

□ 미션 4.

주 제	AI 추론·실시간 제어 통합형 RTOS 기반 로봇 상위제어 플랫폼 개발 요약 : AI 추론 계층과 실시간 제어 계층을 분리하고, AI가 생성한 판단 결과를 정해진 제어주기 내 로봇 제어 명령에 반영할 수 있는 RTOS 기반 상위제어 플랫폼을 개발함. PREEMPT_RT Linux, ROS 2, Xenomai, EtherCAT 등 오픈소스 기술을 활용하여, AI 추론 결과가 실시간 제어 루프에 반영되는 과정을 실 로봇 또는 시뮬레이터로 구현하고 제어주기, 지터 및 통신 지연을 정량적으로 검증함.
기 업 명	HD현대로보틱스
카테고리	로봇 자동화·AI 제어·Physical AI
키 워 드	#RTOS #RealTimeControl #RobotController #PhysicalAI #ROS2 #PREEMPT_RT #Xenomai #EtherCAT #HAL
기업 설명	HD현대로보틱스는 HD현대의 로봇 전문기업으로, 산업용 로봇의 개발·생산부터 공장자동화 시스템의 설계, 설치, 시운전 및 유지보수까지 종합적인 로봇 자동화 솔루션을 제공합니다. 자동차·건설기계·배터리·전기전자 등 다양한 산업의 용접, 핸들링 및 물류 자동화 사업을 수행해 왔으며, 최근에는 조선산업의 고위험·고난도 공정을 대상으로 로봇 자동화 솔루션을 확대하고 있습니다. 또한 자체 로봇 제어기와 소프트웨어 기술을 기반으로 AI 로봇 및 스마트 제조 솔루션을 개발하고 있습니다
문제 배경	AI 기술을 로봇에 적용하기 위해서는 카메라, 센서 등의 데이터를 기반으로 작업 상태를 판단하는 AI 추론 기능과 로봇의 위치, 속도, 힘 등을 일정한 주기로 제어하는 실시간 제어 기능이 함께 구현되어야 함. 그러나 AI 추론은 연산시간이 일정하지 않은 반면, 로봇 제어는 정해진 주기를 안정적으로 유지해야 하므로 두 기능을 하나의 시스템에서 직접 실행할 경우 제어 지연이나 지터가 발생할 수 있음. 이는 고속·고정밀 작업뿐만 아니라 용접 중 용융풀 상태를 인식하여 조건을 실시간으로 조정하는 적응 제어 분야에서도 중요한 기술적 제약으로 작용함. 또한 로봇 제조사와 기종별로 제어 인터페이스가 달라 AI 기반 작업 애플리케이션을 다른 로봇에 적용하려면 상당한 재개발이 필요함. 이에 따라 상위의 AI 애플리케이션과 하위의 로봇 제어기를 분리하고, 로봇별 차이를 HAL(Hardware Abstraction Layer) 계층에서 흡수하는 플랫폼 구조가 필요함. 본 과제는 AI 추론 계층, 실시간 제어 계층, 통신·HAL 계층을 분리하여 구성하고, AI 추론 결과가 실시간 제어 성능을 저해하지 않으면서 로봇의 동작에 반영되는 상위제어 플랫폼 프로토타입 개발을 목표로 함.
참고자료	■ 예시 사진 : ■ 영상 : ■ 참고자료 링크 :
개발 목표	① 플랫폼 아키텍처 개념설계서 - AI 추론, 실시간 제어, 통신·HAL 계층의 구성 - 계층 간 데이터 흐름 및 인터페이스 정의 - 태스크 우선순위와 자원 분리 방안 ② 프로토타입 시연 - AI 추론 결과가 실시간 제어 루프에 반영되는 데모 - 실 로봇 또는 로봇 시뮬레이터 기반 구현 - 지연 또는 비정상 추론 발생 시 예외처리 시연 ③ 정량 벤치마크 결과

	- 기본 목표 제어주기: 1ms(1kHz) - 목표 지터: $\pm 100\mu s$ 이내 - AI 추론시간 및 제어 반영 지연시간 - AI 연산 부하 유무에 따른 실시간 성능 비교
기술 요구사항	① 플랫폼 아키텍처 설계 다음 기능을 구분하여 수행할 수 있는 모듈형 상위제어 플랫폼 구조를 설계함. AI 추론 계층 - 비전 또는 센서 데이터 기반 작업 상태 인식 - 작업 상태에 따른 목표값 또는 제어 파라미터 생성 - 실시간 제어 계층으로 추론 결과 전달 실시간 제어 계층 - 위치, 속도, 힘 또는 공정변수에 대한 주기 제어 - AI 추론 결과의 유효성 검증 및 제어 명령 반영 - 추론 지연 또는 통신 이상 발생 시 안전한 기존 제어값 유지 통신·HAL 계층 - 상위 애플리케이션과 로봇 또는 시뮬레이터 간 인터페이스 표준화 - 로봇별 제어 명령과 상태정보의 공통 데이터 구조 정의 - EtherCAT, ROS 2 등 통신방식과 로봇 기종의 차이를 흡수할 수 있는 구조 제안 ② AI 추론과 실시간 제어 연계 - AI 추론 결과를 목표 위치, 속도, 힘 또는 공정조건 등의 제어값으로 변환 - 비주기적으로 생성되는 AI 추론 결과를 주기적인 실시간 제어 루프에 안정적으로 반영 - 추론값의 반영 시점과 유효기간을 관리하는 동기화 구조 구현 - 추론 지연, 데이터 누락 및 비정상 출력에 대한 예외처리 기능 구현 ③ RTOS 기반 실시간 제어환경 구현 - PREEMPT_RT Linux, Xenomai 또는 이에 준하는 실시간 실행환경 구성 - 기본 목표 제어주기 1ms(1kHz)의 실시간 제어 루프 구현 - AI 추론 작업이 동시에 수행되는 환경에서 제어주기 유지 여부 검증 - 태스크 우선순위, CPU 자원 배분 및 프로세스 간 통신구조 설계 ④ 프로토타입 시연 다음과 같은 실 로봇 또는 시뮬레이터 기반 시연 시나리오 중 하나 이상을 구현함. - 비전 AI가 대상물의 위치 또는 상태를 추론하여 로봇의 목표 위치 보정 - 센서 데이터를 분석하여 접촉력 또는 이동속도 실시간 조정 - 공정상태를 추론하여 작업 중 로봇의 경로 또는 공정 파라미터 변경 - 서로 다른 로봇 또는 시뮬레이터를 동일한 상위 명령으로 제어하는 HAL 기능 시연 ⑤ 성능 측정 및 시각화 - 제어주기와 지터 측정 - AI 추론시간 및 추론 주기 측정 - AI 추론 결과가 제어값에 반영되기까지의 End-to-End 지연시간 측정 - AI 연산 부하 변화에 따른 실시간 제어 성능 비교 - 정상·지연·통신 단절 조건별 시스템 동작 결과 시각화
필수 고려사항	· AI 추론 연산이 실시간 제어 루프의 주기 유지에 영향을 주지 않도록 실행환경을 분리해야 함 · AI 추론 결과를 실시간 제어에 직접 반영하기 전에 값의 범위, 유효성 및 시간 정보를 검증해야 함 · AI 추론이 지연되거나 중단되더라도 로봇이 급격하거나 불안정하게 동작하지 않도록 안전한 제어방식을 제시해야 함 · 제어주기, 지터 및 추론 결과의 제어 반영 지연을 실제 측정값으로 제시해야 함 · 특정 제조사의 로봇에 종속되지 않도록 상위 명령과 로봇별 인터페이스를

	분리한 HAL 구조를 제안해야 함 · 대회 기간 내 구현 가능하도록 단일 축, 간소화된 로봇 모델 또는 시뮬레이터를 활용할 수 있음
제안 한마디	단순히 RTOS에서 로봇을 구동하는 것이 아니라, 연산시간이 가변적인 AI 추론과 주기 유지가 필수적인 실시간 제어를 안정적으로 연결하는 플랫폼 구조를 제안해야 함. AI 추론 정확도 자체보다 추론 결과가 제어에 반영되는 과정의 실시간성, 안정성 및 확장성을 중점적으로 평가하며, 우수 결과물은 향후 용융폴 상태 기반 용접 적응제어 및 이종 로봇을 지원하는 공통 HAL 플랫폼으로의 후속 개발을 검토할 수 있음. 작성 방향 - 과제 범위: 완성형 로봇 제어기보다 상위제어 플랫폼 아키텍처와 핵심 기능의 프로토타입 검증으로 한정함. - 평가 객관성: 제어주기, 지터, 추론시간, 제어 반영 지연을 정량지표로 설정함. - 당사 활용성: 용융폴 적응제어와 이종 로봇 HAL 계층으로 확장 가능한 구조를 명시함. - 대회 적합성: 오픈소스 기반 시뮬레이터와 간소화된 제어 대상을 허용하여 단기간 구현 가능성을 높임.