응을 분석하는 데 한계가 존재
- (양팔/양손 로봇 조작기술 학습용 데이터셋 제한) 양팔/양손 기반 자율조작이 가능한 로봇 인공지능 기술개발을 위해서는 학습용 데이터셋이 대량으로 확보되어야 하나 현재 공개된 데이터셋이 거의 없어 직접 구축해야 하는 제한이 있음
- (로봇 VLA 모델 학습을 위한 자원의 한계) 학습용 데이터셋이 확보되어도 로봇 VLA 모델 학습을 위해서는 고가의 GPU 자원이 다수 필요함. 이를 극복하기 위해서는 GPU 자원을 상대적으로 덜 필요로 하는 VLA 아키텍처 설계가 요구됨



### 라. 과제 수행결과 기대효과

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- 제조데이터 보호, 표준화 기술개발을 통한 산업계 신뢰성 확보기반 제조데이터 거래 생태계 구축
- AI 솔루션 개발을 위한 기반기술 확보로 제조혁신기술 보급·확산 촉진에 기여
- 조선소, 자동차, 석유화학 등 제조산업 현장에서 발생하는 다양한 재해예방을 위해 작업장에 대한 모니터링 및 사고 예측 등의 지능 기술을 적용할 경우 사고에 능동대처 및 사고 예방에 기여할 수 있음
- 지능로봇을 활용한 SEQ 서비스 기술 개발로 로봇과 공존하는 미래의 제조현장에 조기 대응할 수 있음

□ 인간 시각증강 AI 기술

- 전 세계적으로 기술개념 정립 단계인 다중 감각 융합기술의 IPR 선점이 가능하며, 세계 최초로 교육 이론에 기반한 학습 모델 정립을 통해 개발 기술의 활용을 촉진시킬 수 있는 기반 구축
- 사용자 신체변화에 강건한 적응형 인공지능 모델의 IPR 선점이 가능하며, 고속으로 초점조절이 가능한 형상가변소재의 안정성·착용성에 대한 한계를 극복하여 관련 분야 기술 선도가 가능함
- 시각장애인이 일상생활에서 필요한 다양한 활동(물체 파악, 공간 인식, 길찾기 등)을 가능하게 함으로써, 독립된 일상생활을 영위하고 사회·경제적 참여를 가능하게 함
- 인간의 신체적(물리적) 감지 능력의 한계로 인해 직접 감지 못했던 외부의 자극과 정보를 직접 감지할 수 있는 감각기반 인지 증강 기술을 개발함으로써 사회적 약자를 위한 기술 뿐만 아니라 인간의 편리한 삶과 삶의 질 향상을 위한 다양한 서비스에 응용이 가능한 핵심 기술 확보
- 시력 저하를 겪고 있는 일반인 및 저시력자에게 실시간 맞춤형 시력을 제공하여 시력 저하 속도를 늦출 수 있는 능동 시력교정 기술과 VR·AR 기기를 통한 정보를 자신의 시력에 맞게 제공하여 안전하고 편리한 일상생활을 영위케 함

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구

- 노인 인구/맞벌이 가구/1인 가구 증가, 돌봄 인력 부족 등으로 인한 일상의 다양한 단순작업(household chores)을 수행할 수 있는 로봇의 수요 증가에 선제 대응 및 가정용 휴먼케어 로봇을 위한 원천기술 확보
- 휴먼케어 로봇 뿐 아니라 손/팔을 사용하는 모든 종류의 서비스 로봇에 적용이 가능하여 기존 산업용 로봇, 협동로봇, 물류로봇, 재난/안전/시설관리 로봇 등의 고부가 가치화에 기여 가능

## 2. 현황 및 접근방법

### 가. 국내.외 현황

#### 1) 국내.외 기술동향 및 수준

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- 인공지능(AI) R&D 전략, 과학기술정보통신부
  - (배경) 사회 및 산업 전반적으로 AI 기술의 폭발적인 파급 전망에 따른 AI 기술력 선점을 위한 국가 차원 전략 필요
  - (목표) 공공분야 대상으로 범용 기술연구 중심을 통한 독자적 기술력 확보 및 AI+X(타분야) 융합을 통한 산업계의 대규모 혁신 촉발 기반마련
- 미국 : 국가 AI 이니셔티브('19)
  - (배경) 중국, 영국, 프랑스 등 세계 각국이 인공지능을 국가 주요 아젠다로 추진하며 국가 간 경쟁이 심화됨에 따라 국가적 차원의 대책 필요

- (목표) R&D, 인프라, 거버넌스, 인력, 국제 참여 등 6대 분야를 대상으로 AI 리더국 지위 유지 목표

• 중국 : 중국제조 2025('15)

- (배경) AI, 블록체인 등의 기술을 제조업에 융합한 새로운 생산방식, 산업형태의 등장 및 미흡한 기술 수준 극복을 통한 제조 강국으로 도약 필요성 대두
- (목표) 주요 제조업 분야 스마트화 수준 향상을 위한 시범 프로젝트 운영자본·상품 생산주기·불량품 발생률 50% 감소 목표('20~'25)

□ 인간 시각증강 AI 기술

• 국내에서는 손실된 감각을 다른 감각으로 치환·전달하는 연구가 초기 단계로, 서울대와 POSTECH에서 공동으로 연구수행('16년, 미래창조과학부의 X-Project, "인간의 오감을 확장/축소/상호변환 할 수 있을까?")

- 서울대는 비침습적 뇌자극을 통하여 청각, 시각 등의 감각 정보를 촉각 정보로 변환하는 기술 가능성 검증
- POSTECH에서는 영상분석 정보를 바탕으로 시각장애인이 사진 촬영에 필요한 정보를 제공하고, 촬영된 정보를 햅틱 디스플레이를 통하여 표출하여 시각장애인이 사진 촬영 및 감상이 가능한 기술 개발

• 국내에서 초점가변 렌즈와 생체신호를 이용하여 시력을 교정하는 기술에 관한 연구는 진행되지 않고 있으며, 초점가변 렌즈와 거리 센서를 사용한 방법이 최근 제안됨 → 시각복원 기술에 대한 연구는 기초 연구 단계

- 2023년 여의도성모병원과 수원대 연구팀이 액체렌즈와 LiDAR(Light Detection and Ranging) 센서를 사용하여 시력을 교정할 수 있는 기술을 개발. 사용자가 6m 떨어진 물체를 보다가 20cm에 있는 물체를 보는 경우 초점 변화 시간은 1초 정도임

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구

• 네이버 랩스에서는 햅틱 장비를 활용한 로봇 텔레오퍼레이션 기술을 통해 가구를 조립하는 연구를 수행



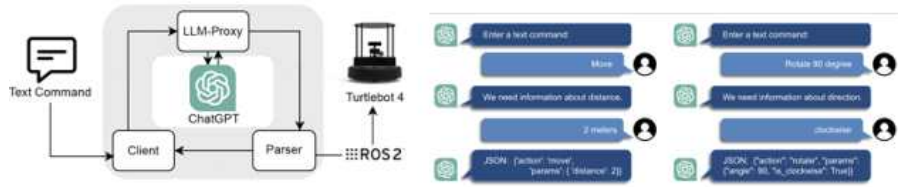
<네이버의 햅틱 텔레오퍼레이션 기반 가구 조립 작업>

• 한국생산기술연구원에서는 세 개의 손가락이 장착된 로봇 팔을 개발하여 기존의 jaw-type 그리퍼 대비 펙인홀(peg-in-hole) 작업을 보다 수월하게 수행하는 기술을 개발. 학습 기반이 아닌 물체가 고정된 위치에서의 기존 모션 플래닝 방식

• 한국기계연구원에서는 로봇 핸드가 장착된 매니퓰레이터를 이용하여 계란 옮기기, 피아노 치기 등 다양한 조작 작업을 수행하는 기술을 개발. 학습 기반이 아닌 물체가 고정된 위치에서의 기존 모션 플래닝 방식임. 로봇 핸드를 이용한 조작(Multifingered robot manipulation) 기술 자체는 한국생산기술연구원, 한국기계연구원 등에서 연구되었으나, 신경망 학습을 통한 제어 기술은 현재 한국에서 연구되고 있지 않음

• KAIST는 LLM인 GPT-3.5를 활용하여 사용자의 자연어 명령을 기반으로 물류 로봇의 이동 작업 계획을 생성하는 로봇 협업 인터페이스를 개발함. Prompt-engineering을 통해 사람의 자연어 명령을 정형화된 형태로 변환하여 로봇 이동 수행






• 국내에서는 LLM을 활용한 사용자의 자연어 명령을 기반 로봇 조작 작업 연구가 아직 초기 단계에 머물러 있으며, 로봇이 아닌 LLM과 VLM 기술은 국내에서 Naver의 HyperCLOVA X가 있으나 로봇을 위한 Large Language Model (LLM)과 Vision-Language Model (VLM)을 개발하는 robot foundation model 기술 자체에 관한 연구는 국내에 전무한 상황임

## 2) 국내.외 표준화 현황(또는 향후 기술 발전 추세)

□ 산업현장 자율협업지능 기술

• 제조산업에서의 인공지능 및 인지컴퓨팅 기술에 대한 연구개발은 원천성 확보를 위한 선행연구에 주력하고 있고 산업 도메인별 적용 방법이 달라 표준화 작업 단계까지 기술이 성숙되지 않음

□ 인간 시각증강 AI 기술

• 인간이 지각할 수 있는 범위의 신호를 다른 감각신호로 변환하여 전달하는 기술의 연구는 개념의 검증 수준의 선행 연구를 선진국의 몇 개 연구 그룹에서 수행하고 있으므로, 현재 수준에서 구체적인 표준화 작업에 도달하지 않음

• 특히, 인간의 신체적 한계 또는 손실로 인하여 감지하지 못하는 외부 자극이나 정보를 감지해서 다중 감각으로 융합하고 신체 감각기관의 조합을 통해 전달하여 뇌가 이해하게 하는 기술적 도전은 이제 개념적으로 시도되는 단계이므로 표준화 작업에 도달하기까지는 상당한 시일이 필요함

## 3) 동일, 유사내용에 대하여 국내.외 관련자들의 수행내용

□ 산업현장 자율협업지능 기술

• 산업통상자원부, 산업부 및 중기부 스마트공장 지원사업 일환으로 스마트 공장 제조핵심 기술개발 및 스마트 공장 협업 패키지 기술개발 사업 수행중

□ 인간 시각증강 AI 기술

• 단일 감각신호에 대하여 감각대체 및 지각확장이 가능함이 밝혀졌으나 다중감각에 대하여 실험을 통한 검증 수준으로 효율적인 학습을 위한 지침을 제공하는데 필요한 연구가 수행된 적은 없음

- 스피커로 수집한 소리를 피부를 자극하여 뇌로 전달하여 귀로 들어서 이해하는 것과 같이 지각시키는 청각-촉각 변환기술 개발(스탠퍼드대)
- EyeMusic, vOICe 프로젝트 등 시각 정보를 청각 자극으로 대체하는 사물을 지각시키는 시각-청각 변환 기술 개발(스탠퍼드대, 히브리대)

• 시각복원 기술은 수동 조절 또는 카메라(Depth camera, eye-tracking camera 등)를 연동하여 초점을 변화시키는 스마트 안경에 대한 컨셉 제시 및 초기 프로토타입 기반 기능성 시험 수준의 연구를 진행 (스탠퍼드대, 유타대 등)

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구

- (국내) 네이버랩스, 한국생산기술연구원, 한국기계연구원, KAIST, 서울대 등에서 양팔 로봇 조작 기술 또는 언어기반 로봇 조작 기술을 개발 중
- (해외) 스탠포드대, UC버클리, 구글 딥마인드, Physical Intelligence 등이 로봇 VLA 모델 개발을 선도하고 있으며, 구글 딥마인드 중심으로 로봇 조작 기술 학습용 데이터셋도 공개. 다만, 양팔/양손 로봇을 위한 VLA 모델 또는 로봇 파운데이션 모델 개발 관련하여 아직은 공개된 연구 결과가 없음

### 4) 동일, 유사내용과 관련하여 제안자가 이미 수행한 사업 또는 연구개발과제

- 해당사항 없음

### 5) 국내.외 경쟁기관 현황

- (삼성 SDS) 미라콤아이앤씨를 인수하여 MES뿐만 아니라 설비 자동화, 공장 모니터링, 제조품질관리, 생산 스케줄링 등 솔루션 제공
- (LG CNS) LG CNS는 클라우드 기반으로 인공지능을 활용해 데이터 수집에서 분석, 결과 시각화까지 일련의 과정을 빠르게 수행하여 기업들의 데이터 기반 의사결정을 돕는 '답(DAP)' 서비스를 출시하여 고객사인 LG화학, LG이노텍, LG디스플레이 등에서 활용 중
- (SK C&C) 실제 SK그룹 내 반도체·소재·정유·화학분야 계열사에 적용, 제품생산시 발생하는 빅데이터를 통합 분석해 수율 제고와 생산 최적화, 운영 효율화 측면에서 비즈니스 가치를 높이는 중
- (포스코 ICT) 데이터 수집과 분석 플랫폼인 포스프레임을 개발하여 적용중
  - '16년 데이터 수집과 분석 플랫폼인 포스프레임을 개발해 데이터를 쉽게 활용할 수 있도록 표준화를 구축하고, 기초적인 기계학습 기법부터 딥러닝 같은 고급분석기법까지 다양한 분석 도구 활용
- (NAVER Labs) NAVER Labs는 Autonomous Driving을 목적으로 LiDAR 등 센서 기술, Navigation 기술, 비전 기술 등을 연구해 데이터 공개도 진행하고 있으며, 실제 세종시에서 자율주행 차량을 시범운행 중임. 2023년에는 IT 창고에서 자산 관리용으로 만들어진 로봇 SeRo(세로)를 개발해 자체 데이터센터의 자산의 정리 및 적재를 자율적으로 할 수 있도록 개발. 휴머노이드에 대해서는 한국기술교육대와의 협력으로부터 시작해 로봇 팔에 대한 연구를 다수 진행. 강화학습/5G/햅틱 기술 등과 연계한 로봇 제어를 위한 지능을 학습했으며, 특히, 2021년에는 양팔 로봇인 AMBIDEX(엠비덱스)를 개발해 휴먼-로봇 인터랙션에 관한 연구도 함께 진행
- (레인보우로보틱스) KAIST Hubo Lab에서 창업한 로봇 기업인 레인보우로보틱스는 이족보행 로봇인 휴보를 시작으로, 협동 로봇인 RB 시리즈와 4족보행 로봇인 RBQ를 개발해 판매중. 이렇게 누적된 기술들을 기반으로 2023년 양팔이 달린 상반신 형태의 휴머노이드 로봇 개발에 착수했다고 발표

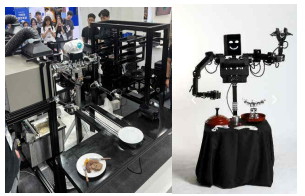


< NAVER AMBIDEX >



< 레인보우로보틱스 휴보 >

- (배달의민족/우아한형제들) 우아한 형제들은 2023년 양팔형 요리 로봇 YORI(요리)를 공개했으며 스테이크 등을 직접 요리하는 모습을 전시. 기능성 면에서는 동시에 두 가지 이상의 요리가 가능하며, 모듈식 조리도구를 교체함에 따라 다양한 요리가 가능함을 보였음. 일반화 능력에 대해서는 현재 계속 연구 중이며, YORI를 다양한 환경의 주방에서 동작 가능 여부를 현재 시험 중이라고 밝힘



< 우아한 형제들 YORI >

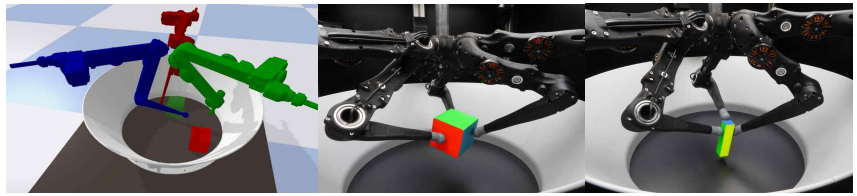


< 생기연 재난대응로봇 >



< 생기연 양팔 조립로봇 >

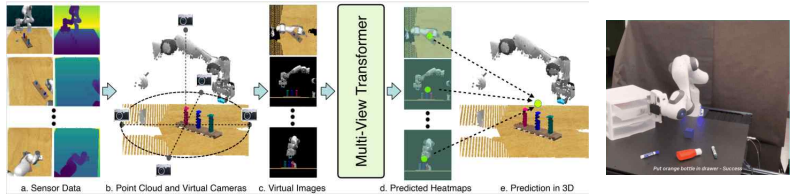
- (한국생산기술연구원) 한국생산기술연구원에서는 거대 크기의 양팔 로봇을 구축했으며, 이를 사람이 직접 조종할 수 있는 제어 기술을 탑재해 재난 상황에 대응하기 위한 연구를 진행해 공개했음. 또한, 2022 로보월드에서는 양팔 로봇과 AI기술을 활용해 물체에 대해 스스로 인식하고 조립하는 기술을 선보임
- (OTSAW O-R3) 거리, 통로 및 열린 공간을 순찰하고, 동적 장애물을 피하고, 자동으로 기지로 복귀할 수 있고, 얼굴 인식 기능이 있는 지능형자율 보안로봇으로 감시를 위해 360도 카메라, HD 카메라 및 2개의 LiDAR를 사용하여 실시간으로 데이터를 수집하며, 상황에 따라서 머신러닝 감시 기술을 활용하여 경비원에게 이상 징후를 경고함. 현재, 두바이의 공공장소와 싱가포르의 공원에서 적용중
- (Knightscope) K3, K5 등의 이동형 경비로봇을 제안하였으며, 쇼핑몰, 학교 캠퍼스 및 대형 주차장에서 발생하는 보안 상황에 대해서 중앙시스템에 통보하는 것이 목표임. 영상, 음성, 3D 거리 센서, 온도 및 공기 측정 센서를 가지고 자동차 번호판 인식, 이산화탄소 농도 및 이상행동 감지나 늦은 시간 사람의 움직임 등을 인식하고 2017년도부터 실리콘밸리의 웨스프필드 쇼핑몰과 삼성전자 미국 캠퍼스에서 운용되어 실내외에 대한 순찰 기능을 수행함
- (vOICe, 네델란드) 시각장애인을 위한 시각대체 알고리즘인 vOICe를 안드로이드 4.4.2에 탑재한 프로토타입의 스마트 글래스 VISION-800을 개발(2018). 전면 왼쪽의 카메라 렌즈와 양쪽 다리에 하나씩 두 개의 모노 이어버드가 포함되어 있어 vOICe 변환 소리를 제공하며, 배터리 완충 시 1시간 사용 가능
- (Wicab Inc., 미국) 소형 비디오카메라, 사용자 컨트롤러, 충전식 배터리, 약 400개로 구성된 전기자극 어레이로 구성된 BrainPort Vision Pro 시각 보조기기 개발(2018). BrainPort는 카메라로 수집된 영상을 전기 자극 어레이로 전달하여 혀를 자극함으로써 시각정보를 전달하며 카메라 영상의 흰색 픽셀은 강한 자극으로, 검은색 픽셀은 자극이 없는 것으로, 회색 레벨은 중간 수준의 자극으로 전달
- (University of Geneva, 스위스) 시각장애인의 이동을 보조하기 위해 거리 정보와 색상 정보를 소리로 매핑하는 SeeColOr 알고리즘을 개발. 색상 정보를 7개의 악기(오보에, 비올라, 바이올린, 트럼펫, 피아노, 색소폰)의 음색으로 변환함
- (KTH, Max Plank) KTH와 Max Plank에서는 2020년과 2021년에 NeurIPS에서 Real Robot Challenge를 개최해 로봇의 정밀 작업에 대한 가능성을 보임. 주로 강화학습 연구자들이 이에 참여했으며, 시뮬레이션 환경부터 실제 로봇 환경까지 다양한 난이도의 정밀 작업에 대한 성공률을 검증. 정밀성에 대한 가능성은 확인했으나, 제약된 조건에서만 검증되었으며 제시된 정밀 작업 역시 인위적인 물체를 사용했음



< Real Robot Challenge 작업 예시 >

• (NVIDIA) NVIDIA에서는 가상환경 플랫폼 Isaac Sim을 활용한 로봇 연구를 활발히 진행 중. 특히, 로봇 조작에 대해서는 2023년 RVT라는 로봇 뷰 모델을 제시해여 학회 CoRL에 발표했음. 해당 연구에서는 Point Cloud를 활용해 멀티뷰 이미지를 만든 후, 이를 입력으로 넣어 3차원 공간에서 로봇이 다양한 작업을 할 수 있음을 보임. 또한, 이를 실제 로봇에 적용해 동작이 가능함을 보임

- Nvidia는 로봇 파운데이션 모델은 아니나, 기존 LLM을 활용하여 로봇 핸드를 학습시킬 수 있는 기술을 보였음




< NVIDIA RVT 개념도 및 실환경 적용 결과 >

### 6) 국내.외 지식재산권 현황

□ 산업현장 자율협업지능 기술

• 제조·서비스 융합 생태계 구축 지원 분야의 주요 출원국 608건의 특허 분석 중, 한국 및 미국이 다수의 특허 출원

- (한국) 기술 중 산업 융합생태계 및 비즈니스 모델 개발 분야에 출원 동향이 활발하며, 전체의 34%를 차지해 높은 수준의 특허출원 비중을 차지
- (미국) 특허출원 수 및 증가율 모두 1위에 위치해, 전체의 50%가 넘는 출원 비중을 차지
- (일본) 유럽에 비해 최근 출원증가율 상승했으나, 특허 출원건수는 아직 적은 상태
- (유럽) 주요 출원국 중 가장 적은 수의 특허 보유

• 경비 로봇을 이용한 방범 시스템 및 이를 이상 상황 발생시 이에 대처하기 위한 운용 방법에 대한 특허가 출원된 바 있음( 1007879710000, 2007년 12월 24일, (주)에스원)

• 라이다 센서, GNSS 센서, IMU 센서 및 카메라를 이용하여 주변 지형과 위치를 파악하고, 모바일 플랫폼을 이용하여 보안이 필요한 곳으로 이동 보안 작업을 수행하는 특허를 출원함(1020200150701, 2020년 11월 12일, 주식회사 만도)

• 다중로봇과 다중센서를 활용한 원격 모니터링, 보안, 감시가 가능한 시스템 및 이를 활용한 운용 방법에 대한 특허가 미국에서 출원된바 있음(US09494936, 2016년 11월 15, Alarm.com Incorporated )

• 자율적인 이동형 로봇을 이용하여 하나 이상의 경로를 순찰하고 물체, 인프라, 보안 시스템 및 제한 지역 출입과 같은 보안 작업을 수행하는 것에 대한 특허가 공개됨(US20200053324A1, 2020년 2월 13일, Cobalt Robotics Inc)

□ 인간 시각증강 AI 기술

• 시각대체 기술 관련 대부분의 특허는 시각이나 청각 등 단일 감각 신호의 변환과 전달 및 학습에 관련한 내용이므로, 본 연구과제에서 목표하는 시각정보를 다중 감각 신호로 융합하고 감각기관들을 조합하여 전달 및 지각하는 기술에 대해서는 핵심 IPR 선점 가능

- 시각대체 기술은 2017년 이후 유효특허의 출원 건수는 소폭 감소하지만, 출원인 수는 지속해서 증가하고 있음. 특히 관련 분야의 기술을 주도하고 있는 미국(USPTO)에서 해당 분야가 지속해서 성장하고 있는 것으로 보아 해당 기술과 관련된 연구기관 및 업체의 연구개발이 계속될 것으로 예측됨
- 해당 기술에 대한 시장의 지속적인 관심은 유지될 것으로 보이며, 특허의 양적인 성장보다는 질적인 성장이 이루어지고 있는 단계로 판단할 수 있음. 따라서 기술 진입에 있어 장벽이 존재하지만, 기술의 한계를 극복하는 기술을 확보할 때 성공 가능성이 클 것으로 판단됨
- 시각대체 기술과 관련하여 미국 기업인 IMMERSION CORPORATION, Facebook Inc., NeoSensory Inc., Disney Enterprises, Inc., Microsoft Corporation, Wicab Inc., 등이 최다수의 특허를 보유하고 있으며, 한국은 한국과학기술원, 한국전자통신연구원, 삼성전자 등이 파악됨
- 시각대체 기술과 관련하여 한국은 106건의 특허를 보유하고 있으나 유효특허는 일부분(6건, 5.7%)에 불과하여 이에 관한 지속적인 연구가 필요

• 사용자의 시력/시선 의도에 따른 맞춤형 시력 제공이 가능한 초점가변 렌즈에 대한 R&D 필요성이 증대되어 관련 기술에 대한 특허출원은 늘어나고 있지만, 시력 의도 인지를 위해 AI를 활용하여 생체신호를 분석하는 기술과 신체 변화 적응형 시력 교정을 위한 연속학습 AI 관련 특허출원은 저조한 편이어서 관련 핵심 IPR의 선점 가능

- 관련 분야의 특허출원이 2014년 이후 꾸준히 진행되고 있으며, 세부적으로 살펴보면 '시력 의도 인지용 생체신호 감지 및 초점 가변 기술' 관련 특허는 2000년대 후반부터 출원이 시작되어 최근까지 꾸준히 출원되고 있으며, '생체신호 기반 시력 의도 인지 및 신체 변화에 강건한 연속학습 인공지능 기술' 관련 특허는 2017년 이후 증가 추세를 나타내고 있음
- AR/VR/MR 디바이스 및 서비스를 제공하는 Meta가 자국인 미국을 포함한 한국, 일본, 유럽에 관련 패밀리 출원을 진행하여 높은 순위를 차지했으며, 미국의 Magic Leap, Optotune, Microsoft, Corning, 등의 출원인 역시 자국 외 주요국에 해외 패밀리 출원을 진행하여 상위에 랭크
- 다출원인 상위 10개社 기준으로 살펴보면, 모든 출원인들이 시력 의도 인지용 생체신호 감지 및 초점 가변 기술 분야에 관련 출원을 진행하여 역점분야로 사료되며, 생체신호 기반 시력 의도 인지 및 신체 변화에 강건한 연속학습 인공지능 기술 분야의 경우 상대적인 출원 비중이 낮아 공백분야로 사료됨

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구

• 인간과 상호작용하는 로봇을 학습시킴에 있어 인간의 참여를 줄이기 위하여, 가상학습 공간에 휴먼 에이전트와 로봇 에이전트를 생성하고 이들 간의 상호학습을 통해 로봇 에이전트가 상호작용 동작을 학습하는 특허가 등록됨 (10-1086671, 동국대)

• 로봇의 grasping 실패 시 이에 대한 추가 학습을 하기 위하여, 로봇의 grasp 관련 데이터를 모아서 서버로 제공하면 서버는 실패한 grasping 시도에 관한 것들만 모아서 모델링한 뒤 학습하고 시뮬레이션으로 검증하는 특허가 등록됨 (10971272, X Development)

• 효율적인 로봇 동작 학습을 위하여, 시뮬레이션을 이용한 1차학습 후 실환경에서의 2차 학습을 하는 절차에 관한 특허가 등록됨 (10792810, Amazon)

• 다량의 학습 데이터를 이용하여 로봇 에이전트를 학습하기 위하여, 실환경 데이터와 시뮬레이션 데이터를 병합하여 학습하는 방법론에 관한 특허가 등록됨 (10207408, Google)

• 실환경 기반 학습 신경망과 시뮬레이션 기반 학습 신경망을 이용하여 복수의 신경망을 활용해 학습하는 방법론에 관한 특허가 등록됨 (11534911, DeepMind)

• 로봇의 부정확한 수행 발생에 대한 모델 업데이트 방법론에 관한 특허로써, 인간의 보정 응답에 따라 로컬 피쳐 모델을 업데이트하여 로봇 정책 성능을 향상시키는 방법론에 관한 특허가 등록됨 (2472592, X Development)

• 작업자의 보조로 수행된 로봇 작업 데모를 사용하여 로봇을 훈련시키는 방법 및 시스템 특허 출원 ( 13/420,677, GM)

• 사람이 데모로 만든 파지에 기반하여 로봇 파지를 계획하는 방법 및 시스템 특허 출원 (14/670,050, University of South Florida)

• 변형가능한 촉각 센서를 지닌 손가락을 사용한 로봇 팔의 조립 작업 관련 특허 출원 (18/156,113, Toyota Research Institute)

- 사용자의 자연어 명령을 이해하는 로봇 조작 분야의 연구는 개념의 검증 수준으로 선행 연구를 시작한 선진국의 몇 개 연구그룹에서 수행하고 있는 실정임
- 특히, 미국이 LLM 기반 로봇 조작 연구를 선도하고 있으며 로봇의 자연 언어 제어에 대한 특허가 출원된 바 있음 (18128953, Google LLC)
- 또한, 자연어 기반 로봇제어에 사용되는 모델들을 학습 및 추론시키는 방법에 대한 특허가 미국에서 출원된 바 있음 (17924781, Google LLC)
- 유럽에서는 LLM 기반 로봇 조작에 관한 특허는 아니지만, 복합적인 작업지시를 위한 로봇 작업 계획에 관한 특허가 출원된바 있음 (20193001.3, Tata Consultancy Services Limited)
- 중국에서는 로봇 조작에 관한 특허는 아니지만, LLM을 활용한 인간-모바일 로봇 상호작용을 위한 태스크 스케쥴링, 자연어 명령 처리, 피드백 시스템에 대한 특허가 출원되어 등록된바 있음 (CN116483977A, Chengdu Guojia Electrical Engineering Co ltd)
- 한국에서는 자연어를 이용한 로봇 제어시스템 및 그 동작 방법에 관한 특허가 등록된바 있으나 (1019970720000, 한성대학교 산학협력단), 사용자 명령의 의미를 이해하고 Reasoning을 수행하는 LLM 기반 로봇 조작 제어 방법이 아닌, 단순 명령을 인식하여 이를 로봇의 동작과 매핑하는 개념의 특허임

## 나. 핵심요소 및 접근방법

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- (산업 데이터 보호 거래 기술) 현대중공업, 현대 자동차 등의 글로벌 기업 및 기계·부품 분야의 중소 제조기업의 생산 현장에서 생성되는 설비, 환경, 품질, 안전 관련된 데이터에 대해 협업지능 기술 개발을 위한 데이터 보호 및 보안 기술 (양자 암호, 블록체인 등)
- (제조 협업 지능 프레임워크 기술) 조선소, 자동차, 석유화학 및 기계부품 제조 현장에 대한 원시 데이터 분석 및 가공, 학습 데이터 구축 및 관리, 안전, 공정효율, 품질(Safety, Efficiency, Quality) 서비스를 위한 학습 모델 개발 및 최적화 기술

□ 인간 시각증강 AI 기술

- (다중감각 융합 대체 기술) 감각 정보를 다중 감각 신호로 융합하여 신체의 他감각기관의 조합을 활용하여 전달하고 일상 환경에서 경험 기반의 다중 대체 감각을 효과적으로 학습하기 위한 학습 프레임워크 기술
- (사용자 시선 의도 기반 초점가변 기술) 사용자에게 불편함을 주지 않는 박막형 피부부착 센서를 기반으로 생체신호를 수집하고, 수집된 생체신호를 분석하여 대면적 고속 변형이 가능한 초점가변렌즈를 제어하여 사용자에게 불편함 없이 초점가변렌즈의 초점을 자율적으로 조절하는 기술

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구

- 조작 학습용 다양한 데이터셋(시뮬레이션/실환경)을 비용 효율적으로 확보하기 위해 사람 작업 동작을 모방하여 실시간 양팔/양손 작업이 가능한 로봇 플랫폼 및 텔레오퍼레이션 시스템 개발
  - 플랫폼 다양성 및 AI 모델의 일반화를 위해 이종의 양팔/양손 로봇 플랫폼 구축
  - VR(HMD), 데이터 글러브 등 복수 형태의 로봇 텔레오퍼레이션 인터페이스 제공
- 인간의 사고/행동 체계를 모방한 듀얼 프로세스 VLA(DP-VLA) 설계/개발
  - "사고는 깊게, 행동은 빠르게" : System2와 System1 분리 설계
  - 경량/고속 로봇 VLA 모델 특성으로 로봇 서비스 운용 비용 감소 가능



## 다. 혁신성과 독창성

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- 본 사업은 그간의 현장 중심 연구를 토대로 생산현장과의 긴밀한 협력 연구와 제조 현황 분석을 한 노하우를 바탕으로 4개 제조분야(조선, 자동차, 석유화학, 기계부품)에 자율 지능 로봇과 협업지능으로 공정, 품질, 안전 효율성을 높여 기업 경쟁력의 고도화를 달성하고자 하는 것이 목적임
- 협업지능 기술 개발의 전제 조건인 제조 데이터 확보를 위한 데이터 공급자와 데이터 사용자간의 신뢰성을 시스템에서 제공 하는 고난도 보호거래 기술로 국내외에 개발 사례가 없는 것으로 판단됨
- 또한 학습데이타의 부재로 제조 현장 협업지능 기술 개발의 진척이 매우 미흡한 상황이어서 본 사업에서 개발하고자 하는 제조협업지능 기술 및 로봇지능을 이용한 제조 SEQ 제공기술은 혁신성과 독창성이 높음

□ 인간 시각증강 AI 기술

| | 기존 기술의 한계 | 제안 연구의 혁신/독창성 |
|---|---|---|
| 시각대체 | ・감각별 상이한 전달 특성으로 모든 시각정보($10^6$)를 단일 대체감각(청각 $10^4$, 촉각 $10^2$)으로 전달 불가능<br>・새로운 자극에 대해 뇌를 학습시킬 수 있는 효과적인 학습 방법론 부재 | ・전달하고자 하는 정보 특성을 고려하여 다중 대체감각을 융합하여 시각정보 전달<br>・교육 이론을 접목한 교재 및 학습 방법론 개발 |
| 시각복원 | ・시각 의도와 관련된 생체신호 수집 장치의 한계(사용성, 수집정확도 등)<br>・생체신호 기반 시각 의도 분석 방법 부재 및 인식 정확도의 한계<br>・생체반응 신호가 사용자 상태, 환경, 노이즈 등에 따라 분석 의미가 가변적 | ・나노프린팅 기반 박막형 피부부착 전극을 통한 고품질 생체신호 수집<br>・EOG와 EEG 등 다중 생체신호 융합한 시각 의도 분석 모델 개발 및 분석용 데이터셋 구축<br>・상황 변화에 강건한 AI 모델 개발 및 멀티 정보 융합을 통한 생체신호의 가변성 해소 |
| 기전분석 | ・공간적 반응을 분석하는 fMRI로는 시각대체에 대한 시공간적 뇌반응 분석에 한계 노출 | ・사람(EEG)을 대상으로 뇌의 정보처리 네트워크의 연결성을 분석 |

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구

- 인간의 사고/행동 체계를 모방한 듀얼 프로세스 VLA(DP-VLA) 기술은 System2(사고 담당)는 대형 모델을 활용하여 복잡한 문제 해결/전략적 사고 처리를 담당하고, System1(행동 담당)은 소형 모델을 개발/활용하여 신속/정확/정밀한 로봇 액션 생성을 담당하게 함으로써,
- 향후 System2 모델(LLM, VLM 등)의 빠른 기술변화에 대처, System2/System1 모델의 계층적 실행(System1 모델: 온디바이스, Small System2 모델: 엣지 서버, Large System2 모델: 클라우드 등) 및 System1 모델의 온디바이스 실행이 가능할 수 있는 구조임

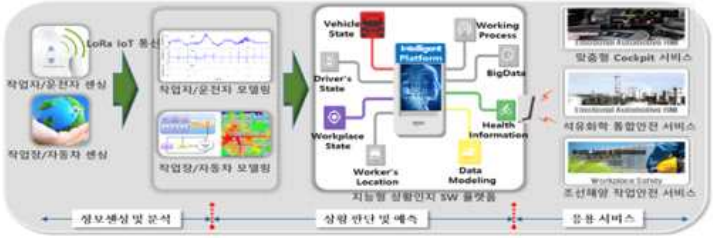
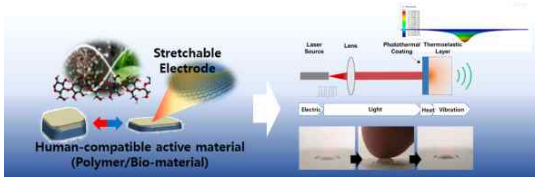
# 2 과제목표 및 수행과정

## 1. 과제목표

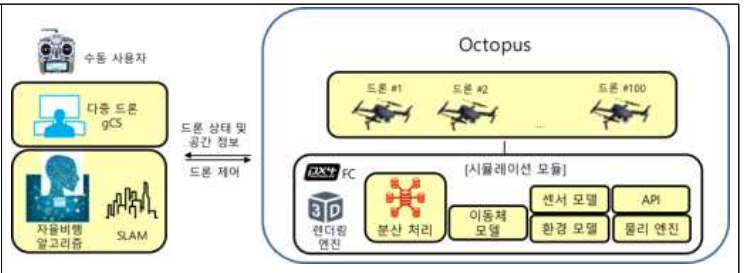
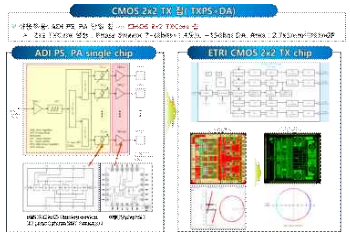
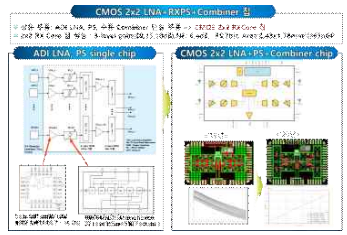
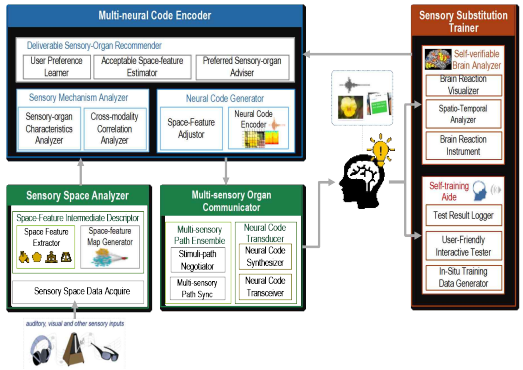
| 구분 | | | 주요 내용 |
|---|---|---|---|
| 연구개발 목표 및 내용 | 최종 목표 | | ○ 현실과 가상의 시공간 환경에서 휴먼증강 및 인간과 자율지능시스템의 상호작용이 가능한 자율지능공존 원천기술 확보 |
| | 1단계 | 목표 | [1차년도]<br>○ 주력 산업 고도화를 위한 지능형 상황인지 플랫폼 고도화 및 실증시험<br>○ 상황적합형 상호작용 제공 사용자 체험형 인터페이스 기술 개발<br>○ 고정밀 드론 시뮬레이션 핵심기술 개발<br>○ 소형드론 탐지를 위한 능동위상배열기반 2x2채널 RF 송수신 반도체 및 신호처리 플랫폼 기술 개발<br>○ 시각-청각 변환 및 변환 신호 전달 시스템 개발<br><br>[2차년도]<br>○ 산업 데이터 거래 플랫폼 및 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구<br>○ 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>○ 시각-청각 변환 기반 감각지각증강 자가-학습 시스템 개발 |
| | | 내용 | [1차년도]<br>○지능형 상황인지 플랫폼 고도화 및 실증시험<br>- 휴먼/환경 상황인지 단위 플랫폼고도화 및 상황인지 통합 플랫폼 개발<br>- 통합 플랫폼 시험 검증용 테스트 베드 구축 및 시험 및 검증<br>○사용자 체험형 인터페이스 기술 개발<br>- 인간의 지각능력 증강을 위한 능동 입체화 촉각소자 기술 개발<br>○고정밀 드론 시뮬레이션 핵심기술 개발<br>- 고정밀 객체 모델 및 드론 물리엔진 개발<br>- 분산 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 드론 시뮬레이터 활용기술 연구<br>○드론 탐지를 위한 지능형 레이더 핵심기술 개발<br>- 소형드론탐지용 능동위상배열기반 2x2채널 RF 송수신 반도체 및 신호처리 플랫폼<br>○시각-청각 변환 및 변환 신호 전달 시스템 개발<br>- 단일 감각 신호의 전환 및 고유 신호 생성 요소 기술 개발<br>- 단일 감각 신호 전달 및 지각 학습 요소 기술 개발<br>- 상황별 우세 감각 분석 및 지각 검증 플랫폼 설계<br><br>[2차년도]<br>○ 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구<br>- 산업 데이터 거래 플랫폼 구조 연구<br>- 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구<br>- 로봇지능(고정,이동)의 SEQ(Saftey, Efficiecny, Quality) 서비스 적용을 위한 환경조사 및 분석<br>○ 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 통합공간 객체 투영 기술 연구<br>- 대규모 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 드론 시뮬레이터 응용 기술 실증 및 고도화<br>○ 감각지각증강 자가-학습 시스템 개발<br>- 시각 정보의 청각 신호 전환을 위한 딥러닝 기반 고유 신호 생성 기술 개발<br>- 청각으로 전환된 시각 고유 신호의 전달 기술 개발<br>- 제한된 환경에서 청각 기반 지각 학습 프레임워크 설계 및 기본 구조 개발<br>- 시각 정보의 청각 전환에 대한 리시버 반응 메커니즘 규명 |
| | 2단계 | 목표 | ○ 제조기업 SEQ 향상을 위한 기반 플랫폼 및 서비스 기술 개발<br>○ 드론 CPS 객체 간 동기화 및 상호작용 기술 개발<br>○ 교육이론 기반 감각지각 증강 학습 프레임워크 및 시각증강 요소 기술 개발<br>○ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 설계 |
| | | 내용 | ○ 제조 협업지능 프레임워크 및 SEQ 서비스 기술 산업현장 실증 시험 |
| | | | - 협업지능 프레임워크 기반 제조현장 Safety 서비스 기술 현장 실증시험<br>- 협업지능 프레임워크 기반 SEQ AI 서비스 기술 사업화<br>- 제조 데이터 보호거래 플랫폼 시제품 고도화 및 실증시험<br>- 음향 신호 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 실증시험 및 사업화<br>- 산업현장 맞춤 AMR 플랫폼 기술 실증시험 및 사업화<br>○ 드론 CPS 객체 간 동기화 및 상호작용 기술 개발<br>- 통합공간 객체 동기화 기술 연구<br>- 통합공간 객체 간 정밀 모니터링/제어 기술 개발<br>- 드론 CPS 활용기술 및 활용성 연구<br>○ 교육이론 기반 감각지각 증강 학습 프레임워크 및 시각증강 요소 기술 개발<br>- 시각정보의 효율적인 요약을 위한 영상분석 기술 개발<br>- 시각정보의 다중감각 전달을 위한 단일 감각 변환 기술 고도화<br>- 교육이론을 적용한 시각정보의 청각대체 학습프레임워크 개발<br>- 동물 모델 및 EEG 신호 기반 다중감각 대체 신호 지각 기전 분석<br>- 시각복원을 위한 생체신호 분석 및 형상가변소재 합성 연구<br>○ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 설계 및 개발<br>- 핸드 조작 스킬 정의 및 양팔/핸드 로봇 테스트베드 구축<br>- 핸드 조작 스킬 데이터셋 구축<br>- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크 (IL/VLA 모델) 설계 및 개발<br>- 로봇 트랜스포머 설계 연구 및 로봇 조작 스킬 연구 |
| | 3단계 | 목표 | ○ 제조 협업지능 프레임워크 및 SEQ 서비스 기술 산업현장 실증 시험<br>○ 단일 감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 및 시력증강 알고리즘 개발<br>○ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발 |
| | | 내용 | ○제조 협업지능 프레임워크 및 SEQ 서비스 기술 산업현장 실증 시험<br>- 협업지능 프레임워크 기반 제조현장 Safety 서비스 기술 현장 실증시험<br>- 협업지능 프레임워크 기반 SEQ AI 서비스 기술 사업화<br>- 제조 데이터 보호거래 플랫폼 시제품 고도화 및 실증시험<br>- 음향 신호 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 실증시험 및 사업화<br>○ 단일 감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 및 시력증강 알고리즘 개발<br>- 시각증강 AI 기술 상세 구조 설계<br>- 단일 대체감각 기반 시각대체 알고리즘 최적화<br>- 단일 생체신호 기반 시력증강 알고리즘 개발<br>○ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발<br>- 핸드 조작 스킬 데이터셋 구축<br>- 양팔/핸드 로봇 테스트베드 및 핸드 조작 환경 고도화<br>- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크 (IL/VLA 모델) 개발<br>- Dexterous Control Robot Transformer 설계<br>- 조작 스킬의 선택적 재사용/ 조합을 통한 확장성 연구 |

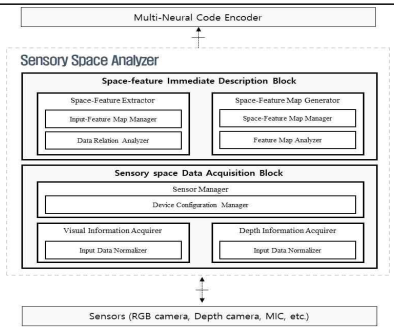
## 2. 과제 연차별 수행과정 및 내용

### (1) (1단계) 1차년도(2020년도) 개발 내용 및 범위

| 수행기관 | 개발 목표 | 개발내용 및 범위 |
|---|---|---|
| ETRI<br>(주관) | 주력 산업 고도화를 위한 지능형 상황인지 플랫폼 고도화 및 실증시험 | • 주력산업 경쟁력 향상을 위한 상황 및 휴먼 특성 모델링에 기반한 산업용 지능형 상황인지 플랫폼 기술 개발<br>- 주행/작업환경에서 휴먼/환경 센싱 및 모델링 기술 개발<br>- 주행/작업환경에서 휴먼/환경 상황판단 및 예측 기술 개발<br>- 지능형 상황인지 플랫폼 현장 적용 기술 개발<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| | 상황적합형 상호작용 제공 사용자 체험형 인터페이스 기술 개발 | • 능동 가변 폴리머 소재 기술 고도화<br>- 인체안정성 능동 가변 폴리머 소재 개발<br>- 인체안정성 보유, 대변형 허용 및 가역적 물성 조절 탄성 고분자<br>• 촉각 출력 인터페이스 기술 고도화<br>- 능동 가변 폴리머 소재의 물리적 형상변화를 이용한 입체화 촉각 단위 소자 개발<br>- 박막형 유연 폴리머 구조로 국부적, 프로그래머블 촉감 제공<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| | 드론 시뮬레이션 기술 고도화 | • 고정밀 객체 모델링 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 개발<br>- 드론 물리엔진 고도화 및 고정밀 객체 모델링 기술 개발<br>- 분산 다중 드론 시뮬레이션 기술 개발<br>- 드론 시뮬레이터 활용기술 연구<br>- 중규모(50대) 드론에 대한 동시 시뮬레이션 성능 검증 |

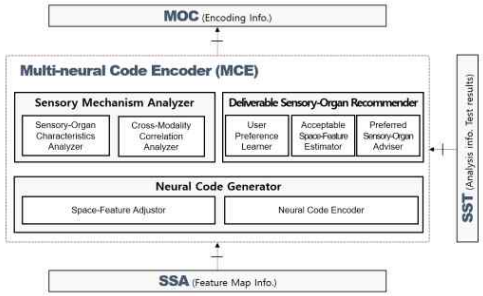


| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><br><시스템 구성도> |
| | 소형드론 탐지용 핵심 기술 개발 | • 저전력 초소형을 위한 드론 탐지용 레이더 RF 다채널 반도체 기술<br>- X-band 대역의 위상배열 Radar 송수신 반도체 칩 기술<br>  <br><br><2x2 위상배열 Radar RF 송신칩 개발><br>  <br><br><2x2 위상배열 Radar RF 수신칩 개발> |
| | 시각-청각 변환 및 변환 신호 전달 시스템 개발 | [단일 감각 신호의 전환 및 고유 신호 생성 요소 기술 개발]<br>ㅇ 시각 정보 청각 전환 고유 신호 생성 기술 구조 설계<br>• 다중감각융합 기반 감각지각증강 프레임워크 시스템 구조 설계<br>- 4개의 서브시스템으로 다중감각융합 시스템을 정의<br>- 기본구조 설계 및 상호 인터페이스 정의<br>  <br><br>• 감지공간분석 서브시스템 상세 설계 (SSA 서브시스템 상세설계서)<br>- 감지공간분석(SSA) 서브시스템의 구성과 기능 정의<br>- 타 서브 시스템과의 인터페이스 정의 |




• 다중 신경신호 코드 인코더 서브시스템 상세 설계 (MCE 서브시스템 상세설계서)

- 감지공간분석(SSA) 서브시스템의 구성과 기능 정의
- 타 서브 시스템과의 인터페이스 정의



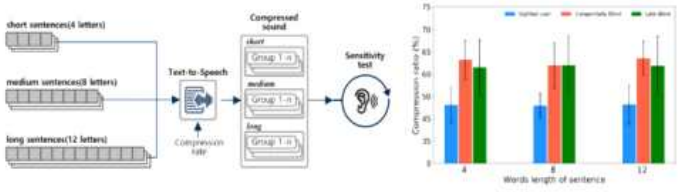

ㅇ 청각으로 전달 가능한 최대 정보량을 결정하기 위한 청각 수용체의 유효 해상도 분석

• 3개 난이도 문장(4, 8, 12개 문자)을 6개 압축률(35, 45, 50, 60, 65, 70%)로 축약하여, 일반인(10명), 선천성 시각장애인(10명), 후천성 시각장애인(10명) 대상으로 청각해상도 분석

※ 연령: 20~53세, M=33.83, SD=10.52

- 가장 높은 압축율부터 청취하며 문장의 의미 인지 시험

→ 시각장애인이 약 50% 정도 뛰어난 청각 민감도를 가짐을 실험으로 증명




•시각-청각(V2A) 변환 신호의 축약 정도에 대해 시각장애인의 지각 인식도, 유효 해상도 분석을 통해, 변환 신호를 50%로 축약하여도 인식률에 차이가 없음을 확인

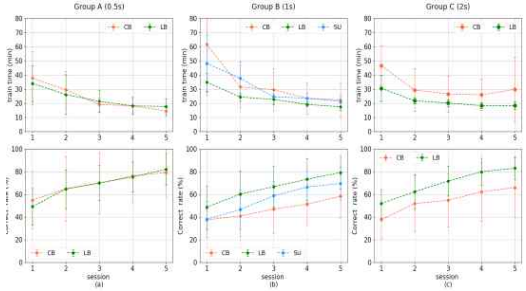
- 실험참가자(35명)를 V2A 신호 길이에 따라 3개 그룹으로 분류하여, 5회 학습 후 1회 시험을 통해 인식률 분석



| 그룹 | V2A 신호 길이 | 실험참가자(연령: 20~53세, M=32.4, SD=9.36) | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 일반인 | 선천성 시각장애 | 후천성 시각장애 |
| A | 0.5초 | - | 5 | 5 |
| B | 1초 | 5 | 5 | 5 |
| C | 2초 | - | 5 | 5 |

- (학습) 각 그룹은 정해진 V2A 신호로 5회 학습 수행 및 각 세션 학습 후 인식률 확인

→ 학습 후 3개 그룹 평균 인식률 74.8% (1차년도 목표 50%@정형데이터(5종) 대비 150% 달성)




- (시험) 다른 그룹에서 사용한 길이의 소리를 이용한 cross-over 시험을 통해

→ 알고리즘의 이해를 위한 사전 교육 과정이 필요 없고, 높은 압축율의 소리로 학습이 가능하다는 사실을 확인

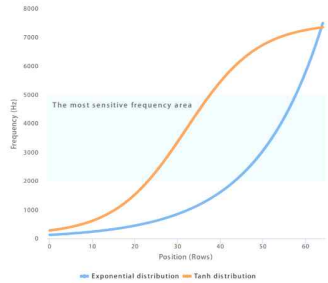
ㅇ 청각 고유 신호 생성 요소기술 개발

• 변환 알고리즘 최적화, 이미지 샘플링 방법 개선으로 청각 대역폭 2배 확장

- V2A변환 알고리즘 최적화를 통한 사운드 생성 속도 60%향상(파이썬 기준 1초 → 400ms)
- 이미지 샘플링 방법 개선으로 V2A 고유신호 2배로 축약(이미지 전달시간 : 1초 → 0.5초)

• 청각으로 변환된 신호 기반 이미지 정보 인식 향상을 위한 정보 매핑 방법 개선

- 주파수 매핑 함수 개선(Exp.분포 함수 → Tanh 분포 함수 사용)




• V2A 변환을 위한 고유 신호 생성기술 핵심 IPR 확보

- 감각기관별 특성에 따른 전달 가능한 정보량 차이 해소를 위해, 다중감각 정보를 융합하여 다중감각 정보의 조합으로 생성하고 전달하는 방법에 대하여 IPR 선점을 위한 핵심 특허 출원

※감각 기관별 정보 전달량 : 시각($10^6$) >청각($10^4$) > 촉각($10^2$)

- 국제특허 5건(3극 특허 1건 포함), 국내특허 3건





[ 단일 감각 신호 전달 및 지각 학습 요소 기술]

○ 시각, 청각 정보 지각을 위한 정량화 방안 분석을 통해 명시적 방법을 기본 알고리즘으로 하여 개인별 차이를 반영할 수 있도록 방향 설정

• 명시적•묵시적 방법으로 구분 가능한 시각-청각 변환 기반 감각 정보 매핑 방법 특징 분석

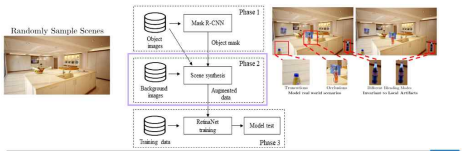
- 정해진 알고리즘으로 매핑하는 명시적 방법은, 변환 신호에 대한 학습이 용이한 반면, 개인별 자극에 대한 해상도 민감도 등이 상이할 경우 신호 생성에 한계 노출
- AI로 분석하여 매핑하는 묵시적 방법은, 변환 신호에 대한 학습이 어려운 반면, 개인별 자극에 대한 해상도 민감도 등이 상이할 경우 적응적으로 신호 생성이 가능함

○ 청각 기반 고유 신호 전달을 위한 요소기술 개발

• 청각 해상도의 한계로 전달할 수 있는 시각정보가 제한되는 한계를 사용자에게 필요한 정보만 추출하여 전달하여 해소하는, 이미지 합성 기반 데이터 증강을 통한 객체 검출 성능 향상 기술 개발

- 3단계(객체영상 생성단계 → 객체영상 합성단계 → 성능분석) 데이터 증강을 통해, 단일 단계 기반의 객체 검출 방법의 정확도 개선

※ 정보처리학회학술대회 우수논문상 수상




| | coca cola | coffee mate | honey bunches | hunt's sauce | mahatma rice | nature v1 | nature v2 | palmolive orange | pop secret | pringles bbq | red bull | mAP |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| No augmentation | 82.9 | 93.7 | 90.5 | 85.8 | 90.5 | 97.2 | 86.5 | 88.9 | 89.7 | 89.4 | 71.6 | 87.9 |
| No blending | 84.7 | 94.3 | 91.7 | 87.5 | 88.9 | 96.7 | 86.6 | 88.1 | 90.8 | 90.1 | 61.2 | 88.1 |
| Box blurring | 84.5 | 95.5 | 92.1 | 87.5 | 89.1 | 96.8 | 87.3 | 87.5 | 88.3 | 90.6 | 69.3 | 88.0 |
| Gaussian blurring | 83.9 | 93.8 | 82.2 | 88.0 | 91.0 | 96.8 | 87.7 | 88.8 | 90.3 | 89.9 | 69.7 | 88.5 |
| Poisson | 84.1 | 95.0 | 91.2 | 87.6 | 86.5 | 97.1 | 87.1 | 88.5 | 91.3 | 89.7 | 71.0 | 88.1 |
| Ours | 83.9 | 95.1 | 91.6 | 88.7 | 88.6 | 97.3 | 88.6 | 88.7 | 91.8 | 91.2 | 70.8 | 88.7 |
| Georgios's [2] | 82.6 | 92.9 | 91.4 | 85.5 | 81.9 | 95.5 | 88.6 | 78.5 | 93.6 | 90.2 | 54.1 | 85.0 |
| Dwibedi's [3] | 88.5 | 95.5 | 94.1 | 88.1 | 90.3 | 97.2 | 91.8 | 80.1 | 94.0 | 92.2 | 65.4 | 88.8 |

• 다중 감각기관 커뮤니케이터 서브시스템 상세 설계 (MOC 서브시스템 상세설계서)

- 다중 감각기관 커뮤니케이터 서브시스템 구성과 기능 정의
- 타 서브 시스템과의 인터페이스 정의

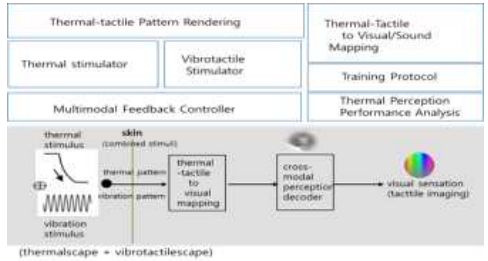




• 다중 감각 융합을 위한 시각 정보의 촉각 전환 고유 신호 생성 기술 구조 설계

- 온도와 진동에 의한 멀티모달 촉각 자극 생성 방안 분석
- 온도와 진동(주파수, 진폭)의 병렬 제어를 통해 색상 신호의 촉각 신호 변환 랜더링 알고리즘 개발

→ 객체의 색상 정보(색조/채도/명도)를 복합 촉각(온도+진동) 패턴 정보 표현




○ (제한 환경) 청각 기반 지각 학습 방안 선정 및 절차 설계

• 감각 대체 자가-학습기 프레임워크 설계

- 이미지 파일, 렌더링 엔진, 카메라를 이용한 학습 이미지 생성
- 감각대체 알고리즘 연동 인터페이스
- 정상인, 시각장애인을 고려한 접근성 설계



• 감각대체 자가-학습기 서브시스템 상세 설계(SST 서브시스템 상세설계서)

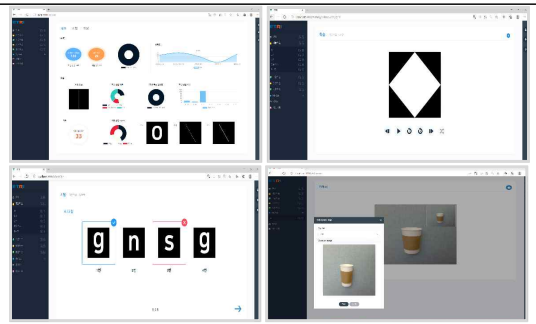
- 감각대체 자가-학습기 서브시스템 구성과 기능 정의
- 타 서브 시스템과의 인터페이스 정의



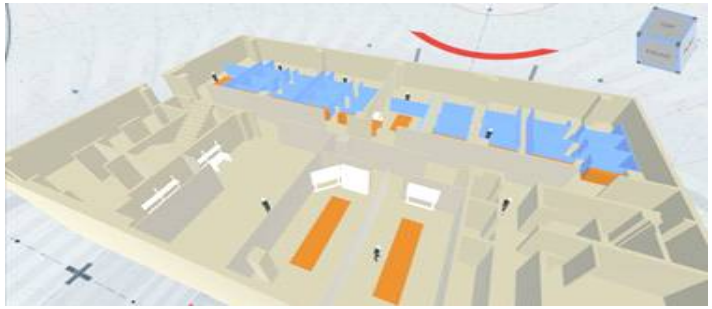
• 감각대체 학습기 프로토타입 개발

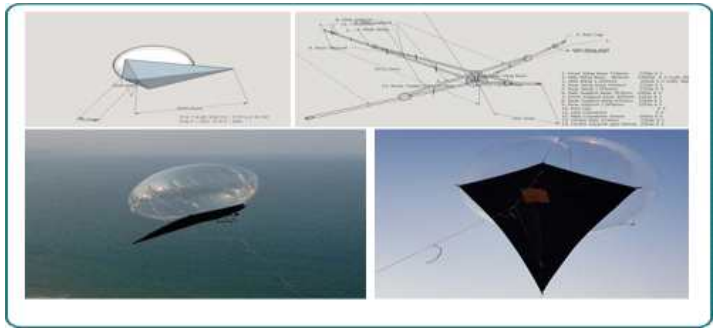
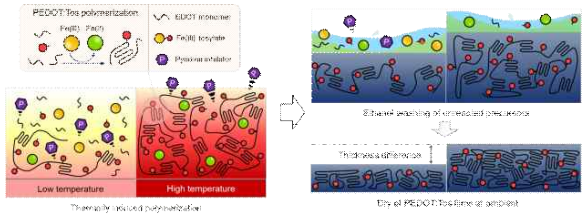
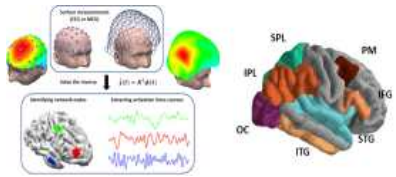
- (세계최초) 다양한 시각 정보 학습 및 사용자 학습 데이터 축적 가능한, 프로토타입 감각 대체 자가-학습기 프레임워크 개발

→ 이미지 복잡도 및 필요성에 따른 학습 이미지 분류 기능, 감각대체 신호의 동적 변환 및 재생 지원, 감각대체 학습•시험 및 그룹 시험 제공

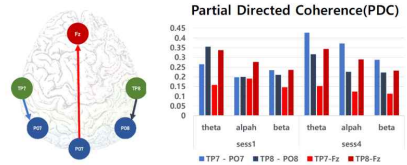
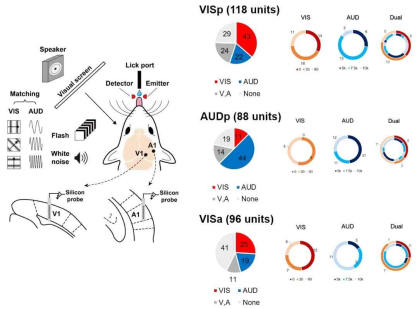
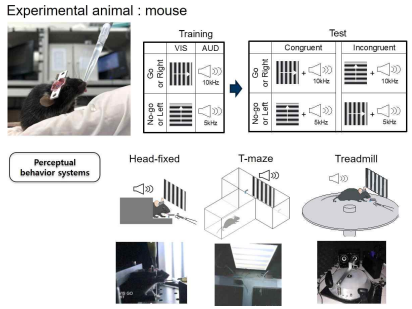
| | | |
|---|---|---|
| | |  |
| 스퀘어네트<br>(공동1) | 클라우드 서버 및 단말기반 클러스터 UI/UX 운용 플랫폼 개발 | • 클라우드 서버 및 단말기반 클러스터 UI/UX 운용 플랫폼 개발<br>- 클라우드 기반 디지털 클러스터 저작정보 및 개인 디지털 클러스터 관리기능 확대 구현<br>- 개인별 클러스터 UI 제작을 위한 모바일기반 다양한 레이아웃의클러스터저작도구 구현<br>- Layout 다양화, Fuel Gauge,Temperature Gauge, ODO, Gear 등 확대 구성<br>- 디지털 클러스터와 클러스터 UI 연동기능 구현<br>- 클러스터 콤포넌트 다양화를 위한 테마 콘텐츠 디자인 및 퍼블리싱<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| 언맨드솔루션<br>(공동2) | 운전자 맞춤형 자율주행자동차 Cockpit 적용기술 개발 및 실차 적용 | • 운전자 맞춤형 자율주행자동차 Cockpit 적용기술 개발 및 실차 적용<br>- 운전자 상태(졸음/피로/주의분산) 및 감정(놀람 등) 인식 기능 연동 모듈 개발<br>- 인터랙션 엔진 모듈 및 클러스터 형상 가변 기능 연동 모듈 개발<br>- 자율주행자동차용 차량 정보 연동 모듈 개발<br>- 운전자 맞춤형 자율주행자동차 Cockpit 통합 시스템 개발 및 실차 탑재<br>  <br><br><시스템 구성도> |

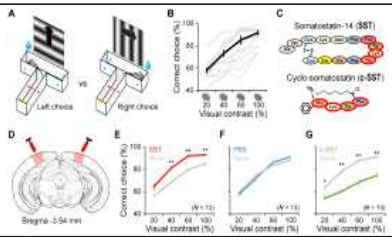
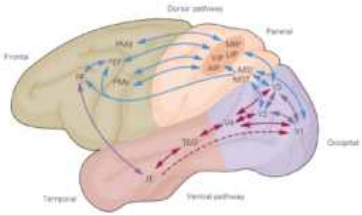
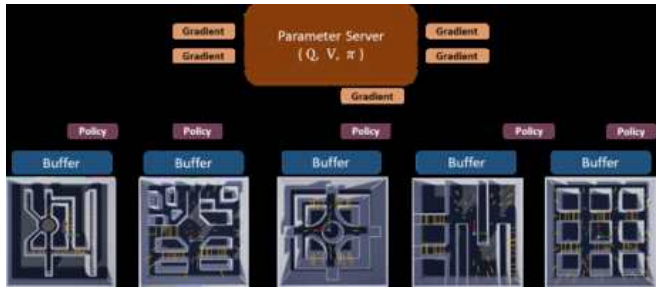


| | | |
|---|---|---|
| 유피시앤에스<br>(공동3) | 조선해양 고위험 작업장에서의 테스트베드 구축 및 성능시험 | • 조선해양 고위험 작업장에서의 테스트베드 구축 및 성능시험<br>- 차세대 IoT 무선통신망 LoRa 통신모듈 시제품 통합 테스트베드 구축<br>- Smart Gate 및 스마트 안전장구 시제품 통합테스트베드 구축<br>- 가스측정장치의 상용화를 위한 성능시험 지원<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| 대명엘리베이터<br>(공동4) | 선박건조 작업장 TEST BED 환경구축<br>및 승강기 안전관리 모니터링 시스템 개발 | • 선박건조 작업장 TEST BED 환경구축 및 승강기 안전관리 모니터링 시스템 개발<br>- 공동연구기관 개발 시제품을 대규모 테스트 시행 전 사전 소규모 및 단위 시험을 위한 Pre-Test 시험환경 조성<br>- 승강기 안전관리 모니터링 시스템 상용화<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| 팀솔루션<br>(공동5) | HSE 플랫폼 지원을 위한 3D 모델링 및 인터페이스 개발 | • HSE 플랫폼 지원을 위한 3D 모델링 및 인터페이스 개발<br>- 작업장 3D Model Load 및 화면 반응속도 500ms 이하<br>- HSE Platform 과 통신 체계 확립<br>- 모델링 및 Data interface 검색 속도 20% 향상<br>  <br><시스템 구성도> |

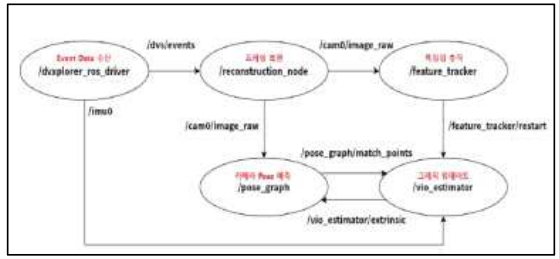
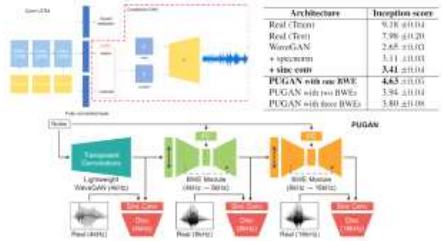
| | | |
|---|---|---|
| 스카이시스<br>(공동6) | GIS기반 스마트 항공모니터링 응용서비스 기술 | • GIS기반 스마트 항공모니터링 응용서비스 기술<br>- 내구성 향상 헬리카이트 안테나 시스템 고도화 상용화<br>  <br><시스템 구성도> |
| 인하대학교<br>(공동7) | 고속 고촉각출력 소자용 광응답 나노소재/구조 기술 개발 | • 촉각출력 소자 성능 고도화<br>- 촉각출력 소자의 응답성 및 촉각출력 강화를 위한 광응답 나노소자/구조 기술<br>- 고속 광응답성 변형을 위한 폴리머 나노소재 및 미세표면 구조<br>  <br><시스템 구성도> |
| 서울대학교<br>(공동8) | 전기 생리에 기반한 감각신호 대뇌 신경활동 분석 | ㅇ 시각정보를 청각신호로 전환하여 전달했을 때, 뇌반응에 대한 시간적 연결성 검증을 위하여 64채널 전극 캡을 이용하여 대뇌 전반에서 나타나는 뇌전도(EEG) 활동 측정<br>• 뇌전도(EEG) 신호처리 : 2500Hz 샘플링, D/C 신호 필터링 → 500Hz LPF 사용하여 측정 잡음 제거<br>• 연결성 분석 : 채널마다 기저선 구간 대비 증가하는 신호 대역 측정하고, Partial Directed Coherence(PDC) 방법으로 채널간 연결성 분석<br>- 측두-두정 채널(TP7,TP8), 두정-후두 채널(PO7, PO8), 정후두(Oz) 및 정전두(Fz) 채널 신호 분석<br>※ 뇌반응 분석은 공간적 반응을 분석하는 fMRI와 시간적 연관성을 분석하는 EEG 방식 등이 있으며,<br>※ 본과제는 fMRI를 이용한 공간적 특성을 분석하는 감각대체를 위한 일반적 접근과 달리, EEG를 이용한 뇌 영역별 연관성 분석하는 접근 시도<br>  <br>• 6명 참가자에 대해 도형 정보의 청각 대체에 따른 지각 가능성 및 뇌전도 네트워크 분석<br>- 3회 학습 후 평균 75%의 지각 정확도를 보였음<br>- θ대역(4-7Hz)에서 측두-두정엽 채널(TP7, TP8)과 두정-후두 채널(PO7, PO8) 간의 |

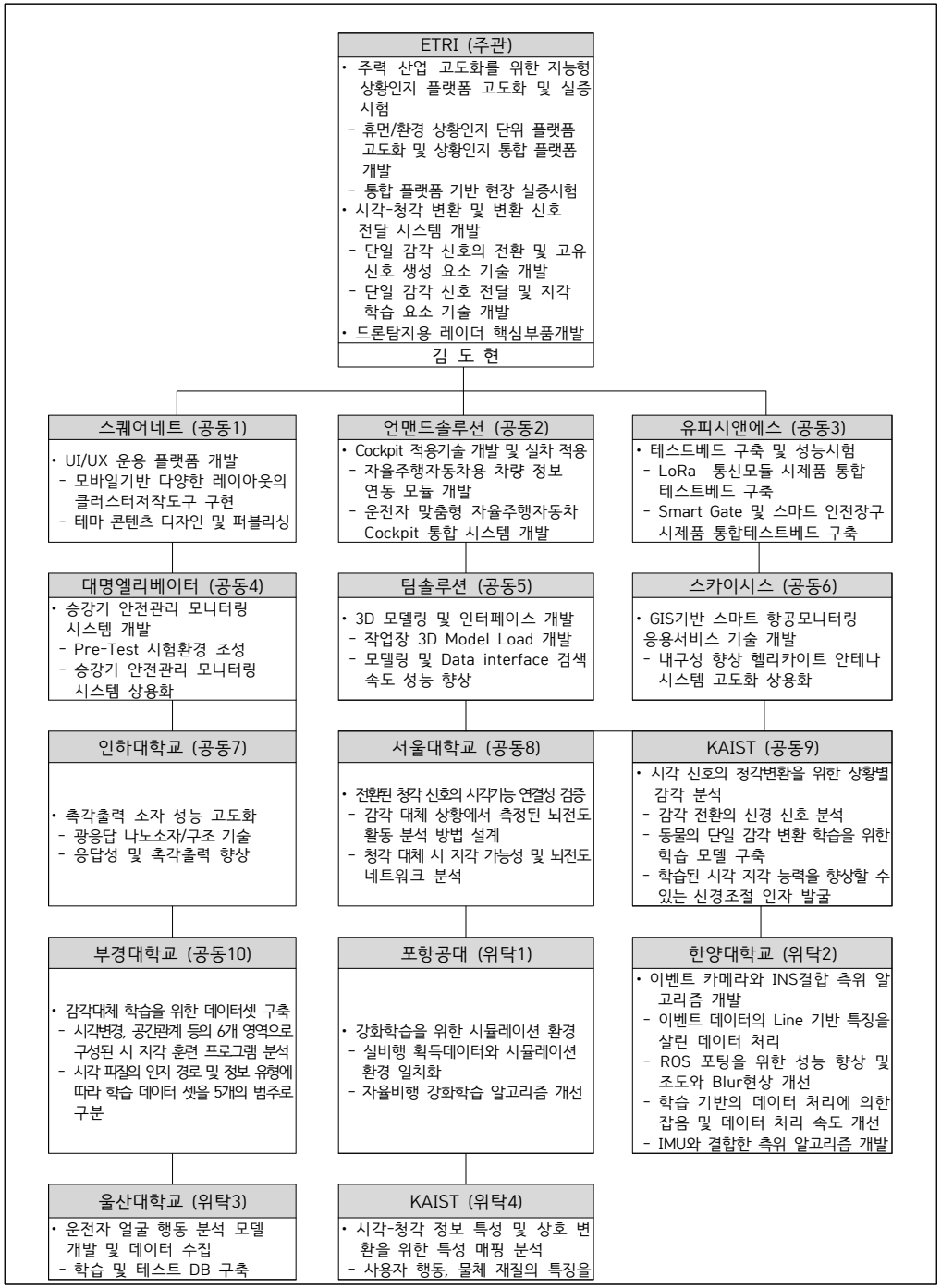


| | | |
|---|---|---|
| | | 연결성 증가 및 정후두(Oz)-정전두(Fz) 채널 간 연결성 증가되어 뇌의 시각 영역이 도형 지각에 연관된다는 것을 확인<br>  <br> |
| KAIST<br>(공동9) | 동물 모델 기반 감각정보의 지각 메커니즘 연구 | ㅇ 시각신호의 청각변환을 위한 상황별 감각 분석<br>• 사람 대상 측정이 불가능한 뇌 상세한 반응 기전 분석을 위하여, 감각 전환 신경 신호 분석<br>- 생쥐의 시각 피질, 청각 피질, 시청각 연합피질에서 내재적으로 보유하고 있는 시각 및 청각 자극 반응성 측정<br>- 생체 내 감각 반응성 매핑을 활용하여, 피질에 내재된 신경 신호는 일관된 방향각과 소리의 높낮이에 상호 매핑되어 있지 않음을 확인<br>  <br><br>• 동물의 단일 감각 변환 학습을 위한 학습 모델 구축<br>- 다중감각 정보의 의미학습 및 의사 결정 행동 측정 시스템 구축<br>→ 서로 다른 시각 및 청각 자극에 대한 의미 학습이 가능함을 확인<br>  <br><br>• 학습된 시각 지각 능력을 향상할 수 있는 신경조절 인자 발굴<br>- 생체 신경 세포에 발현되는 신경펩타이드인 소마토스타틴<br>→ 학습된 시각 지각 능력을 향상 시킴을 실험적으로 확인<br>- 단일 감각 지각도 고정된 것이 아닌 내재적 조절 인자에 의하여 향상될 수 있음을 규명 (Science Advances, 상위 4% 논문 게재) |

| | | |
|---|---|---|
| | |  |
| 부경대학교<br>(공동10) | 사용자 맞춤형 감각·지각 증강 학습 과정 연구 | ㅇ 감각대체 학습을 위한 데이터셋 구축<br>• 시각 정보의 감각대체 학습을 위한 데이터셋 구축을 위하여 시각변경, 공간관계, 형태 항상성, 도형배경, 시각통합, 시각-운동협응 등의 영역으로 구성된 시 지각 훈련 프로그램 분석<br>• 시각 피질의 인지 경로 및 정보 유형에 따라서 학습 데이터 셋 구분 및 도출<br>→ 5개의 범주, 하위 15개 레벨<br>- 범주 1: 시각 피질의 where system인 배측 경로 훈련<br>- 범주 2: 시각 피질의 what system인 복측 경로 훈련<br>- 범주 3: 3차원 공간에서의 절두체, 회전체 인지를 위한 훈련<br>- 범주 4: 공간 지각 능력 훈련<br>- 범주 5: 시각-운동 협응 능력 훈련<br>  |
| 포항공대<br>(위탁1) | 자율비행 가상환경 구현 및 HILS 기반 강화학습 | • 자율비행 강화학습을 위한 가상시뮬레이션 환경 구현과 HILS 기반 강화학습<br>- 드론 자율비행을 위한 가상공간 구현과 HILS/SILS 기반 강화학습<br>- 실 드론에서 획득되는 영상 및 센서 데이터와 캘리브레이션된 데이터 생성<br>- 자율비행 강화학습 알고리즘의 개선 방안 도출<br>  <br><br><강화학습을 위한 분산환경과 구성> |
| 한양대학교<br>(위탁2) | 이벤트 카메라 (Event Camera) 기반 측위시스템 개발 | • 이벤트 카메라 기반 측위 시스템 개발<br>- 이벤트 카메라의 데이터를 처리하여 높은 동적 상태 및 조도 변화에 민감하여 어둠에서도 잘 동작하는 특성을 이용하여 기존 RGB의 한계점을 극복하고 정확한 측위 기능 및 성능구현<br>- 주요기능 및 성능<br>✓ 이벤트 카메라의 특성을 살린 기존 RGB와 다른 데이터 처리 방법 구현 (시간 동기화와 |



| | | |
|---|---|---|
| | | 비동기화, 누적 프레임의 변화 방식의 데이터 처리)<br>✓ 이벤트 카메라의 데이터와 IMU와 결합하기 위한 시각 동기화 방법을 연구하고 Optical Flow에 의한 측위 알고리즘 개발<br>✓ 동적 특성에 강한 이벤트 카메라의 높은 데이터량을 처리하여 이를 Real-Time Operation-System (ROS)에 포팅<br>  <br><br><이벤트 카메라를 이용한 측위 시스템 구성도> |
| 울산대학교<br>(위탁3) | 차량용 임베디드 보드에서의 실시간 운용을 위한 운전자 얼굴 행동 분석 모델 개발 및 데이터 수집 | • 운전자 얼굴 행동 분석 모델 개발 및 데이터 수집<br>- 시뮬레이터 및 실차 기반 학습 및 테스트 DB 구축<br>- 운전자 얼굴 행동 분석 딥러닝 모델 개발 및 성능 분석<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| KAIST<br>(위탁4) | 시각-청각 정보 특성 및 상호 변환을 위한 특성 매핑 분석 | ㅇ 인공지능 모델 기반의 청각 정보 생성 기술 개발<br>• 묵시적 방법으로 청각정보 생성을 위해, 사용자 행동, 물체 재질의 특징을 인식하여 물체의 소리 정보 생성하는 경량화된 모델 개발<br>• 경량화된 WaveGAN을 통해 낮은 sampling rate 오디오 생성 후, 순차적으로 더 높은 sampling rate 오디오를 생성하는 PUGAN 모델 개발<br>- WaveGAN 대비 1/10 파라미터 수로 유사한 Inception Score 결과<br>- Intel i9-7902x, TITAN RTX(with 32GB)에서 16KHz 소리 생성 시 5ms 소요 (10ms 이하면 사람의 귀로 구분이 어려움)<br>  <br> |

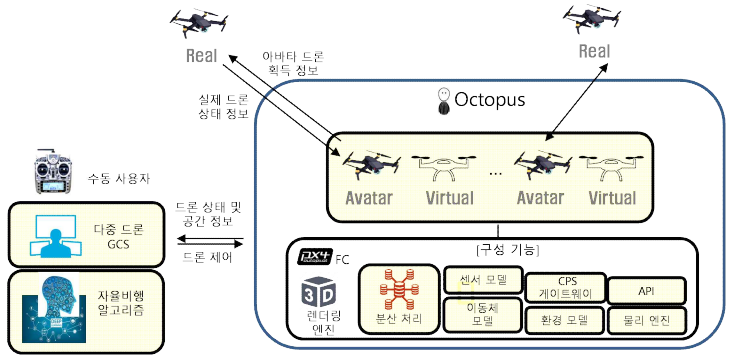




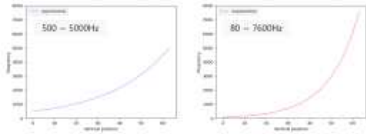
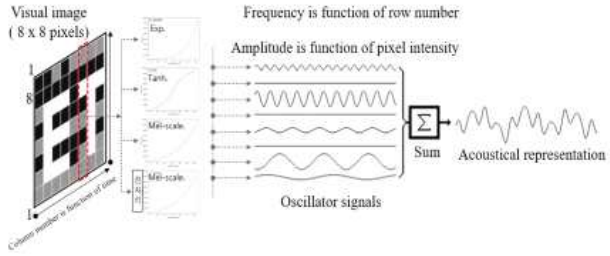
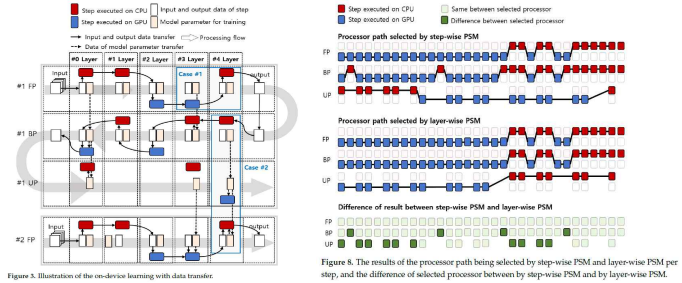

- 딥러닝 모델 성능 분석

인식하여 물체의 소리 정보 생성
- 경량화된 WaveGAN을 통해 낮은 sampling rate 오디오 생성 후, 순차적으로 더 높은 sampling rate 오디오를 생성하는 PUGAN 모델

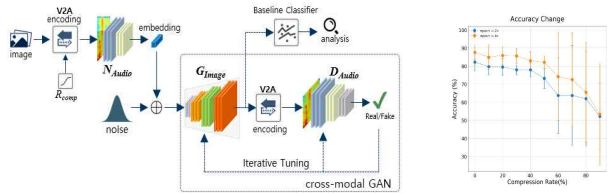
## (2) (1단계) 2차년도(2021년도) 개발 내용 및 범위

| 수행기관 | 개발 목표 | 개발내용 및 범위 |
|---|---|---|
| ETRI (주관) | 산업 데이터 거래 플랫폼 및 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구 | ○ 산업 데이터 거래 플랫폼 구조 연구<br>- 산업 데이터 거래 표준 조사 및 분석<br>- 데이터 생산자(제조기업) 및 사용자 (AI 솔루션 기업) 식별 및 인증 기술 연구<br>- 데이터 거래 플랫폼 개념 정의 및 요구사항 정의<br>○제조 협업지능 프레임워크 구조 연구<br>- 제조 협업 지능 학습 데이터 관리 기술 조사 및 분석<br>- 제조 협업 지능 프레임워크 모델 조사 및 분석<br>- 제조 협업 지능 프레임워크 요구사항 정의 및 기본 설계<br>○ 로봇지능(고정,이동)의 SEQ(Saftey, Efficiecny, Quality) 서비스 적용을 위한 환경조사 및 분석<br>- 고정 로봇 지능 기술 조사 및 분석<br>- 이동 로봇 지능 기술 조사 및 분석<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| | 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화 | ○ 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 통합공간 객체 투영 기술 연구<br>- 대규모 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화<br>- 드론 시뮬레이터 응용 기술 실증 및 고도화<br>- 대규모(100대) 드론에 대한 동시 시뮬레이션 성능 검증<br>  <br><br><시스템 구성도> |
| | 시각-청각 변환 기반 감각지각증강 자가-학습 시스템 개발 | [시각 정보의 청각 신호 전환을 위한 딥러닝 기반 고유 신호 생성]<br><br>○ 청각의 한계/유효 해상도를 고려한 시각 정보 전환 엔진설계<br>• V2A 변환에 효율적인 주파수 영역을 결정하기 위해 2개 주파수 영역(500~5000Hz, |



| | | |
|---|---|---|
| | | 80~7600Hz)에 5명씩 사용자 시험<br>- 5개 학습세션 시행 (학습주기 4일, 세션별 학습시간 30분) 후 1회 테스트 시행<br>→ 시험결과 80~7600Hz 대역이 효율적인 주파수 대역으로 판별됨<br>  <br><br>• 청각의 한계/해상도 고려한 V2A변환 엔진 설계<br>- 생성속도향상(60%↑), 신호축약(50%↓), 주파수 매핑, 이미지 처리 적용 V2A 알고리즘 개발<br>→ 전달률 2배, 소리를 통한 윤곽 • 위치 • 크기 • 밝기 정보 지각 가능<br>- 제한된 주파수 대역에서 인식률을 향상시킬 수 있는 효율적인 V2A 분할•매핑 알고리즘 결정을 위해, 4개 알고리즘에 대해 40명 참가자를 4개 실험군으로 구성하여 시험<br>※ 변환•매핑 알고리즘 : Exponetial, Tanh, Mel-scale, 전처리+Mel-scale<br>- 25개 도형 이미지(5개 기본도형, 20개 변형도형)에 대해, 6개 학습 세션(학습주기 2일, 학습시간 45분) 후, 각 세션마다 학습 후 지각 인지도 테스트 시행<br>→ 학습 후 4개 그룹 평균 인식률 72% (2차년도 목표 60%@정형데이터(10종) 대비 120% 달성)<br>※ 단위 학습세션은 기본도형 5개와 랜덤 선택된 변형도형 10개로 15회 반복(225개 문항)<br>※ 전체 25개 도형을 5회 반복 (125개 문항) → 학습하지 않은 도형에 대한 인지 정도 확인<br>  <br><br>• 임베디드 환경에서 감각신호 변환을 위한 딥러닝 알고리즘 가속화 (SCIE 논문지 게재)<br>- V2A를 적용하는 시스템은 HW 제약이 큰 신체 착용 형태로, HW 제약을 해소하여 기존 대비 30% 속도 증가한 임베디드용 딥러닝 학습 기술 개발<br>→ V2A 적용 가능, HW 제약 해소<br>- 컴퓨팅 자원이 제한적인 임베디드 시스템에서 딥러닝 학습을 위한 순전파(FP), 역전파(BF), 가중치 업데이트(UP)를 모두 고려한 학습방법 제안 및 임베디드 시스템의 CPU, GPU 및 공유메모리를 활용한 레이어 별 프로세서 선택 알고리즘 제안<br>  <br><br>Figure 3. Illustration of the on-device learning with data transfer.<br>Figure 8. The results of the processor path being selected by step-wise PSM and layer-wise PSM per step, and the difference of selected processor between by step-wise PSM and by layer-wise PSM.<br><br>○ 시각 정보의 청각 신호 전환을 위한 감각별 특징 모델링<br>• 딥러닝 기반 시각 정보 지각을 위한 지각해상도 검증 모델 (IF 상위 18.4% 논문지 게재)<br>- Cross-modal GAN 기반 V2A 변환 신호의 압축률 변화에 대한 청각해상도 분석 모델 개발<br>→ 많은 시간•비용 소모 및 개인차로 객관성 확보가 어려웠던 지각 검증 방법에 AI 모델을 적용하여 객관성을 확보하여, 다양한 변환 알고리즘의 효용성을 검증할 수 있는 기반 확보<br>- 청각 신호 변화시 효율적인 압축률 결정을 위하여, 변환 신호를 10 ~ 90% 변화하며 |

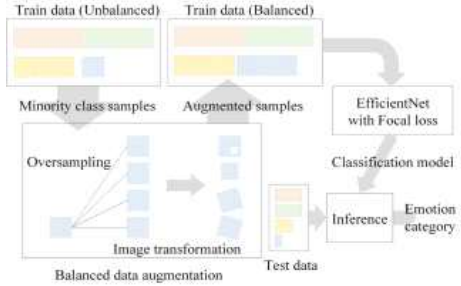
지각 해상도 분석하여, 최대 50%까지 압축된 음향에 대해 지각 가능함을 확인







• 데이터 증강 기반 영상 감정 분류 모델 (KCI등재지 게재)
- V2A 변환을 위한 시각정보 중 감정 정보전달을 위해 데이터 증강 기반 효율적인 감정 정보 분류 방법 제안
- 생성된 데이터 셋에 감정 분류 네트워크로 Focal loss(가중치 0.25, 집중정도 2.0)를 적용한 EfficientNet을 적용하여 작은 데이터 범주에 대해 랜덤 오버 샘플링(ROS) 적용 및 영상 변형을 통한 과적합 방지로, 소수의 특정 감정 범주에 데이터가 집중된 불균형 발생하는 문제 해소
→ 정확도 손실 없이 F1-스코어 기준 40% 향상된 범주별 불균형을 효과적으로 완화한 데이터 셋 생성



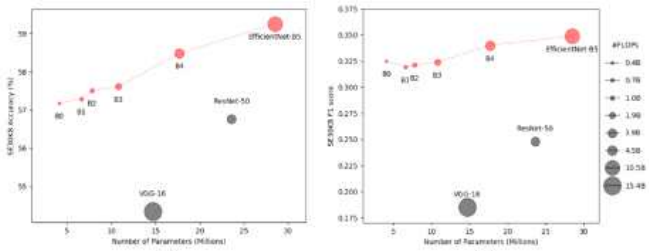
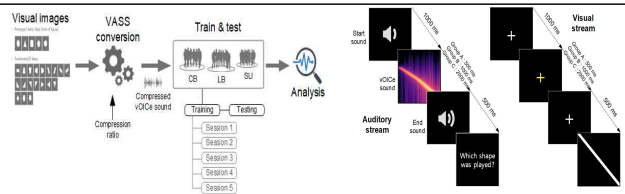



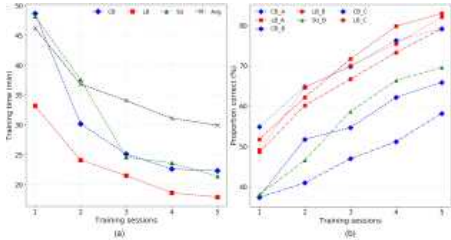

Fig. 5. Performance results on SE30K8 dataset. Red circles indicate the proposed methods that use balanced data augmentation and black circles indicate the existing methods that do not use data augmentation.

[청각으로 전환된 시각 고유 신호의 전달 기술 개발]
ㅇ 감각 전달 신호의 지각화를 위한 정량화 기술 개발
• V2A 변환 신호의 전달을 위한 시각장애인의 청각해상도 시험 절차 개발 (KCI등재지 게재)
- 25개 시각 데이터에 대해, 학습 시간이 차별화된 5회 세션으로 구성된 시험 절차 설계
※ 시각 데이터 : 5개 기본도형(원, 정삼각형, 정사각형, 오각형, 육각형), 20개 변형도형(기본도형을 회전•변환시킨 도형)
※ 학습 세션 : 학습과 평가로 구성된 5회 세션 구성 및 세션별 간격은 2 ~ 4일로 설정

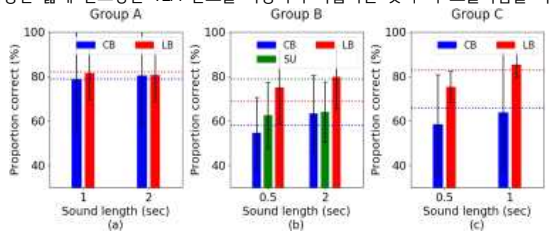




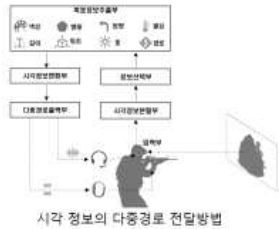

- 모든 참가자 실험군에서, 인코딩된 VASS 신호 유형과 무관하게 학습이 진행됨에 따라 학습에 필요한 학습 소요 시간이 현저하게 감소하는 현상을 확인

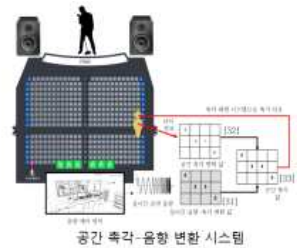



- 최종적으로 실험 참가자가 학습 과정에서 듣지 못한 다른 그룹들의 두 가지 길이의 V2A 신호에서도 시각 정보를 인식할 수 있는지 확인하기 위한 목적으로 교차 테스트 수행
→ 가능한 짧게 인코딩된 V2A 신호를 사용하여 학습하는 것이 더 효율적임을 확인



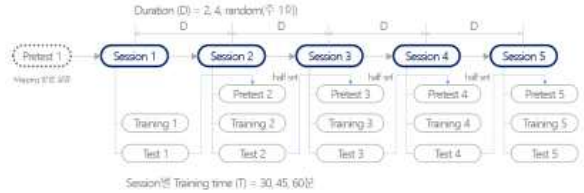
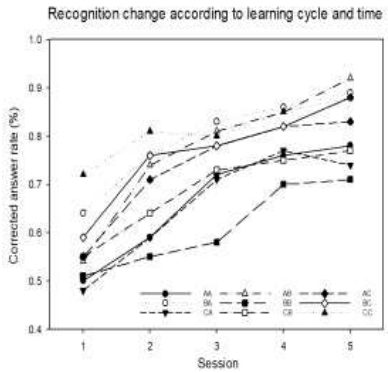

ㅇ 청각으로 전환된 시각 고유 신호의 전달 기술 개발
• 시각정보를 청각•촉각을 융합한 다중감각 신호로 효율적으로 전달하는 방법에 대한 핵심 IPR 선점
- 국내/국제 2건 출원 중(1건 PCT)


시각 정보의 다중경로 전달방법

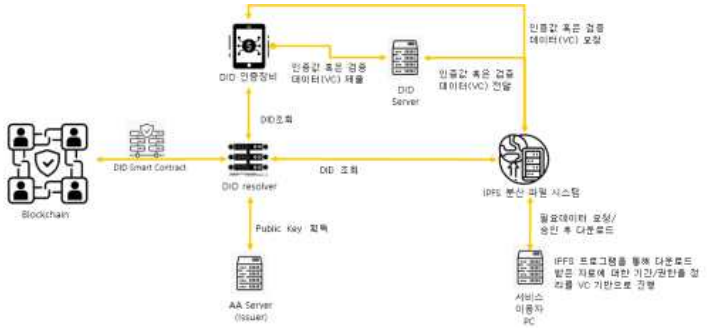

공간 촉각-음향 변환 시스템

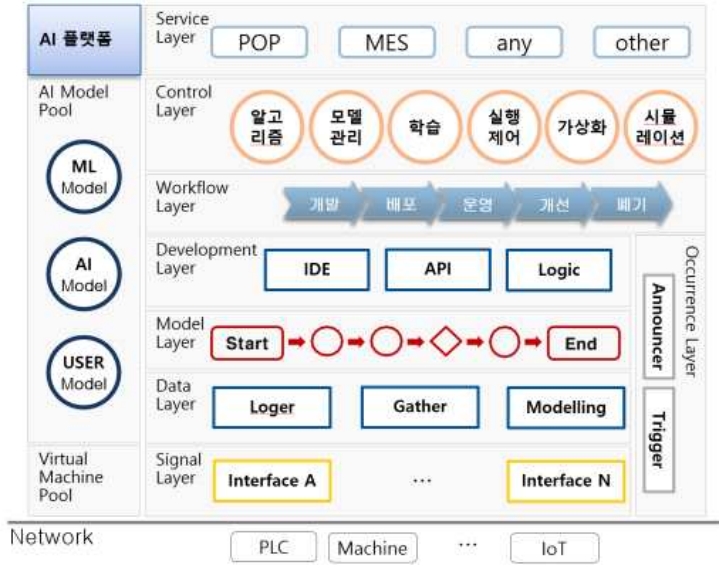
[제한된 환경에서 청각 기반 지각 학습 프레임워크 설계]
ㅇ 감각대체 학습기 프레임워크
• V2A 감각대체 실험 생성도구
- 실험중심 연구 지원을 위한 실험 자동 생성
- 다양한 실험 요구에 대응할 수 있는 환경 설정 및 실험 구성 지원



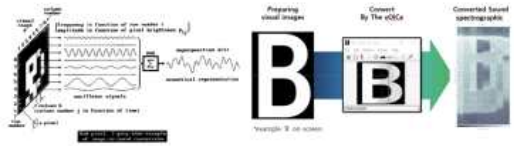
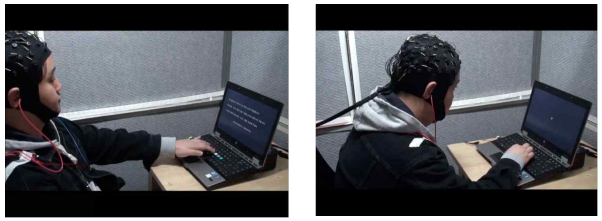
| | | |
|---|---|---|
| | | • V2A 감각대체 모바일 학습기<br>- 이동 환경에서의 학습 지원<br>- 서버와 연속된 사용자 경험을 제공하는 학습, 시험 및 실험 지원<br>  <br>ㅇ V2A 변환신호의 효율적인 학습절차 및 방법 도출<br>• 사용자 학습 시간 및 세션(5개) 주기 실험을 통해 V2A 신호의 기억 응고화(Memory Consolidation) 주기 및 학습 효율성 분석을 2일 간격, 45분 학습 프로토콜 도출<br>  <br>- 45명의 일반인 시험참가자를 학습시간(30, 45, 60분)과 학습 주기(2, 4일, 주1회)에 따라 5명씩 9개 소규모 실험군으로 구분하여, 단위 세션 당 효율적인 학습 시간 및 효율적인 학습을 위한 학습 세션간 주기 분석(Memory consolidation 주기 분석)<br>→ 2일 간격, 45분 학습(BA)이 가장 효율적으로 확인(사용자의 학습피로도와 인식률 기반)<br><br>그룹 \| AA \| BA \| CA \| AB \| BB \| CB \| AC \| BC \| CC<br>학습시간 \| 30 \| 45 \| 60 \| 30 \| 45 \| 60 \| 30 \| 45 \| 60<br>학습주기 \| 2일 \| 2일 \| 2일 \| 4일 \| 4일 \| 4일 \| 주1회 \| 주1회 \| 주1회<br>  |
| 비피앤<br>솔루션<br>(공동1) | 제조 데이터 보호·거래 플랫폼 현장 요구사항 조사 및 분석 | • 블록체인 기반 데이터 생산자 및 사용자 식별 및 인증 기술 요구사항 정의 및 분석<br>- 생산자 및 사용자 인증을 위한 시스템 요구사항 수집 및 정의<br>- 인증 기술적용을 위한 연구<br>• 산업 데이터 거래를 위한 플랫폼 현장 요구 사항 조사 및 분석<br>- 데이터 거래 플랫폼 개념 정의<br>- 블록체인 기반 사용자 및 데이터 접근 확인이 가능한 플랫폼 기본설계 |



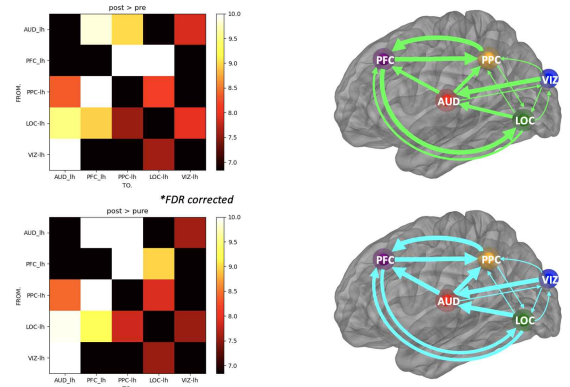
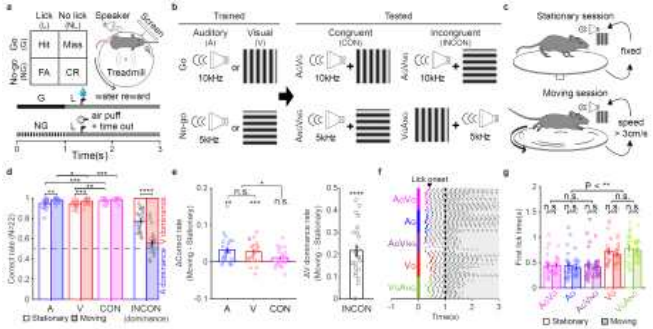
| | | |
|---|---|---|
| | | - 블록체인내 스마트컨트렉트를 통한 제조 데이터 무결성 보장 및 검증 방법 수립<br>  <br><시스템 구조도> |
| 에이테크<br>(공동2) | 제조산업 AI 기술 요구사항 수집 및 AI 프레임워크 설계 | • 협업지능 프레임워크에 대한 요구사항 분석 및 정의<br>- 4대 제조분야(조선, 자동차, 화학, 부품) 현장 데이터 분류 및 정의<br>- 제조 협업 지능 프레임워크 모델 조사 및 분석<br>  <br><시스템 구조도> |
| 엔소프트<br>(공동3) | 제조산업 협업지능 기술 및 서비스 플랫폼 현장 요구 사항 수집 및 정의 | • 협업지능 학습 데이터 모델링 요구 사항 정의<br>- 데이터 수집 및 저장 프로세스 정의<br>- 제조 AI용 데이터 표준 정의 초안 마련<br>• 현장적용 AI학습 API 및 UI 요구사항 정의<br>- 제조 SEQ 플랫폼 UI 요구 사항 정의<br>- 제조 SEQ 플랫폼 API 및 UI 설계 |

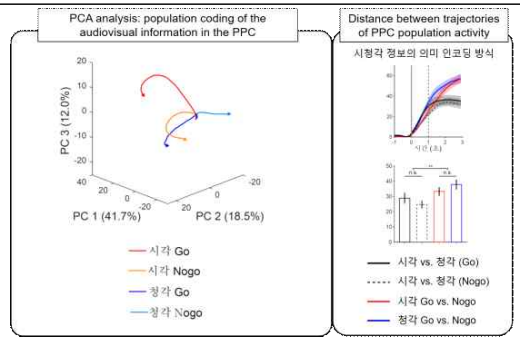
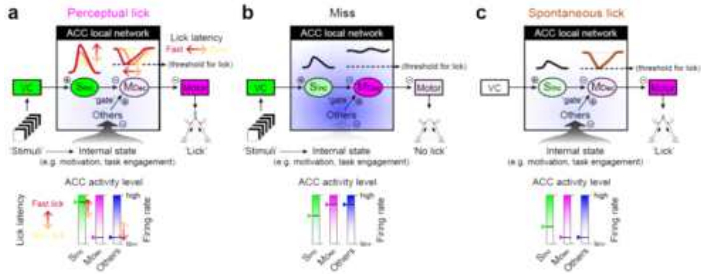
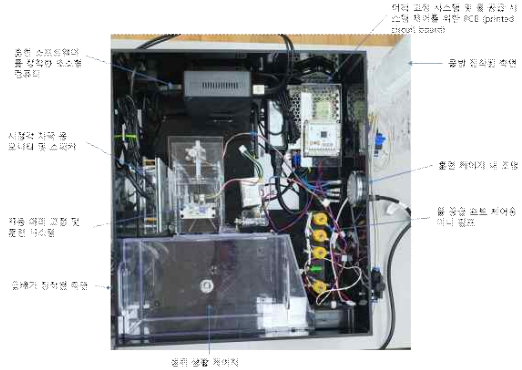



<시스템 구조도>

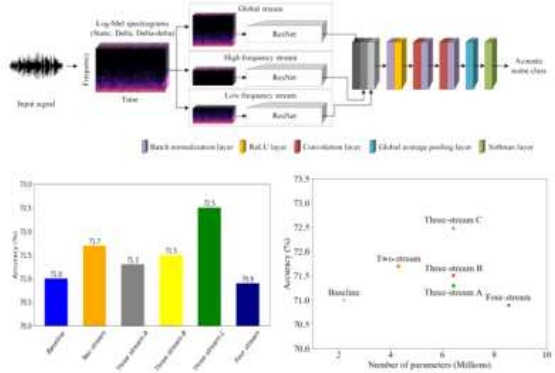
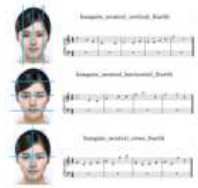
| | | |
|---|---|---|
| 서울대학교<br>(공동4) | 전기 생리에 기반한 감각신호 대뇌 신경 활동 분석 | ㅇ 시각-청각 변환 신호에 대한 대뇌 감각 정보처리 연결성 변화 분석<br>• 형태적 감각 정보를 청각 감각으로 제시하는 실험 패러다임 설계<br>- 총 20명의 실험 참가자에 대하여 3회 뇌파(EEG) 실험<br>- 학습 시행은 감각 대체 자극을 듣고 원본 글자를 상상한 후, 실제 시각적 이미지를 피드백 받으면서 진행<br>  <br>- 평가 시행은 감각 대체 자극을 듣고 4개의 선택지에서 정답을 선택<br>→ 첫 훈련 후 57%의 정답률(CL 25%)에서 3회의 훈련 후 평균 71%의 정답률 기록<br>  <br>• 시각-청각 변환 신호의 대뇌 신경활동 분석 및 정보처리의 시-공간적 변화 분석<br>- 감각 대체 자극을 듣는 중 대뇌 활동으로부터 감각 정보처리에 관여하는 5개 영역들 사이의 연결성 분석<br>- 해당 영역들은 청각 정보를 수용하고 처리하는 초기 청각 피질 영역(Auditory cortex, AUD), 시각적 정보를 수용하고 처리하는 후두엽의 초기 시각 영역(Visual cortex, VIZ), 글자의 형태 감각 정보를 처리하고, 복측 경로에 위치하여 대상 지각(object perception)에 관여하는 Lateral Occipital complex (LOC) 영역, 다양한 감각기관에서 오는 감각을 연합하고 정보를 정리하는 후두정엽피질(Posterior parietal cortx, PPC), 정제된 정보를 수용하고 행동을 위한 실행기능을 담당하는 전전두피질(Prefrontal cortex, PFC) 영역을 선정<br>- 해당 영역들의 뇌파 활동은 64개의 EEG 전극으로부터 전파원 추정(Source estimation) 방법을 통해 측정하고, 이들 사이의 연결성을 선형 모델 중 하나인 Partial Directed |

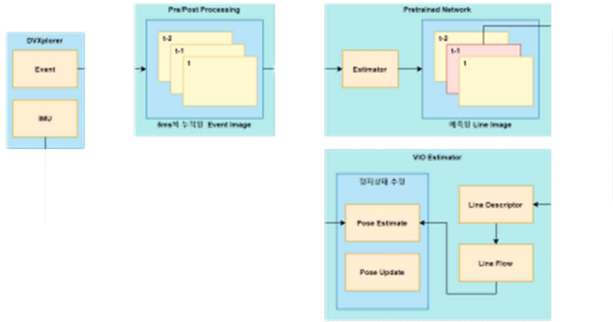


| | | |
|---|---|---|
| | | Coherence 방법을 통해 측정<br>→ 감각 대체 활동에 대해 유의하게 증가하는 연결성을 확인하고 이를 시각화한 결과, 시각 감각 영역인 VIZ에서 청각 감각 영역인 AUD로 향하는 연결성이 강화되었고, 언어처리를 위한 측두엽-두정엽-전두엽 네트워크가 강화되는 것을 확인<br>  <br> |
| KAIST<br>(공동5) | 감각 변환 자극에 대한 리시버 반응성 형성 메커니즘 분석 | ㅇ 시각 정보의 청각 전환에 대한 리시버 반응 메커니즘 규명<br>• 변환된 단일 감각을 통한 지각 행동 분석 동물 모델 연구<br>- 생쥐에서 시각과 청각 정보의 의미 매칭 학습 진행 및 분석<br>- 두 개의 방향선 (orientation) 자극과 높낮이가 다른 피치 소리를 각각 Go와 No-go 자극으로 pair로 학습되는 행동 패러다임 구축<br>- 머리가 고정된 상태와 자유로이 움직이는 T-maze에서 시청각 정보의 의미 학습이 가능함을 생쥐 행동을 정량적으로 측정하여 분석<br>→ 트레드밀 위에서 움직일 때와 움직이지 않을 때 시청각 정보를 인식하고 통합하는 능력에 변화가 생김을 확인<br>  <br>- 시각과 청각 정보의 의미를 학습하여 적절한 의사결정 행동을 수행하는 동물의 피질에서 신경 신호를 생체 내 calcium imaging으로 분석<br>- 시청각 정보의 연합이 일어나는 후두정피질에서, 시각 및 청각 자극의 의미에 따른 행동을 수행하는 동물에서 동일 의미의 시청각 정보에 대한 신경 반응성을 비교 분석<br>→ 신경 군집의 활성 패턴을 주성분 분석(PCA)으로 유사도를 계산하였을 때, 시각 정보와 청각 정보에 대한 신경 군집 반응이 동일 의미에도 불구하고 서로 다름을 확인 |

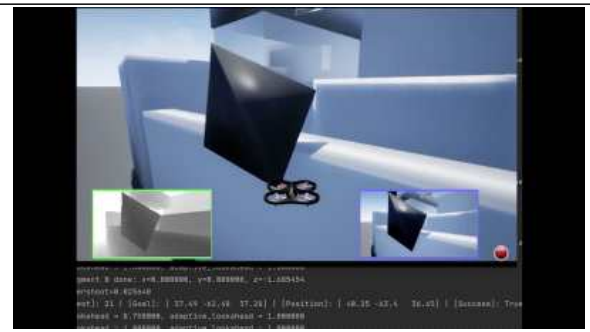
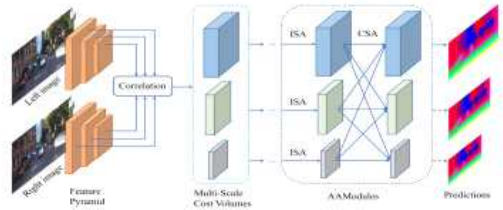
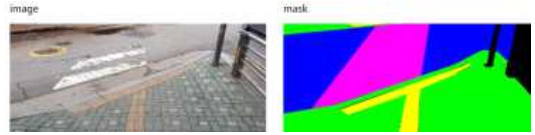
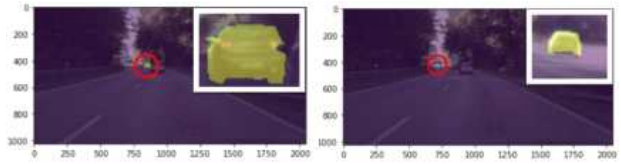
| | | |
|---|---|---|
| | |  <br>• 감각 변환 학습 후 새로운 기버 자극에 대한 정상적인 리시버 반응성 형성 메커니즘 규명<br>- 학습을 통해 고정된 자극의 변환 규칙을 이해한 생쥐 모델에서, 변형된 자극을 활용한 새로운 기버에 대한 정상적인 리시버 반응성이 유발되는지 여부를 분석<br>- 시각-청각 자극을 기버-리시버 자극 페어로 활용하여 생쥐 모델에서 동일 의미로 학습될 수 있는지 여부를 확인<br>→ 시각 자극 학습 이후, 변형된 시각 자극을 주었을 때 반응성 형성 과정에 자연적 변이가 형성되는 신경 원리를 규명<br>  <br>• 이종 감각 정보 간 1:1 전환 특질 신경 반응성 분석을 위한 실험 설계<br>- 불특정 다수의 이종 감각 정보 간 1:1 전환 학습이 가능한지 여부를 확인하기 위한 동물 학습 행동 자동화 시스템 구축 (진행 중)<br>- 동물이 자연스럽게 다양한 pair의 이종감각 정보를 연합하여 학습할 수 있는 시스템을 활용하여 학습한 생쥐에서 이종 감각 정보 특질 전환이 이루어진 정도를 정량적으로 모니터링 가능<br>  |
| 부경대학교<br>(공동6) | 사용자 맞춤형 감각 지각 증강 학습 과정 연구 | • 청각 인식 단계 acoustic scene classification 성능 향상<br>- local과 global 모든 정보를 활용하여 ASC 분류 성능 향상 방법을 제안<br>- ensemble 방법이 아닌 late fusion 방법을 활용해 model complexity 감소 |

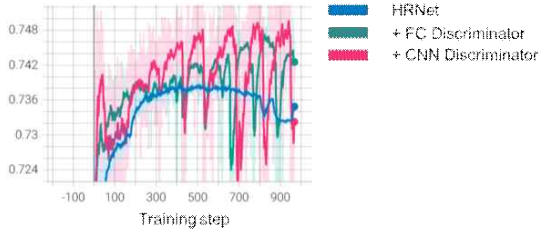
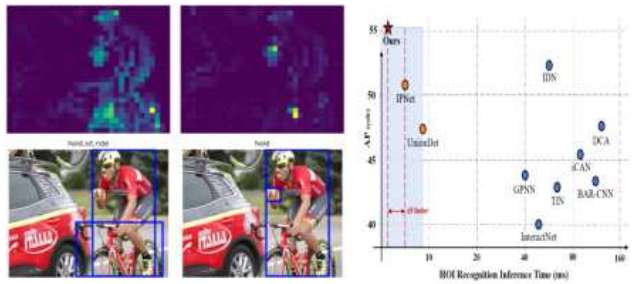


| | | |
|---|---|---|
| | | - high, low frequency와 함께 global stream을 각각 백본 네트워크인 ResNet으로 특징 추출 후 late fusion 적용하여 ASC 진행<br>  <br>• 객체 이미지를 감정 음악으로 변환하는 감각대체 기술 연구<br>- 감정 표현에 영향을 미치는 감정음악 요소 분석 및 선정<br>- RGB 색상정보를 이용한 음표 생성 알고리즘<br>- 얼굴 표정과 음악의 감정 표현 및 배경음악 관계 모델 정리<br>(분할된 영상의 개수) = (마디 수) × (마디 내 음표 수)<br>$(\text{음표의 박자}) = \frac{(\text{각 이웃 등분별 차이값})}{(\text{마디 별 평균 이웃 등분별 차이값})}$<br>  |
| UNIST<br>(위탁1) | 산업군별 제조 AI 모델 조사 및 사전 연구 | • 제조 산업에 활용되는 AI/ML 학습모델 조사 및 분석<br>- Scopus와 Web of science에 게재된 기계학습과 제조 관련 학술적 문헌을 중심으로 정량적 현황 분석<br>• 제조 산업에 활용되고 있는 학습데이터의 특성 분석<br>- 수집된 학술적 문헌을 바탕으로 데이터 유형 및 산업군 추출<br>• 주요 제조산업에 적용되고 있는 AI 기술 분류 및 분석<br>- 제시된 주요 산업의 종사자 대상 AI 적용 현황 및 대표 적용 사례 관련하여 자문<br>- 사례 및 학술적 문헌 중심으로 AI 기술 분류 및 분석<br>  <br><산업군별 AI 적용분야> |

| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><제조산업 데이터의 특징> |
| 한양대학교<br>(위탁2) | 이벤트 카메라와<br>INS결합 측위<br>알고리즘 개발 | • 이벤트 카메라와 INS측위 시스템 고도화<br>- 기존 이벤트 카메라 데이터 획득 및 처리 방안과 IMU와 시각 동기화에 이어 Visual Inertial Odometry (VIO) 알고리즘 고도화를 수행<br>- 주요 기능 및 성능<br>✓ 기존 이벤트 카메라에 RGB에 사용하는 특징점 추출대신 Line 기반의 특징을 이용하여 데이터 처리 (시간에 따른 특징점의 이동 파악 및 이동 속도 계산)<br>✓ 누적 프레임의 연속성 문제와 너무 많은 데이터에 의한 데이터 양을 학습 기반의 결과를 활용하여 ROS에 포팅이 용이하도록 개발<br>✓ 학습 기반에 의해 이벤트를 라인으로 변환하여 조도 및 잡음에 대한 기존 RGB 영상과 달리 Blur 제거 및 성능 향상<br>✓ Jetson TX2 실적용을 위해 CUDA코이를 이용한 병렬 처리로 해상도 보존 및 연산속도 향상<br>  <br><이벤트 카메라 Line기반의 VIO 구성도> |
| 포항공대<br>(위탁3) | 실외환경에서<br>강화학습<br>자율비행을 위한<br>가상학습환경 연구 | • 실외환경에서 강화학습 자율비행을 위한 가상학습환경 고도화<br>- 가시거리 및 신뢰성이 높은 깊이영상 획득방안 연구<br>- 시뮬레이션과 실외 환경에서 초음파 센서 데이터 획득방안 연구<br>- 실외 환경 및 가상 환경에서 영상 및 센서 데이터의 동조화 및 가상 학습 환경 구축 |



| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><투명물체와 소나를 포함한 환경 구성과 학습과정> |
| DGIST<br>(위탁4) | 실외환경에서<br>강화학습<br>자율비행을 위한<br>깊이영상획득 기술<br>연구 | • 실외환경에서 강화학습 자율비행을 위한 깊이영상 획득방안 도출<br>- 실외 환경에서 스테레오 카메라로부터 강화학습비행을 위한 깊이영상 획득방안 도출<br>- 신경망 또는 알고리즘 기반 깊이영상 획득 방안 도출<br>  <br><신경망을 이용한 깊이이미지 획득 구성도 AANet> |
| KAIST<br>(위탁5) | 시각정보의<br>의미영역 모델링을<br>위한 학습기법 연구 | ㅇ 시각 정보의 청각 신호 변환을 위한 딥러닝 기반 영상 데이터의 간략화 기술<br>• 효율적인 시각 정보의 의미 영역 분할 모델 개발<br>- 시각장애인을 위한 영상 인식 기반의 시각 보조 시스템을 만들기 위해서는 Segmentation을 통해서 영상을 잘 구분할 수 있는 기능이 필요<br>- Dataset을 구축에는 pixel 단위의 labeling이 필요하므로 많은 노동력 필요<br>  <br>• 적은 노동으로 높은 정확도를 갖는 의미 영역을 검출하는 딥러닝 모델 개발<br>- 작은 물체는 이미지에서 비중이 매우 적어 작은 물체를 찾는 작업은 사람에게도 어려운 일임<br>  <br>- Domain Adaptation을 기반으로 작은 사이즈의 이미지와, 합성한 이미지를 모두 학습에 이용하고 Discriminator를 Segmentation 모델에 추가적으로 사용<br>- 크기를 줄인 Middle, Large object는 Real label, Small object는 Fake label로 GAN Loss 학습<br>→ Small object에서 있는 복합적인 성능 하락 원인을 Discriminator를 통해 해결<br>  |

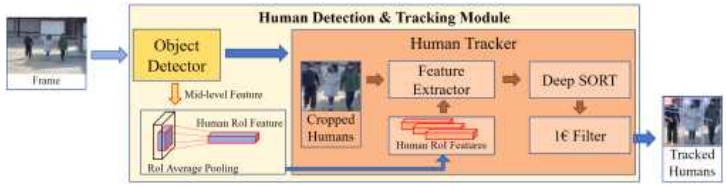
| | | |
|---|---|---|
| | | - HRNet 모델에 제안한 augmentation 기법을 이용해 small size object을 늘려서 실험<br>→ Discriminator를 통해 small object와 large object의 feature map 차이를 줄이도록 학습하면 성능이 향상됨을 확인<br>  |
| 고려대학교<br>(위탁6) | 자가학습 지원을 위한 visual description, visual relation detection 연구 | ○ 타인의 도움없이 시각-청각 변환 신호를 자가 학습할 수 있도록 시각정보 description 기술 연구<br>• 영상내 객체 뿐만 아니라 객체간 관계를 분석하여, 질의 응답을 통해 시각 장애인의 영상 지각 정도를 판단하는 자가-학습 프레임워크 기반 기술 확보<br>- 영상에서 같은 물체들이 감지되어도 물체간 관계에 따라 영상의 내용이 다를 수 있어, 시각장애인의 자가학습은 영상에 어떤 물체가 있는지 감지하는 것만으로는 충분하지 않음<br>- 이미지를 온전히 이해하기 위해서는 물체들 간의 관계에 대한 이해까지 필요함<br>- DETR(Detection Transfomer)를 HOI(Human Object Interaction)에 적용하여, Self-attention으로 문맥 정보를 한번에 파악할 수 있고 사람, 물체의 관계를 병렬적 탐지 가능<br>  |



## (3) (2단계) 1차년도(2022년도) 개발 내용 및 범위

| 수행기관 | 개발 목표 | 개발내용 및 범위 |
|---|---|---|
| ETRI<br>(주관) | 제조기업 SEQ 서비스 지원을 위한 기반 기술 개발 | ○ 제조기업 SEQ 서비스 기술 지원용 협업지능 플랫폼 핵심기술 개발<br>• 제조 데이터 기반의 협업지능 플랫폼 상세설계<br>• SEQ 서비스 개발 지원을 위한 협업지능 핵심모듈 개발<br>  <br><제조기업 SEQ 서비스 지원 구성도><br>○ 산업현장 이상상황 감시를 위한 경비로봇 기본 플랫폼 구축<br>• 멀티모달 센서 및 데이터 수집을 위한 플랫폼 구축<br>- 5종(RGB, depth, lidar, thermal, nightvision 등)이상의 센서 플랫폼 적용<br>- 상용 플랫폼을 활용한 지도 생성 및 자율 주행 구축<br>  <br>• 이상상황 검출 알고리즘 산업현장 적용<br>- 로봇의 안전한 주행을 위한 주행 가능 영역 획득<br>- 멀티태스킹 구조의 학습으로 물체검출과 주행 가능 영역 동시 추출<br>- Depth map을 활용한 주행영역내 장애물 검출 테스트<br>  <br>○ 작업자 위험구역 침입 감지 및 이상행위 검출 기술 개발<br>• 작업자 트래킹 및 위험구역 침입 감지 기술 개발<br>- 복잡한 작업 환경에도 휴먼을 안정적으로 검출/추적하는 기술 개발 |

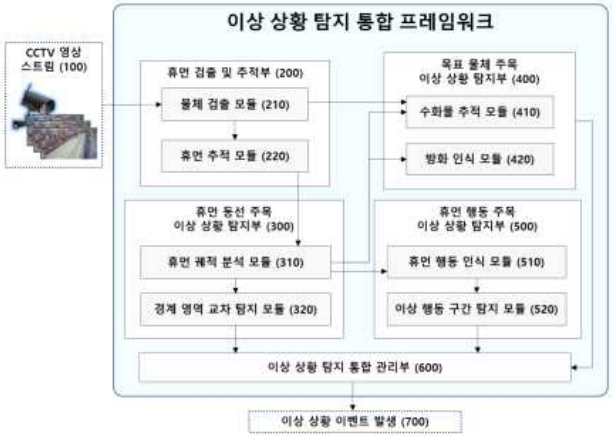
- 휴먼검출 모델의 mid-level 특징정보를 휴먼추적 모델에 재사용하여 추적 성능 향상
- 실제 제조 현장(울산 중산기업)에서 확보된 영상에서 침입 감지 성능 테스트




• 작업자 이상행위 검출 기술 개발
- 다양한 작업 자세에서도 작업자의 포즈를 추정하는 기술 개발
- 제조 현장에 특화된 이상행위 검출 기반 기술 개발 및 실제 현장(울산 중산기업)에서 쓰러짐 감지 성능 테스트



- 영상감시를 위한 휴먼 이상상황탐지 핵심기술 IPR 확보
※ 국내특허 1건 출원, 국제특허(미국/중국) 출원중, 프록그램등록 3건




• 위험구역 침입 감지 및 이상행위 검출 기반 기술에 대한 공인인증기관 성능 검증
- 한국인터넷진흥원(KISA)이 실시하는 영상 기반 이상행동 감지 공인 인증
- KISA의 사전 시험에서 7개의 이상행동 모두 성능 기준 통과(F1-score 90 이상)
※ 배회:98.7, 침입:97.3, 쓰러짐:94, 싸움:92, 유기:98, 방화:98, 마케팅:98
- 현재(22.11) KISA 본인증 진행 중이며 7개 행동 중 5개 행동이 성능 기준을 통과

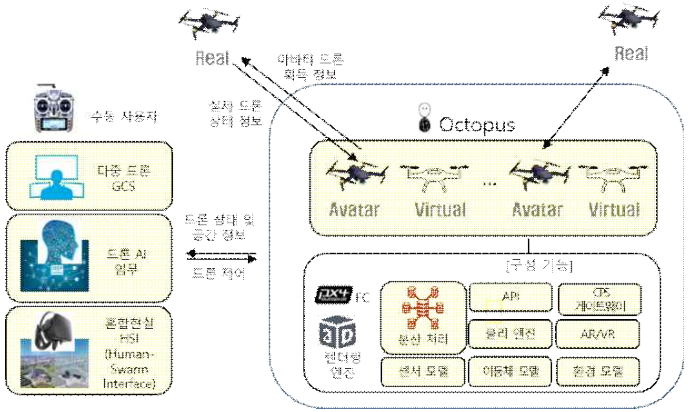





실제-가상 다중 드론 간 동기화 및 상호작용 기술 개발

○드론 CPS 객체 간 동기화 및 상호작용 기술 개발

• 통합공간 객체 동기화 기술 연구
- 실공간의 오브젝트 추가/변형/삭제를 준 실시간으로 시뮬레이터에 반영하기 위한 공간 정보 반영 런타임 매쉬 업로드 기술 개발
- 사용자 정의 환경 구성을 위한 오브젝트 배치 및 이동 UI 구현
• 통합공간 객체 간 정밀 모니터링/제어 기술 개발
- Real 드론을 CPS 상에 투영하기 위한 Real 드론 비행정보(위치, 속도, 방향) 반영 CPS Avatar 드론 객체 구현
- 실용화된 드론의 CPS 연결을 위해 CPS 투영에 범용 드론 텔레메트리 메시지 포맷인 MAVlink 적용
- Avatar 드론의 정보(영상 정보 등)을 실제 드론에 전송하여 안전한 AI 드론 실험(장애물 회피 알고리즘 등) 환경 구현
• 드론 CPS 활용기술 및 활용성 연구
- 인간-군집 상호작용 정의 및 몰입형 인터페이스 (VR 기기) 연동
- 몰입형 인터페이스(VR)를 통한 가상공간 모니터링 및 실감형 가상 드론 군집 상호작용
- 인간-군집 상호작용을 위한 군집 임무계획 자동화 알고리즘 연구
- 드론 센서 기반 Real-Virtual 동기화 범주 확장: 실제 드론이 관측한 실제 동적 외부 객체 (사람, 차량 등)의 가상 공간 투영 인터페이스 정의
- 실시간 CPS 연동에 특화된 드론 영상 내 동적 객체 탐지/인식 및 공간정보 복원 알고리즘 연구




<구성도>

• Octopus 구현
- 2+개 이상의 실제-가상 다중 드론 CPS 연동 구현
- 20+개 PC, 100+개 드론 클라이언트 일괄 관리 기능 구현 및 안정화
- 100+개 이상의 가상 드론 군집 및 SITL/ HITL/아바타 드론 혼합 군집 구현
- 가상현실(VR) 클라이언트를 통한 VR 기기 (HMD, 모션컨트롤러) 연동 및 몰입형 가상환경 모니터링
- VR 기기를 통한 인간-드론 군집 상호작용 인터페이스 구현

- Photogrammetry 기반 정밀 3D 모델의 시뮬레이터 내 실시간 런타임 메쉬 업데이트
- 관리자 GUI 및 VR 기기를 통한 런타임 중 3D 모델 실시간 이동/변경/배치
- 차량/사람 등 외부 객체 정보 투영 인터페이스 정의



<Octopus 구현 내용>

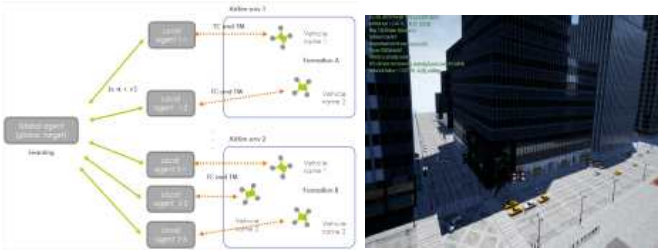
• FC용 UWB 드론 간 통신 모듈 개발 및 협업용 다중 드론 시스템 개발
- FC와 직접 연동 가능한 중장거리 UWB 통신 모듈 개발
- FC 직접 연동을 위해 기개발된 개발용 UWB 통신보드의 프로토콜 개선
- 개발한 UWB 통신 모듈과 시리얼 통신으로 연결되어 PX4 어플리케이션 개발 및 적용
- PX4 상에서 UWB 통신 모듈을 통해 교환한 데이터를 통해 편대 형성 알고리즘 개발 및 적용
- 다중 드론 협업을 통한 물체 운송 및 광고(현수막 광고) 고안 및 실제 실험 진행



<UWB 모듈 및 군집드론 협력기반 물체운송 필드테스트>

• 분산 다중드론 강화 학습

- 다중 드론들이 분산제어방식으로 임의의 포메이션을 형성
- 목적지까지 대형형성 및 장애물회피 비행이 가능한 강화학습 구현
- 시뮬레이션 및 실제 환경에서 다중 드론의 강화학습 에이전트 사이에 위치정보 공유



<분산 다중 드론 강화학습 및 Octopus 내 훈련 과정>

• 가상물리시스템 지원 다중 무인기 통합 임무관리 시스템 개발
- 다수의 가상드론과 물리드론의 동시 제어/감시
- 임무계획의 저장, 로드, 드론별 임무계획 할당
- 오픈맵 서비스 연동 및 커스텀맵 연동
- 임무계획 최적화 알고리즘을 이용한 경로 자동 생성
- No fly zone, 3차원 경로 설정, 경로 설정 옵션 추가
- 릴레이 서버 연동 TM/TC 송수신
- 릴레이 서버를 통한 아바타 드론 맵핑
- 아바타 드론의 임무 데이터 획득 API



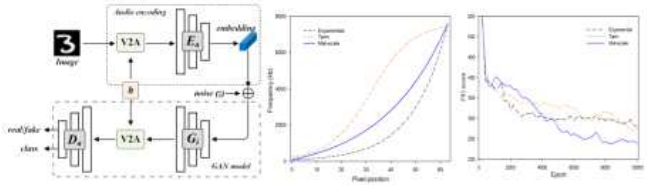



<3D 임무관리시스템 및 드론 CPS 용 릴레이서버>

단일 감각 기반 전달 신호의 지각을 위한 학습 프레임워크 구축 및 검증

❍ 시각 정보의 청각 전환 엔진 성능 검증

• 딥러닝 기반 V2A 변환 알고리즘 최적화
- 비선형적 청각 응답 특성 모델 반영을 위한 Mel-scale 기반 주파수 매핑방법 제안
- V2A 변환을 위한 효율적 주파수 영역 검증(80~7,600Hz)
- 지각정도의 평균증가율(AIR) 7.56% → 10.2%로 증가
- 딥러닝 모델 적용으로 V2A 알고리즘의 feasibility 검증에 대한 시간, 비용 절감 가능



• 딥러닝 기반 이미지 품질 개선(안개제거) 및 경량화, 실시간 처리 지원
- 품질 성능 저하 없이(3% 감소) 모델 복잡도 80% 감소,
- 처리 속도 7배 개선(실시간 가능)

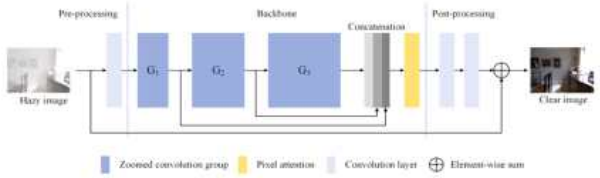



Fig. 2 Overview of the proposed method for real-time dehazing.

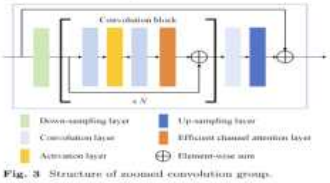
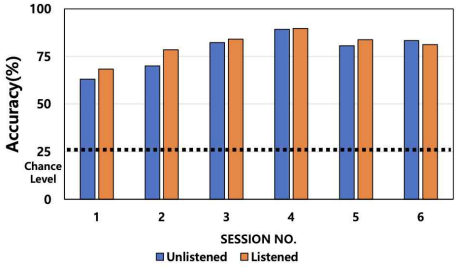



Fig. 3 Structure of zoomed convolution groups.

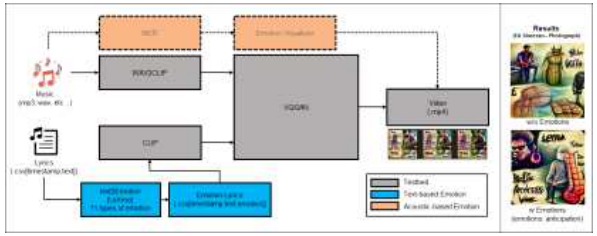
Table 2 Performance comparison to SOTA methods on SOTS dataset.

| Methods | PSNR (↑) | Avg. processing time (s) (↓) |
|---|---|---|
| DuRN [13] | 32.12 | 0.091 |
| GDN [14] | 32.16 | 0.040 |
| FFA-Net [15] | 36.39 | 0.206 |
| MSBDN [2] | 32.77 | 0.044 |
| Ours | 35.17 | 0.031 |

• 단일감각의 단일 우회경로(시각-청각) 기반 사용자 지각도 검증
- 15종의 정형데이터(도형)에 대한 지각인식율 측정(6회 반복훈련) 시행
  → 평균 정확도 75%@15종 정형데이터 (당해년도 목표 지각률 초과 달성)
- 1회 학습부터 chance level 대비 높은 정확도를 나타내었으며, 훈련의 반복과 함께 증가
  → 3회 학습 이후 정확도의 증가율이 낮게 나타남
- 3회 학습을 통해 청각적 자극을 통해 시각 정보를 지각할 수 있으며, 학습하지 않았던 대상에 대해서도 부분적으로 일반화 할 수 있음을 검증




• 청각-시각 변환을 위한 선행연구
  - A2V 변환 딥러닝 모델 분석 및 감정 기반 음향 시각화 기술 연구
  - A2V 변환 개발을 위한 시스템 환경 및 테스트베드 구축



<관련실적>
• 국내논문지 1건 게재 : *한국지능시스템학회논문지* (KCI등재지)
• SCI-E 논문지 4건 투고
  - J. Real-Time Image Process, IF 2.358, 53%, under review
  - Int J. Environ. Res. Public Health, IF 4.6, 24.4%, under review
  - Neural Networks, IF 8.1, 상위 8.9%, under review
  - Multimed. Tools. Appl, IF 2.75, 74%, under review
• 국내/국제학술대회 5건 발표
  - Int. Conf. ICT Converg. 2022 (**Best Paper Award)**
  - 멀티미디어학회(추계) (우수논문상)

❍ 단일 감각 기반 감각고유 신호 전달 모듈 시험

• 감각 수용체의 자극 전달 및 강도 매핑 최적화 연구
  - 모션 정보를 활용한 시각 정보의 촉각 전달을 위한 모션 특징의 영역 분할 및 매핑
  - 상용 전달 장치를 활용한 사용자 실험군 대상 검증 시행
    → 기존 윤곽선 기반의 방법보다 시각 정보와 일치하는 촉각 정보를 전달함을 확인 (6명의 실험자(mean=24.8세), 5종의 시험 영상 활용)




$$T_{fz} = \frac{1}{M} \times \left( \sum_{j=m \cdot f}^{m(f+1)-1} \sum_{j=n \cdot g}^{n(g+1)-1} F_{ij} \right)$$

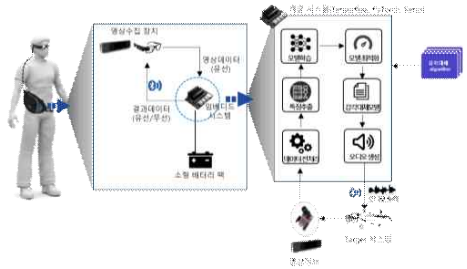


영상의 모션정보 추출 및 정량화 매핑

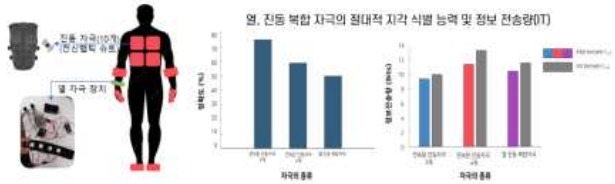
• 단일감각 기반 감각대체 신호의 실생활 환경 검증용 플랫폼



- V2A 변환 기술의 사용자 시험을 위한 착용/휴대 플랫폼 개발
- 영상/음향 정보의 Haptic 장치 전달을 위한 연동 인터페이스 개발



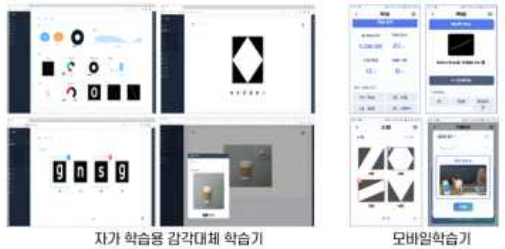
• 열 진동 자극의 시공간적 변조를 통한 촉각 정보 전달량 분석
  - 개별자극 및 자극 조합의 시간적 패턴 설계 및 지각 능력 검증
  - 촉각 자극 개시를 위한 신체 부위 탐색 및 공간적 변조 방식 설계




<관련실적>
• 국제, 국내학술대회 3건 발표
  - EuroHaptics 2022 (2022.05.)
  - 한국정보처리학회 ACK2022 (2022.11.)
• 국내특허 출원 2건, 국제특허 출원 2건

❍ 제한된 환경에서 청각 신호 기반 시각 정보 지각 학습 프레임워크 구축

• 감각지각증강 자가-학습 시스템 개발
  - 학습 콘텐츠 증강, 확장 및 라이브러리 관리 기능 제공 (단일 오브젝트/복합 오브젝트 렌더링/실시간 영상)
  - 데이터 기반 학습 설계를 위한 기초 데이터 수집 및 관리
  - 실험 설계에 따른 실험 데이터 세트 자동 생성



자가 학습용 감각대체 학습기 모바일학습기



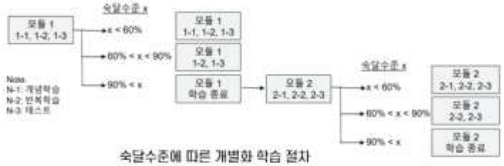
사용자 실험 자동 생성 도구

-

• 지속 가능한 학습  지원을 위한 교육 이론에 기반 학습 설계
- 소리 패턴에 따른 이미지 범주화(6개) 및 데이터 기반 난이도 평가
- 교육 이론에 기반한 비교와 대조, 변형을 통한 개념학습, 반복 및 전이 학습 전략 설계
- 숙달 수준 모니터링 및 누적 반복 학습을 통한 개별화 학습 프로그램 설계



교육기반 V2A학습 프로그램 흐름도


숙달수준에 따른 개별화 학습 절차

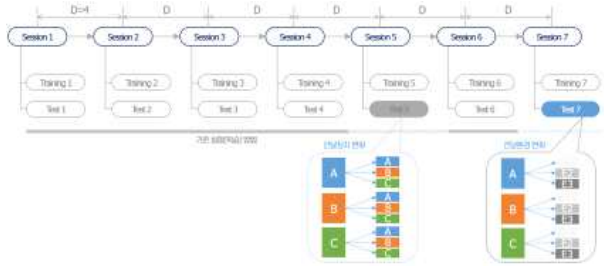
<관련실적>
• 국제학회 1건 발표 :  CVPR 2022 (Top-tier Conf.)
• 프로그램 등록 1건
- 감각대체 학습기 (등록번호: C-2022-018311, 22.04 완료)
• 국내특허 출원 1건
- 객체 이미지와 이미지로부터 획득한 고차원 정보를 음악으로 변환하는 방법

❍ 사용자 분석을 통한 청각 신호 기반의 지각 검증

• 환경 요인에 따른 시각-청각(V2A) 변환 신호의 전달 효율성 분석
- 음향 전달 환경 및 전달 장치 변화에 따른 V2A 변환 신호의 전달 효율성
- 실험참가자 규모는 G*power program (Heinrich-Heine-Universitat Dusseldorf Germany)을 사용하여 계산(effect size=0.45, power value=0.9 및 alpha=0.05 적용)
→ 실현 가능성을 고려하여 연구대상자 수를 45명(계산값 36명)으로 산출

| 테스트그룹 (전달장치) | 생활 환경음 | | | 합계 |
|---|---|---|---|---|
| | 자연환경 (E1) | 실외 보행환경 (E2) | 실내 생활환경 (E3) | |
| 무선 이어폰 (Group A) | 5 | 5 | 5 | 15 |
| 헤드셋 (Group B) | 5 | 5 | 5 | 15 |
| 골전도 헤드셋 (Group C) | 5 | 5 | 5 | 15 |
| 합계 (명) | 15 | 15 | 15 | 45 |

- 실험 절차: 1초 길이의 V2A 변환사운드, 4일 학습주기로 7세션 구성 (21년 사용자 실험결과 반영)

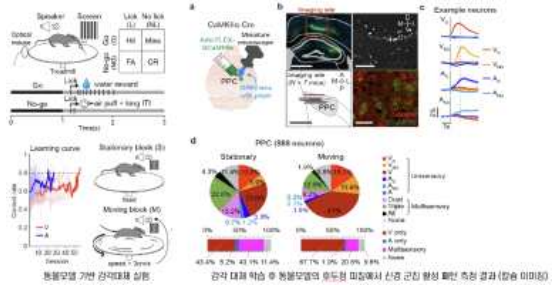


- 실험 결과 전달 장치에 따른 사용자 그룹의 지각 인식률 변동은 크게 영향을 미치지 않았으며, 실생활 환경음이 혼재된 상황에서는 환경음에 따라 약간의 인식률 저하가 발생

• 동물모델 기반 감각대체 학습의 영향 분석
- 감각 변환 학습 후 새로운 자극에 대한 리시버 반응성 형성 분석
- 감각 변환 자극 학습에 의한 신경 네트워크 변화 실험



- 성체 생쥐 3~6마리에서 감각 변환 학습이 가능 여부를 확인
- 매칭되는 시청각 자극이 시각피질과 후두정 피질 내에서 동일한 신경세포의 활성화 여부 시험 (calcium imaging 분석)
→ 시청각 자극 정보를 연합 처리하는 후두정 피질의 뉴런 확인


동물모델 기반 감각대체 실험 / 감각 대체 학습 후 동물모델의 후두정 피질에서 신경 군집 형성 확인 측정 결과 (합습 이미지)

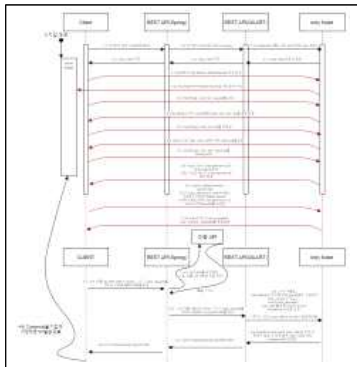
<관련실적>
• SCI 논문 1건 게재
- Molecular Brain, IF 4.04, 58%, 게제완료

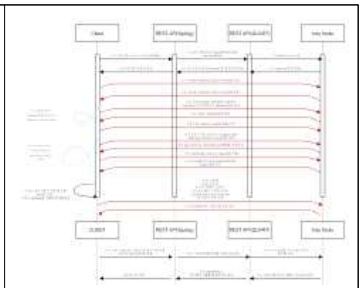
비피앤솔루션 (공동1)

제조 데이터 보호·거래 플랫폼 상세 설계 및 프로토타입 개발

❍ 데이터 생산자(제조기업) 및 사용자(AI솔루션기업) 접근 통제를 위한 DID 구조 설계 및 모듈개발

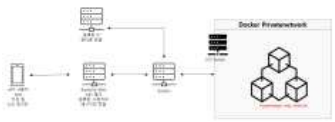
• DID 구조 상세 설계
- DID를 통한 사용자의 인증을 위한 프로세스 정리
- 사용자 인증 처리를 위한 시스템 구성 개발ㄴ
• 접근제어를 위한 VC발급 모듈 상세 설계
- 사용자의 인증 시 블록체인 네트워크 내 인증 생성 및 사용자에 대한 인증을 처리하기 위한 VC발급 부분 상세 설계 진행
- 사용자 인증 처리된 VC의 사용자 지갑 저장 구성
- 사용자 지갑 보유 VC에서 정보 추출하여 VP 생성
- 로그인 및 거래를 위한 본인 인증 처리 시 VP 제출 모듈 구성
- VP의 인증을 통한 웹 로그인 및 모바일 로그인 처리 구성
• 제어 VC발급 모듈 및 DID Document 모듈 상세설계
- VC의 제공은 VP의 형태로 제출 및 DID Document 인증 처리 진행
- VP 인증 프로세스에 대한 세부 정의


<VC 발급 프로세스>


<VP를 통한 인증처리 프로세스>

❍ 블록체인 기반 개별 사용자 인증 시스템(DID) 세부 설계 및 통합 개발

• 개인인증을 위한 인증기관 연계 모듈 구현
- 인증기관 연계를 위한 Trust Anchor Credentials 구성
- 구성된 Trust Anchor Credntials 테스트 진행



<DID 인증 구성 및 네트워크 구성>



<DID 인증 네트워크 구성>

• 개인인증, 통합 인증 SSO, 정보제공 모듈 구성
  - 개인인증을 위한 DID 네트워크 구성
  - 인증 네트워크를 위한 node 설정 및 구현

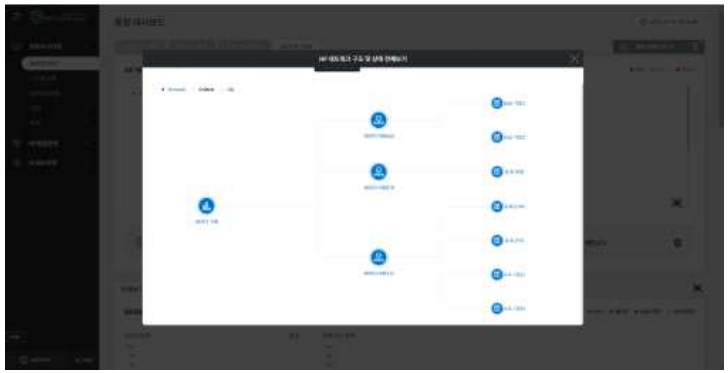
• 접근제어를 위한 사용자 인증 모듈 구현
  - DID 기반 사용자 인증 모듈 구현
  - DID 기반 VC, VP 발급 및 인증 처리 부분 구현

○ 제조 데이터 보호·거래 플랫폼 데이터 저장 및 조회를 위한 IPFS 세부 설계 및 모듈 개발

• IPFS 네트워크 구성을 위한 모듈 상세 설계 및 구현
  - IPFS 네트워크 구성 관련 모듈 설계 진행
  - IPFS 네트워크 구성 관련 구현
• P2P제어 및 관리 모듈 상세 설계 및 구현
  - P2P 제어 및 관리 모듈 상세 설계 진행
  - P2P 제어 모듈 구현 및 테스트 진행
• 파일 제어 및 CID 연동 관련 모듈 상세 설계 및 구현
  - VC의 제공은 VP의 형태로 제출 및 DID Document 인증 처리 진행
  - VP 인증 프로세스 세부 정의

○ 제조 데이터 보호·거래를 위한 스마트 컨트렉트 상세 설계 및 개발

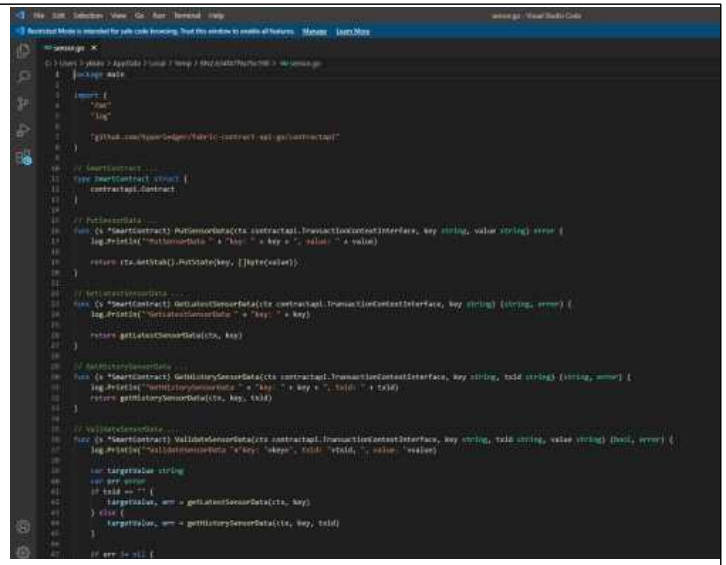
• Hyperledger Fabric 블록체인 테스트 네트워크 구성
  - 데이터 거래를 위한 데이터 거래 Channel 구성
  - Channel 내 데이터 거래를 지원하기 위한 조직(3org) 생성
  - 데이터 공급, 데이터 중계, 데이터 수요 Organization 구성
  - Organization 내 peer 구성



<블록체인 네트워크 구축 및 상태 모니터링 구현>

• 표준계약정보 적용을 위한 스마트 컨트렉트 구조 설계 및 모듈 개발
  - 표준 계약 정보 관련 내용 정리
  - 계약정보의 hash 저장을 위한 스마트 컨트렉트 구조 정리
  - DID 인증을 통해 거래 당사자의 승인 처리 후 스마트 컨트렉트 실행 처리 구성





<블록체인 스마트 컨트렉트 개발>

• 제조 데이터 정보연동을 위한 스마트 컨트렉트 개발
  - 제조 데이터 정보의 제공 및 거래, 다운로드 이력등을 저장하기 위한 히스토리 관리 스마트 컨트렉트 설계
  - 스마트 컨트렉트 개발 및 배포



<블록체인 스마트 컨트렉트 피어설치 및 채널 배포>

○ 제조 데이터 보호·거래를 위한 프로토타입 구현

• 개인인증 모듈 및 IPFS 모듈, 블록체인 스마트 컨트렉트 API 연동을 통한 프로토 타입 구성
  - 모바일 기반 개인인증 APP 구현
  - 데이터 거래를 위한 포탈 구현




<DID 정보 확인 APP>



<DID 가입 처리 >



<DID 발급이력관리 >



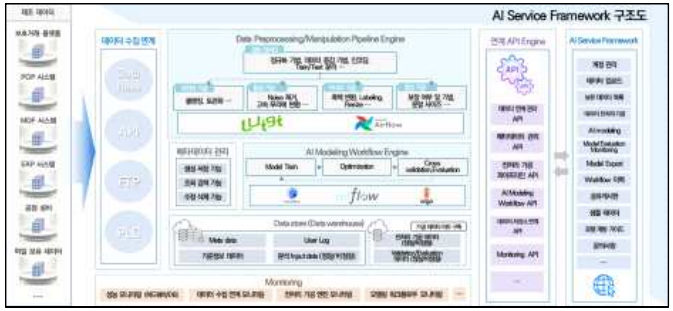
<DID 인증이력 관리 >

• 프로토타입 테스트 진행
- 개인인증 프로토타입 테스트 진행
- 데이터 거래 테스트 진행

에이테크
(공동2)

제조 협업지능
프레임워크 기능 구현

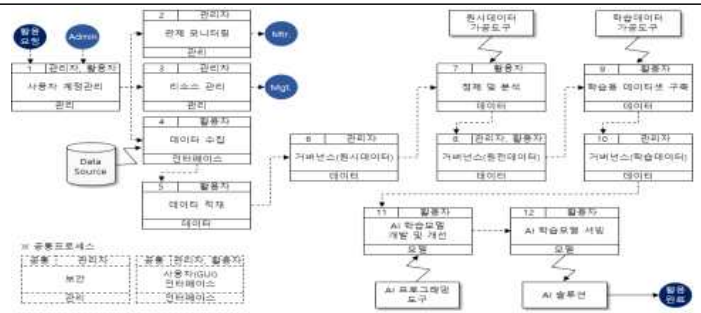
○ 제조 협업지능 프레임워크 상세설계 및 기능 구현




<제조기업 SEQ 서비스 프레임워크 구조도>

• 제조 AI 프레임워크 상세설계



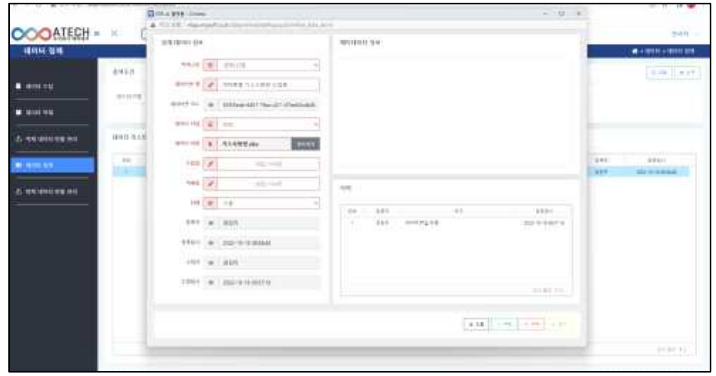


<프레임워크 표준 프로세스 설계>

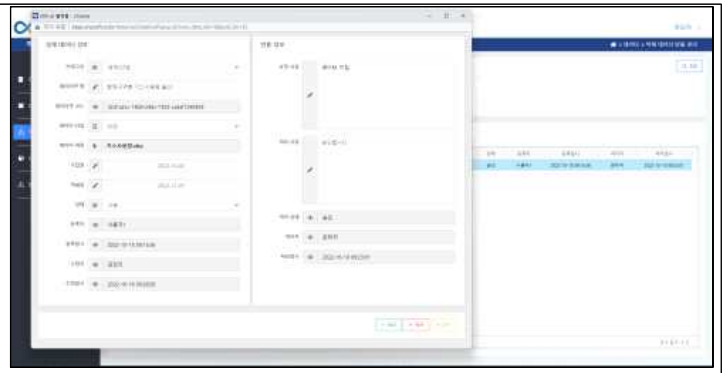
• 제조 협업지능 프레임워크 기능 및 프로토타입 모듈 구현



<프레임워크 데이터 거버넌스 대시보드>



<프레임워크 데이터 핸들링 구성 기능>

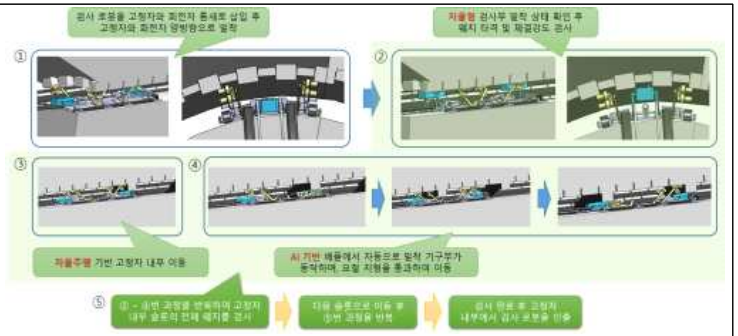


<프레임워크 데이터 반출승인 관리 기능>

- 학습용 데이터 수집/관리 관련 거버넌스 구성 및 정제/분석 기능 구현
- 개발 AI 모델 서빙을 위한 데이터셋 구축 및 학습모델 개발, AI 모델 서빙 기능 구현
- 제조기업 SEQ 지원용 API 인터페이스 구현

| | | |
|---|---|---|
| 유진기술<br>(공동3) | 철 가공품 품질<br>검사 및 원격 유지<br>보수용 협동 로봇<br>시제품 개발 | ○ 철 구조물 품질 검사 대상 선정<br>• 울산시 주요 대형 플랜트 사업장 내 대상 업무를 기준으로 분석<br>- 업무효율증대, 작업위험성 감소, 비용 절감의 기준으로 대상 업무 조사<br>  <br><br>- 조선 분야 : 용접로봇계열 특허와 상용제품이 출시된 상태로 새로운 연구를 통해 신기술 개발의 필요성 미흡<br>- 석유화학 분야 : 배관검사 관련 기술 및 깊이 있는 연구를 진행한 강소기업이 많고 관련 해외 제품도 존재하여 시급성과 필요성 미흡<br>- 발전 산업 분야 : 발전기 안전 검사 분야의 경우 현재 수작업으로 진행하고 있어 이의 연구가 필요하며, 산업안전과 작업 효율성에 크게 기여할 것으로 기대됨<br>- 결론 : 발전기 고정자 웨지 체결강도 검사 및 유지보수를 위한 원격 협동 로봇으로 선정<br><br>○ 산업현장의 발전기 고정자 웨지 체결강도 검사 공정 계획 수립 |






○ 시스템 개요.




발전기 고정자와 회전자 사이 약 4.5cm 공간을 주행하며, 고정자 권선 고정용 웨지의 체결강도를 검사하는 원격 로봇 시스템

○ 기술개발 내용



<좁은 틈새 및 배플(냉각존 턱) 구간 주행이 가능한 지능형 검사로봇 개요>

• 회전자 미인출 시 고정자와 회전자 사이 좁은 틈을 상하 압착 형식으로 지지하여 수직력을 유지하고, 수소 냉각 존의 보호를 위해 설치된 고무 재질 베플 지역을 통과하기 위해 상부 압착 기구물이 베플 통과를 위해 본체로 밀착하고 다시 수직력을 위해 고정자 방향으로 압착하는 구조의 로봇 개발

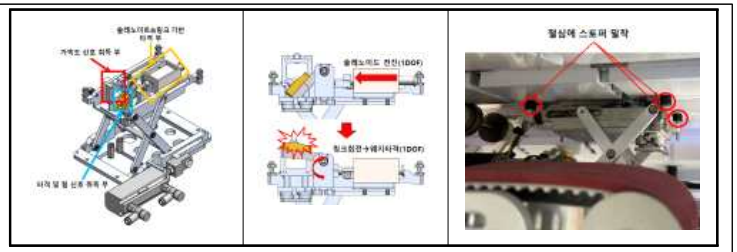


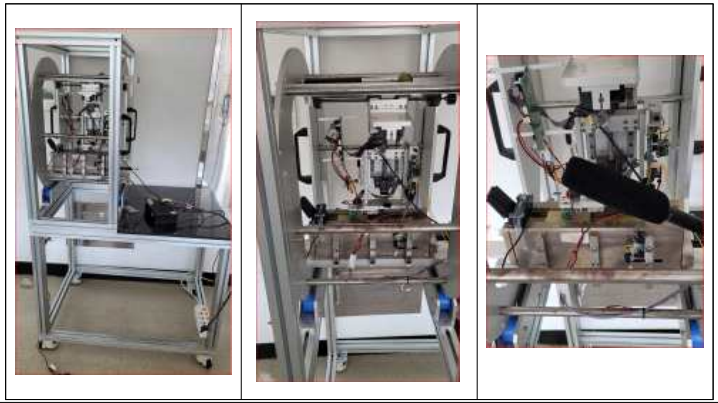
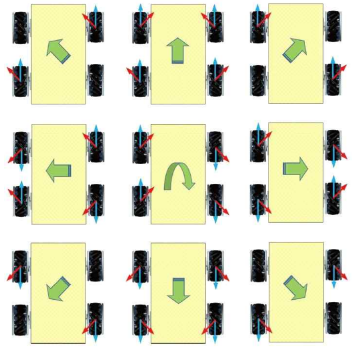
<좁은 틈새 철구조물 주행 로봇 개발>



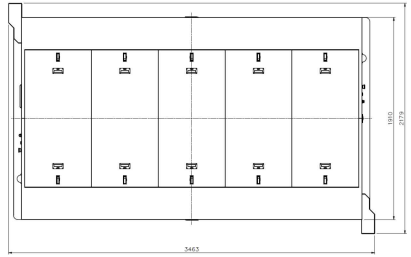
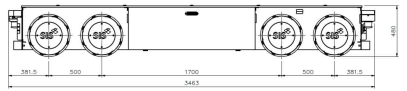
<테스트 베드 주행 실험>

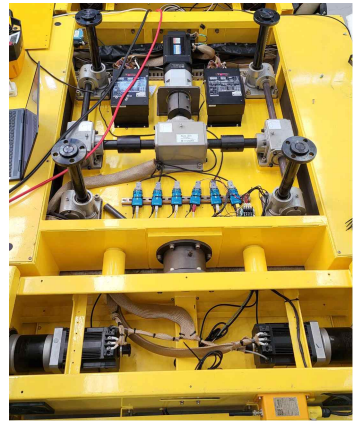
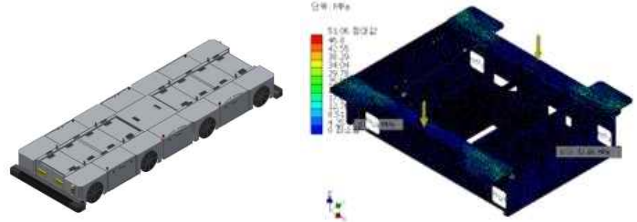
• 웨지 타격센서를 웨지에 밀착시키고 타격을 할 수 있는 타격기와 타격 음향을 취득하기 위한 마이크로 구성된 타격 시스템 개발

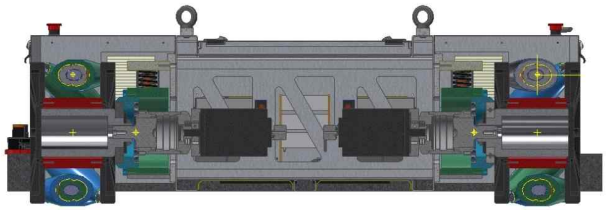
<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>


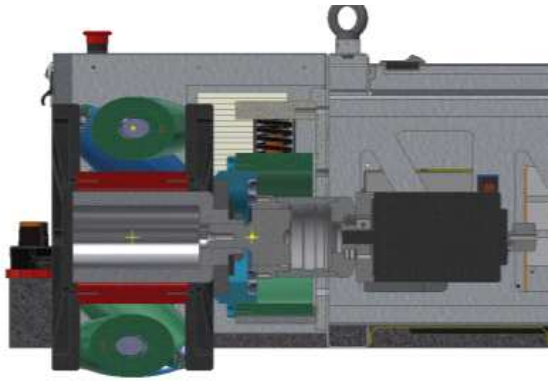
<br>• 다양한 형태의 타격음 데이터 취득을 위한 테스트베드 개발

</td>
</tr>
<tr>
<td>에스아이에스<br>(공동4)</td>
<td>고중량 무인 이송 시스템 설계 및 시제품 개발</td>
<td>o 무인 이송 시스템 시제품 구축<br>• 전방위 지능형 무인 이송시스템 플랫폼 구축을 위한 Omi-directional Force & Vector 제어 방법 개발<br>

<br>• 무인이송 시스템 플랫폼 설계 및 제작<br>- 무인 이송 시스템 크기: 3.4 X 2.1 X 0.4(H) m<br>- 구동 전위: DC 48V<br>- 정격 속도: 2,000 RPM</td>
</tr>
</table>



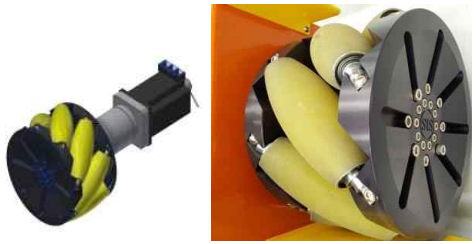
<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>




<br>• 무인이송 시스템 플랫폼 3D 설계 및 해석 실시<br>

<br>• 서스펜션 일체형 고중량 메카넘 휠 시제품 제작<br>- 고중량물을 탑재한 무인이송 시스템이 구동시 상부 하중에 의해 휠 및 롤러의 파손이 빈번히 발생함. 이는 지면의 상태에 따라서도 발생될 수 있으므로 휠에 인가되는 하중에 따라 반발성 서스펜션을 개발 적용하여 상부 하중의 영향을 최소화 하고 롤러의 코팅 재질의 추가 개발을 통하여 지면 상태에 따라 발생될 수 있는 파손을 최소화 한다.</td>
</tr>
</table>

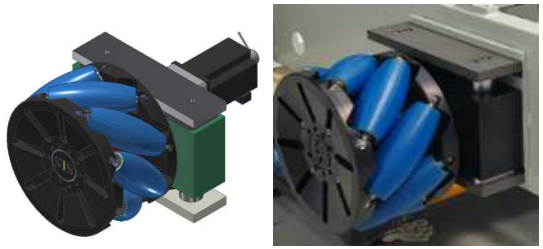




<서스펜션 일체형 메카넘 휠 적용을 위한 설계>



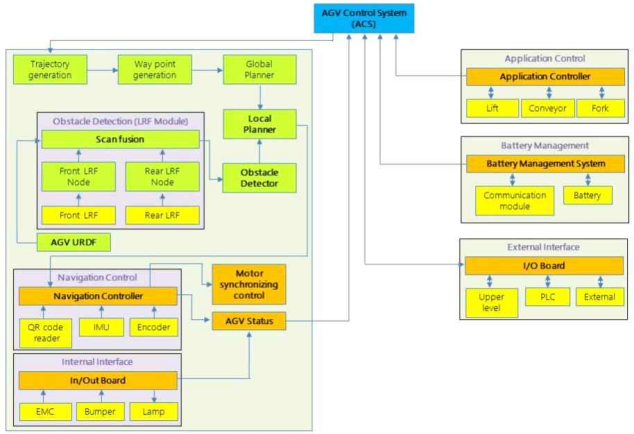
<기존 메카넘 휠>



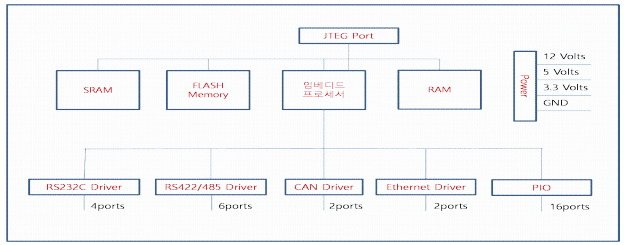
<서스펜션 일체형 휠 및 적용>

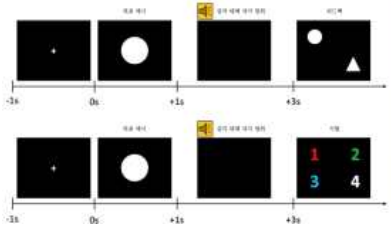
• AMR 제어 메커니즘 및 ACS 개발

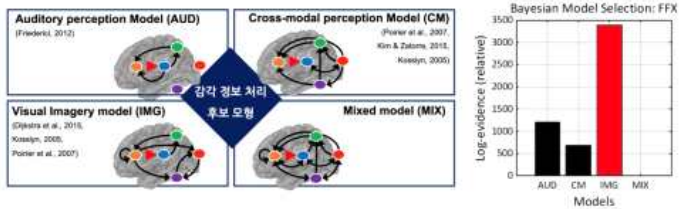




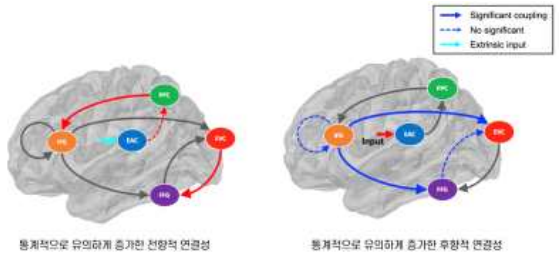

• AMR 수동 제어 프로그램 개발




| | | |
|---|---|---|
| 서울대학교 | 전기 생리에 기반한 감각신호의 대뇌 신경활동 분석 | ○ 단순 자극을 넘어선 장면(Scene) 정보를 청각 감각으로 대체할 때의 대뇌 활동 검증<br>• 공간적 시각 정보를 청각 신호로 변환했을 지각 가능성 확인<br>• 단순한 도형을 공간 내의 사분면 중 좌/우에 하나씩, 무작위로 배치하여 지각 정도 시험<br>→ 두 명의 실험 참가자의 정답률: 각각 62%, 68% chance level(25%) 이상의 정확도<br>(반응속도는 각각 평균 875ms, 평균 752ms)<br>  <br>  <br>○ 감각 대체 활동에 대한 대뇌의 정보처리 네트워크를 신경 모델을 통해 검증<br>• 신경생물학적 모형에 기반한 Dynamic causal modeling (DCM) 방법론을 사용하여, 감각 대체 자극 청취 중의 대뇌 활동의 정보처리 네트워크 분석<br>• 감각 대체 자극의 처리를 설명할 가능성이 있는 네 가지 후보 모델을 적용하였으며, Bayesian model selection 방법을 사용하여 모델의 적합도 분석 |




• 분석 결과 시각적 상상 모형(IMG)의 적합도가 가장 높게 나타났으며, 이는 실험 참가자들이 감각 대체 자극을 해석하는 방향으로 시각적 상상을 활용하는 것으로 판단
• 시각적 상상 모형(IMG) 기반 감각 대체 자극의 정보 처리에 통계적으로 증가하는 전향적, 후향적 연결성 분석




<관련실적>
• SCI-E 논문지 1건 투고
- *Neuroimage*, IF6.55(상위 3.57%), under review

부경대학교

사용자 맞춤형 감각 지각 증강 학습 과정 연구

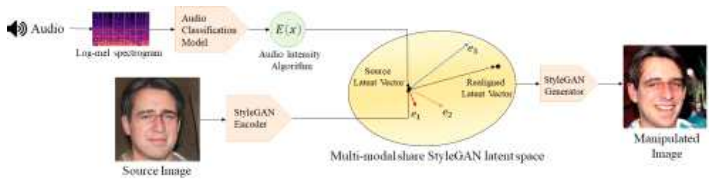
❍ 실환경 학습 데이터 확장 및 보완

• 소리 분류 모델 학습 데이터 구축
- 웹사이트, 유튜브 등에서 수집한 소리 데이터로 세 가지 도메인 (웃음, 울음, 비명)으로 구성
- 학습 데이터는 총 6,008개(웃음소리:1,567, 울음소리: 3,720, 비명소리: 721)로 구성
- 44.1 kHz의 샘플링 레이트, 2초 단위 분할 후 Log-Mel spectrogram 추출

❍ 실환경 적응을 위한 학습 모델 설계 및 성능 검증

• 감각치환을 위한 소리 기반 얼굴 영상 생성 연구
- 소리 강도에 최적화된 얼굴 영상 생성 모델 개발
- 소리 강도 알고리즘 및 얼굴 생성모델 성능 실험
• 영상과 소리 기반 멀티 모달 감각 대체 연구
- 얼굴 표정과 감정 소리 기반 시각 정보 감각 대체 방법 설계
- 감정 소리를 통해 생성한 얼굴 영상 및 배경 음악 생성 및 합성

-




<관련실적>
• 국내학술대회 논문 2건 발표
- *한국멀티미디어학회 학술대회(추계)* (22.11월)

UNIST (위탁1)

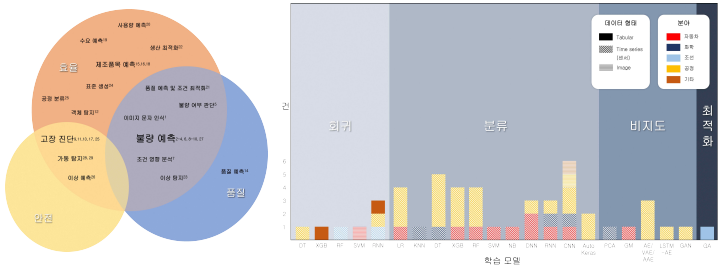
제조산업에 특화된 안전/효율/품질성능 평가를 위한 AI 학습 모델 연구

❍ 제조 산업용 AI 솔루션에 적용된 AI 학습모델 분석

• 국내 제조 AI 솔루션 개발 기관 및 기업에서 공개한 AI 솔루션 29건의 사례 분석
- AI 솔루션 사례의 목적(안전, 효율, 품질)별 분류 및 활용된 AI 학습모델, 학습과정 분석
→ 안전 관련 연구 부족 및 분류 모델의 높은 비중을 확인함 [그림1 참조]



- 분석을 바탕으로 AI 솔루션 구축에 필요한 단계별* 프로세스 정리
※ 단계: 데이터 확인 → 데이터 전처리 → 특징 추출 → 학습모델 구축 → 성능평가




<목적에 따른 AI 솔루션 분류(오른쪽) 및 학습방법/분야/데이터형태에 따른 AI 학습모델 분류>

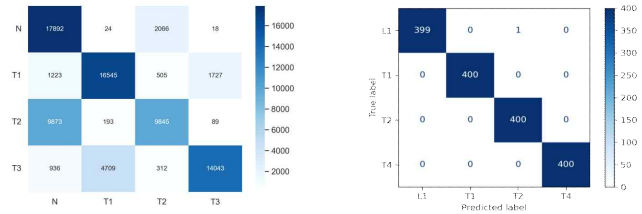
❍ 특정 제조산업 데이터 분석 기반 안전, 효율, 품질 향상에 적합한 AI 학습모델을 구축하고 AI 적용을 위한 가이드라인 제시

• 오픈 데이터 활용 '제조현장의 안전'을 위한 AI 솔루션 제안
- 제조산업의 범용적 안전관리 모니터링을 위한 AI 학습모델 생성
- 국내 AI 통합 플래폼 'AI 허브'에서 제공하는 작업자와 상호작용하는 산업단지 내 주요 기기(저장탱크, 이송밸브, 이송배관)의 열화상 이미지 활용
- 기존 사례 분석을 통해 정리한 단계별 프로세스에 따라 AI 학습모델 생성
→ 정상 및 이상 상황 열화상 이미지의 정성적 분석을 통해 이미지 간의 확연한 차이를 확인하였으며 대표 CNN 분류 모델을 생성 및 성능 비교하여 이상 탐지에 있어 구축한 CNN 모델의 적합성을 확인 [표1 참조]
→ 작업자의 안전 관련 데이터의 이상 유무 분석을 통해 실제 제조산업에서 안전을 위한 AI 적용 가능성을 확인

| | Accuracy | Precision | Recall | F1 score |
|---|---|---|---|---|
| Alexnet (2012) | 0.9951 | 0.9946 | 0.9949 | 0.9947 |
| VGG (2015) | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 | 0.9992 |
| ResNet (2015) | 0.9998 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 |
| DenseNet (2016) | 0.9998 | 0.9997 | 0.9998 | 0.9997 |
| MobileNet v2 (2018) | 0.9987 | 0.9988 | 0.9981 | 0.9985 |
| MobileNet v3 (2019) | 0.9939 | 0.9919 | 0.9958 | 0.9938 |
| **EfficientNet (2019)** | **0.9999** | **0.9998** | **0.9999** | **0.9999** |
| Visiom Transformer (2020) | 0.9990 | 0.9991 | 0.9991 | 0.9991 |
| EfficientNet v2 (2021) | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 | 0.9997 |

<대표 CNN 모델의 정상 및 이상 상황 예측 결과>

• 오픈 데이터 활용 '효율적인 공정'을 위한 AI 솔루션 제안
- 회전 기계(예: 터빈, 모터 등)에 발생하는 여러 고장 유형의 진동을 측정한 데이터를 획득 및 특징을 분석하고 이를 기반으로 적합한 AI 학습방법 및 학습모델 제시
→ 분석한 데이터는 목적 변수가 포함되어있어 고장 분류가 가능하며 시계열 형태 갖고 있어 LSTM 및 CNN을 분석모델로 선정
- 생성된 LSTM 및 CNN 모델 검증을 위해 기존 솔루션에서 제안한 모델 간의 성능 비교
→ 국내 제조 AI 솔루션 개발기관 'KAMP'에서 확인된 정확도 보다 높은 예측 성능 확인 (76.67% → 99.9%) [그림2 참조]




<기존 솔루션(왼쪽) 및 본 과제(오른쪽)에서 학습한 모델의 혼동행렬 결과>

• '제조 품질 향상'을 위한 AI 솔루션 제안

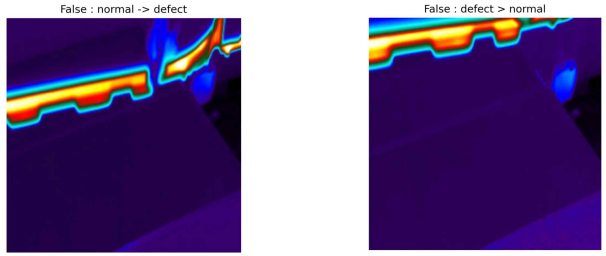
- 참여기관인 ㈜인터엑스가 ㈜한국몰드에서 수집한 자동차 윈도우 사이드 몰딩 제작 과정의 열화상 이미지 데이터를 분석하여 불량 제품을 판별할 수 있는 AI 학습모델 생성
- 수집된 데이터가 '제조 현장의 안전'을 위한 AI 솔루션에서 활용된 데이터와 많이 유사하므로 동일한 방식대로 분석
- 실제 산업에서 AI 적용 시 발생하는 제약 조건을 고려하여 구현된 학습모델의 예측 성능뿐만이 아니라 효율성(Training time, inference time, MAC, parameter) 평가 진행

→ EfficientNet이 가장 높은 예측 성능(정확도: 0.9973) 및 비교적으로 높은 효율을 보임

→ 제품의 불량 여부를 AI 학습모델로 사전에 탐지하여 제품 품질 향상의 기반을 마련

- 오분류 결과를 분석하여 학습 모델의 성능 개선 가능 여부 확인 [그림3 참조]

→ 몰딩 형상 중 일부분만 있을 경우 정확한 분류에 어려움이 있어 성능 개선을 위해서는 데이터 선별 과정에서 이미지 품질 관리가 필요함



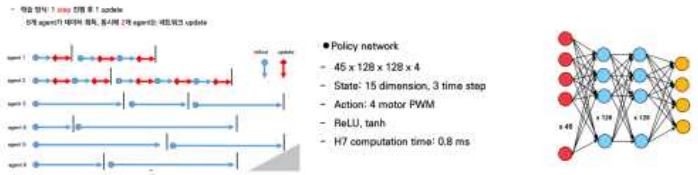
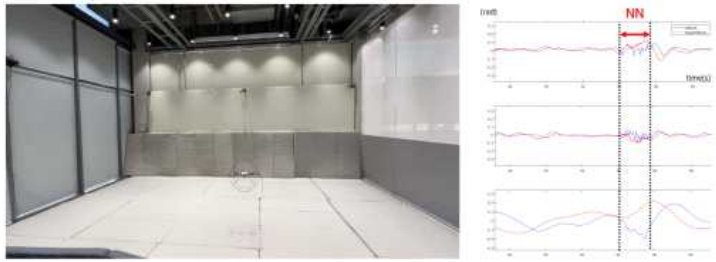

< 학습된 모델의 오분류 결과>

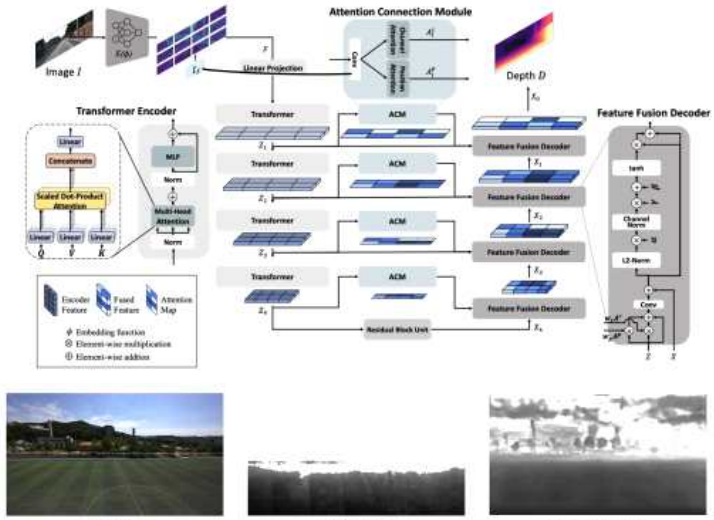
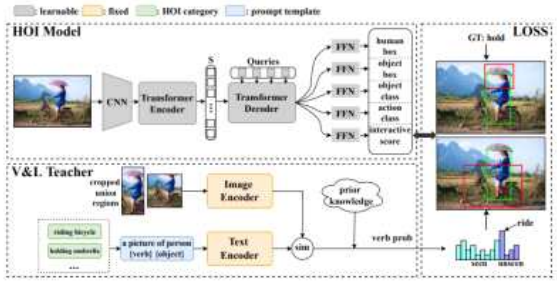
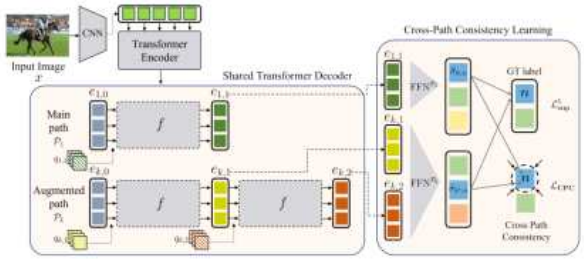
• 제조 AI 솔루션별 파이프라인 제안



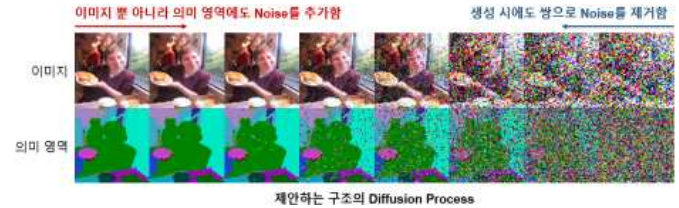
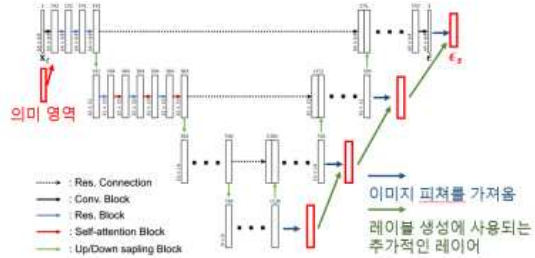
<제안된 제조 AI 솔루션 기반 파이프라인>



| | | |
|---|---|---|
| 포항공대<br>(위탁2) | Sim-to-Real<br>강화학습을 이용한<br>드론 제어 | ○ 시뮬레이션을 통한 low-level control policy 학습<br>• 시뮬레이터 환경 구성<br>- 일반적인 드론 시뮬레이터 모델에 비해 고도화된 모델링(rotor lag 등 실제 환경 요소 적용) 반영<br>- Position, velocity, attitude 등 실제 드론에서 측정할 수 있는 관성 센서 데이터만을 이용<br>• 학습 환경 구성<br>- 자세의 흐트러짐이 큰 상황에서 position을 유지할 수 있는 low-level control policy 학습<br>- Sim – real의 간극을 극복하고자 domain randomization을 통해 일반적인 드론의 control policy를 학습<br>- 분산 학습을 통해 학습 시간 최적화<br>- 임베디드 시스템에 적용 가능하도록 연상량이 적은 네트워크 활용<br>○ 학습한 네트워크를 적용한 실제 드론 비행 실험<br>• 실제 드론 비행 실험<br>- 실제 드론에 학습한 low-level control policy를 적용하여 자세의 흐트러짐이 큰 상황에서 position 비행 성공<br>- 드론의 임베디드 시스템(STM32F7 core)에 학습한 뉴럴 네트워크를 적용<br>• 실제 드론 비행 실험 한계를 극복하기 위한 재학습<br>- loss function에 regulation term을 추가하여 bang-bang control(제어 입력이 최소, 최대를 반복하는 제어) 문제를 해결<br>  <br><br><학습 방법 및 네트워크 구성 소개><br>  <br><br><실제 비행 실험 환경 및 실험 결과 그래프> |
| DGIST<br>(위탁3) | 신경망 및 스테레오 매칭 기반 깊이영상 획득방안 도출 및 적용 | ○ 신경망에 의한 깊이영상 획득 방식 도출<br>• 최신 transform 방식을 적용한 신경망 기반 깊이이미지 도출<br>○ 추정된 깊이이미지 신뢰성 및 성능 향상을 위한 후처리 방식 적용<br>• 스테레오 카메라 영상을 이용하여 신경망 깊이이미지의 실거리로 매핑<br>○ 스테레오 카메라를 이용한 깊이영상 획득 테스트<br>• 도출된 깊이영상 획득방식을 실제 드론 스테레오 카메라에서 촬영된 영상에 적용테스트 |

| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><신경망을 이용한 깊이영상도출> |
| 고려대학교<br>(위탁4) | 시각-질의 응답을 위한 초거대 기초모델 기반 멀티-모달 표현자 학습 기법 연구 | ○ 픽셀 수준 태스크(pixel-level task) 해결을 위한 시각 초거대 기초모델 적응 기법 연구<br>• 초거대 모델을 이용하여 지식 증류 (knowledge distillation)을 통해 학습시 보지 못한 hoi triplet class에 대해 분류하는 제로샷 사람-물체 관계 탐지 기법 분석<br>  <br>○ 초거대 기초 모델(foundation model)을 이용한 시각-질의 응답 모델 모델 연구<br>• 추론 속도 개선을 위해 객체 탐지와 사람-물체 관계 탐지를 병렬적으로 수행하는 hoi detector 개발<br>• 완벽히 사람 및 객체가 탐지되지않은 상태에서 그들의 관계또한 동시에 분류하도록 학습<br>  |
| KAIST<br>(위탁5) | 시각 정보의 의미 영역 분할 모델의 정확도 | ○ 시각 정보의 청각 신호 변환을 위한 의미 영역 분할모델 기술<br>• 생성 모델을 이용하여 이미지-의미 영역 분할 지도 쌍 데이터셋을 생성 방법 연구 |



| | | |
|---|---|---|
| | 개선을 위한 데이터 증식 기법 연구 | • 이미지에는 Gaussian noise를, 의미 영역 분할 지도에는 Categorical noise를 추가하는 Joint Diffusion Process 제안<br>  <br>○ 작은 물체 인식을 위한 데이터의 합성 및 데이터 증식 기법 연구<br>• 공개된 Text-to-image 생성 모델(GLIDE)을 활용하여 이미지 생성 퀄리티를 높이는 방법 제안<br>• 이미지 생성 퀄리티의 손상을 줄이기 위해 Joint denoising 모델 구조를 개선<br>  |

**ETRI (주관)**

- 제조산업 SEQ 지원을 위한 기반기술 개발
  - SEQ 지원용 협업지능 프레임워크 설계 및 핵심모듈 개발
  - 산업현장 감시 기본 플랫폼 및 멀티센서 데이터셋 구축
  - 작업자 트래킹 및 이상행위 검출 기술 성능테스트 및 공인인증기관 성능 검증
- 드론 CPS 객체 간 동기화 및 상호작용 기술 개발
  - 통합공간 객체 간 동기화 및 정밀 모니터링/제어 기술 연구
  - 드론 CPS 활용기술 연구
- 인간의 감각지각 능력을 증강하는 다중감각 융합 기술 개발
  - 시각 정보의 청각 전환 엔진 성능 검증
  - 단일 감각 기반 감각고유 신호 전달 기술
  - (제한환경) 청각신호 기반 시각 정보 지각 학습 프레임워크

**최정단**

**비피앤솔루션 (공동1)**

- 제조 데이터 보호·거래 플랫폼 상세 설계 및 프로토타입 개발
  - 블록체인 기반 보호거래 플랫폼 내 데이터 생산자 및 사용자 식별 및 인증 기능 상세 설계
  - 산업데이터 거래를 위한 플랫폼 현장 요구사항적용 및 프로토타입

**에이테크 (공동2)**

- 제조 AI 프레임워크 상세설계 및 기능 구현
  - 제조 AI 프레임워크 상세설계
  - 제조 AI 프레임워크 기능 구현
  - 보호거래 플랫폼과의 연동 기능 구현

**유진기술 (공동3)**

- 철 가공품 품질 검사 및 원격 유지 보수용 협동 로봇 기술 개발
  - 화력발전소의 발전기 고정자 웨지 체결강도 검사 로봇 시스템 개발
  - 주요성능
    - 철가공품 발전기 틈새 주행

구현 및 테스트 진행
- 주요성능
  · 분산신원증명을 위한 블록체인 네트워크 구성
  · 거래 및 smartcontract를 위한 블록체인 네트워크 구성

• 자율형 웨지 밀착 및 타격
• 타격 신호(가속도, 음향) 수집

**에스아이에스 (공동4)**
- 산업 제조현장의 고중량 물류 이송이 가능한 전방위 지능형 무인 이송 시스템 플랫폼 시제품 구축
- 분포하중을 고려한 서스팬션 일체형 고중량 메카넘 휠 시제품 제작
- 다중상위 플랫폼 적용이 가능한 AMR 이송체 시제품 제작

**서울대학교 (공동5)**
- 전기 생리에 기반한 감각신호 대뇌 신경활동 분석
  - 단순 자극을 넘어선 장면(Scene)에 대한 시각적 감각을 청각 감각으로 대체할 때의 대뇌 활동 검증
  - 감각 대체 활동에 대한 대뇌의 정보처리 네트워크를 신경 모델을 통해 검증

**부경대학교 (공동6)**
- 사용자 맞춤형 감각 지각 증강 학습 과정 연구
  - 실환경 적응형 학습 모델 설계
  - 실환경 학습 데이터 확장 및 보완

**UNIST (위탁1)**
- 제조 산업에 특화된 안전, 효율, 품질성능 평가를 위한 AI 학습모델 연구
- 제조산업용 AI 솔루션에 적용된 AI 학습 모델 분석
- 제조산업용 데이터 분석 기반 AI 학습방법론 제시 및 특정 산업에 특화된 AI 학습모델 생성

**포항공대 (위탁2)**
- 강화학습을 이용한 드론 low-level control policy 학습
  - 시뮬레이션을 통한 low-level control policy 학습
  - 학습한 네트워크를 적용한 실제 드론 비행 실험
  - 실제 드론 비행 실험 한계를 극복하기 위한 재학습

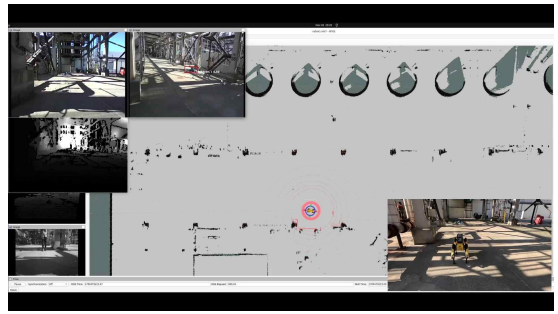
**DGIST (위탁3)**
- 신경망 및 스테레오 매칭 기반 깊이영상 획득방안 도출 및 적용
  - 신경망에 의한 깊이영상 획득 방식 도출
  - 깊이이미지 신뢰성 및 성능향상을 위한 후처리 방식 적용
  - 스테레오 카메라를 이용한 깊이영상 획득 테스트

**고려대학교 (위탁4)**
- 시각-질의 응답을 위한 초거대 기초모델 기반 멀티-모달 표현자 학습 기법 연구
  - 픽셀 수준 태스크(pixel-level task) 해결을 위한 시각 초거대 기초모델 적응 기법 연구
  - 초거대 기초 모델(foundation model)을 이용한 시각-질의 응답 모델 모델 연구

**KAIST (위탁5)**
- 시각 정보의 의미 영역 분할 모델의 정확도 개선을 위한 데이터 증식 기법 연구
  - 시각 정보의 청각 신호 변환을 위한 의미 영역 분할모델 기술
  - 작은 물체 인식을 위한 데이터의 합성 및 데이터 증식 기법 연구



## (4) (2단계) 2차년도(2023년도) 개발 내용 및 범위

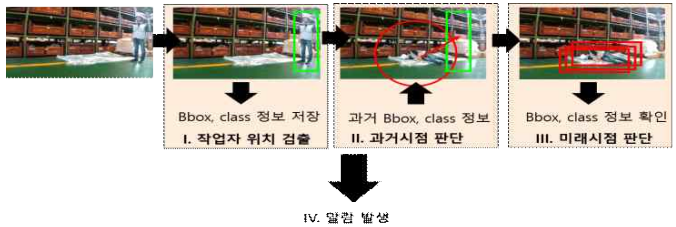
| 수행기관 | 개발 목표 | 개발내용 및 범위 |
|---|---|---|
| ETRI (주관) | 산업현장 이상상황 감지를 위한 플랫폼 구축 | ○ 산업현장 이상상황 감지를 위한 플랫폼 구축<br>  <br><산업현장 이상상황 감지를 위한 플랫폼 전체 개념도><br>• 고정형/이동형 에이전트 연계 플랫폼 설계 및 구축<br>- RGBD, Thermal camera, Lidar 등 네이게이션 및 인식을 위한 센서 탑재<br>- 임베디드 보드를 통한 센서 데이터 처리<br>- 이상상황 탐지 프로그램 및 고정형 센서간의 MQTT를 통한 통신 구축<br>- 각 SW 노드간의 통신 규격 정의<br>• 이동형/고정형 에이전트 미들웨어 및 통신 구성<br>- ROS기반 에이전트 제어 및 센서 연결로 범용성을 획득<br>- 센서 영상 저장 및 에이전트간 전달 시스템 구축<br>- 각 에이전트 상태 및 이상상황 인식 노드의 상태 관리<br>- 이동형 에이전트의 네비게이션 및 순찰 미션 관리<br>  <br><내부 서버에서 여러 에이전트의 센서 데이터 및 현재 로봇 상태 표시><br>• 울산 산업현장 실 사이트에서 환경 구축<br>- 울산 SK에너지 제2FCC내 실증사이트에서 시연<br>- 이동형+고정형 에이전트 상호 협업 시나리오<br>- 석유화학단지의 요구사항에 기반한 시나리오 생성<br>- 모니터링 시스템으로 이상상황 Logging 및 검색 기능 구축<br>  |

<에이전트 관제 및 이상상황 인식을 위한 모니터링 시스템>

산업현장 이상행위 검출 기술

○ 작업자 이상행위 검출 및 안전장비 착용여부 판별 기술

• 산업현장에서의 작업자 쓰러짐 검출 기술 개발
- 다양한 자세에서도 작업자의 쓰러짐 검출이 가능
- 창고, 기계 구조물 등 산업 현장에서 발생하는 배경의 변화에 강인하게 동작
- 위치 검출 신경망이 매 입력 동영상 프레임마다 작업자의 위치를 특정하여 검출




<산업현장에서의 작업자 쓰러짐 검출 기술 개념도>

- 작업자 쓰러짐 검출 기술의 정량 성능 평가를 위해 평가용 데이터셋 구축
  · 이상 행위(쓰러짐) 동영상 50개와 정상 행위 동영상 50개로 구성
  · AI-Hub 이상행동 CCTV 영상 데이터셋에서 25개의 이상 행위 동영상을 추출
  · KISA CCTV 이상행동 데이터셋에서 25개의 이상 행위 동영상을 추출
- 총 100개로 구성된 평가용 데이터셋에 대해 F1-score 88.88% 달성
- 실제 산업현장에서 작업자 쓰러짐 검출 기술 실증



<실제 산업현장에서의 쓰러짐 검출 기술 실증>

• 산업현장에서의 작업자 안전장비 착용여부 판별 기술 개발
- 실시간 위치 추적 및 착용 여부 판별 알고리즘 개발
- 작업자의 머리 영역 추적을 위한 BoT-Sort 트래킹 알고리즘 개발
- 추적된 머리 영역이 안전모 미착용으로 2초 이내 80%이상 분류될 경우 알람 발생




<산업 현장에서의 작업자 안전장비 착용여부 판별 기술 개념도>

- 산업현장에서의 안전모 탐지 기술 학습/평가용 데이터셋 구축
  · 산업 현장 환경에서 안전모를 안정적으로 탐지할 수 있도록 산업현장을 배경으로하는 안전모 탐지 데이터셋을 수집
  · 구축된 안전모 탐지 데이터셋은 AI-Hub의 공사현장 안전장비 인식 이미지와 roboflow의 hard-hats-fhbh5를 사용



· AI-Hub 공사현장 데이터셋은 총 학습영상 347,871장(객체 731,232개) 평가영상 9,356장 (객체 19,549개)
· hard-hats-fhbh5 데이터셋은 총 학습영상 13,782장 (객체 38,701개), 평가영상 642장 (객체 1,799개)



<AI-Hub 공사현장 데이터셋 샘플>



<hard-hats-fhbh5 데이터셋 샘플>

- 탐지모델 학습 및 평가
  · 안전모를 탐지하기 위해서 Yolov8-large 모델을 사용하여 학습
  · 탐지 대상 객체를 0:Helmat (안전모 착용), 1:Head (안전모 미착용)로 구성
  · 각 데이터셋에서 mAP50 기준 95.5%, 92.4% 성능 달성

| metric | AI-Hub 공사현장 데이터셋 | hard-hats-fhbh5 데이터셋 |
|---|---|---|
| mAP50 | 95.5% | 92.4% |
| Recall | 93.7% | 89.9% |
| Precision | 95.7% | 88.7% |



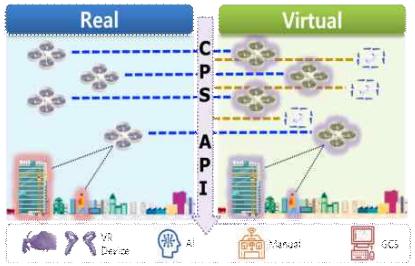
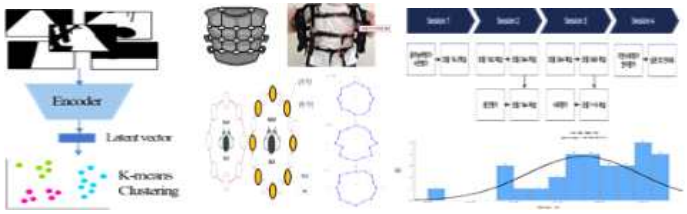
< 실제 산업현장에서의 안전모 착용 여부 판단 기술 실증 >

• 작업자 이상 행위 검출 기술의 성과 확산 및 사업화 지원
- 작업자 이상행위 검출시제품 v1.10 개발
  · 사족보행로봇-CCTV 협력기반 이상행위 검출
  · 실제 산업현장(SK에너지)에서의 기술 검증
- 통합형 이상 상황 탐지기술 S급 IPR 확보 (국제 특허 출원 2건 / 미국, 중국)
- 휴먼 이상 행동 인식 기술 기술이전 및 기술출자
  · 기술이전 1건, 기술료 1억원 (가온플랫폼㈜)
  · 기술출자 및 연구소 기업 등록 (포인드㈜)
  · 사업화 지원을 위한 E-패밀리 기업 등록 (포인드㈜)
- 산업화 솔루션 전문 SCI 논문 투고 (Sustainable Cities and Society, IF 10.69)

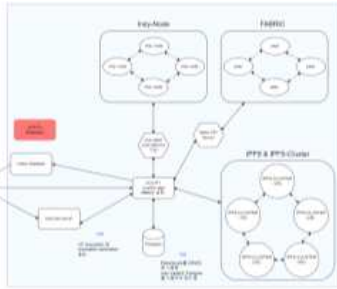
드론 CPS 플랫폼 개발

○ 드론 CPS 플랫폼의 활용성 극대화를 위한 응용기술 접목 연구 수행

• 드론 CPS 플랫폼 API 개발
- 실제/아바타/가상 드론 연계 API 제공
- 실제/아바타/가상 드론 간 API를 통한 양방향 인터페이스 기능 필드 시험
• 드론 디지털트윈 응용과 드론 CPS 플랫폼 간 접속/기능 개발
- AR/VR 기반 드론 CPS 응용기술 연구

| | | |
|---|---|---|
| | | - 드론 CPS 활용 툴 및 디지털트윈 디바이스 연계 방안 연구<br>- 분산 다중 드론 CPS 기능 필드 시험<br>  <br><br><드론 CPS 구성 및 활용 기술> |
| | 단일 감각 기반 지각기술의 다중 감각 합성을 위한 확장 | ㅇ (세계 최고)V2A 알고리즘 최적화<br>• V2A 고도화(윤곽,위치,크기,거리) → Mel-scale 주파수 매핑, 소리축약, 거리정보, 학습 프로토콜 개선(10.2%↑)<br>• 감각증강기술 개념검증을 위한 V2A 기반 네비게이션 서비스 모델 도출<br>- V2A 기반 네비게이션 서비스 설계 및 기본 알고리즘 구현<br>→ Walkable path 추출 지원 실시간 세그멘테이션모델 성능 향상(41%, 29%)<br>ㅇ 감각(촉각)신호 전달 해상도 정량화 방안 및 V2T 기본 알고리즘 연구<br>• 사물 움직임 전달을 위한 시공간 변조 패턴 자극 시스템 구조 연구<br>- 26개((3X3X2)+(3X2)+2)진동자(ERM)로 구성된 조끼 형태 시스템 구축<br>- 촉각 자극 해상도 분석(12명) → 2차원 자극(방위각45°, 94.8%, 고도각30°), 3차원자극(17개 자극(앞면), 방향93.7%, 거리83.6%)<br>- 사물 움직임 전달을 위한 시공간 변조 패턴 생성매핑방법연구 → 눈앞(12구역-17진동자매핑), 거리(인지, 주의, 위험 3단계 )<br>ㅇ (세계최초) 교육 이론 기반 감각대체 학습 모델 정립→ 단기 학습효과 확인<br>• 교육 이론 기반 사용자 숙달 수준을 반영한 학습 프로토콜 정의<br>- 4개 세션 (개념학습-반복(2)-전이 학습), 6단계 난이도(청각패턴 기준)□<br>- 학습 모델 효용성 검증 사용자(63명)실험 → 실험집단(31명, 82.75%), 통제집단(32명, 78.9%)<br>ㅇ 동물 기반의 다중감각 신호의 대뇌 기전 분석□<br>• 단일 자극들에 대한 대뇌에서 신경 활성 패턴 확인<br>- 시각, 청각, 촉각의 대뇌피질에서 신경활성패턴 확인 (광시야 칼슘이미징활용)<br>- 단일감각 자극과 다중감각 자극의 신경 활성 패턴 비교<br>→ 다중 감각 자극에 반응하는신경 활성 영역 확인 및 다중감각 자극 조합 선별<br>  <br><br><Walkable Path 추출 모델> <촉각자극 시스템> <교육이론 기반 학습 모델 시스템> |
| 비피앤솔루션 (공동1) | 제조 데이터 보호·거래 플랫폼 시제품 개발 | ㅇ 제조데이터 보호거래 플랫폼 개인 인증 기술개발<br>• 사용자 인증 기술을 위한 Hyperledger Indy 네트워크 적용<br>- DID 인증 기술을 위한 private blockchain 기술 중 Hyperledger Indy를 구성하고 해당 네트워크와 연결을 통해 사용자 정보 저장등을 위한 blockchain 지갑 연계를 위한 네트워크 구성 |



| | | |
|---|---|---|
| | |  <br>그림 195 시스템 구성<br>• 사용자 인증을 위한 VC, VP 제공 기술 개발<br>- 관리 페이지 로그인, 시스템 로그인, 계약 서명, 본인 인증등 을 처리하기 위한 기술로 관리기관의 VC발급과 VC의 인증 처리 절차, 인증 저장등이 가능한 사용자 APP 연계를 위한 API 구성<br>• DID 기반 사용자 인증 처리 기술 개발<br>- DID 기반 사용자 인증 처리를 위한 사용자 알림 용 원시그널 서버 구성 및 사용자 인증 처리를 위한 프로세스가 적용된 시스템 구성<br>  <br><br>표 40 VC관리를 통한 데이터 관리<br>ㅇ 제조데이터 보호거래 표준 계약 스마트 컨트렉트 개발<br>• 표준계약이 적용된 스마트 컨트렉트 개발<br>- 표준 계약의 저장을 위한 hyperledger Fabric 용 스마트 컨트렉트인 체인코드의 개발 및 배포 처리와 해당 체인코드를 통한 계약 정보 저장 및 관리 개발<br>- smartcontract를 총 4단계로 구성하여 계약의 저장, 계약에 따른 데이터 제공, 계약에 따른 데이터 사용, 계약의 종료를 관리할 수 있도록 시스템을 구성 함. |

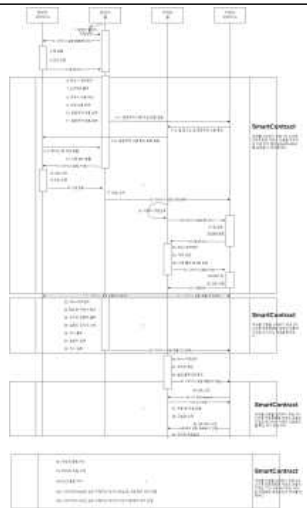


그림 199 스마트 컨트렉트 적용 및 프로세스 정의

• 표준 계약 서명을 위한 DID 활용 서명 적용
  - 표준 계약의 서명을 위한 DID 시스템 연동 모듈 개발을 통해 사용자 서명의 Hyperledger Indy 기술 적용 처리 개발

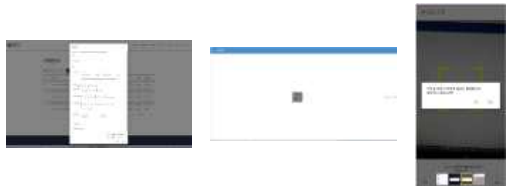


표 41 DID 서명 적용

• 표준 계약 후 VC발급 및 데이터 사용 모듈 개발
  - 표준 계약 서명 후 계약에 대한 처리를 위해 데이터의 사용권한을 갖는 VC의 발급 및 해당 VC의 기능을 통해 데이터 위치 확인 및 다운로드 모듈 연계 개발



표 42 VC관리를 통한 데이터 관리

• NFT 연계모듈 개발
  - 데이터의 사용권한 및 이후 추가 부가가치에 대한 사용을 위한 NFT 연계 모듈 개발 및 적용을 위한 사전 준비 수행.

○ 제조 데이터 보호거래 플랫폼 시제품 개발

• 블록체인 기반 제조 데이터 보호 거래 계약 모듈 통합
  - 블록체인 기반 제조 데이터 보호 거래 계약을 위한 스마트 컨트렉트와 사용자 인증 처리를 위한 Hyperledger Indy 모듈의 통합을 통해 계약의 처리 및 사용자 인증 처리 개발



표 43 DID 서명 적용

• DID 기반 사용자 인증 및 서명, VC 관리 모듈 통합
  - 사용자 인증 모듈 및 서명, VC관리 모듈등의 통합을 통해 제조데이터 보호거래 플랫폼 관리 모듈 통합 개발



표 44 DID 서명 적용

• IPFS 기반 데이터 업로드 다운로드 모듈 통합
  - 데이터 관리를 위한 데이터 업로드/다운로드 모듈 통합을 위한 게이트웨이 개발 및 사용자 계약 후 발급되는 VC의 기능 연계를 통해 데이터 관리 모듈 개발



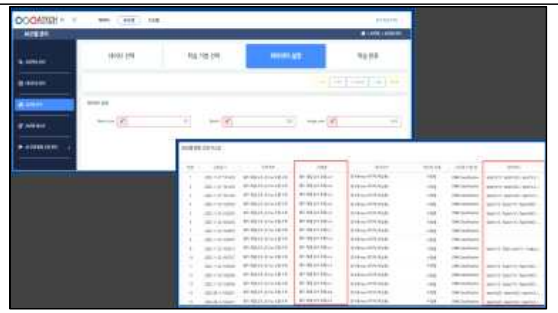
표 45 DID 서명 적용

• 제조 데이터 보호거래 플랫폼 시제품 알파테스트 수행
  - 스마트 계약, 사용자 인증, 데이터 관리 모듈의 통합을 통한 제조 데이터 보호거래 플랫폼 시제품에 대한 알파테스트 수행
  - 알파테스트를 통한 시스템에 대한 완성도 확보 및 차년도 베타테스트를 위한 사전 준비 수행

<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>
<table>
<tr><td rowspan="4">운영<br>현황</td><td>앱다운로드</td><td>테스트 기간 동안 일정한 다운로드 수 확보<br>  </td></tr>
<tr><td>DID 생성건수</td><td>173 건</td></tr>
<tr><td>계약 생성</td><td>247 건</td></tr>
<tr><td>데이터 업로드</td><td>145 건</td></tr>
<tr><td rowspan="3">오류 및<br>수정<br>요청</td><td>총 요청 건수</td><td>99건</td></tr>
<tr><td>수정건수</td><td>97건 (2건은 차년도 수행예정)</td></tr>
<tr><td colspan="2">알파테스트 결과보고서 참고</td></tr>
</table>
<br>[주요산출물]<br>- 제조데이터 보호거래 플랫폼 시제품 1 U-STC 포털<br>- 제조데이터 보호거래 플랫폼 시제품 2 U-STC 안드로이드 app<br>- 제조데이터 보호거래 플랫폼 시제품 3 블록체인 네트워크<br>- 제조데이터 보호거래 플랫폼 시제품 4 IPFS private 네트워크<br>- 블록체인 기반 제조 기업 데이터 거래방법에 관한 연구 (한국통신학회 2023년 학술대회)
</td>
</tr>
<tr>
<td>에이테크<br>(공동2)</td>
<td>제조 협업지능<br>프레임워크<br>상세설계 및<br>핵심기능구현</td>
<td>ㅇ 제조 협업지능 프레임워크 상세설계 및 핵심기능구현<br><br>• AI 프레임워크 AI 학습·관리 모듈 구현<br>- 프로젝트 단위의 학습용 데이터셋/모델 관리 기능<br>- 프로젝트 단위 일관된 AI 모델 구축 환경 제공 기능<br>((예시) Python 3.9.11 / torch 1.4.0 / Tensorflow 1.13.1 ..)<br>- 실시간 모델 학습 진행 상태 확인 및 로깅 기능<br>- 모델 성능 확인 및 분석 결과 시각화 기능<br>- 학습 완료된 모델 및 학습 결과 Export 기능<br><br> 

<br><프로젝트 단위 학습용 데이터셋 관리 기능></td>
</tr>
</table>



<table>
<tr>
<td></td>
<td></td>
<td>
 <br><학습 파라미터 설정 및 히스토리 관리><br><br>  <br><모델 학습 결과 시각화><br><br>• AI 프레임워크 시스템·사용자 관리 모듈 구현<br>- 사용자 권한/그룹/카테고리 관리 기능<br>- 전처리 도구/AI 모델 적재 및 관리 기능<br>- 각 단계(Step)별 거버넌스(승인) 기능<br>- 커뮤니티 (1:1 문의) 기능<br><br>  <br><전처리 도구/AI 모델 적재 및 관리 기능>
</td>
</tr>
</table>



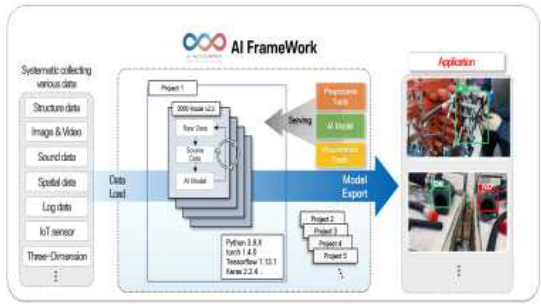
<각 단계별 거버넌스(승인) 기능>

• AI 프레임워크 데이터 적재·관리 모듈 고도화
  - 사용자 권한/그룹/카테고리 관리 기능
  - 전처리 도구/AI 모델 적재 및 관리 기능




<데이터 전처리 및 프리뷰 기능>

• 기본 모듈 기준 통합 및 AI 프레임워크 프로토타입 구축
  - 모듈 통합을 통한 AI 프레임워크 프로토타입 구축
  - 프로토타입 운영을 통한 알파테스트 진행




<AI 프레임워크 프로토타입 사용자 시나리오>

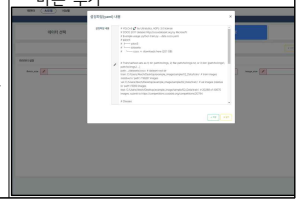
• AI 프레임워크 알파테스트 운영
  - AI 서비스 공급 기업에게 프로토타입 제공 및 지속적인 내부 테스트 진행
  - 예기치 못한 오류 탐색 및 디버깅 수행

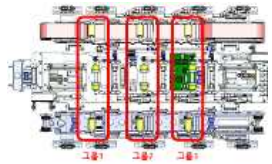
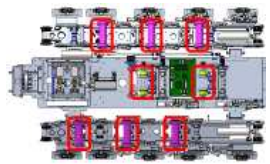
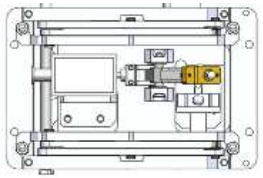
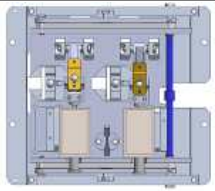


| 알파테스트 운영 계획 | 2023년 | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| AI 프레임워크 프로토타입 구축 완료 | | | | | | | | | | | | |
| AI 프레임워크 알파테스트 수행 | | | | | | | | | | | | |
| AI프레임워크 오류 사항 정리 | | | | | | | | | | | | |
| AI프레임워크 디버깅(Debugging) | | | | | | | | | | | | |

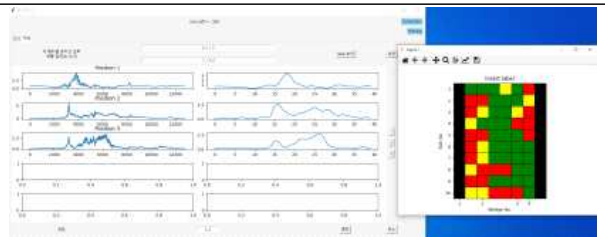
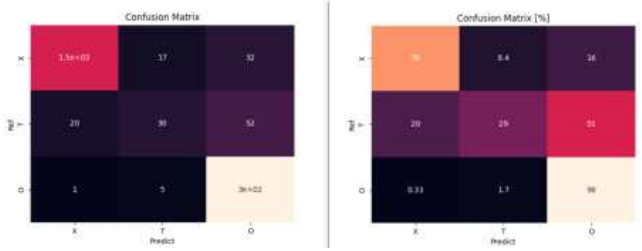
<AI 프레임워크 알파테스트 운영 계획>

• AI 프레임워크 알파테스트 운영 결과
  - AI 프레임워크 프로토타입 알파테스트 진행 (23.09 – 23.11)
  - 오류 5건 발견 및 모두 조치 완료 (23.12.18 기준)

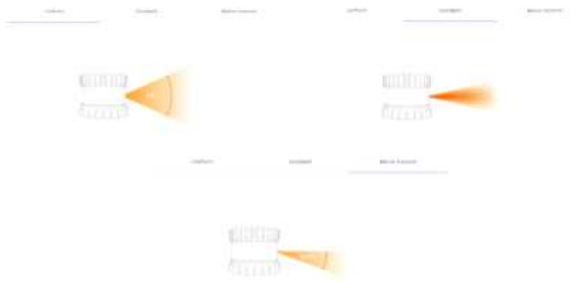
| 분류 | 일시 | 오류 사항 | 조치사항 |
|---|---|---|---|
| Python Code 내 서식 불일치 | 2023.10.05 | DNN Classification Python code 내 Replace Cursor 규칙이 준용되지 않음 | • 코드 수정 및 업데이트<br>model = Sequential()<br>model.add(Dense(2000,kernel_initializer='initial',activation='relu',input_shape = (np.shape[1],)))<br>model.add(Dense(512,kernel_initializer='initial',activation='relu',))<br>model.add(Dense(128,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(32,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(8,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(3,activation='softmax'))<br>model.compile(loss='categorical_crossentropy',<br>optimizer='AdaMax')<br>hist=model.fit(M, Y, epochs={@epochs}, batch_size={@batch_size}, verbose={@verbose}, class_weight=w)<br>model.save(modelFileSavePathFile)<br>hist=model.fit(M, Y, epochs={@epochs}, batch_size={@batch_size}, verbose={@verbose}, class_weight=w) |
| Python Code 내 서식 불일치 | 2023.10.05 | DNN Classification Python code 내 Replace Cursor 규칙이 준용되지 않음 | • 코드 수정 및 업데이트<br>model = Sequential()<br>model.add(Dense(2000,kernel_initializer='initial',activation='relu',input_shape = (np.shape[1],)))<br>model.add(Dense(512,kernel_initializer='initial',activation='relu',))<br>model.add(Dense(128,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(32,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(8,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(3,activation='softmax'))<br>model.compile(loss='categorical_crossentropy',<br>optimizer='AdaMax')<br>hist=model.fit(M, Y, epochs={@epochs}, batch_size={@batch_size}, verbose={@verbose}, class_weight=w)<br>model.save(modelFileSavePathFile)<br>modelFileSavePathFile = "{@modelFileNameOnly}" + ".keras" |
| Python Code 내 서식 불일치 | 2023.10.29 | Decision Tree Python code 내 Replace Cursor 규칙이 준용되지 않음 | • 코드 수정 및 업데이트<br>model = Sequential()<br>model.add(Dense(2000,kernel_initializer='initial',activation='relu',input_shape = (np.shape[1],)))<br>model.add(Dense(512,kernel_initializer='initial',activation='relu',))<br>model.add(Dense(128,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(32,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(8,kernel_initializer='initial',activation='relu'))<br>model.add(Dense(3,activation='softmax'))<br>model.compile(loss='categorical_crossentropy',<br>optimizer='AdaMax')<br>hist=model.fit(M, Y, epochs={@epochs}, batch_size={@batch_size}, verbose={@verbose}, class_weight=w)<br>model.save(modelFileSavePathFile)<br>dataset_train = pd.read_csv(dataFilePathName) |
| 기능 추가 | 2023.11.08 | Yolo, Mask-RCNN Package(.zip)등, Yaml(Data)파일 내 Dataset Path와 Classes 등을 활용하는 Case가 고려되지 않음 | • Data(Yaml)파일 Path를 지정하여 Text Editor로 수정할 수 있는 기능/버튼 추가<br>  |

<table>
<tr><td></td><td></td><td>
<table>
<tr><td>기능 추가</td><td>2023.11.08</td><td>Yolo, Mask-RCNN Package(.zip)등, Yaml(Data)파일 내 Dataset Path와 Classes 등을 활용하는 Case가 고려되지 않음</td><td>• 해당하는 Replace Cursor 추가<br> 
<table>
<tr><th>종류</th><th>문자열</th><th>문자열(특수문자 제외)</th><th>내용</th></tr>
<tr><td>파일</td><td>{@yamlFilePath}</td><td>yamlFilePath</td><td>YAML 파일의 경로 및 이름</td></tr>
<tr><td>경로</td><td>{@testDatasetFilePath}</td><td>testDatasetFilePath</td><td>Test 셋 파일의 경로</td></tr>
</table></td></tr>
</table>
<br>[주요산출물]<br>- AI 프레임워크 매뉴얼, 화면설계서<br>- 알파테스트 운영 결과 보고서<br>- 특허 출원 1건, 논문 게재 1건<br>- AI 프레임워크 프로토타입 SW 시제품(접속 URL(IP): http://221.162.227.66:1225/)</td></tr>
<tr><td>유진기술<br>(공동3)</td><td>음향 신호 기반 화력발전기의 고정자 웨지 체결강도 검사 시스템의 구동 및 검사 기능 구현</td><td>• 발전기의 고정자의 권선을 고정하기 위한 웨지의 체결 강도를 검사하기 위한 로봇 구동부<br>- 발전기의 고정자와 회전자 사이 5cm 이하의 틈새를 360 방향으로 주행이 가능한 구동부의 기계적 매커니즘 개발<br>- 기존 : 밀착용 롤러를 동일선상에 두고 그룹제어하는 시스템으로, 베플구간 주행시 그룹1 롤러가 Down 되었을 때, 로봇이 중력으로 인해 주행라인을 이탈 함.<br>- 개선 : 롤러의 위치를 동일선상에 두지 않고 개별제어를 적용하여 주행라인 이탈현상을 방지<br>
<table>
<tr><th>기존 문제점</th><th>개선사항</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
<br><발전기 웨지 체결강도 검사로봇 구동부 개발><br>- 고정자의 웨지 상태를 보고 발전기 내의 위치를 추정할 수 있는 자율형 맵 빌딩 및 위치 추정 알고리즘 기술 확보 (ETRI 기술이전 : 발전기 웨지맵 생성기술 - 2023.11)<br>• 음향 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 인식기을 위한 타격기 개발<br>- 기존 : 타격부가 전/후 에 고정되어있어 원하는 웨지 포지션 동시타격 불가능<br>- 개선 : 병렬 타격기 구조를 적용하여 검사속도를 단축함<br>
<table>
<tr><th>기존 문제점</th><th>개선사항</th></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
</table>
<br><발전기 웨지 체결강도 검사로봇 타격기 개발><br>• 음향 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도의 상태를 인식하기 위한 인식기 개발<br>- 음향 신호 인식을 위한 데이터 수집 및 인식기 개발</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td></td><td></td><td>  <br><발전기 웨지 체결강도 검사로봇 인식기 개발><br>- 발전기 웨지 체결 강도의 현업에서 사용하고 있는 기준(O, X, △)의 식별 인식기 테스트 베드 적용 및 사용성 검토</td></tr>
<tr><td></td><td>구현 결과물</td><td>• 5cm 이내 철구조물 틈새 주행용 구동 시스템 (5cm 이하 주행 검증)<br>  <br>< 5cm이하 틈새 주행 모습 ><br>- 테스트베드 (배플과 회전자 사이) 간격 4.8cm 이하 구동시스템 구현<br>• 발전기 고정자 웨지 타격 신호 분석 및 인식 시스템 (인식률 70% 이상 검증)<br>  <br><자체 발전기 테스트베드 인식률 평가><br>- 양호(O), 경계(T), 불량(X) label별 분석결과 양호(98%), 경계(29%), 불량(76%)의 인식률로 종합 인식률 79.04% 달성<br>• 발전 현장 방문 및 기술 적용성 조사<br>  <br>  <br><영흥발전소 발전기 현장방문 ('23.09)></td></tr>
</table>

| | | |
|---|---|---|
| | | - 발전소 현장 답사를 통한 발전기 구조 및 웨지 형상, 배치 확인<br>- 간이 시험 타격 테스트를 통한 검사로봇 적용 가능성 및 개선점 파악 |
| 에스아이에스<br>(공동4) | 사용자 맞춤형 AMR 제품 고도화 | ㅇ 산업 제조현장의 고중량 물류 이송이 가능한 전방위 지능형 무인 이송 시스템 플랫폼 시제품 구축<br>• 3D Lidar를 이용한 3차원 Point Cloud Dataset 구축<br>가) LiDAR 정의 및 적용 3D LiDAR<br>- LiDAR(빛 감지 및 범위 지정)는 레이저 빛을 사용하여 반사 표면까지의 범위(가변 거리)를 측정하는 원격 감지 방법으로 수신기를 사용하여 빛이 반사되어 돌아오는 시간을 측정하여 범위를 측정하는 장치를 말함<br>- 본 과제에서 적용한 LiDAR는 회전형 LiDAR 센서로써 수직으로 배열된 여러 개의 레이저를 회전시켜 주변을 측정함. |



<3D LiDAR 측정범위>

- 여기서 센서로 측정된 정보를 기반으로 Point Cloud 라는 것을 생성하고 센서 주변을 측정 지점으로 구성된 3차원 이미지로 구현이 가능하며, 모든 측정값은 방사형 거리 r, 극각 θ 및 방위각 ψ를 갖는 구형 좌표계에 저장되어 좌표로 변환 가능함

$$x = r\cos\phi\sin\theta$$
$$y = r\sin\phi\sin\theta$$
$$z = r\cos\theta$$

<좌표변환공식(카르테시안 좌표공식) 그림>

- LiDAR의 보증은 거리, 수직 채널, 방위각 등의 위치 데이터와 강도, 반사율, 주변 근적외선, 타임 스탬프 등의 측정 데이터로 구성되며, 구성된 데이터를 LiDAR 내장 프로그램인 ROS 드라이버4는 LiDAR의 UDP 데이터 스트림을 PointCloud2라는 범용 ROS 데이터 형식으로 변환함
- 본 과제에서 자율주행을 위한 S/W 개발에 사용된 LiDAR는 Ouster社의 OS1-32 모델로써 세부 사양은 아래의 표에 나타내었음



| 구분 | 단위 | 세부사양 |
|---|---|---|
| 범위(80% Lambertian reflectance) | m | 100 |
| 범위(10% Lambertian reflectance) | m | 45 |
| 범위 정확도 | cm | ±3(Lambertian Target)<br>10(retroreflector) |
| 정도 | - | 0.3m ~ 1m : ±0.7cm<br>1m~20m : ±1cm<br>20m ~ 50m : ±2cm |



| | | |
|---|---|---|
| | | >50m : ±5cm |
| 범위 분해능 | cm | 0.3 |
| 수직 해상도 | ° | 32 |
| 수평 해상도 | ° | 1024 or 2048 |
| 회전율 | Hz | 10 or 20 |
| 시야 | ° | 수직 : ±22.5<br>수평 : 360 |
| 각도 샘플링 정확도 | ° | 수직 : ±0.01<br>수평 : ±0.01 |
| 초당 포인트 | | 665.360 |

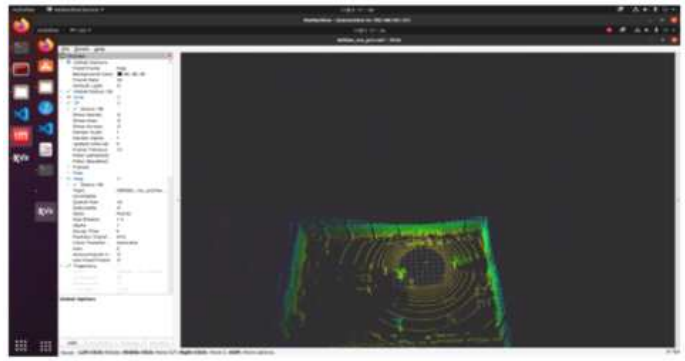
<Ouster社의 OS1-32 형상 및 사양>

나) SLAM Process



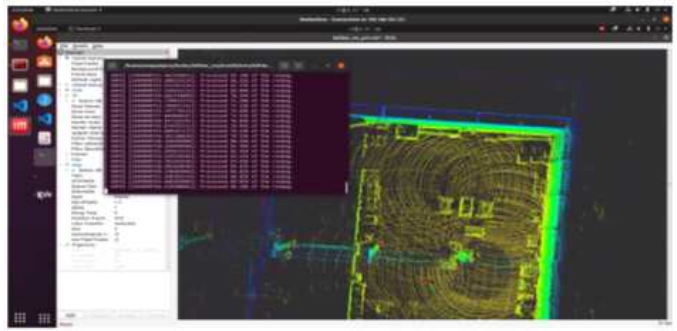

<SLAM Process>

- Data Acquisition : LiDAR 센서는 환경 주변을 스캔하고, 여러 각도에서 레이저 빔을 방출하여 3D 점 클라우드 데이터를 생성하며, 각 스캔은 시간 정보와 함께 기록됨



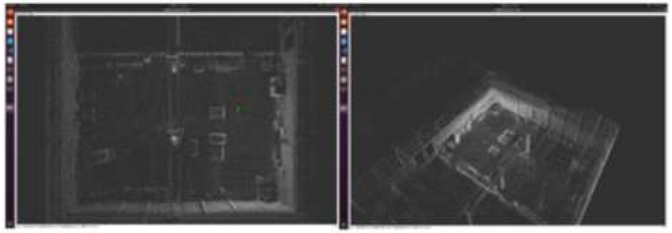
<Data Acquisition>

- Data Preprocessing : 데이터는 초기에 노이즈와 이상값을 포함하고, 정확한 위치를 파악하는데 방해되어 데이터는 필터링 과정을 거쳐 이상값 제거 및 기하학적 보정을 통해 정제됨



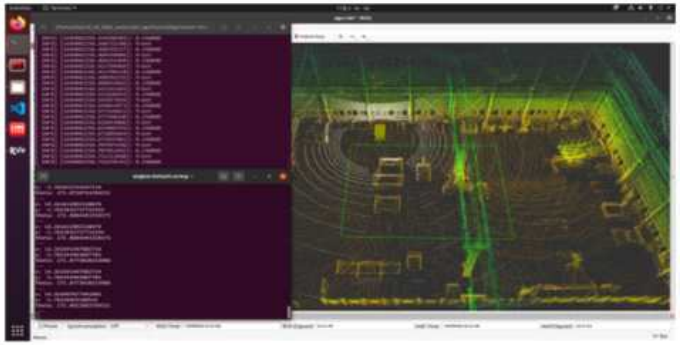
<필터링 및 .bag 파일 저장 과정>

- Applying the Slam Algorithm : SLAM 알고리즘은 데이터를 사용하여 로봇의 위치와 환경 지도를 추정하는데 사용
- Localization : SLAM은 로봇의 현재 위치를 추정하며 이를 위해 센서 데이터와 이전 위치 추정을 사용하여 로봇의 현재 위치를 업데이트 수행하여 자기 위치를 확인 함



<mapping map DATA (.kdlm)>

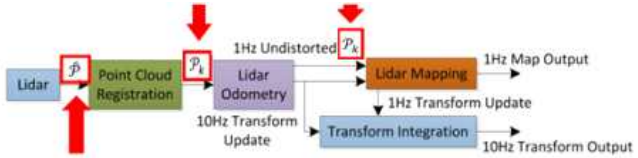
- Mapping : SLAM은 환경에서 관찰한 물체와 구조의 위치를 3D 지도로 작성하며, 작성된 지도는 환경 지도를 나타내며, 로봇의 위치와 관찰된 특징의 상대 위치를 포함
- Recursive updates : SLAM 시스템은 지속적으로 LiDAR 데이터를 처리하고 로봇의 위치와 환경 지도를 실시간으로 업데이트합니다. 이를 통해 환경의 변화에 대응하고 최신 지도를 유지.
- Route Planning and Moving :로봇은 SLAM으로 추정된 위치 및 환경 정보를 기반으로 이동 경로를 계획하고 목표 지점으로 이동



<AMR가 좌표수신 후 목표 지점으로 이동 완료 장면>

다) LIDAR Odometry 소프트웨어 개요

- LIDAR Odometry 소프트웨어는 아래의 그림에 나타내었으며 데이터의 처리 및 계산, 그리고 이동경로의 추적과정을 나타내었음

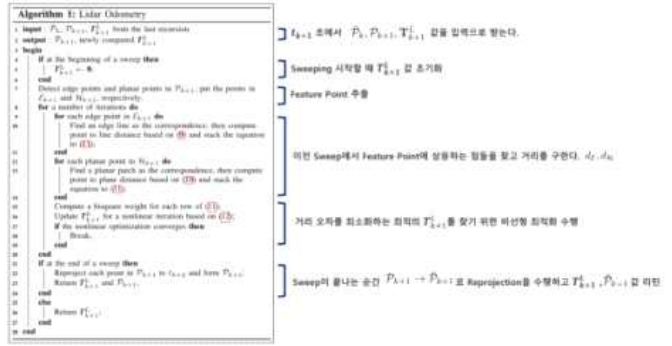



a) LIDAR Odometry 소프트웨어 개요

- $\hat{p}$: Lidar로부터 들어오는 데이터
- $\mathcal{P}_k$: k번째 Sweep을 통해 합쳐진 3D PointCloud 데이터. Odometry계산과 Mapping 계산에 모두 사용.
- Lidar Odometry: 2개의 연속적인 Sweep들을 받아서 Relative Motion을 계산하는 노드
- Lidar Mapping: Odometry를 바탕으로 계산된 undistorted Point Cloud와 기존의 Offline Map을 매칭하는 노드



- Transform Integretion: Odometry(10hz)와 Mapping(1hz)를 바탕으로 Robot의 현재 Transform을 계산하는 노드

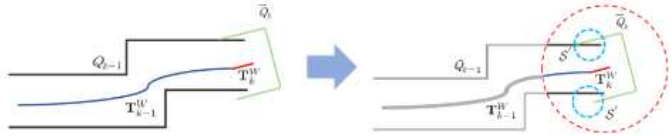


b) Lidar Odometry(라이다 센서를 사용한 이동경로 추적)과정

- $T_{k+1}^{L}$: $[t_{k+1},\ t]$ 시간 사이의 Lidar Pose Transform(라이다 위치)
- $P_{k+1}$: k+1번째 sweep(스캔) 동안 수집된 3D PointCloud 데이터
- $\bar{p}_k$: k+1번째 sweep이 시작되는 순간 재배치된 k번째 3D PointCloud 데이터
- $\bar{p}_{k+1}$: k+2번째 sweep이 시작되는 순간 재배치된 k+1번째 3D Point Cloud 데이터
- Feature Point: edge point또는 planner point
- edge point: 스캔데이터의 가장자리 점
- planner point: 스캔데이터의 평면상의 점
- $d_\varepsilon$, $d_H$: feature point에 상응하는 점들

라) LiDAR MAPPING 알고리즘

- Mapping 알고리즘은 10Hz로 수행되는 odometry 알고리즘과 달리 매 sweep이 끝나는 순간(1Hz 주기)에 한 번만 수행되며, sweep이 끝날 때마다 odometry는 undistorted 포인트 클라우드와 pose transform을 생성함. 이때, Mapping 알고리즘은 $\bar{P}_k$와 월드좌표계 {W} 사이를 매칭하는 역할을 수행함




- $Q_k$ : k번째 sweep에서 맵을 구성하는 포인트클라우드
- $T_k^W$ : k번째 sweep에서 월드좌표계 {W}를 기준으로 본 LiDAR의 pose transform
- $\bar{Q}_k$ : $\bar{P}_k$에서 월드좌표계 {W}로 재배치된 포인트클라우드

<월드 좌표계 및 스캔 후 생성된 Point Cloud 매칭 위치 추정 과정>

- $\bar{Q}_k$,와 $\bar{Q}_{k-1}$사이의 correspondence를 찾은 다음 최적의 $T_k^W$를 찾기 위해 최적화 과정을 수행해야 한다. correspondence를 찾는 방법은 아래의 표에 나타냄.

$S'$: $Q_{k-1}$에서 임의의 점들의 집합
$M$ : $S'$의 공분산 행렬
$V, E$ : $M$의 Eigenvalue(고유값)와 Eigenvector(고유벡터)

<고유값 분해를 하기 위해 정의한 항목>

- Eigendecomposition(고유값 분해) 수행과정은 아래의 계산코드로 나타냄

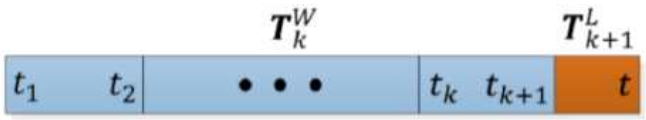
```python
# np.linalg.eig 함수를 사용하여 고유값과 고유벡터를 계산합니다
eigenvalues, eigenvectors = np.linalg.eig(A)

# Eigendecomposition 수행
P = eigenvectors  # 고유벡터 행렬
D = np.diag(eigenvalues)  # 고유값을 대각 행렬로 변환

# P와 D를 사용하여 원래 행렬 A를 재구성합니다
A_reconstructed = np.dot(np.dot(P, D), np.linalg.inv(P))
```

<Eigendecomposition 계산 코드>

- Correspondence를 찾은 뒤에는 Odometry 방식과 똑같은 공식을 사용하여 $d_\varepsilon$, $d_H$를 구하고 Levenberg-Marquardt 최적화를 수행해서 최적의 $T_k^W$를 계산을 수행함

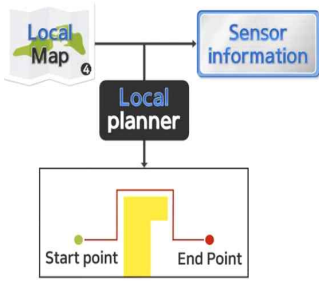



<Lidar 위치/거리측정계 업데이트 주기>

- 이렇게 계산된 $T_k^W$는 Sweep 당한번인 1Hz 주기로 LiDAR Pose를 업데이트하며 Odometry는 $T_{k+1}^L$를 10Hz 주기로 업데이트 진행
- 최종적으로 LiDAR Pose는 위 두 업데이트 값을 모두 사용하며 Odometry 주기와 같은 10Hz 주기로 계산



• Dataset을 이용한 주행 알고리즘 개발 및 적용
- 본 과제에서는 자율주행 제어를 위해 다음와 같은 계획을 수립하였으며 이 과정에서 지역 경로계획을 세워 목적지까지의 경로를 계획하고 돌발상황에 대해 자율적으로 판단하여 주행을 제어하는 알고리즘을 개발하였음
- 목표치의 좌표와 현재 좌표를 비교해 남은 거리를 계산한 후 AMR을 제어함




a) 지역 경로계획의 개념



```python
# XY 이동 작업
def xyControl(self):
    target_x, target_y = self.getRouteLine()
    target_a = self.target_pose_theta

    current_x: float = self.current_pose_x
    current_y: float = self.current_pose_y
    current_a: float = self.current_pose_theta

    del_x: float = target_x - current_x
    del_y: float = target_y - current_y
    del_th: float = calcTheta(target_a - current_a)

    self.remain_x = abs(del_x)
    self.remain_y = abs(del_y)
    self.remain_theta = abs(del_th)

    # 가이드라인 이탈 확인
    self.checkGuideLine()
```

b) 경로계획 알고리즘 코드

<경로계획 알고리즘 개념>

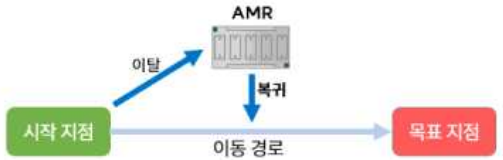
가) 노드를 활용한 AMR 제어
- 현재 AMR의 위치정보를 확인하기 위해 /agv_pose 노드를 활용하고 해당 정보를 /tcp_client 노드를 통해 ACS와 통신한 후 읽어내는 기법을 구현함
- AMR의 속도 및 방향 등의 경로를 계획하기 위해 /navigation_control 노드를 활용하였으며 이와 함께 /move_ctrl 노드를 활용하여 정보별로 AMR의 모터를 구동 및 제어하는 프로그램을 구성하였음

나) 가이드라인 체크와 돌발 해결
- 알고리즘 개발 과정에서 가이드라인 체크 기능을 추가하여 경로 이탈이 발생할 경우 가이드라인과의 비교 확인 후 제대로 된 경로를 찾아 주행하는 기능을 구현함
- MR의 경로계획에 돌발적인 장애물이 추가되면 구동을 정지하는 기능을 추가하여 작업자의 사고와 손실을 예방하는 장치를 마련함

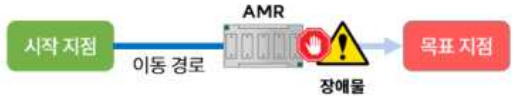
목표 지점 – 현재 위치 = 남은 이동 거리




a) 경로계획 알고리즘 개요




b) 경로 이탈 시 복귀 기능




c) 돌발 시 정지 기능

<경로계획 알고리즘 모식도와 기능>

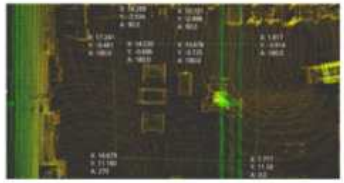
- 수립한 경로계획 알고리즘을 바탕으로 AMR의 움직임에 따라 S/W 로직을 구성하여 경로계획을 도출하였으며 아래의 표와 그림에 일부 경로의 S/W 구성 로직과 시각화된 3D Map을 표시함

<경로계획에 의해 로직 형태로 수립한 AMR 경로 좌표>

| 구분 | X | Y | Angle |
|---|---|---|---|
| 1 | 1.817 | -0.914 | 180.0 |
| 2 | 10.678 | -0.725 | 90.0 |
| 3 | 10.721 | -2.998 | 90.0 |
| 4 | 10.678 | -0.725 | 180.0 |
| 5 | 14.230 | -0.686 | 90.0 |
| 6 | 14.289 | -2.934 | 90.0 |
| 7 | 14.230 | -0.686 | 180.0 |
| 8 | 17.241 | -0.489 | 180.0 |
| 9 | 16.679 | 11.180 | 270.0 |
| 10 | 1.717 | 11.18 | 0.0 |
| 11 | 1.817 | -0.914 | 90.0 |



a) 경로계획에 의해 수립한 경로 코드 일부분



b) 경로계획에 의해 수립한 시각화 경로 이미지

<경로계획 알고리즘을 통해 수립한 경로>

• 상위 시스템과 연결하기 위한, Real time Status control program 개발

가) AMR 관제시스템(ACS)

- ACS는 AMR Control System의 약자로 다수의 AMR를 운영될 때에 명령을 전달하고 교통을 제어하는 시스템을 말함.
- 본 과제를 통해 개발한 해당 ACS의 경우 상위 시스템 MES(생산관리시스템), WMS(창고관리시스템)와 통신하여 명령을 자동으로 생성하고 명령 진행정보를 전달하는 기능을 추가하였음.




<AMR 관제시스템 - ACS (AMR Control System)>

나) AMR 관제시스템 (ACS) 화면 구성



- 위치 모니터링 부분: AMR의 현재 위치를 볼 수 있음.




<위치 모니터링 부분>

- 명령 부분: 실내용 전기자동차 (AMR)에게 작업 명령 혹은 비상 정지 등 지령을 부여하거나 작업을 추가할 수 있음




<ACS 명령 부분>

- 상태 모니터링 부분: 실내용 전기자동차 (AMR)의 상태 정보를 열람할 수 있음




<상태 모니터링 부분>

다) 상위 시스템 연동

- 상위 시스템 MES(생산관리시스템), WMS(창고관리시스템)와 연동하기 위해 통신함.
- MES 및 WMS의 시스템과 실내용 전기자동차 (AMR)는 통신을 통해 상태 정보 혹은 작업 명령 등의 데이터를 주고 받을수 있게 프로그램됨.




<ACS와 상위 시스템 통신 계층도>

• Control program과 TCP/IP 기반의 프로토콜 개발 및 구축
- Socket 통신을 이용하여 실시간으로 데이터를 주고받음으로써 빠른 동기화를 수행하여 해당 시스템이 안정적으로 운영되고 유지될 수 있게 함.




<Socket 통신을 이용하여 실시간 통신 구현>

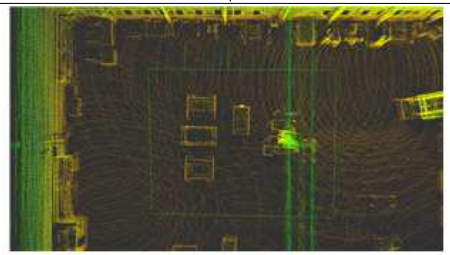
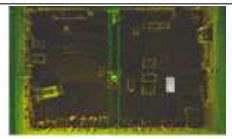
- 정확한 시스템의 소통을 위해 서로 데이터를 주고받는 양식과 규칙의 체계인 프로토콜을 정의하였음

기본 프로토콜 구조

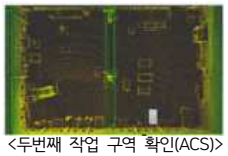
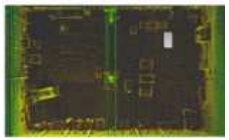
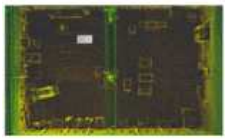
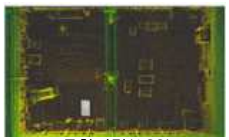
| STX | ID | CMD | LENGTH | DATA1 | ... | DATAn | CRC |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 구분 | 설명 | | | | 범위 | 길이(Byte) | |
| STX | Prefix, 0x02 고정 | | | | 0x02 | 1byte | |
| ID | 기기의 ID | | | | 01~99 | 2byte | |
| COMMAND | 명령 커맨드 | | | | - | 2byte | |
| LENGTH | DATA1~DATAn 까지의 길이(Byte) | | | | 01~90 | 2byte | |
| DATA | 데이터 | | | | 0x20~0x7E | Max 90byte | |
| CRC | ID ~ DATAn 까지의 CRC(16bit), CRC_H + CRC_L | | | | - | 2byte | |

<프로토콜 정의>

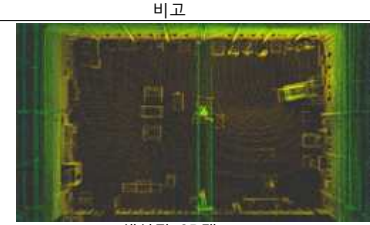
• AMR 동작시험 및 공간인지 확인
가) AMR 동작·운영시험
- 3D라이다를 이용한 AMR 경로 자율주행 동작시험 진행
- 시험방법 : AMR의 조작을 통해 이동위치 좌표 설정 → 획득 좌표 기준 명령구성 → ACS를 이용한 명령전송 → RVIAZ를 이용한 정밀 모니터링 및 ACS 모니터링 → 운행 도중 장애물 감지시 정지/회피 동작

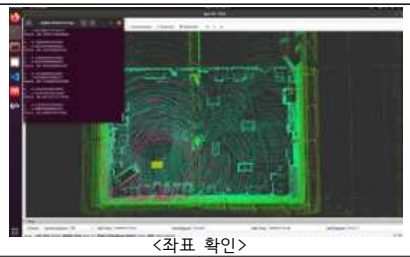
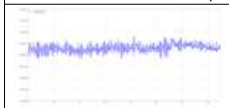
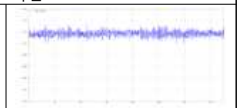
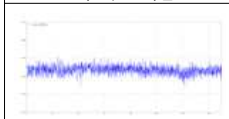
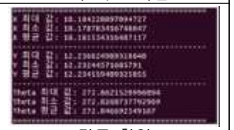
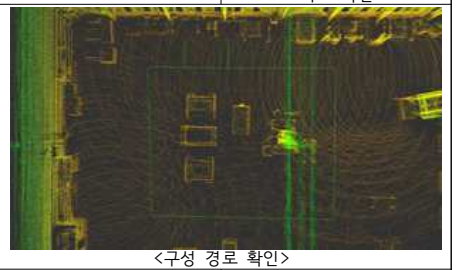
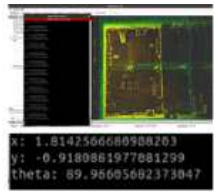
| 구분 | 결과 | 비고 | |
|---|---|---|---|
| 티칭 데이터 및 경로확인 | 이상없음 |  <br><구성된 경로 이미지> | |
| 티칭 데이터 정확도 확인 | 이상없음 | - | |
| 명령처리 확인 | 이상없음 | - | |
| ACS를 이용한 명령 전송 | 이상없음 |  <br><ACS를 통해 명령 전송> |  <br><AMR 명령 확인> |
| 장애물 감지 시 회피 및 정지 동작 | 이상없음 |  <br><장애물 검출> |  <br><AMR모니터링 화면> |
| 반복 주행 | 이상없음 | | |



| | | | |
|---|---|---|---|
| 테스트 | (100회 수행) |  <br><첫번째 작업 구역 확인(ACS)> |  <br><첫번째 작업 구역 확인(육안)> |
| | |  <br><두번째 작업 구역 확인(ACS)> |  <br><두번째 작업 구역 확인(육안)> |
| | |  <br><첫번째 코너 위치(ACS)> |  <br><첫번째 코너 위치(육안)> |
| | |  <br><두번째 코너 위치(ACS)> |  <br><두번째 코너 위치(ACS)> |
| | |  <br><세번째 코너 위치(ACS)> |  <br><세번째 코너 위치(ACS)> |
| | |  <br><도착지점(ACS)> |  <br><도착지점(육안)> |

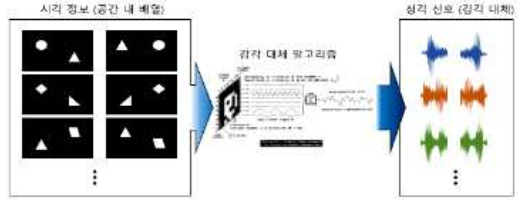
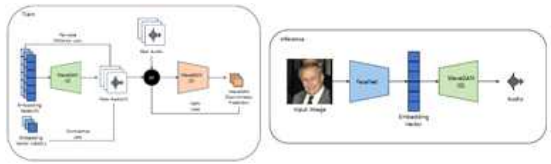
나) 공간인지 시험
- AMR의 특정 좌표 구간을 이동하여 LiDAR 의 위치 정도 및 실제 이동간의 정밀도 측정
- 시험방법 : 정지상태의 LiDAR상 정밀도 확인 → 이동경로 구성 → 구성된 경로 반복 주행 후 표시된 위치 도착 후 육안 확인 → 도착한 좌표 확인 및 오차 측정
- 시험결과

| 구분 | 결과 | 비고 |
|---|---|---|
| 생성된 2D Map 확인 | 맵 생성 확인 |  <br><생성된 2D맵> |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 정지상태에서 Lidar 상 정밀도 시각화 및 값 산출 | X:±7mm오차<br>Y:±4mm오차<br>Theta:±∠0.04°오차 |  <br><좌표 확인><br>  <br><X축 좌표 확인><br>  <br><Y축 좌표 확인><br>  <br><Angle값(각도) 확인><br>  <br><좌표 확인> |
| | | 경로 구성 | - |  <br><구성 경로 확인> |
| | | 육안상 오차 확인 | 1) 앞 좌측 : 측면: +9mm/ 앞면: -1mm<br>2) 앞 우측 : 측면:-12mm/ 앞면: 0mm<br>3)뒤 좌측 : 측면: 0mm / 앞면: +5mm<br>4)뒤 우측 : 측면: -5mm / 앞면: 0mm |  <br><출발지 위치><br>  <br><도착지 위치> |
| | | Lidar 상 오차 확인 | 출발지 대비<br>1) X좌표 차이: 약 7.7mm<br>2) Y좌표 차이: 약 2.2mm<br>3) Theta 차이: 약∠0.41° |  <br><출발지 좌표><br>  <br><도착지 좌표> |

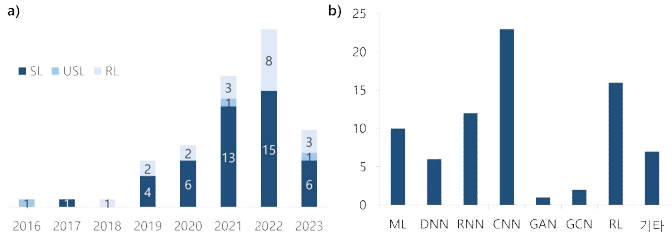
- AMR(장비) 기준 좌우측 -> 측면
- AMR(장비) 기준 앞뒤측 -> 앞면
- 식별 테이프 기준 AMR(장비)로부터 안쪽 -> 음수(-)
- 식별 테이프 기준 AMR(장비)로부터 바깥쪽 -> 양수(+)



| | | |
|---|---|---|
| | | 다) 결론<br>- 동작시험 결과 LiDAR을 이용한 자율주행 확인<br>- 공간인지 시험 결과 구동 전/후 ACS 측정 좌표 및 육안 확인시 100mm이내 위치정도 확인 |
| 서울대학교<br>(공동 5) | 감각 대체에 대한 대뇌 정보처리 네트워크 분석 | ○ (세계최초)공간적 정보에 대한 V2A의 대뇌 활동 정보처리 네트워크 설계<br>• 공간 내에 존재하는 대상 탐지 실험 자극 설계<br>- 심리학 공간 탐지 과제 (Spatial detection task)패러다임 기반 상/하, 좌/우 중에서 무작위 위치의 자극쌍설계 및 제작<br>• 사용자 실험을 위한 실험절차 설계 및 파일럿 실험<br>- 실험 진행을 위한 자극 제시 순서 확립<br>- 실험절차 검증을 위한 파일럿 테스트(3명) 완료<br>  <br><br><공간적 정보에 대한 V2A 대뇌 정보처리 네트워크 실험 구성도> |
| 부경대학교<br>(공동 6) | 인물 식별 지원 V2A 기본 모델 개발 | ○ 복잡한 사물(인물)식별 지원 V2A 모델 개발<br>• 얼굴 특징을 추출하여 소리로 전달하는 WaveGAN기반 V2A 모델 기본 구조 개발<br>- 정확한 인물 식별을 위해, 소리 생성 시,기하학적 거리 보존 및 Contrastive loss기반의 거리 보정손실함수 적용<br>- 얼굴 특징 인코딩(FaceNet) 및 데이터 기반 소리 생성(WaveGAN) 네트워크 구축<br>  <br><얼굴 식별 지원 V2A 모델 구성도> |
| UNIST<br>(위탁1) | 제조산업용 협업지능을 위한 핵심기술 분석 및 인간-로봇 협업지능 기술을 위한 AI 학습모델 개발연구 | ○ 제조산업의 협업지능 기술 및 대표 적용사례 분석<br>• 제조산업에서의 작업자와 로봇 간의 협업지능 기술 관련 국내외 자료 및 문헌 분석을 통해 협업지능 정의 및 핵심기술 정리<br>- 본 연구에서는 제조산업의 협업지능을 다음과 같이 정의:<br>→ '제조현장에서 개체 간 최적의 협업을 가능하게 지원하는 기술'<br>- 제조산업 현장에서의 인간-로봇 협업지능을 위해 로봇 및 AI 기술 필요<br>• 학술적 문헌의 체계적 분석을 통해 제조산업용 협업지능 관련 기술 동향 파악<br>- AI 기반 인간-로봇 협업지능 관련 키워드 선정 후 관련 문헌 검색<br>→ 2015년부터 2023년까지 게재된 4696건의 문헌 중 제조산업에서의 AI 기반 인간-로봇 협업지능과 높은 관계성을 보이는 68건의 문헌에 대한 분석 진행<br>- 인간-로봇 협업지능 기술의 활용목적에 따른 분류<br>→ '협업조립', '객체전달', '협업제조', '물건처리', '안전'으로 분류 가능하며, '협업조립' 및 '안전' 관련 항목이 가장 활발히 연구되고 있음 [아래 표 참조]<br>- 협업지능을 위한 AI 기술 및 학습 데이터 활용 동향<br>→ 효율적이며 안정적인 협업을 위해 높은 성능을 보이는 이미지 기반 지도학습 선호 [아래 그림 참조] |

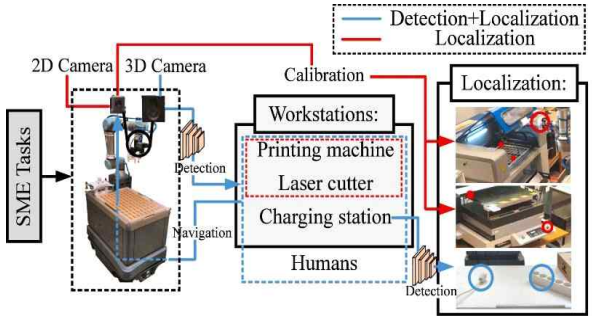
| 상호작용 | 설명 | 개수 | 비율 (중복) |
|---|---|---|---|
| (1) 협업 조립 | 작업 시퀀스 단계 인식 및 작업 수행 | 29 | 43% |
| (2) 객체 전달 | 작업자-로봇 간의 물체 교환 | 16 | 24% |
| (3) 협업 제조 | 작업자와 협력하여 제조 업무 수행 | 7 | 10% |
| (4) 물건 처리 | 작업자와 함께 물건을 이동 | 5 | 7% |
| (5) 기타 | 안전 | 17 | 25% |

<협업지능 기술 활용목적에 따른 분류>




<a) 연도별 학습방법 분포 및 b) 학습모델 분포>

• 본 연구의 시나리오 도출을 위한 AI 기반 인간-로봇 협업지능 활용 최신사례의 심층 분석
- 인쇄 및 절단 장비의 원료 공급 및 작업 수행을 위한 협업지능 기술로서 불안정한 환경에서의 장비와 작업자를 정확하게 감지할 수 있는 인지 기술 제안
※ 참조: Zhou et al. (2022). Learning-based object detection and localization for a mobile robot manipulator in SME production, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, 73*, 102229
→ 협업 흐름: 로봇이동 > 장비감지 > 위치보정 > 작업진행 > 로봇이동 [아래 그림 참조]

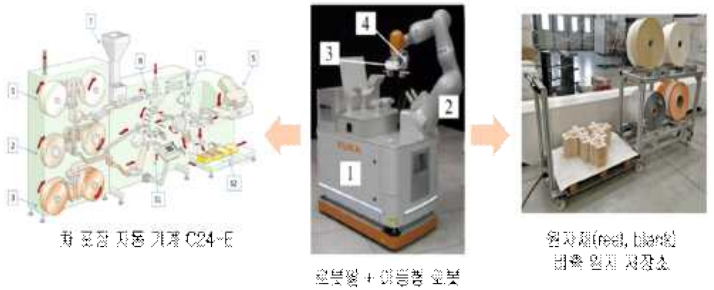



<인쇄 및 절단 장비의 원료 공급을 위한 협업지능 기술 구성 및 흐름도>

- 차 포장 자동 기계의 원료 공급 작업 자동화를 위한 협업지능 기술 시스템 제안
※ 참조: Comari, S. et al. (2022). Mobile cobots for autonomous raw-material feeding of automatic packaging machines. *Journal of Manufacturing Systems, 64*, 211-224
→ 협업 흐름: 알림 > 저장소이동 > 재료저장 > 재료공급 및 전달 [아래 그림 참조]

o 제조현장의 특성을 고려한 AI 기반 이동형 로봇-인간 협업지능 기술 개발연구
• 협업지능 기술 개발연구를 위한 협업 시나리오 선정
- 문헌 분석 결과 외에도 여러 요소(해당 제조 분야에서 협업지능 기술의 필요성, 실제 제조현장과 유사 환경에서의 실험 가능성, 등)를 고려하여 다음 시나리오 선정:

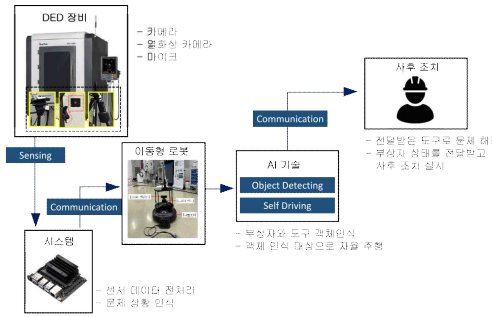





<차 포장 자동 기계의 원료 공급 작업을 위한 협업지능 기술 구성 및 흐름도>

→ 금속 적층제조 현장에서 작업자의 안전을 고려한 AI 기반 인간-이동형 로봇 협업지능 기술을 위한 시나리오
- 금속 적층제조현장에서 안전 관련하여 발생 가능 상황별 협업지능 기술 활용방안
상황 1 : 적층제조 장비 오장동으로 발생하는 위험 상황 감지
→ 이미지 센서를 통해 장비 상태 또는 위험 사전감지 및 이동형 로봇을 통한 대응
상황 2 : 작업자의 고온 환경 노출로 인한 안전사고 예방
→ 적층제조 장비의 작동 도중 정지 또는 작동 완료 후 열화상 센서를 통해 장비 내부 온도 모니터링 및 이동형 로봇의 후속 작업에 필요한 도구 탐색
상황 3 : 작업자가 관여된 안전사고 조치
→ 작업환경에서의 작업자의 갑작스러운 사고 발생 시 음성 인식 센서를 통해 감지 및 이동형 로봇을 통해 작업자 위치 확인 및 사고 심각성 파악

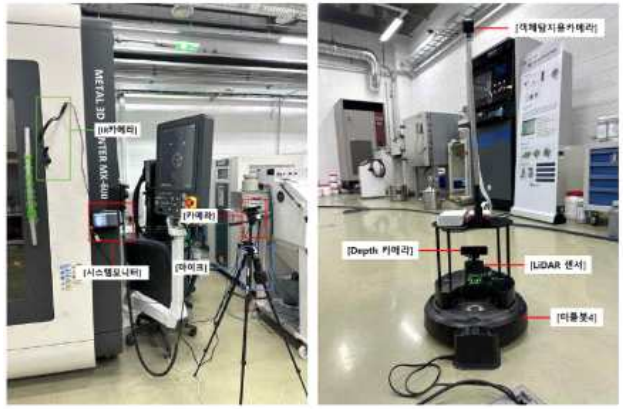
• 선정한 시나리오 구현을 위한 구축




<본 연구의 협업지능 기술을 위한 시나리오 흐름도>

- 라즈베리파이 컴퓨터와 모니터 및 센서(이미지센서, 열화상 센서, 음성 센서) 연결을 통해 모니터링 장비를 구성하고 적층제조 장비에 부착 [그림5 참조]
- 터틀봇4 로봇과 객체탐지용 카메라를 장착하여 이동형 로봇을 구성 [그림5 참조]

- 상황별 세부사항
상황 1 : 모니터링 장비에 장착된 이미지 센서를 통해 적층제조 장비의 경고등을 모니터링 하여 이상 상황 발생 시 작업자와 이동형 로봇에 알림 전송. 로봇은 해당 상황에 필요한 도구 탐색
상황 2 : 모니터링 장비에 장착된 열화상 센서는 적층제조 장비 내부의 온도를 측정하고 출력물의 적정 온도 감지 시, 작업자와 이동형 로봇에 알림 전송. 로봇은 해당 상황에 필요한 도구 탐색
상황 3 : 모니터링 장비에 장착된 음성 센서를 통해 일반상황과 이상 상황에서의 소음의



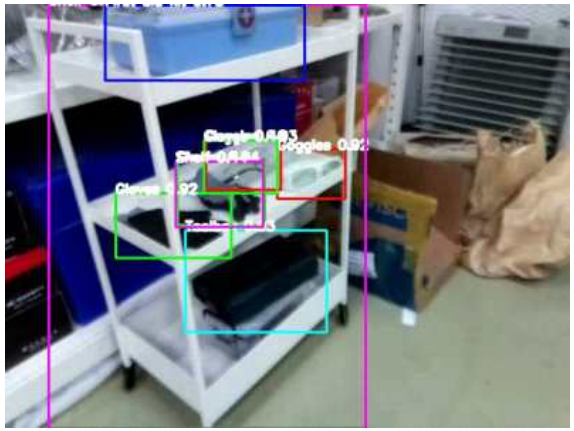

<센서용 시스템이 부착된 적층제조 장비 및 이동형 로봇>

차이를 감지하고 이동형 로봇에 경고 신호를 전송. 로봇은 작업자의 위치 파악 및 작업자의 상태 확인

• 협업지능 기술을 위한 AI 기술 구축
- 이동형 로봇의 상황별 대응을 위해 사물의 형태와 위치를 파악할 수 있는 객체 인식 모델 구축
→ 객체 인식 모델 생성을 위해 이미지 수집 및 오픈 데이터 활용
→ 높은 정확도와 모델 효율성을 보이는 YOLOv5s 활용 [아래 표와 그림 참조]

| 모델명 | 예측성능 (mAP 50-95) | 레이어 수 | 파라미터 수 | GFLOPs | 추론 시간(ms) |
|---|---|---|---|---|---|
| YOLOv3-tiny | 0.819 | **39** | 8,682,862 | **12.9** | 2.6 |
| YOLOv3 | 0.917 | 190 | 61,535,125 | 154.7 | 3.9 |
| YOLOv5s | 0.931 | 157 | **7,026,307** | 15.8 | **1.8** |
| YOLOv5m | **0.932** | 212 | 20,881,221 | 47.9 | 3.4 |

<객체 인식 모델의 예측 성능 및 효율성>



<구축된 객체 인식 모델의 예측 이미지>

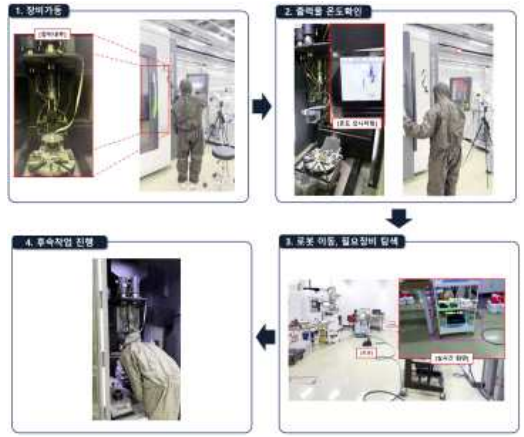


- 이동형 로봇에 탑재된 AI 모델의 상황별 객체 인식
상황 1 : 선반 인식 → 도구 (보안경, 장갑) 인식
상황 2 : 선반 인식 → 도구 (보안경, 장갑, 도구 상자) 인식
상황 3 : 부상자 인식

• 구축된 협업 시나리오 데모
상황 1 : 적층제조 장비 오장동으로 발생하는 위험 상황 감지



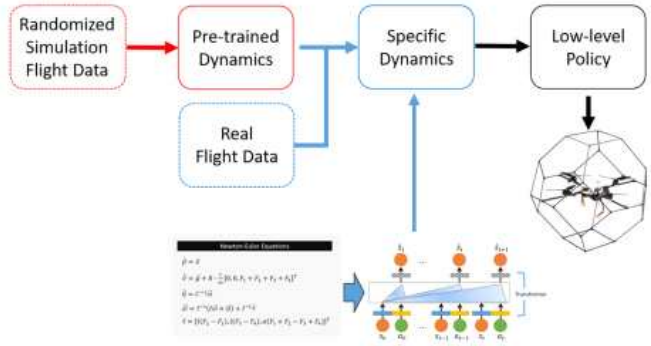
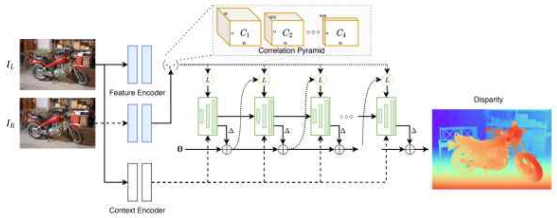
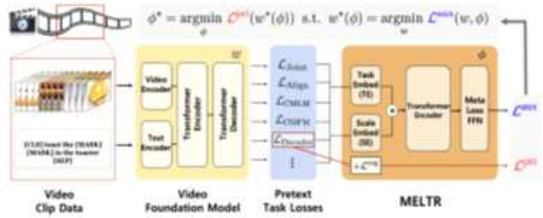

상황 2 : 작업자의 고온 환경 노출로 인한 안전사고 예방




상황 3 : 작업자가 관여된 안전사고 조치




| | | |
|---|---|---|
| 포항공과대학교 (위탁 2) | 강화학습 기반 드론 제어 | ○ Sim-to-Real gap 극복 드론 비행 제어 AI 고도화<br>• 실제 드론 비행 데이터를 이용한 드론 동역학 모델링 AI 개발<br>• 학습된 드론 동역학 모델링 AI를 활용한 드론 비행 제어 Policy fine-tunning<br>• 실제 드론에 fine-tunned 드론 비행 제어 Policy를 적용하여 비행 실험 진행 |

| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><드론 비행 제어 AI Policy 학습 방법 및 드론 동역학 모델링 AI 설명> |
| DGIST<br>(위탁 3) | 스테레오 카메라 및 신경망 기반 깊이영상 획득 | ㅇ 신경망 및 스테레오 매칭 기반 깊이영상 획득<br>• 가상환경 전방 깊이영상과 실제환경 깊이영상 차이 극복<br>• 스테레오 카메라 영상 → 신경망 → 깊이영상 변환<br>  <br><RAFT: Multilevel Recurrent Field Transforms for Stereo Matching> |
| 고려대학교<br>(위탁 4) | 자가 학습 지원을 위한 장면 질의 모델 연구 | ㅇ 1인칭 시점 비디오 기반 사람-사물 상호작용 이해 모델 연구<br>• VQA 지원을 위한 픽셀 수준 장면 설명 모델 연구<br>- 영상 객체의 상태변환 검출,시선 추적 및 화자식별 통합 모델<br>- 개별 모델과 공유 트랜스포머 인코더를 활용한 융합 방안 제안<br>• 질의-정답 추출 알고리즘 연구<br>- 다중 손실 함수를 자동x비선형적으로결합하여 Video Foundation Model을 태스크 특성에 맞게 Fine-Tuning하는 방법 연구<br>  <br><1인칭 시점 기반 사람-사물 상호작용 이해 모델> |
| KAIST<br>(위탁 5) | 효율적 정보 전달 지원 시각정보 분석알고리즘 연구 | ㅇ 전달 정보 간략화를 위한 데이터 증강 기술 연구<br>• 이미지-의미영역 페어 결합 생성 Gaussian-categorical diffusion 모델 개발<br>- 이미지, 의미영역 학습과 생성과정에서 동시에 노이즈를 추가 및 제거 지원을 통해 대규모 학습 데이터 확보로 의미 영역 추출 알고리즘 개선<br>→ 이미지생성, 의미영역 개별 학습으로 이미지-의미영역 정열, 비슷한 상황만 생성, 생성된 이미지 해상도 한계에 대한 문제점 해소<br>- Cityscape 생성 영상 FID: Ours(20.4), GANFormer(24.9), DatasetDDPM(55.58 |





<데이터 간략화 지원 데이터증강 모델 구성도>

**ETRI (주관)**

• 제조 협업지능 프레임워크 기반 서비스 연동 기술 성능 검증 및 지능로봇 기반 Safety 서비스 확장 기술 개발
- 제조 협업지능 프레임워크와 SEQ 서비스 기술 연동
- SK에너지내 실증 사이트 구축
- 내부 제어 및 모니터링 시스템 구축
- 작업자 이상행위 검출 핵심기술 개발 및 실 산업현장 적용을 통한 기술 검증
- S급 IPR 확보, 기술이전/출자를 통한 기술확산 및 사업화 지원

• 드론 CPS 활용성 고도화
- AI 기반 드론 정밀 제어
- AI 기반 드론 깊이영상 획득

• 단일 감각 기반 지각기술의 다중 감각 합성을 위한 확장
- (세계최고) V2A 알고리즘 최적화(10.2% 개선)
- (세계최초) 교육이론 기반 감각 대체 학습 모델 정립(지각률 82.5%)
- 3차원 정보 전달 위한 시공간 변조 패턴 자극 생성 알고리즘 개발

최정단

**비피앤솔루션 (공동1)**

• 제조 데이터 보호거래 플랫폼 고도화
- DID기반사용자인증, 표준계약 관리, 분산데이터관리 등 개별 모듈 통합
- 포털, APP, 블록체인 네트워크 통합 시제품 제작
- 알파테스트 수행

**에이테크 (공동2)**

• 제조 협업지능 프레임워크 상세 설계 및 핵심기능구현
- AI 프레임워크 관리 모듈 구현
- AI 프레임워크 데이터 적재·관리 모듈 고도화
- 기본 모듈 기준 통합 및 AI 프레임워크 프로토타입 구축
- AI 프레임워크 알파테스트 운영

**유진기술 (공동3)**

• 음향 신호 기반 화력발전기의 고정자 웨지 체결강도 검사 시스템의 구동 및 검사 기능 구현
- 구동부의 기계적 매커니즘 개발
- 체결강도 검사용 타격기 개발
- 웨지상태 머신러닝 인식기 개발

**에스아이에스 (공동4)**

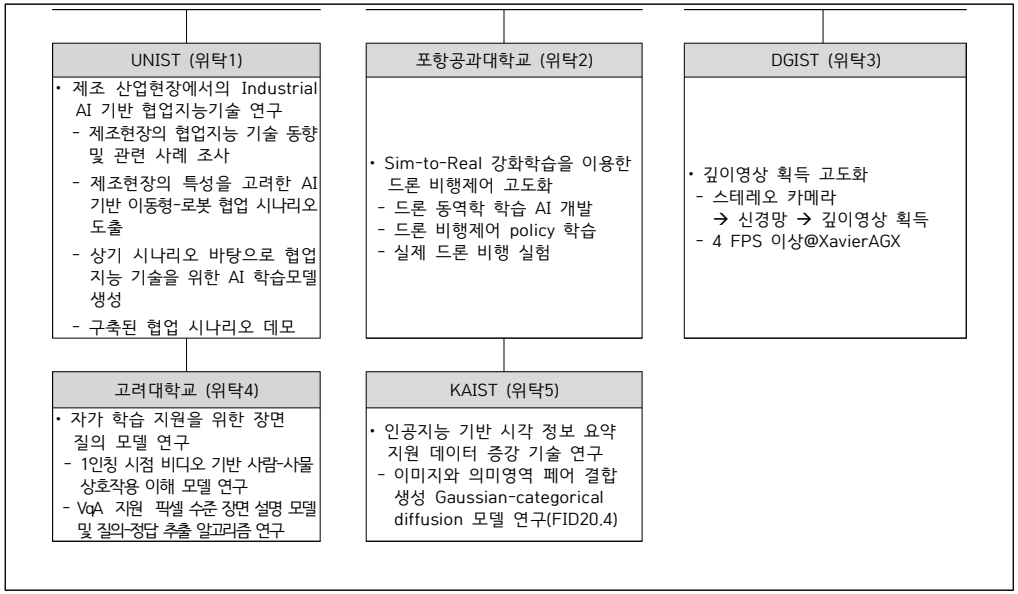
• AMR 제품 고도화
- 자율주행 S/W 개발
- 3차원 Point Cloud Dataset 구축
- Dataset 이용한 주행 알고리즘 개발
- 상위 시스템 연결용 실시간 컨트롤 프로그램 개발
- Control program과 TCP/IP 기반의 프로토콜 개발
- 객체인식 초기단계 S/W 개발
- AMR 동작시험 및 공간인지 확인시험 결과 주행 위치 정확도 100mm이내 달성

**서울대학교 (공동5)**

• (세계최초) 감각대체에 대한 대뇌 지각 프로세스 분석
- 공간적 정보에 대한 V2A 대뇌 활동 정보처리 네트워크 설계
- 사용자 실험을 위한 실험절차 설계 및 파일럿 실험

**부경대학교 (공동6)**

• 복잡한 사물(인물)식별 지원 암시적 V2A 알고리즘 연구
- 청각 정보를 통해 복잡한 시각 정보 식별 가능성 확인





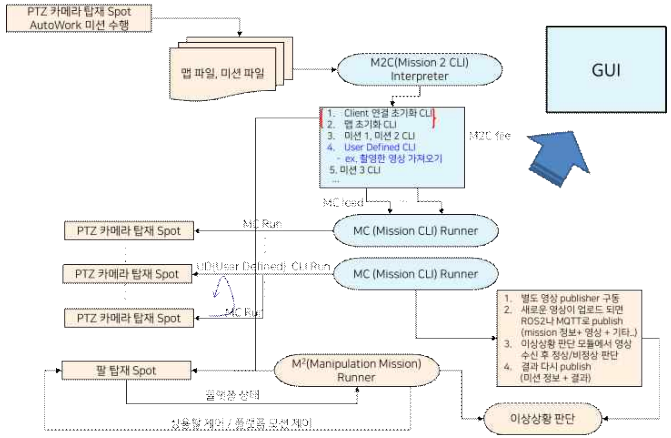

## (5) (2단계) 3차년도(2024년도) 개발 내용 및 범위

| 수행기관 | 개발 목표 | 개발내용 및 범위 |
|---|---|---|
| ETRI (주관) | 지능 로봇 기반의 이상상황 감지 기술 모니터링 시스템 구축 | ○ 다중 로봇 기반 산업현장 이상상황 감지 기술<br>• 산업현장 이상상황 감지 및 로봇간 협업 테스트베드 시나리오<br>- 고정형/이동형 및 다양한 조합의 로봇간의 협업 시나리오 포함<br>- 이종의 이동형 로봇간의 연계 시나리오 포함<br>- 이상상황 발생시 정밀 점검을 위한 로봇 배치 시나리오<br>. 일상 순찰 로봇으로 주변 환경 인식/게이지 인식/안전모 미착용등의 인식을 수행<br>. 고정형 CCTV등으로 이상상황(쓰러짐, 지정구역 출입, 화재 및 싸움등)을 검출<br>. 정밀 점검 로봇의 경우 일상 순찰 로봇에서의 인식 실패 또는 인식 결과 점수가 낮을 때 확인차 해당 지점으로 이동하여 데이터 재획득<br>. 고정형에서 사건 발생하는 경우 확인을 위해 해당 지점 이동 후 이상상황 확인<br>  <br><산업현장 이상상황 감지 기술 구성도 그림><br>• 전력연구원 테스트 실환경 구축<br>- 전력연구원 내부 연소 테스트 공장에서 시연<br>- 다수의 이동형+고정형 에이전트 상호 협업 시나리오<br>- 석유화학단지의 요구사항(게이지 인식, 이상상황인식등)에 기반한 시나리오 구축<br>- 전력연구원 테스트베드<br>. 항공뷰와 같이 실내와 실외가 혼재된 공간<br>. 로봇에 특화된 공간이 아니여서 몇몇 게이지 등의 시야 확보가 어려움<br>. 공장지대의 특성상 사족로봇이 이동이 용이하여 상용로봇을 기준으로 구성<br>  <br><전력연구원 테스트베드 현장 사진 및 이동형 로봇><br>• 산업현장 이상상황 관제/모니터링 서버 개발<br>- 산업현장에서 로봇을 활용하기 위한 제어, 모니터링, 실시간 진단 솔루션이 필요<br>- 상용 로봇 SW의 구성을 사용하면서 인식 기술등 커스터마이즈 가능한 GUI 개발<br>- 모니터링 시스템으로 게이지인식, 이상상황 Logging 및 검색 기능 구축<br>- 사전에 임무 목록 생성 및 수정 기능 제공 |




<산업현장 이상상황 판단을 위한 전체 시스템 구성도>

• 이동형/고정형 에이전트, 서버간 통신 구성 및 임무 생성, 수정 기술
  - 서로 다른 OS 및 시스템간의 통신을 위해서 Wifi기반 MQTT로 전송
  - 센서 영상 저장 및 에이전트간 전달 시스템 구축
  - 각 에이전트 상태 및 이상상황 인식 노드의 상태 관리
  - 이동형 에이전트의 네비게이션 및 순찰 미션 관리
    . 상용로봇인 Boston Dynamics사의 Spot 미션 관리인 Autowalk 사용
    . 순차적인 실행 및 수정을 위해서 M2C 인터프리터, MC runner 개발
    . 이종의 구성을 가진 Spot에서 사용가능하도록 제작



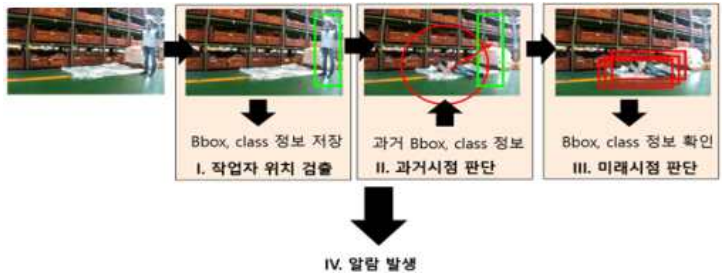

<로봇의 단위 임무 실행 관점에서의 전체적인 순서도>

산업현장에서의 작업자 이상행위 검출 기술 개발

○ 작업자 이상행위 검출 및 안전장비 착용여부 판별 기술

• 산업현장에서의 작업자 쓰러짐 검출 기술 개발
  - 다양한 자세에서도 작업자의 쓰러짐 검출이 가능
  - 창고, 기계 구조물 등 산업 현장에서 발생하는 배경의 변화에 강인하게 동작
  - 위치 검출 신경망이 매 입력 동영상 프레임마다 작업자의 위치를 특정하여 검출






<산업현장에서의 작업자 쓰러짐 검출 기술 개념도>

- 작업자 쓰러짐 검출 기술의 정량 성능 평가를 위해 평가용 데이터셋 구축
  · 이상 행위(쓰러짐) 동영상 50개와 정상 행위 동영상 50개로 구성
  · AI-Hub 이상행동 CCTV 영상 데이터셋에서 25개의 이상 행위 동영상을 추출
  · KISA CCTV 이상행동 데이터셋에서 25개의 이상 행위 동영상을 추출
- 총 100개로 구성된 평가용 데이터셋에 대해 F1-score 92.47% 달성
- 실제 산업현장에서 작업자 쓰러짐 검출 기술 실증



< 실제 산업현장에서의 쓰러짐 검출 기술 실증 >

• 산업현장에서의 작업자 안전장비 착용여부 판별 기술 개발
  - 실시간 위치 추적 및 착용 여부 판별 알고리즘 개발
  - 작업자의 머리 영역 추적을 위한 BoT-Sort 트래킹 알고리즘 개발
  - 추적된 머리 영역이 안전모 미착용으로 2초 이내 80%이상 분류될 경우 알람 발생




<산업 현장에서의 작업자 안전장비 착용여부 판별 기술 개념도>

- 산업현장에서의 안전모 탐지 기술 학습/평가용 데이터셋 구축
  · 산업 현장 환경에서 안전모를 안정적으로 탐지할 수 있도록 산업현장을 배경으로하는 안전모 탐지 데이터셋을 수집
  · 구축된 안전모 탐지 데이터셋은 AI-Hub의 공사현장 안전장비 인식 이미지와 roboflow의 hard-hats-fhbh5를 사용
  · AI-Hub 공사현장 데이터셋은 총 학습영상 347,871장(객체 731,232개) 평가영상 9,356장 (객체 19,549개)
  · hard-hats-fhbh5 데이터셋은 총 학습영상 13,782장 (객체 38,701개), 평가영상

642장 (객체 1,799개)



<AI-Hub 공사현장 데이터셋 샘플>



<hard-hats-fhbh5 데이터셋 샘플>

- 탐지모델 학습 및 평가
  · 안전모를 탐지하기 위해서 Yolov8-large 모델을 사용하여 학습
  · 탐지 대상 객체를 0:Helmat (안전모 착용), 1:Head (안전모 미착용)로 구성
  · 각 데이터셋에서 mAP50 기준 95.5%, 92.4% 성능 달성

| metric | AI-Hub 공사현장 데이터셋 | hard-hats-fhbh5 데이터셋 |
|---|---|---|
| mAP50 | 95.5% | 92.4% |
| Recall | 93.7% | 89.9% |
| Precision | 95.7% | 88.7% |



< 실제 산업현장에서의 안전모 착용 여부 판단 기술 실증 >

• 작업자 이상 행위 검출 기술의 성과 확산 및 사업화 지원
  - 작업자 이상행위 검출 시제품 v2 개발
    · 사족보행로봇-CCTV 협력기반 이상행위 검출
    · 실제 산업현장(SK에너지, 한국전력연구원)에서의 기술 검증
  - 휴먼 이상 행동 인식 기술 기술이전 및 사업화 지원
    · 기술이전 2건, 기술료 1억원 (㈜나라정보기술, ㈜비전코어)
    · 사회 안전을 위해 세종정부청사체육관에 쓰러짐 감지 기술을 적용하여 시험 운영중 (24년 12월 TTA 현장 성능 검증 예정, 검증 후 3년간 운영 예정, ㈜나라지식정보)
  - 산업화 솔루션 전문 SCI 논문 투고
    · 위급상황 행동인식 기술, Sustainable Cities and Society 1건 게재, IF10.5
    · 위급상황 행동인식 기술, Expert Systems with Applications 1건 게재, IF7.5





<세종정부청사체육관에서 시험 운영 중인 쓰러짐 감지 기술>

산업현장 게이지 인식 기술 개발

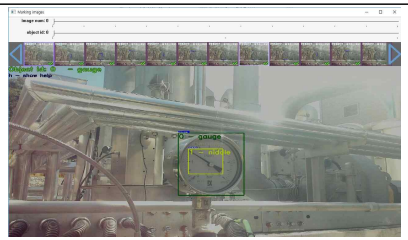
○ 산업설비 이상상황 인식 기술(게이지 인식 기술)

• 게이지 검출 및 인식을 위한 데이터베이스 구축
  - 오픈 데이터셋(Roboflow)에서 게이지 영상 다운로드
    · 1개 또는 여러 개의 게이지를 포함하는 다양한 게이지 형태의 1,700개 영상 다운로드
    · 640x640 해상도 및 게이지 모양/바늘 종류/조명/각도 다양
  - 산업 현장 데이터베이스 획득(SK, 한국전력연구원)
    · SK 산업 현장에서 SPOT 카메라로 1개의 게이지가 포함된 450장 현장 영상 획득
      : 1920x1080 해상도의 게이지 모양과 바늘이 다른 16종류 게이지 영상 획득
    · 한국전력연 현장에서 SPOT 카메라 및 웹캡으로 1개의 게이지가 포함된 1,393개 영상 획득
      : 1920x1080와 3840x2160 해상도의 게이지 모양과 바늘이 다른 22종류 게이지 영상 획득



<게이지 데이터베이스 영상 예시>

• 게이지 검출을 위한 어노테이션
  <class_id> <x_center> <y_center> <width> <height>로 객체 정보 저장
  ex) 0 0.527 0.462 0.223 0.378
  - 게이지 및 바늘 영역 검출을 위한 어노테이션
    · YOLOV4 어노테이션 규칙에 따라 게이지 및 바늘 지침 영역에 대한 바운딩 박스 정보 저장
    · Class ID : gauge = 0 , niddle= 1



<게이지 및 바늘 지침 어노테이션 영상 예시>

- 게이지 숫자 영역 검출을 위한 어노테이션
  · YOLOV4 어노테이션 규칙에 따라 숫자 영역에 대한 바운딩 박스 정보 저장
  · Class ID : 개별 숫자에 따라 0~9 클래스 ID 부여
  · 게이지 크기 및 숫자 영역의 다양성 때문에 정규화된 게이지 영역에 대한 어노테이션 실시

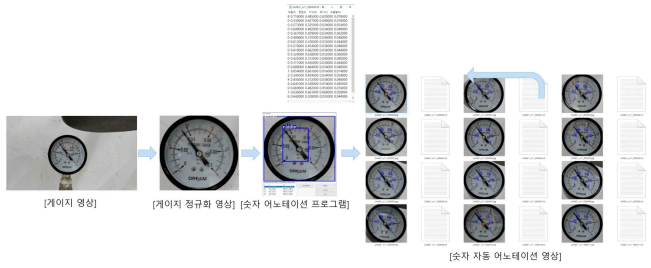



<정규화된 게이지 영상에 대한 어노테이션 영상 예시>

- 게이지와 바늘 지침 및 숫자 자동 어노테이션
  · [1단계] 다양한 게이지 영상에 대해 게이지 및 바늘 지침 영역 자동 어노테이션 시행
  · [2단계] 게이지 영상 크기와 숫자 크기의 다양성으로 인해 게이지 영역 검출 후 *nxn* 으로 정규화된 게이지 영상에 대해 숫자 영역 자동 어노테이션 시행



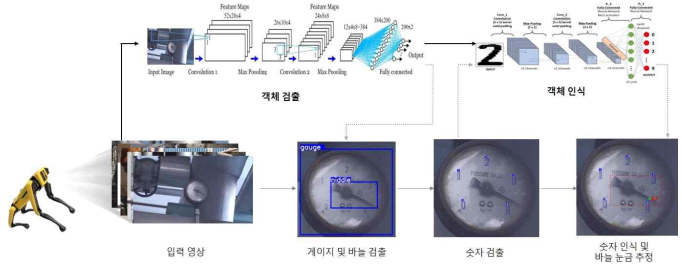

<게이지 및 바늘 지침 영역 자동 어노테이션 영상 예시>






<숫자 영역 자동 어노테이션 영상 예시>

• 게이지 검출 및 인식 기술
- 산업 현장 곳곳에 설치된 아날로그 게이지를 대상으로 현장에서 수집한 다양한 게이지 영상과 오픈된 게이지 영상을 이용하여 지능형 기술로 학습 및 분석하여 게이지 검출, 숫자 검출, 숫자 인식 및 눈금 추정 과정을 통해 게이지를 인식하는 기술




<게이지 검출 및 인식 기술 흐름도> ·

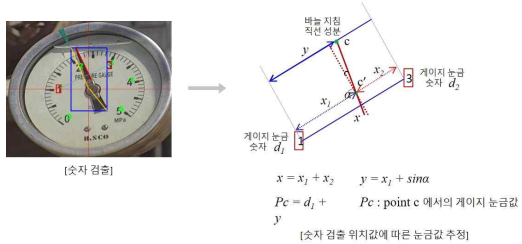
- 게이지 및 바늘 지침 검출기
  · 게이지 및 바늘 지침 검출 학습 및 테스트 데이터 셋 구성
    · 학습 : 오픈 데이터(roboflow1,363장) + SK 영상(433장)
    · 테스트 : 한국전력연 영상 200장(게이지 9종류)
    · 게이지 영역 및 바늘 영역에 대한 검출을 위해 2클래스로 구성
  · 여러 개의 게이지 검출 결과에서 가장 큰 게이지 영역 선택
  · 여러 개의 바늘 검출 결과에서 가장 작은 바늘 영역 선택

- 게이지 영역 정규화
  · 게이지의 크기, 모양, 바늘 종류, 숫자 폰트, 눈금 체계 등이 다양한 게이지를 대상으로 게이지 눈금을 구성하는 숫자 검출 및 인식을 수행하기 위하여 게이지 영역 검출 후 게이지 바운딩 박스 *kxl* 영역을 *nxn* 영역으로 정규화하는 과정 시행
- 게이지 영역 내 숫자 검출기
  · 게이지 영역 내 숫자 검출 학습 및 테스트 데이터 셋 구성
    · 학습: SK(777장) +한국전력연(1,147장) 영상 = 1,924장
    · 테스트 : 한국전력연 영상 200장(게이지 9종류)
    · 개별 숫자 0~9 10개 숫자 검출을 위해 10클래스로 구성
  · 여러 개의 숫자 검출 결과에서 검출율이 가장 높은 숫자 영역 선택
- 게이지 숫자 인식 및 바늘 지침 눈금 추정 엔진
  · 게이지 유형 분류 : 실제 현장에 설치된 다양한 게이지 종류와 빛 반사, 조명 변화, 게이지 영상을 획득하는 로봇의 각도 및 포즈 변화와 같은 외부 환경 요인으로 인한 인식 성능 저하를 개선하기 위해 게이지 유형을 분류함



<게이지 유형 영상 예시> ·

- 게이지 바늘 지침 눈금값 추정
  · 검출된 개별 숫자 간의 위치값 분석을 통해 이웃하는 숫자열을 생성하고 게이지 눈금 체계인 눈금값 인식
  · 게이지 바늘 지침이 가리키는 눈금값 추정 : 게이지 바늘의 주요 직선 성분 및 게이지 숫자열의 상대 위치값 계산을 통해 눈금값 추정



[숫자 검출]

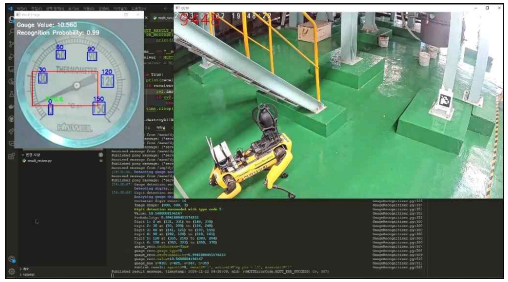
[숫자 검출 위치값에 따른 눈금값 추정]

<게이지 눈금값 추정>

- 게이지 인식 실증 운영
  · 한국전력연구원 살중 현장에 설치된 게이지를 대상으로 실증 운영하여 게이지 인식 성능을 검증하여 92% 인식 성능을 얻음
    · 게이지/바늘 검출 학습 영상 개수 : 2,300장(roboflow + SK + 한국전력연 영상)
    · 숫자 검출/인식 학습 영상 개수 : 800장(한국전력연 영상)
    · 게이지/바늘 검출, 숫자 인식, 바늘값 추정 테스트 영상 개수 : 200장(한국전력연 영상)

<게이지 유형에 따른 게이지 검출 및 인식 결과>

| Gauge Type | Test Images | Success | | Error | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | Guage Det. | Niddle Det. | Digit Rec. | Niddle Val. | Total |
| W1-12 | 40 | 38 | 95.0% | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| W1-3 | 20 | 19 | 95.0% | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| W2-1 | 20 | 18 | 90.0% | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| W2-2 | 20 | 14 | 70.0% | 0 | 0 | 6 | 0 | 6 |
| W3 | 20 | 17 | 85.0% | 0 | 0 | 3 | 0 | 3 |
| W4 | 20 | 20 | 100.0% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| W5 | 20 | 20 | 100.0% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| W6 | 20 | 20 | 100.0% | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| W9 | 20 | 18 | 90.0% | 0 | 0 | 1 | 1 | 2 |
| Total | 200 | 184 | 92.0% | 0 | 0 | 13 | 3 | 16 |

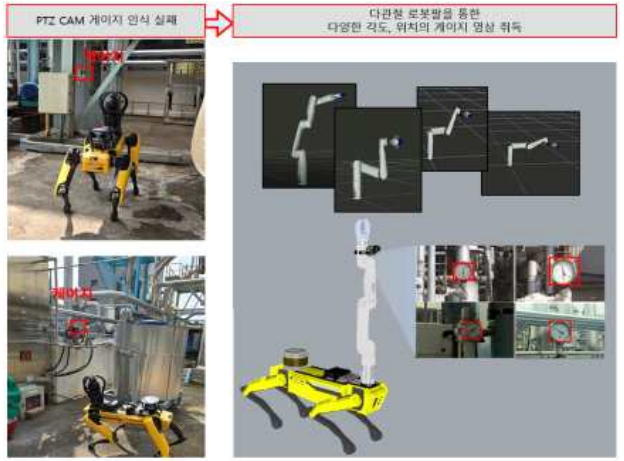


<게이지 인식 실증 운영 영상 예시>

| | |
|---|---|
| 정밀 인식 지원용 로봇팔 Customize 기술 개발 | ㅇ 정밀 인식 지원을 위한 로봇팔 Customize 기술<br>• 사족보행로봇 장착형 상용 로봇팔 Customize 기술<br>- 산업현장의 물리적 구성과 PTZ 카메라를 장착한 사족보행 로봇의 기구적 한계로 게이지의 정면 이미지 획득이 어려운 사례를 대면 |



- 게이지 검출률 향상을 위한 다관절 로봇팔을 도입한 게이지 이미지 획득 기술 개발



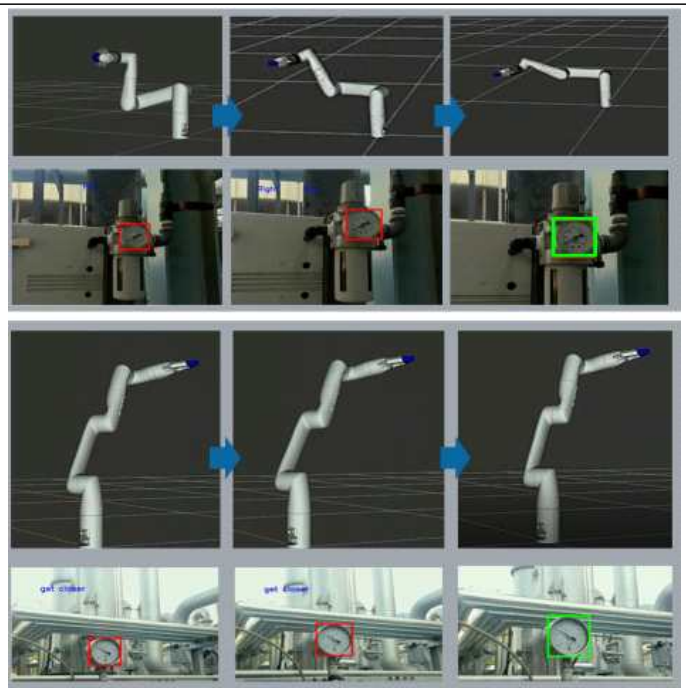

<다관절 로봇팔을 이용한 게이지 인식 성공률 향상>

- 사족보행 로봇의 최대 높이는 700mm 이며, 로봇팔은 베이스에서 카메라까지 800mm 길이를 제공하여 이미지 획득 위치를 최대 160mm로 성인 작업자 시선과 유사한 수준으로 향상하였음
- 로봇팔 모듈은 로봇팔(Kinova gen3 lite), PC(Nuc), 카메라(Logitech), 전원 변환 및 공급부로 구성되며, 사족보행 로봇의 최대 Payloads는 14kg 임을 고려하여, 로봇팔 모듈은 전체 8kg 이하로 설계되었음
- 전원 변환 및 공급부는 Spot Payload 출력 단자 전원을 로봇팔 및 제어 PC에 요구되는 전력으로 변환하기 위한 역할을 함
- 사족보행에 탑재되는 상용 로봇팔 Customize 모듈은 다른 기종의 사족보행 로봇 및 이동로봇에도 전원 공급부의 변경으로 바로 적용될 수 있음



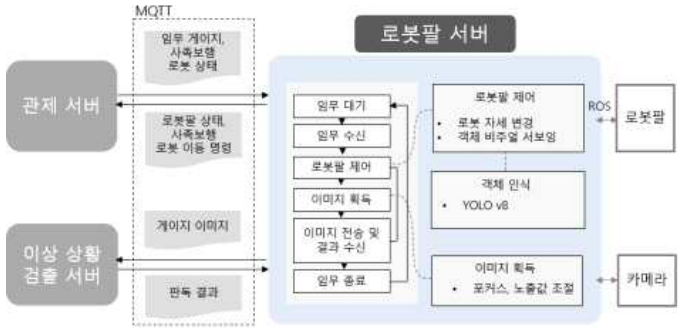

<사족보행에 탑재되는 상용 로봇팔 Customize 모듈>

• 게이지 인식을 위한 비주얼 서보잉 기술 개발
- 로봇팔 말단부의 카메라로 입력되는 이미지에서 인공지능 객체인식 (Yolo v8) 모델을 사용하여 게이지 객체 위치를 파악함
- 게이지를 검출 한 후, 로봇팔 제어 시스템을 통해 로봇팔 및 말단부 카메라를 이동하며 게이지 이미지를 촬영하고 비주얼 서보잉 과정에서 로봇팔은 TCP(tool center point)를 기준으로 제어함



<비주얼 서보잉 적용 모습>

• MQTT 통신 기반 로봇팔 제어 서버 개발
  - 로봇과 서버의 통신이 무선인 점을 감안하여 네트워크 대역폭이 제한적인 경우에서 효율적으로 작동하는 MQTT 통신을 이용하였음.
  - 로봇팔 제어 부분에서 MQTT 메세지는 Hearbeat에 대한 응답(pong), 로봇팔 제어(move_cmd), 로봇팔 영상(cam), 로봇팔 제어완료 상태(arm_complete)등 메시지를 발행하고, Hearbeat에 대한 요청(ping), 게이지 인식 완료 메시지(gauge_result), 상태(status), 로봇팔 제어 시작(arm_start) 등 토픽을 수신함
  - 로봇팔 서버는 MQTT 메시지 수신으로 임무(게이지 측정)를 시작하고, 게이지 측정 결과와 검출결과를 송수신하는 MQTT 메시지 내용을 통해 임무를 종료함




<로봇팔 서버의 MQTT 송수신 및 임무 수행 흐름도>

| | |
|---|---|
| 시각증강 AI 기술 | ㅇ 시각증강 AI 기술 요구사항 정의 |

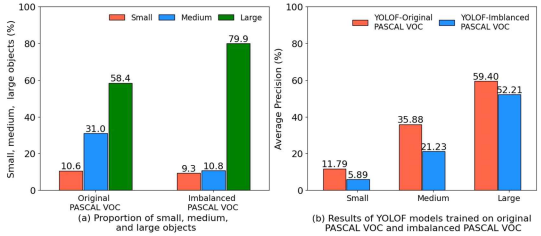


| | |
|---|---|
| 요구사항 정의 및 시스템 구조 설계 | • 사용자 분류 및 서비스 시나리오를 통한 요구사항 도출<br>  - 사용자는 시각대체 기술 사용자, 시각복원 기술 사용자, 시각대체 및 시각복원 서비스 및 장치 개발자로 구분<br>  - 서비스 시나리오는 시각장애인의 물체 인식, 보행지원, 시력 저하자를 위한 자동 초점조절 안경 등으로 구성<br>  - 12개의 사용자 요구사항 및 6개의 서비스/장치 개발자 요구사항 도출<br><br>• 시각증강 AI 시스템을 2개의 서브시스템으로 구분하여 시스템 요구사항 도출<br>  - 시각대체 서브시스템은 시각정보 분석, 대체감각 전달, 사용자 학습 및 지각 검증에 대한 요구사항 도출<br>  - 시각복원 서브시스템은 생체신호 수집, 시력의도 분석, 초점가변렌즈 및 사용자 지각 검증에 대한 요구사항 도출<br>  - 서비스 기능들의 성능에 대한 요구사항 도출<br><br>  <br><요구사항정의서><br><br>ㅇ 시각증강 AI 기술 핵심 IPR 확보를 위한 특허맵 분석<br>• 시각복원 기술 관련 핵심 특허 도출<br>  - 스트레처블 바이오 센서 기술, 시력 증강 및 초점 가변 기술, 의도 인지 기술 등 3개 기술분야로 세분화 하여 특허 동향 분석 및 공백 기술 도출<br>  - 공백 기술 영역에 대항되는 시력추적 기반 의도 인지 기술, 지능형 시력조절 기술 분야 핵심 특허 분석<br>  - 사용자 시선의도 인지 및 지능형 시력조절 관련 3건의 핵심 특허 도출<br><br>ㅇ 시각증강 AI 기술 시스템 구조 설계<br>• 시각대체 서브시스템과 시각복원 서브시스템으로 구분하여 시스템 구조 설계<br>  - 시각대체 서브시스템은 시각정보 분석블록, 시각정보대체 블록, 감각대체 검증블록, 감각대체 학습 블록으로 구성<br>  - 시각복원 서브시스템은 생체신호 수집블록, 시력의도 분석블록, 초점가변 렌즈블록, 사용자 지각검증 블록으로 구성<br><br>  <br><br><시각증강 AI 시스템 구성> |

단일 감각 기반 시각대체 알고리즘 개발

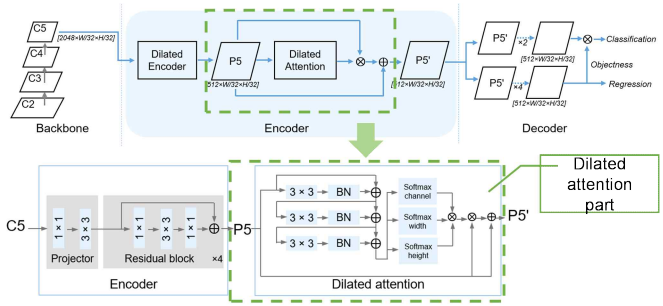
ㅇ 시각정보 요약을 위한 객체 분석 AI 모델 기술

• 객체 크기 불균형 데이터셋 특성 분석
- 실제 상황을 반영한 데이터셋의 경우 영상 내 존재하는 객체 크기가 특정 크기에 편중된 불균형 특성 존재
- PASCAL VOC 데이터셋을 임의로 객체 크기 불균형 데이터셋으로 변형하는 경우 5% ~ 14% 정도의 성능 저하가 발생함
- 객체 검출 모델의 실생활 반영을 위해서는 객체 크기 불균형 문제 해결 필요




<객체 크기 불균형에 따른 객체 검출 모델의 성능 변화>

• 객체 크기 불균형 완화를 위한 실시간 객체 탐지 기술
- 단일 특징맵 기반으로 가장 좋은 객체 탐지 성능을 보여주는 YOLOF 모델의 경우 처리 속도는 빠르지만 단일 특징맵으로 인하여 객체 크기 불균형을 고려하지 못함
- 데이터를 학습하는 과정에서 Dilated attention을 활용하여 단일 특징 맵에서 객체 크기 불균형을 완화할 수 있는 객체 탐지 네트워크 제안
- Dilated attention을 적용하여 기존 YOLOF 네트워크보다 연산량(FLOPs)는 7% 증가




<객체 크기 불균형 해소를 위한 객체 탐지 네트워크 모델>

- 실생활에서 취득한 영상 데이터셋에서 $AP_{50}$ 기준 2.46%p ~ 4.78%p 증가함을 확인

Table 2: Comparison with YOLOF on real-world first-person-walking datasets. "-" represents that the corresponding area has no objects.

| Environments | Method | AP(%) | $AP_{50}$ | $AP_{75}$ | $AP_S$ | $AP_M$ | $AP_L$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Living room | YOLOF | 16.92 | 31.79 | 16.88 | - | 2.41 | 17.84 |
| | Ours | 19.33 | 36.57 | 18.56 | - | 3.26 | 19.76 |
| Bathroom | YOLOF | 39.43 | 56.74 | 46.23 | - | 0.00 | 40.1 |
| | Ours | 41.37 | 59.43 | 48.62 | - | 0.24 | 42.04 |
| Balcony | YOLOF | 10.00 | 21.33 | 8.92 | - | 6.06 | 10.22 |
| | Ours | 11.49 | 23.79 | 9.68 | - | 6.17 | 11.81 |

<객체 크기 불균형 데이터셋에 대한 실험 결과>



ㅇ 시각정보를 촉각으로 전달하는 시각-촉각 시각대체 기본 알고리즘

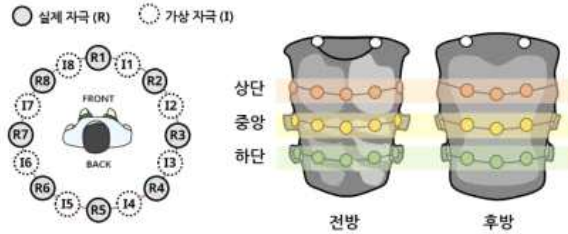
• 사용자 체형을 고려한 착용형 전신 햅틱 슈트 제작
- 착용자의 체형에 따라 진동 자극이 제공되는 상대적인 위치가 달라지는 문제의 해결을 위해 맞춤형 슈트 제작

- 벨트의 높이와 진동자의 위치를 조절하여 수평 및 수직 방향으로 진동자 배치 가능
- 총 26개의 진동자로 구성: 3개의 진동자 벨트(하나의 벨트에 8개씩)와 2개의 어깨 진동자



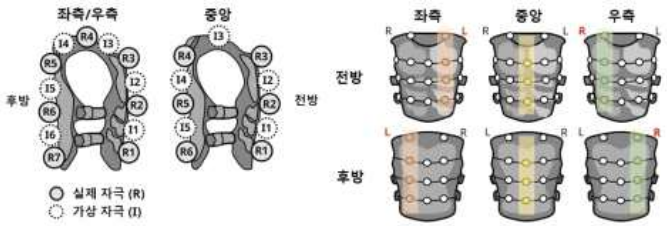

<맞춤형 슈트의 진동자 배치 구조>

• 몸통에서의 방위각에 대한 인지각도 측정 및 분석
- 몸통 부위에서 수평 방향으로 발생하는 촉각 자극에 대한 인지 각도(방위각) 측정 및 분석
- 진동자 벨트의 8개 진동자와 인접한 진동자를 이용한 팬텀 자극 포함 16개의 자극
- 12명의 피실험자 대상으로 진행한 방위각 인지 실험에서 3개의 진동자 벨트(상단, 중단, 하단)에서 균등하게 분포된 인지 각도를 확인




<방위각 인지를 위한 자극 구성 및 조건>

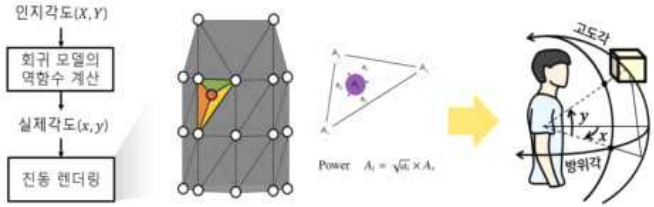
• 몸통에서의 고도각에 대한 인지각도 측정 및 분석
- 몸통 부위에서 수직 방향으로 발생하는 촉각 자극에 대해 고도각의 인지적 특성과 진동 자극의 위치별 각도를 파악
- 서로 다른 세 가지 자극 부위, 좌측, 중앙, 우측에 대하여 고도각 인지 실험 진행
- 12명의 피실험자 대상의 실험에서 약 −40.3°에서 반시계 방향으로 235.7°의 범위로 고도각의 인지가 가능함을 확인



<고도각 인지를 위한 자극 구성>

• 몸통에서 3차원 방향에 대한 인지각도 측정 및 분석
  - 가상현실(VR) 기기를 활용하여 영점을 기준으로 방위각은 45˚, 고도각은 30˚ 단위로 매핑하여 몸의 정면에서 시계 방향으로 0~360˚, 고도각은 -90~90˚범위로 3차원 방향 표시
  - 몸통 부착 진동자의 각도와 인지각도 간의 관계를 분석하기 위해 다변량 회귀분석 수행
  - 방위각은 남녀 모두 높은 모델 적합도, 고도각은 남성이 약 10% 높은 모델 적합도
• 3차원 방향 전달을 위한 진동 자극 방법 설계
  - 몸통에 배치된 제한적인 진동자로 다양한 3차원 위치 표출을 위해 진동 보간법을 활용한 방향 전달 방법 설계
  - 다변량 회귀 모델의 역함수 계산을 통해 인지각도로부터 실제 진동 위치 계산
  - 실제 각도 기반으로 인접한 진동자를 찾고, 진동자의 자극 강도를 조절하여 위치 보간
  - 20명의 피험자 대상의 실험 결과, 방위각의 MAE(평균정대오차)는 평균 17.61˚, 고도각은 19.88˚로 나타남

ㅇ 시각-청각 시각대체 알고리즘의 사용성 개선 기술
• 음색을 동적으로 변화하여 전달 가능 정보를 증가시키는 시각대체 알고리즘 설계
  - 픽셀 위치를 주파수로, 밝기는 크기로 매핑하여 모양, 크기, 위치 등 제한적 정보만 전달

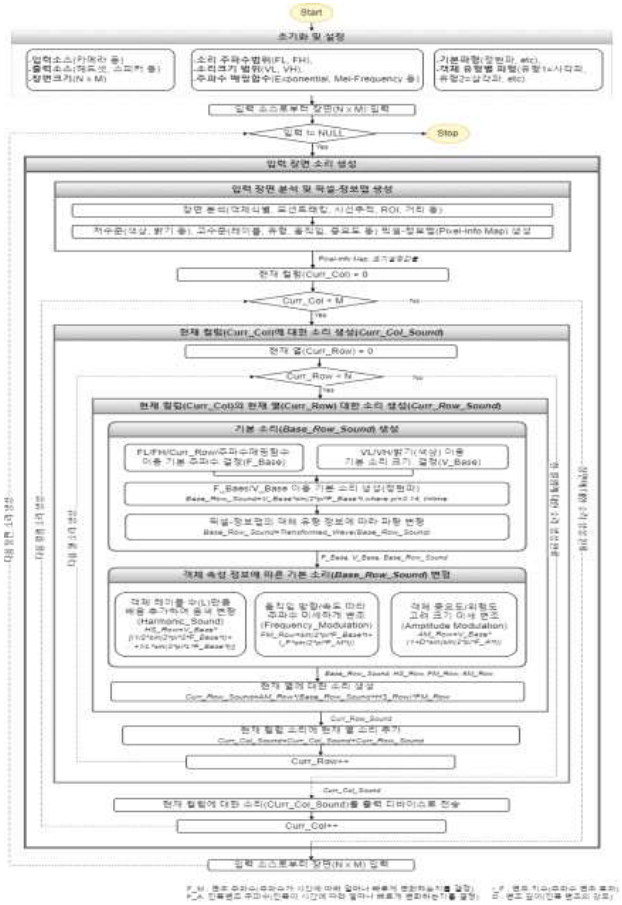



가능했던 기존 알고리즘을, 동적으로 음색을 변화시켜 객체 유형, 중요도, 움직임, 위험도 등을 전달할 수 있도록 확장

<3차원 방향전달 자극 방법 구조>

  - 객체 유형 : 파형 변형을 통해 이미지에 있는 객체를 유형별로 구분할 수 있도록 개선
  - 객체 중요도 : 파형 합성을 통해 동일 유형의 객체별 중요도를 차별적으로 제공
  - 움직임 속도 : 주파수 변조를 통해 신호의 강약을 제어하여 객체의 속도 차이 전달
  - 위험도 : 진폭 변조를 통해 소리의 크기를 제어하여 위험도를 전달






<고차원 정보를 이용하는 시각대체 알고리즘 흐름도>

ㅇ 교육이론을 활용한 시각-청각 시각대체 학습 모델 및 사용자 시험
• 교육설계 체계적 접근 모형을 고려한 학습모델 설계
  - 소리 특성에 따른 학습도형 그룹화 및 난이도에 따른 학습단계 구성
  - 주기적 간격 반복 학습 설계
  - 다양한 학습 유형(원리학습, 비교/대조, 소리 그리기, 부분듣기)




<학습 종류>

• 시각-청각 알고리즘 인식률 평가를 위한 실험 설계
  - 기본 학습 설계(실험집단 25명, 통제집단 25명, 총 5 Session)
    . 25개 도형을 이용한 인식률 측정 설계

. 시간 지연에 따른 장기기억화 성능 측정 설계
. 기본그룹, 통제그룹 구성을 통한 교육이론 적용 효과 측정 설계



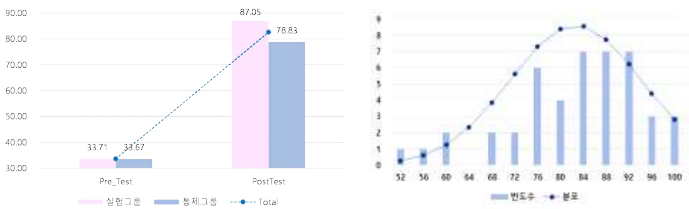
<기본 학습 실험 프로세스>

- 시각 장애인 인식률 평가를 위한 장애인 학습 설계(10명, 총 5 Session):
  . 25개 도형 학습
  . ABAB Reversal Design (통제집단과 실험집단을 구분하지 않고, Session별 Intervention 유무에 따른 점수로 실험결과 도출)



<시각 장애인 실험 교구 및 프로세스>

- 시각-청각 알고리즘 인식률 평가를 위한 실험 결과 분석: 기본 학습(45명)
  - 4회기 학습후 인식률 평가(실험그룹 87.05%, 통제그룹 78.83%)

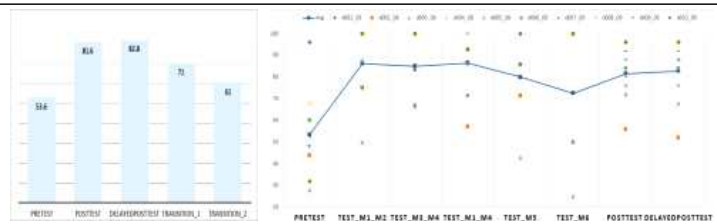





<감각대체 인식률 및 실험자 분포>

- 장애인 학습 평가(10명, 총 5 Session)
  - 25개 도형 학습 인식률 81.6 (총 175분 학습)





<감각대체 인식률 및 테스트별 점수 분포>

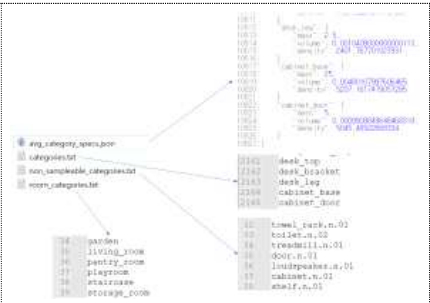
③ 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 설계

③-1 핸드 조작 스킬 정의 및 데이터셋 설계
• 핸드 조작 스킬 공개 데이터셋 조사 및 수집
 - 주요 로봇 핸드 플랫폼 조사
 • 학습기반 로봇 핸드 조작 스킬 연구에 널리 활용되는 로봇 핸드 플랫폼은 다음과 같음
 • [국외] Shadow hand, adroit hand, schunk의 SVH 5 등
 • [국내] Allegro hand, aidin hand 등




- 공개 데이터셋 활용 가능 여부 검토
 • 그리퍼를 활용한 한 팔 로봇 플랫폼은 조작스킬 학습을 위한 데이터셋이 많이 공개 됨: DROID[1], D4RL[2], Robocasa[3]등
 • 반면에 로봇 핸드를 활용한 스킬 학습용 데이터셋은 상대적으로 공개된 것이 많지 않음
 • 스탠포드 대학에서는 NVIDIA IsaacSim 플랫폼을 활용한 omnigibson 데이터셋을 공개하였으며, 로봇 trajectory 데이터는 json 포맷으로 제공됨
 • omnigibson에서는 로봇 핸드 시연환경을 제공하지만 특정 작업을 수행하는 데이터셋은 아직 제공하지 않음


Omnigibson의 allegro hand + franka panda 로봇을 이용한 핸드 조작 환경


Json 포맷으로 제공되는 omnigibson 데이터셋 예시

• 핸드 조작 스킬 정의
- 단위 조작 스킬 및 파지/수행 전략
· 본 과제에서 양팔 핸드 로봇 플랫폼을 활용하여 수행할 작업은 다음의 5종 작업으로 정의
1) 물체(YCB object) Pick & Place
2) 분무기 사용하기
3) 수건으로 테이블 닦기
4) 양손으로 냄비 들기
5) 냄비에 식재료 넣기 (양손 활용)
· 작업대상 물체는 한 손으로 파지할 물체와 양손으로 파지할 물체로 나눔
· **한손 파지)** 사과, 등 임의의 모형 과일, 분무기, 수건, 물컵, 냄비 뚜껑 등
· **양손 파지)** 냄비 등
· 한손 파지 물체는 기본적으로 로봇 핸드의 손바닥이 바닥을 향하도록 자세를 취하여 물체에 접근하여 파지를 수행
· 분무기, 물컵과 같이 높이가 있는 특수 형태의 물체는 손바닥이 물체를 향하도록 하여 접근 후 파지



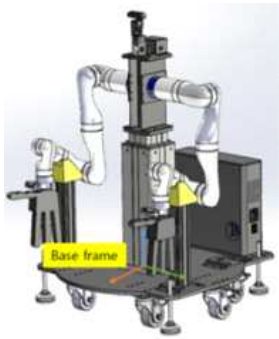
<일반 물체 한손 파지 전략>



<특수 물체 한손 파지 전략>

• 핸드 조작 스킬 데이터셋 수집용 프레임워크 개발
- 스킬 데이터셋에 포함될 상태 정보는 아래의 정보를 포함

· RGB Image: Head(640x480x3), LWrist(640x480x3), RWrist(640x480x3)
· Depth Image: Head(640x480x1), LWrist(640x480x1), RWrist(640x480x1)
· Full joint state:
Pan-tilt joint(2)
LArm joint pose(7), LArm joint a.vel(7), LHand joint pos(16), LHand joint a.vel(16)
RArm joint pose(7), RArm joint a.vel(7), RHand joint pos(16), RHand joint a.vel(16)
Lift height(1)
· Full TF state[Base frame 기준]:
L.eef pose(7), R.eef pose(7),
L.palm site pose(7), R.palm site pose(7)
LFingertip pose(4x7), RFingertip pose(4x7)
Cam pose(7)
· Camera parameters
Intrinsic params
· Time stamp
· Task name (e.g., pouring, ...)

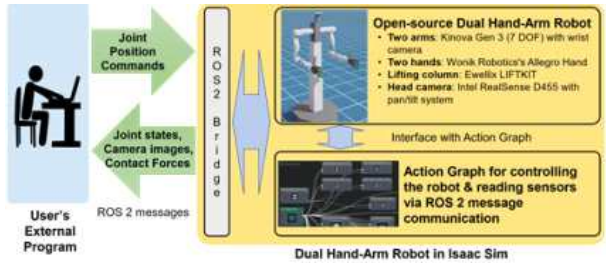



<로봇 베이스 프레임 위치>

③-2 양팔/핸드 로봇 테스트베드 구축



• 양팔/핸드 로봇 시뮬레이션 환경 및 하드웨어 구축
- 로봇 전용 시뮬레이션 환경 구축
· NVIDIA Isaac Sim 기반의 양팔/핸드 시뮬레이션 환경 구축
· 시뮬레이터가 외부 프로그램(e.g. 로봇 매니퓰레이션 스킬 학습 프로그램)과 ROS 2 메시지로 인터페이스 가능하도록 Isaac Sim의 Action Graph를 사용한 로봇 위치 제어 및 센서 계측 기능 구현



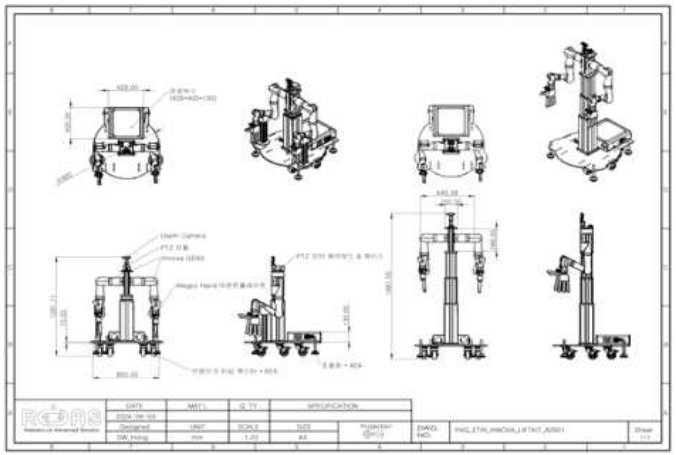

<외부 프로그램과 Isaac Sim 내 로봇 간에 인터페이스>



<IsaacSim을 활용한 양팔/핸드 로봇 시뮬레이션 환경 구축>

- 양팔/핸드 로봇 하드웨어 구축
· 상용 로봇 팔 및 핸드 제품을 조합한 고 자유도 양팔/핸드 로봇 플랫폼 개념 설계
· 양팔/핸드 로봇 플랫폼 제작 및 구동 테스트 완료



<양팔/핸드 로봇 플랫폼 설계 자료>



<양팔/핸드 로봇 플랫폼 모델 상세>

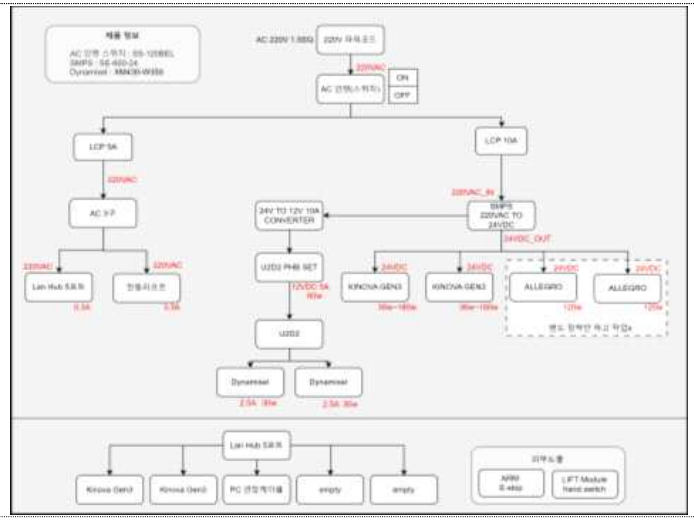
• 양팔/핸드 로봇 구동 및 제어를 위한 통합 프로그램 개발
- ROS 2 기반 로봇 구동 양팔/핸드 제어 환경 구축
・ROS(Robot Operating System)의 다양한 오픈 소스 활용 용이성 및 프로그램 확장성/모듈성의 장점을 활용하기 위해 ROS 2 기반 로봇 구동 환경 구축



✓ OS: Ubuntu 22.04
✓ ROS: ROS 2 Humble, MoveIt 2, ROS-Industrial
- 로봇 제어기와 연동되는 외부 구동 및 제어 프로그램 개발
- 실환경/시뮬레이션 로봇 호환이 가능한 ROS 2 메시지 통신 기반 통합 실험환경 구축
- 실환경 16 자유도 로봇 핸드의 물리 특성을 반영한 시뮬레이션용 모델 구현 및 검증

<양팔/핸드 로봇 구동 및 제어에 사용되는 ROS 2 패키지>

| ROS 2 패키지명 | 설명 |
|---|---|
| dual_arm_moveit_config | 양팔/핸드 로봇 전용 MoveIt Configuration 패키지 |
| dynamixel_control | Robotis 사의 dynamixel 모듈 2EA를 동시에 작동할 수 있도록 만든 패키지, 모듈의 속도 및 가속도를 설정할 수 있음. |
| ewelix_tlt | LIFTKIT를 ROS 상에서 구동할 수 있도록 만든 패키지 |
| roas_bringup | Kinova Gen3 양 팔 및 PANTILT 모듈, LIFT 모듈을 통합 실행할 수 있는 패키지 및 양팔/핸드 로봇 하드웨어 플랫폼에 대한 mesh, urdf 파일이 포함된 패키지 |
| ros2_kortex_vision | GEN3 손목 축에 장착되어 있는 카메라 모듈을 실행하는 패키지 |

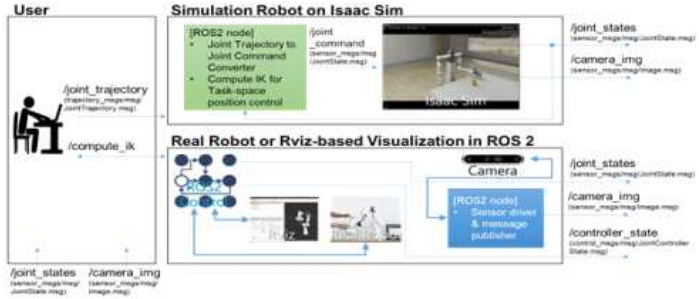


<양팔 로봇 하드웨어 플랫폼 전장부 구성>




<제작이 완료된 양팔/핸드 로봇 실환경 하드웨어 모습>

• 양팔/핸드 로봇 하드웨어 플랫폼 구축 및 특징
- 멀티 카메라(head, left and right wrist camera) 기반의 다시점 관찰 데이터 수집
- 높낮이 조절이 가능한 전통 리프트를 이용하여 환경 적응성 및 작업 능력 향상
- 시뮬레이션-실환경 연동 제어 및 다양한 가상 시연 데이터셋 수집



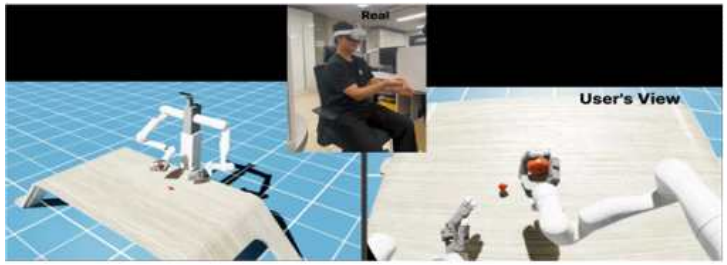

<ROS 2 메시지 통신 기반 통합 실험환경>

• 휴먼 시연 데이터 수집용 텔레오퍼레이션 시스템 개발
- 텔레오퍼레이션 요구사항 정의
· VR 기기를 착용한 상태에서 핸드 트래킹 기능을 활용하여 유저의 핸드 모션을 인지하고 이를 양팔/핸드 로봇으로 리타겟팅하여 실시간 원격 조작을 수행하는 시스템
· 유저의 손목 및 팔꿈치 모션을 양팔 로봇에 리타겟팅하여 유저의 팔 모션과 동기화된 동작을 실시간으로 수행하는 작업
· 유저의 양손 실시간 트래킹 및 Human hand-Robot hand retargeting을 통한 실시간 텔레오퍼레이션 수행
· ROS2를 이용한 로봇 제어 프레임워크




<양팔/핸드 로봇의 VR 기반 텔레오퍼레이션>

- 양팔/핸드 로봇에 적합한 텔레오퍼레이션 시스템 개발
· 상용 VR 헤드셋 제품(Meta Quest 3)를 사용하여 모션 리타게팅 기능을 포함한 텔레오퍼레이션 시스템 구현




<IsaacSim 시뮬레이터와 연동된 양팔/핸드 VR 핸드 텔레오퍼레이션 시스템>





<사용자의 헤드 및 양손 실시간 텔레오퍼레이션>

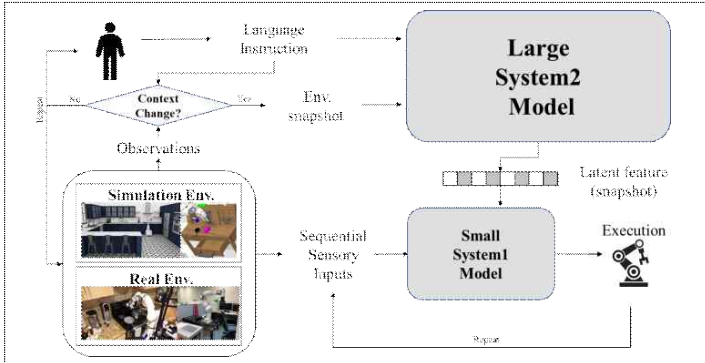


<실환경 로봇과 연동된 양팔/핸드 로봇 VR 텔레오퍼레이션>

③-3 인공지능 모델 기반 VLA(Vision-Language-Action) 로봇 조작 지능 프레임워크 설계

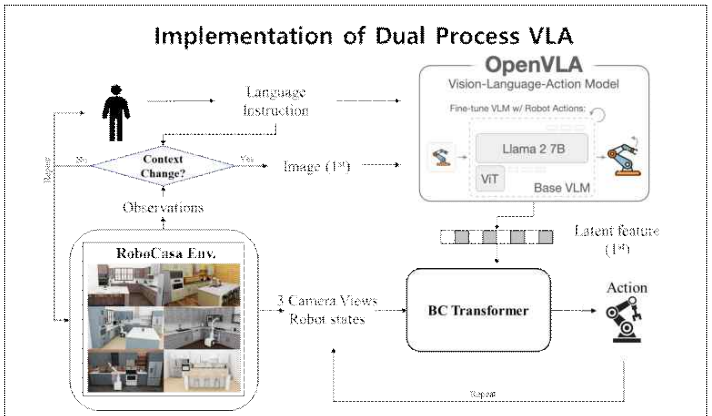
• 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 기술 설계

- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 모델 분석 및 핸드 기반 조작 로봇에 적용하기 위한 디자인
  - 한팔/그리퍼로부터 양팔/핸드로 확장가능한 로봇 조작 지능 VLA 프레임워크 설계
  - 시뮬레이션 및 실환경에서 동작 가능한 범용 로봇 조작 학습/테스트 프레임워크 설계
    · LLM을 포함한 확장성/경량화/정밀 조작을 위한 VLA 모델 설계
    · 다양한 VLM의 강력한 일반화 능력 활용이 가능한 실시간 정밀 조작 Dual Process VLA(DP-VLA) 설계




<Large System 2 모델 (VLM)과 Small System 1 모델 (경량) 장단점 상호 보완이 가능한 Dual Process VLA (DP-VLA) 구성도>

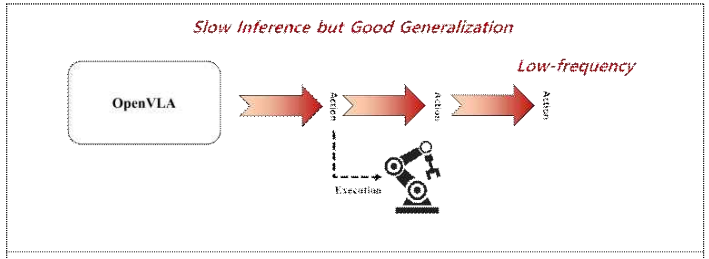
· Large System 2 모델로 OpenVLA, Small System 1 모델로 Behavior Cloning Transformer(BC-Transformer)를 적용한 DP-VLA 모델 개발




<DP-VLA 실제 구성도>

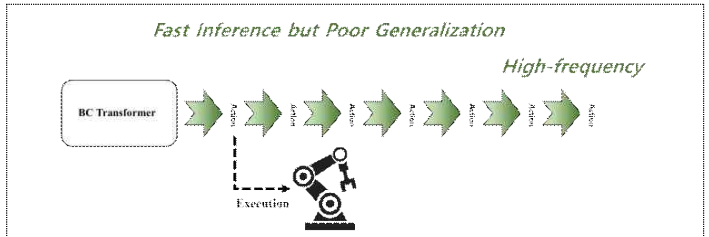
- DP-VLA 설계로 신속한 로봇 액션 생성과 강력한 일반화 성능 확보
  · 기존 로봇 파운데이션 모델은 강력한 일반화 성능이 있지만 실시간성 확보 어려움





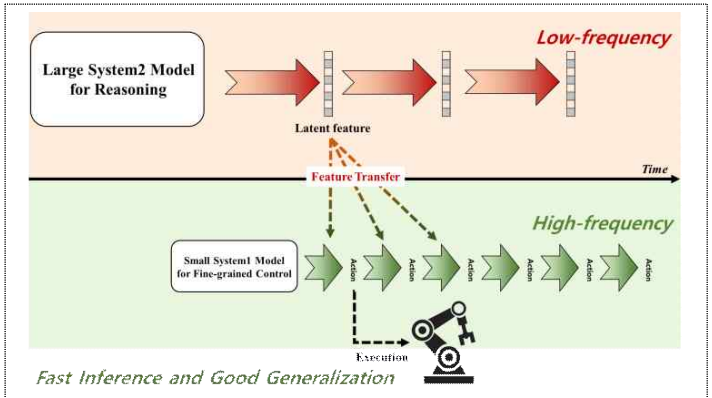

<기존 로봇 파운데이션 모델의 일반화 성능과 로봇 액션 추론 주기>

· 기존 경량 로봇 조작 모델은 추론 속도는 빠르지만 강력한 일반화 성능 확보가 어려움




<기존 경량 로봇 조작 모델의 일반화 성능과 로봇 액션 추론 주기>

· DP-VLA는 강력한 일반화 성능과 실시간 정밀 조작이 가능




<제안된 DP-VLA의 일반화 성능과 로봇 액션 추론 주기>

- 프레임워크 설계를 위한 필요 기술 조사 및 공개 AI 모델 수집/구축

• LLM: 대규모 데이터로 학습된 자연어 처리 모델로, 일반적으로 챗봇 형태로 자연스러운 대화를 하는 방식으로 동작하나, 대량의 지식에 기반해 고난이도 질문에 대한 대답뿐 아닌 창의성을 요하는 작업에서도 적용이 가능하다고 알려짐. 아래 표와 같이 다양한 모델들이 제시되고 있음

| 명칭 | 특징 | 크기 |
|---|---|---|
| ChatGPT | OpenAI에서 공개한 모델로 일반적으로 가장 좋은 성능을 보이는 LLM. 그러나, API를 통해서만 사용 가능 | 미공개 |
| LLaMA 3.1 | Meta에서 공개한 오픈형 LLM으로 현재 VLA 학습에서 가장 널리 사용되는 모델 | 8B, 70B, 405B |
| Exaone 3.0 | LG에서 최근 공개한 LLM으로 특징으로는 한글 처리에서 높은 성능을 보인다고 알려짐 | 7.8B, |
| Phi 3 | MS에서 공개한 LLM으로 다른 모델들과 달리 경량화에 중점을 둠. 모델 크기 대비 성능 효율이 가장 좋다고 알려져 있어 실시간 시스템 등에 사용 | 3.8B, 14B |
| PALM 2 | Google에서 사용하고 있는 LLM. 그러나, 공개가 되어있지는 않으며, Gemini와 같은 API를 통해서만 사용 가능 | 540B |

- VLM: 기존의 LLM에 Vision 데이터를 입력으로 받을 수 있게 개량한 모델로, 주어진 영상에 대한 질문 및 요청에 대해 LLM과 비슷한 수준의 작업이 가능함. 대표적인 모델을 정리하면 아래와 같음

| 명칭 | 특징 | 크기 |
|---|---|---|
| ChatGPT 4o | 기존 ChatGPT에서 개선되어 공개된 모델로 Multi-modal 입력을 받으며 높은 성능을 보임. API를 통해서만 사용 가능 | 미공개 |
| LLaVA | Meta의 LLaMA에 Vision Encoder를 붙인 모델로, VLM 개념을 처음 제시한 모델. 이를 위해 Instruction Tuning이라는 기법을 제시해 사용함 | 8B, 70B, 405B |
| LLaVA-Next | 기존 LLaVA는 한 장의 이미지만 받을 수 있으나, 이를 여러 장의 이미지를 동시에 받을 수 있도록 개선한 모델. 동영상과 같은 시계열 데이터에서 동작 가능. 또한, LLaMA뿐 아닌 다양한 LLM (QWEN, Mistral, LLaMA 3.1 등)에 대해 개선해 공개되어 있음 | 0.5B, 7B, 32B, 34B |
| Flamingo | 기존 VLM에서 영상을 두 장 받을 수 있는 형태로 개량된 모델 | 9B, 80B |
| QWEN-VL | 알리바바의 LLM인 QWEN에 Vision Encoder를 붙인 모델로 타 모델에 비해 고화질의 영상을 처리할 수 있다는 특징 | 7B |

- VLA: VLM이 텍스트 형태의 출력을 한다면, 이를 Finetuning해서 주어진 명령을 수행하기 위한 로봇의 Action을 출력하게 만든 방법으로 대표적인 모델을 정리하면 아래 표와 같음

| 명칭 | 특징 | 크기 |
|---|---|---|
| RT-X | Google에서 VLA의 개념을 제시하며 공개한 모델로 PALM 기반의 LLM과 ViT 기반의 Vision Encoder을 사용. 특징으로는 기존에 공개되어 있던 벤치마크와 새로 수집한 데이터를 합쳐 대규모 로봇 데이터를 구축하고 이를 사용해 학습함. 그러나, 모델이 공개되어 있지 않아 사용할 수는 없음 | 미공개 |
| Robo-Flamingo | Flamingo에 로봇 데이터를 사용해 학습시킨 모델. 특징으로는 두 장의 영상 (로봇 Eye-view 및 Gripper-view)를 입력으로 받으며 LSTM을 사용해 로봇 Action의 Sequence를 출력함. 그러나, 다양한 환경의 데이터로 학습되어있지는 않음 | 3B, 4B, 9B |
| Octo | 매우 작은 모델, Transformer 기반의 Diffusion Model로 로봇의 Action을 생성하는 방식. 일반화 능력을 매우 강조하고 있으며, 새 환경에 대해 바로 적용이 아닌 Finetuning을 매우 빠르게 할 수 있다는 장점이 있음 | 27M, 93M |
| OpenVLA | Octo와 유사하게 직접 사용보다는 Finetuning을 쉽게 할 수 있음을 내세움. 차별점으로는 Diffusion Model 기반이 아닌 LLM 기반으로 만들어져 있음 | 7B |

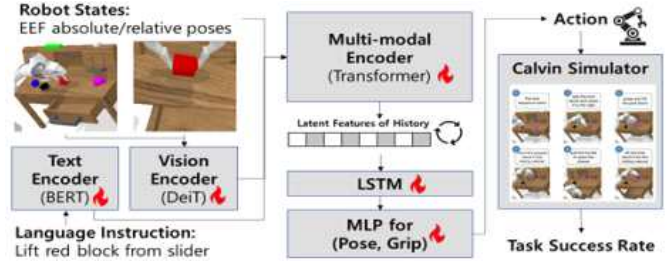
- 공개 데이터셋 기반 로봇 조작 지능 모델 학습
  - 설계된 로봇 조작 프레임워크 검증을 위해 공개 데이터셋 수집 (한 팔 로봇 + 그리퍼)



- 현재 아래와 같이 다양한 데이터셋들이 공개되었으며, 대부분의 경우 제시하는 VLA 모델과 함께 공개됨. 주로 사람의 Teleoperation으로 수집된 경우가 많으며, 크게 실환경 데이터 혹은 시뮬레이션 데이터로 나뉠 수 있음

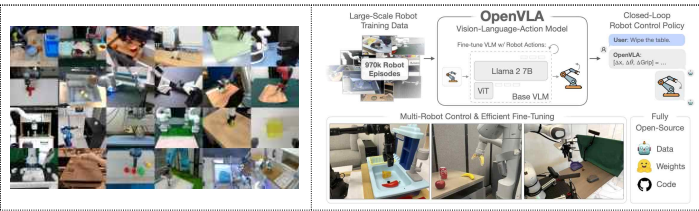
| 명칭 | 특징 | 규모 |
|---|---|---|
| Open-X-Embodiment | Google에서 RT-X와 함께 공개한 데이터셋으로, 전 세계 많은 연구실에서 수집한 벤치마크 및 자체 수집한 데이터를 합쳐서 만든 대규모 데이터셋. 또한, 현재도 여러 기관에서 본 데이터셋에 계속해서 추가해 규모가 늘어나고 있음 | 9TB |
| CALVIN | 여러 행동이 연속적으로 나타나는 Long Horizon Task에 대해 주로 다루고 있는 데이터셋으로, 사람의 직접 시연을 통해 데이터가 만들어짐. 시뮬레이션 환경에서 재생이 가능하며, 총 34종류의 작업으로 구성됨 | 500GB |
| DROID | 기존 Open-X-Embodiment는 다양한 환경 및 다양한 로봇에 대해 수집되어 있기 때문에, 이를 사용해 학습했을 경우 단일 환경에서의 성능은 좋지 않음. 이를 보완하고자 여러 개의 기관에서 모두 동일한 환경(로봇, 카메라, 촬영 각도 등)을 세팅하고 수집해 모은 대규모 데이터셋 | 1.7TB |
| RoboCasa | 주방에서 일어나는 일상 행동 100가지에 대해 로봇을 통해 수행하고 이를 수집한 데이터셋. 사람의 Teleoperation으로 일부 데이터를 수집한 후, AI기반 Trajectory Generation 기술을 적용해 이를 증폭시켜 데이터를 수집. 또한, 시뮬레이터가 함께 제공되어 다양한 주방기기 등에 대한 인터렉션이 구현되어 있으며, 다양한 형태의 로봇(휴머노이드, 모바일 매니퓰레이터, 4족보행 로봇 등)에 대한 데이터가 제공됨 | 24GB |

- 기 학습된 인공지능 모델 기반을 공개된 데이터셋을 사용해 로봇 조작지능 모델로 전이학습
- (시도1) 테이블탑 시뮬레이션 데이터 (CALVIN) 기반으로 자체 개발한 Bert 기반의 로봇 조작 모델을 스크래치부터 학습 수행
- Text Encoder와 로봇 액션 히스토리 기반의 로봇 조작 VLA 설계/학습/테스트 완료

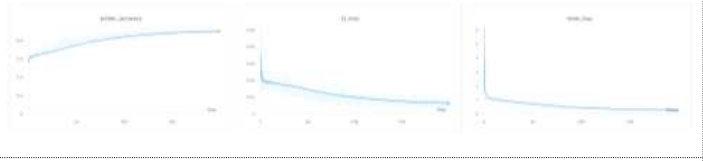



<CALVIN 시뮬레이션 데이터 및 자체 개발 BERT 기반 로봇 조작 모델>

- (시도2) 대량의 실환경 데이터 (Open-X Embodiment)로 pre-train된 OpenVLA 모델을 기반으로 주방 환경의 시뮬레이션 데이터 (RoboCasa) Fine-tuning 수행




<OpenVLA 데이터 및 OpenVLA 모델>



<RoboCasa 시뮬레이션 환경에서의 OpenVLA 모델 학습 그래프
(Action accuracy, L1-loss, Training Loss)>

• 시뮬레이션 환경 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 모델 검증
- 시험용 스킬 및 평가방법 정의
· 평가는 CALVIN 및 RoboCasa 시뮬레이션 환경에서 학습시 사용되었던 태스크를 학습 데이터와는 다른 환경을 구성하여 (물체 위치, 로봇 시작 포즈, 서랍 등의 개폐 여부 등) 작업 성공률을 기준으로 평가 진행
· CALVIN 데이터는 32개의 태스크, RoboCasa 데이터는 24개의 Atomic 태스크로 구성됨
· CALVIN 평가는 Long-horizon 태스크 (5개의 태스크를 연속으로 진행)로 평가하며, RoboCasa는 Atomic 태스크를 기준으로 평가
- 전이 학습 완료된 로봇 조작용 인공지능 모델을 시뮬레이션 환경에서 검증
· [CALVIN] CALVIN 평가 파이프라인을 활용(32 태스크, 1,000 샘플)한 자체 개발 VLA 모델 평가 결과

| Long-horizon Task Success Rate (Total 32 Tasks, 1000 chains) | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 88.9% | 68.9% | 52.2% | 42.2% | 32.2% |

· [CALVIN] SOTA에 근접한 결과를 얻었지만 시뮬레이션 환경이 심플하여 일반화 능력 검증이 어려워 RoboCasa 시뮬레이션 환경 선택
· [RoboCasa] RoboCasa 평가 파이프라인을 개발 및 24개 Atomic 태스크 대상 평가 결과

| Category | Task | OpenVLA-ft [9] | BC-xfmr [15] | DP-VLA(ours) |
|---|---|---|---|---|
| Pick and Place | PnPCabToCounter | 0.00 | 0.18 | 0.10 |
| | PnPCounterToCab | 0.00 | 0.28 | 0.32 |
| | PnPCounterToMicrowave | 0.00 | 0.18 | 0.24 |
| | PnPCounterToSink | 0.02 | 0.44 | 0.30 |
| | PnPCounterToStove | 0.00 | 0.06 | 0.22 |
| | PnPMicrowaveToCounter | 0.00 | 0.08 | 0.18 |
| | PnPSinkToCounter | 0.00 | 0.42 | 0.56 |
| | PnPStoveToCounter | 0.00 | 0.28 | 0.62 |
| Open/Close Doors | OpenSingleDoor | 0.00 | 0.50 | 0.42 |
| | OpenDoubleDoor | 0.00 | 0.48 | 0.80 |
| | CloseDoubleDoor | 0.02 | 0.46 | 0.84 |
| | CloseSingleDoor | 0.24 | 0.94 | 1.00 |
| Open/Close Drawers | OpenDrawer | 0.00 | 0.74 | 0.66 |
| | CloseDrawer | 0.72 | 0.96 | 1.00 |
| Twisting Knobs | TurnOnStove | 0.06 | 0.46 | 0.64 |
| | TurnOffStove | 0.06 | 0.24 | 0.16 |
| Turning Levers | TurnOnSinkFaucet | 0.10 | 0.34 | 0.56 |
| | TurnOffSinkFaucet | 0.56 | 0.72 | 0.72 |
| | TurnSinkSpout | 0.36 | 0.96 | 0.90 |
| Pressing Buttons | CoffeePressButton | 0.00 | 0.74 | 0.86 |
| | TurnOnMicrowave | 0.08 | 0.90 | 0.84 |
| | TurnOffMicrowave | 0.02 | 0.60 | 0.86 |
| Insertion | CoffeeServeMug | 0.12 | 0.34 | 0.64 |
| | CoffeeSetupMug | 0.00 | 0.12 | 0.30 |
| **Avg. Task Success Rate** | | 0.098 | 0.476 | **0.573** |



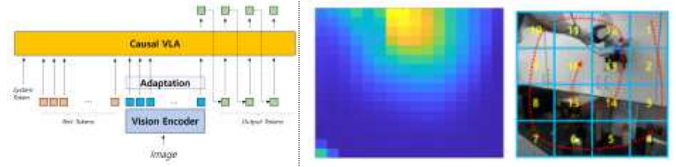
| Comparison with the SOTA methods | TSR (↑) | Model Size (↓) |
|---|---|---|
| OpenVLA-7B-ft | 9.8% | 7B |
| BC-xfmr | 47.6% | **0.062B** |
| **DP-VLA (ours)** | **57.3%** | 0.32B |

· [RoboCasa] OpenVLA 및 BC-transformer (BC-xfmr) 보다 높은 SOTA 성능 확보
· [RoboCasa] 추론 및 학습 속도 정량 평가 결과

| Efficiency | Inf. Time (sec) (↓) | Train Time (sec/iter) (↓) |
|---|---|---|
| OpenVLA-7B-ft | 0.253 | 6.09 w 32 b.s. |
| BC-xfmr | **0.022** | **1.16 w 128 b.s.** |
| **DP-VLA (ours)** | 0.030 | 1.33 w 128 b.s. |

· [RoboCasa] 효율적 학습 속도 및 실시간 로봇 액션 추론 속도 (약 33fps) 확보

• 로봇 조작 지능 VLA 가속화 기술 설계
- VLA와 VLM 간의 차이점 파악 및 VLA에 맞게 재설계
· 현재 많은 VLA가 기존 연구인 VLM에 로봇 데이터로 Finetuning하는 형태로 구성하나, VLM은 기본적으로 단일 영상에 가변적인 Text로 구성되어 있음. 반대로, VLA는 시간 축에서 연결되는 영상 시퀀스와, 고정적인 Text로 구성됨
· LLM/VLM 가속화에 사용되는 KV Cache 기술은 첫 입력부터 시작해서 입력 변화가 발생할 때까지의 중간결과를 저장하는 방식의 가속화이나, VLM을 그대로 VLA에 사용할 경우 첫 입력부터 영상이 변화하게 되어 KV Cache를 사용할 수 없음
· 이를 고려해, Text를 앞쪽에 배치하고 영상을 뒤쪽에 배치할 경우 가속화 가능




<제안 VLA 구조 및 영상 분할 디자인>

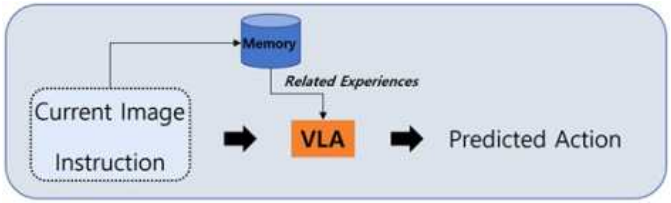
- VLA에 적합한 영상 분할 순서
· 기존 VLM은 단일 영상을 사용해 VQA를 수행하기 때문에 영상 패치간 순서가 무의미했음. 그러나, VLA에서 KV Cache를 고려했을 때 영상의 분할 순서가 속도에 영향을 미침
· 로봇 환경에서 고정된 카메라를 사용할 경우, 변화가 많은 위치와 변화가 적은 위치가 명확히 구별됨. 주로 로봇이 보이는 위치 및 영상의 중심부가 변화가 많으며, 반대로 변화가 거의 없는 위치도 존재
· 이에 기반해 변화가 적은 패치부터 입력 순서를 구성할 경우, Caching할 수 있는 확률이 높아져 DROID 데이터셋 평균적으로 85%의 연산을 생략할 수 있음
· 제안하는 두 가지 VLA 디자인을 사용했을 경우, 추가 학습 없이도 아래와 같은 속도 개선을 얻을 수 있음.

| Caching을 통한 VLA 가속화 | |
|---|---|
| Method | Speed (sec/run) |
| Baseline OpenVLA | 0.067 |
| +50% Caching | 0.040 |
| +85% Caching | 0.021 |

· 현재 이와 더불어 FastV 및 Speculative Decoding 등을 VLA에 적용. FastV는 VLM의

영상 처리 부분에서 인접한 패치끼리만 Attention이 있다는 현상을 관찰 후, Inference에서 인접 패치만 연산에 사용하는 방식. 이를 통해 약 2배 정도의 속도 개선이 보고됨. Speculative Decoding은 작은 크기의 LLM을 동시에 여럿 사용해 Inference의 사전작업을 병렬로 처리하는 방식

- 로봇의 성공 경험 기억 및 RAG를 통한 재활용
  ・앞선 Caching을 기반으로 Text Instruction에 대한 연산을 완전히 생략할 수 있음. 이 경우, Text를 최대한 길고 자세하게 입력하는 방안이 적용 가능
  ・로봇의 경험 및 학습에 사용된 데이터를 External Memory에 저장해두고, 현재 주어진 Instruction과 유사한 데이터를 검색해 확보 및 이를 참고한 VLA 기능 설계 가능




RAG 기반 VLA 구조

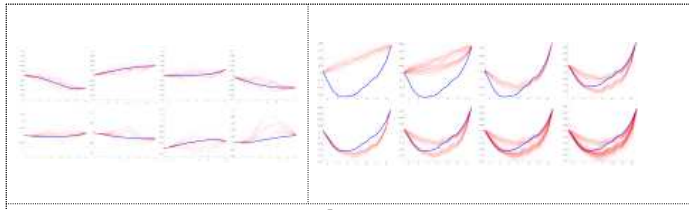
・VLA 적용에 앞서 LLM 종류 및 Embedding 방식에 따른 RAG 성능 분석 및 높은 RAG 성능에 영향을 미치는 변수 분석

| Embedding Model에 따른 RAG 성능 | | | |
|---|---|---|---|
| LLM/Embedding model | BAAI/bge-small-en-v1.5 | text-embedding-ada-002 | GeminiEmbedding |
| Exaone 3.0 | 81.50% | 81.50% | 81.50% |
| gpt-3.5-turbo | 80.00% | 82.00% | 80.50% |
| llama3-8b | 86.00% | 88.50% | 88.50% |
| zephyr-7b-alpha | 77.50% | 77.50% | 77.50% |
| gpt-4o-mini | 84.50% | 84.50% | 84.50% |
| gpt-4 | 79.00% | 82.50% | 81.00% |

| Hyperparameter에 다른 RAG 성능 | | |
|---|---|---|
| LLM/Chunk | Size=300, Overlap=80 | Size=1024, Overlap=80 |
| exaone | 80.50% | 83.50% |
| gpt-3.5-turbo | 78.50% | 79.00% |
| llama3 | 86.00% | 75.50% |
| zephyr-7b-alpha | 76.00% | 74.00% |
| gpt-4o-mini | 87.50% | 87.00% |
| gpt-4 | 87.50% | 82.50% |

・로봇 조작 데이터 증강 방법 개발
- 확산모델 기반의 궤적 다양화
  ・로봇 궤적의 (시작, 끝) 위치를 입력하고 사이 궤적을 생성하는 Diffusion Model 학습
  ・실제 로봇 데이터에 대해 Masked Auto Encoder 역할을 수행하는 Diffusion Model을 구성하고, Data Augmentation 효용성을 위해 Diffusion Step 수를 최소화해 속도를 고려
- Numerical 데이터 증강 기법
  ・기존의 궤적 데이터에 Random Noise를 입력하되 시간 축에서의 Cumulative Randomness를 고려해 Noise 생성. 또한, 시작점 및 끝 점이 달라지지 않는 방식으로 구성해 기존 데이터 대비 작업 성공률에 저하가 생기지 않도록 적용





<로봇 궤적 데이터 증강 예시 (좌:확산 모델, 우: Numerical 데이터 증강)>

비피앤솔루션 (공동1)

① 블록체인 기반 데이터 거래 플랫폼 고도화 개발

・블록체인 기반 데이터거래 플랫폼 고도화 개발
- 전년도 알파테스트 결과를 통한 요구사항 반영 및 오류 수정 적용 개발
  ✓ 알파테스트 수정 요청사항 32건에 대한 적용
  ✓ 데이터 관리 상의 문제 해결을 위한 고도화 (IPFS의 CID만을 사용하던 내용을 IPNS를 적용하여 시스템 구현 문제 해결)

| 구분 | 2023년 버전 | 2024년 버전 |
|---|---|---|
| 파일관리 문제 | ・IPFS 의 CID 를 이용한 연결 | ・IPNS 를 이용한 폴더 연결 관리 |
| 중복데이터 문제 | ・계약별로 거래되는 데이터 마다 별도의 CID 가 필요<br>・동일 데이터도 중복으로 업로드 필요 | ・폴더에 연결하는 key 를 통해 연결<br>・동일 폴더에 다른 사용자 key 를 발급하여 사용가능 중복 데이터 불필요 |
| 계약 종료시 | ・계약 종료 후에도 CID 를 바로 삭제 불가능 . 가비지 컬렉터에서 삭제까지 파일 남아 있음 | ・연결 key 를 삭제 하여 동일한 key 로 삭제 불가능 |
| 데이터 추가 제공 방식 | ・동일 계약에 데이터 추가 시 CID 가 별도 발급<br>・계약 내에 CID 가 다수 존재하여 파일 관리의 어려움 | ・폴더 내 추가 시 기존 연결로 데이터 사용 가능 |
| 데이터 거래 방식 | ・1:1 거래만 지원 | ・플랫폼의 계약을 이용한 불특정 다수 대상 거래 가능 |

<고도화 주요 항목 비교>

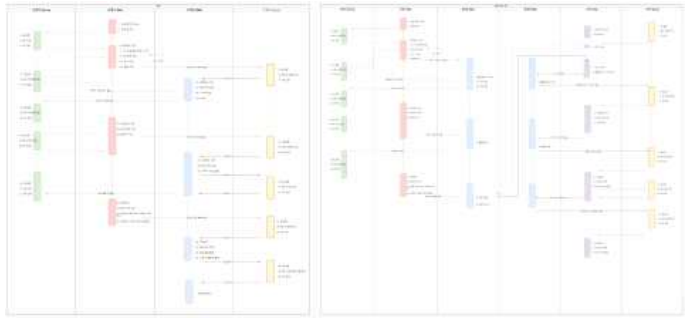
  ✓ IPNS의 특성인 포인터를 통한 데이터 연결을 구성할 수 있음. 포인터의 경우 데이터 위치와 별개의 개념을 갖고 있음. 포인터에서는 CID의 연결을 구조로 만들 수 있어 폴더 형태로 데이터를 가질 수 있음.
  ✓ 계약의 추가나 계약에 대해 데이터 관리를 IPNS의 포인터(key) 구조를 통해 구현
  ✓ 또한 IPNS의 포인터는 생성 시 유효기간을 설정할 수 있어 이를 통해 데이터에 대한 계약 기간의 적용이 가능함.
  ✓ 계약 변경이력 조회 기능 추가 및 계약 진행 상태 확인 용이하도록 기능 추가, 계약 내역에 대한 모바일 조회 용이하도록 APP 기능 추가



<변경 적용 웹 및 APP 구현>

- 플랫폼을 통한 판매를 지원하기 위해 표준 계약 추가 및 계약 절차 수정 개발
  ✓ 기존 판매자-구매자 직접 계약 방식외 플랫폼을 기준으로 계약을 수행
  ✓ 데이터 검색 및 구매를 위해 플랫폼 - 구매자 프로세스 추가
  ✓ 계약 진행에 따른 프로세스 변경 적용

✓ 블록체인 스마트 컨트렉트 추가 개발



<직접계약프로세스와 변경된 간접계약 프로세스 >

- 거래 방식 추가 개발(판매자-플랫폼, 플랫폼-수요자)을 통한 표준 계약 추가 개발
  - ✓ 표준계약 정리 및 적용
  - ✓ 표준계약서 총 3종으로 2종 추가 구현(판매자-플랫폼, 플랫폼-구매자)
  - ✓ 직접계약과 달리 검색 후 계약 요청으로 구매 신청 가능하도록 구현

- 판매방식 변경에 따른 거래 데이터 검색 및 구매 요청 추가 개발
  - ✓ 데이터 검색 화면 추가
  - ✓ 검색에 필요한 기능 추가 개발(데이터 정보, 데이터 상세정보(컬럼정보) 등)

- 개발된 SW의 저작권 관련 등록 완료
  - ✓ SW 등록 완료 (C-2024-050249호 U-STC 사용자APP) 및 구글 playstore 등록
  - ✓ 사이트 도메인 등록(https://www.u-stc.net)



<저작권> <구글등록> <도메인 등록>




<데이터 검색 화면 및 상세 정보 조회 화면 개발>

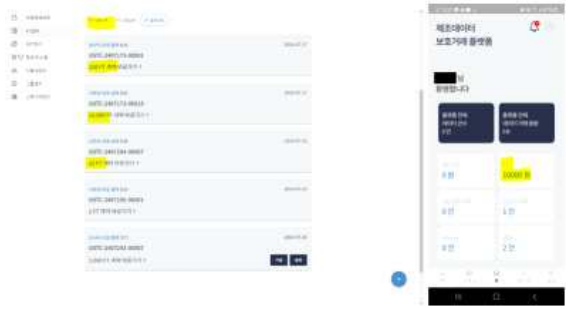


• 제조 데이터 거래 표준화 및 NFT 연계 개발
- 제조 데이터 보호 거래 표준화를 위한 TTA 표준화 위원회 가입 및 표준 프로세스 프로젝트 지원
  - ✓ 총 2종의 프로젝트 과제 채택되었으나 1건만 표준 상정
  - ✓ "블록체인 기반 제조데이터 거래 플랫폼 제1부 개념 및 요구사항" 단체표준안심의 중



<TTA 표준화 과제 현황>

- 데이터 거래 가격 산정 기준 개발 및 거래 프로세스 내 결제 추가 개발 및 적용
  - ✓ FT 적용을 통한 결재 기능 개발
  - ✓ FT 충전 기능 추가 개발
  - ✓ FT의 경우 prvate 블록체인이 아닌 public 블록체인 내의 토큰으로 개발 수행(klaytn)
  - ✓ 연계를 위한 API 시스템 구축 및 API 연계 모듈 개발 수행
  - ✓ 데이터 거래 가격의 경우 사용자 설정으로 정의
- 데이터 거래 결재를 위한 FT 연계 적용 (스마트 컨트렉트 내 로직 추가, 사용자 APP 내 지갑 수정 등)
  - ✓ 계약 프로세스 내 결재 프로세스 추가
  - ✓ 계약 후 정산을 위한 FT 전달용 스마트 컨트렉트 개발 및 적용
  - ✓ FT사용이력과 계약 연계를 통한 토큰 사용 이력 확인 기능 개발
- 플랫폼 내 거래 데이터의 가치 평가를 위한 NFT 연계 적용
  - ✓ NFT를 통한 계약 정보 관리가 가능하도록 구성
  - ✓ NFT의 유일성을 활용한 시스템 내 데이터의 가치 평가 활용



<FT 이력 및 지갑 내 Token 정보 확인 화면>

| | |
|---|---|
| ② 블록체인 기반 데이터 거래 플랫폼 실증 테스트 | • 블록체인 기반 데이터거래 플랫폼 프로토 타입 기반 알파 테스트 진행<br>- 시제품에 대한 외부 기관 선정 베타 테스트 수행<br>✓ 알파테스트 대상자 선정 및 테스트 수행 |

| | | |
|---|---|---|
| | | ✓ UIPA협력을 통해 데이터사업과 연계하여 베타테스트 대상 선정<br>✓ 총 12개 기업 대상 테스트 수행 후 설문수집 |

| | | |
|---|---|---|
| 설문 결과 | 만족도 | 12개 기업 평균 47.33점 / 70점만점<br>67%의 만족도를 구성함. |
| | 만족 기능 | 카테고리 : 2개 기업<br>플랫폼 통계 : 5개 기업<br>마이페이지> 내계약진행 : 3개기업<br>마이페이지 : 1개 기업<br>없음 : 1개 기업 |
| | 불편사항 | 시스템 이상으로 인해 조기 테스트 수행한 사용자의 불만족 높음. |
| | 추가 기능 요청 | 로그인 관련 조기 문제로 인해 기능 변경 및 방식 관련 내용을 요청한 기업이 있음. |

<설문결과>

- 전년도 알파 테스트 반영 결과 및 베타 테스트 후 추가 수정 요구사항 수집
  - ✓ 금년도 수행한 테스트 결과 확인 및 내용 정리
  - ✓ 추가 필요 기능 및 불편사항에 대한 추가 설계 반영을 위한 정리

- 연계서비스(AI프레임워크)를 위한 DID 기반 공동 로그인 서비스 구축
  - ✓ AI 프레임워크 사이트와의 연계를 위한 DID 기반 로그인 서비스 구성
  - ✓ A-TECH의 서비스와 연계 하여 로그인 가능한 시스템 구축

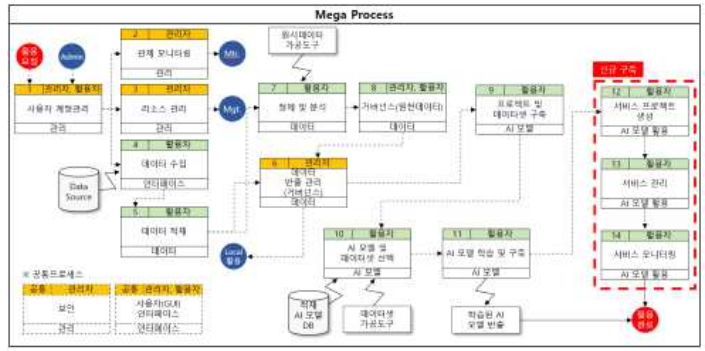



<외부시스템 연계를 위한 DID 활용 API 구축 및 적용>

- 베타테스트 결과에 대한 적용 방안 및 차년도 오픈을 위한 고도화 설계
  - ✓ 시스템 문제 확인(public 블록체인 연계 부분의 경우 해당 public 블록체인의 최신 버전 및 update 상황에 따라 즉시 대응이 필요함. 이를 위해 매번 발행하는 udpate 보고서를 확인을 통해 최신버전을 유지하고자 함)
  - ✓ public 블록체인에서 발생하는 문제의 해결을 위해 token등의 내부 기능과 외부 기능의 별도 구현을 위한 차년도 추가 고도화 내용 설계반영
  - ✓ 실제 적용가능한 환경(ex. UIPA 바이오데이터 거래 등)에 적용하여 실증

| | | |
|---|---|---|
| 에이테크<br>(공동2) | AI 협업지능 프레임워크 시각화 모듈 개발 및 베타테스트 수행 | ○ 제조 협업지능 AI 프레임워크 시각화 모듈 개발 |






<개발 수행 범위>

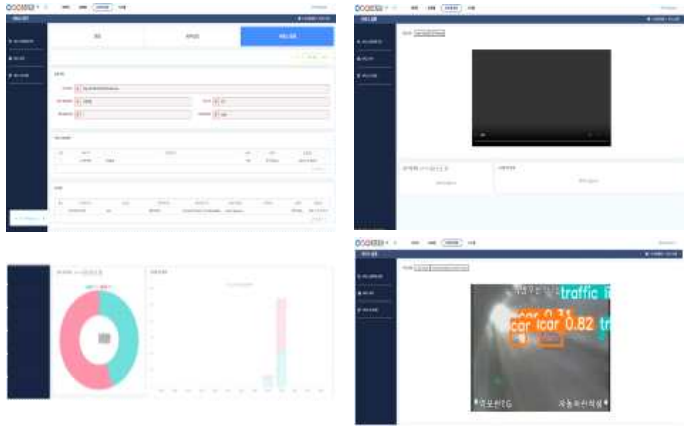
- IoT 실시간 데이터 수집 및 연동 기능 구현
  - RTS (Real Time Streaming) 데이터수집 및 연동 기능
    - ✓ RTSP를 지원하는 디바이스의 스트리밍 서버 내 영상 데이터 연동 기능 개발
  - HLS(HTTP Live Streaming) 데이터수집 및 연동 기능
    - ✓ HLS를 지원하는 디바이스의 스트리밍 서버 내 영상 데이터 연동 기능 개발

- 수집 실시간 데이터 가공 및 저장 기능
  - 프레임 디바이더(Frame Divider) 기능 구현
    - ✓ 스트리밍 되는 영상을 저장 또는 활용하기 위해 Frame 단위로 분할하는 기능
    - ✓ 데이터 저장 여부 체크 기능
    - ✓ 데이터 저장 및 Test 적용 Frame 단위 설정 기능 개발 (ex) 1장/60Frames
  - 호환성 체크를 위한 데이터 핸들러(Data Handler) 기능 구현
    - ✓ 데이터 저장 여부 체크 기능 개발
    - ✓ 선택한 AI 모델 학습용 데이터를 Reference로 설정하는 기능
    - ✓ 데이터 호환성 확인 기능 개발
    - ✓ Reference 데이터와 연동된 데이터 Format(포맷) 일치 확인 기능
    - ✓ AI 모델 Test Run을 위해 필요한 데이터 연동여부 확인 기능 개발
    - ✓ 선택 AI 모델에 적용하여 테스트가 가능할 수 있도록 전처리 및 가공 기능
    - ✓ Test를 위한 variable과 Input 데이터 간 연결 기능 개발

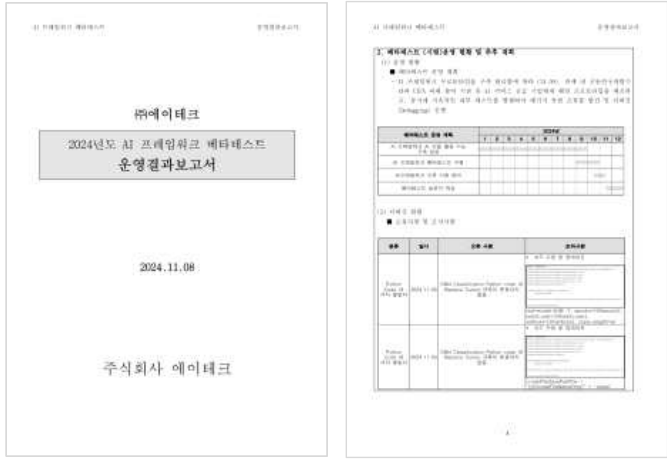



<제조 협업지능 AI 프레임워크 시각화 모듈>

- 구축된 모델 적용 및 활용을 위한 대표 활용 케이스 웹 서비스 화면 구현 (이상탐지, 양불판정, 소재분류, 기본추론, 탐지 등)

| | | |
|---|---|---|
| | | - 이상탐지(Abnomaly Detection) 서비스 화면<br>✓ 실시간 Input 데이터 표출/스트리밍 기능<br>✓ Input 데이터에 대한 이상탐지 판별 결과 표출 기능 : 최근 Input 데이터 최대 50개까지 임시 저장(Web Memory 및 서버 성능 고려 변동 有)<br>✓ 이상 판정 데이터 저장 기능<br>✓ 이상 판정 데이터 이력 표출 기능<br>✓ 판정 이력 클릭 시 데이터 정보 팝업 표출 기능(데이터 형태, 크기, 검사 일시 등)<br>✓ 검사 현황 통계 및 모니터링 기능<br>- 양불판정 (Judgement) 서비스 화면<br>✓ 실시간 Input 데이터 표출/스트리밍 기능<br>✓ Input 데이터에 대한 이상탐지 판별 결과 표출 기능 : 최근 Input 데이터 최대 50개까지 임시 저장(Web Memory 및 서버 성능 고려 변동 有)<br>✓ 이상 판정 데이터 저장 기능<br>✓ 이상 판정 데이터 이력 표출 기능<br>✓ 판정 이력 클릭 시 데이터 정보 팝업 표출 기능(데이터 형태, 크기, 검사 일시 등)<br>✓ 검사 현황 통계 및 모니터링 기능<br><br>• 서비스 제공 기능<br>- 프로젝트 생성/조회/삭제 기능<br>✓ AI 모델 활용을 위한 프로젝트 생성/조회/삭제 기능<br>- 적용 AI 모델 선택 기능<br>✓ 학습이 완료된 AI 모델 중 활용(실시간 테스트 적용)할 모델 선택 기능<br>- 적용 서비스 화면 선택 기능<br>✓ AI 모델 활용 방안에 맞춘 서비스 화면 선택 기능<br>- 실시간 데이터 수집 방법 입력 기능<br>✓ RTS, HLS을 통한 데이터 수집을 위해 IP, ID/PW를 포함한 연동 정보 입력 기능<br>✓ IoT Gateway를 통한 데이터 수집을 위해 IP, Port를 포함한 연동 정보 입력 기능<br>- 실시간 수집 데이터 활용 모델 테스트 기능<br>✓ 선택 AI 모델/서비스 화면을 통한 실시간 수집 데이터 테스트 결과 표출 기능<br>- 테스트 결과와 서비스 화면 매핑 기능<br>✓ Classes or Name 등 분류 기준에 따른 이력 테이블 생성 기능<br>✓ 테스트 결과와 서비스 표출 화면 간 Mapping 기능<br>  <br><AI 프레임워크 웹 화면 구현> |

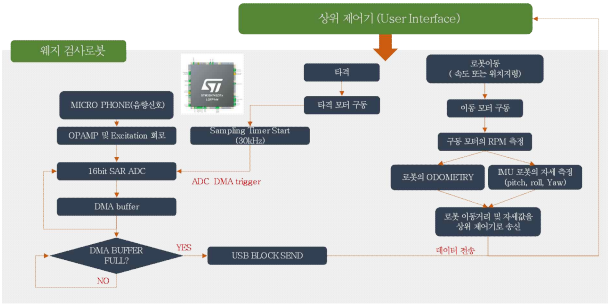


| | | |
|---|---|---|
| | | ○ 제조 협업지능 AI 프레임워크 베타테스트 진행<br>• 자사 내 구축된 인공지능 모델 로드 및 테스트를 통한 내부 검증 완료<br>- 제조 분야 데이터 분류 및 정제, 이미지 활용 AI 모델 구축을 통해 AI 프레임워크로 구축된 모델의 정확도(Accuracy), 재현율(Recall), 정밀도(Precision) 등 주요 성능 지표를 분석하여 프레임워크의 신뢰성 검증<br>- AI 프레임워크 [데이터 적재/전처리 기능] 활용으로 학습을 위한 데이터셋 구축 및 KOLAS 공인시험기관 정확도 검증 (Accrucy 99.6%)<br>- AI 프레임워크 [AI 모델 학습/반출 기능] 활용으로 결함 검출 모델 구축 및 KOLAS 공인시험기관 정확도 검증 (mAP 99.2%)<br>  <br><br><AI 프레임워크로 구축된 모델의 신뢰성 검증><br><br>• UIPA 과제 연계를 통한 베타테스트 진행 및 결과 분석 완료<br>  <br><br><AI 프레임워크 베타테스트 운영결과보고서> |
| 유진기술 (공동3) | 음향 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 테스트베드 적용 및 고도화 | • 발전기 고정자 웨지체결강도 검사로봇의 발전기 내부 360도 구동가능 시스템 개발 |



<발전기 내부 360도 구동이 가능한 고정자 웨지체결강도 검사로봇>

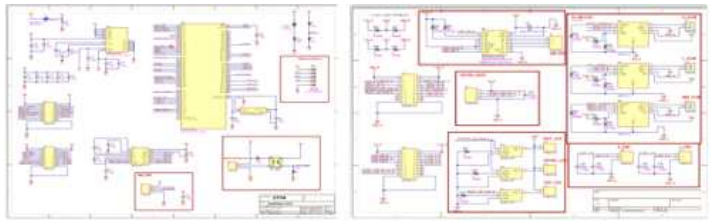
• 발전기 내부 원격제어용 시스템 기능 개발 및 테스트 베드 개발




<원격제어용 로직 시스템 구성도>

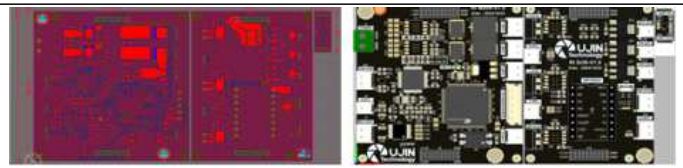
• 발전기 고정자 웨지체결강도 검사 로봇의 Tele-Operation 기반 반 자율주행을 위한 제어 모듈 개발

- 2층 PCB구조로, 1층은 메인 MCU(STM32H7)와 디버깅 인터페이스, 포토커플러를 이용한 NPN 타입 센서입력회로, IMU 연결을 위한 RS232 PORT로 구성
- 2층은 전류 모니터링 및 과전류보호 기능이 있는 DC 모터 드라이버, Dimming이 가능한 LED 드라이버, 스탭모터 드라이버로 구성



<Tele-Operation 기반 반 자율주행을 위한 제어 모듈 회로도 설계>

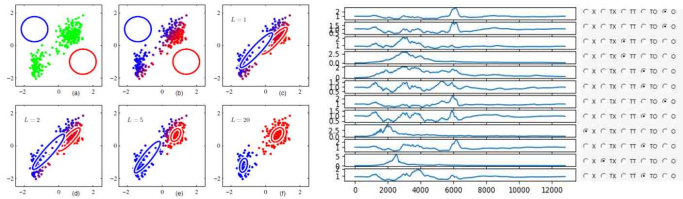




<Tele-Operation 기반 반 자율주행을 위한 제어 모듈 PCB 제작>

• 발전기 고정자 웨지체결강도 품질 검사를 위한 인식 S/W 개발

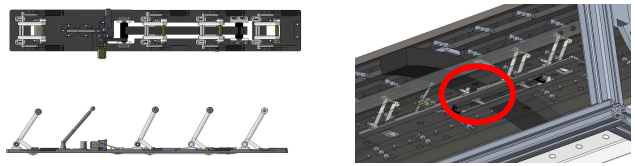
- GMM(Gaussian mixture models)군집화를 적용하여 12개의 세분화된 군집을 형성



<웨지 체결강도 품질검사를 위한 인식 S/W>

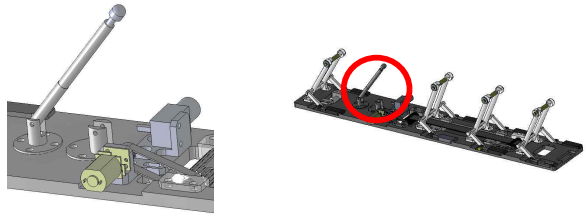
• 발전기 내부 주행 Tele-Operation 기반 반 자율 주행 이동체 시제품 개발

- 발전기 내부 원주방향 360도 주행이 가능하도록 롤러가 로봇과 수직방향으로 지지
- 배플 밑을 지날 때는 모터의 주행력으로 스프링을 이겨내어 롤러가 자동으로 접힘.



<내부 주행 Tele-Operation 기반 반 자율 주행 이동체 시제품>

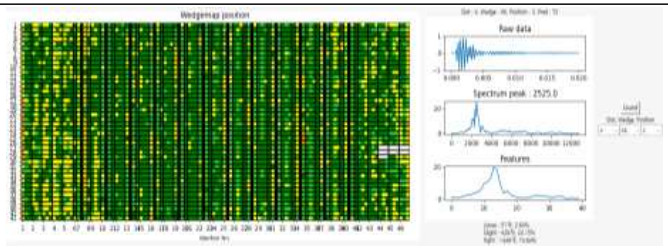
- 개량된 신규 타격기 적용 : 타격 구동모터가 회전하면, 타격기의 끝단을 하단 방향으로 이동하며 압축스프링이 눌림. 회전이 멈추면 압축스프링이 인장하며 회전 타격을 진행함.



<웨지 체결강도 품질 검사용 타격기>

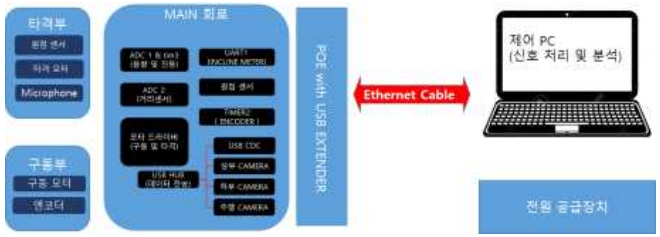
• 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사용 센서 보드 및 검사용 AI S/W 개발

- 웨지 타격 음향신호를 취득하여, 분류된 체결강도와 타격음향을 표시



<발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사용 AI S/W>

• 원격 제어 및 조작을 이용한 시제품 개발
- 전력 전달 및 제어신호 전송을 위한 Power of Ethernet과 USB externder로 구성
- 로봇 구동 모터와, 타격 구동 모터, 타격음향 신호취득을 위한 DAQ 회로 구성

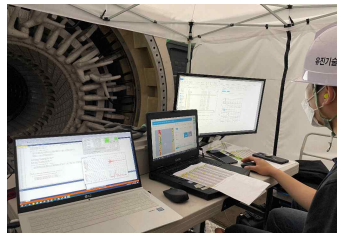



<원격제어 및 조작을 위한 유지보수 제품 구성도>

• 발전 현장 방문 및 기술 적용성 조사
- 발전소 현장 답사를 통한 발전기 구조 및 웨지 형상, 배치 확인
- 간이 시험 타격 테스트를 통한 검사로봇 적용 가능성 및 개선점 파악



<하동발전소- 2024.03>



<영흥발전소- 2024.11.>

| | | |
|---|---|---|
| 에스아이에스 (공동4) | 현장 적응형 AMR 구동 실증시험 | ○ AMR 설계 변경 및 제작<br>• 신규 AMR 설계 변경 및 제작<br>- Fork 타입, Conveyor 타입 AMR 설계 사양 |

| 사양표 | 측정 범위 | 길이 | 설계 중량 |
|---|---|---|---|
| Fork 타입 | 가로(W) | 2,257mm | 2.0 Ton |
| | 세로(D) | 2,579mm | |
| | 높이(H) | 2,637mm | |
| Conveyor 타입 | 가로(W) | 1,906mm | 2.0 Ton |
| | 세로(D) | 1,859mm | |
| | 높이(H) | 891mm | |





a) FRONT VIEW(Fork type)



b) Fork type



c) FRONT VIEW(Conveyor type)



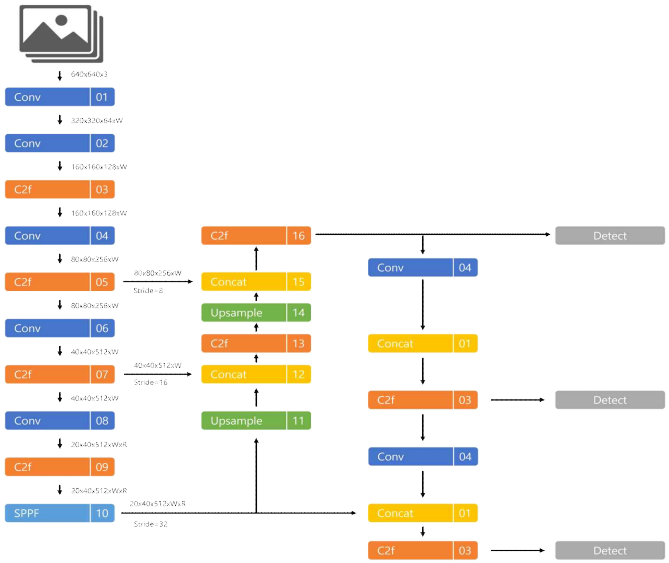
d) Conveyor type

<AMR 설계 형상>

- 기존 주행시험을 위한 단순 형태의 AMR 설계를 진행하였으나, 산업 현장에 적용하기 위하여 Fork 타입과 Conveyor 타입의 AMR로 설계하여 제작하였음.
- 구동부는 좁은 산업 현장에 적용하기 적합한 메카넘 휠을 사용하였으며, 센서부는 3D Lidar를 적용하여 Localization을 통하여 자기위치 확인과 Mapping 및 자율주행 기능을 구현하였음.

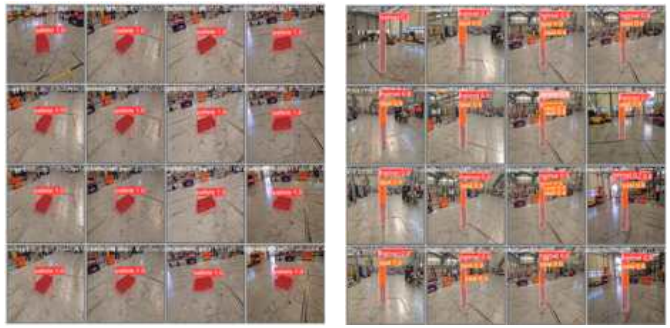
○ 3D Lidar-Vision matching

• 3D LIDAR 맵핑 데이터 & 비전 데이터 매칭 소프트웨어 개발
- 3D LIDAR 포인트 데이터(좌표 및 좌표각)와 객체 인식 데이터 매칭 기술을 개발하였음.
- 객체 인식을 위한 기초 알고리즘으로 CNN(Convolutional Neural Network, 합성곱 신경망)을 활용하여 객체 인식 수행 및 장애물 검출 계획 수립함.
- 기존 CNN의 경우 이미지의 크기에 따른 시간 복잡도가 O(2^n) 이므로 원본 CNN 방식보다 위치 추정 오차 발생률이 높지만, 식별 속도가 빠른 YOLO 알고리즘을 활용하였음.
- 위치 추정 오차의 경우 LiDAR 데이터와 상호 비교하여 위치 추정 오차의 문제를 해결함
- 산업 현장 내에 예상되는 객체(파렛트, 자율 이송차량, 안전모, 사람)의 영상 자료 및 사진 자료를 확보한 후 모델 학습용 이미지 데이터로 변환하여 데이터를 확보함.
- 확보한 데이터는 Roboflow 툴을 활용하여 Segmentation 방식의 Labeling(라벨링) 과정을 수행하였으며, 객체당 평균 700장 이상의 데이터셋을 추출하여 학습을 진행함.
- Epoch(동일 데이터셋 반복 학습 횟수) 500회까지 Overfitting (과적합)이 일어나지 않음을 확인, 기준 학습 횟수를 500회로 지정함.
- 객체 인식 모델의 자체 평가 결과 신뢰도 85% 이상 달성하였음.




<YOLO V8 아키텍쳐 구성도>

- **Conv** : Convolution
- **C2f** : Conv -> split -> Concat-> Conv
  - 합성곱과 데이터 풀링을 통해 이미지 특징을 찾는 모듈
- **SPPF** : Conv -> Maxpool 2D (2D Pooling) 3times -> Concat -> Conv
  - 합성곱과 2D 풀링을 통해 이미지의 전체적인 분위기를 감지하는 모듈
- **Concat** : Concatenate
  - Pooling 과 Conv로 합축된 이미지의 특징과 고해상의 데이터 연결을 위한 연산
- **Upsample** : 작아진 맵(배열)의 크기를 증가시키기 (1행 1열 n+1행 n+1열에 0추가 후 Conv 연산)
- **split** : 입력된 값을 Concat 모듈과 bottleneck 모듈로 분산
- **bottleneck** : 차원수를 줄인 뒤, 특징 추출(Conv) 연산 모듈



<생성된 모델의 시험용 이미지와 시험 과정>

- 객체 인식 결과 신뢰도는 아래의 공식을 사용해 판단하였음

| 구분 | | 실제 | |
|---|---|---|---|
| | | 존재 | 존재하지 않음 |
| 예측 | 존재 | TP(True Positive) | FP(False Positive) |
| | 존재하지 않음 | FN(False Negative) | TN(True Negative) |

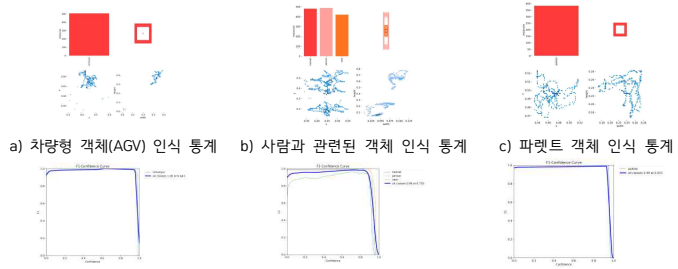


$$\text{Accuracy (정확도)} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN}$$

$$\text{Precision (정밀도)} = \frac{TP}{TP+FP}$$

$$\text{Recall (재현율)} = \frac{TP}{TP+FN}$$

$$\text{F1-Score (신뢰도)} = = 2 \times \frac{\text{Precision} \times \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$



a) 차량형 객체(AGV) 인식 통계 b) 사람과 관련된 객체 인식 통계 c) 파렛트 객체 인식 통계

d) 차량형 객체(AGV) 인식 신뢰도 e) 사람과 관련된 객체 인식 신뢰도 f) 파렛트 객체 인식 신뢰도

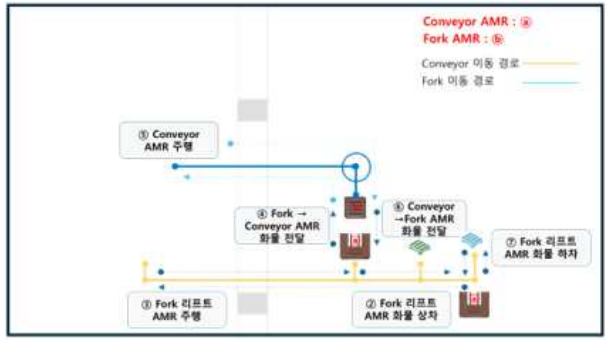
<객체 인식 신뢰도 평가>



a. 돌발 상황 (라이다 인식) b. 돌발 상황 (카메라 인식)

<돌발 상황 3D-Lidar matching 활용>

- 관제 시스템과의 연동을 통한 내부 실증 진행
  - AMR 운영 시나리오에 따른 내부 실증 결과 작업 관제 시스템의 명령에 AMR 정상 동작, AMR 협업 구동 대응, 돌발 상황에 대응이 가능함을 확인하였음
  - ACS를 통한 다중 AMR 간 화물 연동 여부를 확인하기 위한 명령으로 Fork 타입 AMR에서 Conveyor 타입 AMR로의 이송 작업과, Conveyor 타입 AMR에서 Fork 타입 AMR로의 이송 작업을 명령하였으며, 실제 작업이 이루어지는지 확인함.




<다수 AMR 연동 작업 시험 계획>



a) AMR간 화물이송(Fork 타입→Conveyor타입)



b) AMR간 화물이송(Conveyor타입→Fork 타입)

<AMR간 화물이송 작업>



a. 파레트 로딩

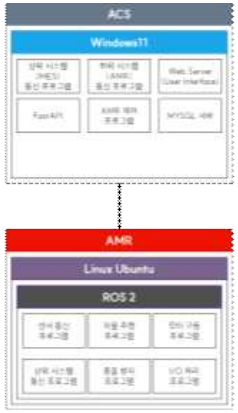


b. 파레트 언로딩

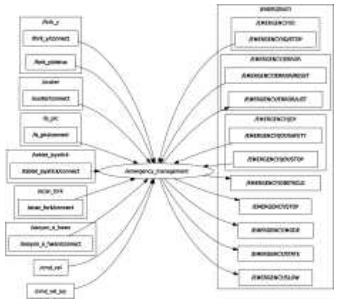
<협업 구동 확인>

• 상위 시스템(생산 시스템)과 관제 시스템과의 데이터 통신 확인

- 가상 상위 시스템(Master PLC)를 생성 후 ROS 표준 통신을 통한 데이터 송수신 결과 서로 신호를 주고받는 것을 확인할 수 있었으며, Heartbit 신호 송수신을 통해 지속적인 모니터링이 가능함을 확인하였음.




<ACS 상위 시스템 연동 아키텍쳐 설계>



<아키텍쳐 노드 그래프>






<상위시스템 연동 확인>




<상위시스템 연결 정보 모니터링>

ㅇ 실내 측위 오차율 측정

• 실내 측위 오차율 시험 방법

- ACS 주행명령과 LiDAR 상에서 측정된 AMR 주행 경로 DATA, 실제 주행 결과 비교를 통한 오차율 측정을 수행하기 위해 정지 위치 정밀도 시험을 진행.

• 정지 위치 정밀도 평가

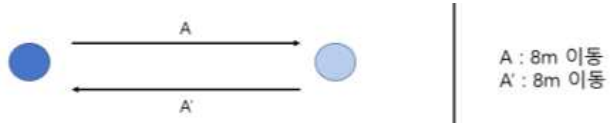
- 평가 방법 및 평가 환경 : 표준 시험환경 구성하였으며, 신규 개발 시제품 대상으로 측정 (측정의 용의성을 위해 Fork 타입으로만 시험 진행)



<개발 제품 (FAMR)>

• 시험조건

- AMR 실주행 조건으로 주행 후 복귀 상태에서 복귀 지점의 정확도 평가를 통한 정밀도 측정




<AMR 주행 시나리오>

• 평가진행



a) 정지위치 기준점 설정



b) 8m 이동 후



c) 8m 복귀 후

<시험평가 진행>

- 주행 오차 확인



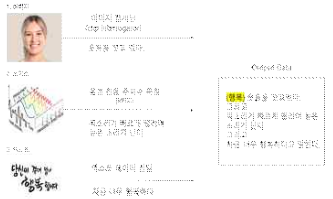
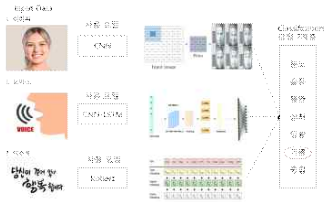

a) 리프트 (좌) 기준



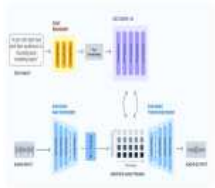
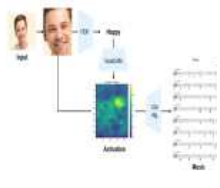
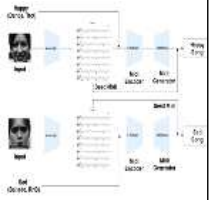
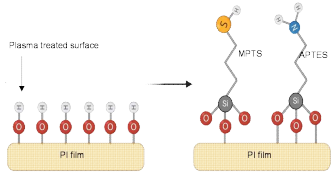
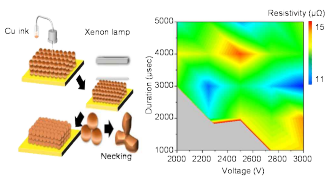

b) 리프트 (우) 기준

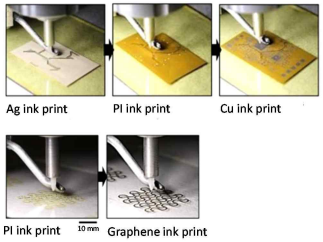
- 정밀도 : 3.5mm (거리)

• 결론 : 일정 주행거리를 왕복하여 주행한 후 복귀 지점의 거리 오차를 확인한 결과 정지 위치 정밀도가 3.5㎜로 측정됨.

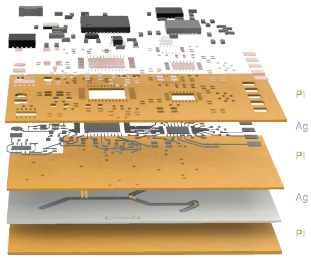
| | | |
|---|---|---|
| 부경대학교 | 감각대체 기반 감정 전달을 위한 감정 표현 모델 정의 | ㅇ 시각·청각별 감각 정보를 추출하는 AI 모델 연구<br>• 동영상을 구성하는 멀티모달(이미지, 음성, 텍스트) 데이터로부터 감정 데이터 생성<br>- AI Hub에서 제공하는 멀티모달 비디오 AI 데이터셋(110시간 17분)에 대한 감정을 에크만의 감정 7 계층으로 분류<br>- 멀티모달 데이터(이미지, 음성, 텍스트)에 대해 감정의 특징을 추출하고 이 정보를 이용하여 텍스트로 변환<br>※이미지 : CNN, 음성 : CNN(음성 특징) + LSTM(음성 처리), 텍스트 : Kobert<br>※텍스트 프롬프트 생성 : Clip interrogator를 이용<br>- 추출된 감정과 변환된 텍스트를 접속사를 통해 한 문장으로 생성<br>   <br><멀티모달 데이터 생성 시스템> <멀티모달 기반 감정 추출 AI 모델><br>ㅇ 감정 정보를 다양한 형태로 변환하여 전달하기 위한 감정 정보 표현 모델<br>• MusicGen을 기반 텍스트-to-감정음악 생성 모델 연구<br>- 감정을 표현하는 텍스트를 분석하여 감정을 추출한 후, MusicGen을 이용하여 감정에 부합하는 음악을 생성 |



| | | |
|---|---|---|
| | | • 감정 전달 멜로디 생성 방법 연구<br>- 얼굴의 부위별 감정 강도를 분석하고 분석된 강도에 따라 음악을 생성하는 모델 연구<br>- 감정 및 얼굴 특성 분류를 위한 CNN 기반 아키텍처 필터를 시각화한 visual class activation map을 기반으로 음향화 수행<br>※CNN base Classification Architecture (Ex. VGG, ResNet, Custom, ···)<br>※CNN Filter Visualization (Guided Interpretable Facial Expression Recognition via Spatial Action Unit Clues)<br>※Input Data : Facial Attribute Classification Dataset, Facial Expression Classification Dataset<br>- 음향화 수행을 위한 명시적 감각대체 방법을 차용하여 감정 및 특성별 activation map sonification table 및 알고리즘 구축<br>• 얼굴표정 기반 감정음악 생성<br>- 얼굴 표정 이미지, V2A 알고리즘으로 생성한 시드 음악 및 장르별 음악 데이터셋(행복-댄스, 슬픔- 발라드 등)을 결합하여 학습<br>- 격자 형태로 나눈 이미지에 대해, 각 패치의 픽셀 평균 밝기 값은 음표의 볼륨으로, 활성화된 음계의 평균값은 다이내믹스로 매핑하는 방법으로 템포와 피치를 추출된 감정에 맞게 조정하여 감정 음악 생성<br>- 추출된 시드 멜로디는 4마디를 기반으로 감정에 따른 음악 생성의 출발점이 됨<br>    <br><MusicGen 활용 시스템> <XAI 기반 음악 생성 시스템> <감정 음악 시스템> |
| Georgia Tech Research Corporation | 고감도 모양체근 신호 수집을 위한 센서 기술 연구 | ㅇ 생체 적합형 나노 소재의 고해상도 프린팅을 위한 프로세싱 기술<br>• 고해상도 프린팅을 위한 나노 소재 특성 분석<br>- 활용 가능 잉크(Silver nanoparticles, Copper nanoparticles, Graphene 등) 특성 분석<br>- SAM과 IPL을 활용한 Copper nanoparticle 프린팅 기술 개선<br>※SAM: Self Assembled Monolayer), IPL: Intense Pulse Light<br>   <br><Schematics of SAM for copper nanoparticle ink printing> <Schematics of IPL process and IPL optimization for Copper ink><br>• 고해상도 프린팅을 통한 다층 회로 및 바이오 신호 수집 전극 제작<br>- AJP(Aerosol-Jet Printing)를 통한 Cu, Ag, PI 로 구성된 다층 회로 고해상도 출력<br>- 유연성과 접합성을 고려한 그래핀 기반 전극 설계<br>- 생체 적합형 소재 기반 생체신호 수집 전극 개발 |



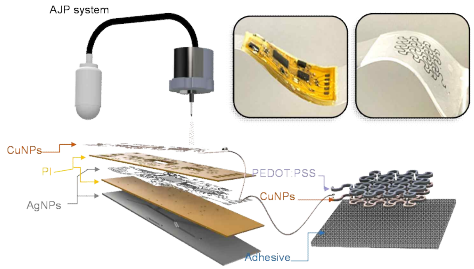

<Sequential Photos of printing electrode and circuit>




<Schematics of Multi-layered circuit>

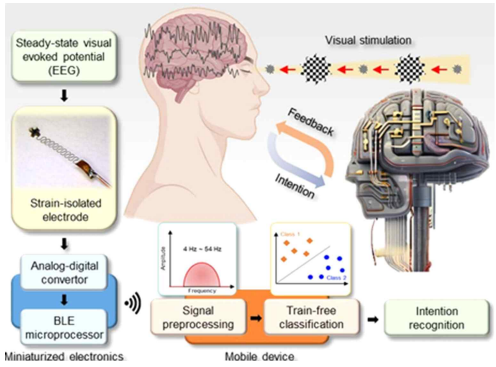
○ 나노 프린팅 기반의 박막형 피부부착형 전극 및 측정 기술

• 나노 프린팅을 활용한 피부부착형 센서 기술
- 유연 회로와 무선 신호 전송 시스템이 통합된 다중 회로 기반 센서
- 박막형, 피부부착형 센서의 내구성 및 센싱 정확도 향상



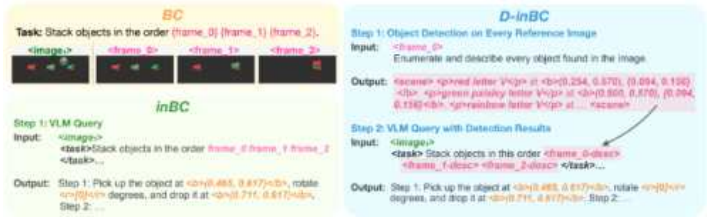
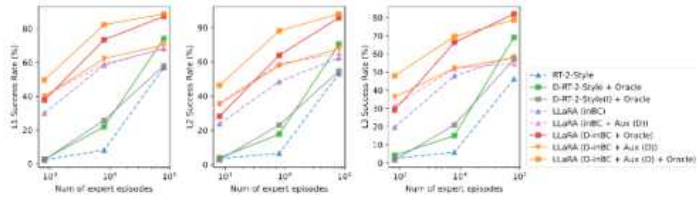
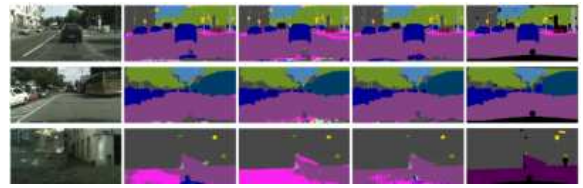

<Schematic and photos of Printed Circuit and electrode>

• 생체신호 실시간 수집 및 분석을 위한 프로토타입 개발
- 블루투스 통신 기반 실시간 생체신호 수집 및 분석 모델 검증을 위한 데이터 수집
- 학습 없이 실시간으로 생체신호를 분류할 수 있는 알고리즘 연구




<Flowchart of real-time signal process >



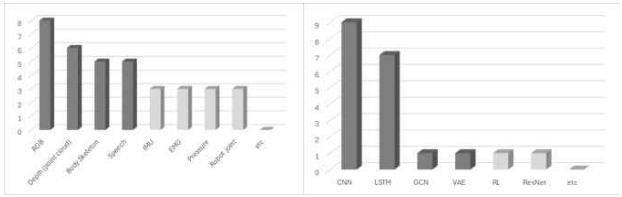
| | | |
|---|---|---|
| Stony Brook University | 경량형 로봇 트랜스포머 (Lightweight robot transformer) 설계 | • 로봇 트랜스포머를 학습하기 위한 LLaRA 프레임워크의 설계: Large Language and Robotics Assistant (LLaRA)<br>  <br><br>- LLaRA는 로봇의 행동을 LLM이 친숙한 text의 형태로 나타내며, 기존의 pretrained LLM 을 최대한 활용함. RT-2에서 사용되던 기존의 Behavioral Cloning (BC) 방식에 비하여 한층 더 진화한 방식 (inBC와 D-inBC)<br>  <br><br>- 자가학습 (self supervised learning)의 개념을 로봇 학습에 적용함으로써, 작은 양의 로봇 데이터로부터 LLM/VLM의 효율적인 경량 학습을 가능하게 함<br>. 종래의 RT-2방식에 비하여 LLaRA는 10배 이상의 학습 데이터 효율을 보임<br>  <br>• LLM/VLM을 다양한 로봇 환경에 적용하기 위한 domain agnostic representation의 연구<br>- 환경에 좌우되지 않는 scene segmentation을 위한 domain agnostic text representation의 연산과 그를 이용한 학습 (CoPT)<br>  <br><Scene segmentation 결과. 좌측부터 입력 이미지, 기존 HRDA 방식, 기존 MIC 방식, 제안된 CoPT방식, ground truth> |
| UNIST (위탁1) | 당해연도 개발목표 | ○사람-이동체-공간을 포함하는 제조 현장 모의 환경 구성<br>• 국내외 제조 산업 분야에서 활용되고 있는 멀티모달 AI 기술 관련 문헌 조사<br>- 협업 기술 연구는 현재 대부분 단일 데이터 소스에 의존하고 있으며, 멀티모달을 활용한 |

연구는 현저히 부족한 수준임
- 국내 연구 사례의 경우는 거의 존재하지 않으며 국외 연구 사례에 집중해 문헌 분석 실시

| 활용 목적 | 설명 | 비율 |
|---|---|---|
| 작업자 행동 인식 | 작업자의 현재 행동을 인식 | 27% |
| 명령 인식 | 작업자가 지시를 내린 것을 인식 | 27% |
| 작업자 의도 추정 | 작업자의 행동 의도를 파악 | 21% |
| 협업 이상 감지 | 협업 상황 중 발생하는 이상상황을 인식 | 15% |
| 작업자 인식 | 작업자의 존재여부를 인식 | 5% |
| 로봇 상태 추정 | 로봇이 현재 어떤 Task를 수행하는지 인식 | 5% |

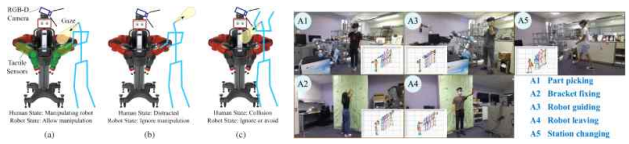
<멀티모달 AI 기술의 활용 목적에 따른 분류>

- 문헌 분석 결과, 협업 기술은 주로 "작업자 행동 인식", "명령 인식"에 초점
→ 작업자의 상태와 행동을 실시간으로 파악하고, 이를 기반으로 로봇과의 협업을 조율하는 능력이 핵심임을 확인




<멀티모달 학습 데이터 분포 (좌) 및 멀티모달 학습 모델 분포 (우)>

- 작업 환경의 시각적 정보를 처리하고 공간 정보를 효과적으로 파악할 수 있는 RGB, Depth 데이터가 가장 활발히 사용 되는 것을 확인
- 이에 따라, 이미지 데이터와 시계열 데이터를 효과적으로 처리 가능한 CNN과 LSTM 등의 모델이 사용 빈도가 높은 것을 확인
→ 작업자의 상태와 행동을 실시간으로 파악하고, 이를 기반으로 로봇과의 협업을 조율하는 능력이 핵심임을 확인




<멀티모달 AI 기반 협업 기술 개발 사례, 작업자 의도 추정(좌), 작업자 행동 인식(우)>

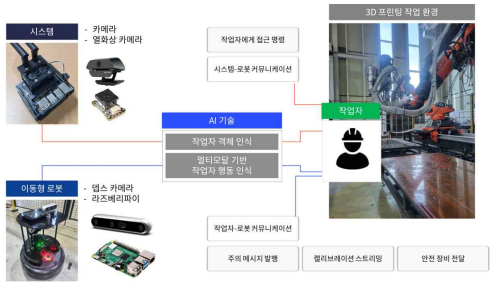
(좌) Wong, C. Y., Vergez, L., & Suleiman, W. (2023). Vision-and Tactile-Based Continuous Multimodal Intention and Attention Recognition for Safer Physical Human-Robot Interaction. IEEE Transactions on Automation Science and Engineering.
(우) Li, S., Zheng, P., Fan, J., & Wang, L. (2021). Toward proactive human–robot collaborative assembly: A multimodal transfer-learning-enabled action prediction approach. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 69(8), 8579-8588.

- 두 핵심 협업 사례 분석을 통해 작업자 상태와 행동의 정밀한 인식을 기반으로 협업 지능 기술을 개발하는 데 멀티모달 데이터 활용이 필수적임을 확인

• 지능형 개체간 협업 시나리오 구성
- 문헌 분석 내용을 바탕으로 멀티모달 AI 기반 지능형 개체간 협업을 구현하기 위한



시나리오 배경으로 3D 프린팅 제조 공간을 선정
- 해당 환경에서 1) 멀티모달 AI 기반 작업자 행동 인식, 2) 이동형 로봇을 통한 후속 조치, 3) 시스템을 통한 작업자 감지를 포함하는 지능형 개체간 협업 시나리오를 구축.
- 시나리오는 Task 1과 Task2로 나뉘어지며 작업자 행동의 경우 실제 3D 프린팅 제조 환경에서 수행되는 작업자 행동으로 구성




<지능형 개체간 협업 시나리오 Framework>

- Task1 : 제조 환경의 시스템이 객체 인식 기술을 통해 작업자를 감지




<객체 인식 기술을 통해 감지된 작업자>

시스템의 객체 인식 기술을 통해 제조 환경의 작업자 존재 여부를 확인. 작업자를 감지한 이후 이동형 로봇에게 작업자 행동 인식 수행을 지시

- Task2 : 이동형 로봇이 작업 중인 작업자의 행동을 인식 및 작업자와 협업 수행

| 작업자 행동 | 문제 상황 | 협업 상황 |
|---|---|---|
| 1) 작업자가 로봇 및 센서를 점검 | 고온의 장비를 점검하는 과정에서 화상 등의 안전사고 발생 가능성이 존재 | 장비에 설치된 열화상 카메라 데이터를 이동형 로봇이 전달받은 후 임계 온도 이상이 감지 되었을 경우 주의 메시지 발행 |
| 2) 컨트롤러를 사용해 장비의 캘리브레이션 | 캘리브레이션 작업 시, 컨트롤러를 조작하는 작업자 외에도 캘리브레이션 과정을 모니터링하고 지원할 추가 작업자가 필요 | 이동형 로봇이 제조 장비로 다가가 카메라를 통해 캘리브레이션 상황을 스트리밍 |
| 3) 출력품을 목표지점까지 운송 | 출력품의 날카로운 단면으로 인해 작업자의 안전사고 발생 가능성이 존재 | 이동형 로봇이 작업자에게 필요한 안전 장비를 전달 |

<선정된 작업자의 행동 목록과 문제 상황 및 협업 상황>



<작업자 행동 및 협업 상황 예시 (좌 상단부터 작업자 행동 1,2,3)>

ㅇ데이터 수집 및 멀티모달 AI 학습모델 생성

• 데이터 선정 및 실제 제조 환경에서의 데이터 수집



<멀티모달 AI 학습용 데이터 예시 (좌부터 RGB, Depth, Body skeleton)>

- 문헌 분석 내용을 바탕으로 실제 제조 환경에서 효과적이며 데이터 수집이 용이한 3가지 형태의 데이터를 본 연구의 활용 데이터로 선정(RGB, Depth, Body skeleton).




<멀티모달 데이터 수집을 위한 하드웨어 구성>

| | 데이터 수집량 | 데이터 유형 | 프레임 범위 |
|---|---|---|---|
| RGB | 171개 | 비디오 | 50 프레임 ~150 프레임 |
| Depth | | 비디오 | |
| Skeleton | | 시계열 데이터 | |

| Benchmark | 설명 | 데이터 개수 | |
|---|---|---|---|
| | | Train | Test |
| Cross Sub | 훈련 데이터와 테스트 데이터에 서로 다른 주체를 사용 | 141 | 30 |
| Cross View | 훈련 데이터와 테스트 데이터에서 다른 시점을 사용 | 137 | 34 |

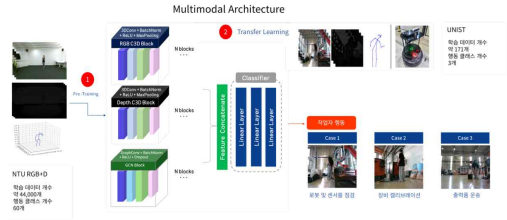
<멀티모달 데이터 수집 결과>

- 데이터 수집을 위한 하드웨어를 구성 및 최종적으로 171개의 작업자 행동 데이터 수집
- 작업자 행동 데이터의 경우 데이터 수집 난이도가 높아 이를 보완하기 위한 전략으로 공공 데이터, NTU-RGB+D를 전이학습용 데이터로 선정



• 멀티모달 AI 학습모델 구성 및 성능 평가

- 선정한 학습 데이터의 특징을 효율적으로 추출하기 위해 이미지와 시계열 데이터를 효과적으로 처리할 수 있는 3DCNN 모델을 baseline 모델로 선정. 또한 Body skeleton 데이터의 특징을 추출하기 위해 그래프 기반 GCN 모델을 baseline 모델로 선정
- 선정한 두 학습모델을 바탕으로 3가지 데이터를 처리할 수 있는 멀티모달 Architecture를 구성. NTU-RGB+D 공공 데이터를 바탕으로 사전학습을 진행 한 후 수집한 171개의 데이터를 바탕으로 전이학습을 진행해 3가지의 작업자 행동 인식이 가능한 AI 모델을 학습.




<멀티모달 Architecture 및 학습 방법론>

| Method | Accuracy | | F1 score | |
|---|---|---|---|---|
| | Cross Sub | Cross View | Cross Sub | Cross View |
| 이미지 데이터만 사용 | 93.3 % | 85.3 % | 0.915 | 0.787 |
| 멀티모달 데이터 사용 | 100 % | 100 % | 1.000 | 1.000 |
| 멀티모달 데이터 활용 시 성능 향상 | + 6.7 % | + 14.7 % | + 0.085 | + 0.213 % |

<멀티모달 AI 학습 모델 성능 평가>

- 단일 데이터를 활용 했을 경우보다 멀티모달 데이터를 사용한 경우 비약적인 성능 향상을 확인. 다만 테스트 데이터가 매우 적어 일반화 성능을 충분히 반영하지 못했을 가능성이 존재하지만, 단일 데이터를 활용한 경우와의 성능 비교를 통해 멀티모달 모델의 잠재력을 확인 가능

ㅇ지능형 개체간 협업 시나리오 데모 수행

1-1) 시스템의 객체 인식 기술을 통해 제조 현장에 있는 작업자를 성공적으로 감지



<제조 현장에 들어온 작업자를 객체 인식>

1-2) 이동형 로봇이 명령 수신 후 작업자에게 이동

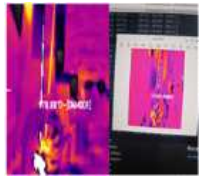


<제조 현장에서 작업자에게 다가가는 Turtlebot4>

2-1) 이동형 로봇이 작업자가 로봇 및 센서를 확인 및 점검 중인 것을 인식 및 열화상 데이터를 통해 작업자에게 경고 메세지를 발행



<작업자 행동 데이터 수집 - 작업자 행동 1>



<장비의 열화상 데이터 수집>

2-2) 이동형 로봇이 작업자가 장비 캘리브레이션 중인 것을 인식 및 장비로 접근해 카메라를 통해 캘리브레이션 상황 스트리밍



<작업자 행동 데이터 수집 - 작업자 행동 2>



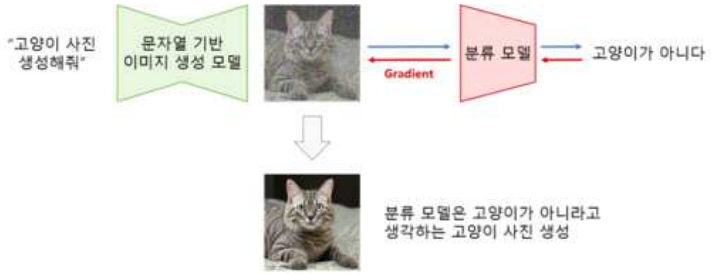
<장비의 캘리브레이션 상황을 스마트폰으로 확인>

2-3) 이동형 로봇이 작업자가 출력품을 목표 지점까지 운송하는 것을 인식 및 안전 장비를 전달



<작업자 행동 데이터 수집 - 작업자 행동 3>



| | | |
|---|---|---|
| KAIST<br>(위탁2) | 생성모델 기반<br>데이터 증강 기술 | ○ 분류 모델 학습을 위한 생성모델 기반 데이터 증강 방법 연구<br>• Guidance를 통한 데이터 증강 방법<br>- 분류 모델의 손실함수 값을 기반으로 분류 모델이 분류하기 어려운 영상 생성<br>- 분류 모델의 성능을 저하시키는 학습 데이터를 추가함으로써 분류 모델의 성능 향상<br>  <br><br><Guidance를 통한 데이터 증강 흐름도><br>• 강화학습을 통한 미세 조정 기반 데이터 증강 방법<br>- DPO 방법을 확산 모델에 적용하여 인간의 선호도에 직접 최적화하는 Diffusion-DPO 방법 적용<br>- 생성모델이 생성한 이미지 페어에 대한 사용자 선호도 데이터를 수집하고, 보상함수를 학습하여 각 이미지의 선호도 평가<br>- 학습된 보상함수를 활용하여 모델을 미세 조정 함으로써 사용자 선호도에 맞는 이미지 생성하는 것과 같이 분류 모델의 생성 이미지에 대한 선호도를 활용하여 미세 조정<br>$$L(\theta) = -\mathbb{E}_{(\boldsymbol{x}_0^w,\boldsymbol{x}_0^l)\sim\mathcal{D},t\sim\mathcal{U}(0,T),\boldsymbol{x}_t^w\sim q(\boldsymbol{x}_t^w|\boldsymbol{x}_0^w),\boldsymbol{x}_t^l\sim q(\boldsymbol{x}_t^l|\boldsymbol{x}_0^l)} \log\sigma\left(-\beta T\omega(\lambda_t)\right( \|\boldsymbol{\epsilon}^w - \boldsymbol{\epsilon}_\theta(\boldsymbol{x}_t^w,t)\|_2^2 - \|\boldsymbol{\epsilon}^w - \boldsymbol{\epsilon}_{\text{ref}}(\boldsymbol{x}_t^w,t)\|_2^2 - \left(\|\boldsymbol{\epsilon}^l - \boldsymbol{\epsilon}_\theta(\boldsymbol{x}_t^l,t)\|_2^2 - \|\boldsymbol{\epsilon}^l - \boldsymbol{\epsilon}_{\text{ref}}(\boldsymbol{x}_t^l,t)\|_2^2\right)\right)) \quad (14)$$<br><Diffusion-DPO 보상함수><br>• 매개변수 공간 앙상블 방법<br>- 일반적으로 사진 데이터셋에 대한 CLIP 모델 학습 후, 스케치 이미지 적용시 성능 하락<br>- 사전 학습된 CLIP 모델과 생성된 데이터셋을 미세 조정된 CLIP 모델의 매개변수 공간에서 섞어주는 방법 활용<br>- Convolutional layer, batch normalization layer, proejct layer 등 모든 레이어를 사전 정의된 비율(8:2, 9:1) 등으로 앙상블<br>• 크기와 방향 다양성 예측 방법<br>- 학습 후가 아닌 사전에 정규화를 통해서 실제 데이터셋에서 성능 하락을 방지하는 방법<br>- 지각 모델의 중간 특징을 분석하여 분포의 고유값을 계산하여 크기 다양성 추정<br>- Covariance matrix의 비대각 성분을 분석하여 방향 다양성 추정 추정함<br>- 실제 데이터셋에서 크기나 방향 다양성이 저하된 경우 실제 데이터셋의 성능 하락이 관찰되어 크기 및 방향의 다양성을 증가시키는 정규화 방법론 제안 |
| 고려대학교<br>(위탁3) | 다중 모달리티 기반 모델 편향 제거를 위한 학습 방법 | ○ 다중 모달리티 기반 모델의 모달리티간 편향(Modality bias) 제거를 위한 학습 방법 연구<br>• 기술 개발 및 성능 검증 데이터셋<br>- EgoTaskQA 데이터셋: 특정 목표를 이루기 위한 과정에 대한 모델의 이해를 시간적, |

공간적, 인과적 측면에서 평가하는 질의응답 데이터셋. 평가지표로 정확도 사용
- EgoNLQ 데이터셋: 텍스트 형태의 질의가 주어졌을 때, 영상 내에서 해당하는 구감을 탐지하는 태스크. 평가지표로 Recall@5 (mIoU 0.5 이상) 사용




<영상 기반 시간적, 공간적, 인과적 질의응답 예 (EgoTaskQA)>




<질의 텍스트 기반 영상 내 구간 탐지 예 (EgoNLQ)>

• 모달리티간 편향 제거 학습 방법
- 모달리티 간 연관성을 효과적으로 모델링하기 위한 양방향 모달리티 검색 손실 (bi-directional retrieval loss) 제안
- 텍스트 편향성을 줄이기 위해 영상에 해당되는 텍스트를 생성하여 모달리티 간 관계를 학습할 수 있는 영상 기반 텍스트 빈칸 추론 손실(Masked language modelling) 도입
- 모달리티간 정보 융합을 위해 모달리티 정보를 독립적으로 추출 방법(dual encoder) 또는 모달리티간 관계를 고려하여 정보를 추출하는 방법(shared encoder) 도입
- EgoTaskQA 데이터셋에 대한 정확도는 목표 성능 43%을 초과하여 46,1% 달성
- EgoNLQ 데이터셋에 대한 Recall@5 성능은 15.6을 기록하여 기준 성능 14 이상 달성

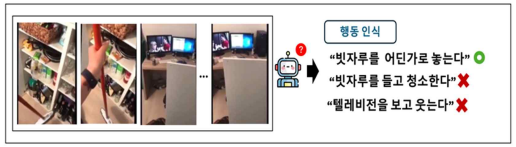
○ 사전 학습하지 않은 목표에 대한(Zero-shot) 1인칭 영상 데이터 추론 연구

• 기술 개발 및 성능 검증 데이터셋
- EPIC-Kitchens-100 데이터셋: 주어진 질의 텍스트에 기반하여 전체 영상 중 관련 영상을 검색하거나, 반대로 질의 영상에 기반하여 전체 텍스트 중 관련 텍스트를 검색하는 태스크로 모델이 학습하지 못한 다양한 영상 및 텍스트 존재
- Charades-Ego 데이터셋: 영상 내에서 발생하는 활동을 분류하는 태스크로써, 분류 항목은 학습 과정에서 사전 정해진 항목에 국한되지 않고 자연어 형태로 주어짐
- 성능 평가지표로 zero-shot mean Average Precision의 평균 (zero-sho mAP average) 사용





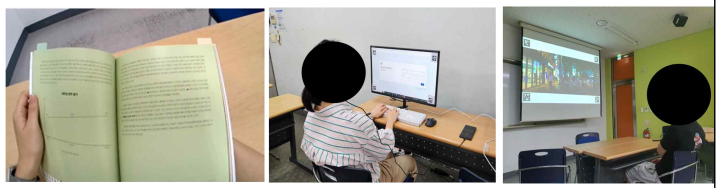

<EPIC-Kitchens 질의 기반 영상/텍스트 검색 예>



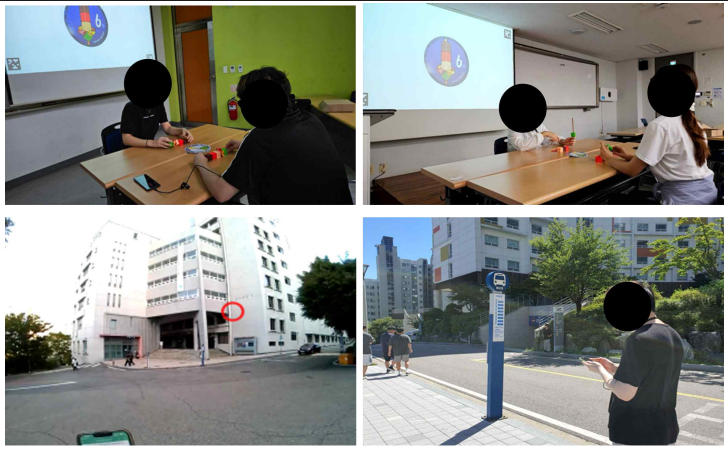

<Charades-Ego Action Classification Task 예>

• 사전 학습하지 않은 목표에 대한 1인칭 영상 데이터 추론 기술
- 사전 학습되지 않은 목표에 대한 추론을 가능하게 하기 위해서는 긴 길이의 영상에 대한 이해 및 효율적인 요약 능력이 필수적
- 긴 길이의 영상을 이해하기 위해 영상 내 흐름을 계층적으로 나타내 학습하는 계층적 학습(hierarchical learning) 제안
- 영상 내에서 시간에 관련된 정보를 효율적으로 요약할 수 있게 하기 위한 요약 방법 (temporal aggregation)과 비교 학습(contrastive learning)을 통해 표현자를 학습하는 방법 도입
- EPIC-Kitchens-100 데이터셋에서 목표 성능 17%를 뛰어넘는 24.5% 성능 달성
- Charades-Ego 데이터셋에서 목표 성능 23%를 뛰어넘는 24.8% 성능 달성

| | | |
|---|---|---|
| 중앙대학교 (위탁4) | 프로토타입 기반 시각복원 기술 사용자 요구사항 분석 | ○ 사용자 요구사항 수집을 위한 시각복원 기술 프로토타이핑<br>• 시선추적기가 장착된 사용자 착용형 기기을 통한 사용자 시선 정보 수집 실험 설계<br>- CHI, IMWUT, UIST 등 우수학술대회 및 우수저널에 발표된 시선 정보 활용 최신 연구 동향 분석<br>- 다양한 태스크에서 사용자 시선 정보를 수집하기 위해 시선 거리, 실내외, 응시 거리의 고정 여부 등을 변화시킴<br>- 시선거리는 근거리(33cm), 중거리(50cm), 원거리(3m)로 구분하고, 실내에서 응시하는 물체까지의 거리가 고정된 상황 및 실내외에서 응시하는 물체까지 거리가 변화하는 경우를 반영한 실험 프로토콜 설계 |



<시선거리에 따라 각기 다른 태스크를 수행하는 모습>



<실내외에서 물체까지의 응시거리를 변화시키는 태스크 설계>

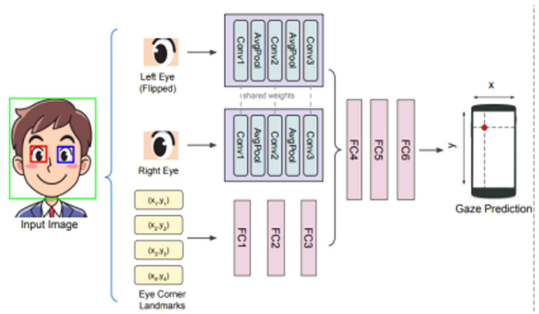
• 사용자 시선 정보 및 비디오 데이터셋 구축
- 총 19명의 피험자를 대상으로 데이터 수집. 피험자 1명당 평균 70분 분량의 데이터를 수집하였으며, 총 47GB 규모
- 태스크는 시선 이동 없이 점/면을 응시하는 태스크, 응시하는 물체까지의 거리가 고정된 태스크, 응시하는 물체까지 거리가 변하는 태스크 등 3개로 분류
- 데이터셋은 음성이 포함된 정면 비디오, 시선 좌표, fixation, saccade, 눈 깜빡임, IMU 센서 데이터, 동공 크기 데이터 등이 포함

○ 프로토타입 기반 사용자 요구사항 도출 및 분석을 위한 시선 특성 분석

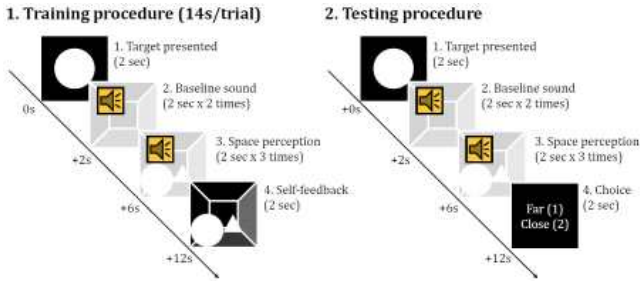
• 태스크 간 사용자 별 시선 특성 분석
- 시선 정보 분석에 주로 활용되는 시선의 고정, 빠른 이동, 깜빡임, 동공 크기 등과 같은 대표적인 지표를 활용
- 태스크 종류에 따른 시선 특성의 대표적 지표 정량적 차이 분석

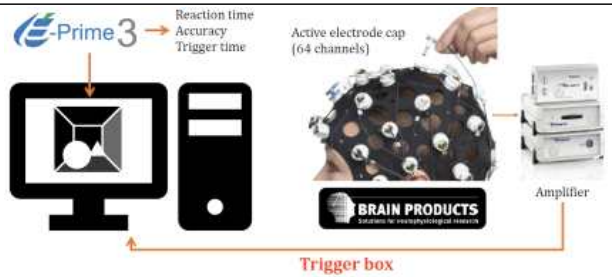
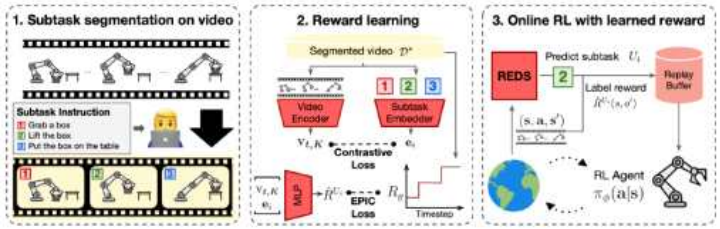
• 모바일 기기에서 시선 데이터 수집 기술
- 현재 시선추적 기술은 PC 환경에서 주로 수행되어 모바일 기기 사용자들의 시선특성 분석을 위한 시선 추적 기술 개발
- 얼굴 특징 추적 모델의 경량화된 시선추적 파이프라인 구축을 통해 RODET(Real-time On-device Eye-tracking) 모델 개발
- 공개 데이터셋 테스트 결과 유사한 성능 (기존 방법 MAE: 2.04, 제안방법: 2.48)
- 갤럭시 S23(SM-S911N)에서 한 프레임 처리 소요시간은 165 ms



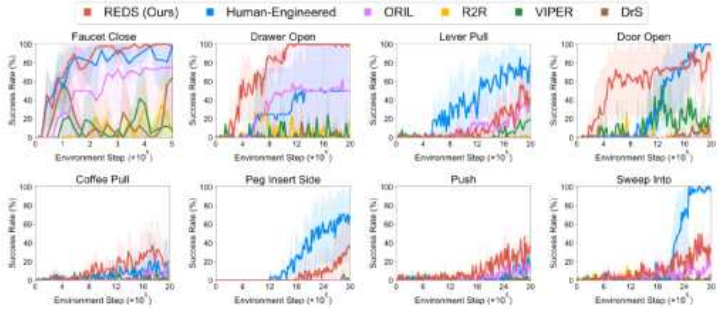
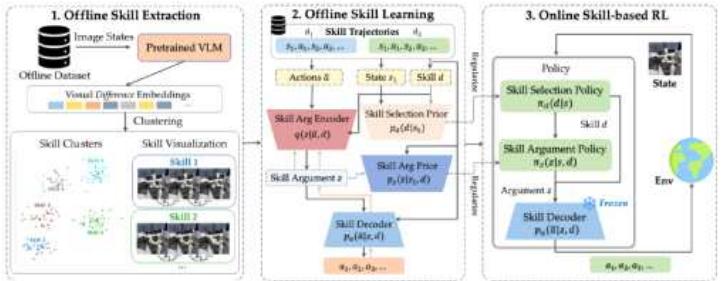



<영상 기반 경량화 다층 피드포워드 합성곱 신경망 구조>

| | | |
|---|---|---|
| 건국대학교 병원 (위탁5) | 시각대체 신호에 대한 대뇌활동 측정 | ○ 공간 관련 시각정보의 청각대체 사용자 시험을 통한 대뇌 신경 활동 분석<br>• 공간적 시각 정보의 청각감각 대체 신호에 대한 대뇌 활동을 측정하기 위한 실험 설계<br>- 평면 공간 내에 배열된 대상과 깊이(depth) 감각을 유발할 수 있는 자극 신호 설계<br>- 깊이 감각은 수평선에 더 가까이 있는 대상으로 공간 감각 대체 자극 신호 매핑<br>- 청각적 정보로만 들어오는 두 개의 도형들에 대한 소리를 듣고, 도형의 원근을 판단하는 시험 절차 설계<br>  <br><br><공간 정보의 사용자 실험을 위한 시험 절차><br>○ 고밀도 뇌전도(Electroencephaogram, EEG) 활동 측정 및 데이터 수집<br>• 뇌파(EEG) 측정 시스템의 파일럿 실험을 통한 실험 설계 검증<br>- 실험 자극을 제시하기 위한 시퀀스 소프트웨어와 뇌파 수집 장비의 연동 방법 설계<br>- 청각대체 신호의 시퀀스 파일 제작을 위해 ePrime 소프트웨어와 Python 활용<br>- 뇌전도 측정은 BrainProduct 사의 Active electrode cap 사용<br>- Software 기반의 event trigger로 시간 정렬을 하고 있으나, 정밀한 시계열 신호 수집을 위해 trigger box 등의 하드웨어 시스템 구축 모색 |

| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><청각대체 신호의 고밀도 뇌전도 신호 측정을 위난 시스템 구성도> |
| KAIST<br>(위탁6) | 일반화 가능한 로봇 조작 스킬 추출을 위한 비지도 학습 알고리즘 연구 | • 길고 복잡한 스킬(complex skill) 학습용 보상 학습 연구 (논문명: "Subtask-Aware Visual Reward Learning from Segmented Demonstrations", ICLR 2025 리뷰중)<br>- 비디오 데이터와 사람의 세그먼트 어노테이션 (segment annotation)을 활용하여 길고 복잡한 작업에 강화학습을 가능하게 하는 보상 함수 모델 연구<br>- 이 모델은 행동 레이블 (action label)이 없는 비디오로부터 학습이 가능하며, 적은 human annotation으로도 효과적으로 보상함수를 학습함<br>- 시뮬레이션과 (Meta world) 실 환경 (FurnitureBench) 연구결과는 기존 보상함수를 활용한 강화학습 방법에 비해 제시된 방법이 더 좋은 성능과 데이터 효율성을 보여줌을 입증하였음<br>  <br><제시된 보상함수 개요. 먼저 주어진 로봇 비디오를 human annotation을 통해 subtask로 구획을 나누고 (왼쪽), 해당 label을 통해 contrastive loss, EPIC loss 활용, 보상함수를 학습함 (중간). 마지막으로 학습된 보상함수를 통해 로봇은 강화학습 방법을 통해 길고 복잡한 작업을 학습함 (오른쪽)><br>  <br><제안된 방법의 실험 환경. 시뮬레이션 환경 (a), (b), (c)과 실 환경 가구조립 환경 (d) 예시> |

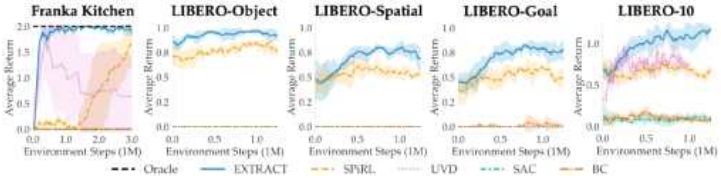


| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><시뮬레이션 환경 실험 결과. 제안된 방법의 보상함수는 사람이 직접 디자인한 보상함수와 (Human-Engineered) 비슷한 성능을 보여주며, 다른 baseline 방법보다 월등한 성능을 보여줌><br><br>| Method | # Expert Demos | Completed Subtasks (Offline → Online) |<br>|---|---|---|<br>| Sparse (Offline) [27] | 500 | 1.8 |<br>| VIPER | 300 | 1.10 → 1.25 |<br>| DrS | 300 | 1.05 → 1.10 |<br>| **REDS (Ours)** | **300** | **1.10 → 2.45** |<br><br><실 환경 가구조립 실험 결과. 제안된 방법은 길고 복잡한 실 환경 가구조립 환경에서도 데이터 효율적인 강화학습이 가능함을 보여줌><br><br>• 일반화 가능한 스킬의 발견/추출을 위한 비지도 학습 알고리즘 연구 (논문명: "EXTRACT: Efficient Policy Learning by Extracting Transferrable Robot Skills from Offline Data", CoRL 2024 발표)<br>- VLM 활용 일련의 이미지 임베딩<br>- Offline/play 데이터의 이산적인 스킬 분할 연구<br>- 분할된 스킬을 prior로 활용하여 샘플 효율적인 강화학습 방법 연구<br>- 위 연구는 시뮬레이션과 (LIBERO, FrankaKitchen) 실 환경 (FurnitureBench) 연구결과는 기존 스킬기반 강화학습 방법에 비해 일관적으로 개선된 성능과 데이터 효율성을 보여주었음<br><br>  <br><제시된 스킬기반 강화학습 개요. VLM을 활용하여 일련의 이미지를 임베딩 하고 clustering 방법을 통해 이산적인 스킬로 구분함 (왼쪽). 다음 전 단계에서 학습한 스킬을 학습하고 (중간), 마지막으로 학습된 스킬을 활용, 강화학습을 통해 작업을 마무리함 (오른쪽)> |



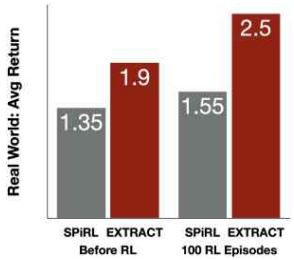
(a) Franka Kitchen (b) LIBERO (c) FurnitureBench

<시뮬레이션 및 [ 5] (a), (b) 실 환경 실험환경. 위 환경을 해결하기 위해선 여러 subtask로 구성된 길고 복잡한 작업을 이해하고 효율적으로 수행하는게 필요함>




<시뮬레이션 환경 실험 결과. 제안된 방법은 기존 스킬 기반 강화학습 방법과 (SPiRL), 강화학습 방법 (SAC), 스킬 추출 방법 (UVD), 그리고 모방 학습 방법 (BC)에 비해 높은 성능을 보여줌>

• 개별 스킬 숙련도향상
- 본 연구에서는 로봇의 개별 스킬을 확장하여 보다 정밀한 (dexterous) 작업을 수행하는 것을 목표로 함
- 기존 연구와는 달리, 길고 복잡한 가구 조립 환경에서 알고리즘 성능을 평가함
- 이를 위해 FurnitureBench라는 재현 가능한 실제 가구 조립 벤치마크를 사용하여 성능을 평가함
- 실제 FurnitureBench 환경에서 One Leg 조립 작업에서 기존 스킬 기반 강화학습 방법인 SPiRL을 능가하는 성능을 보임. 100회 추가적인 강화학습 미세 조정 후에도 효과적인 스킬 강화학습을 보여줌




실 환경 강화학습 실험 결과

| ETRI (주관) |
|---|
| • 제조 AI 협업지능 프레임워크 및 지능 로봇기반 안전관리 기술 개발<br>- 제조 AI 협업지능 프레임워크 성능시험 |



- 다중 로봇 협업에 의한 작업자 및 작업장 이상상황 감지 기술 현장 실증
• 시각증강 AI 요소 기술 개발
- 실시간 객체 탐지 기술 (YOLOF 대비 $AP_{50}$ 2.5%p~4.8%p 향상)
- 교육이론 기반 학습 프레임워크 (지각률 10.4% 증가)
- 경량형 생체신호 분석 AI 모델 (모델 복잡도 1/10 감소)
• 사용자의 명령을 이해하고 자율 조작이 가능한 로봇조작 인공지능 프레임워크 설계
- 실시간 양팔/양손 작업이 가능한 로봇 플랫폼 및 텔레오퍼레이션 시스템 개발
- 인간의 사고/행동 체계를 모방한 듀얼 프로세스 VLA (DP-VLA) 설계/개발 (기존 SOTA 대비 9.7%p 높은 성능, 모델 크기 0.32B, 추론속도 33Hz의 경량/고속 모델)

**최정단**

| 비피앤솔루션 (공동1) | 에이테크 (공동2) | 유진기술 (공동3) |
|---|---|---|
| • 블록체인 기반 데이터 거래 플랫폼 고도화<br>- 전년도 알파테스트 결과를 통한 요구사항 저의 및 오류 수정 적용 개발<br>- 플랫폼을 통한 판매자를 지원하기 위한 표준 계약 추가 및 계약 절차 추가 개발<br>• 제조 데이터 거래 표준화 및 NFT 연계 개발<br>- 제조데이터 거래 TTA 표준<br>- 데이터 거래 가격 산정 기준 및 결재 모듈 개발, FT와 NFT 연계 개발<br>• 블록체인 기반 데이터 거래 플랫폼 실증 테스트<br>- 외부 기관 베타 테스트 수행<br>- 결과 정리 및 추가 요구사항 정리 | • 제조 협업지능 AI 프레임워크 시각화 모듈 개발<br>- 모델 성능 모니터링 시스템 및 학습 결과 리포팅 기능 구현<br>- IoT 실시간 데이터 등 스트림 데이터 연동 기능 구현<br>- 구축된 모델 적용 및 활용을 위한 대표 활용 케이스 웹 서비스 화면 구현<br>- 실시간 데이터를 활용하여 구축한 모델 테스트 결과 실시간 표출 기능 구현<br>• 제조 협업지능 AI 프레임워크 베타 테스트 진행<br>- 인공지능 모델 로드 및 테스트를 통한 성능검증 및 시험 진행<br>- 실도입을 희망하는 테스트베드 기업 대상 실현장 도입 및 실데이터를 활용한 베타테스트 진행 | • 음향 신호 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 기술 테스트베드 적용 및 고도화<br>- 발전기 내부 주행 Tele-Operation 기반 자율 주행 검사시스템 개발<br>- 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사용 센서 보드 및 검사용 AI S/W 시스템 개발 |
| **에스아이에스 (공동4)** | **부경대학교 (공동5)** | **Georgia Tech (공동6)** |
| • 3D Lidar-Vision Matching<br>- AMR 설계 변경 및 제작<br>- 3D Lidar-Vision matching S/W 개발<br>• 다수의 AMR 협업체계 구현<br>- ACS 연동을 통한 내부 실증 | • 감각대체를 통한 감정정보 모델<br>- 동영상에서 멀티모달 데이터 별 감정 인식 기술<br>- 얼굴표정기반 감정음악 생성<br>- 텍스트-to-감정음악 생성 | • 나노 프린팅 기반 박막형 피부부착형 전극 및 측정 기술<br>- 생체 적합형 소재 기반 수집 전극<br>- 피부부착형 생체신호 수집 센서<br>- 실시간 생체신호 분석 프로토타입 |
| **Stony Brook (공동7)** | **UNIST (위탁1)** | **KAIST (위탁2)** |
| • 로봇 트랜스포머 설계 연구<br>- 물체의 공간정보 학습용 Instruction Tuning 데이터셋 자동 구축<br>- 공간정보 추론 능력이 강화된 | • 멀티모달 AI 기술 개발을 통한 제조 산업 현장에서의 지능형 개체간 효율적 협업 구현<br>- 국내외 멀티모달 AI 기술 문헌 | • 생성모델 기반 데이터 증강 기술<br>- 분류 모델의 선호도를 보상함수로 활용한 강화학습 기반 미세조정<br>- 매개 변수 공간 앙상블 활용 |

VLA “LLaRA(Large Language and Robotics Assistant)” 개발

조사 및 분석 실시
- 3D 프린팅 환경에서의 작업자와 이동형 로봇간 협업 시나리오 도출
- 실제 제조 환경에서의 멀티모달 AI 기반 작업자 행동 인식 기술 개발
- 수집 데이터 및 공공 데이터를 바탕으로 학습 진행. 단일 데이터 사용 대비 높은 정확도의 성능을 가짐을 확인
- 구축된 학습모델을 바탕으로 이동형 로봇과 작업자 간의 협업 시나리오 데모 수행

**고려대학교 (위탁3)**

- 1인칭 영상 분석 기술
  - 다중 모달리티 편향 제거 및 제로샷 성능 향상 기술
  - EgoTaskQA에 대한 정확도 46.1 %, EPIC-Kitchens-100에 대한 정확도 24.5% 달성

**중앙대학교 (위탁4)**

- 사용자 시선 특성 분석 데이터셋
  - 사용자 요구사항 도출을 위한 시선 특성 데이터 수집
  - 태스크 종류 및 주시 거리에 따른 사용자 시선 특성 분석
  - 19명 대상, 47GB 규모 데이터셋

**건국대학교 병원 (위탁5)**

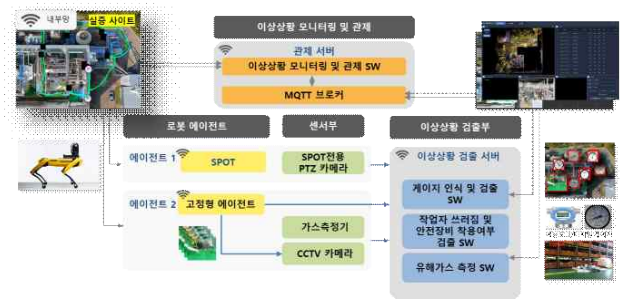
- 시각대체 신호에 대한 대뇌활동 측정
  - 공간적 시각 정보의 청각감각 대체 신호에 대한 대뇌 활동을 측정하기 위한 실험 설계
  - 뇌파(EEG) 측정 시스템의 파일럿 실험을 통한 실험 설계 검증

**KAIST(위탁6)**

- 일반화 가능한 로봇 조작 스킬 추출 연구
  - 일반화 가능한 스킬의 발견/추출을 위한 비지도 학습 알고리즘 연구 (샘플 효율적 강화학습)
  - 길고 복잡한 스킬 보상 학습 연구 (적은 휴먼 주석으로 효과적 보상함수 학습)



## (6) (3단계) 1차년도(2025년도) 개발 내용 및 범위

| 수행기관 | 개발 목표 | 개발내용 및 범위 |
|---|---|---|
| ETRI<br>(주관) | 산업현장 이상상황 감시 모니터링 서버 개발 | ○ 산업현장 이상상황 감지 기술(총괄)<br>• 멀티모달 센서를 활용한 이상상황 인식 시나리오<br>  <br><br><산업현장 이상상황 감지 기술 구성도><br>- 각종 센서류를 사용하여 공장의 안전과 관련된 정보의 수집 및 기록<br>◦ 보스턴 다이나믹스사의 스팟 로봇에 상용 PTZ 카메라를 통해서 주기적인 아날로그/디지털 게이지의 수치 인식 및 정상범위 판정함<br>◦ 4종류의 가스에 대한 센서값을 기록하여 공장 상황에 해당 위치별 체크<br>◦ CCTV등을 통한 공장 상황 모니터링을 수행하고 이상행동에 대한 검출 및 알람<br>• 이상상황 모니터링 및 관제 서버 V2.0<br>  <br><이상상황 모니터링 및 관제 시스템><br>- 다수의 로봇 에이전트 및 이상상황 모니터링 관제<br>◦ 다수의 스팟 로봇이 공장 현장에서 보스턴 다이나믹스사의 Orbit프로그램 없이 동작하여 정찰 및 게이지 인식을 수행<br>◦ 3D Lidar 맵을 스팟에서 생성된 맵과 결합하여 현재 위치 확인, 2D/3D 지도상의 표시 및 가스센서 결과에 대한 위치를 표시함.<br>◦ 실제 테스트 현장 및 실증 현장에서 상용 3D Lidar 맵 취득 결과를 획득하고, 이를 <이상상황 모니터링 및 관제 시스템>그림에서 2D Top-Down 뷰 지도와 3D 맵지도에서 로봇 위치와 함께 확인할 수 있음. |



<현장에서 획득된 3D Lidar의 Top-Down 뷰(2D지도로 활용)>

- 정찰 임무를 수행한 시간에 따른 게이지 인식 결과, 이상상황 리포팅 및 로봇 상태를 저장하며 이를 확인할 수 있음. 게이지의 오인식의 경우를 확인하기 위해서 인식 당시의 결과 화면도 첨부하여 육안으로 확인할 수 있음.
- 해당기간에 대한 간략한 요약 자료도 제공함



<센서 데이터 취득 결과 기록지 확인 영상>

• 산업안전 테스트 시나리오 검증
- PTZ, 가스센서, CCTV등을 통한 공장 상황 인식
- 각종 게이지 인식, 가스상황 및 이상상황 인식

<00 시스템/기술 구성도 그림>

| | | |
|---|---|---|
| | 다양한 형태의 아날로그 및 디지털 게이지 인식 기술 개발 | ㅇ 산업설비 이상상황 인식 기술<br>• 딥러닝 기반 아날로그 게이지 검출 및 인식<br>- 검출 및 인식 대상 : 아날로그 게이지 영역, 바늘, 숫자(10개) 객체<br>- 학습 데이터 : 2,000장 |



◦ 데이터셋 구성 : 한국전력연구원, SK, 오픈 데이터 셋 영상
◦ 영상 해상도 : 640x640, 1920x1080, 3920x2160
- 테스트 데이터 : 461장
◦ 데이터셋 구성 : 220장(한국전력연구원), 241장(울산 ACE&E)
- 테스트 환경
◦ 한국전력연구원 : 실외 환경에 설치된 게이지 9종
◦ 울산 ACE 페인트 공장 : 실/내외 환경에 설치된 게이지 14종
◦ 게이지 눈금 숫자가 바늘에 의해 일부 가려진 게이지 영상 비율 72.6%(175/241)
→ 바늘 주변 숫자열 정보 기반 눈금값 추정으로 인식 정확도 향상
- 인식 성능 평가
◦ 한국전력연구원 게이지 영상 인식률 : 211/220 = 96%
→ 오검출율 : 게이지 0%, 바늘 0%, 숫자 2.3%(5/220), 눈금값 1.8%(4/220)
◦ 울산 ACE&E 게이지 영상 인식율 : 235/241 = 97.5%
→ 오검출율 : 게이지 0%, 바늘 0%, 눈금값 2.5%(6/241)



<아날로그 게이지 유형 영상 예시>

• 딥러닝 기반 디지털 게이지 객체 검출 및 인식
- 검출 및 인식 대상 : 디지털 게이지 영역, 숫자(10개) 객체
- 학습 데이터 : 2,200장(디지털 게이지 영역 검출용), 4,900장(숫자 검출용)
◦ 데이터셋 구성 : 오픈 데이터 셋(2,200장), 울산 ACE 페인트공장(1,600장)
◦ 영상 해상도 : 640x640, 1920x1080
- 테스트 데이터 : 319장(울산 ACE&E)
- 테스트 환경
◦ 울산 ACE 페인트 공장 실내 설치 게이지 15종
◦ Pan/Tilt/Skew 변형이 포함된 디지털 게이지 영상 비율 : 약 50%
◦ 디지털 게이지 숫자 중 하나라도 오인식되면 인식 오류 영상으로 분류
- 인식 성능 평가
◦ 울산 ACE 디지털 게이지 영상 인식률 : 301/319 = 94.4%
→ 오검출율 : 게이지 0%, 바늘 0%, 눈금값 5.6%(18/319)



<디지털 게이지 유형 영상 예시>

• 게이지 데이터베이스 구축 및 인식 통합 시스템 구현
- 현장 데이터 기반 증강데이터 생성(9,000장)
◦ 실제 현장 아날로그 및 디지털 게이지 영상 데이터 478장 획득
- 디지털 게이지 영역 검출 : 오픈 데이터 셋 활용
- 다양한 배경의 숫자 검출 : 현장 영상 데이터를 기반으로 증강 데이터 생성
→ 조명 변화, pan/tilt/rotation, 확대, 축소, 색상 변화 등 반영하여 게이지 영상 생성

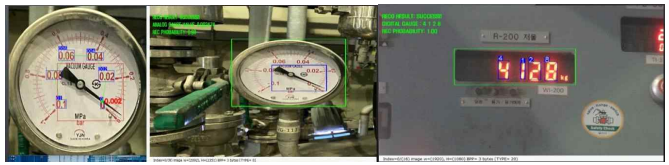
<디지털 게이지에 대한 증강데이터 영상 예시>

- 자동 어노테이션 프로그램 구현
◦ 게이지 영역 자동 검출을 통한 숫자 영역 자동 어노테이션 툴 개발



◦ YOLO 라벨링 형식으로 원본 파일과 동일한 이름의 txt 파일로 어노테이션 정보 저장

- 아날로그/디지털 통합 인식 시스템 구현
  - ◦ (개발환경) Windows 11, CUDA 11.8, NVIDIA RTX 2070 이상
  - ◦ (개발도구:IDE) Visual Studio 2019
  - ◦ (처리시간) 0.46sec/1frame (4KUHD 영상)



<아날로그/디지털 게이지 통합 인식 시스템>



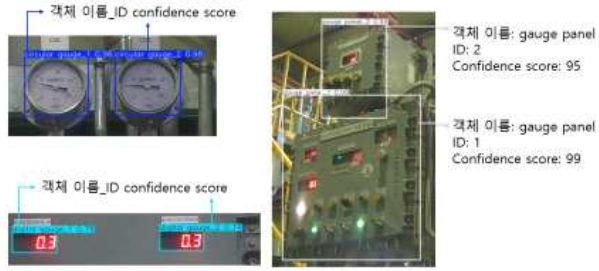

<게이지 인식 시스템/기술 구성도 그림>

**인식 지원용 정밀 데이터 수집 및 전송**

○ 로봇 기반 산업설지 영상 데이터 수집

• PTZ 영상 기반 관심 객체 인식 기능 개발 및 확대 촬영 기능 개발

- 아날로그 원형 게이지 및 디지털 게이지 검출을 위한 객체인식 모델 커스터마이즈
  - · 아날로그 원형 게이지 및 디지털 게이지 검출 학습 및 테스트 데이터 셋 구성 및 Yolo 객체 인식 모델 커스터마이즈
  - · 아날로그 원형 게이지, 디지털 게이지 패널, 디지털 게이지의 3클래스로 구성
  - · 단일 영상에서 같은 객체가 다수 검출될 때 좌측부터 객체의 고유 ID를 부여하여 객체를 구분
  - · 객체 인식 결과의 추정확률(confidence score)을 기반으로, 일정 임계값 이하의 인식 결과는 배제하여 오인식 및 오작동을 방지하는 안정화 기능 적용

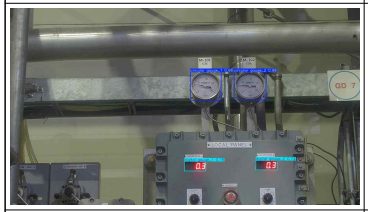
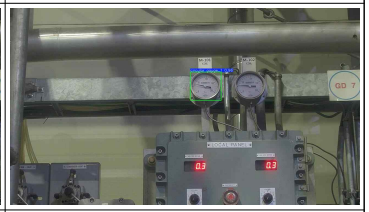



· 울산산업현장 에이엔이스에서 총 6장소(W1-W6)에서 7개의 검출 대상 게이지 선정



· 검출 대상 게이지에 대해 고유 임무 번호를 부여하고, PTZ 카메라의 초기영상에서 인식되는 여러 개의 객체 중 임무 게이지를 특정화하기 위한 정보 저장(객체 클래스, 객체 ID, 확대 촬영할 범위의 여유값). 이 값을 바탕으로 각 임무 번호가 부여된 게이지에서 임무 객체를 특정화하고 확대 촬영할 영역을 반환

· 관심 객체의 확대 촬영 영역을 PTZ카메라로 Zoom 촬영하여 고화질 게이지 영상을 이상상황 판단 서버에 전송

| W1에서 객체인식 결과 | 관심 객체의 확대 촬영 영역 도출(초록 박스) |
|---|---|
|  |  |
| W2에서 객체인식 결과 | 관심 객체의 확대 촬영 영역 도출(초록 박스) |
|  |  |
| W3에서 객체인식 결과 | 관심 객체의 확대 촬영 영역 도출(초록 박스) |
|  |  |
| W4에서 객체인식 결과 | 관심 객체의 확대 촬영 영역 도출(초록 박스) |
|  |  |
| W5에서 객체인식 결과 | 관심 객체의 확대 촬영 영역 도출(초록 박스) |
|  |  |
| W6에서 객체인식 결과 | 관심 객체의 확대 촬영 영역 도출(초록 박스) |




• 산업 유해가스 측정
  - 가스센서는 한컴유비마이크로에서 산업현장에 맞게 센서를 주문 제작하였음



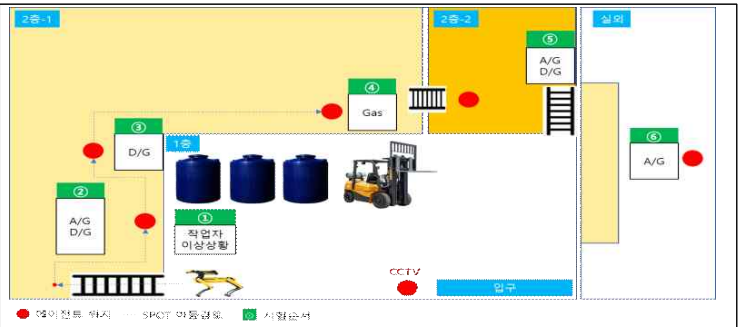
<휴대용 무선 복합가스 감지기>

  - 휴대용 무선 복합가스 감지기는 국제/유럽/국내 본질안전방폭인증을 받음
  - 측정 가스 종류로는 산소(O2), 일산화탄소(CO), 황화수소(H2S), 메탄(CH4) 4종류의 가스를 측정함
  - 게이지 측정 Waypoint마다 측정값을 서버에 보내줌
• MQTT 통신 기반 PTZ카메라 제어 서버 개발
  - 로봇과 서버의 통신이 무선인 점을 감안하여 네트워크 대역폭이 제한적인 경우에서 효율적으로 작동하는 MQTT 통신을 이용하였음.
  - PTZ카메라 제어 부분에서 MQTT 메세지는 Hearbeat에 대한 응답(pong), PTZ카메라 제어 시작(cam_start), PTZ카메라 제어완료 상태(cam_finished)등 메시지를 발행하고, Hearbeat에 대한 요청(ping), 게이지 인식 완료 메시지(gauge_result), 상태(status), 등 토픽을 수신함
  - PTZ카메라 제어 서버는 MQTT 메시지 수신으로 임무(게이지 측정)를 시작하고, 게이지 측정 결과와 검출결과를 송수신하는 MQTT 메시지 내용을 통해 임무를 종료함
  - 센서의 측정값도 sensor_status토픽으로 송수신함

| | |
|---|---|
| 산업현장 실증시험 | ㅇ 실증시험 필요성<br>• 지능로봇 기반의 산업현장 이상상황 감시 시스템의 현장 적용 가능성 평가 및 산업 안전 관리자의 의견 반영<br>• 지능로봇 기반의 산업현장 이상상황 감시 시스템의 각 서브시스템의 세부기능 확인과 서브시스템간의 원활한 연동성 확인 필요<br>• 실증시험은 실 제조현장 적용의 가능성 여부 판단과 향 후 상용화를 위한 기반으로서 울산소재 화학기업을 대상으로 시스템의 세부기능을 시험함<br><br>ㅇ 실증시험 환경<br>• 실증장소: (주)에이스앤이(울산소재)<br>• 기업특징: 2층 철구조물의 화학물질 생산공장<br>• 설치시설물: 6종의 아날로그 게이지 및 2종의 디지털 게이지<br><br>ㅇ 실증 시나리오 |

1) Zeng et al., "ModalPrompt: Towards Efficient Multimodal Continual Instruction Tuning with Dual-Modality Guided Prompt"



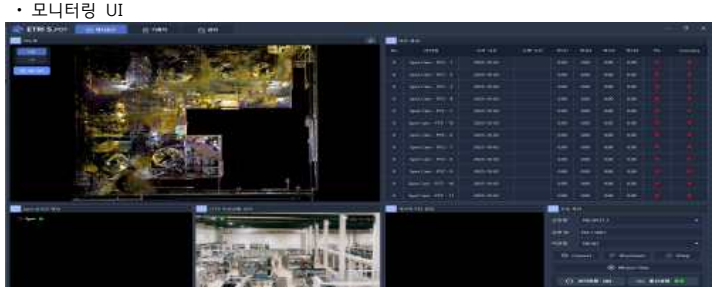



<산업현장 실증시험 구조>

• 시나리오에 따라 로봇 동선 및 6곳의 웨이포인트설정
• 각 웨이포인트에서 이상상황 감시용 데이터 취득 후 인식서버 전송
• 인식 서버에서 전송된 데이터에 대한 인식 수행 및 결과 도출
• 인식용 데이터는 인식 서버에서 오류발생시 1회 추가하여 새로운 영상 전송
• 각 동선별로 반복 시험 (총 20회 내외)
• 웨이포인트별 시험내용
  - 웨이포인트 1: 작업자 쓰러짐 등 이상상황 판단
  - 웨이포인트 2: 아날로그 및 디지털 게이지 인식
  - 웨이포인트 3: 디지털 게이지 인식
  - 웨이포인트 4: 4종의 가스검출
  - 웨이포인트 5: 아날로그 및 디지털 게이지 인식
  - 웨이포인트 6: 아날로그 게이지 인식

ㅇ 실증결과

• 모니터링 UI



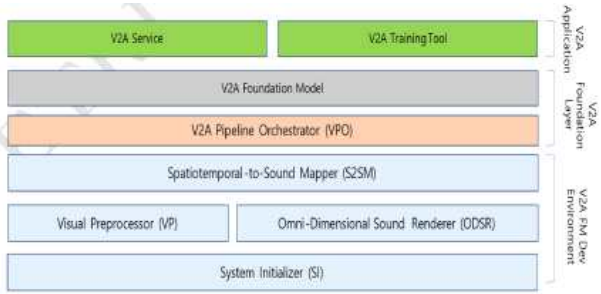
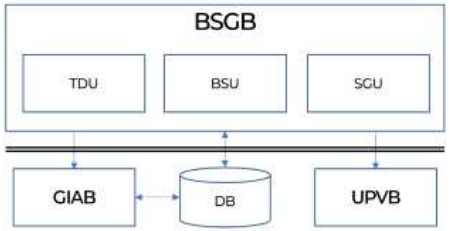
• 인식결과

| 구분 | 인식대상 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 게이지 | | 가스 | 작업자 |
| | 아날로그 | 디지털 | | |
| 성공 | 18 | 19 | 20 | 20 |
| 오류 | 2 | 1 | 0 | 0 |

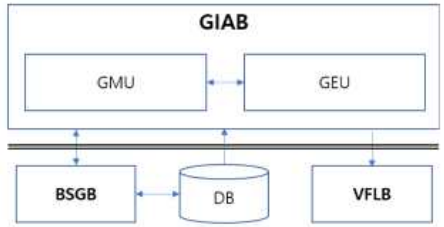
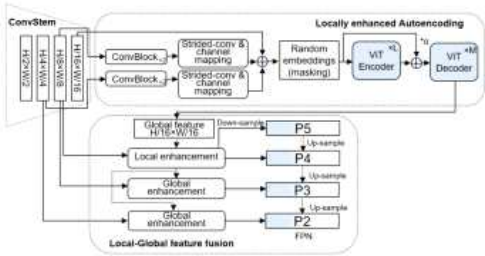
  - 게이지에서의 오류판단은 1회 운영시 4개의 게이지 인식 가운데 하나에서 발생한 인식오류도 인식되지 않은 것으로 처리

ㅇ 결과분석

• 전체 시험결과 평균적으로 95% 수준의 인식률 달성 확인
• 작업자 및 작업환경에 대해서는 100% 인식 확인
• 아날로그 게이지의 경우 빛 반사 및 촬영 오류에 기인하여 미인식 발생
• 현장 안전관리담당자에 의한 만족도 확인

| | | |
|---|---|---|
| | 시각증강 AI 기술 상세 구조 설계 | ㅇ 시각증강 AI기술 상세 구조 설계<br>• 시각정보를 뇌로 전달함에 있어, 청각을 통한 우회경로를 활용하여 상실된 시각 정보를 전달하는 V2A-SS Flex Pipeline Platform (VFP) 상세 설계<br>- 시각대체 알고리즘을 모듈 단위로 분해하고, 선언형 파이프라인으로 유연하게 조합·전환·최적화하여 사용자·환경·목적에 맞게 맞춤형 시각대체 기술 제공<br>- 설계-실행-최적화-배포의 단일 체계 지원을 위해 알고리즘을 독립 모듈로 캡슐화하고, 모듈을 선언형 파이프라인으로 연결한 후, 오케스트레이터가 런타임에서 선택·전환·스케줄링하도록 설계<br>- 연구 및 실험 시나리오에서 사용자 인터랙션과 과업 평가, 학습 등을 통해 최종 가치를 제공하는 V2A application 계층, 다양한 V2A 알고리즘을 표준 플로우로 조합한 레퍼런스 모델을 제공하는 V2A foundation 계층, 입력 영상에 대해 전처리, 매핑, 렌더링으로 이어지는 실행 경로를 제공하는 V2A FM development environment로 구성<br>  <br><VFP 구조도><br>• 시력증강 기술을 위해 박막형 피부 부착 센서를 통하여 사용자의 시선 의도와 관련이 있는 생체신호 (EOG, EEG 등)를 수집하여 사용자의 시선 의도를 분석하는 시력 의도 분석 블록으로 전달하는 생체신호 수집 블록(BSGB: Bio Signal Gathering Block) 상세 구조 설계<br>- 생체신호 수집 블록은 박막형 센서 유니트, 생체신호 수집 및 전달 기능을 수행하는 생체신호 수집 유니트, 학습에 필요한 데이터셋을 구축하는 학습 데이터 생성 유니트로 구성<br>- 박막형 센서 유니트는 안구 움직임과 관련된 안전도 수집 센서, 승모근의 근육 움직임 수집 신호 센서, 신경신호 수집 센서 등으로 구성<br>- 생체신호 수집 유니트는 수집된 생체신호에 대해 전처리를 수행하는 기능, 유·무선 인터페이스와 연동하여 생체신호를 전달하는 기능, 센서 수집 주기, 생체신호 전달 주기 등 수집과 관련된 정보를 설정하는 기능, 센서의 상태 및 오류 알림을 제공하는 기능으로 구성<br>- 학습 데이터 생성 유니트는 시선 의도 분석 모델 학습을 위한 데이터 수집 프로토콜을 정의하는 기능과 수집 데이터를 데이터베이스와 연동하여 저장 및 관리하는 기능으로 구성<br>  <br><생체신호 수집 블록 구조도><br>• 시선 의도 분석에 필요한 인공지능 모델을 생성 및 업데이트하고, 실시간으로 입력되는 사용자의 생체신호를 학습된 인공지능 모델에 입력하여 시선 의도를 추정하는 시선 의도 분석 블록(GIAB: Gaze Intent Analysis Block)은) 상세 구조 설계<br>- 시선 의도 분석 블록은 시력 의도 모델 학습 유니트와 시력 의도 추정 유니트으로 구성<br>- 시력 의도 모델 학습 유니트은 수집된 생체신호 데이터를 이용하여 시선의도를 추정하는 인공지능 모델을 학습하는 기능, 사용자별 생체신호를 이용하여 인공지능 모델을 최적화 |



| | | |
|---|---|---|
| | | 하거나 복수의 사람에 대해 추가로 수집된 데이터를 활용하여 학습된 범용 AI 모델을 업데이트하는 기능, 생체신호 데이터베이스 또는 사용자 생체신호를 수신하기 위한 인터페이스 기능, 학습된 인공지능 모델을 전달하기 위한 인터페이스 기능으로 구성<br>- 시력 의도 추정 유니트는 생체신호 종류와 수집 주기 등의 정보 전달을 위한 인터페이스 기능, 수신한 생체신호를 인공지능 모델의 입력으로 사용하여 실시간으로 사용자의 시선 의도를 추정하는 기능, 추정된 시선 의도를 외부로 전달하는 인터페이스 기능 등으로 구성<br>  <br><시선 의도 분석 블록 구조도> |
| | 단일 대체감각 기반 시각대체 알고리즘 최적화 | ㅇ 시각정보 요약을 위한 상황 분석 AI 모델 연구<br>• Vision Transformer(ViT) 기반의 MIM(Mask image modelling) 프레임워크에서 객체 수준 상세 분류 및 탐지가 가능한 학습 방법 개발<br>- ViT 기반 MIM 프레임워크는 CNN(Convolutional Neural Networks)을 통해 특징을 추출 한 후, 랜덤 마스킹한 특징 맵을 ViT 인코더 및 디코더를 통해 복원함으로써 특징 표현을 학습<br>- 기존 방법은 마스킹된 특징을 복원하는 과정에서 전역정보를 가지는 고수준 특징맵은 ViT로부터, 지역정보를 가지는 저수준 특징맵은 CNN으로부터 전달받아 활용하기 때문에 전역정보와 지역정보가 잘 정합되지 않는 문제가 있음<br>- 지역정보와 전역정보의 효과적 활용을 위해 ViT로 전달되는 특징맵을 단일 특징맵을 사용하지 않고 3개의 멀티스케일 특징맵을 융합하여 활용하고, 마스킹된 특징을 복원하는 과정에서 지역정보와 전역정보를 융합할 수 있는 방법을 제안<br>  <br><멀티스케일 특징맵을 효과적으로 활용하는 MIM 프레임워크><br>- 기존 MIM 프레임워크와 MS COCO 데이터셋에서 다양한 학습 샘플링 비율과 테스트 샘플링 비율에 대해 성능을 비교할 때 객체 검출 및 분할 성능이 향상되는 것을 확인<br>- 제안 방법의 경우 기존 방법보다 25% 더 적은 샘플로 학습하는 경우 기존 방법과 유사한 성능을 보여주었으며, 이는 더 적은 샘플 데이터를 통해 특징 표현을 효과적으로 학습함을 확인. 동일한 학습 비율로 설정하면 모든 테스트 샘플링 비율에 대해서 성능 향상을 확인<br>**Table 1.** Results ($AP^{box}$/$AP^{mask}$) of object detection and instance segmentation using Mask R-CNN on the MS COCO dataset with various random sampling ratios for training and inference.<br>Model / Training sampling ratio / Epochs / Inference sampling ratio (50% / 75% / 100%)<br>MIMDet-Base [1] / 50% / 36 / 49.5 / 44.3 / 51.0 / 45.2 / 51.5 / 46.0<br>Ours / 50% / 36 / 51.1 / 45.6 / 51.9 / 46.2 / 52.3 / 46.5<br>MIMDet-Base [1] / 75% / 36 / - / - / 51.0 / 45.6 / 51.8 / 46.3<br>Ours / 75% / 36 / - / - / 51.9 / 46.1 / 52.5 / 46.6<br>MIMDet-Base [1] / 100% / 36 / - / - / - / - / 51.8 / 46.2<br>Ours / 100% / 36 / - / - / - / - / 52.0 / 46.3 |

<기존 MIM 모델과의 객체 검출 및 분할 성능 비교>

- ViT 백본을 사용하는 기존 방법들과 MS COCO 데이터셋에서 성능을 비교하였을 때, 기존 방법보다 객체 검출 및 분할에서 모두 성능이 향상됨을 확인

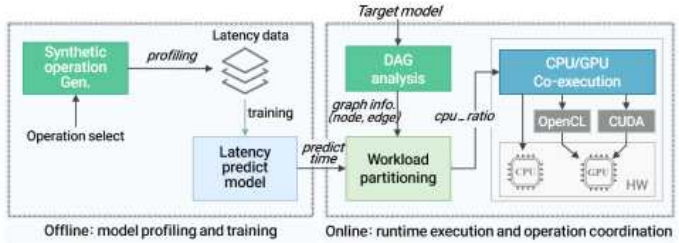
**Table 3.** Comparisons of SOTA methods based on plain ViT backbone using Mask R-CNN on the MS COCO dataset.

| Method | Pretraining | Fine-tuning epochs | ViT-B box | ViT-B mask | ViT-L box | ViT-L mask |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ViT-Adapter [19] | IN-1K, sup | 36 | 49.6 | 43.6 | - | - |
| ViT-Adapter [19] | IN-21K, sup | 36 | - | - | 52.1 | 46.0 |
| Benchmarking ViT [12] | IN-1K, MAE | 100 | 50.3 | 44.9 | 53.3 | 47.2 |
| ViTDet [11] | IN-1K, MAE | 100 | 51.2 | 45.5 | 54.6 | 48.2 |
| MIMDet [1] | IN-1K, MAE | 36 | 51.7 | 46.1 | 54.3 | 48.2 |
| Ours | IN-1K, MAE | 36 | 52.3 | 46.5 | 54.7 | 48.6 |

<ViT 기존 방법과의 성능 비교>

○ 임베디드 플랫폼에서 고정 프로세스 분할 기반 가속화 방법 연구 **[김무섭 책.연]**

• DAG 기반 이기종 디바이스 분배 알고리즘 및 동적 스케줄링 프레임워크 개발
  - 딥러닝 모델의 연산 간 종속성을 DAG(Directed Acyclic Graph)로 변환하고, 임베디드 디바이스(CPU/GPU)에 그래프의 노드 단위로 연산을 동적으로 할당하는 알고리즘 개발
  - DAG기반 이기종 디바이스 분배 및 동적 스케줄링 알고리즘을 적용한 이기종 플랫폼용 AI 추론 프레임워크 개발




<이기종 플랫폼용 AI 추론 프레임워크>

**Algorithm 1** Create DAG from Target Model

**Input:** Trained model $M$
**Output:** DAG $G = (V, E)$

Obtain computation graph $T$ by tracing model $M$
Initialize node set $V \leftarrow \emptyset$, edge set $E \leftarrow \emptyset$
**for** each node $v \in T$ **do**
  Add node $v_{\text{name}}$ to $V$
  **for** each input $a \in v$.args **do**
    **if** $a \in T$ **then**
      Add edge $(a_{\text{name}}, v_{\text{name}})$ to $E$
    **end if**
  **end for**
**end for**
**return** $G = (V, E)$

**Algorithm 2** DAG-Based Hybrid Execution

**Input:** DAG $G = (V, E)$; latency predictor `Predict(v)` for $v \in V$; tensor size threshold $T_s$
**Output:** Execution results $R[v]$ for all $v \in V$

Initialize $R \leftarrow \emptyset$, $P \leftarrow V$
**while** $P \neq \emptyset$ **do**
  ready_nodes $\leftarrow \{v \in P \mid \forall u \in \text{pred}(v),\ u \in R\}$
  **for** each $v \in$ ready_nodes **do**
    $(tc, tg) \leftarrow$ `Predict(v)`
    **if** size$(T_v) < T_s$ **then**
      $D \leftarrow$ 'cpu' if $tc < tg$ else 'cuda'
      $R[v] \leftarrow$ `execute`$(T_v, D)$
    **else**
      $r \leftarrow tg/(tc + tg)$
      $(T_{\text{cpu}}, T_{\text{gpu}}) \leftarrow$ `split`$(T_v, r)$
      $\text{res}_{\text{cpu}} \leftarrow$ `execute`$(T_{\text{cpu}}$, 'cpu')
      $\text{res}_{\text{gpu}} \leftarrow$ `execute`$(T_{\text{gpu}}$, 'cuda')
      $R[v] \leftarrow$ `concat`$(\text{res}_{\text{cpu}}, \text{res}_{\text{gpu}})$
    **end if**
    $P \leftarrow P \setminus \{v\}$
  **end for**
**end while**
**return** $R$

<DAG 생성 알고리즘 및 DAG 기반 연산의 동적할당 알고리즘>

• 경량화된 Latency 예측기 및 동적 Runtime 보정 모듈 설계
  - 입력 텐서의 특성(feature vector)과 디바이스 정보에 기반하여 연산의 latency를 사전에 예측하는 임베디드용 경량 예측기 설계 → accuracy와 메모리 사용량 결과 XGBoost 모델이 가장 적합
  - 시스템 실행 중 측정된 latency와 예측값의 오차를 반영하여, 실시간 스케줄링 보정이 가능한 Runtime 보정 모듈 설계 → 보정 overhead는 실험적으로 2% 미만

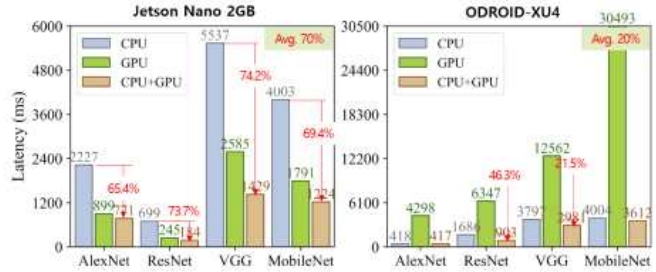


**TABLE 2** Comparison of latency prediction models for runtime scheduling.

| Model | MSE (↓) | MAE (↓) | $R^2$ (↑) | Size (kB) ↓ |
|---|---|---|---|---|
| Elastic Net | 0.22 | 0.18 | 0.14 | 1.12 |
| XGBoost | 0.08 | 0.08 | 0.69 | 0.48 |
| LightGBM | 0.10 | 0.08 | 0.64 | 0.48 |
| RF | 0.08 | 0.07 | 0.71 | 0.48 |
| MLP | 0.27 | 0.20 | 0.01 | 27.17 |
| SVR | 0.28 | 0.18 | 0.01 | 1.12 |
| DL-Regression | 0.08 | 0.08 | 0.71 | 15.86 |

<연산의 latency를 예측하는 경량 예측기 성능 비교>

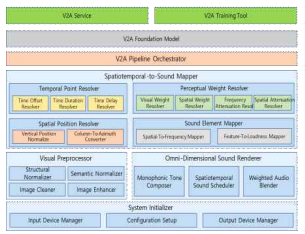
• 동적 할당 알고리즘의 실행 모드별(CPU/GPU/Hybrid) 성능 비교/분석
  - 동일 연산에 대해 CPU-only, GPU-only, Hybrid 실행 방식을 적용하고, 전체 모델 추론 시간(latency)을 플랫폼 특성이 다른 2종의 임베디드 시스템(Jetson Nano, ODROID-XU4)에 적용 후 성능 비교/분석
  - Jetson Nano에서는 Hybrid 방식이 CPU-only 방식 대비 최대 73%, 평균 70% 수준의 latency 개선 효과를 보임
  - ODROID-XU4의 경우 GPU 연동 효율이 낮아 Hybrid 방식의 latency 개선은 20% 내외로 제한되지만, 여전히 Hybrid 방식이 가장 우수한 실행 전략으로 나타남




<CNN 알고리즘에 4종에 대한 End-to-End latency 분석 결과>

○ 단일 대체감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 연구

• 다중감각 확장용 V2A-SS 유연 플랫폼 개발
  - 알고리즘을"모듈 단위로 분해"하고, 이를 "선언형 파이프라인"으로 유연하게 조합하여, 사용자·환경·목적에 맞는 맞춤형 V2A-SS를 설계·실행·운영하게 해주는 플랫폼
  - 외부 자극 신호 의미를 손실없이 표현, 요약 단계에서도 핵심 의미 유지
  - 다중 감각 융합(청각+촉각 등)로 확장할 때 핵심 코어 변경을 최소화하도록 추상화된 데이터 모델과 플러그형 인터페이스 지원
• 변환하고자 하는 정보를 선택적으로 모델링(ROI, Saliency, Feature Weight)하고, 목적·사용자·환경에 따라 변환된 신호의 가중/감쇄를 조정할 수 있는 기본 알고리즘 연구
  - 시각 전처리 결과를 반영하여 정보의 가중치를 고려할 수 있는 가중 맵 구조 연구
  - 픽셀 간 변환된 소리의 간섭을 최소화, 입체감 전달 및 시각적 중요도나 공간적 맥락을 고려할 수 있는 시각적 위치/강도에 따른 가중/감쇄를 결정할 수 있는 기본 알고리즘 연구 (Spatiotemporal-to-Sound Mapping, S2SM)



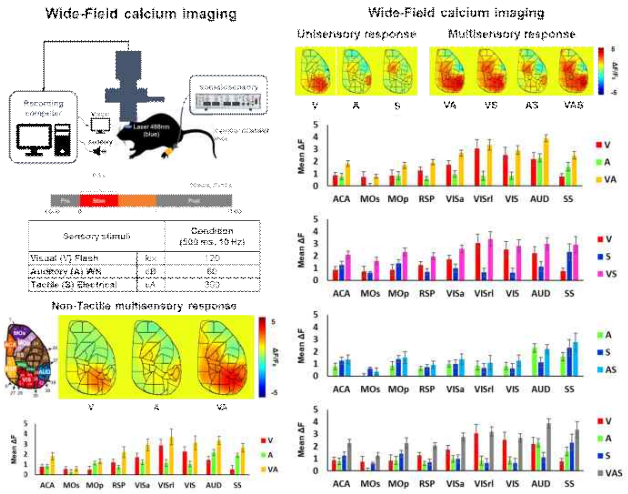

<다중감각 확장용 V2A-SS 유연 플랫폼>



<S2SM 기본 구조>

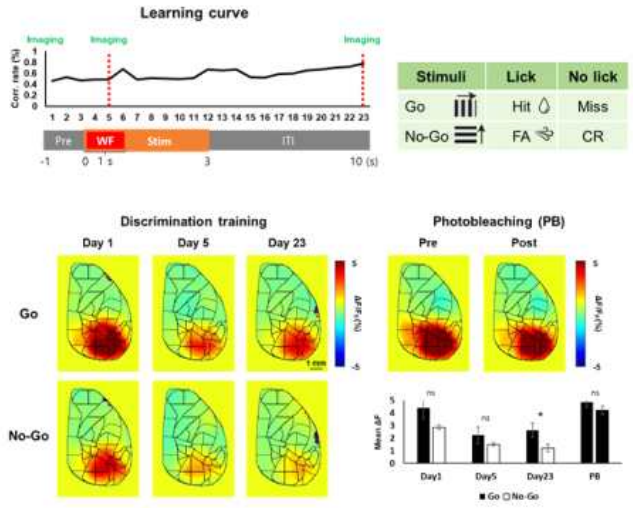
○ 감각 수용체별 신호 전달 특성 연구

• 단일·다중감각 자극에 따른 대뇌 피질 반응 특성 분석
- 시각(V)·청각(A)·촉각(S)의 단일감각 자극과 VA/VS/AS/VAS 다중감각 자극 조건에서 대뇌 피질 전반의 신경 활성도를 비교하여 감각 간 네트워크 변조를 규명
- 대부분의 다중감각 자극이 단일감각보다 높은 활성도를 보이며, 청각–촉각 영역 간 기능적 연결 가능성이 관찰
- 학습에 사용할 자극 조건의 도출을 위해 다양한 시각·청각 자극에 대한 반응성 비교
→ 시각은 Drifting grating, 청각은 5kHz, 10kHz tone이 반응이 높게 나타남




<단일·다중감각 자극에 따른 대뇌 피질 반응 결과>

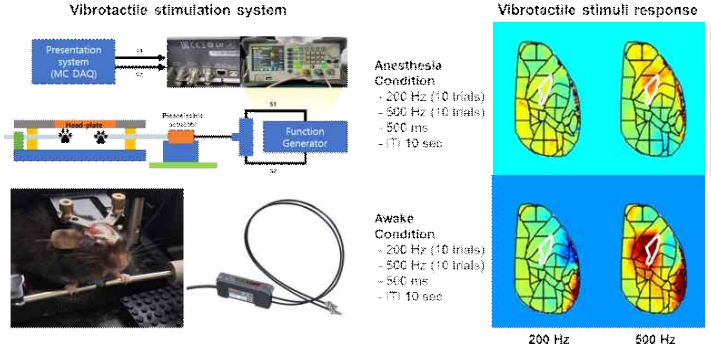
• 감각 학습에 따른 대뇌 피질 네트워크 변화 분석
- Go/No-Go 기반 시각 지각 학습 모델을 통해 학습 초·중·후의 피질 활성 변화를 추적한 결과, 학습도가 70% 이상일 때 자극 간 신경 활성 차이가 통계적으로 유의하게 나타남
- 보상과 연관되지 않는 자극 조건에서는 학습이 진행될수록 반응성은 감소함




<감각 학습에 따른 대뇌 피질 네트워크 변화>



• 촉각 기반 행동 학습 모델 및 움직임 노이즈 제거 기술 검증
- 기존 기계적 자극 기반 학습은 소음·고정자세·punishment 효과 등으로 학습 효율이 낮은 문제점 발생
- 이러한 문제의 보완을 위해 진동촉각 기반 학습 시스템을 새롭게 구축하여 안정적 행동 훈련(lick 반응) 및 피질 활성 측정이 가능함을 확인
- IR 카메라 기반 움직임 기록 및 분석 시스템(얼굴·몸 분리 촬영)을 구축하여 움직임 노이즈의 영향을 정량화
- 얼굴 움직임은 피질 활성에 영향이 거의 없고, 다리 등 큰 근육의 움직임만 일부 활성 강도에 영향을 미침 → 에너지가 큰 움직임이 포함된 trial을 제외하면 노이즈 제거가 가능함을 입증




<진동촉각 자극을 이용한 촉각 자극 학습 시스템>

o 시각-촉각 시각대체 학습 기본 모델 연구

• 대체 감각 구성에 따른 학습 모델 정의
- (V2A, V2T) 청각, 촉각 등 단일 대체 감각을 이용하여 시각 이미지를 전달하는 감각대체 모델
- (V2AT Duplication Model) 동일 시각 정보를 청각, 촉각 등을 동시에 활용하여 전달하는 감각대체 전달 중복 모델
- (V2AT Value Added Model) 시각정보 중 특징에 따라 분류된 정보를 각각의 지정된 대체 감각을 통해 전달하는 감각대체 모델



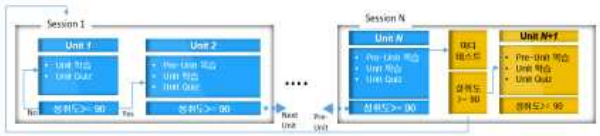
<감각대체 학습 모델>

• 점진적 학습이 가능한 계층화된 학습 단계 설계
- 형태 지각, 공간 탐색 및 대응, 대체 감각 내재화 및 실생활 활용에 필요한 지각 능력과 대응 능력 획득을 위한 학습 단계 설계
- 실생활 활용을 위한 단계적 학습 환경 확장(PC, 가상환경, 실제 환경)
- 다중 감각 통합 능력 획득을 위한 동기화 및 융합 학습 제공
-




<감각대체 학습 단계>

• 학습자 성취도 및 난이도를 고려한 감각대체 학습 구성 및 프로세스
- 개인 성취도에 따른 학습 속도 및 반복 학습 횟수 조정
- 장기 기억률 향상을 위한 주기적 반복 학습 제공 및 주기 조정
- 자극 연상, 비교, 속도 제한, 자기진단 및 피드백 등 학습 유형 다양화




<감각대체 학습 프로세스>

• 감각대체 학습을 위한 평가 지표
- 학습자 성취도 평가를 위한 핵심 및 보조 지표 정의
- 학습 성능, 실생활 활용 가능성 및 활용에 따른 인지적 문제 발생 가능성 등 학습을 위한 지표 도출

| 실험 디자인 | 주요 목적 | 핵심 Metric | 보조 Metric | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 단기 학습 | 학습 효과 확인 | - 정확도 (Accuracy)<br>- 반응 시간 | - 반응 능력<br>(0°, discrimination accuracy)<br>- NASA-TLX (Task Load Index) | 학습 속도를 빠르게 할 수 있음. |
| 장기 학습 | 학습 곡선-기속도 분석 | - 학습 곡선 (Learning Curve)<br>- 과제 성공률(Task Success) | - SUS (Usability)<br>- 자기보고식 학습효과 | 학습 곡선의 경향에서는 지점을 통해 한계와 심리 학습량 분석. |
| 인식 과제 | 지극-자연 허용 학습 평가 | - 정확도 | - 반응 속도<br>- 부관적 난이도 | 기초적 인지 학습과 실시용 가능성을 예측 |
| 행동 과제 | 실제 활용 가능성 평가 | - 과제 성공률<br>- 과제완료 시간 | - 충돌률<br>- 공포 이행 거리 | |
| 자연 회상 | 학습 지속성 평가 | - 지연된 기억률 | - 학습 성능 감소율 | 감각대체 기술이 단순 반복 기억이 아니라 지속적/일반화 가능한 학습인지 검증 |
| 전이 학습 | 새로운 맥락 적응 능력 확인 | - 전이 과제 성공률<br>- 일반화 정확도 | - 반응 속도<br>- 전략적 적응성 평가 | |
| 인지부하/사용성 평가 | 이용과제 수행능력 평가 | - 지각 정확도 및 반응시간 | | 이용 과제 수행, 실시 결활 중 감각대체 자극 인용 수준 파악 |
| | 학습 과정 효율성 측정 | - NASA-TLX<br>- SUS | - HRV, 회부전도 (생리학적 부하) | |

<감각대체 학습 평가 지표>

• 감각대체 성능 평가 실험 설계
- 기존 V2A 실험 프로토콜을 이용한 모델별 성능 비교 평가 설계
- PC 환경(2차원 이미지), 가상 또는 실제 환경 적응 평가 실험 설계
- 알고리즘 정확도, 학습자 성취도, 활용성, 심리적 안전도 및 인지 부하 평가 설계

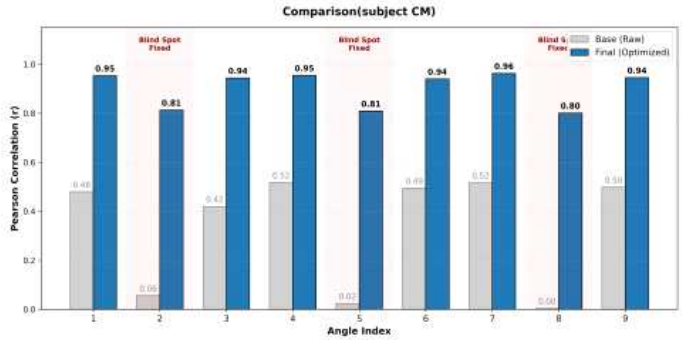
단일 생체신호 기반 시력증강 알고리즘 개발

ㅇ 시력 의도 분석을 위한 생체신호와 시력 의도간 상관관계 분석

• 초기 수집된 EOG 신호 분석(중앙대 실험 데이터를 재구성한 데이터셋 활용)
- EOG 신호와 시각적 목표 자극 간의 초기 상관관계가 낮게 측정됨 (r≈0.48)
- 센서 축에 수직인 특정 방향(각도 2, 5, 8)에서 기하학적 사각지대가 발생하여 신호 감지가 어려움
- 일반적인 High-pass 필터링 적용 시 DC 성분(시선고정) 손실로 인해 상관관계가 저하되는 현상 확인 -> 필터링이 적용되지 않은 데이터셋으로 분석 수행

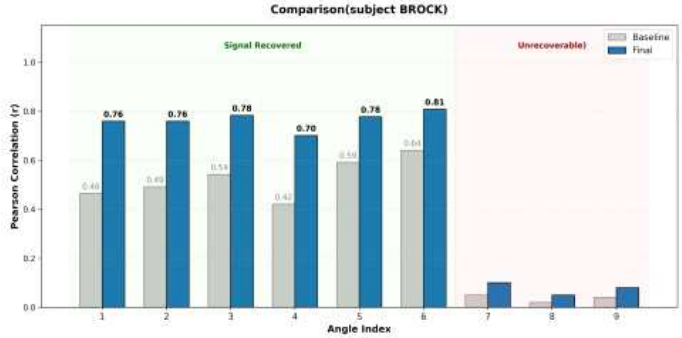
• 거리별 점 응시 태스크의 상관관계 분석
- (시간 지연 보정) 슬라이딩 윈도우 교차 상관(Cross-correlation) 알고리즘을 적용하여 생리학적 반응 지연(약 200ms) 및 위상 오차를 보정, 기준 성능을 향상(r≈0.48 → 0.78)
- (공간 필터링) 지도 선형 회귀(Supervised Linear Regression)를 통해 다중 채널의 최적 가중치를 산출, 사각지대의 미약한 신호를 복원 및 합성
- (잡음 제거) 상관계수 0.60 미만의 잡음(눈 깜빡임, 주의 산만 등) 성분 데이터를 제거
- (성능검증) 주요 각도(1, 3, 4, 6, 7, 9)에서 94% 이상의 높은 상관관계(r>0.94))와 낮은 데이터 손실률(< 6%) 달성
- (사각지대 보정) 취약 각도(2, 5, 8)의 경우 약 38%의 잡음 데이터 제거를 통해 유효 신호의 정확도(r>0.80) 확보






<테스크별(거리별 점 응시) 상관관계 분석 결과>

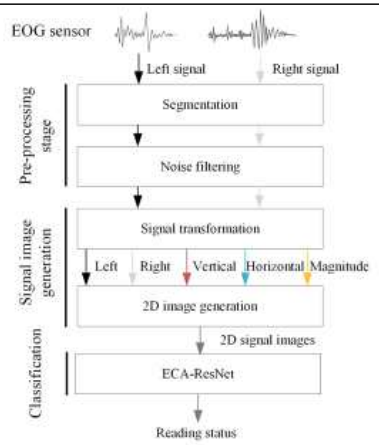
• 주시 거리 변경 태스크의 상관관계 분석
- (채널 사전테스트) 주요 수평 전극인 채널 0번과 3번이 연결 해제된 상태로 기록되는 결함 데이터 식별(표준편차≈0.06으로 잡음 수준) -> 수평 방향의 주요 신호 벡터가 소실됨에 따라, 일반적인 평균화 분석 방식 적용 시 상관관계가 0에 가깝게 나타나 데이터 활용이 불가능한 상태 확인
- (공간 최적화) 지도 선형 회귀(Supervised Linear Regression)를 적용하여 보조 센서(채널 1, 2, 4, 5)들의 신호를 조합해 목표 벡터를 합성
- (DC 성분 보존) 주요 센서 소실 시 저주파(DC) 성분이 신호 복원에 필수적임을 확인
- (성능검증) 평균 상관관계가 0.52에서 0.76 수준으로 향상




<테스크별(주시거리변경) 상관관계 분석 결과>

ㅇ 생체신호 기반 시력 조절을 위한 AI 알고리즘 연구

• EOG 신호 분석 AI 모델을 위한 선행 연구로 공개 EOG 데이터셋에 대한 AI 모델 개발
- 과제에서 개발될 플랫폼과 유사한 안경 형태의 EOG 신호 수집 센서로부터 사용자의 문서 읽기 범주 분류 데이터셋을 활용
- 공개 데이터셋은 10명의 사용자를 대상으로 이틀간 데이터를 수집하였으며, 수집된 데이터는 전처리 후 30초 단위로 구분. 전체 데이터의 샘플 수는 26,421개이며, 성능 평가는 한 명을 테스트 대상자로 선정한 후, 나머지 데이터를 모델 학습 및 검증을 수행하면서 실험 참가자 수만큼 반복하여 평균 성능을 측정
- 기존 EOG 신호 분석 AI 모델은 왼쪽과 오른쪽 센서에서 수집된 데이터, 2개 채널 정보를 활용하였지만, 제안 방법은 데이터 특성을 모두 활용하기 위하여 수직/수평/왼쪽/오른쪽 4개 채널 및 원본 EOG 신호의 크기 정보까지 활용하여 5개 채널로 확장
- 채널별 데이터를 2차원 이미지로 변환, 5개 채널로 적층하여 ResNet 모델의 입력으로 사용. 단순 ResNet이 아닌 실시간 데이터 처리에 적합한 ECA (Efficient Channel Attention) 모듈을 적용하여 성능을 개선




<EOG 신호 분류를 위한 제안 모델>

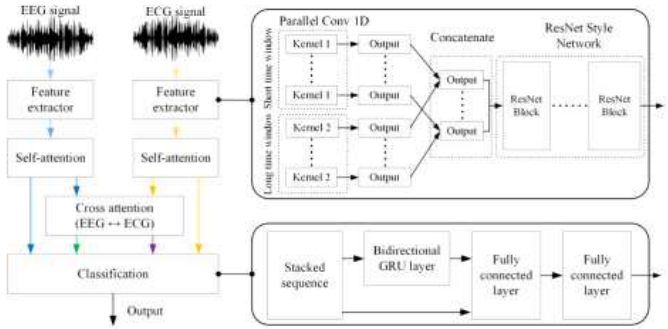
- 데이터 증강 방법을 적용하지 않았을 때 SOTA 모델과 유사한 성능을 기록, 데이터 증강 방법 적용시 기존 모델보다 5%p 성능이 향상됨을 확인

| Methods | Accuracy (%) |
|---|---|
| Statistical features with SVM [3] | 32.00 |
| Self-Supervised Learning [4] | 57.36 |
| SimCLR [13] | 60.38 |
| Supervised DL [13] | 56.42 |
| ML, DL combined approach [5] | 66.56 |
| Ours (No aug.) | 65.85 |
| Ours (w/ Mixup) | 71.42 |

<사용자의 문서 읽기 범주 분류 성능>

• 시선 분석을 위해 EEG 등 다중 생체신호를 통합하여 분석하기 위한 사전 연구로 EEG, ECG 생체 신호를 통합 분석 할 수 있는 AI 모델 개발
  - (CL-Drive 공개 데이터셋) 실험자가 시뮬레이션 환경에서 운전할 때 다양한 태스크에 대해 인지 부하를 측정한 데이터셋. 23명의 실험 참가자를 대상으로 EEG, ECG, EDA 등의 생체 신호와 시선추적 데이터 등을 수집. 사용자의 인지 부하는 2단계 또는 3단계로 구분 될 수 있음
  - CL-Drive 데이터셋 중 EEG 와 ECG를 어텐션 기반으로 통합 분석할 수 있는 AI 모델 개발
    ◦생체 신호 모달리티별 특징 추출 과정에서는 2개 이상의 다른 크기를 가지는 커널을 사용하여 생체신호의 단기, 장기 특성을 추출하고, 이 후 ResNet을 사용하여 특징을 인코딩
    ◦특징 통합 분석 모듈에서는 각 생체 신호 특징에 대한 셀프 어텐션과 생체 신호들 간의 크로스 어텐션을 적용 한 후 통합하여 분류하게 됨
    ◦사용자 인지 부하 분류 모듈에서는 Bi-GRU 와 2개의 Fully connected layer를 사용






<다중 생체신호 통합분석 네트워크 구조>

- 2가지 프로토콜에 대해서 사용자 인지 부하 2단계 분류 성능을 비교하였을 때 기존 SOTA 모델보다 성능이 향상되는 것을 확인. 특히 LOSO 프로토콜에서 기존 SOTA 모델 대비 3~11% 이상 성능이 향상 됨

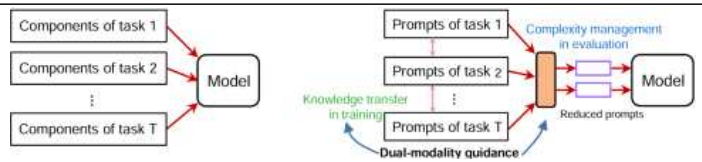
| Setup | Models | Accuracy (%) | F1-score (%) |
|---|---|---|---|
| 10-fold CV | RF [9] | 79.34 | 76.27 |
| | XGB [9] | 82.95 | 81.25 |
| | ResNet [9] | 64.49 | 62.14 |
| | UniPhyNet [9] | 79.33 | 79.24 |
| | Transformer-based [8] | 83.54 | 85.96 |
| | Ours | **85.69** | **85.70** |
| LOSO | RF [9] | 65.76 | 56.84 |
| | XGB [9] | 66.61 | 60.53 |
| | ResNet [9] | 63.99 | 56.73 |
| | UniPhyNet [9] | 73.61 | 74.06 |
| | Transformer-based [8] | 65.15 | 66.74 |
| | Ours | **76.26** | **76.55** |

<다중 생체신호 통합분석 네트워크를 이용한 분류 결과 비교>

• 주시 각도와 주시 거리 변화 분류용 시험 데이터 기반 시선의도 AI 알고리즘 개발
  - 주기 각도와 주시 거리 변화에 따른 사용자 시선 의도 인식률 분석을 위하여 6개 채널 EOG 신호 데이터를 수집
  - 수집된 데이터에 대해 1초 구간을 토근으로 생성하고, 4개의 멀티헤드, 2개의 블록으로 구성된 Transformer 인코더와 3개의 Fully connected layer로 구성된 분류 모델 설계
  - 9개의 주시 각도 분류 정확도 54.0%, 6개 범주의 주시 거리 변화 분류 정확도 52.6% 달성

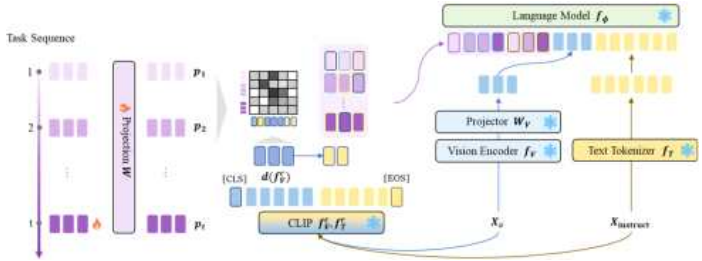
○ 데이터 변화에 적용할 수 있는 연속 학습 기법 연구

• Foundation model에 대한 연속 학습 기술 분석
  - Foundation model을 사용하여 생체신호 또는 시각데이터 분석 AI의 성능을 높일 수 있음이 최신 연구 결과로 입증되고 있으며, 새로운 데이터가 수집됨에 따라서 기존 foundation model을 재학습하지 않고 점진적으로 개선하는 기술의 개발이 중요함
  - 현재 멀티모달 연속학습(MCIT: Multimodal Continual Instruction Tuning) 기법은 대부분 언어 기반 prompt 또는 task 전용 모듈을 누적하는 방식에 의존하며 아래와 같이 크게 두 가지 문제점이 발견됨
    ◦생체신호의 핵심적인 "국소적 의미 단서"를 고려하지 않고 전역적 prompt 또는 task 수준 지식만을 저장하므로, 새로운 생체신호 데이터가 입력될 때 기존의 중요한 신호 패턴이 잊혀지는 catastrophic forgetting이 빈번히 발생함




<MCIT 기법. task 전용 모듈 누적 방식(좌), prompt 누적 방식(우)>

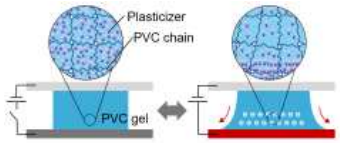
• 선별된 semantic token 기반의 task prompt를 이용한 연속 학습 기술 연구
- [step 1] 의미 기반 token 재구성 기술을 이용하여 데이터를 의미 있는 구간(semantic token), 의미 없는 구간(non-semantic token), 그리고 attention을 왜곡하는 sink 토큰으로 구분
- [step 2] 새로운 task 관련 데이터가 추가되어도 기존의 핵심 패턴을 유지하기 위해서 semantic token을 이용하여 task prompt를 생성하고 저장
- CLS guidance 방식[1]과 비교 시 ScienceQA dataset에 대한 성능 평가에서 정확도가 70.97%에서 71.23%로 향상




<Semantic token 중심의 continual learning 기법>

ㅇ 형상가변소재 기반 렌즈 구조 성형 및 초점가변 특성 연구

• 전기자극으로 변형하는 형상가변소재 제작
- 렌즈 소재로 높은 연성과 광학적 투과도를 가지는 전기활성고분자인 폴리염화비닐(Poly(vinyl chloride), PVC) 젤 (PVC 젤) 소재를 사용함. PVC 젤은 PVC 체인 내부에 가소제 분자가 침투한 구조를 가지며, 가소제의 함량에 따라 PVC 젤의 전기적, 기계적 특성을 조절할 수 있음
- PVC 젤에 전기장을 가하면 가소제 분자가 전기장 방향으로 정렬되고, PVC 체인이 양극 쪽으로 이동하면서 형상이 변화함. 이 과정에서 양극 근처에 음전하가 축적되는 전하축적 현상이 발생하며, PVC 젤과 양극 사이에 강한 정전기적 인력이 생성됨
- PVC 젤은 용매(Tetrahydrofuran)와 가소제(Dibutyl adipate)가 혼합된 용액에 PVC 분말을 용해하기 위해 상온에서 3시간 동안 450 rpm으로 교반한 후, 혼합용액을 유리 페트리 디쉬에 캐스팅하고 상온에서 3일간 용매를 증발시켜 제작함. 제작된 PVC 젤은 투명하고 유연하며 신축성을 가짐

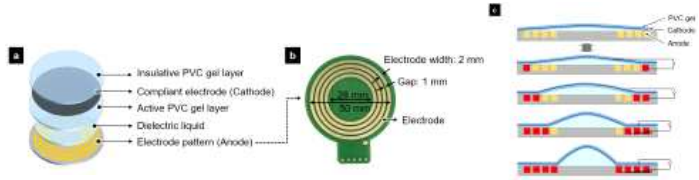



<전기자극으로 변형하는 PVC 젤>

• 전기유압식 구동원리 기반 초점가변 메커니즘 설계
- 제작한 전기유압식 초점가변렌즈는 패턴전극 PCB, PVC 젤, 유연전극 및 유전성 유체로 구성됨. 패턴전극 PCB는 개별 제어가 가능한 전극으로 구성되며, PCB의 둘레에 PVC 젤을 부착함. PCB와 PVC 젤 사이의 내부 공간은 절연성 유체로 채워짐. 두 층의 PVC 젤 사이에 유연전극을 임베딩하여 PVC 젤의 두께방향으로 전압을 인가할 수 있도록 설계
- PCB의 패턴전극은 4개의 링 모양 구리 전극이 동심원 구조로 배치된 형태로 설계. 형상을 단계적으로 조절하기 위해 전극 너비는 2 mm, 전극 간 거리는 1 mm로 설계

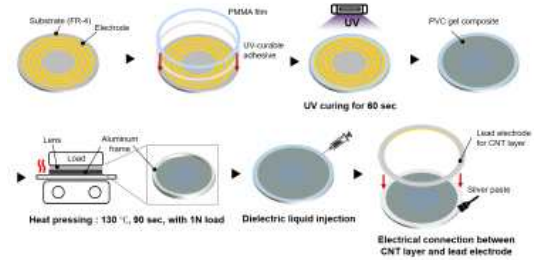


- 유연전극과 PCB의 패턴전극에 전압을 인가하면 PVC 젤이 전압이 인가된 패턴전극으로 달라붙는 정전기적 지핑(Electrostatic zipping)이 발생. PCB의 패턴전극에 독립적으로 전압을 인가할 수 있어 정전기적 지핑이 발생하는 영역을 국부적으로 제어 가능함
- 최외곽 전극에 전압을 가하면 해당 부분에서 정전기적 지핑이 일어나며 내부의 절연성 유체가 중앙으로 이동하여 초기 상태에 비해 곡률이 증가하고 표면 형상이 볼록해짐. 중앙부 패턴전극까지 전압을 인가하면 정전기적으로 지핑된 영역이 증가하고, 더 많은 양의 유체가 중앙으로 이동하면서 표면 형상의 돌출된 높이와 곡률이 증가




<전기유압식 초점가변렌즈의 구조 및 구동원리
(a) 초점가변렌 구조도 (b) 패턴전극 구조 (c) 5단계 형상가변 메커니즘>

• 전기유압식 초점가변렌즈 제작
- 초점가변렌즈는 다음과 같은 방식으로 제작함
◦ 패턴전극 PCB는 두께 1.6 mm의 FR-4 재질 기판을 사용하였으며, 패턴전극은 구리로 제작
◦ PCB 둘레 부분에 PVC 젤을 열접착하기 위해 두께 50 $\mu$m의 PMMA(Poly(methyl methacrylate)) 필름을 부착
◦ PVC 젤은 소재의 표면특성과 모듈러스를 고려하여 PVC와 가소제(Dibutyl Adipate)의 비율을 1:2로 제작하였으며, 두께 400 $\mu$m로 제작한 후 표면에 유연전극을 코팅하고 동일한 조성비의 PVC 젤을 두께 200 $\mu$m로 캐스팅
◦ 제작한 PVC 젤-유연전극 복합체는 PCB 둘레에 부착된 PMMA 필름에 열접착을 통해 부착. 절연성 유체로는 실리콘오일과 가소제 혼합 용액을 사용하였으며, 유체량은 시뮬레이션을 통해 0.6 ml로 결정




<초점가변렌즈 제작방법>

- 제작한 초점가변렌즈는 직경 53 mm, 두께 3 mm, 무게 14 g으로 얇고 가벼운 형태로 제작되어, 시력 교정용 안경 등 웨어러블 디바이스에 적용할 수 있을 것으로 기대됨




b

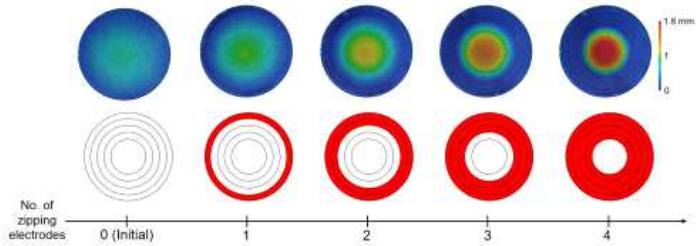
| | |
|---|---|
| Dimension | Diameter 53 mm, Thickness 3 mm |
| Weight | 14 g |
| Active PVC gel layer | PVC:DBA = 1:2 (w/w), (~400 $\mu$m) |
| Insulation PVC gel layer | PVC:DBA = 1:2 (w/w), (~200 $\mu$m) |
| Dielectric liquid | DBA : Silicone oil = 9 : 8 (w/w), (0.6 ml) |

<(a) 제작한 초점가변렌즈의 사진 (b) 디바이스의 구조, 무게 및 재료 구성>

ㅇ 전기유압식 초점가변렌즈의 초점가변 특성 분석

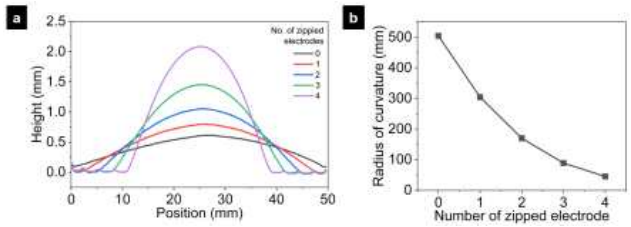
• 개발한 초점가변렌즈의 형상 가변 특성 분석
- 개발한 초점가변렌즈는 정전기적 지핑 면적을 조절하여 5단계의 형상을 구현할 수 있음. 초점가변렌즈의 입체적 형상을 측정하고 분석하기 위해 제작한 초점가변렌즈에 1.2 kV의 직류 전압을 인가한 상태에서 3차원 형상측정기로 표면 형상을 측정. 투명체의 표면 형상을 측정하기 위해 초점가변렌즈 표면에 3D 스캐닝 스프레이(입자 직경 2-3$\mu$m)를

도포한 후 측정

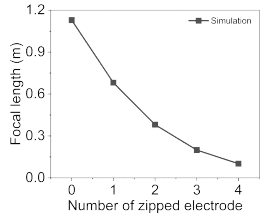



<전압 인가 영역에 따른 표면 형상 측정 결과>

- 초점가변렌즈의 단면 프로파일을 측정한 결과, 지핑된 면적이 증가함에 따라 단계별로 형상의 높이가 증가하고 곡률반경은 감소함. 렌즈 제작자 공식에 기반하여 지핑면적에 따른 초점거리 시뮬레이션을 진행한 결과, 제작한 초점가변렌즈의 초점거리는 초기상태일 때 최대 1.128 m이며, 모든 전극에 전압을 인가한 경우 최소 0.1 m까지 변화하며, 이는 약 8.9 Diopter에 해당



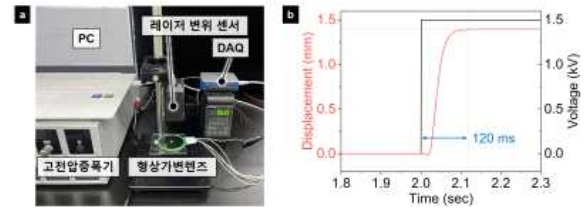

<정전기적 지핑 면적에 따른 형상 특성 측정 (a) 단면 높이 프로파일, (b) 곡률반경>




<정전기적 지핑 면적에 따른 초점거리 시뮬레이션 결과>

• 개발한 초점가변렌즈의 응답속도 평가
  - 초점가변렌즈의 응답속도 측정을 위한 실험 셋업을 구성함. DAQ가 출력한 아날로그 전압을 고전압 증폭기를 이용하여 증폭시킨 후 형상가변렌즈에 구동 전압을 인가하고, 레이저 변위 센서를 통해 초점가변렌즈의 변형량을 측정함. DAQ를 통해 레이저 변위 센서의 아날로그 전압 데이터를 수집. 초점가변렌즈 중심부에 반사테이프를 부착하고 해당 지점의 변위를 시간에 따라 측정함
  - 초점가변렌즈에 1.5 kV의 계단 전압(step voltage)을 인가하며 초점가변렌즈 중심부의 변위를 측정함. 구동 전압과 초점가변렌즈 중심부의 변위를 나타낸 그래프에서 확인한 결과, 제작한 초점가변렌즈는 전압 인가 시점으로부터 120 ms 이내에 최대 변위에 도달
  - 120 ms의 응답속도는 사람의 눈이 원근을 조절하는 데 걸리는 시간보다 빠른 수준으로, 실시간 초점 조절이 필요한 응용 분야에서 사용자가 지연을 인지하지 못할 정도의 초점가변 성능을 제공할 수 있을 것으로 기대됨






<(a) 응답속도 측정을 위한 실험 셋업, (b) 입력 전압에 따른 시간-변위 그래프>

사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발

○ 핸드 조작 스킬 데이터셋 구축

• 핸드 조작 스킬 데이터셋 수집용 프레임워크 검증
  - 시뮬레이션 로봇에 적용 및 테스트
    ◦ IsaacSim을 활용한 양팔/핸드 로봇 시뮬레이션 및 테스트 시스템 구축 완료
    ◦ Meta Quest3 기반 양팔/핸드 텔레오퍼레이션 시스템 구축 및 리플레이 테스트 완료
  - 실환경 로봇에 적용 및 테스트
    ◦ 실환경 양팔/핸드 로봇을 대상으로 텔레오퍼레이션 및 리플레이를 통한 시연 데이터셋 수집 시스템 검증 완료



<양팔/핸드 로봇의 IsaacSim 시뮬레이션 환경(좌) 구축 및 실환경 로봇 테스트(우)>

• 실환경 핸드 조작 스킬 데이터셋 수집
  - 조작 작업 수행을 위한 테스트베드 설계 및 구성
    ◦ 실환경 조작 작업 수행을 위한 6종 태스크 정의: [ 1)캔 상자 정리, 2)캔 수납 정리, 3)과자/라면 수납 정리, 4)양말 정리, 5)책 정리, 6)양손 물건 분류 ]
    ◦ 작업 테이블 및 작업대상물체 선정, 로봇 조작을 위한 로봇 초기자세 및 범위 확립
  - 다양한 물체 및 환경 변화를 바탕으로 조작 스킬 데이터셋 수집
    ◦ 작업별 200회 데이터셋 수집 완료(총 1200 에피소드)




<6종 태스크 및 작업대상물체 정의>

| 작업명 | 수집 수량 | 메타 데이터 |
|---|---|---|
| 캔 정리 | 200 episode | RGB: 640x480<br>상태: 49-dim joint state<br>행동: 49-dim joint action<br>메타 정보: sim/real, hand ver |
| 캔 수납 | 200 episode | |
| 과자/라면 수납 | 200 episode | |
| 양말 정리 | 200 episode | |
| 책 정리 | 200 episode | |
| 양손 물체 분류 | 200 episode | |
| **총합** | 1200 episode | |

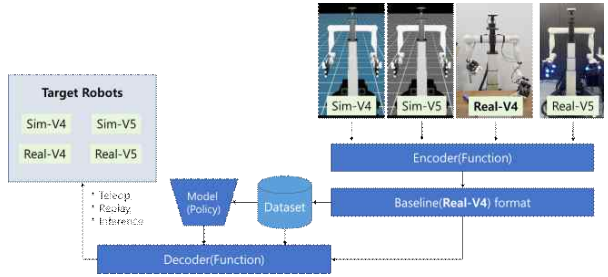
• 핸드 조작 스킬 데이터셋 검증
  - 핸드 조작 스킬 데이터셋을 활용한 스킬 학습 및 테스트
    ◦ ACT(Action Chunking Transformer) 모델을 활용한 양팔/핸드 로봇 조작 스킬 정책 모델 학습
    ◦ 6종 조작 태스크 평균 80% 성공률 달성: 10회 시도에 대한 성공횟수를 측정

| 작업명 | 캔 정리 | 캔 수납 | 과자/라면 | 양말 정리 | 책 정리 | 양손 물체 |
|---|---|---|---|---|---|---|

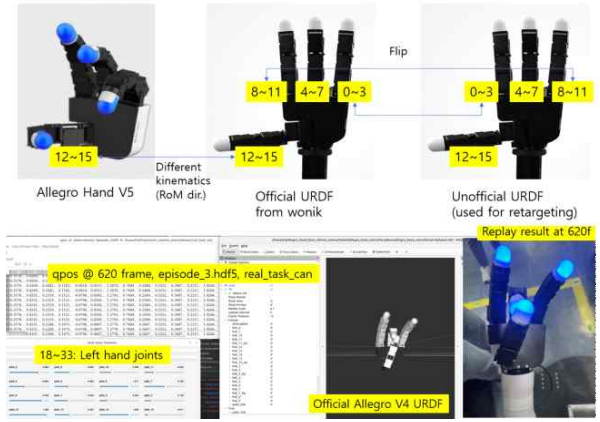
| | | | 수납 | | | 분류 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 성공률(%) | 90 | 100 | 80 | 70 | 80 | 60 |
| 평균(%) | 80 | | | | | |

ㅇ 양팔/핸드 로봇 테스트베드 및 핸드 조작 환경 고도화

• 실환경을 고려한 양팔/핸드 로봇 시뮬레이션 환경 및 하드웨어 고도화
- 로봇 전용 시뮬레이션 환경 고도화
◦ IsaacSim 구버전(4.5)에서 최신 안정화 버전(5.1.0)으로 이식 완료: USD의 action graph function 및 파라미터 등 업데이트
- 양팔/핸드 로봇 하드웨어 고도화
◦ 기존 Allegro Hand V4에서 fingertip tactile 센서와 내장 신호 라인, 향상된 모터 토크 및 안정성을 갖춘 Allegro Hand V5 장착
◦ Allegro Hand V4와의 호환성을 위한 SW 업데이트 및 교차 리플레이 테스트 완료



<최신 알레그로 핸드 V5 장착 및 버전별 상호 호환성을 고려한 시스템 아키텍쳐>



<알레그로 핸드 V4-V5 상호 호환성을 위한 기구학 매칭 및 SW 업데이트>

• 휴먼 시연 데이터 수집용 텔레오퍼레이션 시스템 고도화
- 데이터 수집 편의를 고려한 텔레오퍼레이션 시스템 고도화
◦ 유저의 조작성을 고려한 페달 클러치 기반 인간-로봇 제어 동기화 시스템 구축
◦ 시연 데이터셋의 효과적인 저장, 메모리 리셋, 탐색 및 리플레이 제어를 위한 게임 컨트롤러 시스템 구축
◦ 시각 센서 기반 핸드 제스처 인식 방법의 문제(occlusion, 정확도 등) 해결을 위한 데이터 글로브 기반 텔레오퍼레이션 시스템 구축

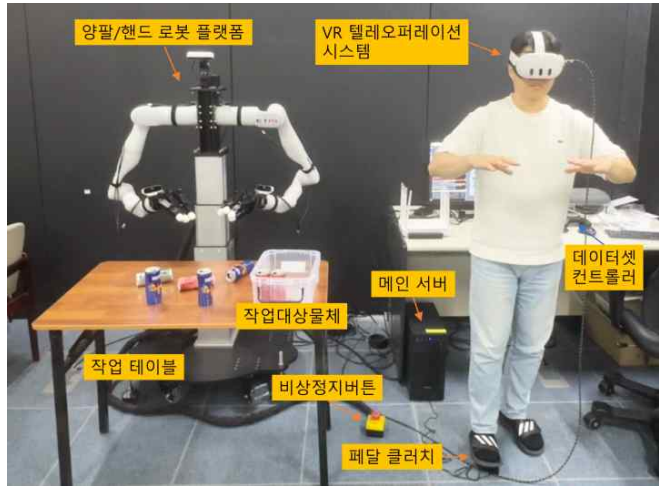



<효과적인 양팔/핸드 로봇 조작 및 데이터셋 수집을 위한 페달 클러치(좌), 데이터 조작 컨트롤러(중), 데이터 글로브 기반 핸드 제어(우) 시스템 구축>

• 로봇의 다양한 핸드 스킬 시나리오 수행이 가능한 시스템 환경 고도화
- 대상 핸드 스킬 시나리오 정의
◦ 목표 태스크별로 조작 시나리오 수행을 위한 스킬셋 정의: pick, place, push등
◦ 캔 picking(full grasp), 양팔 picking(pinch grasp), 책꽂기(push)등 태스크 별로 각기 다른 핸드 조작 스킬 수행 시나리오 정의 및 데이터셋 구축
◦ 책 정리 태스크 예시) 책 picking(full grasp) -> 책 placing(책꽂이 빈 슬롯) -> 책 pushing(빈 슬롯 완전 안착)
- 스킬 시나리오 수행이 가능한 조작 환경 구축
◦ 작업 테이블 배치 및 테이블 높이에 맞는 리프트 높이와 시야 확보를 위한 헤드 카메라 pan-tilt값 초기화
◦ 태스크별로 선정된 물체에 따라 조작 작업 수행
◦ 양팔/핸드 로봇의 텔레오퍼레이션 기반 모사학습(imitation learning) 기반 기술 및 환경 확보



<스킬 시나리오 수행이 가능한 테이블탑 환경 구축 및 스킬 추론 시연>

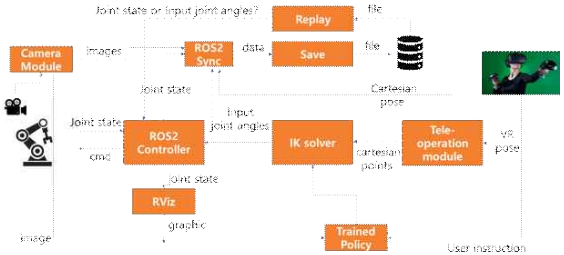


<시제품 증빙 자료: 조작지능 시험용 양팔/핸드로봇 테스트베드 운용>

ㅇ 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크 (IL/VLA 모델) 개발

• 실환경 수집 데이터셋 기반 로봇 핸드 조작 지능 모델 학습

- 한팔/그리퍼 로봇 테이블탑 및 데이터셋 수집 환경 구축
  - ◦ HTC Vive 텔레오퍼레이션 기반 한팔/그리퍼 로봇의 휴먼 시연 데이터 수집 시스템 개발 완료
  - ◦ ROS2 제어 환경 기반 로봇과 카메라 제어주기를 고려한 한팔/그리퍼 로봇 데이터 수집 SW 플랫폼 개발 완료
  - ◦ 카메라 셋업: Franka Panda 로봇, 2대의 3인칭 뷰포인트 카메라, 1대의 Wrist 카메라




<텔레오퍼레이션 기반 한팔/그리퍼 로봇의 휴먼 시연 데이터 수집 시스템 구성도>

◦ 언어이해 기반 작업 4개의 태스크 정의: Pick/Place/Open/Close
◦ Pick 물체 10종, Place 물체 5종, Open/Close 2종 서랍 등 언어명령 이해 가능
예시) Pick the black pen, Place it in the left drawer, Open the left drawer, Close the right drawer



<조작 물체 종류>

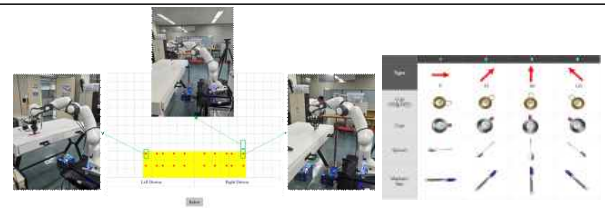
◦ 한팔/그리퍼 실로봇 Franka Panda 로봇 기반 테이블탑 조작 환경 구축 완료



<한팔/그리퍼 로봇 데이터셋 수집 환경 구축 모습>

- 한팔/그리퍼 조작스킬 학습을 위한 작업 시연 데이터셋 구축
  - ◦ 로봇의 가동범위, 초기 위치와 물체의 포즈 분포를 고르게 하기 위한 데이터 수집 프로토콜 개발 완료





<한팔/그리퍼 로봇 가동범위와 물체 포즈를 고려한 데이터 수집 프로토콜>

◦ 한팔/그리퍼 로봇의 휴먼 시연 데이터 **총 1,256 에피소드** 수집 완료

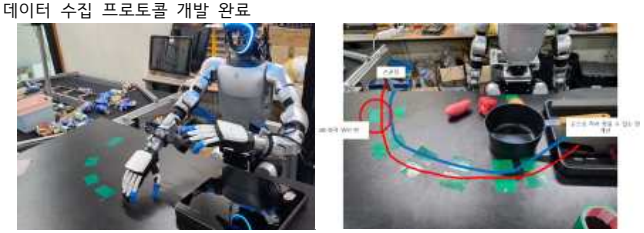
- 휴머노이드 로봇 테이블탑 및 데이터셋 수집 환경 구축
  - ◦ 애플 Vision Pro / 메타 Quest 텔레오퍼레이션 기반 휴머노이드 G1 로봇의 휴먼 시연 데이터 수집 시스템 개발 완료



<휴머노이드 G1 로봇 텔레오퍼레이션 시스템 및 휴먼 시연 모습>

◦ 공개된 Unitree G1 제어 SW 기반 로봇과 카메라 제어주기를 고려한 휴머노이드 데이터 수집 SW 플랫폼 개발 완료
◦ 휴머노이드 카메라 셋업: 헤드 Stereo 카메라 1대, Wrist 카메라 2대
◦ 휴머노이드 핸드 활용을 위한 Inspire Hand를 G1 휴머노이드에 장착
◦ 언어이해 기반 작업 4개의 태스크 정의: 과일/야채 분류, 걸레닦기, 냄비옮기기, 냄비에 야채 넣기
◦ 과일/야채 분류 물체 6종, 걸레닦기 3종, 냄비 등 언어명령 이해 가능
예시) 감자를 집어서 파란 바구니에 넣어, 책상 위의 걸레를 집어서 인덕션을 닦아, 인덕션 위의 냄비를 들어서 책상 위에 놓아, 냄비에 고구마를 넣어

- 휴머노이드 조작스킬 학습을 위한 작업 시연 데이터셋 구축
  - ◦ 휴머노이드 로봇의 가동범위, 초기 위치와 물체의 포즈 분포를 고르게 하기 위한 데이터 수집 프로토콜 개발 완료



<휴머노이드 G1 테이블탑 조작 가능 영역>



<조작 물체 위치 지정 예시(태스크1)>

◦ 휴머노이드 로봇의 휴먼 시연 데이터 **총 1,160 에피소드** 수집 완료

- 한팔/그리퍼 로봇 기반 VLA 모델 학습
  ◦ 한팔/그리퍼 로봇 데이터 학습을 위한 LeRobot 데이터셋 변환 SW 개발 완료
  ◦ 언어이해 멀티태스크 VLA 모델 선정 및 수집한 데이터 학습: SmolVLA, Pi0, GR00T-N1.5, DP-VLA (Dual-Process VLA)

- 휴머노이드 로봇 기반 VLA 모델 학습
  ◦ 휴머노이드 로봇 데이터 학습을 위한 LeRobot 데이터셋 변환 SW 개발 완료
  ◦ 싱글태스크 로봇 정책 모델 선정 및 수집한 데이터 학습: ACT (Action Chunking Transformer)
  ◦ 언어이해 멀티태스크 VLA 모델 선정 및 수집한 데이터 학습: SmolVLA, Pi0, GR00T-N1.5

• 실환경 양팔/핸드 로봇 조작 지능 모델 검증
- 한팔/그리퍼 로봇 평가 프로토콜 개발
  ◦ Table-Top 환경, 언어 명령 (대상 Object 종류와위치, 명령 등) 이해 필요 태스크
  ◦ 평가 프로토콜은 학습 셋에 없는 구성으로 평가 수행 (일반화 능력 측정)
  ◦ 총 40 Trials (1태스크 당 10회씩 테스트 진행): Pick Object 대상 10개의 학습셋에 없는 포즈로 지정, Place: 그릇 3종, 서랍 2종의 위치에 Place, Open/Close: 좌/우 서랍 구분
- 한팔/그리퍼 로봇(실로봇) 검증 결과
  ◦ 언어이해 태스크 4종 **평균 95% 달성** (pick/place/open/close 4개 태스크, 멀티 태스크 모델, 언어이해 모델)

| | GR00T-N1.5 | Pi0 | SmolVLA | DP-VLA |
|---|---|---|---|---|
| **Open** | 100% | 0% | 100% | 100% |
| **Close** | 80% | 0% | 100% | 100% |
| **Place** | 100% | 30% | 80% | 80% |
| **Pick up** | 90% | 0% | 30% | 100% |
| **AVG.** | 92.5% | 7.5% | 77.5% | **95%** |

  ◦ 기존 SOTA (NVIDIA GR00T-N1.5) 대비 적은 학습량으로 높은 성능 (2.5%p 차이)
  ◦ 로봇의 고부가가치화에 기여할 수 있는 경량/고속 로봇 조작 VLA모델 핵심 기반 기술 확보

- 휴머노이드 로봇 평가 프로토콜 개발
  ◦ Table-Top 환경, 언어 명령 (대상 Object 종류와위치, 명령 등) 이해 필요 태스크
  ◦ 평가 프로토콜은 학습 셋에 없는 구성으로 평가 수행 (일반화 능력 측정)
  ◦ 총 40 Trials (1태스크 당 10회씩 테스트 진행): 태스크1-과일은 파란바구니에 넣고, 야채는 빨간 바구니에 넣기 (물체 6종, 학습셋에 없는 위치), 태스크2-걸레닦기 (걸레위치, 닦을 위치가 다른 언어 명령), 태스크3-냄비들어 옮기기 (냄비포즈, 놓을 위치가 다른 언어 명령), 태스크4-냄비에 야채 넣기 (야채3종, 학습셋에 없는 냄비/야채 위치)
  ◦ Single Model은 언어 이해 능력 없음
- 휴머노이드 로봇(실로봇) 검증 결과
  ◦ 언어이해 태스크 4종 **평균 60% 달성** (과일/야채 분류, 걸레닦기, 냄비옮기기, 냄비에 야채 넣기, 멀티 태스크 모델, 언어이해 모델)

| | ACT (Single) | SmolVLA (Multi) | Pi0 (Multi) | GR00T-N1.5 (Multi) |
|---|---|---|---|---|
| **Task1** | 0% | 0% | 0% | 60% |
| **Task2** | 90% | 50% | 0% | 80% |
| **Task3** | 100% | 20% | 0% | 60% |
| **Task4** | 60% | 0% | 10% | 40% |
| **AVG.** | 62.5% | 17.5% | 2.5% | **60%** |

  ◦ 고자유도(26-DoF) 양팔/핸드 휴머노이드 조작을 안정적으로 수행할 수 있는 핵심 기반 기술 확보

| | | |
|---|---|---|
| 비피앤솔루션 | 블록체인 기반 데이터 거래 플랫폼 안정화 및 | ○ 안정화 작업 |



| | | |
|---|---|---|
| (공동1) | 실증 | • 실증을 위한 플랫폼 개별 모듈 안정화 및 통합<br>- 전년도 테스트 결과를 통한 요구사항 반영 및 오류 수정 적용 개발<br>  <br>제조데이터 거래보호플랫폼<br>< 요구사항 반영 및 오류 수정사항 적용 관리 ><br>- DID 기반 사용자 인증 모듈 안정화를 위해 회원가입 인증 처리 및 회원가입 적용을 위한 버전 업그레이드 진행 (기존 리엑트네이티브 1.6에서 리엑트 네이티브 1.7버전으로 변경)<br>- VC 발급 및 앱 내 블록체인 지갑 연동 모듈 안정화 개발을 위해 지갑 내 개별 모듈의 업그레이드 및 최적화를 통한 안정화 작업 수행<br>- VC 발급 및 앱 내 블록체인 지갑 연동 모듈 안정화 개발 |



< 수정 내용 적용 처리 확인 >

- 토큰(FT 및 NFT) 발급 및 거래 스마트 컨트렉트 연계 모듈 안정화 개발



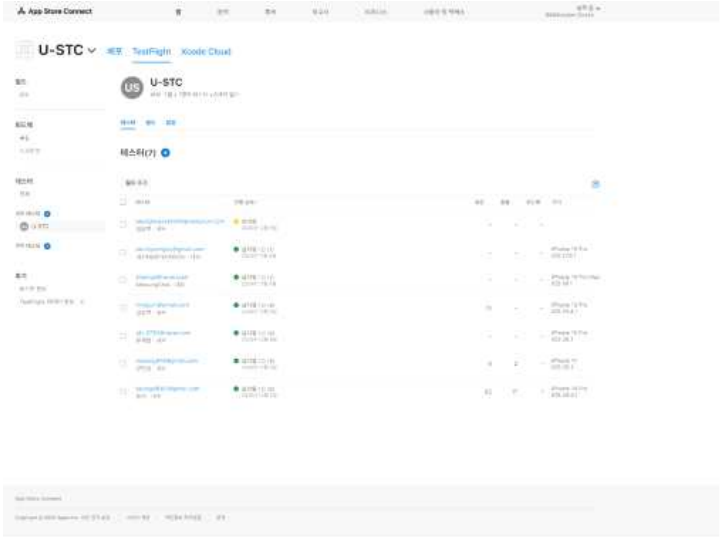
< FT 및 NFT 이벤트 체인코드 >



< FT 및 NFT 관리 코드 >

- 안드로이드 및 아이폰 적용을 통해 버전 업그레이드 진행



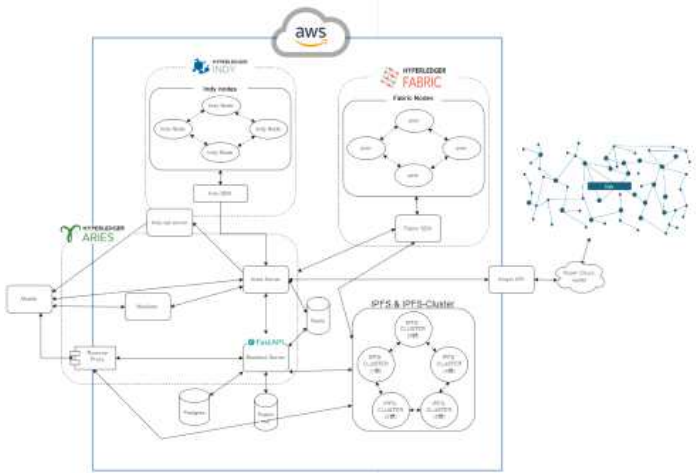



< ios 사용자 적용을 위한 시제품 애플 테스트 플라이트 배포 >




< 안드로이드 사용자 적용을 위한 시제품 구글플레이스토어 배포 >

- 계약 관리 스마트 컨트렉트 안정화를 위한 코드 수정 및 계약 정보 저장 및 계약 처리 스마트 컨트렉트 안정화 후 체인 코드 최신버전 배포 하여 블록체인 노드 내 적용
- IPFS 내에 거래 데이터 저장 및 폴더 관리 구조 안정화를 위해 저장소 인증서 부분에 대한 적용 처리 및 데이터 저장 용량 제한 및 속도 개선 적용
- public 블록체인 연계 모듈 안정화




< 외부 연동 모듈 및 시스템 구성 >

○ 실증 수행

• 제조 데이터 보호거래 플랫폼 표준화 등록

- 블록체인 기반 제조데이터 거래 플랫폼 – 2부 : 구조 및 적용 시나리오
  이 표준에서는 블록체인 제조데이터 거래 플랫폼과 데이터 공급자 및 데이터 수요자간에 제조데이터 거래계약을 수행하는 과정에서 처리, 기록 및 관리하는 데이터를 정의하고, 사용자(데이터 공급자, 데이터 수요자) 및 오프체인 저장소와 제조데이터 거래 플랫폼 간의 인터페이스를 정의 함.
  이 표준에서는 회원 가입과 같이 대부분의 플랫폼 운용에 통상적으로 사용되는 기능들은 제외하고, 제조데이터 거래계약과 관련된 데이터를 다루는 모듈에 적용되는 관리 데이터 및 인터페이스를 정의 함.

- 블록체인 기반 제조데이터 거래 플랫폼 – 3부 : 계약관리 데이터 및 인터페이스
  이 표준의 목적은 제조데이터 거래를 위한 계약체결과정과 계약사항 등을 블록체인에 기록하고 저장하여 관리함으로써 거래계약에 대한 투명성, 추적성, 불가역성 등을 확보할 수 있는 제조데이터 거래 플랫폼의 구조를 정의한다. 또한, 이를 적용한 제조데이터 거래플랫폼 적용 시나리오를 제공 함.



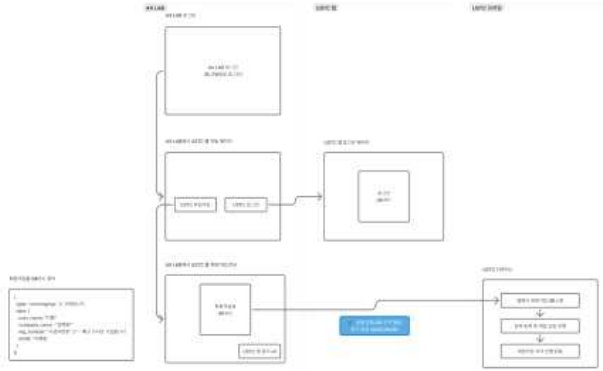



< TTAK.KO-10.1565-Part2 >




< TTAK KO-10.1565-Part3 >

• 제조 데이터 보호거래 플랫폼 실증
- 테스트 대상 : 울산 내 제조기업, 시스템 및 소프트웨어 기업
- 테스트 기간 : 3개월 이상(2025.07 ~ 2025.11)
- UIPA 연계를 통한 기업 선정 수행 및 시나리오 정리



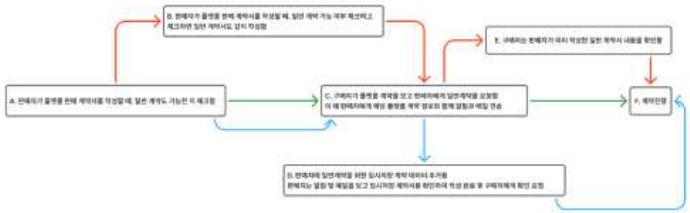
< UIPA 연계를 위한 회원가입 처리 및 로그인 처리 방식 >

- UIPA 연계를 위해 기존 UIPA의 AXLAB 가입 사용자의 경우 회원정보를 전달 할 수 있는 QR을 생성하고 생성된 QR을 인식하여 사용자 정보를 전달 받을 수 있도록 전용 app을 개발하여 배포




< UIPA 연계를 위한 회원 가입 정보 단순화 적용 >

- 거래 시 UIPA에서 등록된 데이터에 대해서 플랫폼 계약을 진행하고 계약 후 플랫폼 의 거래 데이터 목록에 표시되도록 적용. 거래 데이터 목록에 표시된 경우 기존 방식에서는 플랫폼을 통한 계약 처리로 구현하였으나 실증을 위해 외부 기업이 올린 데이터도 외부기업이 계약을 처리하고 데이터을 전달할 수 있도록 구현 진행



< UIPA 연계를 위한 계약 처리 로직 추가 >

- 거래를 위한 계약 진행 시 계약 정보에 대해서 메일과 마이페이지 내 계약 정보 확인 시 플랫폼 구매자와 UIPA 판매자의 확인을 용이하게 하기 위해 UI/UX 추가 적용 및 개발






< UIPA 연계를 위한 사용자 UI변경 및 내용 추가 >

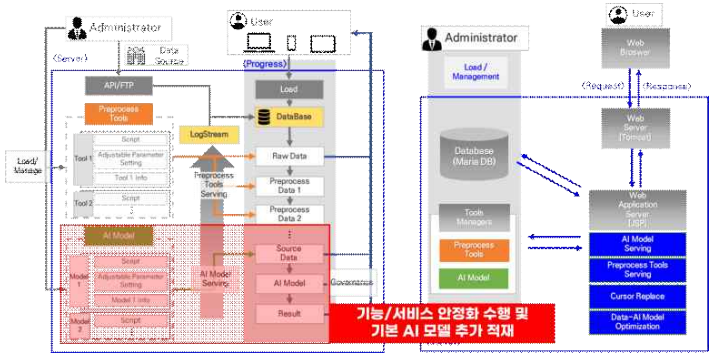
- 실증 결과 : 총 18개 기업에서 제조데이터 보호거래 플랫폼을 통해 계약을 진행하고 데이터 거래를 완료하는 과정을 최소 2회 이상 실증 진행. 실증 수행 후 시스템에 대한 사용자 의견 수렴 및 발생된 오류 확인 진행 완료. 테스트 진행 중 사용자 교육의 필요성 확인. 계약 진행 및 데이터 거래에 오류 발생 없음.
- 실증 참여 기업 : 딥아이, 마크로버, 엠아이큐브솔루션, 온브랜딩, 화이트랩, 서홍테크, 에이테크, 에스에스컴퍼니, 울산과학대 산학협력단, 노바테크, 비츠로시스, 피에이치엠솔루션즈, 예측진단기술, 에이에스티인터내셔널, 이에이엠, 이씨마이너, 울산정보산업진흥원, 비피앤솔루션 (이상 18개사)

에이테크
(공동2)

제조 협업지능
프레임워크 시제품
현장 적용 및 실증

**○ 제조 협업지능 프레임워크 시제품화 및 현장 적용 및 실증 (에이테크)**

**• 제조 협업지능 프레임워크 기능 고도화**



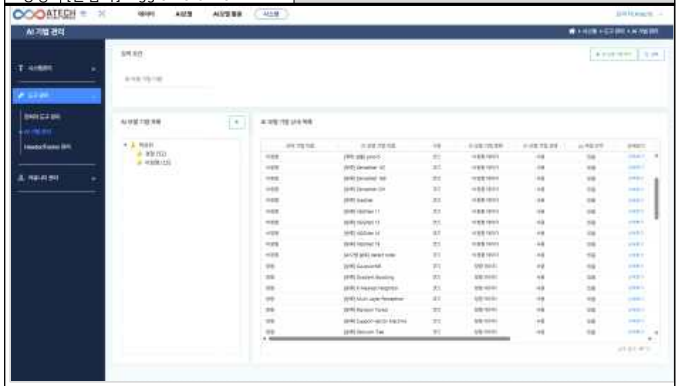

<프레임워크 전체 모식도 및 고도화 적용 계획>

- 데이터 수집·적재 관리 모듈 및 AI 학습 모듈 시스템 고도화
- 제조 협업지능 사용자 서비스 중심 E2E(End-to-End)솔루션화를 통한 고도화
- 제조 협업지능 프레임워크 정제 및 AI모델 시각화 모듈 고도화
  - AI 모델 시각화 (세션) 생성, 유지, 수정, 삭제 분기 및 **예외 처리 (exception) 분기 명확화한 고도화 로직 적용을 통한 서비스 안정화**
  - 기본 AI 모델 추가 적재를 통한 서비스 품질 고도화 **(비정형 13종, 정형 52종 모델 추가)**

<AI 모델(기법) 추가 리스트>

| 분류 | AI 모델 기법 | 분류 | AI 모델 기법 |
|---|---|---|---|
| 비정형 | [객체 검출] yolov5 | 정형 | [군집화] Birch |
| 비정형 | [객체 검출] RetinaNet | 정형 | [군집화] DBSCAN |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 비정형 | [객체 검출] Mask-RCNN | 정형 | [군집화] KMeans |
| 비정형 | [객체 검출] YoloR | 정형 | [군집화] MeanShift |
| 비정형 | [객체 검출] DenseNet 121 | 정형 | [군집화] spectralClustering |
| 비정형 | [객체 검출] DenseNet 161 | 정형 | [차원축소] FactorAnalysis |
| 비정형 | [객체 검출] DenseNet 169 | 정형 | [차원축소] KernelPCA |
| 비정형 | [객체 검출] DenseNet 201 | 정형 | [차원축소] MiniBatchSparsePCA |
| 비정형 | [분류] AlexNet | 정형 | [차원축소] Non-negative Matrix Factorization |
| 비정형 | [분류] VGGNet 11 | 정형 | [차원축소] PCA |
| 비정형 | [분류] VGGNet 13 | 정형 | [차원축소] SparsePCA |
| 비정형 | [분류] VGGNet 16 | 정형 | [차원축소] TruncatedSVD |
| 비정형 | [분류] VGGNet 19 | 정형 | [이상치탐지] Elliptic Envelope |
| 정형 | [회귀] Random Forest | 정형 | [이상치탐지] Isolation |
| 정형 | [분류] Logistic Regression | 정형 | [이상치탐지] LocalOutlierFactor |
| 정형 | [분류] DNN classification | 정형 | [이상치탐지] OneClassSVM |
| 정형 | [분류] GaussianNB | 정형 | [회귀] Bagging |
| 정형 | [분류] Gradient Boosting | 정형 | [회귀] Decision Tree |
| 정형 | [분류] K-Nearest Neighbor | 정형 | [회귀] Elasticnet |
| 정형 | [분류] Multi-Layer Perceptron | 정형 | [회귀] ExtraTrees |
| 정형 | [분류] Random Forest | 정형 | [회귀] Huber |
| 정형 | [분류] Support Vector Machine | 정형 | [회귀] K-Nearest Neighbor |
| 정형 | [분류] Decision Tree | 정형 | [회귀] Lasso |
| 정형 | [분류] Bagging | 정형 | [회귀] Linear |
| 정형 | [분류] ExtraTrees | 정형 | [회귀] Multi-Layer Perceptron |
| 정형 | [분류] PassiveAggressive | 정형 | [회귀] Poisson |
| 정형 | [분류] Perceptron | 정형 | [회귀] Quantile |
| 정형 | [분류] Ridge | 정형 | [회귀] Ransac |
| 정형 | [분류] Stacking | 정형 | [회귀] Ridge |
| 정형 | [분류] Voting | 정형 | [회귀] Support Vector Machine |
| 정형 | [연관학습] Apriori | 정형 | [회귀] TransformedTarget |
| 정형 | [회귀] Tweedie | 정형 | [연관학습] FP-growth algorithm |
| 정형 | [군집화] Agglomerative | | |



<프레임워크 내 AI 기법 관리 화면 (모델 추가 완료)>

**· 제조 협업지능 프레임워크 시제품 단계 개발 및 안정화**

- 제조 분야에 대한 검출 및 예측 정확도 검증 환경 구축 (공정, 품질, 안전)
- 제조 협업 지능 프레임워크 안정화 기술 적용을 통한 시제품화

**① 제조 분야 (장난감 재활용) 기업 장난감 소재 매칭 솔루션 내 프레임워크 적용**

◦ 이미지 데이터 전처리 및 정제 (resizing, noise 필터링)를 통한 학습용 데이터 셋 구축

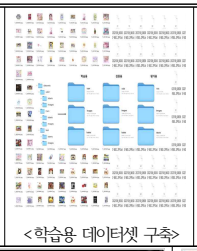
◦ 객체 탐지 모델 적용 기반 장난감 소재 매칭 AI 모델 구축 **(매칭 정확도 97% 재현 완료)**

**② (추가 요청 검증) Gauge 값 검출 모델 내 프레임워크 추가 적용**

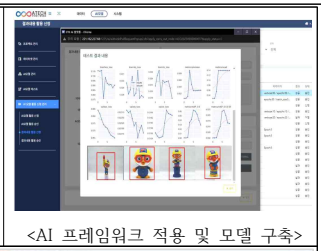
◦ 이미지 데이터 적재 및 정제 (외곽선 검출 등)를 통한 학습용 데이터 셋 구축



<데이터 전처리>



<학습용 데이터셋 구축>



<AI 프레임워크 적용 및 모델 구축>



<Gauge 이미지/라벨 데이터 적재>



<정제 및 학습용 데이터셋 구축>

◦ AI 프레임워크 활용 자사 보유 Gauge 검출 앙상블 **모델 스크립트 기반 검출 모델 구축**
(1. Gauge-Needle 검출 모델, 2. Gauge 내 숫자 인식 모델, 3. Base(중심), Min-Max(게이지 최소 최대 값), Tip(게이지 끝) 인식 모델)



<Gauge-Needle 객체 검출 모델>



<Min-Max(숫자), Base(중심), Tip(바늘 끝) 인식 모델>



<Gauge-Needle 검출 & 검출 값 인식 앙상블 모델>

**③ UIPA AXLAB 홈페이지와 로그인 통합 연계를 통한 추가 실증 진행**

◦ 실증 지원 기관 (UIPA)과 협업을 위한 **로그인 통합 연계 (SSO 리다이렉션) 기능 구현**
(*http://AI 프레임워크 도메인/auth/ssoConnect.do?token=?)

◦ AXlab 홈페이지 업체와 협업 및 로그인 **통합 연계 적용 완료**



<연계 협업 메일 (넷클로버)>

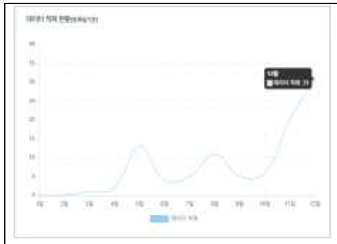



<사용자 정보 연계 컬럼>

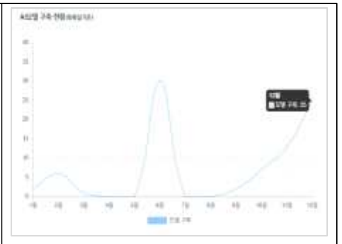



<UIPA AXLab 연계 완료>

◦ AXLab 접근 사용자 및 **UIPA 주관·관리 대상 연관 과제 (수요맞춤형, 광역연계형, 확산거점형) 수행 기업 대상 추가 실증 수행**



<(12/15 기준) 데이터 적재 현황 - 31건>



<(12/15 기준) AI모델 구축 현황 - 25건>

유진기술 (공동3)

음향 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 협동 로봇 기능 및 성능 평가 테스트베드 구축

음향 기반 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 협동 로봇 고도화 및 안정화 (인식률 90% 이상 검증)

• 발전기 고정자 웨지체결강도 검사로봇의 발전기 내부를 검사로봇의 기능 시험을 한360도 구동가능 시스템에서 운용 시험 진행(주행 및 타격)



<발전기 내부 12시 방향으로 구동 중인 고정자 웨지체결강도 검사로봇>







<발전기 내부 3, 9시 방향으로 구동 중인 고정자 웨지체결강도 검사로봇>



<발전기 내부 6시 방향으로 구동 중인 고정자 웨지체결강도 검사로봇>

• 발전기 내부 원격제어용 시스템 기능 개발 및 테스트 베드 운용

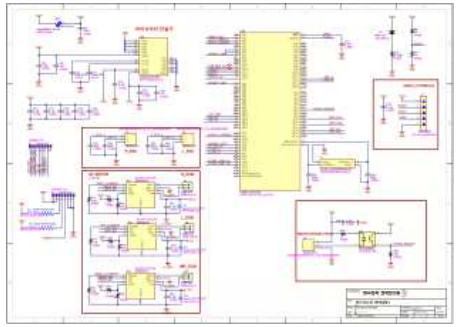


<발전기 내부와 같은 형태의 Test Bed>

• 발전기 고정자 웨지체결강도 검사 로봇의 Tele-Operation 기반 반 자율주행을 위한 제어 모듈 수정 개발(기존은 모터드라이버와 MPU(제어부)가 분리)

- 모터드라이버와 MPU(제어부가 한 개의 PCB로 구성되어 효율적으로 구동



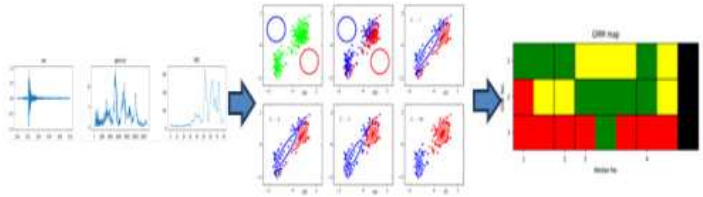


<모터드라이버와 MPU 제어 모듈이 통합된 회로도>



[거리 센서 PCB]

• 발전기 고정자 웨지체결강도 품질 검사를 위한 인식 S/W 개발
- GMM(Gaussian mixture models)군집화를 적용하여 12개의 세분화된 군집을 형성



< 전처리 및 특징변환, GMM군집화 및 분류 >

• 발전기 내부 주행 Tele-Operation 기반 반 자율 주행 이동체 시제품 개발
- 발전기 내부 원주방향 360도 주행이 가능하도록 롤러가 로봇과 수직방향으로 지지
- 배플 밑을 지날 때는 모터의 주행력으로 스프링을 이겨내어 롤러가 자동으로 접힘.



<내부 주행 Tele-Operation 기반 반 자율 주행 이동체 시제품>

- 개량된 신규 타격기 적용 : 타격 구동모터가 회전하면, 타격기의 끝단을 하단 방향으로 이동하며 압축스프링이 눌림. 회전이 멈추면 압축스프링이 인장하며 회전 타격을 진행함.




<웨지 체결강도 품질 검사용 타격기>

• 발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사용 센서 보드 및 검사용 운용 S/W 개발
- 웨지 타격 음향신호를 취득하여, 분류된 체결강도와 타경음향을 표시



<발전기 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 운용 S/W와 타격음 분류 결과표>

- 웨지 타격의 분류 인식률 측정 결과: 93.33%(목표: 90% 이상)

• 발전 현장 방문 및 기술 적용성 조사
- 서인천, 신분당 화력 발전소 웨지 형태 분석과 로봇 주행시험 진행
- 철심 간격 및 웨지 크기에 따른 검사로봇 적용 가능성 및 개선점 파악

<신분당 발전소- 2025.04>　　<서인천 발전소- 2025.09.>







에스아이에스
(공동4)

고중량 AMR 현장
실증 운영

○ **고중량 AMR 현장 실증지 선정**

• AMR 현장 실증지 선정 및 분석
- 산업 현장 지원을 위한 고중량물 이송용 AMR의 현장 실증을 위해 고중량 제품의 이송이 잦은 SIS의 TWB BLANK 제조 공정을 실증지로 선정하였음.
◦ SIS의 TWB BLANK 생산량은 월 평균 28만 장 일 평균 1.35만 장으로 레이저 용접기 5, 6, 7호기가 해당 용접 공정을 수행중임
◦ 이송 물품은 195X545mm(328kg)의 소재부터 완성품 기준 최대 1380X1070(2,870)kg 까지 다양하게 분포하고 있어 실증지로 적합하다고 판단됨.



a) PNL-CTR FLR CTR SP2 (1590kg)



b) PNL-FRT DOOR INNER Y4J (1594kg)



c) SPFC590-A (381kg)



d) SPFC590-B (328kg)

<6호기 작업물 이송 제품>

- 레이저 용접 6호기를 실증 목표 공정으로 선정하였으며 재료의 투입과 완제품의 이송 과정을 기존 지게차에서 AMR로 대체함



a) 기존 공장 배치도 및 경로



b) 실증 공장 배치도 및 경로

<실증 환경 구축 내용>



1) 입고품 피킹



2) 공정 간 이송



3) 완제품 핸드오버 (CAMR to FAMR)



4) 완제품 이송

<현장 실증 범위와 AMR의 주요 수행 작업 내용>

- AMR의 작업 중 입고품 피킹과 이송 과정 중 포크 높이 제어 정밀도 보완, 기울기 제어 기능 추가, ACS 편의성 개선의 사양 변경 요구가 발생하였으며 센서 변경 및 ACS의 개선 작업을 수행함.

○ **AMR 사양 개선**

• 현장 적용을 위한 AMR 센서 추가 및 변경

| 대상 장비 | 변경 사항 | 기존 | 변경 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| Fork 타입 | 포크 높이 제어 | 레이저 거리 센서 | 와이어 롤, 로터리 엔코더 | 높이 제어 안정성 향상 |
| | 포크 각 제어 | - | IMU 센서 | 가속도, 진동의 측정 및 제어 |



a) Fork type 높이 제어 센서 변경



b) Fork type 포크 틸팅 제어 센서 추가

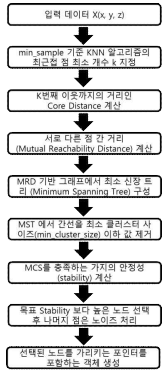
<AMR 센서 변경 사항>

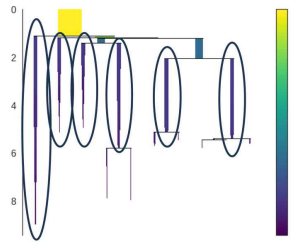
- 기존 레이저 거리 센서를 통한 Fork 높이 제어의 경우 포크의 틸팅 시 오차가 발생함
  - ◦ 이송 물품의 수평 유지를 위해 Fork의 기울기를 조절하였을 경우 반사 특성이 좋지 않아 거리 측정 정밀도가 하락하는 현상을 확인하여 이에 설계 개선을 수행함.
  - ◦ 포크 기준점과 AMR 차체의 바닥면 사이의 절대 거리를 측정할 수 있는 로터리 엔코더와 와이어 롤로 사양을 변경하였음.
  - → 기존 레이저 센서 사용 시 높이 제어 정밀도인 ±15mm를 유지하였으며 틸팅 시의 정밀도 하락을 개선함.
- 실증 목표인 TWB 공정에 사용되는 소재와 제품 Sheet는 Steel 소재의 고중량 판재로 기울어짐(롤링과 피칭)과 미끄러짐(슬립)에 매우 취약하여 낙하 우려가 주요 안전 문제점으로 인식되었으며 이에 대비한 IMU 센서를 추가하였음.
  - ◦ IMU 센서는 물품 이송의 기준이 되는 Fork에 설치하였으며 기울기와 가속도 측정을 통해 제어를 수행하여 진동이나 관성으로 인한 판재의 낙하 가능성을 최소화함.

**○ 3D Lidar-Vision matching 기술 고도화 및 ACS 개선**

• 3D Lidar-Vision matching 알고리즘 고도화

- 기존 3D Lidar-Vision matching 기술을 통한 작업 수행 시 3D-Lidar 단독 주행 대비 안전성에 큰 개선이 있었으나 카메라 사각지대에서의 접근하는 장애의의 경우 2D Vision 정보의 습득이 불가능하여 2D Vision을 통한 주행 제어를 활용하지 못하는 문제가 발생
  - ◦ 기존 3D Lidar-Vision matching 기술에서 3D Point Cloud와 2D Vision 데이터로 이중 처리하던 주행 파라미터를 Point cloud 데이터와 Vision 인식 정보를 하나로 일괄처리 하도록 개선함
- 주요 변경 사항
  - ◦ 3D Point Cloud 데이터를 2D Vision 데이터와 매칭시켜 주행 파라미터로 활용하기 위해 클러스터링하여 대표 단일 객체로 생성



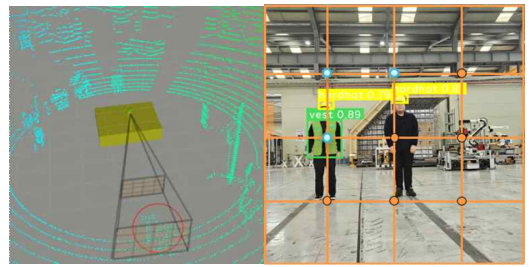

▲ 간선을 최소화한 MST 트리 (9개 후보, 6개 탐지)

<데이터 클러스터링에 사용한 HDBSCAN(Hierarchical Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) 알고리즘과 MST 트리>

- 2D Vision 데이터를 3D Point Cloud 데이터와 연동시키기 위한 3D 포지셔닝 수행.
  - ◦ 3D Point Cloud 데이터와 2D Vision 데이터의 시계열 동기화 수행.
  - ◦ 카메라 화각 정보와 설치 위치 정보를 통해 2D Vision 데이터의 픽셀 위치를 3D Point Cloud 데이터상의 각도 좌표로 변환.



◦ 변환한 각도 상의 객체에 2D Vision 데이터의 레이블 입력




<3D 포지셔닝을 통한 2D Vision 데이터의 연동>

- 2D Vision 데이터를 클러스터링 된 3D Point Cloud 데이터에 객체 정보로 저장하여 주행 명령 알고리즘 세분화 및 경로 결정 최적화를 수행함.

• ACS 개선

- 클러스터링 된 3D Lidar-Vision data를 ACS 상에 표기하여 공장 내 장애물이나 작업자를 파악할 수 있게 편의성을 개선함.
- 2D Vision의 사각에 존재하여 인식되지 않은 장애물과 인식된 장애물을 별도 표기하여 가시성을 높이고 원격 운용 시의 안전을 확보함



a) 라이다 뷰



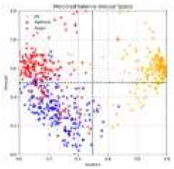
b) 적용 ACS

<3D Lidar-Vision 매칭 기술의 ACS 적용>

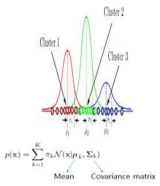
**○ AMR 현장 실증 결과**

• 운용 기간 : 2025년 9월 22일~10월 24일 총 33일 (실 운영 25일)
• 운용 시간 : 총 200시간
• 실증 환경 : SIS 생산동(평탄한 콘크리트 바닥의 실내 조건)
• 주요 발생 이슈 및 해결 내용
- 입고품이 작업 기준 지점과 지속적인 오차가 발생하여 작업 대상 소재의 피킹이 불가
  → 고중량 랙 도입 및 랙 위치별 좌표값 지정으로 통일.
- 포크 틸팅 수행 시 포크 높이 값의 노이즈 발생으로 피킹 및 적재 제어 불가
  → 와이어롤과 앱솔루트 로터리 엔코더로 거리 측정 방식을 바꾸어 안정성 향상.
• 결론 : 운용기간 동안 AMR 설계용량 초과인 일부 고중량 완제품 스택을 제외한 TWB 소재의 피킹 및 이송, 투입 과정과 완제품의 회수, 적재 과정을 원활히 수행함.
• 수평 유지가 요구되며 급선회, 급정거가 배제되어야 하는 고중량물 취급 산업 현장에서 활용하기에 적합함을 확인하였음.

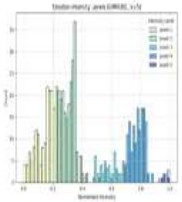
| | | |
|---|---|---|
| 부경대학교 | 감각별 감정 정보를 추출하는 AI 모델개발 | ○ 문장(Sentence)의 감정 분류 및 감정 강도 정량화 연구<br>• 러셀의 감정원형 모형과 BERT 모델을 fine-tuning 시켜 텍스트 데이터의 valence와 arousal 값을 예측하여 감정 강도를 계산하는 혼합식을 설계하고, 텍스트 데이터의 감정을 연속적 차원으로 표현하여 감정의 복잡성과 다양성을 효과적으로 표현<br>• 혼합식의 가중치는 유전 알고리즘(Genetic Algorithm)으로 최적화하고, 기존 임계값 기반 분류보다 더 유연하고 의미있는 구분이 가능한 가우시안 혼합 모델(GMM)을 활용하여 감정 강도를 5단계로 분류하였음<br><br>○고차원 얼굴 정보와 베지어 곡선 기법을 기반으로한 감정 강도 측정 알고리즘 연구<br>• 희소한 점(Point)를 이용하는 기존 랜드마크의 한계를, 베지에 곡선으로 점을 근사하여 부드러운 선(Curve)로 변환하고 이로부터 고차원 기하학적 정보(곡선의 길이(L), 곡률(k))를 특징으로 추출하여 해소 $x(t) = \sum_{i=0}^{n} \binom{n}{i} (1-t)^{n-i} t^i P_{ix}$ $L = \int_0^1 \|B'(t)\| dt = \int_0^1 \sqrt{x'(t)^2 + y'(t)^2}\, dt$ |



<텍스트 데이터에 대한 valence-arousal 러셀 공간>



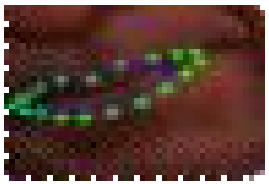

<GMM 알고리즘>



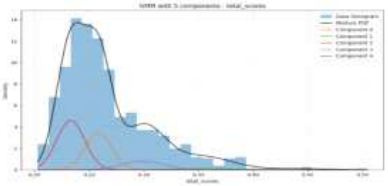
<GMM으로 분류된 5단계 감정 강도>

• 영상 첫 프레임의 '중립' 상태 값을 1로 가정하고, 모든 값을 중립 대비 '변화율'로 정규화하여 개인별 크기, 카메라 거리 등의 변수를 상쇄하여 일관된 비교 가능

• '중립상태 대비 평균 편차' 가 큰 영역(핵심영역)에 높은 감정 가중치($w_i$)를 부여하여, 별도 강도 레이블 없이 데이터 내재적 구조(분포)를 발견하여 최적 강도 레벨 정의 가능



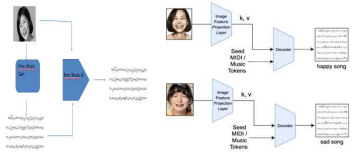
<베지에 곡선 기반 추출된 특징>



<기쁨 감정 점수 분류 결과>

ㅇTransformer 기반 감정 표현 음악 생성모델 연구

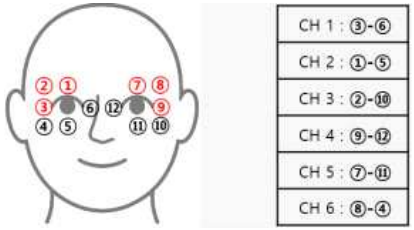
• ①얼굴 이미지의 감정을 인식하여 음악을 자동으로 생성(Emo_MusicGen 알고리즘)하고, ②생성된 음악 데이터와 이미지를 결합한 멀티모달 감정 음악 생성 시스템(Emo_music AI model)을 이용하여, 시각적 감정 특징을 음악적 표현으로 변환하는 멀티모달 기반 감정 음악 생성하는 Cross-Attention 기반 Transformer 모델 구축



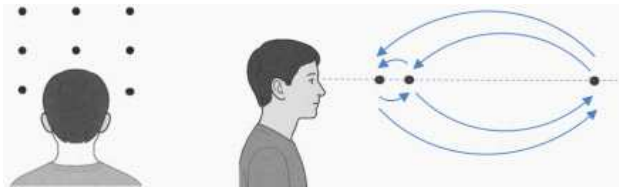

<Cross-Attention 기반 Transformer 모델>

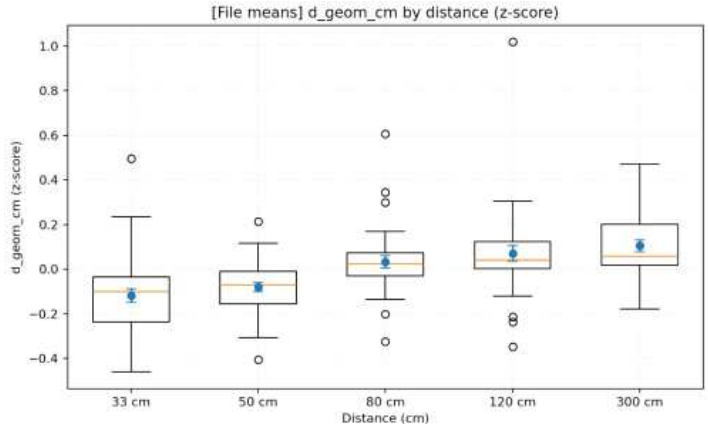


<생성된 감정 음악(피아노)>

| | | |
|---|---|---|
| 중앙대학교 (공동6) | 시력증강 기술의 사용성 평가 방법 연구 | ㅇ 사용자 시선 의도 분석을 위한 실험 프로토콜 설계<br>• EOG 데이터 수집을 위한 전극 배치 탐색<br>- 양안의 개별 움직임과 전체 움직임을 모두 포착 가능하며, 피험자의 착용 부담이 과도하지 않은 범위에서 가능한 많은 정보를 얻을 수 있는 전극 배치 방안을 채택<br>- 12개 전극을 좌안·우안 주위에 1cm 내외의 간격을 두고 배치하고 6개 채널 정의<br>  <br><br><EOG 전극 배치와 채널 정의> |



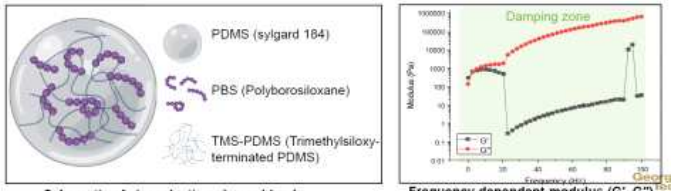
| | | |
|---|---|---|
| | | • 고정 거리 목표 응시 태스크 설계<br>- 다양한 각도와 거리에서의 시선 특성 분석을 위해 좌(-30°)·중(0°)·우(+30°) × 상(+15°)·중(0°)·하(-15°) × 33·50·80·120·300cm (3X3X5)를 조합하여 총 45개의 응시 조건을 구성. 실험 거리의 경우, 기존 연구에서 사용하는 거리 기준(33·50·300cm)에서 중간-원거리 사이 간극 문제를 해결하고자 80·120cm를 추가<br>- 피험자의 목은 고정한 채로 시선만 이동하여 타겟을 6초 동안 고정 응시함으로써 안정적인 fixation 상태에서의 EOG 데이터와 시선 데이터를 확보<br>- 2회 수행하여, 동일 조건에 대한 반복 측정 및 신뢰성 확보<br><br>• 주시 거리 변환 태스크 설계<br>- 주시 거리 이동에 따른 EOG와 시선 특성의 변화 분석을 위해서 근/중/원 거리의 시선 이동 조건을 구성 (한 세트: 근→중, 중→원, 원→중, 중→근, 근→원, 원→근)<br>- 거리 기준(33·50·300cm)과 시선 수렴 훈련용 치료 도구인 Brock String 사용<br>- 세트별 5회씩 2번 (총 10회) 반복 수행하여, 동일 조건에 대한 반복 측정 및 신뢰성 확보를 도모<br>  <br><고정 거리 목표 응시(좌)와 주시 거리 변화(우) 데이터 수집 태스크><br><br>• 파일럿 실험 수행: 본 데이터 수집 실험 이전 3명 (남 3명) 대상으로 데이터 수집 수행<br><br>ㅇ 사용자 시선 의도 분석을 위한 테스트베드 및 데이터셋 구축<br>• Pupil Labs Neon 시선 추적기 활용<br>- 양안 시선 벡터, 시선 좌표, 동공 크기, IMU, 안구 촬영 비디오, 피험자 시점 화면 기록<br>• biosignalsplux Kit 모듈 활용 (6채널 이상 확장 가능한 EOG 데이터 수집 모듈)<br>- 6채널 EOG 전극 배치를 통해 원시 EOG 신호 기록<br>• EOG 수집 모듈과 시선 추적기 모듈의 타임스탬프 동기화 방안 설계 및 구현<br>- 실험 제어용 PC를 기준으로 두 모듈에 태스크 시작·종료 및 특정 시점의 공통 이벤트를 발생시키고 두 시스템 로그에 동일 시점 마커를 기록하도록 함<br>• 총 20명 피험자 대상 데이터 수집<br>- 20-30대 17명 (남성: 7명, 여성: 10명)<br>- 40-50대 3명 (남성: 2명, 여성: 1명)<br>  <br><데이터 수집 도구와 피시험자에 부착 예><br><br>ㅇ 사용자 시선 특성 및 시선 분석 기술 연구<br>• 동공 간 거리(IPD)와 시선 수렴각(EVA)을 통해 주시 거리 추정 |




<주시 거리별 시선 수렴 각도>

• 다층 퍼셉트론(MLP) 기반 시선 거리 분류 모델 설계 및 학습
- 시선 관련 raw 데이터와 EVA, IPD 등 시선 거리 피처 21개를 입력으로 하는 MLP 분류 모델을 설계
- 정면·중간 점 응시 구간에서 거리별 200개 랜덤 샘플링으로 학습 데이터 구성
- 2 class (33cm vs 300cm): 86.06% (SD = 15.10)
- 2 class (근거리: 33·50cm / 원거리: 80·120·300cm): 72.89% (SD = 11.65)
- 3 class (33, 50, 300cm): 59.66% (SD = 18.49)
- 5 class (33, 50, 80, 120, 300cm): 33.54% (SD = 11.65)

| | | |
|---|---|---|
| Georgia Tech Research Corporation (공동7) | EOG 신호 수집 기술 연구 및 데이터셋 구축 | ㅇ 피부 부착형 EOG 신호 수집 센서 기술 개발<br>• 수집되는 EOG 신호의 품질 향상을 위한 고분자 화합물 개발<br>- 외부 움직임에 의한 잡음을 효과적으로 제거할 수 있는 점탄성(viscoelastic) 고분자 화합물 설계<br>- EOG 신호 주파수(0~10 Hz) 범위 내에서 잡음 제거 성능을 극대화 할 수 있는 최적 조성 개발 |



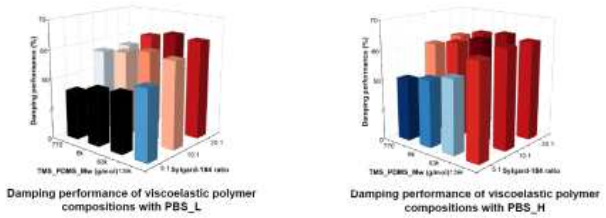

Schematic of viscoelastic polymer blends

Frequency-dependent modulus (G', G") highlighting damping behavior

<점탄성 고분자 화합물 설계>

• 점탄성 전이 구간을 빠르게 유도하는 최적 조성 도출
- PBS_L (Low Mw)과 PBS_H (Hgih Mw) 조성을 비교하여 감쇠 성능 비교
- PBS_H가 더 높은 감쇠 성능과 더 강한 점성 특성을 보여주어 PBS_H 사용



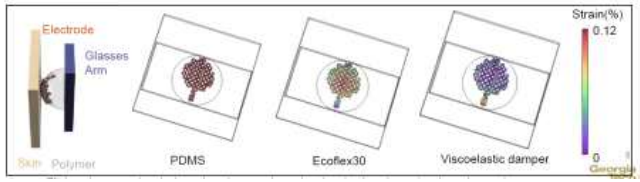


Damping performance of viscoelastic polymer compositions with PBS_L

Damping performance of viscoelastic polymer compositions with PBS_H

<점탄성 고분자 화합물의 잡음 제거 성능 비교>

- FEM(Finite element method) 시뮬레이션을 통해 PDMS 및 Ecoflex와 변형 감소율(strain-reduction) 및 댐핑 성능을 비교. 10 Hz 진동 조건에서 제안 점탄성 소재의 화합물이 변형률 최소
- PDMS 와 Ecoflex는 높은 변형율을 보여주어 댐핑에 취약

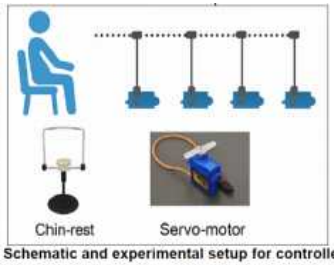



<FEM 시뮬레이션 결과>

• 실시간 EOG 신호 수집 및 모니터링을 위한 데이터 수집 시스템 개발
- 다채널 EOG 신호에 적합한 PCB를 설계하고, 블루투스를 통하여 무선으로 데이터를 전송할 수 있도록 설계
- 태블릿 기반의 신호 모니터링 시스템을 통하여 EOG 신호가 손실 없이 실시간으로 수집되는 것을 확인

ㅇ EOG 신호 분석 AI 모델을 위한 데이터셋 구축

• EOG 신호 수집을 위한 실험 프로토콜 설계
- 사용자의 움직임을 최소화 하기 위해서 사용자의 목을 고정하고, 제한된 환경에서 3개 거리(30cm, 70cm, 200cm)에서 주시할 객체가 자동으로 나타나도록 설계
- 수집된 EOG 신호는 60 Hz Notch 필터, 20 Hz Low-pass 필터, 1초 단위 Median 필터를 적용




Schematic and experimental setup for controlled EOG signal acquisition.

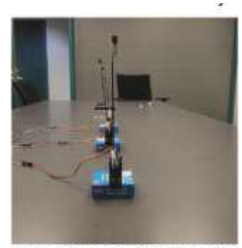
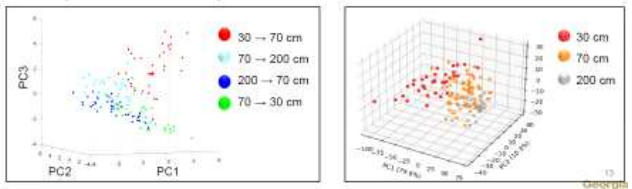
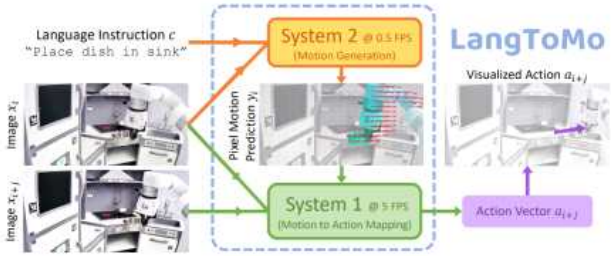
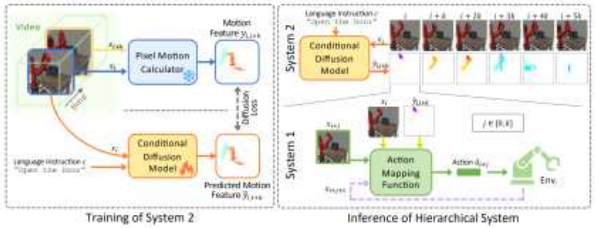


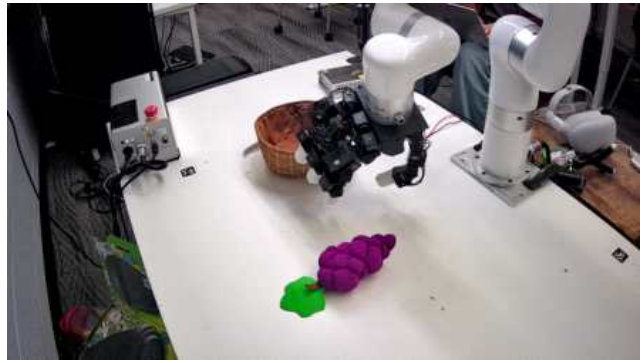
Photo of the experimental setup

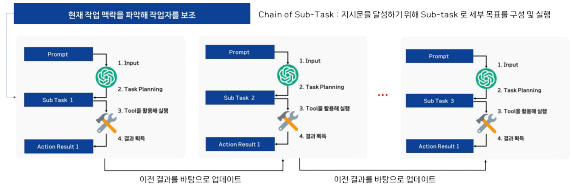
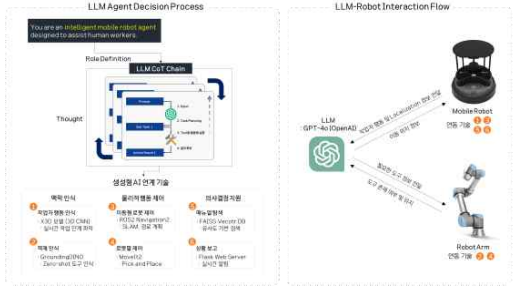
<EOG 신호 수집을 위한 실험 프로토콜>

- 사용자가 시선의 변화할 때 시선이 안정화 된 후, 전후의 1초 구간을 세그먼트로 추출
- 수집된 EOG 신호 분석 시, 거리 변화에 따른 진폭 차이가 뚜렷하여 거리 추정이 가능할 것으로 판단 됨
- 세그먼트 별 35개의 시계열 특징을 추출하여 PCA 분석을 통해 시각화 하였을 때 거리에 따른 군집이 형성되여 거리 추정이 가능함을 확인

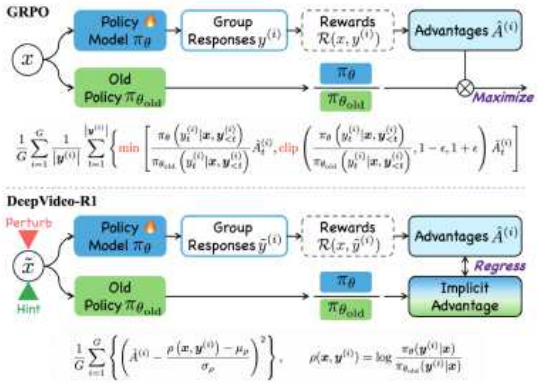
| | | |
|---|---|---|
| | |  <br>PCA mapping of EOG features during transition states showing distinct clusters for four vergence directions<br>Steady-state PCA mapping showing clear distance-dependent separation (30, 70, 200 cm).<br><기계학습 기반 EOG 시선 수렴 분류 결과> |
| Stony Brook University (공동8) | Dexterous Control Robot Transformer 설계 | ○ Dexterous Control을 위한 로봇 트랜스포머(robot transformer) 아키텍처 설계<br>• Dexterous Control 액션 출력를 위한 픽셀 모션 기반 범용 로봇 모델 설계<br>- LangToMo: 언어-시각-액션을 연결하는 이중 시스템 프레임워크<br>- 중간 표현으로 픽셀 모션 예측을 활용해 언어 지시 → 시각 인지 → 로봇 제어를 자연스럽게 연결<br>  <br><픽셀 모션 기반 범용 로봇 모델 시스템 구성도><br>• Dexterous Control 학습 데이터셋 기반 학습<br>- System2: 단일 이미지에서 텍스트 조건부 픽셀 모션 시퀀스를 생성하는 고수준 이미지-확산 모델: 모션 중심 표현은 범용적·해석 가능, 약한 감독만으로 영상에서 추출 가능 → 로봇 레이블 없이도 대규모 영상-캡션 데이터로 학습 가능<br>- System1: 로봇 Embodiment를 고려하여 예측된 픽셀 모션 → 로봇별 액션으로 변환하는 모듈<br>  <br><픽셀 모션 기반 범용 로봇 모델 아키텍처 및 학습 구성도><br>○ Dexterous Control 액션 공간(Multifinger action space) 학습<br>• Dexterous Control 로봇의 액션 공간(action space) 학습<br>- System2(픽셀 모션 생성기)는 로봇 형태에 거의 영향을 받지 않음 → 단일 팔, 양팔, 멀티 핑거 핸드 등 다양한 로봇에 그대로 재사용 가능<br>- 로봇별로 적응·재학습이 필요한 것은 System1뿐<br>• 액션 공간(Action space) 학습을 위한 다양한 loss의 연구<br>- 로봇 핸드용 Diffusion Policy 제어기 개발: 제한된 시연으로 정교한 핸드 제어 학습<br>- 학습된 모델은 핸드 조작을 위한 System1으로 유망함<br>- LangToMo구조:언어–시각–액션을 중간 표현(픽셀 모션)으로 자연스럽게 연결<br>- 범용 고수준 모션 생성기(System-2) + 로봇 형태에 맞춰 조정되는 저수준 |

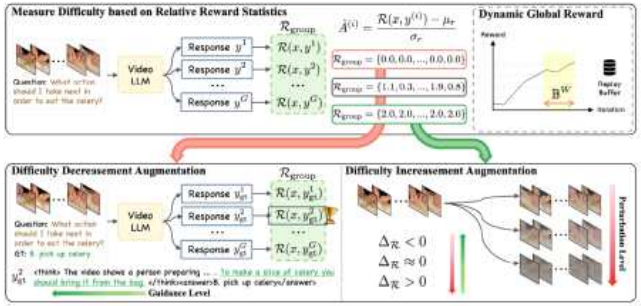


| | | |
|---|---|---|
| | | 제어기(System-1) 조합 → 다양한 로봇 형태에 확장 가능한 구조<br>- MetaWorld 실험에서 **9.0%** 성능 향상<br>  <br><LangToMo 모델의 Dexterous Control 실험> |
| UNIST (위탁1) | 제조 산업현장 내 다중 에이전트 협업을 위한 생성형 AI 연계 기술 연구 | ○ 다중 에이전트 협업 시나리오 구성<br>• 협업 시나리오 구성<br>- 3D 프린팅 제조 환경에서 이동형 로봇은 작업 현장의 안전과 작업자 행동을 인식해 현재 작업 단계를 파악하고, 관련 매뉴얼을 기반으로 필요한 도구를 추론·수령한 뒤 작업자에게 전달<br>- 제조 환경에서 이동형 로봇이 부상자를 감지하면 위치 정보가 포함된 작업 공간 지도와 현장 이미지를 관리자에게 즉시 전송해 긴급 대응을 지원함.<br>  <br><그림 1. 도구 전달 시나리오><br>• 협업 시나리오 구축<br>- 협업 시나리오에 활용된 에이전트의 하드웨어 구성은 그림 2와 같음<br>  <br><그림 2. 협업 시나리오 구성 에이전트 및 하드웨어><br>○ 생성형 AI 기반 에이전트 개발<br>• OpenAI의 ChatGPT-4o의 API 사용 |

| | | |
|---|---|---|
| | | • LLM 정의, 도구 연계, 프롬프트 설계를 통합한 프레임워크와 사고 연쇄(Chain of Thought, CoT)를 통해 생성형 AI 기반 에이전트의 구현 및 추론 능력 향상 방법을 다룸<br>  <br><br><그림 3. Chain of Thought, CoT 개요><br>  <br><br><그림 4. 전체 시나리오 프레임워크><br><br>ㅇ 생성형 AI 연계 기술 개발<br>• 작업자 행동 인식 및 객체 인식 기술<br>- X3D 기반 작업자 행동 인식 기술은 경량화된 3DCNN 구조로 이동형 로봇의 엣지 환경에서 시공간 특징을 효율적으로 학습해 작업자의 작업 단계를 실시간으로 파악<br>- GroundingDINO 기반 제로샷 객체 인식은 자연어 입력만으로 다양한 제조 도구와 부상자 상태를 추가 학습 없이 탐지해, 제조 현장의 유연한 객체 인식과 안전 대응 가능<br>• 물리적 행동 제어 기술<br>- 이동형 로봇은 ROS2 Nav2 스택과 LiDAR 기반 SLAM을 통해 작업 공간 지도를 생성하고, 위치 추정과 경로 계획·추종을 수행하여 장애물을 회피하며 목표 지점까지 자율 주행함<br>- 로봇팔의 Pick and Place는 MoveIt2 기반으로 목표 도구의 자세·좌표를 입력받아 역기구학과 충돌 회피 경로 계획을 수행하고, 그리퍼 제어를 통해 도구를 파지한 뒤 이동형 로봇에게 전달함<br><br>ㅇ 시나리오 데모 수행<br>• 작업 맥락 기반 도구 전달<br>  <br><그림 5. 시나리오 1, 로봇팔이 이동형 로봇에게 도구 전달하는 모습><br><br>• 안전사고 감지 및 보고 |



| | | |
|---|---|---|
| | |  <br><br><그림 6. 시나리오 2, 관리자에게 전달되는 사고 보고 모습> |
| KAIST<br>(위탁2) | 데이터셋 편향 해소를 위한 학습 및 데이터 증강 방법 연구 | ㅇ1인칭 멀티모달 영상에 대한 효과적인 비디오 질의응답 모델 개발<br>• 비디오 질의응답 모델이 영상과 질문을 기반으로 즉시 정답을 출력하는 방식에서 벗어나, 중간 추론(reasoning chain)을 명시적으로 생성하여 모델이 행동 흐름, 도구 사용, 사용자 의도 등의 근거를 단계적으로 추론한 후 최종 답변을 도출하는 구조를 설계<br>- 단순한 패턴 매칭 수준을 넘어 실제 작업 단계와 사건의 인과관계를 이해하는 능력을 확보<br>- 기존 모델들이 오답을 내던 상황에서도 보다 정확하고 해석 가능한 결과를 제공<br><br>• 강화학습 기반 최적화 기법인 Group Relative Preference Optimization (GRPO)를 활용<br>- 기존 GRPO가 가진 두 가지 문제인 (1) 휴리스틱(heuristic) 기반 안정화에 대한 과도한 의존, (2) 그룹 내 보상이 유사할 때 어드밴티지(advantage) 값이 소실되는 문제를 해결하기 위해 Regressive GRPO(Reg-GRPO)를 새롭게 도입<br>- 단순한 패턴 매칭 수준을 넘어 실제 작업 단계와 사건의 인과관계를 이해하는 능력 확보<br>- 좋은 응답의 확률을 높이는 대신 어드밴티지(advantage) 값을 직접 회귀 (regression)하도록 설계하여 업데이트 안정성을 확보하고 학습 신호 소실을 방지함<br>  <br><br><GRPO와 제안 Reg-GRPO><br><br>• 생성된 응답 샘플의 난이도를 평가하여 학습 데이터를 동적으로 조정하는 난이도 기반 데이터 증강(Difficulty-aware Data Augmentation)을 적용<br>- 너무 쉬운 샘플에는 입력 비디오 변형이나 잡음 추가를 통해 난이도를 높이고, 너무 어려운 샘플에는 추론 힌트를 추가함으로써 학습 다양성과 안정성을 동시에 강화 |




<난이도 기반 데이터 증강 방법>

- 정량 평가 결과, 제안된 DeepVideo-R1 모델은 최신 모델(InternVL3, Qwen2.5-VL 등)에 비해 1인칭 비디오 질문응답 성능이 크게 향상
  - DeepVideo-R1-3B 모델을 다양한 비디오 추론 및 이해 벤치마크에서 평가, 대부분의 기준에서 Qwen2.5-VL-3B 및 LLAVA-OneVision-7B, VILA-40B, Kangaroo-8B 등 기존 대형 Video-LLM 대비 우수한 성능
  - Qwen2.5-VL-7B 대비 6개 중 5개 데이터셋에서 성능 향상 달성. TempCompass에서는 29.7에서 63.1로 크게 개선된 결과를 확인
  - 다양한 영상 추론 및 이해 상황으로의 일반화 능력을 확보

Table 1: **Performance on SEED-Bench-R1 validation split.** In-Dist. means in-distribution dataset while OOD indicates out-of-distribution.

| Method | SBR-L1 (In-Dist.) Epic-Kitchens Daily life | SBR-L2 (OOD) Ego4D Daily life | SBR-L3 (OOD) Ego4D Daily life | Hobbies | Recreation | Work | Overall |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *Baseline* | | | | | | | |
| Video-LLaMA3-7B [8] | 33.33 | 33.21 | 26.65 | 28.47 | 30.60 | 26.98 | 27.71 |
| InternVL3-2B [6] | 23.71 | 23.14 | 21.18 | 16.27 | 18.58 | 12.62 | 17.11 |
| InternVL3-8B [6] | 41.41 | 40.75 | 39.18 | 34.58 | 34.97 | 29.95 | 34.75 |
| InternVL3-14B [6] | 43.61 | 45.79 | 43.96 | 34.92 | 36.61 | 31.68 | 37.17 |
| *Qwen2-VL-2B* | | | | | | | |
| Qwen2-VL-2B [52] | 12.88 | 16.35 | 12.98 | 16.27 | 10.38 | 14.36 | 13.78 |
| Qwen2-VL-2B + SFT | 34.05 | 36.23 | 36.90 | 34.58 | 29.95 | 33.88 | 33.84 |
| Qwen2-VL-2B + GRPO | 38.39 | 42.01 | 40.55 | 37.63 | 30.45 | 40.44 | 36.79 |
| **DeepVideo-R1-Qwen2-VL-2B (Ours)** | **48.88** | **50.31** | **52.39** | **42.71** | **41.09** | **49.18** | **46.33** |
| *Qwen2-VL-7B* | | | | | | | |
| Qwen2-VL-7B [52] | 34.79 | 34.02 | 31.21 | 32.30 | 33.33 | 30.69 | 31.57 |
| Qwen2-VL-7B + SFT | 43.79 | 44.10 | 38.27 | 41.02 | 32.24 | 38.61 | 38.15 |
| Qwen2-VL-7B + GRPO | 46.01 | 50.16 | 48.52 | 45.08 | 43.72 | 41.34 | 44.89 |
| **DeepVideo-R1-Qwen2-VL-7B (Ours)** | **56.39** | **59.75** | **57.63** | **52.54** | **50.00** | **55.19** | **53.82** |
| *Qwen2.5-VL-3B* | | | | | | | |
| Qwen2.5-VL-3B [5] | 31.32 | 32.70 | 33.03 | 28.81 | 27.32 | 23.02 | 28.24 |
| Qwen2.5-VL-3B + SFT | 35.90 | 39.12 | 39.86 | 31.53 | 29.70 | 31.15 | 33.69 |
| Qwen2.5-VL-3B + GRPO | 39.56 | 41.01 | 38.95 | 33.90 | 36.61 | 31.93 | 35.35 |
| **DeepVideo-R1-Qwen2.5-VL-3B (Ours)** | **48.05** | **51.07** | **46.47** | **45.76** | **43.72** | **40.10** | **43.98** |
| *Qwen2.5-VL-7B* | | | | | | | |
| Qwen2.5-VL-7B [5] | 33.41 | 38.24 | 35.08 | 31.53 | 27.32 | 27.97 | 31.04 |
| Qwen2.5-VL-7B + SFT | 42.37 | 42.64 | 41.23 | 37.29 | 36.63 | 41.53 | 38.99 |
| Qwen2.5-VL-7B + GRPO | 49.07 | 52.08 | 49.43 | 40.68 | 43.17 | 35.15 | 42.24 |
| **DeepVideo-R1-Qwen2.5-VL-7B (Ours)** | **51.95** | **55.72** | **51.25** | **47.80** | **46.99** | **44.06** | **47.69** |

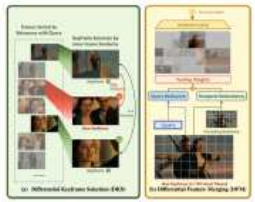
<1인칭 비디오 질문 응답 성능>

○ 효율적인 긴 비디오 이해 모델 개발

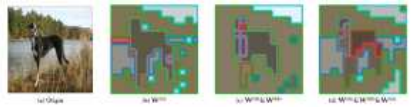
- VLLM 모델이 1시간 이상의 롱비디오를 1fps 이상의 샘플링으로 입력받더라도 처리 가능하도록 하는 방법 개발
  - 기존 연구들은 일정 길이를 초과하는 비디오가 입력으로 주어질 경우, 전체 비디오 중 극히 일부 프레임만을 임의로 선별하여 모델 입력으로 사용하는 방식을 주로 사용. 정보 손실로 인할 성능 저하 발생
  - 차등적 키프레임 선택(Differential Keyframe Selection)과 차등적 특징 병합(Differential Feature Merging)으로 구성된 2단계 토큰 병합(token reduction/merging) 방법 적용

- 기존 SOTA 모델인 LongVU를 상회하는 성능을 달성. 1시간(1 FPS 시 3,600장) 길이의 영상에서 전체 프레임의 약 10% 내외에 해당하는 64~.256장만을 사용하는 기존 연구와 달리, 본 방법은 1 FPS 전체 프레임을 입력으로 처리할 수 있음을 확인함





<차등적 키프레임 선택 및 특징 병합 예>



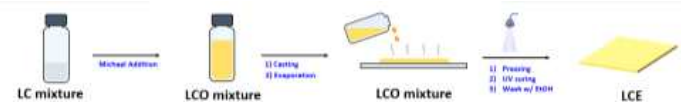
<다중 기준 토근 병향 예>

부산대학교 (위탁3)

자극 응답 가역적 형상 제어성을 가진 능동 고분자 연구

○ 외부자극에 의해 렌즈의 곡률을 제어할 수 있는 액정탄성체 개발

- 액정탄성체 합성 및 배향기술 확립
  - 액정탄성체 합성
    - 액정모노머, 사슬연장제, 가공조제, 광개시제를 이용하여 액정탄성체 필름 형태로 제작



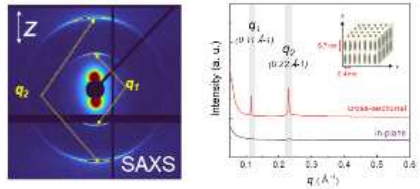

<액정탄성체 필름 제작 공정 그림>

  - 필름제작 및 형상변형
    - 수직 배향된 필름에 열을 가하면, 액정상전이 온도에서 면적이 증가하는 거동을 보이며. 냉각함에 따라 초기 형태로 돌아오는 가역적인 형상변형을 보임.



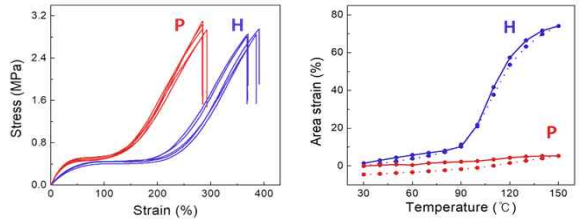

<온도 변화에 따른 면방향 구동예시>

- 액정탄성체 구조 및 물성 측정
  - X-선 산란법을 통한 액정탄성체 구조 분석
    - X-선 산란법을 통해 층상구조의 액정상을 확인하였으며 층의 두께는 5.7 nm로 확인됨.
    - 두꺼운 필름 샘플(~1 mm)을 분석한 결과 매우 균일한 수직 배향을 가짐을 확인




<액정탄성체 두께 방향 X-선 산란 데이터>

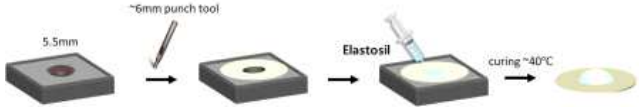
  - 액정탄성체의 기계적 물성 평가
    - 수직 배향된 액정 탄성체가 무작위 방향으로 정렬된 폴리도메인 액정탄성체에 비해 더 낮은 탄성률 값을 보임. 이는 수직 배향된 액정탄성체가 응력방향으로 더 많이 회전하면서 평탄 구간이 더 길게 나타나기 때문임. 또한, 수직 배향된 액정탄성체는 온도에 따른 약 80% 팽창 거동을 보이는 반면, 폴리도메인 액정탄성체는 온도 변화에 의한 변형이 거의 나타나지 않음.




<수직배향(H) 액정탄성체와 폴리도메인(P) 액정탄성체의 기계적물성(좌) 및 액추에이션>

ㅇ 초점가변형 렌즈 제작

- 액정탄성체 액추에이터와 렌즈의 복합화
  ◦펀치 도구를 사용하여 몰드의 지름보다 넓은 구멍을 갖는 액정탄성체 필름을 제작함. 이후 엘라스토실과 액정탄성체 필름간 접착력을 향상시키기 위해 경화된 액정탄성체 필름 위에 경화 전 상태의 엘라스토실을 직접 캐스팅한 뒤 함께 경화하는 방식을 적용함. 또한 구동 과정에서 발생하는 응력을 완화시키기 위해 렌즈 주변에 응력 완화 구조를 도입하여 안정적인 변형이 가능하도록 설계함.




<렌즈 제작 방법 예시 그림>

- 접착력 및 구동능력 평가
  ◦1 mm 펀치 도구를 이용해 구멍을 형성한 뒤, 해당 부위에 얇은 필름 형태의 엘라스토실을 채워 평면 구조의 액정탄성체-엘라스토실 복합 필름을 제작함. 편광 현미경을 이용해 구동 특성을 평가한 결과, 액정탄성체가 팽창함에 따라 엘라스토실 역시 약 72%의 변형을 보임. 이는 액정탄성체의 최대 팽창률인 약 80%에 근접한 값으로 엘라스토실이 포함된 복합 구조에서도 액정탄성체의 액추에이션 거동이 효과적으로 전달됨을 의미함.




<편광현미경을 통한 외부 액정탄성체 팽창에 따른 내부 엘라스토실의 팽창거동>

- 열에 의한 렌즈 구동
  ◦제작된 단일 구조체 렌즈에 열 자극을 인가한 결과, 액정탄성체 필름은 온도 변화에 따른 액추에이션에 의해 엘라스토실 렌즈의 곡률이 유의미하게 조절되는 것을 확인함. 이는 외부 온도 자극을 활용하여 능동적으로 초점거리를 변화시킬 수 있는 열 구동식 광학 소자로서의 잠재력을 보여줌. 향후 다양한 외부 자극하에서 렌즈 곡률 변화 및 이에 따른 초점거리 조절 성능을 정량적으로 분석하여 본 시스템의 초점 제어 메커니즘을 체계적으로 규명하고 액정탄성체에 물성들을 제어 및 최적화하는 연구를 수행할 예정임.



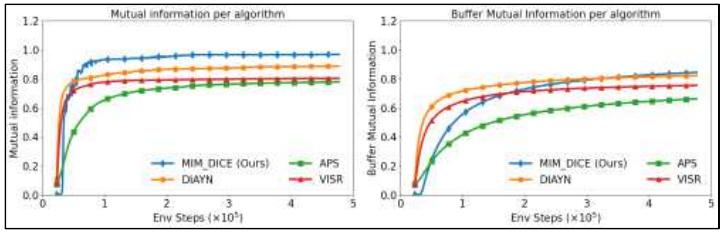

<온도 변화에 따른 액정탄성체의 형상변형 및 이에 의한 렌즈 곡률 변화>

| | | |
|---|---|---|
| 연세대학교 (위탁4) | 조작 스킬의 선택적 재사용/ 조합을 통한 | • 편향 없는 상호정보량 최대화를 통한 사전 학습용 비지도 스킬 학습 알고리즘(ICML 2026 제출 예정)<br>- 강화학습에서 외부 보상이 없는 사전학습(pretraining) 단계에서, 미세조정(fine-tuning) 단계에 빠르게 적응할 수 있도록 상태와 정책 기반 스킬(skill) 사이의 상호정보량(MI)을 최대화하는 방식으로 스킬을 학습함. 상호정보량의 식은 아래와 같이 구성할 수 있음. |

$$I_\pi(S;Z) = H_\pi(S) - H_\pi(S|Z)$$

의미를 해석하면, 모든 스킬 인덱스를 합치면 전체 스테이트 공간을 폭넓게 커버하면서도, 개별 스킬 관점에서는 서로 다른 스테이트를 방문하는 것으로 해석할 수 있음. 이러한 사전학습이 충분히 이루어질 경우, 다운스트림 태스크가 주어졌을 때 적절한 스킬 인덱스를 선택하는 것만으로도 외부 보상을 많이 받는 스테이트를 중심으로 방문함. 이를 통해 매우 적은 미세조정 학습 연산량만으로도 환경에 빠르게 적응하는 에이전트를 만드는 것이 가능함.

- 그러나 기존의 연구는 상호정보량을 추정하는 데에 있어, 실제 정책의 상호정보량이 아니라 버퍼의 상호정보량을 추정한다는 편향이 있었음. 본 연구는 정책 분포비(distribution ratio) 보정을 도입해 이러한 편향을 완화/해결하고, 결과적으로 개별 스킬의 숙련도(dexterity)가 높은 양질의 스킬을 학습함. 학습된 스킬의 품질이 높으면 스킬을 조작·조합할 때 유리하며, 다양한 형태의 스킬 조합을 안정적으로 구성할 수 있음. 유한 MDP 및 로봇팔 시뮬레이션(JACO) 실험에서 베이스라인 대비 우수한 성능을 확인함.



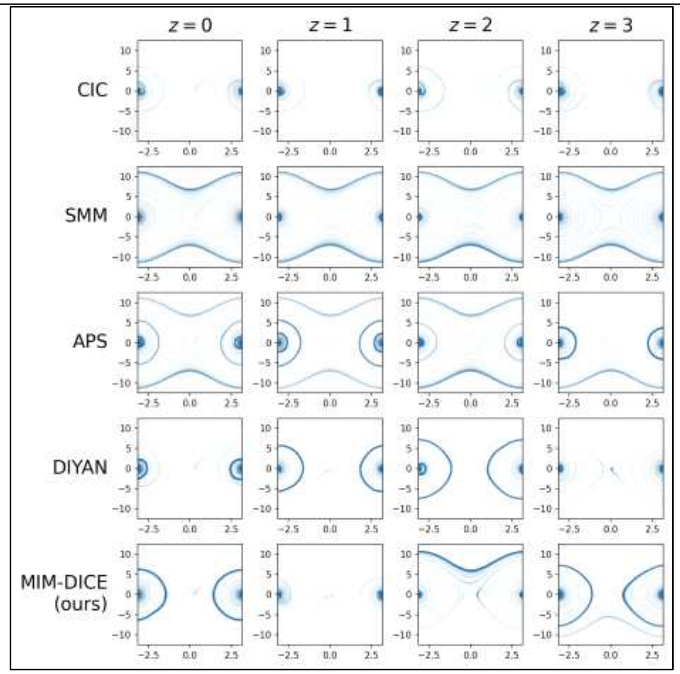

< 유한 MDP 실험 결과. 왼쪽은 버퍼 상호정보량, 오른쪽은 정책 상호정보량을 나타냄 >

- 실험 환경은 온라인 오프-폴리시로 구성하였으며, 버퍼의 상호정보량(MI)를 추정하는 베이스라인은 버퍼를 카운트하여 실제 신경망을 이용한 추정보다 더 유리하게 측정함. 본 연구(MIM DICE)의 경우, 실제로 구현 가능한 형태로 구성함. 결과적으로, 버퍼와 정책의 상호정보량이 다르며, 이는 버퍼 상호정보량을 최대화하는 기존 기법에 편향이 있음을 확인하였음. 또한 정책 상호정보량 학습 곡선에서 본 연구(MIM DICE)가 기존 기법보다 더 높은 상호정보량 최대화 성능을 보였음을 확인함.

| Metric | CIC | SMM | DIAYN | APS | MIM-DICE(Ours) |
|---|---|---|---|---|---|
| Mutual information $I(S;Z)$ | 0.018 | 0.028 | 0.723 | 0.332 | 0.789 |
| State entropy $H[S]$ | 2.395 | 5.731 | 4.591 | 5.468 | 5.146 |

< Pendulum 환경 Deep RL 실험 결과 >

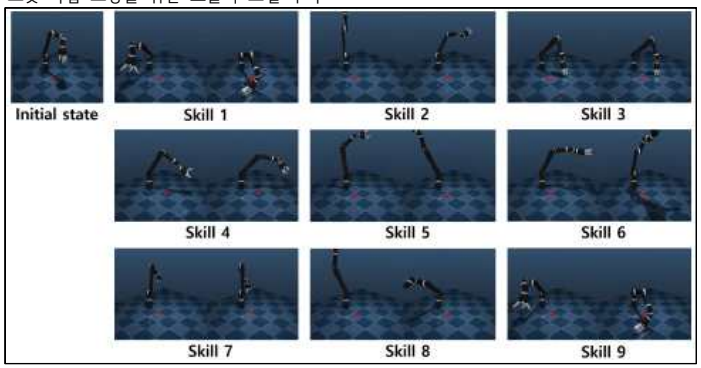
- Pendulum 환경의 스테이트를 이산화한 뒤, 각 스킬이 방문한 구역을 카운트하여 상호정보량을 측정함. 측정 결과, MIM DICE가 상호정보량 최대화 측면에서 가장 높은 성능을 보임. 그러나 DIAYN 또한 MIM DICE와 같이 상호정보량이 유의미하게 높아졌으나, MIM DICE와 달리 스테이트 엔트로피가 낮아 전체 스테이트 공간을 유의미하게 커버하지 못함.




< DIAYN과 MIM DICE의 각 스킬별 Pendulum 스테이트 점유 분포를 시각화한 결과 >

- DIAYN은 스킬 간 구분은 뚜렷하나 전체 스테이트를 충분히 포괄하지 못함. 반면, MIM DICE는 네 개 스킬이 스테이트 공간 전체를 나누어 고르게 커버하고 있음. 이는 다운스트림에서 임의의 보상이 주어지더라도, 학습된 스킬들 중 적어도 하나가 고보상 영역을 충분히 방문할 가능성이 높음을 시사함.

• 로봇 작업 조정을 위한 효율적 모델 구축




< MIM DICE의 서로 다른 스킬에 대한 JACO 궤적을 확인한 결과 >

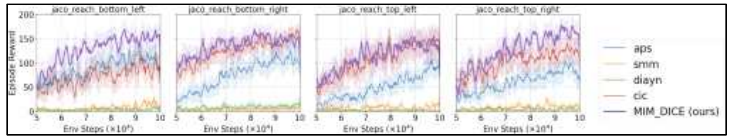
- 사전 학습을 마친 이후에, 동일한 초기 스테이트에서 서로 다른 스킬을 롤아웃 하여 해당 스킬의 상태 점유를 시각화한 결과, 동일한 스테이트에서 시작하더라도 스킬별로 상이한 궤적이 생성됨을 관찰함. 이는 서로 다른 스킬이 서로 다른 스테이트를 점유한다는 초기 목표를 달성했음을 의미함. 또한 로봇 작업에서 미세조정 시 최적의 스킬 인덱스를 선택함으로써, 적은 추가 학습만으로도 과제에 빠르게 적응하는 효율적 모델을 구축했음을 의미함.



• 시연을 통한 지식/규칙 이해 연구

- 기존 연구는 상태와 스킬 인덱스 간 상호 정보량을 추정하기 위해, 버퍼에 상태와 스킬 인덱스(s,z)를 함께 로깅한 뒤 신경망으로 데이터에 피팅하는 방식으로 상호 정보량을 추정하였음. 그러나 이러한 접근은 추정 과정에서 편향이 발생하기 쉽고, 무엇보다 스킬 인덱스가 부여된 데이터가 실제로 필요하다는 한계가 있었음.
- 반면 본 연구는 정책 분포비 보정을 통해 스킬 인덱스가 없는 버퍼에서도 스킬 학습이 가능함. 즉, 임의의 에이전트가 시연하여 수집한 off-policy 데이터셋으로부터도 skill discovery가 가능하므로, 지식/규칙 이해 관련 연구를 기존 대비 수십 배 높은 샘플 효율로 보다 폭넓고 안정적으로 수행할 수 있음. 아래는 이러한 장점을 JACO 도메인에서 베이스라인과 비교·검증한 결과임.

• 선택적 행위를 통한 효율적 다중작업 강화학습




< JACO 도메인에서의 학습 성능 곡선을 확인한 결과 >

- MIM DICE는 대부분의 기존 연구 대비 빠른 성능 향상 추이를 보임. 또한 각 downstream task마다 CEM(또는 gradient descent)을 통해 전이 가치가 높은 스킬 인덱스 z를 탐색·선택하고, 선택된 z가 유효한 경우에만 해당 스킬 기반 행동을 수행하는 선택적 행위(selection)를 수행함. 이를 통해 태스크별 빠른 적응(fast adaptation)을 달성하였음.

• 개별 스킬의 숙련도(dexterity) 향상

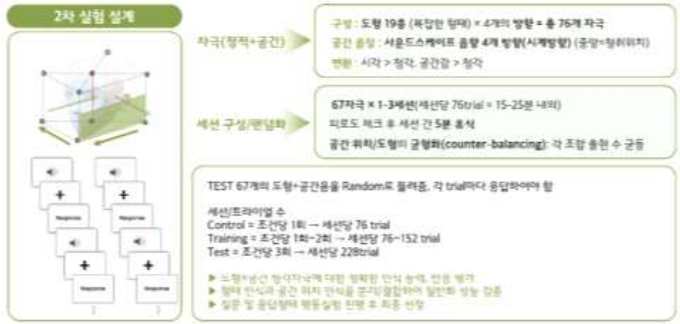
The expert policy is trained for 2M environment steps, whereas all other methods are fine-tuned for 100K steps from a pre-trained representation.

| Task | Expert (2M) | CIC | SMM | DIAYN | APS | MIM-DICE (Ours) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Reach bottom left | 193 | $138 \pm 9$ | $45 \pm 7$ | $39 \pm 6$ | $76 \pm 8$ | $156.6 \pm 21.4$ |
| Reach bottom right | 203 | $145 \pm 7$ | $46 \pm 11$ | $38 \pm 5$ | $88 \pm 11$ | $160.6 \pm 5.6$ |
| Reach top left | 191 | $153 \pm 7$ | $36 \pm 3$ | $19 \pm 4$ | $68 \pm 6$ | $183.2 \pm 6.4$ |
| Reach top right | 223 | $163 \pm 4$ | $47 \pm 6$ | $28 \pm 6$ | $76 \pm 10$ | $141.4 \pm 11.1$ |
| Average over tasks | 202.5 | 149.8 | 43.5 | 31.0 | 77.0 | $160.5 \pm 7.0$ |

< JACO 도메인에서 동일한 스킬 인덱스를 부여한 후 파인튜닝 실험을 수행한 결과 >

- MIM DICE는 베이스라인 대비 월등히 우수한 성능을 보였음. 전이 가치가 높은 스킬 인덱스 z를 선택한 뒤 이를 고정해 파인튜닝할 경우 높은 성능이 유지되었으며, 이는 본 방법이 외부 보상과 정합적인 고품질 스킬을 학습·선별함을 뒷받침함. 또한 에이전트의 능력(capabilities) 정보가 주어진 서로 다른 시나리오 전반에서 효율적으로 다중작업 강화학습을 수행하여, 높은 성능을 도출하였음.

| | | |
|---|---|---|
| 건국대학교 병원 (위탁5) | 시각대체 신호의 대뇌 영역간 정보처리 연결성 분석 | ○ 공간적 시각정보를 청각으로 대체할 때 대뇌 반응 특성 규명을 위한 실험 설계 및 검증<br>• 시각-청각 대응 기반의 자극 변환 및 시스템 구성<br>- 시각 위치 정보를 청각 주파수·시간 패턴으로 변환하는 체계 구축<br>→ 좌-우 공간 이동 정보를 frequency sweep 또는 양측 귀 간 intensity 차로 변환<br>- 기존 vOICe 알고리즘 기반 공간 부호화 방식 적용<br>→ 19종의 도형과 4개의 방향을 조합하여 76종의 청각 자극 조합 활용<br>- Baseline(512 trial) → Control 1(152 trial) → Control 2(152 trial) → Training(152 trial) → Test(228 trial) 단계로 실험 절차 구성 |




<시공간 감각대체 실험 절차 설계>

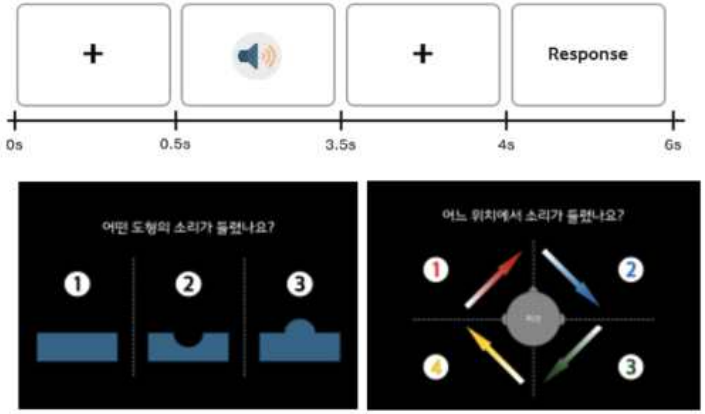
• 뇌 반응 측정을 위한 EEG 기반 실험 환경 설계
  - 64ch EEG 캡(Electrode cap) + BrainAmp/Brain Products 장비 구성
    → Sampling rate 500~1,000 Hz, E-Prime 3.0 기반 자극 제어
  - 시각 및 청각 자극 제시에 대한 ERP 분석 세팅
    → auditory-evoked potential(AEP) 및 visual-evoked potential(VEP) 정보 수집
  - TriggerBox를 활용한 millisecond-level 자극-EEG 동기화 및 분석환경 구축
    → ERP peak latency 차이를 학습 전후 비교하기 위한 정밀 동기화 구축



<EEG 데이터 수집 및 분석을 위한 실험 환경>

• 공간 감각 전달을 위한 시각-청각 변환 자극 제작
  - 자극 난이도를 3등급으로 설계(쉬움-중간-어려움)
    → grid 내 위치 간 거리·주파수 변화폭 등을 조절하여 난이도 차이를 구성
  - 청각 자극은 Unity game engine을 활용하여 4개의 공간 방향에 따라 변조된 vOICe 방법 사용
  - 공간적 이동감과 위상차(interaural phase difference)를 통해 음원의 공간감을 유도
  - TEST Session에서 무작위(randomized) 제시로 학습 편향 제거
    → 총 228 trial 중 절반 이상을 무작위 제시로 배치



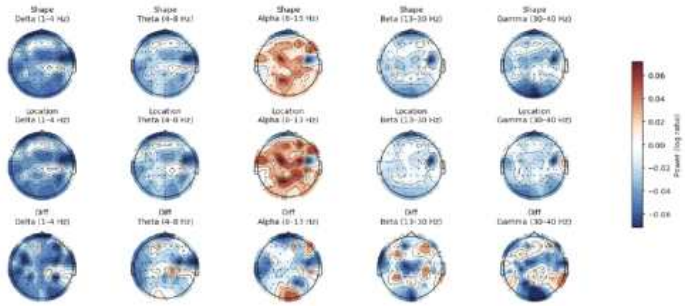



<사용자 실험 자극 시퀀스 및 질문 예시>

○ 파일럿 실험을 통한 실험 설계의 효과 검증

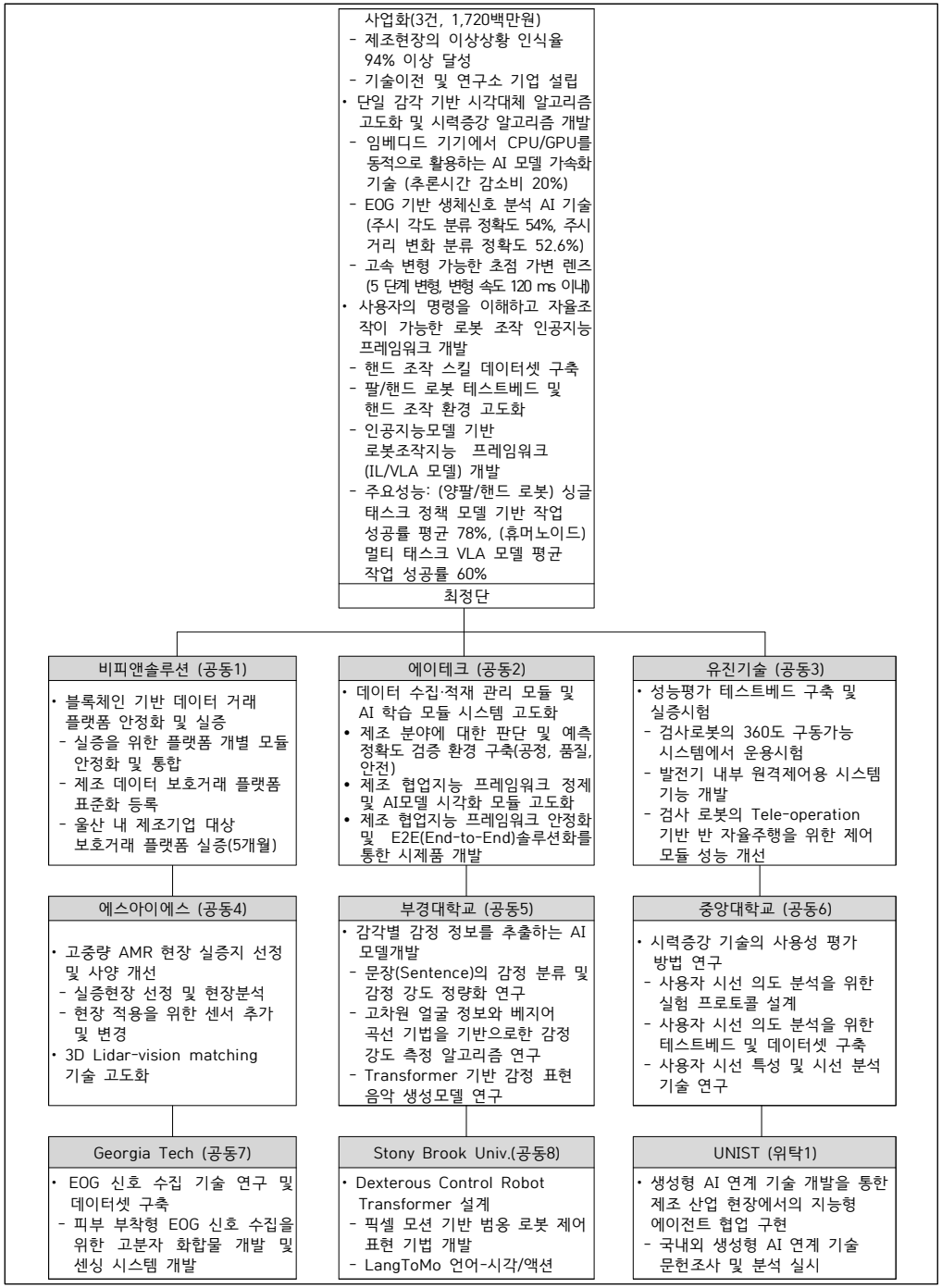
• 시각-청각 자극 변환 학습에 따른 행동 성능 변화 검증
  - Training Session에서 피험자 수행 정확도 향상 확인
    → Control 대비 Training에서 정답률이 유의미하게 상승
  - 난이도별(쉬움 > 중간 > 어려움) 정답률 차이가 안정적 경향을 나타냄을 확인
    → 변환 자극의 난이도 설정이 타당함을 검증
  - Training 단계에서 반응시간(RT)이 점진적으로 짧아짐 → 변환 규칙 습득을 의미
  - Test Session에서 학습 일반화 효과 확인 (평균정답률 70.1%)
    → 학습하지 않은 새로운 조합에서도 일정 수준 이상의 정답률 유지

• 시각 정보의 청각 치환에 따른 피질 재구성 가능성 탐색
  - 청각자극을 통한 공간정보 인식 시험에서 대뇌 기능적 네트워크 변화를 확인
  - Alpha 대역의 변화와 함께 Parietal-Frontal 네트워크 간 위상동기화가 강화됨
    → 청각자극이 단순한 청각피질 활성에 국한되지 않고, 공간정보 처리에 관여하는 상위 인지 네트워크(parieto-frontal network)를 동반 활성화 함을 의미
  - 일부 실험자는 청각자극 제시 중에도 시각피질의 Theta-Alpha 활성이 증가됨을 확인
    → cross-modal cortical activation, 시-청각 상호 보완적 처리 매커니즘 가능성 의미

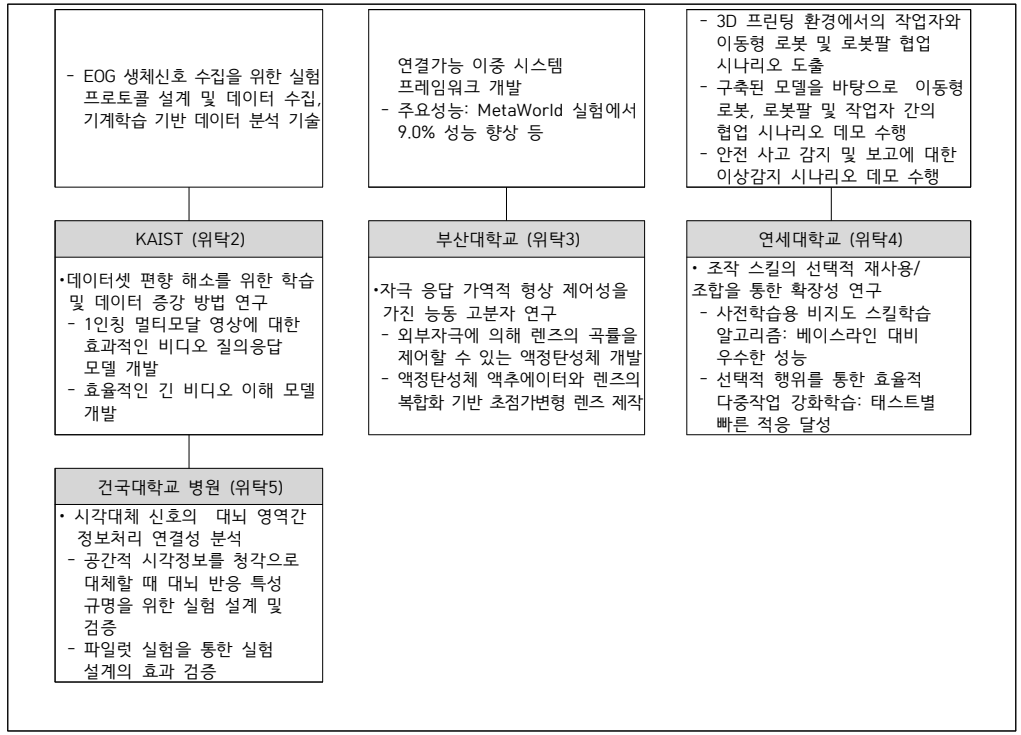


<공간정보의 청각대체 신호에 대한 Alpha 대역 변화>

| ETRI (주관) |
| --- |
| • 제조 협업지능 프레임워크 및 SEQ 서비스 기술 산업현장 실증 시험<br>- 제조현장 Safety 기술 실증<br>- 협업지능 프레임워크 기반 제조 AI SEQ 서비스 기술 |


사업화(3건, 1,720백만원)
- 제조현장의 이상상황 인식율 94% 이상 달성
- 기술이전 및 연구소 기업 설립
• 단일 감각 기반 시각대체 알고리즘 고도화 및 시력증강 알고리즘 개발
- 임베디드 기기에서 CPU/GPU를 동적으로 활용하는 AI 모델 가속화 기술 (추론시간 감소비 20%)
- EOG 기반 생체신호 분석 AI 기술 (주시 각도 분류 정확도 54%, 주시 거리 변화 분류 정확도 52.6%)
- 고속 변형 가능한 초점 가변 렌즈 (5 단계 변형, 변형 속도 120 ms 이내)
• 사용자의 명령을 이해하고 자율조작이 가능한 로봇 조작 인공지능 프레임워크 개발
- 핸드 조작 스킬 데이터셋 구축
- 팔/핸드 로봇 테스트베드 및 핸드 조작 환경 고도화
- 인공지능모델 기반 로봇조작지능 프레임워크 (IL/VLA 모델) 개발
- 주요성능: (양팔/핸드 로봇) 싱글 태스크 정책 모델 기반 작업 성공률 평균 78%, (휴머노이드) 멀티 태스크 VLA 모델 평균 작업 성공률 60%
최정단
비피앤솔루션 (공동1)
• 블록체인 기반 데이터 거래 플랫폼 안정화 및 실증
- 실증을 위한 플랫폼 개별 모듈 안정화 및 통합
- 제조 데이터 보호거래 플랫폼 표준화 등록
- 울산 내 제조기업 대상 보호거래 플랫폼 실증(5개월)
에이테크 (공동2)
• 데이터 수집·적재 관리 모듈 및 AI 학습 모듈 시스템 고도화
• 제조 분야에 대한 판단 및 예측 정확도 검증 환경 구축(공정, 품질, 안전)
• 제조 협업지능 프레임워크 정제 및 AI모델 시각화 모듈 고도화
• 제조 협업지능 프레임워크 안정화 및 E2E(End-to-End)솔루션화를 통한 시제품 개발
유진기술 (공동3)
• 성능평가 테스트베드 구축 및 실증시험
- 검사로봇의 360도 구동가능 시스템에서 운용시험
- 발전기 내부 원격제어용 시스템 기능 개발
- 검사 로봇의 Tele-operation 기반 반 자율주행을 위한 제어 모듈 성능 개선
에스아이에스 (공동4)
• 고중량 AMR 현장 실증지 선정 및 사양 개선
- 실증현장 선정 및 현장분석
- 현장 적용을 위한 센서 추가 및 변경
• 3D Lidar-vision matching 기술 고도화
부경대학교 (공동5)
• 감각별 감정 정보를 추출하는 AI 모델개발
- 문장(Sentence)의 감정 분류 및 감정 강도 정량화 연구
- 고차원 얼굴 정보와 베지어 곡선 기법을 기반으로한 감정 강도 측정 알고리즘 연구
- Transformer 기반 감정 표현 음악 생성모델 연구
중앙대학교 (공동6)
• 시력증강 기술의 사용성 평가 방법 연구
- 사용자 시선 의도 분석을 위한 실험 프로토콜 설계
- 사용자 시선 의도 분석을 위한 테스트베드 및 데이터셋 구축
- 사용자 시선 특성 및 시선 분석 기술 연구
Georgia Tech (공동7)
• EOG 신호 수집 기술 연구 및 데이터셋 구축
- 피부 부착형 EOG 신호 수집을 위한 고분자 화합물 개발 및 센싱 시스템 개발
Stony Brook Univ.(공동8)
• Dexterous Control Robot Transformer 설계
- 픽셀 모션 기반 범용 로봇 제어 표현 기법 개발
- LangToMo 언어-시각/액션
UNIST (위탁1)
• 생성형 AI 연계 기술 개발을 통한 제조 산업 현장에서의 지능형 에이전트 협업 구현
- 국내외 생성형 AI 연계 기술 문헌조사 및 분석 실시



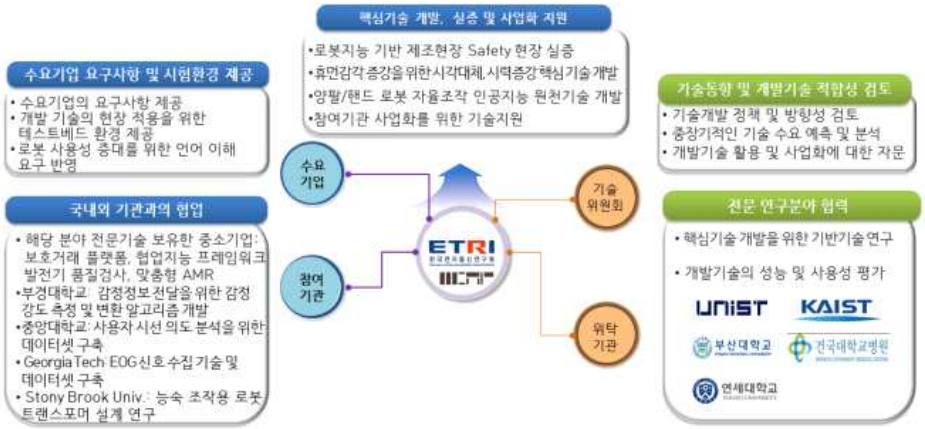

- EOG 생체신호 수집을 위한 실험 프로토콜 설계 및 데이터 수집, 기계학습 기반 데이터 분석 기술
KAIST (위탁2)
•데이터셋 편향 해소를 위한 학습 및 데이터 증강 방법 연구
- 1인칭 멀티모달 영상에 대한 효과적인 비디오 질의응답 모델 개발
- 효율적인 긴 비디오 이해 모델 개발
건국대학교 병원 (위탁5)
• 시각대체 신호의 대뇌 영역간 정보처리 연결성 분석
- 공간적 시각정보를 청각으로 대체할 때 대뇌 반응 특성 규명을 위한 실험 설계 및 검증
- 파일럿 실험을 통한 실험 설계의 효과 검증
연결가능 이중 시스템 프레임워크 개발
- 주요성능: MetaWorld 실험에서 9.0% 성능 향상 등
부산대학교 (위탁3)
•자극 응답 가역적 형상 제어성을 가진 능동 고분자 연구
- 외부자극에 의해 렌즈의 곡률을 제어할 수 있는 액정탄성체 개발
- 액정탄성체 액추에이터와 렌즈의 복합화 기반 초점가변형 렌즈 제작
- 3D 프린팅 환경에서의 작업자와 이동형 로봇 및 로봇팔 협업 시나리오 도출
- 구축된 모델을 바탕으로 이동형 로봇, 로봇팔 및 작업자 간의 협업 시나리오 데모 수행
- 안전 사고 감지 및 보고에 대한 이상감지 시나리오 데모 수행
연세대학교 (위탁4)
• 조작 스킬의 선택적 재사용/조합을 통한 확장성 연구
- 사전학습용 비지도 스킬학습 알고리즘: 베이스라인 대비 우수한 성능
- 선택적 행위를 통한 효율적 다중작업 강화학습: 태스트별 빠른 적응 달성

## 3. 과제수행기간 추진체계 및 방법 ※ 최종연도 ('25년) 기준

### 가. 과제수행 추진체계

□ 총괄 추진체계

- (ETRI) 국내 제조기업과의 밀착 협력체계 구축 및 개발 기술의 사업화 지원
  - 제조기업과의 협업으로 제조기업의 경쟁력 향상에 필요한 요구사항 분석 및 AI 적용분야 도출
  - 제조 AI 솔루션 기술 지원이 용이한 협업지능 프레임워크 개발과 이를 기반한 다양한 사업화
- (ETRI) 시각증강 요소기술 분석 및 AI 모델 연구를 위한 핵심원천 기술 개발 및 핵심 IPR 확보
  - 시각증강 AI 시스템 요구사항 분석 및 상위 시스템 설계
  - 시각대체/복구를 위한 다중 감각 대체 융합 알고리즘, 시각정보 처리를 위한 AI 모델 및 시각복원를 위한 사용자 의도 분석 AI 모델과 자율 초점조절 렌즈 연구를 주도적으로 개발하고 핵심기술 확보에 주력
- (학계) 인공지능·뇌공학·소프트일렉트로닉스 등 전문기술을 활용하여 요소기술에 대한 선행연구 및 ETRI 개발 알고리즘의 검증 수행
  - 시각정보 분석 모델 및 생체신호 분석 모델의 성능 향상을 위한 AI 모델 및 학습 기법 연구
  - 생체신호 수집을 위한 센서 및 뇌파를 활용한 대뇌 기전 분석을 통한 시각대체 및 시각복원 기술의 효능 분석
  - 시각대체 및 시각복원 기술의 사용자 실험을 위한 학습이론 개발 및 학습 절차 검증에 협력
- (유관기관: 산업체, 협회 등) ETRI 개발 기술을 검증하기 위한 테스트 환경 제공 및 향후 적용 분야 분석
  - 핵심기술의 기능 검증을 위한 시험 플랫폼 구축 및 사용자 실험에 필요한 검증 프로그램 개발에 협력
  - 시각대체/복원 기술들의 사용자 실험을 위한 시험자 모집, 시험 공간 확보 및 시험 진행 제반 업무에 협력
- Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구
  - (ETRI) 고난도 조작이 가능한 로봇 HW 플랫폼, 휴먼 시연 데이터 수집용 텔레오퍼레이션 시스템 개발 및 학습용 데이터셋 구축을 통해 사용자의 명령을 이해하고 추론하며 사람과 유사한 구조의 손가락(Multifinger)을 가지는 한팔/양팔 핸드를 사용하여 고난도 자율조작이 가능한 로봇 조작지능 프레임워크 개발
  - (학계) 조작용 로봇 트랜스포머 원천기술 연구 및 로봇 조작 스킬의 일반화/확장성/적응성 연구






### 나. 과제수행 방법

□ 산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업지능 기술개발

- 지능로봇 기반 제조산업 SEQ 서비스 기술 개발
  - 1단계 연구: 제조협업지능 기술은 관련된 오픈 소스 모델이 부족하고 제조업종에 따라 다른 기계학습 모델 및 데이터 셋이 필요한 관계로 많은 사전 조사 연구 수행
  - 2단계 연구: 4개 제조 업종별 특화된 지능협업 모델 개발과 현장 데이터 중심 학습 모델 튜닝 및 고도화
  - 제조기업에 대한 SEQ 서비스 지원 기술개발을 위해 현장 경험이 많은 해당 분야의 전문 로봇개발 기업과의 밀접한 연구수행체계 수립 및 현장 적용을 고려한 현장 중심의 기능시험 시행

□ 인간 시각증강 AI 기술 개발

- 개념을 정립하며 수행하는 과제의 특성상 예기치 못한 오류로 인한 실패 가능성을 줄이기 위하여, 요소기술 개발과 개발 기술의 과학적 실효성을 검증하는 단계(1단계, '24~'26)와 사용자 검증을 통해 개발 기술의 고도화 및 최적화를 수행하는 단계(2단계, '27~'28)로 구분하여 수행
  - 1단계에서는 지원되어야 할 요구 기능을 도출한 후 이를 토대로 시스템 구조를 설계하고, 다수 사용자에 대한 반응 실험을 선제적으로 수행하여 시스템 구성에 필요한 시각증강 AI 핵심 알고리즘 개발 방향을 설정하고, 핵심 알고리즘 개발 후 사용자 실험을 통해 실효성을 검증
  - 2단계에서는 1단계에서 개발한 기술의 완성도를 제고하고 최적화, 안정화시키는 연구를 수행하며, 기술이전 추진에 필요한 실용화 가능성 검증을 위해 기술 수요자 대상 테스트 추진

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술 연구

- 고난도 조작이 가능한 로봇 HW 플랫폼(양팔/핸드 로봇 HW 플랫폼)을 확보하며, 필요시 타 과제에서 확보된 로봇 플랫폼을 공동 활용. 확보된 로봇 플랫폼을 기반으로 텔레오퍼레이션 시연 기반 로봇 조작 데이터셋 구축을 위한 기술 개발 및 데이터셋 구축을 수행

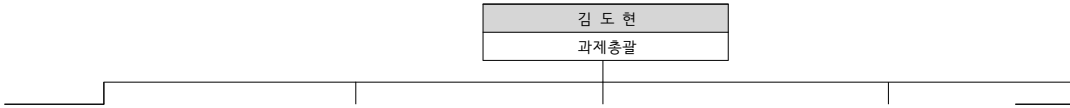
※ 기존 연구와의 차별성을 위해 그리퍼로 하면 불안정하거나 효율이 떨어지거나 불가능한 작업, 한팔로 하면 불안정하거나 효율이 떨어지는 작업, 한 팔로 물체를 고정하고 다른 팔로 하는 작업 등에 대해 학습 데이터셋을 구축하고 향후 일상생활에 활용될 수 있는 스킬을 대상으로 기술 개발을 진행

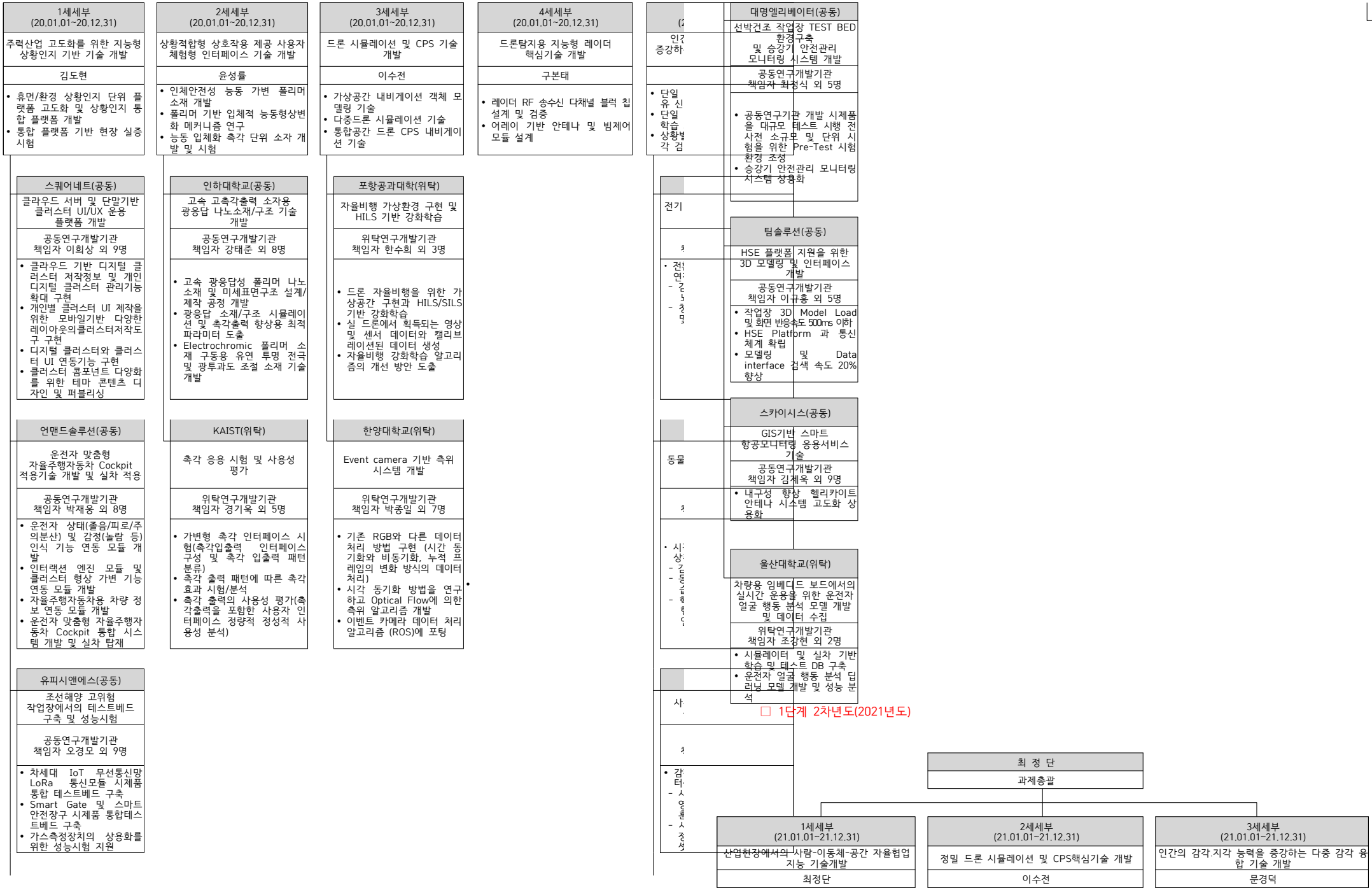
※ 기술개발 및 검증 과정에 대인/대물 충돌 피해를 최소화할 수 있는 조치를 하고 연구 수행

- 사용자의 자연어 명령을 이해하고 환경 및 상황에 최적화된 로봇 액션을 도출하는 인공지능 모델 기반 멀티 핑거 한팔/양팔 로봇 조작지능 프레임워크를 개발하여 테스트베드를 대상으로 기술을 검증
- 조작용 로봇 트랜스포머 원천기술 위탁 연구 및 로봇 조작 스킬의 일반화/확장성/적응성 위탁 연구를 통해 로봇 조작지능 프레임워크의 활용도를 높일 수 있는 기반 마련

### 다. 과제수행 편성도(세부기술 수행체계)

□ 1단계 1차년도(2020년도)




1세세부
(20.01.01~20.12.31)
주력산업 고도화를 위한 지능형 상황인지 기반 기술 개발
김도현
• 휴먼/환경 상황인지 단위 플랫폼 고도화 및 상황인지 통합 플랫폼 개발
• 통합 플랫폼 기반 현장 실증 시험
2세세부
(20.01.01~20.12.31)
상황적합형 상호작용 제공 사용자 체험형 인터페이스 기술 개발
윤성률
• 인체안전성 능동 가변 폴리머 소재 개발
• 폴리머 기반 입체적 능동형상변화 메커니즘 연구
• 능동 입체화 촉각 단위 소자 개발 및 시험
3세세부
(20.01.01~20.12.31)
드론 시뮬레이션 및 CPS 기술 개발
이수전
• 가상공간 내비게이션 객체 모델링 기술
• 다중드론 시뮬레이션 기술
• 통합공간 드론 CPS 내비게이션 기술
4세세부
(20.01.01~20.12.31)
드론탐지용 지능형 레이더 핵심기술 개발
구본태
• 레이더 RF 송수신 다채널 블럭 칩 설계 및 검증
• 어레이 기반 안테나 및 빔제어 모듈 설계
스퀘어네트(공동)
클라우드 서버 및 단말기반 클러스터 UI/UX 운용 플랫폼 개발
공동연구개발기관
책임자 이희상 외 9명
• 클라우드 기반 디지털 클러스터 저작정보 및 개인 디지털 클러스터 관리기능 확대 구현
• 개인별 클러스터 UI 제작을 위한 모바일기반 다양한 레이아웃의클러스터저작도구 구현
• 디지털 클러스터와 클러스터 UI 연동기능 구현
• 클러스터 콤포넌트 다양화를 위한 테마 콘텐츠 디자인 및 퍼블리싱
인하대학교(공동)
고속 고촉각출력 소자용 광응답 나노소재/구조 기술 개발
공동연구개발기관
책임자 강태준 외 8명
• 고속 광응답성 폴리머 나노소재 및 미세표면구조 설계/제작 공정 개발
• 광응답 소재/구조 시뮬레이션 및 촉각출력 향상용 최적 파라미터 도출
• Electrochromic 폴리머 소재 구동용 유연 투명 전극 및 광투과도 조절 소재 기술 개발
포항공과대학(위탁)
자율비행 가상환경 구현 및 HILS 기반 강화학습
위탁연구개발기관
책임자 한수희 외 3명
• 드론 자율비행을 위한 가상공간 구현과 HILS/SILS 기반 강화학습
• 실 드론에서 획득되는 영상 및 센서 데이터와 캘리브레이션된 데이터 생성
• 자율비행 강화학습 알고리즘의 개선 방안 도출
언맨드솔루션(공동)
운전자 맞춤형 자율주행자동차 Cockpit 적용기술 개발 및 실차 적용
공동연구개발기관
책임자 박재웅 외 8명
• 운전자 상태(졸음/피로/주의분산) 및 감정(놀람 등) 인식 기능 연동 모듈 개발
• 인터랙션 엔진 모듈 및 클러스터 형상 가변 기능 연동 모듈 개발
• 자율주행자동차용 차량 정보 연동 모듈 개발
• 운전자 맞춤형 자율주행자동차 Cockpit 통합 시스템 개발 및 실차 탑재
KAIST(위탁)
촉각 응용 시험 및 사용성 평가
위탁연구개발기관
책임자 경기욱 외 5명
• 가변형 촉각 인터페이스 시험(촉각입출력 인터페이스 구성 및 촉각 입출력 패턴 분류)
• 촉각 출력 패턴에 따른 촉각 효과 시험/분석
• 촉각 출력의 사용성 평가(촉각출력을 포함한 사용자 인터페이스 정량적 정성적 사용성 분석)
한양대학교(위탁)
Event camera 기반 측위 시스템 개발
위탁연구개발기관
책임자 박종일 외 7명
• 기존 RGB와 다른 데이터 처리 방법 구현 (시간 동기화와 비동기화, 누적 프레임의 변화 방식의 데이터 처리)
• 시각 동기화 방법을 연구하고 Optical Flow에 의한 측위 알고리즘 개발
• 이벤트 카메라 데이터 처리 알고리즘 (ROS)에 포팅
유피시앤에스(공동)
조선해양 고위험 작업장에서의 테스트베드 구축 및 성능시험
공동연구개발기관
책임자 오경모 외 9명
• 차세대 IoT 무선통신망 LoRa 통신모듈 시제품 통합 테스트베드 구축
• Smart Gate 및 스마트 안전장구 시제품 통합테스트베드 구축
• 가스측정장치의 상용화를 위한 성능시험 지원
대명엘리베이터(공동)
선박건조 작업장 TEST BED 환경구축 및 승강기 안전관리 모니터링 시스템 개발
공동연구개발기관
책임자 최정식 외 5명
• 공동연구기관 개발 시제품을 대규모 테스트 시행 전 사전 소규모 및 단위 시험을 위한 Pre-Test 시험 환경 조성
• 승강기 안전관리 모니터링 시스템 상용화
팀솔루션(공동)
HSE 플랫폼 지원을 위한 3D 모델링 및 인터페이스 개발
공동연구개발기관
책임자 이규홍 외 5명
• 작업장 3D Model Load 및 화면 반응속도 500ms 이하
• HSE Platform 과 통신체계 확립
• 모델링 및 Data interface 검색 속도 20% 향상
스카이시스(공동)
GIS기반 스마트 항공모니터링 응용서비스 기술
공동연구개발기관
책임자 김계옥 외 9명
• 내구성 향상 헬리카이트 안테나 시스템 고도화 상용화
울산대학교(위탁)
차량용 임베디드 보드에서의 실시간 운용을 위한 운전자 얼굴 행동 분석 모델 개발 및 데이터 수집
위탁연구개발기관
책임자 조강현 외 2명
• 시뮬레이터 및 실차 기반 학습 및 테스트 DB 구축
• 운전자 얼굴 행동 분석 딥러닝 모델 개발 및 성능 분석
□ 1단계 2차년도(2021년도)
최 정 단
과제총괄
1세세부
(21.01.01~21.12.31)
산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업 지능 기술개발
최정단
2세세부
(21.01.01~21.12.31)
정밀 드론 시뮬레이션 및 CPS핵심기술 개발
이수전
3세세부
(21.01.01~21.12.31)
인간의 감각.지각 능력을 증강하는 다중 감각 융합 기술 개발
문경덕

- 산업 데이터 거래 플랫폼 구조 연구
- 제조 협업지능 프레임워크 구조 연구
- 제조 협업 지능 프레임워크 요구사항 정의 및 기본 설계
- 로봇지능의 SEQ(Saftey, Efficiecny, Quality) 서비스 적용을 위한 환경조사 및 분석

- 통합공간 연동구조 개발 및 다중 드론 시뮬레이션 기술 고도화

- 시각 정보의 청각 신호 전환을 위한 딥러닝 기반 고유 신호 생성
- 청각으로 전환된 시각 고유 신호의 전달 기술 개발
- 제한된 환경에서 청각 기반 지각 학습 프레임워크 설계

### 비피앤솔루션(공동)

제조 데이터 보호·거래 플랫폼 현장 요구사항 조사 및 분석

공동연구개발기관
책임자 박부곤 외 3명

- 블록체인 기반 데이터 생산자 및 사용자 식별 및 인증 기술 요구사항 정의 및 분석
- 산업 데이터 거래를 위한 플랫폼 현장 요구 사항 조사 및 분석
- 데이터 거래를 위한 산업 데이터 거래 표준 안 수립

### 에이테크(공동)

빅데이타 기반 산업 인공지능 기술 요구사항 수집 및 프레임워크 설계

공동연구개발기관
책임자 김정완 외 13명

- 자동차, 조선, 기계, 석유화학 및 부품 제조산업의 안전(S)과 생산 공정 효율화(E), 품질 최적화(Q)를 위한 기술 수요처의 협업지능 프레임워크에 대한 요구사항 분석 및 정의

### 엔소프트(공동)

제조 현장에 적용 가능한 인공지능 기술 요구사항 분석 및 프레임워크 설계

공동연구개발기관
책임자 최대현 외 2명

- 제조산업 협업지능 기술 및 서비스 플랫폼 현장 요구 사항 수집 및 정의

### UNIST(위탁)

산업군별 제조 AI 모델 조사 및 사전 연구

위탁연구개발기관
책임자 김남훈 외 2명

- 제조 분야 AI 모델 조사 및 분석
- 제조 분야 AI 학습 및 실험 데이터 특성 분석

### 포항공과대학교(위탁)

실외환경에서 강화학습 자율비행을 위한 가상학습환경 연구

위탁연구개발기관
책임자 한수희 외 5명

- 가시거리 및 신뢰성이 높은 깊이영상 및 초음파 센서 데이터 획득방안 연구
- 실외 환경 및 가상 환경에서 영상 및 센서 데이터의 동조화 및 가상 학습 환경 구축
- 실외 장애물 환경에서 학습된 자율비행 적용 테스트

### 한양대학교(위탁)

이벤트 카메라와 INS 결합 측위 알고리즘 개발

위탁연구개발기관
책임자 박종일 외 7명

- TX2와 같은 온보드 상에서 이벤트 카메라 영상 데이터의 빠른 실시간 처리
- 이벤트 카메라에서 추출된 INS결합 데이터 처리 및 영상 데이터 동기화
- 동적 카메라의 최적화된 알고리즘 개발 및 INS결합 측위 알고리즘 개발

### DGIST(위탁)

실외환경에서 강화학습 자율비행을 위한 깊이영상획득 기술 연구

위탁연구개발기관
책임자 임성훈 외 6명

- 시뮬레이션에서 강화학습된 자율비행 알고리즘의 실비행 적용
- 실드론에 장착된 카메라 영상으로부터 깊이거리 영상을 획득하여 강화학습된 자율비행 알고리즘에 입력으로 사용

### 서울대학교(공동)

전기 생리에 기반한 감각신호 대뇌 신경활동 분석

공동연구개발기관
책임자 김준식 외 3명

- 시각-청각 변환 신호에 대한 대뇌 감각 정보처리 연결성 변화 분석
- 실험 자극 제작 및 실험 패러다임 설계
- 시각-청각 변환 신호의 대뇌 신경활동 분석 및 정보처리의 시-공간적 변화 분석

### KAIST(공동)

동물 모델 기반 감각 정보의 지각 메커니즘 연구

공동연구개발기관
책임자 이승희 외 5명

- 시각 정보의 청각 전환에 대한 리시버 반응 메커니즘 규명
- 변환된 단일 감각을 통한 지각 행동 분석 동물 모델 연구
- 감각 변환 학습 후 새로운 기버 자극에 대한 정상적인 리시버 반응성 형성 메커니즘 규명
- 이종 감각 정보 간 1:1 전환 특질 신경 반응성 분석을 위한 실험 설계

### 부경대학교(공동)

사용자 맞춤형 감각 지각 증강 학습 과정 연구

공동연구개발기관
책임자 김채규 외 5명

- 청각 인식 단계 acoustic scene classification 성능 향상 연구
- 객체 이미지를 감정 음악으로 변환하는 감각대체 기술 연구

### KAIST(위탁)

시각 정보의 의미 영역 모델링을 위한 학습 기법 연구

위탁연구개발기관
책임자 주재걸 외 3명

- 시각 정보의 청각 신호 변환을 위한 딥러닝 기반 영상 데이터의 간략화 기술
- Domain Adaptation 기반 높은 정확도를 갖는 의미 영역을 검출하는 딥러닝 모델

### 고려대학교(위탁)

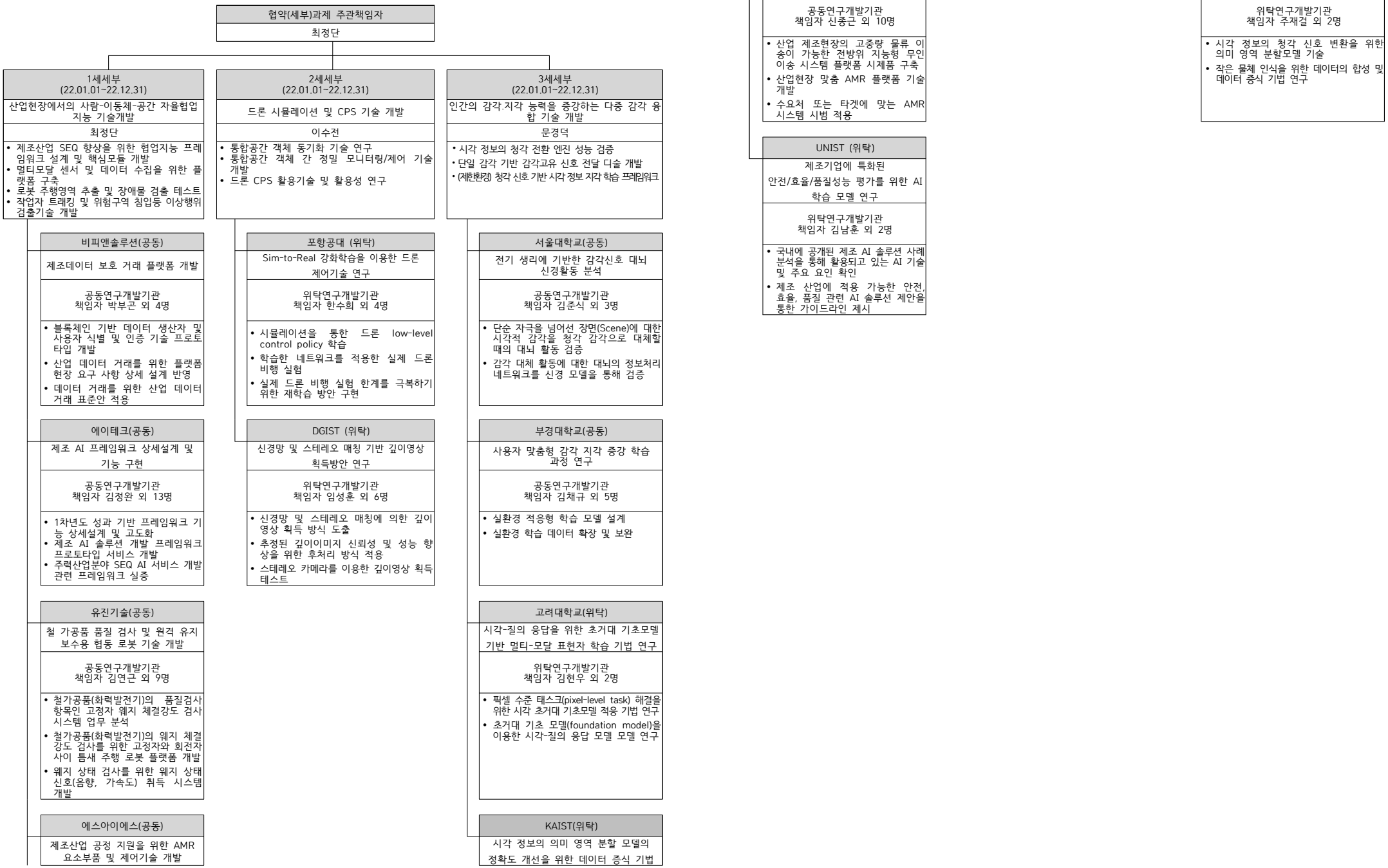
자가학습 지원을 위한 visual description, visual relation detection 연구



위탁연구개발기관
책임자 김현우 외 2명

- 사용자 학습을 위한 시각 정보의 관계성 분석 모델
- DETR (Detection Transfomer)를 HOI (Human Object Interaction)에 적용한 모델 연구

□ 2단계 1차년도(2022년도)



□ 2단계 2차년도(2023년도)

협약(세부)과제 주관책임자

최정단

## 1세세부 (23.01.01~23.12.31)

산업현장에서의 사람-이동체-공간 자율협업 지능 기술개발

최정단

- 제조 협업지능 프레임워크와 SEQ 서비스 기술 연동
- 로봇 기반 산업현장 Safety 서비스 확장기술 개발
- 제조현장 테스트베드 성능 검증시험

### 비피앤솔루션(공동)

제조데이터 보호 거래 플랫폼 개발

공동연구개발기관
책임자 박부곤 외 5명

- 블록체인 기반 보호거래 플랫폼 내 데이터 생산자 및 사용자 식별 및 인증 기능 개발
- 데이터 거래 표준 계약 적용 및 NFT 연계 개발
- 데이터 보호거래 플랫폼 시제품 구현 및 테스트 진행

### 에이테크(공동)

제조 협업지능 프레임워크 프로토타입과 제조 SEQ 서비스 연동 구현

공동연구개발기관
책임자 김정완 외 17명

- 제조 협업지능 프레임워크 핵심 기능 구현
- 제조 협업지능 프레임워크 프로토타입 배포 및 알파테스트 수행
- 제조 SEQ 서비스 연동 실증 및 최적화

### 유진기술(공동)

음향 신호기반 화력발전기의 고정자 웨지 체결강도 품질 검사 협동 로봇 기술 개발

공동연구개발기관
책임자 김연근 외 8명

- 음향기반 고정자 웨지 체결강도 신호분석 및 인식기 설계 개발
- 발전기의 고정자와 회전자의 틈새 주행이 가능한 구동 시스템 설계 및 기술 개발

### 에스아이에스(공동)

제조산업 공정 지원을 위한 AMR 요소부품 및 제어기술 개발

공동연구개발기관
책임자 신인승 외 7명

## 2세세부 (23.01.01~23.12.31)

드론 시뮬레이션 및 CPS 기술 개발

이수전

- 통합공간 객체 동기화 기술 연구
- 통합공간 객체 간 정밀 모니터링/제어 기술 개발
- 드론 CPS 활용기술 및 활용성 연구

### 포항공과대학교 (위탁)

Sim-to-Real 강화학습을 이용한 드론 비행제어 고도화

위탁연구개발기관
책임자 한수희 외 5명

- Sim-to-real gap을 고려한 드론 비행 제어 AI 강화학습
- 실제 드론 비행 데이터를 이용한 드론 비행 제어 AI fine tunning
- 실 드론을 이용한 Sim-to-Real 비행 테스트

### DGIST (위탁)

신경망 및 스테레오 매칭 기반 깊이영상 획득방안 연구

위탁연구개발기관
책임자 임성훈 외 5명

- 신경망 및 스테레오 매칭에 의한 깊이 영상 획득 방식 도출
- 추정된 깊이이미지 신뢰성 및 성능 향상을 위한 후처리 방식 적용
- 스테레오 카메라를 이용한 깊이영상 획득 테스트

## 3세세부 (23.01.01~23.12.31)

인간의 감각.지각 능력을 증강하는 다중 감각 융합 기술 개발

문경덕

- 청각·시각정보의 촉각 전환을 위한 고유 신호 생성 기술 요구사항 분석
- 촉각 기반 고유 신호 전달을 위한 요소기술 개발
- 시각 정보의 청각변환 자가 학습용 학습 프레임워크 요구사항 분석

### 서울대학교(공동)

전기 생리에 기반한 감각신호 대뇌 신경활동 분석

공동연구개발기관
책임자 윤석윤 외 3명

- 공간에 대한 시각적 감각을 청각 감각으로 감각 대체하기 위한 실험 자극 제작 및 실험 설계의 효과성 검증

### 부경대학교(공동)

다중 감각을 이용한 사용자 맞춤형 감각 대체 감정 전달 학습 모델 개발

공동연구개발기관
책임자 김채규 외 5명

- 단일 감각기관의 감정 정보 유형 분석 및 다중 감각 대체 유형 분석

### 고려대학교(위탁)

장면 이해를 위한 신체 - 물체 상호작용 학습 기법 연구

위탁연구개발기관
책임자 김현우 외 5명

- 주어진 영상 프레임 내에서 물체의 상태가 변화는 영상 구간을 탐색하는 모델 및 학습기법 개발
- 영상 프레임 내에서 보이는 물체에 변화가 있는지 없는지를 분류하는 모델 및 학습기법 개발

### KAIST(위탁)

시각 정보의 의미 영역 분할 모델의 정확도 개선을 위한 데이터 증식 기법 연구

위탁연구개발기관
책임자 주재걸 외 4명



- 고중량 구동계 부품 및 요소기술 개발
- 다중 구동체 동기 제어기술 개발
- 8개 휠로 구성된 AMR 설계(2대 연결))
- 3D Lidar를 이용한 S/W 개발

### UNIST (위탁)

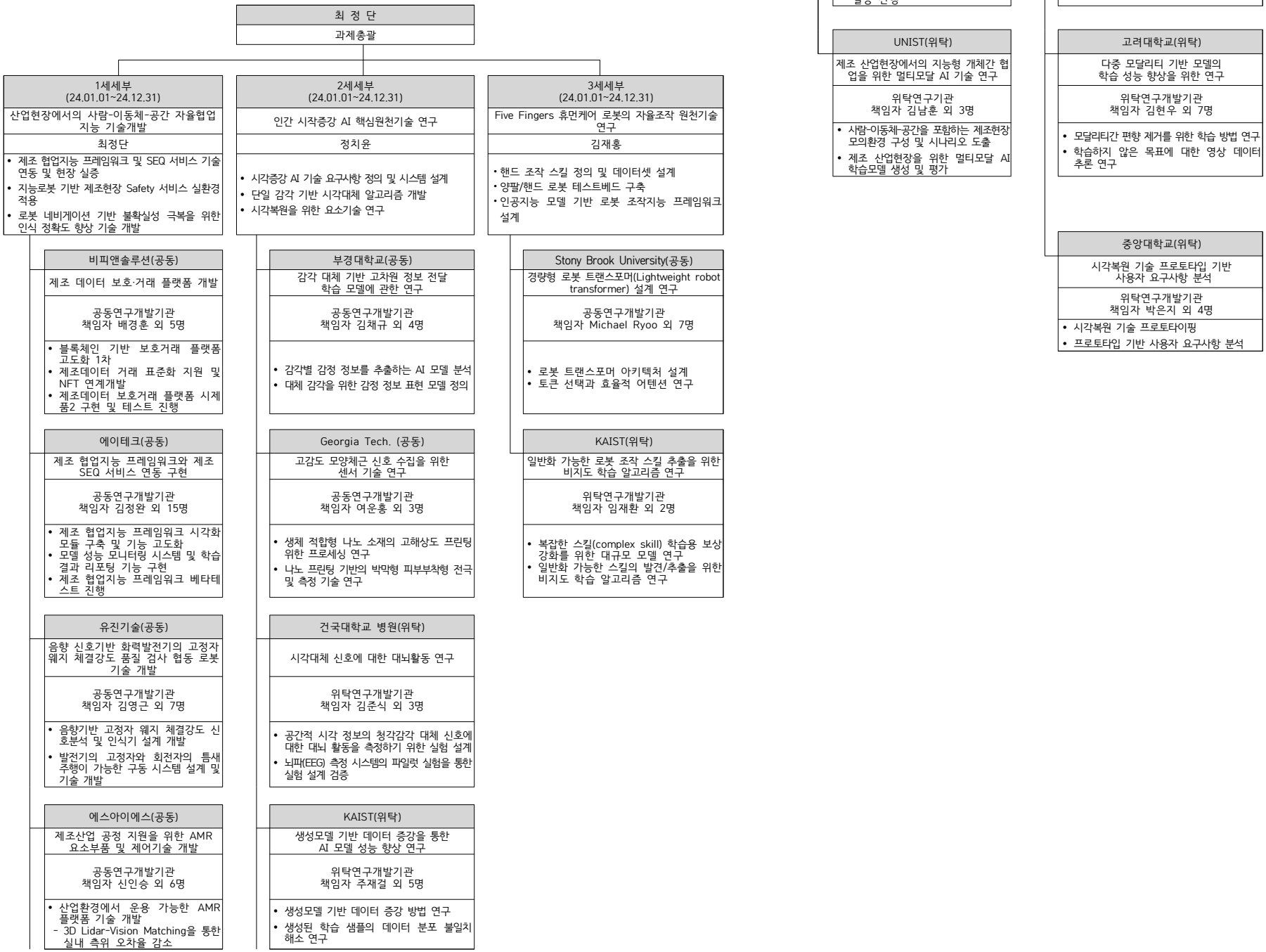
제조현장의 데이터 특성을 반영한 Industrial AI 기반 협업지능 연구

위탁연구기관
책임자 김남훈 외 3명

- 국내외 제조산업용 협업지능 기술 관련 문헌 분석을 통해 인간-로봇 간의 협업지능 기술과 이를 위한 핵심기술 (AI, 로봇) 동향 파악
- 사례분석을 기반하여 제조현장의 특성을 고려한 AI기반 이동형 로봇-인간 협업 시나리오 도출
- 제조산업에서의 협업지능 기술을 위한 AI 학습모델 개발

- 생성 모델을 이용하여 의미 영역 분할 모델링 데이터 합성을 통한 데이터 증강
- 증강된 데이터를 이용하여 의미 영역 분할 모델링 성능 향상

□ 2단계 3차년도(2024년도)






- 관제시스템과의 연동을 통한 내부 실증 진행

UNIST(위탁)

제조 산업현장에서의 지능형 개체간 협업을 위한 멀티모달 AI 기술 연구

위탁연구기관
책임자 김남훈 외 3명

- 사람-이동체-공간을 포함하는 제조현장 모의환경 구성 및 시나리오 도출
- 제조 산업현장을 위한 멀티모달 AI 학습모델 생성 및 평가

고려대학교(위탁)

다중 모달리티 기반 모델의 학습 성능 향상을 위한 연구

위탁연구개발기관
책임자 김현우 외 7명

- 모달리티간 편향 제거를 위한 학습 방법 연구
- 학습하지 않은 목표에 대한 영상 데이터 추론 연구

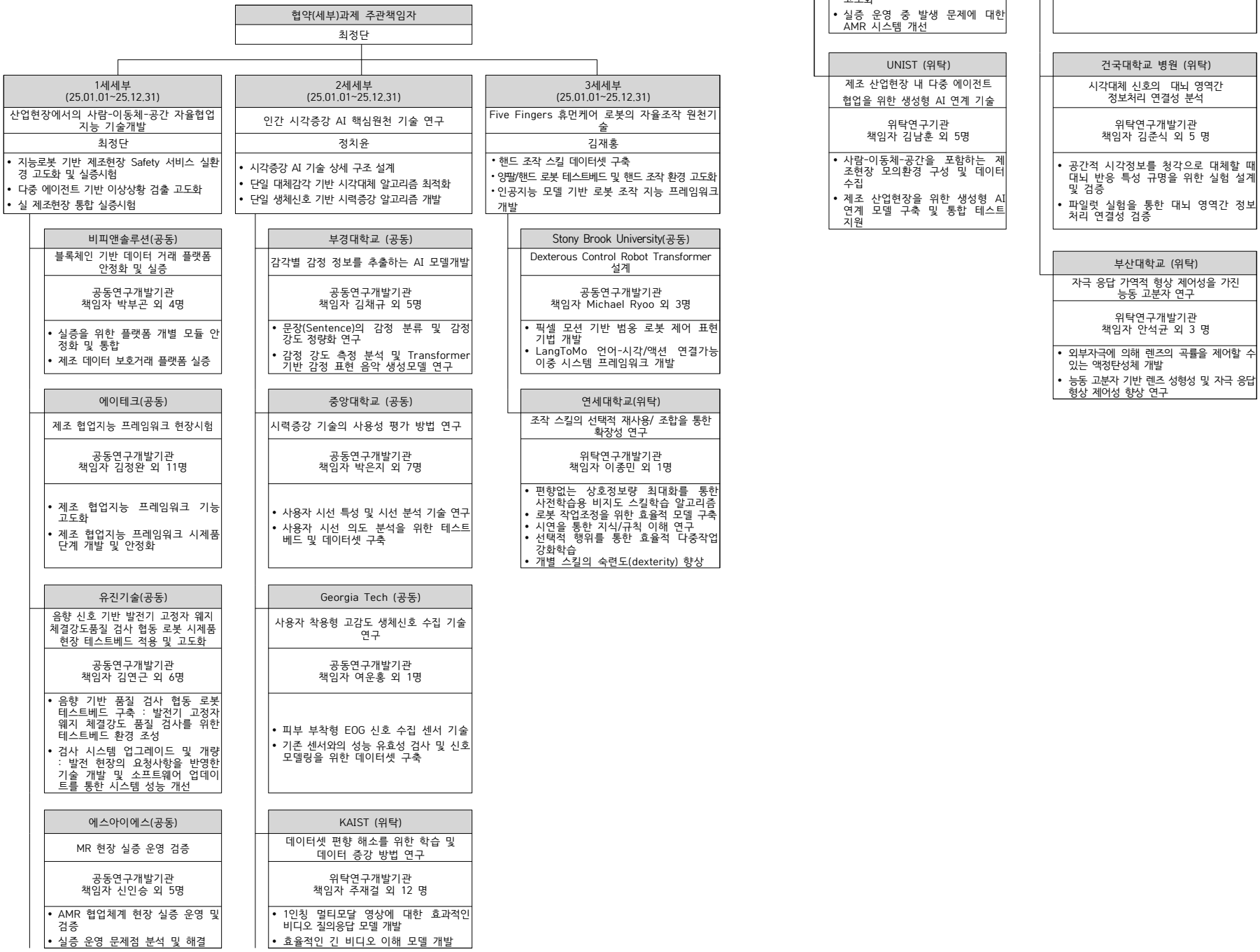
중앙대학교(위탁)

시각복원 기술 프로토타입 기반 사용자 요구사항 분석

위탁연구개발기관
책임자 박은지 외 4명

- 시각복원 기술 프로토타이핑
- 프로토타입 기반 사용자 요구사항 분석

□ 3단계 1차년도(2025년도)



# 3 과제 수행결과 및 목표달성도

## 1. 과제 수행결과

<table>
<tr><th>구분</th><th>1단계 (성과)</th></tr>
<tr><td>정량</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">논문</th><th colspan="4">특허</th><th colspan="2">기술이전</th></tr>
<tr><th rowspan="2">SCI(건)</th><th rowspan="2">비SCI(건)</th><th colspan="2">해외(건)</th><th colspan="2">국내(건)</th><th rowspan="2">건수</th><th rowspan="2">금액(백만원)</th></tr>
<tr><th>출원</th><th>등록</th><th>출원</th><th>등록</th></tr>
<tr><td>17</td><td>37</td><td>16</td><td>4</td><td>17</td><td>2</td><td>9</td><td>410</td></tr>
</table>
•(기타) JCR 상위 20% SCI 논문 6건 게재<br>•(기타) 3극 특허 2건<br>•(기타) 울산시 미래박람회, ETRI 테크데이 전시<br>•(기타) JCR 상위 20% SCI 논문 3건 게재<br>•(기타) (정보과학회 KCC 2021) 휴먼증강-다중감각융합 기술 워크샵 개최(21.06)</td></tr>
<tr><td>정성</td><td>•현장중심 실증을 통한 기술이전 및 상용화 지원<br>•생체적합성 투명 기능성 능동가변소재 독자적 개발 (생체적합성: 공인시험기관 검증완료)<br>•(세계최초) 빛에 응답하여 고속으로 진동 촉감을 생성하는 촉각 출력 인터페이스 개발<br>•드론탐지 송수신 반도체 MWC 출품확정 (코로나로 전시취소)<br>•소형무인이동체(RCS=0.01m2)를 탐지할 수 있는 X-band 소형 레이더 핵심 반도체 부품개발<br>•사람 대상으로 검증 불가능한 감각 대체 기전 및 지각 과정을 동물 모델로 확인하는 계기 마련<br>•고가의 fMRI 방법으로도 분석이 불가능한 대뇌 감각 정보처리 연관성 분석을 EEG를 활용하여 대뇌 감각 정보처리 과정을 분석하는 방법 제시<br>•(세계최초) 다양한 시각 정보 학습 및 사용자 학습 데이터 축적 가능 학습 프레임워크 개발<br>•대규모(100대) 드론 동시 시뮬레이션 시험 성공<br>•기존 대비 정보 전달 2배 향상, 다양한 시각 정보 전달 가능한 V2A 변환 알고리즘 확보<br>•(세계최초) 객관적 검증이 가능한 딥러닝 기반 지각 해상도 검증 모델 개발 및 실제 시각장애인 실험을 통한 AI모델과의 상호연관성 검증</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>구분</th><th>2단계 (성과)</th></tr>
<tr><td>정량</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">논문</th><th colspan="4">특허</th><th colspan="2">기술이전</th></tr>
<tr><th rowspan="2">SCI(건)</th><th rowspan="2">비SCI(건)</th><th colspan="2">해외(건)</th><th colspan="2">국내(건)</th><th rowspan="2">건수</th><th rowspan="2">금액(백만원)</th></tr>
<tr><th>출원</th><th>등록</th><th>출원</th><th>등록</th></tr>
<tr><td>15.4</td><td>76</td><td>12</td><td>4</td><td>22</td><td>6</td><td>7</td><td>350</td></tr>
</table>
•(사업화)협업지능 프레임워크 기반 SEQ 솔루션 사업화 매출 18.6억원<br>•(표준화) 블록체인 기반 제조데이터 거래 플랫폼 TTA 표준<br>•(기타) JCR 상위 20% 논문 1건, JCR 상위 21% 논문 1건 게재 및 우수학술대회(CVPR) 2건 발표<br>•(기타) 울산시 미래박람회, ETRI 테크데이 전시<br>•(기타) 신규인력고용(9명)<br>•(사업화) 협업지능 프레임워크 기반 SEQ 솔루션 사업화 매출 8.3억원, AGV 매출 1.0억원<br>•(기타) 신규인력고용 16명<br>•(기타) IF 상위 20% 논문 5건 게재<br>•(기타) 드론쇼코리아 전시, 폴란드 항공연구소 기술발표, 드론작전사령부 기술발표<br>•(기타) JCR 상위 5% 논문 1건, SCIE논문 3건 게재 및 우수학술대회 3건 (AAAI, ICCV, CVPR) 발표<br>•(기타) KCC 2023 휴먼증강 기술 워크샵 개최<br>•(기타) 기술이전 3건 (1.3억)<br>•(기타) JCR 상위 3.3% 논문 1건, SCIE 논문 2건 게재 및 우수학술대회 5건 (CVPR 등) 발표<br>•(기타) KCC 2024 휴먼증강 기술 워크샵 개최<br>•(기타) 우수학술대회 2건(ECCV*2) 발표<br>•[기타] 우수학술대회 워크샵(ECCVW,NeurIPS, CoRLW*3) 5건 발표</td></tr>
<tr><td>정성</td><td>•제조기업 Safety 지원을 위한 중소기업 대상 DB 수집 및 테스트베드 구축<br>•제조기업 공정지원 및 품질향상 지원용 시제품 개발<br>•(세계최초) 베플 구간이 있는 발전기 내부 주행 및 웨지 검사용 협동 로봇 시제품 개발<br>•CPS 내 다중(실제-가상) 드론 간 유기적연동 기술 개발<br>•대규모 분산 드론 시뮬레이션 기능 및 CPS 기능 통합 개발<br>•(세계최고)정보 전달량(2배), 지각률(2.7%) 향상된 윤곽, 위치, 크기, 거리, 공간 지각 가능한 V2A 알고리즘 개발<br>•제조기업 Safety 지원 기술 성능 검증을 위한 SK에너지 제조현장 테스트베드 구축<br>•드론 CPS 내 군집 드론의 효율적 제어 및 모니터링 (군사목적 전술훈련 지원)<br>•다양한 필드시험을 통한 드론 CPS 기술 및 활용성 검증<br>•(세계최초)학습 효과 제고를 위한 교육 이론(사용자 숙달 수준) 기반 학습 모델 정립 → 학습효과 향상(5%↑) 검증<br>•(세계최초) 동물 모델 및 대뇌 EEG 분석을 통한 신경가소성에 대한 뇌 반응 기전을 시공간을 통합적으로 분석할 수 있는 기반 마련 → JCR 상위 5% 저널 게재<br>• 다중 로봇 기반 제조현장 안전을 위한 현장 실증시험 실시 (한국전력연구원)<br>• 다중 로봇 기반 제조현장 안전기술에 대한 방송매체 홍보(YTN,TJB,KBS)<br>• 중재 기반 감각대체 학습 프레임워크을 통한 시각대체 학습 효과 향상 → 지각률 10.4% 증가<br>• EEG 신호 분석을 통한 청각대체 신호의 지각 경로 규명 → JCR 상위 3.3% 저널 게재<br>• 사람 작업 동작을 모방하여 실시간 양팔/양손 작업이 가능한 로봇 테스트베드 구축<br>• 기존 SOTA(UT Austin/NVIDIA, ‘24.06) 대비 높은 9.7%p 성능, 모델 크기 0.32B/추론 속도 33Hz의 경량/고속 VLA 모델 개발</td></tr>
</table>



<table>
<tr><th>구분</th><th>3단계 (성과)</th></tr>
<tr><td>정량</td><td>
<table>
<tr><th colspan="2">논문</th><th colspan="4">특허</th><th colspan="2">기술이전</th></tr>
<tr><th rowspan="2">SCI(건)</th><th rowspan="2">비SCI(건)</th><th colspan="2">해외(건)</th><th colspan="2">국내(건)</th><th rowspan="2">건수</th><th rowspan="2">금액(백만원)</th></tr>
<tr><th>출원</th><th>등록</th><th>출원</th><th>등록</th></tr>
<tr><td>3.5</td><td>35</td><td>7</td><td>2</td><td>20</td><td>5</td><td>1</td><td>30</td></tr>
</table>
•(사업화)협업지능 프레임워크 기반 품질서비스 기술 및 AMR 등 사업화 3건, 매출 1,720백만원<br>•(표준화) 블록체인기반 제조데이터 거래 플랫폼 기술 (한국정보통신기술협회)<br>•(기타) 기술이전 1건 (0.3억)<br>•(기타) 발전기 품질검사 연구소 기업 설립 1건<br>•(기타) SCIE 상위 10% 논문 1건<br>•(기타) JCR 상위 5% 논문 2건 포함 SCIE 3건 게재, 우수학술대회 7건 (CVPR, CHI 등) 발표<br>•(기타) KCC 2025 휴먼증강 기술 워크샵 및 광주디자인비엔날레 2025 기술 전시<br>•(기타) 우수학술대회 3건 (ICRA, AAAI, ICLR), 우수학술대회 워크샵 4건 (ICCVW 2건, NeurIPSW 2건) 발표</td></tr>
<tr><td>정성</td><td>• 실 제조현장에서의 이상상황 감시 기술 실증시험 실시 ((주)에이스앤이@울산)<br>• 지능로봇 기반 제조현장 안전기술에 대한 홍보(WAVE2000, ETRI 테크데이 등)<br>• 다종의 아날로그 게이지 인식률 94% 달성<br>• 임베디드 기기에서 CPU/GPU를 효율적으로 활용하여 AI 모델의 추론 시간 감소 → 추론 시간 감소비 20% 이상<br>• 교육이론 기반 감각대체 학습 프레임워크 개발을 감각대체 기술 활성화 방안 마련 → JCR 상위 2% 저널 게재<br>• 고속대변형성을 갖는 초점가변렌즈 요소 기술 확보 → 5단계 초점 가변 및 120 ms 이내 초점가변 속도<br>• 충돌을 방지하고 안전한 로봇 조작이 가능한 로봇 텔레오퍼레이션 및 스킬 추론 시스템<br>• 한팔/그리퍼, 양팔/핸드(4 fingers), 휴머노이드 양팔/헨드(5 fingers) 등 다양한 유형의 로봇에 대한 로봇 조작 지능 기반 기술 확보를 통해 향후 응용 가능성과 활용 효율 향상</td></tr>
</table>

가. 세부 정량적 성과 (해당되는 항목만 선택 작성, 증빙자료 별도 첨부)

(가) 1 단계(2020년도~2021년도)

**[과학적 성과]**

☐ **논문(국내외 전문 학술지) 게재**

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부 (SCIE/비SCIE) | 게재일 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | A Two-Hop Real-Time LoRa Protocol for Industrial Monitoring and Control Systems | IEEE ACCESS | HUU PHI TRAN | 8 | 미국 | IEEE | SCIE | 2020.8 | | 100 |
| 2 | Performance Analysis and Optimization of the Coverage Probability in Dual Hop LoRa networks with Different Fading Channels | IEEE ACCESS | TIEN HOA NGUYEN | 8 | 미국 | IEEE | SCIE | 2020.8 | | 100 |
| 3 | Sleep State Classification Using Power Spectral Density and Residual Neural Network with Multichannel EEG Signals | applied sciences | Md Junayed Hasan | 10 | 미국 | IEEE | SCIE | 2020.10 | | 100 |
| 4 | An Adaptive Batch-Image Based Driver Status Monitoring System on a Lightweight GPU-Equipped SBC | IEEE Access | WHUI KIM | 8 | 미국 | IEEE | SCIE | 2020.10 | 2020.3035393 | 100 |
| 5 | 조선해양산업과 정보통신기술 융합 동향에 따른 표준화 현황 | 전자통신동향 분석 | | 35권 제3호 | | | | | | |
| 1 | Dielectric Elastomers UV-Cured from Poly(dimethylsiloxane) Solution in Vinyl Acetate | Polymers | Seung Koo Park | 12 | Swiss | MDPI | SCIE | 2020.11.11 | 2073-4360 | 100 |
| 2 | Monolithic focus-tunable lens technology enabled by disk-type dielectric-elastomer actuators | Scientific Reports | Bong Je Park | 10 | United Kingdom | Nature Publishing Group | SCIE | 2020.10.09 | 2045-2322 | 50 |
| 3 | A Light-Driven Vibrotactile Actuator with a Polymer Bimorph Film for Localized Haptic Rendering | Acs Applied Materials & Interfaces | Inwook Hwang | 9 | USA | ACS | SCIE | 2021.01.20 | 1944-8244 | 90 |
| 4 | Highly contrative, real-time modulation of light intensity by reversible stress-whitening of spontaneously formed nanocomposites: | Journal of Materials Chemistry C | Seung Koo Park | 9 | United Kingdom | Royal Society of Chemistry | SCIE | 2021.06.02 | 2050-7526 | 90 |



| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | application to wearable strain sensors | | | | | | | | | |
| 5 | Temperature Gradient-Driven Multilevel and Grayscale Patterning of Tosylate-Doped Poly(3,4-Ethylenedioxythiophene) Films for Flexible and Functional Electronics | Advanced Materials Technologies | Ju Hyeon Kim | 6 | Germany | Wiley-VCH | SCIE | 2021.08.16 | 2365-709X | 50 |
| 6 | 8.2-GHz band radar RFICs for an 8 × 8 phased-array FMCW receiver developed with 65-nm CMOS technology | ETRI Journal (Accepted: 8 May 2020 DOI: 10.4218/etrij.2020-0046) | 한선호 | - | 한국 | 한국 | SCIE | 2020.5.8 | DOI: 10.4218/etrij.2020-0046 | 100 |
| 7 | Untrimmed BGR of 1.1% 3σ Based on Dynamic-Biased Op Amp With Reduced Voff | IEEE Transactions on Circuits and Systems II-Express Briefs (Vol. 67, No. 10, October 2020 1549-7747 3.25 70.11329.887) | 이자열 | VOL. 67, | 미국 | 미국 | SCIE | 2020.10.10 | 1549-7747 | 100 |
| 8 | A UAV-assisted CH election framework for secure data collection in wireless sensor networks | Future Generation Computer Systems | 왕기철 | 102 | 네덜란드 | Elsevier | SCIE (상위 20%) | 2020.01 | 0167-739X | 100% |
| 9 | 드론을 노리는 사이버 공격과 방어 | Secu N | 왕기철 | 139 | 한국 | ㈜테크월드 | - | 2020.08.18 | 2005-6230 | 100% |
| 10 | 드론 시뮬레이션 기술 | 전자통신동향 분석 | 이수전 | 35 | 한국 | ETRI | - | 2020.08 | 1225-6455 | 100% |
| 11 | Sparse Variational Deterministic Policy Gradient for Continuous Real Time Control | IEEE Transactions on Industrial Electronics | 백종찬 | 68 | 미국 | IEEE | SCIE (상위 20%) | 2021.10 | 2780046 | 50% |
| 12 | 무인기 기반 IoT 네트워크를 위한 클러스터 헤드 선출 프레임워크 동향 | 주간기술동향 | 왕기철 | 2019 | 한국 | IITP | - | 2021.10.20 | - | 100% |
| 13 | 시각 정보의 청각 변환을 위한 시각장애인의 정보 선호도 분석 | 정보기술융합 공학논문지 | 김무섭 | v.10 n.1 | 한국 | 조선대 | - | 20.06.30 | 2234-3326 | 100% |
| 14 | SE-ResNeXt 기반 위험 소리 분류에 관한 연구 | 한국지능시스템학회논문지 | 김주은 | v.30 n2 | 한국 | 한국지능시스템학회 | - | 20.04.01 | 2288-2324 | 100% |
| 15 | Somatostatin enhances visual processing and perception by suppressing excitatory inputs to parvalbumin-positive interneurons in V1 | Science advances | 송유향 | v.6 n.17 | 미국 | Science | SCIE (상위 4%) | 20.04.22 | 2375-2548 | 10% |
| 16 | Analysis and Validation of Cross-Modal Generative Adversarial | Int. J. Environ. Res. Public Health | 김무섭 | v.18 n.12 | 스위스 | MDPI | SCIE (상위 18.4%) | 21.06.08 | 1660-4601 | 100% |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Network for Sensory Substitution | | | | | | | | | |
| 17 | Accelerating On-Device Learning with Layer-Wise Processor Selection Method on Unified Memory | Sensors | 하동휘 | v.21 n.7 | 스위스 | MDPI | SCIE | 21.05.29 | 1424-8220 | 100% |
| 18 | Gated feedforward inhibition in the frontal cortex releases goal-directed action | Nature Neuroscience | 김재현 | v24 n10 | 미국 | Nature | SCIE (상위 0.5%) | 21.08.19 | 1546-1726 | 10% |
| 19 | Learning to Balance Local Losses via Meta-Learning | IEEE Access | 여승동 | v.9 | 미국 | IEEE | SCIE | 21.09.20 | 2169-3536 | 30% |
| 20 | 시각 정보의 청각 대체를 위한 청각 해상도 분석 연구 | 한국지능시스템학회논문지 | 김무섭 | v.31 n.3 | 한국 | 한국지능시스템학회 | - | 21.06.30 | 2288-2324 | 100% |
| 21 | 균형 잡힌 데이터 증강 기반 영상 감정 분류에 관한 연구 | 한국멀티미디어학회 논문지 | 정치윤 | v.24 n.7 | 한국 | 한국멀티미디어학회 | - | 21.07.30 | 2384-0102 | 100% |

## □ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | ICTC 2020 | 김재명 | 2020.10 | 제주 | 대한민국 |
| 2 | 대한전자공학회 하계학술대회 | 박정호 | 2020.06 | 제주 | 대한민국 |
| 3 | 한국인터넷정보학회 추계학술대회 | 박정호 | 2020.11 | 제주 | 대한민국 |
| 4 | ICTC 2020 | 윤창락 | 2020.10 | 제주 | 대한민국 |
| 5 | ICTC 2020 | 이경희 | 2020.10 | 제주 | 대한민국 |
| 6 | ICTC 2020 | 김경호 | 2020.10 | 제주 | 대한민국 |
| 7 | ICTC 2020 | 권영진 | 2020.10 | 제주 | 대한민국 |
| 8 | 한국통신학회 종합학술발표회 | 김휘 | 2020.02 | 용평 | 대한민국 |
| 9 | 한국감성과학회 추계학술대회 | 김휘 | 2020.12 | 대전 | 대한민국 |
| 10 | 한국감성과학회 추계학술대회 | 윤창락 | 2020.12 | 대전 | 대한민국 |
| 11 | 한국감성과학회 춘계학술대회 | 김경호 | 2020.08 | 충주 | 대한민국 |
| 12 | 한국정보처리학회 추계학술대회 | 이동환 | 2020.12 | 대전 | 대한민국 |
| 13 | 한국감성과학회 추계학술대회 | 권영진 | 2020.12 | 대전 | 대한민국 |
| 14 | 한국통신학회 추계학술대회 | 황윤숙 | 2020.11 | online | 대한민국 |
| 15 | 2021 대한임베디드공학회 학술대회 | 박정호 | 2021.11 | 제주 | 대한민국 |
| 16 | ICIEC | 박상홍 | 2020.01 | 바로셀로나 | 스페인 |
| 17 | 대한전자공학회 추계학술대회 | 구본태 | 2020.11. | 광주 | 대한민국 |
| 18 | 2020 항공우주학회 추계학술대회 | 이수전 | 2020.11 | 제주 | 대한민국 |
| 19 | 2020 항공우주학회 추계학술대회 | 황유락 | 2020.11 | 제주 | 대한민국 |
| 20 | 2020 항공우주학회 추계학술대회 | 양정기 | 2020.11 | 제주 | 대한민국 |
| 21 | 2021 항공우주학회 추계학술대회 | 이수전 | 2021.11 | 제주 | 대한민국 |
| 22 | 2021 항공우주학회 추계학술대회 | 임광재 | 2021.11 | 제주 | 대한민국 |
| 23 | 2021 항공우주학회 추계학술대회 | 황유락 | 2021.11 | 제주 | 대한민국 |
| 24 | 2021 항공우주학회 추계학술대회 | 양정기 | 2021.11 | 제주 | 대한민국 |



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 25 | 2021 항공우주학회 추계학술대회 | 최의환 | 2021.11 | 제주 | 대한민국 |
| 26 | 2021 항공우주학회 추계학술대회 | 김인준 | 2021.11 | 제주 | 대한민국 |
| 27 | 정보처리학회 춘계학술발표대회 | 이선경 | 20.05.28 | | Virtual Conference |
| 28 | ICTC2021 | 조수화 | 21.10.22 | | Virtual Conference |
| 29 | IEEE ICASSP 2021 | 조영우 | 21.06.06 | | Virtual Conference |
| 30 | 한국컴퓨터종합 학술대회(KCC2021) | 하동휘 | 21.06.24 | | Virtual Conference |
| | | | | | |

## [기술적 성과]

## □ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재) | 국명 | 출원 | | | | 등록 | | | 기여율 | 활용 여부 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 출원인 | 출원일 | 출원 번호 | 등록 번호 | 등록인 | 등록일 | 등록 번호 | | |
| 1 | LoRa 네트워크에서 실시간 신뢰성 있는 데이터 전송을 위한 디바이스의 슬랏 스케쥴링 방법 | 대한민국 | 정우성 | 20.08.07 | 2020-0099001 | | | | | 100% | X |
| 2 | 통신 음영지역 해소를 위한 LoRaWAN 릴레이 시스템 및 그 운용 방법 | 대한민국 | 윤태현 | | | | | 20.08.24 | 2149182 | 100% | X |
| 3 | 뇌파 기반 복합 상태인지를 통한 인적오류 사고 방지장치 및 방법 | 대한민국 | 김종면 | 20.11.09 | 2020-0148806 | | | | | 50% | X |
| 4 | METHOD OF RECOGNIZING EMOTION OF DRIVER AND APPARATUS USING THE SAME | 미국 | 윤창락 | 20.02.13 | 16/790480 | | | | | | |
| 5 | 적응형 크기의 배치 이미지를 활용한 실시간 인공지능 인식 및 분석 기술 운용 방법 | 대한민국 | 김휘 | 20.11.18 | 10-2020-0154754 | | | | | | |
| 6 | 운전자 맞춤형 공조 제어 시스템 및 방법 | 대한민국 | 이경희 | | | | | 20.09.16 | 제10-2158741호 | | |
| 7 | 감정 인식 방법 및 장치 | 대한민국 | 이경희 | 20.03.10 | 10-2020-0029397 | | | | | | |
| 8 | 사용자 인터랙션을 위한 차량 내부 디스플레이 화면 표시 방법 및 장치 | 대한민국 | 이경희 | 20.12.23 | PR20201211 | | | | | | |
| 9 | Shape-Variable electronic device and operation method of the same | 미국 | 윤성률 | 20.08.31 | 16/976950 | | | | | 50% | X |
| 10 | Shape-Variable electronic device and operation method of the same | 중국 | 윤성률 | 20.10.12 | 202080002259.3 | | | | | 50% | X |
| 11 | Shape-Variable electronic device and operation method of the same | 독일 | 윤성률 | 20.10.19 | 112020000040.0 | | | | | 50% | X |
| 12 | Apparatus for generating vibrotactile sensation | 미국 | 황인욱 | 20.08.11 | 16/991520 | | | | | 100% | X |
| 13 | Light transmittance control film and composition for the light transmittance control film | 미국 | 박승구 | 18.12.03 | 16/306866 | | | 21.06.22 | 11041055 | 50% | X |
| 14 | Light transmittance control film and composition for the light transmittance control film | 중국 | 박승구 | 18.11.28 | 201880002175.2 | | | 21.08.03 | ZL201880002175.2 | 50% | X |
| 15 | [redacted] | | | | | | | | | 100% | X |
| 16 | Method and apparatus for operating drones for linking physical drone with virtual drone | 미국 | 김인준 | 2020.12.03 | 1510-2020-02552 | | | | | 100% | X |
| 17 | 물리 드론과 가상 드론의 연동을 위한 드론 운용 방법 및 장치 | 한국 | 김인준 | 2021.08.04 | 10-2021-0102690 | | | | | 100% | X |
| 18 | [redacted] | | | | | | | | | 100% | X |
| 19 | | | | | | | | | | 100% | X |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 20 | [redacted] | | | | | | | | | 100% | X |
| 21 | | | | | | | | | | 100% | X |
| 22 | | | | | | | | | | 100% | X |
| 23 | | | | | | | | | | 100% | X |
| 24 | 빔의 부엽 제어가 가능한 저전압 고해상도 위상 천이기 회로 및 제어방법 | 한국 | 한선호 | 2020-05-22 | 2020-0061309 | - | - | - | - | 100 | |
| 25 | 구동 증폭 장치 | 한국 | 박민 | 2020-05-12 | 2020-0056640 | - | - | - | - | 100 | |
| 26 | Push-Pull Oscillator | 미국 | 이자열 | 2019-10-14 | 16/600966 | - | 이자열 | 2021-02-09 | 10917046 | 100 | |
| 27 | Phase shifter with function of controlling beam side lobe | 미국 | 한선호 | 2021-05-21 | 17/327401 | - | - | - | - | 100 | |
| 28 | Drive amplifier apparatus | 미국 | 박민 | 2021-05-11 | 17/317483 | - | - | - | - | 100 | |
| 29 | 감각 대체 장치 및 방법 | 미국 | 김무섭 | 20.10.15 | 17/071611 | | | | | 100% | X |
| 30 | | 독일 | 김무섭 | 20.10.19 | 102020127441.6 | | | | | 100% | X |
| 31 | | 중국 | 김무섭 | 20.10.26 | 202011154380.6 | | | | | 100% | X |
| 32 | 색 지각의 촉각 치환 장치 및 조작 방법 | 미국 | 박준석 | 20.12.23 | 17/132610 | | | | | 100% | X |
| 33 | 감각 대체 조정 장치 | 미국 | 김무섭 | 20.11.06 | 17/091575 | | | | | 100% | X |
| 34 | 감각대체장치 및 방법 | 한국 | 김무섭 | 20.09.08 | 2020-0114967 | | | | | 100% | X |
| 35 | 감각 대체 조정 장치 및 방법 | 한국 | 김무섭 | 20.10.05 | 2020-0128249 | | | | | 100% | X |
| 36 | 깊이-시간 매핑 기반의 감각 치환 장치 및 그 방법 | 한국 | 정치윤 | 20.11.16 | 2020-0152887 | | | | | 100% | X |
| 37 | 시각정보의 다중경로 전달 방법 및 장치 | 한국 | 김무섭 | 21.10.01 | 2021-0130969 | | | | | 100% | X |
| 38 | [redacted] | | | | | | | | | 100% | X |
| 39 | APPARATUS AND METHOD FOR SENSORY SUBSTITUTION BASED ON DEPTH-TIME MAPPING | 미국 | 정치윤 | 21.11.15 | 17/526525 | | | | | 100% | X |

### □ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록 번호 | 저작권자명 | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 스마트 HSE 플랫폼 IoT 데이터 수집 프로그램 | 20.11.01 | 한국전자통신연구원 | 20.12.03 | C-2020-047697 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 2 | 스마트 HSE 플랫폼 3D 모니터링 프로그램 | 20.11.01 | 한국전자통신연구원 | 20.12.03 | C-2020-047699 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 3 | 스마트 HSE 플랫폼 서버관리 프로그램 | 20.11.01 | 한국전자통신연구원 | 20.12.03 | C-2020-047696 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 4 | 얼굴 표정 인식 프로그램 | 20.09.15 | 한국전자통신연구원 | 20.10.13 | C-2020-035165 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 5 | 형상가변형 디지털 계기판 효용성 검증용 데이터 전처리 및 분석 프로그램 | 20.08.31 | 한국전자통신연구원 | 20.09.22 | C-2020-032405 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 6 | 생성적 적대 신경망 기반 시각-청각 변환 신호의 청각 해상도 분석 모델 | 21.08.04 | 한국전자통신연구원 | 21.09.15 | C-2021-037118 | 한국전자통신연구원 | 100% |

## [경제적 성과]

### □ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작 업체명 | 설치 장소 | 이용 분야 | 사업화 소요 기간 | 인증기관 | 인증일 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|



| | | | | | | | (해당 시) | (해당 시) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | IR-UWB 앵커, 태그 및 GUI | 20.12 | ETRI | ETRI | 측위 | ~23.12 | | |
| 2 | 스마트 게이트 | 20.11 | 비피앤솔루션 | ETRI | 출입관리 | 21.01~ | | |
| 3 | 특수목적 작업용 차량 제품 | 20.04 | 비피앤솔루션 | 비피앤솔루션 | 차량인증관리 | 21.08~ | | |
| 4 | 휴대용가스감지기 (표준가스) | 20.03 | ETRI | ETRI | 가스측정 | 20.08~ | KC 인증 | 20.01 |
| 5 | 휴대용 가스감지기 (불화수소) | 20.06 | ETRI | ETRI | 가스측정 | 20.08~ | | |
| 6 | 내압방폭형 흡입식 가스감지기 | 20.10 | ETRI | ETRI | 가스측정 | 20.08~ | 내압방폭(Ex d) | 20.08 |
| 7 | LoRa Gateway | 20.09 | ETRI | ETRI | 밀폐공간통신 | 20.08~ | | |
| 8 | LoRa Relay | 20.06 | ETRI | ETRI | 밀폐공간통신 | 20.08~ | | |
| 9 | 이동형 가스 모니터링 시스템 | 20.11 | ETRI | ETRI | 가스측정 | 20.08~ | | |
| 10 | 웹/앱기반 가스 모니터링 소프트웨어 | 20.06 | ETRI | ETRI | 가스측정 | 20.08~ | | |
| 11 | 헬리카이트 고도화 시제품 | 20.10 | 스카이시스 | 스카이시스 | 항공영상 | 21.08~ | | |
| 12 | 차량탑재용 전동윈치, 전력공급장치 | 20.10 | 스카이이스 | 스카이시스 | 항공영상 | 21.08~ | | |
| 13 | 안테나시스템 고도화 시제품 | 20.04 | ETRI | ETRI | 데이터 통신 | 22.12~ | | |
| 14 | DCluster 통합 CID | 20.11 | ETRI | ETRI | 자동차 Cockpit | 23.12~ | | |
| 15 | Smart PLM System | 20.11 | ETRI | ETRI | 자동차 Cockpit | 22.12~ | | |
| 16 | 운전자 상태기반 스마트공조시스템 윈도우 연동장치 개발 | 20.10 | ETRI | ETRI | 자동차 Cockpit | 23.12~ | | |
| 17 | 산업차량정보수집용 게이트웨이 단말기 | 20.12 | ETRI | ETRI | 자동차 Cockpit | 22.12~ | | |
| 18 | 운전자 맞춤형 클라우드 서버 서브시스템 | 20.11 | 스퀘어네트 | 스퀘어네트 | 자동차 Cockpit | 22.12~ | | |
| 19 | 운전자 맞춤형 단말 서브 시스템 | 20.11 | 스퀘어네트 | 스퀘어네트 | 자동차 Cockpit | 22.12~ | | |
| 20 | 산업용 차량 가이던스 시스템 | 20.11 | 언맨드솔루션 | 언맨드솔루션 | 자동차 Cockpit | 23.12~ | | |
| 21 | 기밀성을 유지하는 블록체인 기반의 AI 서비스 | 21.11 | ETRI | ETRI | 데이터 보호 | 23.12~ | | |
| 22 | 제조데이터 보호거래 플랫폼 | 21.11 | 비피앤솔루션 | ETRI | 데이터 보호 | 23.12~ | | |
| 23 | 대규모 다중드론 시뮬레이션 및 고정밀 드론 물리모델 | 20.11 | 제이투와이소프트 | ETRI | 드론 운용 및 시뮬레이션 | ~23.12 | | |
| 24 | 무인기 시뮬레이터 상에서 경로이탈 탐지 및 대응 구현과 시뮬레이터와 연동된 강화학습에 의한 실외 비행 구현 | 20.11 | 젠토 | ETRI | 드론 운용 및 시뮬레이션 | ~23.12 | | |
| 25 | 시뮬레이션에 이식할 상용 드론의 3D 모델 및 물성치 | 20.11 | 유비파이 | ETRI | 드론 운용 및 시뮬레이션 | ~23.12 | | |
| 26 | 시뮬레이터 연동 다중 무인기 3차원 공간 기반 운용제어소프트웨어 | 20.11 | 에이알브릿지 | ETRI | 드론 운용 및 시뮬레이션 | ~23.12 | | |
| 27 | 다중 드론 협업 시뮬레이션 및 실제-가상 드론 연계형 CPS | 21.11 | 제이투와이소프트 | ETRI | 드론 운용 및 시뮬레이션 | ~23.12 | | |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 시작품 | | | | | | | |
| 28 | 가상 및 실제 환경 연동 다중 무인기 운용제어 및 정보교환 시스템 | 21.11 | 에이알브릿지 | ETRI | 드론 운용 및 시뮬레이션 | ~23.12 | | |
| 29 | 다중 드론 협업을 위한 UWB 통신 모듈 | 21.11 | 와이파이브 | ETRI | 드론 운용 및 시뮬레이션 | ~23.12 | | |

### □ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일 | 기술료 (해당 연도 발생액) | 누적 징수 현황 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 정액기술료 | 무인비행장치 영상 모니터링을 위한 지상 제어 시스템 | 스카이시스 | 2020.04.28. | 40,000 | |
| 2 | 정액기술료 | Private LoRa 통신 시스템 기술(3세부 기술) | ㈜한울아이씨티 | 2020.12.04. | 20,000 | |
| 3 | 정액기술료 | 스마트 HSE 플랫폼 기술(3세부기술) | ㈜유피시앤에스 | 2020.12.15. | 30,000 | |
| 4 | 정액기술료 | 스마트 HSE 플랫폼 기술(3세부기술) | ㈜비피앤솔루션 | 2020.12.15. | 30,000 | |
| 5 | 정액기술료 | 스마트 HSE 플랫폼 기술(3세부기술) | ㈜대명엘리베이터 | 2020.12.15. | 30,000 | |
| 6 | 정액기술료 | 스마트 HSE 플랫폼 기술(1,2,3세부기술) | ㈜유비마이크로 | 2020.12.15. | 60,000 | |
| 7 | 정액기술료 | 운전자 맞춤형 Cockpit을 위한 운전자 정보분석 및 운전정보 표출 기술 | ㈜스퀘어네트 | 2020.11.12. | 50,000 | |
| 8 | 정액기술료 | 운전자 맞춤형 Cockpit을 위한 운전자 정보분석 및 운전정보 표출 기술 | ㈜원팀컴퍼니 | 2020.12.11. | 50,000 | |
| 9 | 정액기술료 | 운전자 맞춤형 Cockpit을 위한 운전자 정보분석 및 운전정보 표출 기술 | ㈜이에스피 | 2020.12.31. | 100,000 | |

### □ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식1」 | 사업화 형태2」 | 지역3」 | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액 | | 매출 발생 연도 | 기술 수명 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 국내 (천원) | 국외 (달러) | | |
| 1 | 기술이전 | | 국내 | 가스 안전 원격 모니터링 | 밸러스트 탱크 가스감지 | 현대미포 | 50,000 | | 2020 | |
| 2 | 기술이전 | | 국내 | 유해가스 모니터링 | 불화수소, 우수로 등 모니터링 | SK머티리얼즈 | 150,000 | | 2020 | |
| 3 | 기술이전 | | 국내 | 유해가스 모니터링 | 유해가스 모니터링 | SK가스 지허브 | - | | 2020 | |

* 1」 기술이전 또는 자기실시 중 해당하는 사항을 기재
* 2」 신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등에서 해당하는 사항을 기재
* 3」 국내 또는 국외 중 해당하는 사항을 기재

## [사회적 성과]

### □ 다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 한국연구재단 | DNA+드론 기술개발사업 | 5G 드론 시스템 및 원격운영시스템 개발 | 차지훈 | 13,045백만원 |

### □ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 전시회 | 무인이동체산업엑스포 | 드론 시뮬레이션 기술 발표 | 2021.09.27 |
| 2 | 전시회 | ETRI 테크데이 | 드론 시뮬레이터 시연 및 기술 발표 | 2021.10.07 |
| 3 | 워크샵 | 정보과학회 KCC 2021 | 휴먼증강-다중감각융합 기술 워크샵 | 2021.06.24 |

(나) 2 단계(2022년도~2024년도)

**[과학적 성과]**

☐ **논문(국내외 전문 학술지) 게재**

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부 (SCIE/비SCIE) | 게재일 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 작업자가 포함된 생산 시스템의 디지털 트윈 구축을 위한 인공지능 기반 인간 행동 분석 연구 | 한국CDE학회 논문집 | 박수형 | 27 | 한국 | 한국CDE학회 | 비SCIE | 2022.03 | 2508-4003<br>2508-402X | 100% |
| 2 | Hindsight Intermediate Targets for Mapless Navigation With Deep Reinforcement Learning | IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS | 장윤수 | 11 | 미국 | IEEE | SCIE (IF상위 20% 이내) | 2022.11 | 2780046 | |
| 3 | Reduced activity of parvalbumin-positive interneurons in the posterior parietal cortex causes visually dominant multisensory decisions in freely navigating mice | Molecular Brain | 최일송 | 202210, 15 | 미국 | Springer Nature | SCIE | 2022.10.12 | 1756-6606 | 10% |
| 4 | 안개 제거가 객체 검출 성능에 미치는 영향 분석 | 지능시스템학회논문지 | 정치윤 | vol.32 No.2 | 대한민국 | 한국지능시스템학회 | 비SCIE | 2022.04. | 2288-2324 | 100% |
| 5 | A Bearing Fault Classification Framework Based on Image Encoding Techniques and a Convolutional Neural Network Under Different Operating Conditions | Sensors | Rafia Nishat Toma | Vol.22, No.13. | 스위스 | MDPI | SCIE | 2022.06.28 | 1424-8220 | 100% |
| 1 | Multi-objective robust parameter optimization using the extended and weighted k-means (EWK-means) clustering in laser powder bed fusion (LPBF) | Expert Systems with Applications | 정해권 | 236 | 미국 | PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD | SCIE (IF상위 20%이내) | 2023.08 | 0957-4174<br>1873-6793 | 100% |
| 2 | Ultrawideband coupled relative positioning algorithm applicable to flight controller for multidrone | ETRI Journal | 양정기 | 45 | 한국 | 한국전자통신연구원 | SCIE | 2023.11 | 1225-6463 | 100% |



| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | collaboration | | | | | | | | | |
| 3 | Efficient_Multitask_Reinforcement_Learning_Without_Performance_Loss | IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems | 백종찬 | Early Access | 미국 | IEEE | SCIE (IF상위 20%이내) | 2023.06 | 2162-237X<br>2162-2388 | 100% |
| 4 | Energy Minimization of Dynamic Multi-UAV Communication Network for Cooperative MultiHop Data Gathering | IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems | 최의환 | 59 | 미국 | IEEE | SCIE (IF상위 20%이내) | 2023.06 | 0018-9251<br>1557-9603 | 100% |
| 5 | An end-to-end deep learning approach for real-time single image dehazing | Journal of Real-Time Image Processing | Chi Yoon Jeong | 20(12) | 미국 | SPRINGER | SCIE | 2023.02.08 | 1861-8219 | 100% |
| 6 | Deep Learning-Based Optimization of Visual-Auditory Sensory Substitution | IEEE ACCESS | Mooseop Kim | 11 | 미국 | IEEE | SCIE | 2023.02.09 | 2169-3536 | 100% |
| 7 | Online Continual Learning in Acoustic Scene Classification: An Empirical Study | Sensors | Donghee Ha | 23(15) | 스위스 | MDPI | SCIE | 2023.08.03 | 1424-8220 | 100% |
| 8 | Identification of cerebral cortices processing acceleration, velocity, and position during directional reaching movement with deep neural network and explainable AI | NeuroImage | HongJune Kim | 266 | 네덜란드 | Elsevier | SCIE | 2023.02.01 | 1053-8119 | 50% |
| 9 | Semantic Segmentation of Clouds using Multi-Branch Neural Architecture Search | Korean Journal of Remote Sensing | Chi Yoon Jeong | 39(2) | 한국 | 대한원격탐사학회 | 비SCIE | 20230.4.30 | 2287-9307 | 100% |
| 10 | Analysis of Perceptual Efficiency According to Training Cycle and Learning Amount of Visual-auditory Sensory Substitution | Journal of Information Technology and Applied Engineering | Mooseop Kim | 13(2) | 한국 | 조선대학교 | 비SCIE | 2023.08.31 | 2234-3326 | 100% |
| 11 | Generating Emotional Face Images using Audio Information for Sensory Substitution | JOURNAL OF KOREA MULTIMEDIA SOCIETY | TaeGyeong Lee | 26(3) | 한국 | 한국멀티미디어학회 | 비SCIE | 2023.03.31 | 1229-7771 | 100% |
| 1 | Impact of | IEEE | Moosep | 12 | 미국 | IEEE | SCIE | 2024.06.26 | 2169-3536 | 100 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Device and Environment on Visual-Auditory Sensory Substitution: A Comprehensive Behavioral Analysis Using the vOICe Algorithm | Access | Kim | | | | | | | |
| 2 | Visual Mental Imagery and Neural Dynamics of Sensory Substitution in the Blindfolded Subjects | NeuroImage | HongJune Kim | 295 | 네델란드 | Elsevier | SCIE | 2024.07.15 | 1095-9572 | 90 |
| 3 | Dual model transfer learning to compensate for individual variability in brain-computer interface | Computer Methods and Programs in Biomedicine | Jun Su Kim | 254 | 네델란드 | Elsevier | SCIE | 2024.09.01 | 1872-7565 | 50 |
| 4 | 인간 시각 능력 향상 기술 동향 및 발전 전망 | 전자통신동향분석 | 정치윤 | 39 | 한국 | ETRI | 비SCE | 2024.08.01 | 1225-6455 | 100 |
| 5 | PASS-CCTV:Proactive Anomaly Surveillance System for CCTV Footage Analysis in Adverse Environmental Conditions | Expert Systems With Applications | 전호범 | 254 | 미국 | PERGAMON-ELSEVIER SCIENCE LTD | SCIE | 2024.06.04 | 0957-4174 | 100 |
| 6 | Elevating urban surveillance:A Deep CCTV Monitoring System for Detection of Anomalous Events via Human Action Recognition | Sustainable Cities and Society | 김형민 | 114 | 미국 | ELSEVIER | SCIE | 2024.09.04 | 2210-6707 | 100 |

## □ 우수학술대회

| 번호 | 주최기관명 | 약칭 | 학술대회명/회의명 | 발표제목 | 발표일자 | 역할 | 저자순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | IEEE | CVPR | Computer Vision and Pattern Recognition | MELTR: Meta Loss Transformer for Learning to Fine-tune Video Foundation Models | 2023.06.19 | 주저자 | 1 |
| 1 | IEEE/CVF | CVPR | Conference on Computer Vision and Pattern Recognition | vid-TLDR: Training Free Token merging for Light-weight Video Transformer | 2024.06.20 | - | - |
| 2 | IEEE/CVF | CVPR | Conference on Computer Vision and Pattern Recognition | Groupwise Query Specialization and Quality-Aware Multi-Assignment for Transformer-based Visual Relationship Detection | 2024.06.21 | - | - |
| 3 | BMVA | BMVC | British Machine Vision Conference | Unsupervised Hashing Network with Hyper Quantization Tree | 2024.11.25 | - | - |
| 4 | IAPR | ICPR | International Conference on Pattern Recognition | An Improved YOLOF for scale imbalance with dilated attention | 2024.12.01 | 주저자 | 1 |
| 5 | AFCV | ACCV | Asian Conference on Computer Vision | Generative Self-Supervised Learning for Medical Image Recognition | 2024.12.08 | - | - |
| 6 | IEEE/CVF | ECCV 2024 | European Conference on Computer Vision 2024 | Rethinking Data Bias: Dataset Copyright Protection via Embedding Class-wise Hidden Bias | 2024.10.01 | 주저자 | 1 |
| 7 | IEEE/CVF | ECCV 2024 | European Conference on Computer Vision 2024 | CoPT: Unsupervised Domain Adaptive Segmentation using Domain-Agnostic Text Embeddings | 2024.10.03 | - | - |




| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | IEEE/CVF | CVPR | Conference on Computer Vision and Pattern Recognition | vid-TLDR: Training Free Token merging for Light-weight Video Transformer | 2024.06.20 | - | - |
| 2 | IEEE/CVF | CVPR | Conference on Computer Vision and Pattern Recognition | Groupwise Query Specialization and Quality-Aware Multi-Assignment for Transformer-based Visual Relationship Detection | 2024.06.21 | - | - |
| 3 | BMVA | BMVC | British Machine Vision Conference | Unsupervised Hashing Network with Hyper Quantization Tree | 2024.11.25 | - | - |
| 4 | IAPR | ICPR | International Conference on Pattern Recognition | An Improved YOLOF for scale imbalance with dilated attention | 2024.12.01 | 주저자 | 1 |
| 5 | AFCV | ACCV | Asian Conference on Computer Vision | Generative Self-Supervised Learning for Medical Image Recognition | 2024.12.08 | - | - |
| 6 | IEEE/CVF | ECCV 2024 | European Conference on Computer Vision 2024 | Rethinking Data Bias: Dataset Copyright Protection via Embedding Class-wise Hidden Bias | 2024.10.01 | 주저자 | 1 |
| 7 | IEEE/CVF | ECCV 2024 | European Conference on Computer Vision 2024 | CoPT: Unsupervised Domain Adaptive Segmentation using Domain-Agnostic Text Embeddings | 2024.10.03 | - | - |


## □ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | CVPR 2022 | Zaigham | 2022.06.20 | 뉴올리언스 | 미국 |
| 2 | IDETC-CIE 2022 | 정해권 | 2022.08.17 | 세인트루이스 | 미국 |
| 3 | 대한기계학회 2022년 학술대회 | 오영훈 | 2022.11.09 | 제주 | 대한한국 |
| 4 | 대한임베디드공학회 | 박정호 | 2022.05.19 | 제주 | 대한민국 |
| 5 | 대한임베디드공학회 | 박정호 | 2022.11.02 | 제주 | 대한민국 |
| 6 | ICTC2022 | 김형민 | 2022.10.20 | 제주 | 대한민국 |
| 7 | ICTC2022 | 전호범 | 2022.10.20 | 제주 | 대한민국 |
| 8 | 대한전자공학회 2022 하계학술대회 | 임광재 | 2022.06.29 | 제주 | 대한민국 |
| 9 | 한국통신학회 2022 하계학술대회 | 최의환 | 2022.06.24 | 제주 | 대한민국 |
| 10 | 한국항공우주학회 2022 추계학술대회 | 최의환 | 2022.11.18 | 제주 | 대한민국 |
| 11 | 대한전자공학회 2022 하계학술대회 | 양정기 | 2022.06.29 | 제주 | 대한민국 |
| 12 | 한국항공우주학회 2022 추계학술대회 | 양정기 | 2022.11.18 | 제주 | 대한민국 |
| 13 | 한국통신학회 2022 하계학술대회 | 이수전 | 2022.06.24 | 제주 | 대한민국 |
| 14 | CVPR 2022 | 박지환 | 2022.06.20 | 뉴올리언스 | 미국 |
| 15 | EuroHaptics 2022 | 박재준 | 2022.05.22 | 함부르크 | 독일 |
| 16 | Int. Conf. ICT Converg. 2022 | 이명석 | 2022.10.19 | 제주 | 대한민국 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 17 | Int. Conf. ICT Converg. 2022 | 조수화 | 2022.10.19 | 제주 | 대한민국 |
| 18 | 멀티미디어학회(추계) | 이태경 | 2022.11.19 | 대전 유성 | 대한민국 |
| 19 | 멀티미디어학회(추계) | 엄혜린 | 2022.11.19 | 대전 유성 | 대한민국 |
| 20 | ACK 2022 | 신유정 | 2022.11.04 | 한림대 | 대한민국 |
| 21 | 한국통신학회 2022 하계발표회 | 손동구 | 2022.06.22 | 제주 | 대한민국 |
| 22 | 한국통신학회 2022 하계발표회 | 김정식 | 2022.06.22 | 제주 | 대한민국 |
| 23 | 한국통신학회 2022 종합학술발표회 | 하동훠 | 2022.11.16 | 경주 | 대한민국 |
| 1 | 대한전자 공학회 하계학술대회 | 박정호 | 2023.06 | 제주 | 대한민국 |
| 2 | 대한임베디드공학회 학술대회 | 박정호 | 2023.11 | 제주 | 대한민국 |
| 3 | 한국통신학회 학술대회 | 김용길 | 2023.11 | 경주 | 대한민국 |
| 4 | 한국통신학회 학술대회 | 권기광 | 2023.11 | 경주 | 대한민국 |
| 5 | 한국컴퓨터 정보학회 학술대회 | 박성일 | 2023.07 | 제주 | 대한민국 |
| 6 | 한국컴퓨터 정보학회 학술대회 | 박성일 | 2023.07 | 제주 | 대한민국 |
| 7 | 한국통신학회 학술대회 | 박성일 | 2023.11 | 경주 | 대한민국 |
| 8 | 2023 International Conference on Unmanned Aircraft Systems (ICUAS) | 최의환 | 2023.06.07 | 바르샤바 | 폴란드 |
| 9 | The 14th International Conference on ICT Convergence (ICTC) | 최의환 | 2023.10.11 | 제주 | 대한민국 |
| 10 | 한국통신학회 하계종합학술발표회 | 최의환 | 2023.06.22 | 제주 | 대한민국 |
| 11 | 한국항공우주학회 추계학술대회 | 최의환 | 2023.11.17 | 홍천 | 대한민국 |
| 12 | 한국항공우주학회 춘계학술대회 | 김인준 | 2023.04.21 | 제주 | 대한민국 |
| 13 | 한국항공우주학회 추계학술대회 | 김인준 | 2023.11.17 | 홍천 | 대한민국 |
| 14 | 2023 20th International Conference on Ubiquitous Robots (UR) | 김형민, 김도형 | 2023.06.25 | 하와이 | 미국 |
| 15 | ICD3DP2023 | 김병수 | 23.10.19 | 제주 | 한국 |
| 16 | AAAI 2023 | Jungsoo Lee | 2023.06.26 | 워싱턴 DC | 미국 |
| 17 | ICCV 2023 | Minho Park | 2023.10.04 | 파리 | 프랑스 |
| 18 | HCI Korea 2023 | Jaejun Park | 2023.02.01 | 강원도 정선 | 한국 |
| 19 | World Haptics 2023 | Jaejun Park | 2023.07.10 | 델프트 | 네덜란드 |
| 20 | Korea Haptics Conference | Junwoo Kim | 2023.11.23 | 부여 | 한국 |
| 21 | 2023 대한전자공학회 하계학술대회 | 장지호, 서범수 | 2023.06.28 | 제주 | 한국 |
| 1 | EuroHaptics | 김준우 | 2024.06.30 | Lille | 프랑스 |
| 2 | 한국햅틱스학회 | 김준우 | 2024.08.20 | 경주 | 한국 |
| 3 | 한국멀티미디어학회 추계학술대회 | 우종석 | 2024.11.07 | 제주도 | 한국 |
| 4 | 한국멀티미디어학회 추계학술대회 | 최다녕 | 2024.11.08 | 제주도 | 한국 |
| 5 | 한국멀티미디어학회 추계학술대회 | 주성욱 | 2024.11.08 | 제주도 | 한국 |
| 6 | 한국멀티미디어학회 추계학술대회 | 정예찬 | 2024.11.08 | 제주도 | 한국 |
| 7 | 한국통신학회 하계종합학술발표회 | 김도하 | 2024.06.20 | 제주도 | 한국 |



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 8 | 한국통신학회 추계종합학술발표회 | 배현우 | 2024.11.20 | 경주 | 한국 |
| 9 | 한국통신학회 추계종합학술발표회 | 장예진 | 2024.11.20 | 경주 | 한국 |
| 10 | 대한전자공학회 하계학술대회 | 박정호 | 2024.06.30 | 제주 | 한국 |
| 11 | 대한임베디드공학회 추계학술대회 | 박정호 | 2024.11.13 | 제주 | 한국 |
| 12 | 2024 ICTC | 장지호 | 2024.10.23 | 제주 | 한국 |
| 13 | ECCV 2024 Workshop | Cristina Mata | 2024.09.30 | 밀라노(Milano) | 이탈리아 |
| 14 | IROS 2024 (LBR) | Donghyung Kim | 2024.10.18 | 아부다비(Abu Dhabi) | 아랍에미리트 |
| 15 | CoRL 2024 | Jesse Zhang, Minho Heo | 2024.11.09 | 뮌헨(Munich) | 독일 |
| 16 | CoRL 2024 Workshop | ByungOk Han | 2024.11.09 | 뮌헨(Munich) | 독일 |
| 17 | CoRL 2024 Workshop | Cristina Mata, Jongwoo Park | 2024.11.09 | 뮌헨(Munich) | 독일 |
| 18 | CoRL 2024 Workshop | Changyeon Kim | 2024.11.09 | 뮌헨(Munich) | 독일 |
| 19 | NeurIPS 2024 Workshop | Jongwoo Park | 2024.12.14 | 벤쿠버(Vancouver) | 캐나다 |
| 20 | 대한산업공학회 | 김태환 | 2024.10.25 | 서울 | 한국 |
| 21 | 한국정밀공학회 | 정해권 | 2024.11.15 | 경주 | 한국 |

## [기술적 성과]

### □ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재) | 국명 | 출원 | | | | 등록 | | | 기여율 | 활용 여부 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 출원인 | 출원일 | 출원 번호 | 등록 번호 | 등록인 | 등록일 | 등록 번호 | | |
| 1 | 지능형 영상 감시를 위한 이상 상황 탐지 장치 및 방법 | 대한민국 | 김도형 | 2022-10-06 | 2022-0128070 | | | | | 100% | - |
| 2 | 분산식별자를 활용한 분산형 파일시스템 기반의 데이터 거래 방법 | 대한민국 | 김용길 | 2022-10-12 | 10-2022-0130636 | | | | | 100% | |
| 3 | 무인기 시뮬레이터에 의한 무인기 품질인증 시험 시스템 및 그 방법 | 대한민국 | 한국전자통신연구원 | 2019-11-04. | 10-2019-0139430 | | 한국전자통신연구원 | 2022.10.21. | 10-2459464 | 100% | - |
| 4 | 공중 디스플레이 제공 방법 및 장치 | 대한민국 | 한국전자통신연구원 | 2022-06-07 | 10-2022-0068703 | | | | | 100% | - |
| 5 | 무인기대형형성방법 | 대한민국 | 임광재 | 2022-06-29 | 10-2022-0079776 | | | | | 100% | - |
| 6 | 가상 현실 장치, 서버 및 실감형 가상 현실 기반의 드론 군집 관제 방법 | 대한민국 | 최의환 | 2022-09-01 | 10-2022-0110554 | | | | | 100% | - |
| 7 | [redacted] | | | | | | | | | 100% | - |
| 8 | | | | | | | | | | 100% | - |

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 9 | 이미지를 음악으로 변환하는 방법 및 장치 | 대한민국 | 박윤경 | 2022-06-20 | 2022-00751 32 | | | | | 100% | - |
| 10 | 공간정보를 활용한 촉감 실감 콘텐츠 제공 시스템 및 방법 | 대한민국 | 신승용 | 2022-02-16 | 2022-00200 77 | | | | | 100% | - |
| 11 | 시각정보의 다중경로 전달 방법 및 장치 | 대한민국 | 김무섭 | 2022-07-04 | 2022-0081959 | | | | | 100% | - |
| 12 | SYSTEM AND METHOD FOR REPRODUCING TACTILE CONTENT USING SPATIAL INFORMATION | 미국 | 신승용 | 2022-06-20 | 17/844208 | | | | | 100% | - |
| 13 | APPARATUS AND METHOD FOR SENSORY SUBSTITUTION AND MULTI-PATH TRANSMISSION OF VISUAL INFORMATION | 미국 | 김무섭 | 2022-09-26 | 17/952493 | | | | | 100% | - |
| 14 | [redacted] | | | | | | | | | 100% | |
| 1 | APPARATUS AND METHOD FOR INTEGRATED ANOMALY DETECTION | 미국 | ETRI | 2023.10.02 | 18/479499 | | | | | 50% | 미활용 |
| 2 | APPARATUS AND METHOD FOR INTEGRATED ANOMALY DETECTION | 중국 | ETRI | 2023.10.08 | 202311294352.8 | | | | | 50% | 미활용 |
| 3 | 인공지능 모델 구축을 위한 통합 및 관리 기능을 제공하는 인공지능 모델 생성 장치 및 방법 | 대한민국 | 에이테크 | 2023.12.14 | 10-2023-0182430 | | | | | 100% | 미활용 |
| 4 | 물류 예측을 고려한 피킹 최적화 방법 | 대한민국 | 엔소프트 | 2023.11.21 | 10-2023-0162388 | | | | | 100% | 미활용 |
| 5 | 고중량 물류 이송이 가능한 연결형 AGV | 대한민국 | 에스아이에스 | 2023.12.19 | 10-2023-0185296 | | | | | 100% | 미활용 |
| 6 | 압축스프링과 자력을 이용한 전동타격기 | 대한민국 | 유진기술 | 2023.12.13 | 10-2022-0173431 | | | | | 100% | 활용 |
| 7 | 이동 노드의 위치를 추정하는 방법 및 장치 | 대한민국 | 한국전자통신연구원 | 2023.11.02 | 10-2023-0149678 | | | | | 100% | 미활용 |
| 8 | 불법 비행 드론에 고속으로 충돌 후 포획하는 소형저가 안티드론 시스템 | 대한민국 | 한국전자통신연구원 | 2023.10.23 | 10-2023-0142051 | | | | | 100% | 미활용 |
| 9 | COMMUNICATION DEVICE AND METHOD, AND UNMANNED AERIAL VEHICLE EMPLOYING THE SAME | 미국 | 한국전자통신연구원 | 2023.01.26 | 18/101775 | | | | | 100% | 미활용 |
| 10 | [redacted] | | | | | | | | | 100% | 미활용 |
| 11 | | | | | | | | | | 100% | 미활용 |
| 12 | | | | | | | | | | 100% | 미활용 |
| 13 | | | | | | | | | | 100% | 미활용 |



| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | [redacted] | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | 100% | 미활용 |
| 15 | 무인 비행체의 데이터 세트 생성 방법 및 장치 | 대한한국 | | | | | 한국전자통신연구원 | 2023.09.23 | 10-2583960 | 100% | 미활용 |
| 16 | 개인화된 영상 분할 장치 및 방법 | 대한민국 | 정치윤 | 2023.10.19 | 10-2023-0140559 | | | | | 100% | 미활용 |
| 17 | 깊이-시간 매핑 기반의 감각 치환 장치 및 그 방법 | 대한민국 | | | | | 정치윤 | 2023.10.18 | 10-2592583-0000 | 100% | 미활용 |
| 18 | 감각 대체 조정 장치 및 방법 | 대한민국 | | | | | 김무섭 | 2023.09.25 | 10-2584431-0000 | 100% | 미활용 |
| 19 | 감각 치환 장치 및 방법 | 대한민국 | | | | | 박준석 | 2023.01.16 | 10-2490536-0000 | 100% | 미활용 |
| 1 | 감각 대체 학습 도구를 이용하는 방법 및 장치 | 한국 | ETRI | 2024.01.18 | 2024-0003072 | | | | | 100 | X |
| 2 | 다중 대체 감각을 활용한 시각 장애인용 보행 보조 방법 및 장치 | 한국 | ETRI | 2024.02.26 | 2024-0027494 | | | | | 100 | X |
| 3 | 시각이 아닌 감각에 의해 인지가능한 증강된 부가정보 제공 방법 | 한국 | ETRI | 2024.03.20 | 2024-0038270 | | | | | 100 | X |
| 4 | PERSONALIZED IMAGE SEGMENTATION DEVICE AND METHOD THEREOF | 미국 | ETRI | 2024.07.31 | 18/790159 | | | | | 100 | X |
| 5 | SENSORY SUBSTITUTION APPARATUS AND METHOD | 미국 | | | | | ETRI | 2024.05.14 | 11980527 | 100 | X |
| 6 | SYSTEM AND METHOD FOR REPRODUCING TACTILE CONTENT USING SPATIAL INFORMATION | 미국 | | | | | ETRI | 2024.07.30 | 12050730 | 100 | X |
| 7 | 빔의 부엽 제어가 가능한 저전압 고해상도 위상 천이기 회로 및 제어방법 | 미국 | | | | | ETRI | 20240102 | 11863126 | | |
| 8 | 다중 드론 협업용 UWB 통신 장치 및 통신 방법 | 미국 | | | | | ETRI | 20240702 | 12028106 | | |
| 9 | 불법 비행 드론에 고속으로 충돌 후 포획하는 소형저가 안티드론 시스템 | 미국 일본 | ETRI | 2024.10.18 | 18/924279 | | | | | 100% | 미활용 |
| 10 | 드론 디지털트윈 시스템 기술 | 대한민국 | ETRI | 2024.02.06. | 2024-0018207 | | | | | 100% | 미활용 |
| 11 | 가변 구조 로봇암을 가진 검사 로봇 | 대한민국 | ETRI | 2024.06.05 | 2024-0073568 | | | | | 100% | 미활용 |

## □ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록 번호 | 저작권자명 | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 행동 발생 의심 구간 추출기 학습 | 2022-05-02 | 장진혁 | 2022-05-26 | C-2022-021979 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 2 | 씨씨티비이상행동 인식 및 검출 프로그램 | 2022-06-01 | 김도형 | 2022-07-27 | C-2022-029422 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 3 | 지능형 씨씨티비 이상 상황 검출 시스템 | 2022-06-01 | 김도형 | 2022-07-27 | C-2022-029429 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 4 | 감각대체학습기 | 22.03.28 | 박윤경 | 22.04.26 | C-2022-018311 | 한국전자통신연구원 | 100% |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 쓰러짐 검출 모델 학습 프로그램 | 2023.08.01 | 김형민, 김도형 | 2023.09.27 | C-2023-043537 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 2 | 실외 싸움 검출기 | 2023.09.21 | 장진혁 | 2023.10.05 | C-2023-043797 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 3 | 드론 가상물리시스템을 위한 릴레이 서버 | 2023-07-20 | 이수전 | 2023.09.27 | C-2023-043526 | 한국전자통신연구원 | 100% |
| 4 | 비디오-투-오디오 훈련도구 | 2023-10-24 | 박윤경, 김무섭, 정치윤, 문경덕 | 2023.11.22 | C-2023-053575 | 박윤경, 김무섭, 정치윤, 문경덕 | 100% |
| 1 | USTC사용자 APP | 2024.08.30 | 비피앤솔루션 | 2024.12.04 | C-2024-050249 | 주식회사비피앤솔루션 | 100 |
| 2 | 로봇 파운데이션 모델 추론 프로그램 | 2024.10.11 | 한병옥 | 2024.11.14 | C-2024-044029 | 한국전자통신연구원 | 100 |

## □ 표준화

### ㅇ 국내표준

| 번호 | 인증구분[1] | 인증여부[2] | 표준명 | 표준인증기구명 | 제안주체 | 표준종류[3] | 제안/인증일자 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| TTAK.KO-10.1565-Part1 | 정보통신단체표준 | | 블록체인기반 제조데이터 거래 플랫폼 - 제1부 개념 및 요구사항 | 한국정보통신기술협회 | 한국전자통신연구원 외 6 | 신규 | 2024.12.06 |

## [경제적 성과]

## □ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작 업체명 | 설치 장소 | 이용 분야 | 사업화 소요 기간 | 인증기관 (해당 시) | 인증일 (해당 시) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 무인 이송 시스템 플랫폼 시제품 | 2022-11-06 | SIS | SIS | 제조산업 공정 지원을 위한 AMR 요소부품 및 제어기술 개발 | 2년 | - | - |
| 2 | 철 가공품 구조체 구동부 시제품 | 2022-11-07 | 에이치테크 | 유진기술 | 발전기 고정자 웨지의 체결강도 검사 | 3년 | - | - |
| 3 | 철 가공품 품질 검사 테스트 베드 | 2022-11-03 | 대상테크 | 유진기술 | 발전기 고정자 웨지체결 강도 검사로봇 개발을 위한 테스트베드 | - | - | - |
| 4 | 철 가공품 품질검사 검사부 기능 개발을 위한 시제품 | 2022-11-08 | 대로텍 | 유진기술 | 발전기 고정자 웨지 체결강도 검사를 위한 웨지의 다양한 상태를 설정하여 신호를 취득하여 인식기용 DB 구축을 위한 실험 장치 | - | - | - |
| 5 | 시각-청각 변환을 위한 감각대체 기술의 상용화 검증을 위한 시작품 | 2022-11-11 | 선진기술 | ETRI | 시각-청각 변환 신호를 이용하여 주변 환경의 인지 가능성 시험을 위한 실험 시스템 | - | - | - |



| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 발전기 검사로봇 개량 시제품 | 2023.12. | 유진기술(주) | 유진기술(주) 연구실 | 상용화 개발 진행 | 3년 | | |
| 2 | AI 프레임워크 프로토타입 | 2023.09 | 주식회사 에이테크 | ETRI | AI 솔루션 구축 | 3년 | - | - |
| 1 | 양팔 로봇 플랫폼 테스트베드 | 2024.09.05 | ㈜로아스 | ETRI 12동 722호 | 양팔 로봇 조작 데이터셋 구축 | - | - | - |
| 2 | 영팔/핸드 로봇 VR 텔레오퍼레이션 시스템 | 2024.12.04 | 한양대학교 에리카 산학협력단 | ETRI 12동 722호 | 양팔 로봇 조작 데이터셋 구축 | - | - | - |

## □ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일 | 기술료 (해당 연도 발생액) | 누적 징수 현황 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 경상기술료 | 데이터 기밀성을 보장하는 AI 훈련시스템 | 인터엑스 등 | 2022.12.15 | 60,000천원 | |
| 1 | 자기실시 | 발전기 웨지맵 생성 기술 | 유진기술 | 2023.11.28 | 30,000,000 | |
| 2 | 자기실시 | 시각 인공지능 기반 휴먼 이상 행동 인식 기술 | 가온플랫폼 | 2022.12.15 | 100,000,000 | |
| 3 | 자기실시 | 드론 가상물리시스템을 위한 릴레이 서버 기술 | 에이알브릿지 | 2023.10.27 | 30,000,000 | |
| 1 | 자기실시 | 음향 기반 발전기 웨지 체결강도 인식 기술 | 유진기술 | 2024.11.14 | 30,000,000 | |
| 2 | 자기실시 | 지능형 영상 감시를 위한 휴먼 이상 행동 인식 기술 | 나라지식정보 | 2024.08.12 | 50,000,000 | |
| 3 | 자기실시 | 지능형 영상 감시를 위한 휴먼 이상 행동 인식 기술 | 비전코어 | 2024.08.29 | 50,000,000 | |

## □ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식1」 | 사업화 형태2」 | 지역3」 | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액 | | 매출 발생 연도 | 기술 수명 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 국내 (천원) | 국외 (달러) | | |
| 1 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 자재관리부 스마트 자재창고 관리시스템 구축 | 현대일렉트릭의 공급망 및 물류관리를 위한 스마트 자재창고 관리 시스템 구축. AI 프레임워크를 활용하여 작업 순서 최적화, 작업 경로 최적화 등 인공지능 기술을 접목하여 업무 효율화 및 생산성 향상을 도모. | 에이치디 현대일렉트릭주식회사 | 291,000 | | 2023 | 3 |
| 2 | 자기실시 | 신제품 | 국외 | AI 프레임워크 및 스마트 팩토리 솔루션 | AI 프레임워크 기술을 활용한 솔루션 납품 | BEST CNC TAKIM TEZGAHLARI SAN.VE TIC. | | 91,000 | 2023 | 5 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | LTD. STI. | | | | |
| 3 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 이상탐지 및 객체인식을 위한 어플라이언스 구축 | AI 프레임워크 기술을 활용한 솔루션 납품 | 울산대학교 | 96,000 | | 2023 | 3 |
| 4 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | AI 기반 품질 자동화 솔루션(1차,2차,3차) | AI 프레임워크 기술을 활용한 솔루션 납품 | ㈜선재하이테크 | 330,000 | | 2023 | 3 |
| 5 | 자기실시 | 기존제품개선 | 국내 | 동박이송용 AGV 공급 | 일진머테리얼 배터리소재 부품제작 공정에서 고중량 동박롤 이송용 AGV 공급하여 통해 기존 제품 대비 작업자의 안전성 향상 및 업무효율화 도모 | 롯데에너지머티리얼즈 주식회사 | 101,522 | | 2023 | 5 |
| 1 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 헬스케어 데이터 웨어하우스 및 리빙랩 플랫폼 구축 | AI 프레임워크 기반 솔루션 납품 | 부산테크노파크 | 440,000 | | 2024 | 2 |
| 2 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 고려아연 수요맞춤형 AI 솔루션 개발.실증 지원 사업 | AI 프레임워크 기반 솔루션 납품 | 울산정보산업진흥원 | 260,000 | | 2024 | 3 |
| 3 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 스마트 관광도시 플랫폼 기능 고도화 | AI 프레임워크 기반 솔루션 납품 | 울산문화관광재단 | 490,000 | | 2024 | 3 |
| 4 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 선재 하이테크 결함 검출.공정 불량 예측 및 생성 공정 최적화 서비스 | AI 프레임워크 기반 솔루션 납품 | 정보통신산업진흥원 | 380,000 | | 2024 | 2 |
| 5 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 코끼리 공장 객체인식 및 불량 선별 예측, 생산공정 최적화 솔루션 | AI 프레임워크 기반 솔루션 납품 | 한국정보통신진흥협회 | 200,000 | | 2024 | 2 |
| 6 | 자기실시 | 신제품 | 국내 | 대구시청 GPT 서비스 | 자체 플랫폼 기반 지역 서비스 납품 | 주식회사 이튜 | 90,000 | | 2024 | 1 |

## □ 매출실적(누적)



| 사업화명 | 발생 연도 | 매출액 | | 합계 | 산정 방법 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 국내(천원) | 국외(달러) | | |
| AI 프레임워크 및 스마트 팩토리 솔루션 | 2023 | | 91,000 | 91,000 | Proforma Invoice |
| 이상탐지 및 객체인식을 위한 어플라이언스 구축 | 2023 | 96,000 | | 96,000 | 세금계산서 |
| AI 기반 품질 자동화 솔루션 (1차,2차,3차) | 2023 | 330,000 | | 330,000 | 세금계산서 |
| AI 프레임워크 기반 서비스 기술 6종 | 2024 | 1,860,000 | | 1,860,000 | 세금계산서 및 계약서 |
| 합계 | | 2,286,000 | 91,000 | 2,377,000 | |

## □ 고용 창출

| 순번 | 사업화명 | 사업화 업체 | 고용창출 인원(명) | | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 2023년 | - | |
| 1 | 제조기업 지원용 협업지능 프레임워크 기술개발 | 주식회사 에이테크 | 15 | | 15 |
| | | | | | |
| 합계 | | | 15 | | 15 |

## [사회적 성과]

## □ 다른 국가연구개발사업에의 활용

| 번호 | 중앙행정기관명 | 사업명 | 연구개발과제명 | 연구책임자 | 연구개발비 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 한국연구재단 | DNA+드론 기술개발사업 | 5G 드론 시스템 및 원격운영시스템 개발 | 차지훈 | 13,045백만원 |

## □ 국제화 협력성과

| 번호 | 구분 (유치/파견) | 기간 | 국가 | 학위 | 전공 | 내용 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | |

## □ 홍보 실적

| 번호 | 홍보 유형 | 매체명 | 제목 | 홍보일 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 전시회 | 드론쇼코리아 | 드론 시뮬레이션 및 CPS 기술 전시 및 시연 | 2022.2.24~26 |
| 2 | 발표 | ICT Convergence Korea | 드론 시뮬레이션 및 CPS 기술 설명 | 2022.03.16 |
| 3 | 발표 | 한양대 콜로퀴엄 | 드론 시뮬레이션 및 CPS 기술 설명 | 2022.04.13 |
| 4 | 발표 | GIST-ETRI AI 워크샵 | 드론 시뮬레이션 및 CPS 기술 설명 | 2022.07.27 |
| 5 | 오픈워크샵 | HCI 2022 학술대회 AH/XR 세션 | 휴먼증강-인간의 감각지각 능력을 증강하는 다중감각 융합기술 | 2022.02.09 |
| 6 | 오픈워크샵 | HCI 2022 학술대회 AH/XR 세션 | 청각장애인의 음악 접근성 개선을 위한 촉각 음정 시스템의 개발 및 활용 | 2022.02.09 |
| 7 | 오픈워크샵 | ETRI Conference | 시각장애인이 다른 감각을 통해 보는 세상 | 2022.05.25 |
| 8 | 워크샵 | 정보과학회 KCC 2022 워크샵 | 휴먼증강을 위한 다중감각 융합기술 | 2022.06.29 |
| 9 | 기술포럼 | 디지털전환기술세미나 | 딥러닝 기반 안전관리 시스템 | 2022.08.30 |
| 10 | 기술포럼 | 디지털전환기술세미나 | 가속도센서 기반 사용자 행동분석 모델 | 2022.08.30 |
| 11 | 기술포럼 | 대전 디지털플랫폼 기술 포럼 | 휴먼 행동 분석 기술의 과거/현재/미래 | 2022.09.13 |
| 1 | 전시회 | 울산 미래박람회 | 산업현장 이상상황 감시 로봇 및 품질 검사 | 2023.06.01 |

| | | | 로봇 | |
|---|---|---|---|---|
| 2 | 전시회 | ETRI-울산 테크데이 | 협업지능 프레임워크 활용 사례 등 | 2023.11.09 |
| 3 | 워크숍 | 정보과학회 KCC 2023 워크숍 | 휴먼증강을 위한 다중감각 융합기술 워크숍 | 2023.06.19 |

□ 포상 및 수상 실적

| 번호 | 종류 | 포상명 | 포상 내용 | 포상 대상 | 포상일 | 포상 기관 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 수상 | 우수발표논문상 | 우수 논문 | IEMEK 2022 제출 논문 | 2022.05.19 | IEMEK |
| 2 | 수상 | Best Paper Award | Best Paper | ICTC 2022 제출 논문 | 2022.10.19 | KICS |
| 3 | 수상 | 우수발표논문상 | 우수 논문 | 멀티미디어추계학회 | 2022.11.19 | KMMS |
| 1 | 수상 | 과학기술정보통신부 장관상 | 2023 육해공 무인이동체 챌린지 자유공모 부문 대상 | 2023 육해공 무인이동체 챌린지 자유공모 제안 기술 | 2023.11.24 | 과학기술정보통신부, 한국연구재단 |



(다) 3단계(2025년도)

**[과학적 성과]**

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

| 번호 | 논문명 | 학술지명 | 주저자명 | 호 | 국명 | 발행기관 | SCIE 여부 (SCIE/비SCIE) | 게재일 | 등록번호 (ISSN) | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Multimodal deep learning for enhanced temperature prediction with uncertainty quantification in directed energy deposition (DED) process | Virtual & Physical Prototyping | Chung Baek, NamHun Kim | Volume 20 | ENGLAND | TAYLOR & FRANCIS LTD | SCIE | 2025-03-19 | 1745-2759 | 100 |
| 2 | Improving Acceptance to Sensory Substitution : A Study on the V2A-SS Learning Model Based on Information Processing Learning Theory | IEEE Transactions of Neural System and Rehabilitation Engineering | Kyeong Deok Moon | 33 | 미국 | IEEE | SCIE | 2025-03-06 | 1534-4320 | 100 |
| 3 | A novel approach for brain connectivity using recurrent neural networks and integrated gradients | Computers in Biology and Medicine | June Sic Kim | 184 | 네델란드 | ELSEVIER | SCIE | 2025-01-01 | 0010-4825 | 50 |
| 4 | End-to-end reading classification in the wild using 2D EOG signal images and ResNet variants | ETRI Journal | Chi Yoon Jeong | - | 한국 | ETRI | SCIE | 2025-09-13 | 1225-6463 | 100 |
| 5 | 대규모 언어 모델 기반 스마트폰 앱 사용 자동화 기술 동향 | 전자통신동향분석 | 최수길 | 40 | 한국 | ETRI | 비SCE | 2025-04-01 | 1225-6455 | 100 |

□ 우수학술대회

| 번호 | 주최기관명 | 약칭 | 학술대회명/회의명 | 발표제목 | 발표일자 | 역할 | 저자순위 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | AFCV | ACCV | Asian Conference on Computer Vision | Neural Substitution for Branch-level Network Re-parameterization | 2024-12-12 | - | - |
| 2 | IEEE/CVF | WACV | Winter Conference on | Enriching Local Patterns with | 2025-03-06 | - | - |

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Applications of Computer Vision | Multi-Token Attention for Broad-Sight Neural Networks, | | | |
| 3 | ACM | CHI | ACM Conference on Human Factors in Computing Systems | MagPie: Extending a Smartphone's Interaction Space via a Customizable Magnetic Back-of-Device Input Accessory | 2025-04-25 | - | - |
| 4 | IEEE/CVF | CVPR | Conference on Computer Vision and Pattern Recognition | Do Your Best and Get Enough Rest for Continual Learning | 2025-06-13 | - | - |
| 5 | ACM | UIST | ACM Symposium on User Interface Software and Technology | Haptic Music Feedback through Audio Decomposition | 2025-09-29 | 주저자 | 1 |
| 6 | ACM | VRST | ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology | Seeing With Sound in Safe Virtual Environments: A Walk-In-Place VR Training System for Users With Visual Impairment Using the vOICe Algorithm | 2025-11-12 | 주저자 | 1 |
| 7 | NerIPS | NeurIPS | Annual Conference on Neural Information Processing Systems | DeepVideo-R1: Video Reinforcement Fine-Tuning via Difficulty-aware Regressive GRPO | 2025-12-02 | - | - |
| 8 | RAS | ICRA | International Conference on Robotics and Automation | Learning Dexterous Bimanual Catch Skills through Adversarial-Cooperative Heterogeneous-Agent Reinforcement Learning | 2025-05-20 | 주저자 | 1 |
| 9 | AAAI | AAAI | AAAI Conference on Artificial Intelligence | Learning to Rewind via Iterative Prediction of Past Weights for Practical Unlearning | 2025-02-28 | 주저자 | 1 |
| 10 | ICLR | ICLR | ICLR 2025 | LLaRA: Supercharging Robot Learning Data for Vision-Language Policy | 2025-04-.25 | - | - |

## □ 국내 및 국제 학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭 | 발표자 | 발표 일시 | 장소 | 국명 |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 대한전자공학회 하계학술대회 | 박정호 | 2025-06-27 | 제주 | 대한민국 |
| 2 | 대한임베디드공학회 | 박정호 | 2025-11-05 | 제주 | 대한민국 |
| 3 | 한국로봇종합학술대회 | 김계경 | 2025-02-14 | 평창 | 대한민국 |
| 4 | 대한전자공학회 하계학술대회 | 김계경 | 2025-06-26 | 제주 | 대한민국 |
| 5 | 한국통신학회 하계종합학술발표회 | 장지호 | 2025-06-18 | 제주 | 대한민국 |
| 6 | 한국통신학회 하계종합학술발표회 | 김용길 | 2025-06-18 | 제주 | 대한민국 |
| 7 | 한국통신학회 하계종합학술발표회 | 김준영 | 2025-06-18 | 제주 | 대한민국 |
| 8 | 한국통신학회 하계학술대회 | 김정완 | 2025-06-18 | 제주 | 대한민국 |
| 9 | ICACT 2025 | 박윤경 | 2025-02-19 | 평창 | 대한민국 |
| 10 | 한국통신학회 추계종합학술발표회 | 최다녕 | 2025-06-18 | 제주 | 대한민국 |
| 11 | DIS 2025 | 이현범 | 2025-07-04 | 푼샬 | 포르투칼 |
| 12 | WHC 2025 Workshop | 윤성률 | 2025-07-08 | 수원 | 대한민국 |
| 15 | WHC 2025 Workshop | 장승연 | 2025-07-08 | 수원 | 대한민국 |
| 13 | ICIP 2025 | 차츠랄 | 2025.09.14 | Anchorage, Alaska | USA |
| 14 | ICTC 2025 | 김무섭 | 2025.10.14 | 제주 | 대한민국 |
| 15 | ICTC 2025 | 송영미 | 2025.10.14 | 제주 | 대한민국 |
| 16 | ICTC 2025 | 박수민 | 2025.10.15 | 제주 | 대한민국 |
| 17 | 한국멀티미디어학회 추계학술발표대회 | 유지영 | 2025.11.13 | 부산 | 대한민국 |
| 18 | 한국멀티미디어학회 추계학술발표대회 | 조성은 | 2025.11.13 | 부산 | 대한민국 |
| 19 | IEEE ICDL 2025 | 강상승 | 2025.09.19 | 프라하 | 체코 |
| 20 | ICCAS 2025 | 강상승 | 2025.11.07 | 인천 | 대한민국 |
| 21 | 대한전자공학회 추계학술대회 | 신재호 | 2025.11.28 | 경기도 광주 | 대한민국 |
| 22 | ICCV Workshop: HRSIC | 전호범 | 2025.10.20. | Honolulu, Hawaii | USA |
| 23 | ICCV Workshop: SaFeMM-AI | 김형민 | 2025.10.19. | Honolulu, Hawaii | USA |
| 24 | NeurIPS Workshop: LAW | 전호범 | 2025.12.07. | Mexico City | Mexico |
| 25 | NeurIPS Workshop: LAW | 김형민 | 2025.12.07 | Mexico City | Mexico |
| | | | | | |

## □ 기술 요약 정보

| 연도 | 기술명 | 요약 내용 | 기술 완성도 | 등록 번호 | 활용 여부 | 미활용사유 | 연구개발기관 외 활용여부 | 허용방식 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | |

## □ 보고서 원문

| 연도 | 보고서 구분 | 발간일 | 등록 번호 |
|---|---|---|---|
| | | | |

## □ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

| 번호 | 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명 | 등록/기탁 번호 | 등록/기탁 기관 | 발생 연도 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

## [기술적 성과]

## □ 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재) | 국명 | 출원 | | | 등록 | | | 기여율 | 활용 여부 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 출원인 | 출원일 | 출원 번호 | 등록인 | 등록일 | 등록 번호 | | |
| 1 | | 대한민국 | ETRI | 2025-03-07 | 2025-0029711 | | | | 100 | X |
| 2 | | 대한민국 | ETRI | 2025-01-10 | 2025-0004112 | | | | 100 | X |
| 3 | 발전기 검사 로봇의 검사 위치 추정 방법 | 대한민국 | 유진기술 | 2022-08-08 | 10-2022-0098561 | 유진기술 | 2025-12-03 | 10-2897310 | 100 | X |
| 4 | 분산 식별자를 활용한 분산형 파일 시스템 기반의 데이터 거래 방법 | 대한민국 | 비피앤솔루션 | 2022-10-12 | 10-2022-0130636 | 비피앤솔루션 | 2025-06-11 | 10-2821020 | 100 | X |
| 5 | | 대한민국 | SIS | 2025-08-06 | 10-2025-0108063 | - | - | - | 100 | X |
| 6 | | 대한민국 | 에이테크 | 2025-11-05 | 10-2025-0165359 | | | | 100 | X |
| 7 | [redacted] | | | | | | | | 100 | X |
| 8 | | 대한민국 | ETRI | 2024-12-24 | 2024-0195940 | | | | 100 | X |
| 9 | | 대한민국 | ETRI | 2025-03-18 | 2025-0034839 | | | | 100 | X |
| 10 | | 대한민국 | ETRI | 2025-03-18 | 2025-0034837 | | | | 100 | X |
| 11 | | 대한민국 | ETRI | 2025-04-01 | 2025-0042162 | | | | 100 | X |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 12 | | 대한민국 | ETRI | 2025-04-15 | 2025-0048857 | | Baek | | 100 | X |
| 13 | | 대한민국 | ETRI | 2025-04-22 | 2025-0052514 | | | | 100 | X |
| 14 | | 대한민국 | ETRI | 2025-07-01 | 2025-0087720 | | | | 100 | X |
| 15 | | 대한민국 | ETRI | 2025-08-12 | 2025-0111353 | | | | 100 | X |
| 16 | | 미국 | ETRI | 2025-09-12 | 19/327288 | | | | 100 | X |
| 17 | | 미국 | ETRI | 2025-10-17 | 19/361653 | | | | 100 | X |
| 18 | | 미국 | ETRI | 2025-10-21 | 19/364560 | | | | 100 | X |
| 19 | | 미국 | ETRI | 2025-10-27 | 19/370542 | | | | 100 | X |
| 20 | 공간정보를 활용한 촉감 실감 콘텐츠 제공 시스템 및 방법 | 대한민국 | | | | ETRI | 2024-12-06 | 2741273 | 100 | X |
| 21 | 감각대체장치 및 방법 | 대한민국 | | | | ETRI | 2025-01-10 | 2755385 | 100 | X |
| 22 | 시각정보의 감각 치환 및 다중경로 전달 장치 및 방법 | 대한민국 | | | | ETRI | 2025-04-16 | 2798289 | 100 | X |
| 23 | Sensory Substitution Device | 중국 | | | | ETRI | 2025-08-08 | ZL202011154380.6 | 100 | X |
| 24 | APPARATUS AND METHOD FOR SENSORY SUBSTITUTION BASED ON DEPTH-TIME MAPPING | 미국 | | | | ETRI | 2025-08-12 | 12387336 | 100 | X |
| 25 | | 대한민국 | ETRI | 2025-07-28 | 2025-0102674 | | | | 20 | X |
| 26 | | 대한민국 | ETRI | 2025-05-02 | 2025-0058008 | | | | 30 | X |
| 27 | | 대한민국 | ETRI | 2025-05-27 | 2025-0068898 | | | | 100 | X |
| 28 | | 대한민국 | ETRI | 2025-03-04 | 2025-0027684 | | | | 80 | X |
| 29 | | 대한민국 | ETRI | 2025-02-25 | 2025-0024175 | | | | 100 | X |
| 30 | | U.S.A. | ETRI | 2025-11-05 | 19/380459 | | | | 100 | X |
| 31 | | U.S.A. | ETRI | 2025-11-07 | 19/382940 | | | | 80 | X |



| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32 | | U.S.A. | ETRI | 2025-11-07 | 19/382922 | | | | 100 | X |
| 33 | | 대한민국 | ETRI | 2025-11-12 | 2025-0169961 | | | | 30 | X |
| 34 | | 대한민국 | ETRI | 2025-09-09 | 2025-0128119 | | | | 20 | X |

### ㅇ 지식재산권 활용 유형

※ 활용의 경우 현재 활용 유형에 √ 표시, 미활용의 경우 향후 활용 예정 유형에 √ 표시합니다(최대 3개 중복선택 가능).

| 번호 | 제품화 | 방어 | 전용실시 | 통상실시 | 무상실시 | 매매/양도 | 상호실시 | 담보대출 | 투자 | 기타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |

### □ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

| 번호 | 저작권명 | 창작일 | 저작자명 | 등록일 | 등록 번호 | 저작권자명 | 기여율 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 지능형 통합 게이지 인식 시스템 | 2025-10-30 | 김계경 | 2025-11-18 | C-2025-050489 | 한국전자통신연구원 | 100 |
| | 디지털 게이지 자동 어노테이션 시스템 | 2025-10-17 | 김계경 | 2025-11-21 | C-2025-051290 | 김계경 | 100 |

### □ 신기술 지정

| 번호 | 명칭 | 출원일 | 고시일 | 보호 기간 | 지정 번호 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |

### □ 기술 및 제품 인증

| 번호 | 인증 분야 | 인증 기관 | 인증 내용 | | 인증 획득일 | 국가명 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 인증명 | 인증 번호 | | |
| | | | | | | |

### □ 표준화

### ㅇ 국내표준

| 번호 | 인증구분[1] | 인증여부[2] | 표준명 | 표준인증기구명 | 제안주체 | 표준종류[3] | 제안/인증일자 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 정보통신단체표준 | 인증 | 블록체인기반 제조데이터 거래 플랫폼-제2부 : 구조 및 적용 시나리오 | 한국정보통신기술협회 | ETRI | 신규 | 2025.12.05 |
| 2 | 정보통신단체표준 | 인증 | 블록체인기반 제조데이터 거래 플랫폼-제3부 : 계약관리 데이터 및 인터페이스 | 한국정보통신기술협회 | ETRI | 신규 | 2025.12.05 |

* 1」 한국산업규격(KS) 표준, 단체규격 등에서 해당하는 사항을 기재
* 2」 제안 또는 인증 중 해당하는 사항을 기재
* 3」 신규 또는 개정 중 해당하는 사항을 기재

### ㅇ 국제표준

| 번호 | 표준화단계구분[1] | 표준명 | 표준기구명[2] | 표준분과명 | 의장단 활동여부 | 표준특허 추진여부 | 표준개발 방식[3] | 제안자 | 표준화 번호 | 제안일자 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | |

* 1」국제표준 단계 중 신규 작업항목 제안(NP), 국제표준초안(WD), 위원회안(CD), 국제표준안(DIS), 최종국제표준안(FDIS), 국제표준(IS) 중 해당하는 사항을 기재
* 2」국제표준화기구(ISO), 국제전기기술위원회(IEC), 공동기술위원회1(JTC1) 중 해당하는 사항을 기재
* 3」국제표준(IS), 기술시방서(TS), 기술보고서(TR), 공개활용규격(PAS), 기타 중 해당하는 사항을 기재

## [경제적 성과]

### □ 시제품 제작

| 번호 | 시제품명 | 출시/제작일 | 제작 업체명 | 설치 장소 | 이용 분야 | 사업화 소요 기간 | 인증기관 (해당 시) | 인증일 (해당 시) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | U-STC3 | 2025-06-30 | 비피앤솔루션 | 울산지능화융합연구실/서버실 | 데이터 거래 | 2년 | | |
| 2 | 로터 미인출 상태에서 발전기 웨지 체결 강도 검사 로봇(RI) | 2025-08-20 | 대승정밀 | 발전소 협의 | 발전소 발전기 점검 | 2년 | | |
| 3 | 조작지능 시험용 양팔/핸드 로봇 테스트베드 | 2025-08-22 | ㈜로아스 | ETRI 12동 1층 실험실 | 양팔핸드 기반 조작지능 학습 및 시연 | 2년 | | |
| | | | | | | | | |

### □ 기술 실시(이전)

| 번호 | 기술 이전 유형 | 기술 실시 계약명 | 기술 실시 대상 기관 | 기술 실시 발생일 | 기술료 (해당 연도 발생액) | 누적 징수 현황 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | | 음향 기반 발전기 웨지 체결강도 인식 기술 V2.0 | 유진기술 | 2025.12 | 30,000천원 | |

### □ 사업화 현황

| 번호 | 사업화 방식1」 | 사업화 형태2」 | 지역3」 | 사업화명 | 내용 | 업체명 | 매출액 | | 매출 발생 연도 | 기술 수명 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 국내 (천원) | 국외 (달러) | | |
| 1 | 자기실시 | 기존 제품 개선 | 국내 | 생성형 AI 기반 맞춤형 정보제공 서비스 | AI 서비스 판매 (간접매출) | 대구시청 | 72,000 | - | 2025 | 2 |
| 2 | 자기실시 | 기존제품개선 | 국내 | 산업용 고중량 AMR | AMR판매 (간접매출) | HD현대건설기계 A&G테크놀로지 엘에스이엔엠 에이씨앤티시스템 | 1,628,845 | - | 2025 | 5 |
| 3 | 자기실시 | 기존 제품 개선 | 국내 | SW기반 품질검사 (발전기 웨지 체결강도 검사) | 직접매출 | 한국중부발전 신보령발전소본부 | 19,000 | - | 2025 | 2 |



* 1」기술이전 또는 자기실시 중 해당하는 사항을 기재
* 2」신제품 개발, 기존 제품 개선, 신공정 개발, 기존 공정 개선 등에서 해당하는 사항을 기재
* 3」국내 또는 국외 중 해당하는 사항을 기재

### □ 매출실적(누적)

| 사업화명 | 발생 연도 | 매출액 | | 합계 | 산정 방법 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 국내(천원) | 국외(달러) | | |
| 생성형 AI 기반 맞춤형 정보제공 서비스 | 2025 | 72,000 | | 72,000 | 관련매출(세금계산서) |
| 신보령 화력 발전소(로봇을 이용한 발전기 고정자 웨지 검사 용역) | 2025 | 19,000 | | 19,000 | 관련매출(세금계산서) |
| 산업용 고중량 이송 AMR | 2025 | 1,628,845 | | 1,628,845 | 관련매출(세금계산서) |
| **합계** | | 1,719,845 | | 1,719,845 | |

### □ 고용 창출

| 순번 | 사업화명 | 사업화 업체 | 고용창출 인원(명) | | 합계 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | yyyy년 | yyyy년 | |
| 1 | 제조데이터보호거래 플랫폼 | ㈜비피앤솔루션 | 1 | 1 | 2 |
| | | | | | |
| 합계 | | | | | |

### □ 홍보 실적

| 번호 | 매체명 | 제목(기술명) | 홍보일 | URL |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 한국산업기술진흥협회 | 로봇.IoT를 활용한 산업현장 안전 모니터링 | 2025-03-02 | http://https://www.koita.or.kr/conts/110001000000000.do |
| 2 | ETRI 컨퍼런스 | 산업재해 안전돕는 로봇 기술 | 2025-06-05 | http://etri-conference.org |
| 3 | 2025 WAVE 전시회 | 지능로봇 기반 산업설비(게이지) 인식 기술 | 2025-11-12.~14 | https://www.waveulsan.kr/main.html |
| 3 | 정보과학회 KCC 2025 워크샵 | 제5회 휴먼증강 기술 워크숍 | 2025-07-03 | https://www.kiise.or.kr/conference/main/getContent.do?CC=KCC&CS=2025&PARENT_ID=011300&content_no=2239 |
| 4 | YTN Science, 산업종합저널, 충청투데이, 동아사이언스, 쿠키뉴스, 시사위크, 연합뉴스, MHN, | ETRI Conference 2025 멀티모달 교감형 인공지능 로봇 | 2025-06-05 | https://www.youtube.com/watch?v=PDPBtDIhwy0 https://industryjournal.co.kr/news/241908 https://www.cctoday.co.kr/news/articleView.html?idxno=2213343 https://m.dongascience.com/news.php?idx=72077 https://www.kukinews.com/article/view/kuk202506050112 https://www.sisaweek.com/news/articleView.html?idxno=226032 https://www.yna.co.kr/view/AKR20250605070900017 https://www.mhnse.com/news/articleView.html?idxno=407691 |

## 2. 목표달성도

가. 공통지표

| 구분 | 기본지표 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 지표명 | 총사업연도 | 1단계 | | 2단계 | | | 3단계 |
| | | | '20년도 | '21년도 | '22년도 | '23년도 | '24년도 | '25년도 |
| 과학적 성과 | SCI(E) 논문 | 14 | 2 | 3 | 3 | 8 | 4.4 | 3.5 |
| 기술적 성과 | 국내특허(출원) | 60 | 10 | 12 | 8 | 9 | 5 | 20 |
| | 국내특허(등록) | 10 | 2 | - | 1 | 4 | 1 | 5 |
| | 국제특허(출원) | 35 | 3 | 6 | 5 | 6 | 1 | 7 |
| | 국제특허(등록) | 7 | 3 | - | 0 | 0 | 4 | 2 |
| 경제적 성과 | 기술이전(건) | 10 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| | 기술료(억원) | 8 | 1 | 1 | 0.6 | 1.6 | 1.6 | 0.3 |

| 구분 | 심화지표 | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 지표명 | 총사업연도 | 1단계 | | 2단계 | | | 3단계 |
| | | | '20년도 | '21년도 | '22년도 | '23년도 | '24년도 | '25년도 |
| 과학적 성과 | 표준화된 IF 상위 20% SCI 논문(건) | 2 | 1 | 0 | 1 | 3 | 4 | 1 |
| 기술적 성과 | 특허활용률 (기술이전건수/ 특허등록보유건수) | 40% | 10% | 0% | | 75% | | |
| | 국제표준승인표준 기고서(건) | - | - | - | | | | |
| | 3극 특허(건) | 2 | 1 | 0 | | | | |
| 경제적 성과 | 연구비 대비 기술료 수입(%) | 2.0 | 0.2 | 0.3 | | | | |

나. 자율지표

- 해당사항 없음

## 3. 목표 미달 시 원인분석 (해당 시 작성)

해당사항 없음



# 4 관련 분야에 대한 기여

## 1. 과학적·기술적·경제적·사회적 파급효과 (최종연도 기준)

(가) 과학적 성과

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- 지능로봇을 활용하여 고위험 제조현장의 안전을 안전을 지원하기 위하여 실 제조현장에 테스트베드((주)에이스앤이@울산)를 구축하였고 실증시험을 추진하여 현장 적용성을 평가하였음
- 이를 통해 제조현장에서 발생할 수 있는 다양한 사고위험을 사전에 감지하여 작업장과 작업자의 안전을 위한 기반 마련
- SCIE논문 1건 게재 (상위 10%)

□ 시각대체 및 시력증강을 위한 핵심 기술 확보

- 시각 정보를 효과적으로 요약할 수 있는 객체 검출 및 영역 분할 기술을 개발하여 시각대체 연구 분야 활성화 토대 마련
- 피부부착형 생체신호 수집 센서, 생체신호 기반 사용자 의도 분석 AI 모델 기술을 개발하여 사용자 시선의도에 응답하는 시력 조절 기술 연구 토대 마련
- SCIE논문 3건 게재 (상위 5% 이내 2건), 우수학술대회(CVPR, CHI 등) 7건 발표

□ · Five Fingers 휴먼케어 로봇

- 충돌을 방지하고 안전한 로봇 조작이 가능한 텔레오퍼레이션 시스템 기술 확보
- 한팔/그리퍼 매니퓰레이터, 양팔/핸드 로봇, 휴머노이드 양팔/핸드 로봇 등 다양한 유형의 로봇에 대응하는 로봇 자율조작 기술 확보
- 우수학술대회 논문 3건 발표(ICRA, AAAI, ICLR 각 1건)

(나) 기술적 성과

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- 국내외 제조기업에 적용되는 협업지능 적용 사례를 분석하여 본 과제에 적용 가능한 시나리오를 도출하였고, 제조 영역별 제조데이터의 보호 거래 및 다양한 형태의 제조현장에 적용 가능한 협업지능 프레임워크 베타테스트 진행 완료
- 제품 품질검사 기술 개발중인 참여기관의 요구사항을 반영한 기술개발 및 기술이전 추진
- 제조데이터 보호거래 플랫폼 시제품 개발 및 협업지능 프레임워크와의 연동기술 개발로 제조데이터를 보호하면서 AI 서비스를 제공할 수 있는 기반 마련
- 산업현장에서 발생할 수 있는 다양한 안전사고 예방을 위한 로봇지능 기반의 안전관리 시스템 개발 및 실 환경에서의 성능 시험중
- 대규모 발전기의 웨지 체결강도 검사를 위한 반자율 주행로봇 및 AI 기반 품질검사 시스템 개발 및 발전소 현장 성능 시험중
- 국내출원특허(5건), 국내특허등록(2건)

□ 인간 시각증강을 위한 핵심기술 개발

- 사용자 생체신호 기반 자율 시력 조절 관련 핵심 기술에 대한 특허 출원을 통해 IPR 선점
- 온디바이스에서 AI 모델 가속화 기술 및 생체신호 분석 AI 모델 개발을 통해 시력증강 기술을 위한 핵심 알고리즘 확보
- 국내특허출원(8건), 국내특허등록(3건), 국제특허출원(4건) 국제특허등록(2건)

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇

- 적은 데이터 학습량으로 목표 성능 초과 달성
- 고자유도 휴머노이드 조작을 안정적으로 수행할 수 있는 핵심 기반 기술 확보
- - 국제 특허 3건, 국내 특허 7건 출원

### (다) 경제적 성과

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- 산업현장에서 발생하는 주요 원인에 대한 사전 판단 기술로 연간 산업재해 사망자 감소에 기여하고 이에 따른 사회적 비용 절감 효과 기대
- 기술이전 (1건, 30,000천원), 사업화 3건(매출: 1,720백만원)

□ 인간의 신체적 한계로 직접 감지 못했던 외부 자극과 정보를 직접 지각할 수 있는 감각대체 기술 개발을 통해 사회적 약자에 대한 장애와 정보격차를 해소함으로써 사회, 경제적 참여 기회 확대에 기여

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇

- 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 프레임워크를 2가지 방식(모방학습 및 VLA)으로 개발. 각 방식의 장점(모방학습: 각 태스크의 작업 성공률 향상, VLA: 언어이해 기반으로 로봇 활용의 사용자 편의성 증대)에 따라 산업적 활용 가능

### (라) 사회적 성과

□ 산업현장 자율협업지능 기술

- 산업현장 이상상황 감시 기술은 산업현장에서 발생하기 쉬운 재해를 사전에 예방함으로서 안전한 작업장 실현으로 작업자의 안전한 작업과 품질향상에 기여
- 제조산업에서 재해가 발생하는 경우 작업장과 작업자 피해 복구를 위해 매년 수조원의 사회적 비용이 발생하지만, 본 기술이 적용될 경우 비용 절감과 함께 사고 예방에 따른 안전한 작업장 구현이 가능할 것으로 기대됨

□ 인간의 손상 또는 저하된 시각 능력을 복원하기 위한 요소기술을 확보하여 인간의 삶의 질 향상하기 위한 휴먼증강 기술 개발 확산에 기여

- 인간의 삶의 질을 향상하고 건강수명을 연장할 수 있는 기술 개발 확산을 위한 휴먼증강 공개워크샵 개최 (한국컴퓨터종합학술대회 2025 연계)
- 2025 광주디자인비엔날레 기술 전시를 통한 관련 기술에 대한 사회적 공감 및 연구 분야 활성화 기여

□ Five Fingers 휴먼케어 로봇

- 언어이해를 기반으로 하는 인터페이스를 제공하여 휴먼케어 로봇, 인터랙티브 작업 로봇 등을 일반 사용자도 활용가능하게 함으로써 로봇 사용자 층을 확대 가능

## 2. 후속 과제에 도움을 줄 수 있는 연구 결과

### (가) 산업현장 자율협업지능 기술

□ 향 후 디지털 무인 공장 및 작업자와 공존하는 협업로봇 공장 운영에 대비한 기술과제에 활용

- (Safety) 로봇 지능 기반으로 제조현장의 이상상황 감시에 대한 기술 성능 검증 완료
- (Efficiency) 지능형 고중량 물류 이송체 시제품 개발로 산업체의 안전과 공정 향상에 도움
- (Quality) 인간의 수동 작업대비 빠른 품질 검사로 제품 품질 향상 및 가동 중단기간 단축에 따른 경제적 손실비용 감소

### (나) 인간시각 증강 AI 기술



□ 향후 감각대체 기술 개발 및 사용자 시선 분석 연구 과제에 활용 가능

- 감각대체에 대한 기전 규명 및 감각대체 신호에 대한 학습 효과를 검증함으로써 향후 감각대체 기술 개발의 이론적 근거 제공
- 다양한 태스크에 대한 대규모 사용자 시선 데이터 구축을 통해 사용자 시선 분석과 관련된 AI 모델 개발, 특성 분석 등에 활용
- 사용자 착용형 기기에서 동작하는 AI 기술들은 시각장애인의 원활한 일상생활을 지원하는 디지털 포용 기술 개발 과제에 활용 가능

### (다) Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술

□ 조작지능 학습용 데이터셋 구축 및 양팔/양손 로봇 조작 VLA 모델 개발에 활용 가능

- (양팔/양손 로봇 텔레오퍼레이션 시스템) 조작지능 학습용 다양한 데이터셋(시뮬레이션/실환경)을 비용 효율적으로 확보하는데 활용
- (조작 지능 모델) 현재 개발된 단일 작업 모델 및 VLA 모델을 기반으로 실로봇 작업 데이터셋을 추가 학습하여 실제 작업 환경에서 사용 가능한 모델로 확장하는데 활용 가능

# 5 성과관리 및 활용계획

## 1. 성과관리 현황

<table>
<tr><th>구분</th><th>주요내용</th></tr>
<tr><td rowspan="3">성과물<br>생산 및 관리</td><td>o 산업 데이터 기반 제조 협업지능 프레임워크 기술<br>- 제조기업에서 생성되는 안전, 제조공정 및 제품 품질과 관련된 일련의 데이터를 공통 데이터 형식으로 정제하여 지능 로봇에서 활용할 수 있도록 지원<br>- 제조기업의 효율적인 AI 기술도입에 의한 협업지능 작업장 구현<br>o 시각정보의 청각대체 신호 학습 프레임워크 기술<br>- 학습자의 숙달도, 대체신호의 난이도, 중재 등 교육이론에 기반하여 사용자가 시각정보의 청각대체 신호를 효율적으로 학습할 수 있도록 하는 기술<br>- 감각대체 신호의 학습 효율을 향상하여 사용자가 감각대체 신호를 기반으로 다양한 행동을 수행하는데 소요되는 시간을 단축<br>o Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술<br>- 양팔/양손 로봇 HW 플랫폼 및 텔레오퍼레이션 시스템을 기반으로 로봇 조작 지능 학습용 데이터셋을 구축하고 공개함으로써 관련 연구진이 활용할 수 있도록 지원<br>- DP-VLA 모델은 한팔/그리퍼(모바일 매니퓰레이터) 실로봇 및 양팔/양손 로봇에서 추가 학습하여 최종 모델 공개를 통해 관련 연구진이 활용할 수 있도록 지원</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과물 유형 | HW, SW+HW, 기술간 융합 | 성과물 단계 | 프로토타입, 시작품</td></tr>
<tr><td>o 성과물 구현 방법<br>• 산업 데이터 기반 제조 협업지능 프레임워크 기술<br>- 지능 로봇에서 활용가능한 형태로 제조 데이터 정제 기술 개발<br>- 제조 산업에 특화된 AI 모델 및 학습데이터 관리<br>• 시각정보의 청각대체 신호 학습 프레임워크 기술<br>- 시각정보의 청각대체신호 변환 알고리즘<br>- 교육이론을 적용한 청각대체 신호 학습 정책 및 학습데이터 관리<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천 기술<br>- (로봇 플랫폼) 다시점 관찰(헤드/손목 카메라), 높낮이 조절이 가능한 플랫폼. ROS2 기반 양팔/핸드 제어 및 IssacSim 시뮬레이터 연동<br>- (텔레오퍼레이션 시스템) VR을 이용한 사용자의 양팔/핸드 모션 실시간 트래킹, 로봇 사용자 모션 동기화를 통한 로봇 플랫폼 실시간 원격 제어<br>- (VLA 모델) System2와 System1의 분리 설계, System2로는 공개 VLM 모델, System1으로는 BC-Transformer, ACT 등 적용 가능</td></tr>
<tr><td>성과물<br>활용분야 및 활용방안</td><td>o 최종 성과물의 활용분야<br>• 산업 데이터 기반 제조 협업지능 프레임워크 기술<br>- 혁신적인 제조 기술, 작업장 안전 및 생산성 향상이 필요한 주요 제조기업 작업현장<br>- 협업 로봇과의 상호 작용이 필요한 제조기업<br>- 제조기업의 데이터를 원천적으로 보호하면서 AI 학습이 필요한 AI 개발기업<br>• 시각정보의 청각대체 신호 학습 프레임워크 기술<br>- 시각장애인의 일생생활 보조<br>- 일반인이 디스플레이 없이 서비스를 이용하는 Screenless 서비스<br>- 산업현장에 안전사고 방지 서비스<br>o Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술<br>- 휴먼케어 로봇(가정환경의 일상생활 지원 로봇 등)<br>- 장애인/사무환경 작업 보조 로봇, 중소제조 공장 작업자 보조 로봇 등<br><br>o 최종 성과물의 활용방안<br>• 산업 데이터 기반 제조 협업지능 프레임워크 기술<br>- 기술수요처 확인서를 제출한 기업에서의 현장시험 및 기술고도화<br>- 지능 로봇을 활용하고자 하는 AI 제조기업으로의 기술이전을 통한 사업화 추진<br>• 시각정보의 청각대체 신호 학습 프레임워크 기술<br>- 중소기업 기술이전 및 기술고도화를 통한 실생활 적용<br>- 장애인 지원 단체를 통해 시각장애인 보조 장치로 시범 적용 추진<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술<br>- 로봇 작업의 효율성 향상 및 로봇 활용의 기술적 장벽 완화<br>- 손/팔을 사용하는 서비스 로봇의 고부가 가치화에 기여</td></tr>
</table>



<table>
<tr><td>데이터<br>공동활용</td><td>o 공개 범위<br>• 산업 데이터 기반 제조 협업지능 프레임워크 기술: ③제목만 공개(원내, 원외)<br>• 시력증강 AI 알고리즘 개발용 사용자 데이터: ②원내공개<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술: ①원외공개 ②원내공개<br><br>o 공개의 경우, 공유 시점<br>• 산업 데이터 기반 제조 협업지능 프레임워크 기술: ②당해 연구종료 직후<br>• 시력증강 AI 알고리즘 개발용 사용자 데이터: ③당해 연구종료 후 엠바고 지나서 (기간: 2년 후)<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술: ②당해 연구종료 직후<br><br>o 공개의 경우, 공개·공유 방법<br>• 산업 데이터 기반 제조 협업지능 프레임워크 기술: 기술이전설명회, 기술전시회<br>• 시력증강 AI 알고리즘 개발용 사용자 데이터: 라이센스 동의자에 대상 다운로드 링크 전달<br>• Five Fingers 휴먼케어 로봇의 자율조작 원천기술: 본 데이터셋을 서버에 업로드 후, 라이센스에 대한 동의서를 받고 다운로드 링크를 전달</td></tr>
</table>

## 2. 성과활용 계획

### (1) 기술적

- 제조기업에 특화된 제조 AI 협업지능 프레임워크 및 제조기업 경쟁력 요소인 안전관리 시스템 개발
- 손상된 감각기관의 정보를 전달하는 단일 감각기반 감각대체 기술을 다중 감각기반 감각대체 기술로 확장/고도화하여 인간의 감각지각 능력의 한계를 극복할 수 있는 초감각 기술 개발에 활용
- 양팔/양손 로봇 HW 및 텔레오퍼레이션 시스템은 로봇 조작 인공지능 프레임워크(VLA) 학습용 데이터셋 수집에 활용, 개발된 DP-VLA는 한팔/그리퍼, 양팔/핸드 휴머노이드 조작 지능 개발에 활용

### (2) 사회문제해결

- 제조기업 현장의 안전 확보에 의한 안전한 일터 조성 및 사고에 의한 사회적 비용 절감 효과
- 사람의 손상 또는 저하된 시각 능력을 증강하여 일상생활에서 자유로운 삶을 영위하고, 산업 및 제조 현장에서 경제적 활동까지 가능하게 함으로써 잠재적 생산성 저하 문제 해결
- 언어 기반 조작 지능을 통해 로봇 사용이 쉽지 않은 사용자에게 로봇 활용을 쉽게 할 수 있는 인터페이스 방법 제공 → 로봇 사용자 층 확대 가능

### (3) 확보된 기술의 사업화 전략

- 제조 AI 협업지능 시스템 기반의 독립적인 제조기업 지원용 AI 솔루션 개발이 가능하여, 제조기업 맞춤형 안전관리 시스템 현장 적용
- 기술개념 검증이 완료된 단일 감각기반 감각대체 기술을 확장하여 정보 전달량을 향상 할 수 있는 다중 감각 기반의 감각대체 기술을 개발하고, 수요기관과 연계한 시범적 실증테스트를 통해 기술 최적화 후 사업화 진행
- 고난도 조작 스킬과 사람의 명령을 이해하는 인공지능 모델 기반 로봇 조작 지능 기술을 통해 기존 산업용 로봇, 협동로봇, 물류로봇, 재난/안전/시설관리 로봇 등의 고부가 가치화

## 6 연구개발비 사용실적

### 연구개발비 사용실적 현황

| 과제책임자 | 성명 | 최정단 | 직위 | 본부장 |
|---|---|---|---|---|
| 과제수행기간 | 전체 | 2020. 01. 01 - 2028. 12. 31( 9 년 개월) | | |

| 연구개발기관의 연구개발비 (단위: 천원) | | 정부지원 연구개발비 | 기관부담 연구개발비 | | 그 외 기관 등의 지원금 | | | | 합계 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 지방자치단체 | | 기타( ) | | | | |
| | | 현금 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 현금 | 현물 | 합계 |
| 총계 | | 16,238,000 | 156,000 | 622,200 | | | | | 32,979,000 | 1,130,200 | 34,109,200 |
| 1단계 | 1년차 | 7,181,000 | 74,000 | 327,200 | | | | | 7,255,000 | 327,200 | 7,582,200 |
| | 2년차 | 4,495,000 | 30,000 | 120,000 | | | | | 4,525,000 | 120,000 | 4,645,000 |
| 2단계 | 3년차 | 4,417,000 | 52,000 | 175,000 | | | | | 4,469,000 | 175,000 | 4,644,000 |
| | 4년차 | 4,422,000 | 52,000 | 175,000 | | | | | 4,474,000 | 175,000 | 4,649,000 |
| | 5년차 | 6,053,000 | 18,500 | 166,500 | | | | | 6,071,500 | 166,500 | 6,238,000 |
| 3단계 | 6년차 | 6,166,000 | 18,500 | 166,500 | | | | | 6,184,500 | 166,500 | 6,351,000 |

## 7 중요 연구변경 사항

| 구분[1] | 변경 전 | 변경 후 | 변경사유 및 조치사항 | 변경근거[2] |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |

* 1」 연구개발목표, 연구개발비, 연구개발기관, 연구책임자 등에서 해당 사항을 기재합니다.
* 2」 문서번호 또는 승인일자 중에서 해당 사항을 기재합니다.



**[뒷면지]**

**주 의**

1. 이 보고서는 한국전자통신연구원의 기본사업으로 수행한 개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 한국전자통신연구원에서 시행한 기본사업 결과임을 밝혀야 한다.