

교과목 개요서

교과목명	(국문) Virtual to Real: Isaac Sim과 휴머노이드 로봇으로 배우는 피지컬 AI		이수구분	학년	학기	학점-강의-실습
	(영문) Virtual to Real: Physical AI with Isaac Sim and Humanoid Robots		타전공(일반)선택	3	-	2 - 1 - 1
관장학과	창의융합교육원		이수단위	6C 핵심역량		진로트랙
	소프트웨어융합원		100	도전역량		-
수업정보	교강사수	☐ 단독강의 ☒ 2명이상(팀티칭 또는 옴니버스)				
	운영방식	☒ 일반강의(설명중심) ☐ 토론식 또는 세미나식				
	수강규모	20명				

국문개요 (상세하게 기술)	<p>본 교과목은 인공지능이 디지털 환경을 넘어 실제 물리적 세계를 인식하고 판단하며 행동하는 Physical AI의 핵심 개념과 구현 방법을 학습하는 몰입형 실습 중심 교과목이다. 학습자는 NVIDIA Isaac Sim 기반의 시뮬레이션 환경에서 휠형 휴머노이드 로봇의 구조와 동작 원리를 이해하고, 로봇 모델 구축, 관절 제어, 역기구학(Inverse Kinematics), 카메라 기반 환경 인식 및 로봇 Manipulation 기술을 단계적으로 학습한다.</p> <p>본 교과목에서는 Physical AI 시스템을 구성하는 인지(Perception)-판단(Planning)-제어(Control)-행동(Action)의 전체 과정을 하나의 프로젝트 흐름으로 경험한다. 먼저 Isaac Sim 환경에서 휴머노이드 로봇의 관절 구조와 좌표계를 이해하고 로봇팔의 자세와 엔드이펙터를 제어한다. 이후 카메라 데이터를 이용하여 물체를 인식하고 물체의 위치를 추정하며, 인식된 객체의 위치 정보를 로봇 제어와 연계하여 비전 기반 Pick-and-Place 시스템을 구현한다.</p> <p>특히 시뮬레이션 환경에서 개발하고 검증한 알고리즘을 실제 Galaxea R1 계열의 휠형 휴머노이드 로봇에 적용하는 Sim-to-Real 실습을 통해 시뮬레이션과 실제 환경 사이에서 발생하는 센서 오차, 좌표계 차이, 제어 오차 및 환경 변화 등의 문제를 직접 확인하고 해결한다. 마지막 단계에서는 팀별로 실제 로봇을 이용한 Physical AI 응용 과제를 정의하고, 시스템을 설계·구현·검증한 후 결과를 시연한다.</p> <p>이를 통해 학습자는 단순한 로봇 제어 프로그램 작성에 그치지 않고, 시뮬레이션-인지-로봇 제어-실물 검증으로 이어지는 Physical AI 프로젝트의 전체 개발 사이클을 경험하며, 실제 Physical AI 및 휴머노이드 로봇 시스템을 설계하고 구현할 수 있는 실무형 문제 해결 역량을 배양한다.</p>
영문개요	<p>Physical AI with Isaac Sim and Humanoid Robots is an immersive, hands-on course designed to introduce the core concepts and implementation methods of Physical AI, in which artificial intelligence extends beyond digital environments to perceive, reason about, and act upon the physical world. Using NVIDIA Isaac Sim, students will learn the structure and operating principles of wheeled humanoid robots and progressively develop practical skills in robot modeling, joint control, inverse kinematics, camera-based perception, and robotic manipulation.</p> <p>The course provides students with hands-on experience in the complete Physical AI workflow of Perception-Planning-Control-Action through a project-based learning approach. Students first explore the joint structure and coordinate systems of a humanoid robot in the Isaac Sim environment and learn to control robot arm poses and end-effectors. They then use camera data to detect objects and estimate their positions, integrating perception results with robot control to implement a vision-based Pick-and-Place system.</p> <p>A key component of the course is Sim-to-Real learning, in which algorithms developed and validated in simulation are transferred to actual Galaxea R1-series wheeled humanoid robots. Through this process, students identify and address practical challenges arising from differences between simulated and real-world environments,</p>

	<p>including sensor errors, coordinate-frame discrepancies, control errors, and environmental variations. In the final stage of the course, students work in teams to define a Physical AI application using a real robot, design and implement the system, validate its performance, and demonstrate the final results.</p> <p>By completing this course, students will go beyond basic robot programming and experience the entire development cycle of a Physical AI project, from simulation and perception to robot control and real-world validation. Through this process, they will develop practical problem-solving skills and the ability to design and implement Physical AI and humanoid robotic systems.</p>
--	--

* 교과목 관장학과(부, 전공)에서 작성한다.

수업목표	<ol style="list-style-type: none"> 1. Physical AI와 Embodied AI의 기본 개념을 이해하고, 인지-판단-제어-행동으로 이어지는 로봇 시스템의 전체 동작 구조를 설명할 수 있다. 2. NVIDIA Isaac Sim 기반 로봇 시뮬레이션 환경을 구축하고 활용하여 휠형 휴머노이드 로봇의 구조, 관절, 좌표계 및 센서 데이터를 이해할 수 있다. 3. 카메라로부터 획득한 영상 데이터를 활용하여 객체를 인식하고 위치를 추정하며, 인식 결과를 로봇 제어 좌표계와 연계할 수 있다. 4. 인지 결과와 Manipulation 제어를 통합하여 비전 기반 Pick-and-Place 시스템을 구현할 수 있다. 5. 시뮬레이션에서 개발한 알고리즘을 실제 휴머노이드 로봇에 적용하는 Sim-to-Real 과정을 수행하고 시뮬레이션과 실제 환경 간 차이를 분석·개선할 수 있다.
수업운영방식 (상세하게 기술)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 이론 + 직관적 설명 중심 강의 <ol style="list-style-type: none"> ① Physical AI, 로봇 좌표계, 관절 제어, 역기구학, Computer Vision 등 핵심 개념을 수학적 이론에만 의존하지 않고 그림, 시뮬레이션 및 로봇 동작을 활용하여 직관적으로 설명한다. ② 개념 설명 직후 해당 기술을 Isaac Sim에서 직접 구현하도록 하여 이론과 실습을 연계한다. ③ 실제 서비스 로봇, 물류 로봇, 제조 로봇 및 휴머노이드 로봇 사례를 활용하여 Physical AI 기술의 산업적 활용 방법을 이해하도록 한다. 2. 프로젝트 기반 실습(IC-PBL(C)) <ol style="list-style-type: none"> ① Isaac Sim을 중심으로 충분한 시뮬레이션 검증을 수행하고, 실물 실습에서는 동일한 알고리즘을 실제 Galaxea R1 계열 휠형 휴머노이드 로봇에 적용한다. ② 실제 로봇에서 발생하는 센서 오차, 좌표계 차이, 조명 변화, 제어 오차 및 충돌 가능성을 분석하고 이를 보정한다. ③ 팀별로 Physical AI 응용 시나리오를 정의하고, 인지-판단-제어 과정을 통합한 로봇 시스템을 구현한다. 최종 결과는 실제 로봇을 이용하여 시연하고, 구현 과정에서 발생한 문제와 개선 방법을 함께 발표한다.
평가방식	Pass or Fail

[수강생 권장 도서]

구분	도 서 명	저 자	출판사
1	자체 제작 PPT 자료 제공		
2			
3			

[강의 요목 및 과제]

일차	학습 주제	과제
1	Physical AI 개요 및 Isaac Sim 기초 Physical AI·Embodied AI의 개념과 산업 사례, 인지-판단-제어-행동 구조 이해, Isaac Sim 환경 및 시뮬레이션의 역할 이해, World·Robot·Sensor·Coordinate Frame 개념, 기본 Scene 구성 및 로봇 모델 확인	-
2	R1 로봇 모델 구축 및 관절 제어 휠형 휴머노이드 로봇의 구조와 자유도 이해, Joint·Link·End-Effector 개념, 로봇 좌표계와 Joint State 이해, 각 관절의 Position/Velocity 제어, 양팔 동작 및 기본 Pose 구현	-
3	역기구학 기반 End-Effector 제어 Forward/Inverse Kinematics의 개념, Base-Arm-End-Effector 좌표 관계, 목표 위치와 자세 표현, IK Solver를 활용한 로봇팔 제어, 도달 가능 영역 및 특이점 이해	-
4	카메라 기반 물체 인식 및 위치 추정 로봇 카메라와 영상 데이터 이해, RGB/Depth 데이터의 기본 개념, 객체 인식 모델 활용, 이미지 좌표와 로봇 좌표의 관계, 물체 위치 추정 및 좌표 변환	-
5	비전 기반 Pick-and-Place 구현 Perception과 Manipulation의 통합, 객체 인식 → 위치 추정 → 접근 → Grasp → 이동 → Release의 전체 과정, Gripper 제어, 충돌을 고려한 접근 경로 설계, Isaac Sim 기반 Pick-and-Place 구현	-
6	Sim-to-Real 환경 구축 및 실물 R1 기초 실제 Galaxea R1 로봇의 하드웨어 구조, 센서, 카메라, 로봇팔, Gripper 및 이동 플랫폼을 확인한다. 로봇 안전 운용 방법과 Emergency Stop 등 기본 안전 절차를 학습한다. 시뮬레이션 환경과 실물 로봇의 구성 및 인터페이스 차이를 비교하고, 실제 로봇과 개발 환경의 연결 및 기본 상태 확인을 수행한다.	-
7	Sim-to-Real 로봇 제어 및 오차 분석 Isaac Sim에서 구현한 Joint Control과 IK 기반 End-Effector 제어를 실제 R1 로봇에 적용한다. 시뮬레이션과 실물 환경에서의 관절 움직임, 동작 범위, 속도 및 위치 오차를 비교하고, 실제 로봇에 적합하도록 제어 파라미터를 조정한다.	-
8	실환경 비전 인식 및 좌표계 통합 실물 R1의 카메라 영상을 획득하여 객체를 인식하고 위치를 추정한다. Camera Frame, Robot Base Frame, End-Effector Frame 등의 좌표 관계를 확인하고, 카메라에서 인식한 객체 위치를 로봇팔 제어에 사용할 수 있도록 좌표 변환한다. 조명 및 카메라 위치 등 실제 환경 변화가 인식 성능에 미치는 영향을 분석한다.	-
9	Physical AI 통합 프로젝트 구현 지금까지 학습한 Perception, Localization, Manipulation 기술을 통합하여 실제 로봇 기반 Physical AI 시스템을 구현한다. 팀별로 객체 인식 → 위치 추정 → 접근 → Grasp → 이동 → Place의 전체 Pipeline을 구성하고 반복 실험을 통해 문제점을 분석한다. 필요에 따라 이동 플랫폼 또는 양팔 제어 등 확장 기능을 적용한다.	-
10	시스템 최적화 및 최종 프로젝트 시연 팀별 프로젝트의 성공률과 동작 안정성을 반복 실험하여 분석하고, 객체 위치 변화, 조명 변화, 제어 오차 등 실제 환경에서 발생하는 문제를 개선한다. Simulation과 실제 로봇의 차이를 분석하고 Sim-to-Real 관점의 개선 방법을 도출한다. 최종적으로 팀별 Physical AI 시스템을 시연하고 개발 과정과 결과를 발표하여 성과를 공유한다.	-