

지능 로봇

Intelligent Robots

이건명
충북대학교 대학원 산업인공지능학과

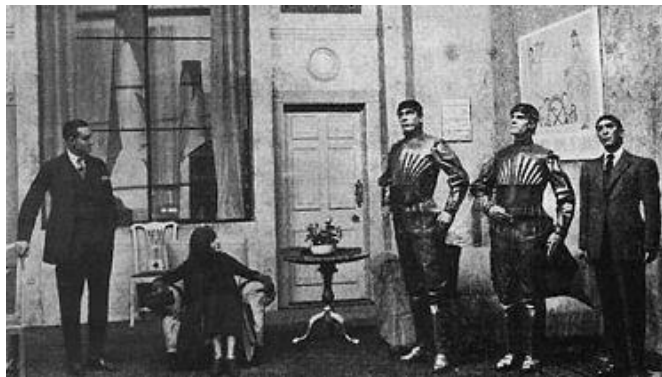
학습 내용

- 로봇 시스템의 구성요소에 대해서 알아본다.
- 로봇의 물리적 동작에 관련된 기구학과 동력학에 대해서 알아본다.
- 로봇 시스템에서 사용될 수 있는 다양한 센서들에 대해서 살펴본다.

1. 로봇

❖ 로봇(robot)의 유래

- 체코 Capek의 1921년 연극 – R.U.R (Rosumovi Univerz ln Roboti)
 - Robota – 허드레 일을 하는 사람, 강제 노동



공장에서 생산한 작업자 기계

❖ 로봇의 정의

- 사람이 하는 걷기, 말하기와 같은 다양하고 복잡한 행동을 하는 **사람처럼 보이는 기계**
- Webster
- **자동**으로 또는 **컴퓨터 제어**에 따라 **사람의 일을 할 수 있는 기계** - Webster
- 다양한 작업을 위해 **프로그램된 동작**들을 통해서 자재, 부품, 도구, 장치 등을 움직이도록 설계된 **재프로그래밍이 가능한**(reprogrammable) **다기능 조작기**(manipulator)
- Robotics Institute of America

로봇

❖ 지능형 로봇(intelligent robot)

- 외부환경을 스스로 인식하고 상황을 판단하여 자율적으로 동작하는 기계장치(기계장치의 작동에 필요한 소프트웨어 포함) – **지능형 로봇법** (법률 제17799호)
- **지능형 로봇윤리헌장**
 - 지능형 로봇의 기능과 지능이 발전함에 따라 발생할 수 있는 사회질서의 파괴 등 각종 피해를 방지하여 지능형 로봇이 인간의 삶의 질 향상에 이바지 할 수 있도록 지능형 로봇의 **개발**
 - **로봇 제조 및 사용에 관계하는 자**에 대한 **행동지침**을 정한 것
 - 지능형 로봇법에 마련 근거 제공
 - **아이작 아시모프(Isaac Asimov)의 로봇 3원칙** (1942. SF소설 Runaround)

첫째, 로봇은 인간에게 해를 가하거나, 혹은 행동을 하지 않음으로써 인간에게 해를 끼치지 않는다.
둘째, 로봇은 첫 번째 원칙에 위배되지 않는 한 인간이 내리는 명령에 복종해야 한다.
셋째, 로봇은 첫 번째와 두 번째 원칙을 위배하지 않는 선에서 로봇 자신의 존재를 보호해야 한다.

- **2007년 세계 최초로 국가(산업자원부)에 제정 추진(초안 공개)**

1장(목표) 로봇윤리헌장의 목표는 인간과 로봇의 공존공영을 위해 인간중심의 윤리규범을 확인하는 데 있다.
2장(인간, 로봇의 공동원칙) 인간과 로봇은 상호간 생명의 존엄성과 정보, 공학적 윤리를 지켜야 한다.
3장(인간 윤리) 인간은 로봇을 제조하고 사용할 때 항상 선한 방법으로 판단하고 결정해야 한다.
4장(로봇 윤리) 로봇은 인간의 명령에 순종하는 친구·도우미·동반자로서 인간을 다치게 해서는 안 된다.
5장(제조자 윤리) 로봇 제조자는 인간의 존엄성을 지키는 로봇을 제조하고 로봇 재활용, 정보보호 의무를 진다.
6장(사용자 윤리) 로봇 사용자는 로봇을 인간의 친구로 존중해야 하며 불법개조나 로봇남용을 금한다.
7장(실행의 약속) 정부와 지자체는 헌장의 정신을 구현하기 위해 유효한 조치를 시행해야 한다.

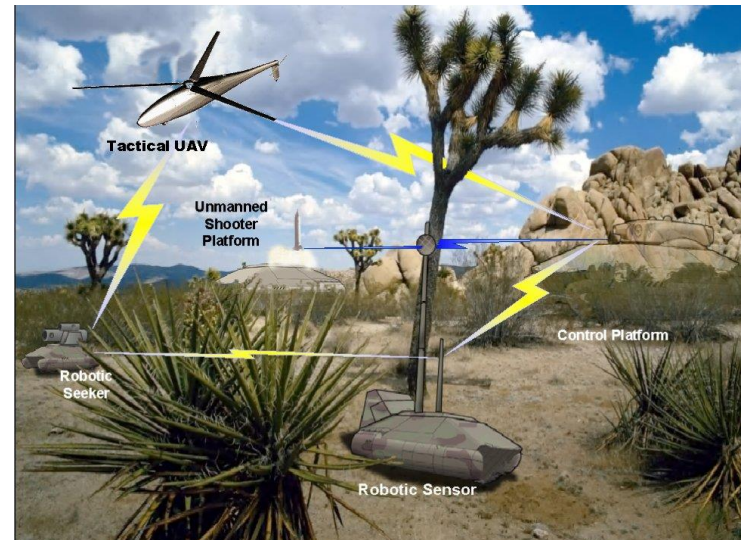
1.1 로봇의 용도와 분류

❖ 로봇의 용도

■ 3D(dirty, dangerous, demanding) 작업의 대체

- 지저분하거나 위험하거나 힘든 작업 대체

- 산업용 로봇
- 하수도/파이프 점검 로봇
- 폭탄 제거 로봇
- 청소 로봇
- 미래형 전투 로봇



로봇의 용도

❖ 인간 작업의 개선

- 사람이 하는 것보다 잘 할 수 있는 분야에 적용
 - **구난 로봇** : 사람이 진입할 수 없는 재난 현장에 투입



<https://www.pinterest.co.kr/pin/344525440214635583/>

- **감시 로봇** : 피로나 집중력 문제 해소

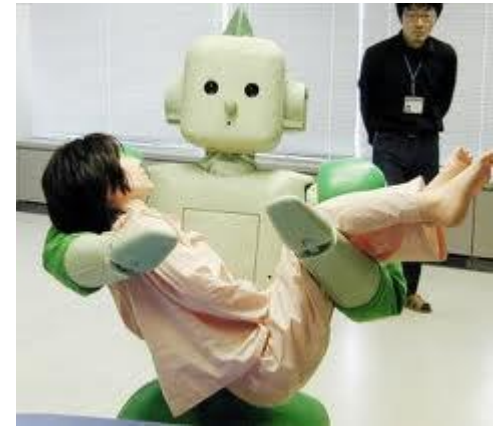
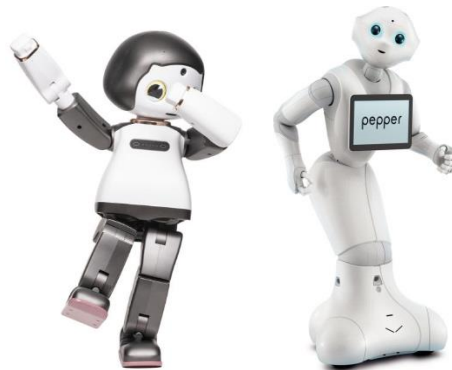


<https://www.engadget.com/2009-01-23-tmsuk-t-34-robot-speaks-softly-carries-a-big-net.html>

로봇의 용도

❖ 인간 보조(assist)

- 노인보조 (eldercare)
- 간병(nursing)
- 재활치료(rehabilitation)
- 컴패니언(companion) 로봇
 - Pepper, Liku
- 운동치료
- 외골격 로봇(Exoskeleton)
- 로봇 수술(robot surgery)



- 1 Surgeon Console
- 2 Image Processing Equipment
- 3 Endowrist Instruments
- 4 Surgical Arm Cart
- 5 Hi-Resolution 3-D Endoscope

로봇의 용도

❖ 오락 (entertain)

- 장난감
 - Sony AIBO
- 휴머노이드 로봇
 - Honda ASIMO
 - KAIST Hubo
 - KIST Kibo



ASIMO



Hubo



Kibo



Nao

- 교육용 로봇



키봇

Platforms

Boston Dynamics



SpotMini



Spot



Atlas

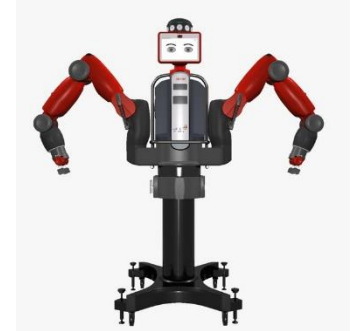


Handle

로봇의 용도에 따른 분류

❖ 산업용 로봇

- 생산 라인에서 반복적인 정해진 작업을 수행하는 로봇
- **로봇 팔**(robot arm) 또는 **매니퓰레이터**(manipulator)라고 불리는 것



Baxter

❖ 서비스 로봇

- 특정 서비스를 위해 사용되는 것으로 **개인용 로봇**과 **전문작업용** 로봇
- 서비스 환경에 대한 **인식**과 환경에 따른 **적응적인 동작**을 해야 하기 때문에 인공지능 기술이 필요



사용환경에 따른 분류

❖ 무인 지상 로봇

- 이동체 (mobile)
- 휴머노이드/동물형태 (humanoid/animal)
- 모트(mote)



❖ 무인 비행체

- 고정익(fixed wing)
- 수직이착륙(VTOL, vertical take-off and landing)
- 소형 비행체(MAV, micro aerial vehicle)
- 드론 (drone)



❖ 무인 수중 로봇

- 자율운행 로봇 : 자율 잠수정
- 원격조정 로봇 : 원격조정 수중 작업 로봇



1.2 로봇 기술의 분야

- ❖ 위치추정(localization)
 - 로봇의 **현재 위치**를 결정하기 위한 기술
- ❖ 센서 처리/인식/결합 (sensor processing/perception/fusion)
 - 로봇의 **현재 상태** 및 **주변상황**을 판단하기 위해 센서 데이터를 처리하여 해석하는 기술
- ❖ 불확실성 관리 (uncertainty management)
 - **잡음**과 **오류**가 있는 센서 측정값의 처리 방법
- ❖ 센서 결합 (sensor fusion)
 - 현재 상태에 대한 **추정치**를 **개선**하기 위해 **여러 센서**의 **데이터**를 **결합**하는 기술
- ❖ 환경 모델링 (environment modeling)
 - 로봇의 **주변 환경**에 대한 **가정 설정** 및 **표현** 기술
- ❖ 관심 집중 (focus-of-attention)
 - 로봇이 **집중**해야 하는 **대상의 설정** 및 **추적** 기술
- ❖ 제어 구조 (control architecture)
 - 충분히 빠르게 로봇이 **반응**할 수 있도록 하는 **제어 전략** 및 **구현** 기술

로봇 기술의 분야

- ❖ 추론 및 작업 조정 (reasoning and task arbitration)
 - 상황에 대한 **추론** 및 해야 할 **작업** 등에 대한 **의사결정** 기술
- ❖ 경로 계획 및 항법 (path planning and navigation)
 - 로봇의 **목적지** 및 **이동 경로 결정** 기술
- ❖ 행동 선택 (action selection)
 - 취할 수 있는 행동이 여러 개 있을 때, **바람직한 행동 선택** 기술
- ❖ 학습 및 적응 (learning and adaptation)
 - 동적으로 변하는 **환경**에 **대응**하도록 로봇의 **동작 특성** 및 **지식**이 변하도록 **학습**하는 기술
- ❖ 은닉상태 모델링 (hidden state modeling)
 - 동일한 행동이지만 이전의 행동과는 다른 결과가 나오는 환경에는 **관측되지 않은 은닉상태** (hidden state)가 있기 때문에, 은닉상태를 고려하여 로봇의 **동작 특성**을 **모델링**하는 기술
- ❖ 다중 로봇 협업 및 통신 (multi-robot cooperation and communication)
 - **여러 로봇**이 있는 환경에서 다른 로봇들과 **함께 일을 하도록 조정**하는 기술 및 **정보를 주고받는** 기술

2. 로봇 시스템의 구성

❖ 로봇 시스템(robot system)

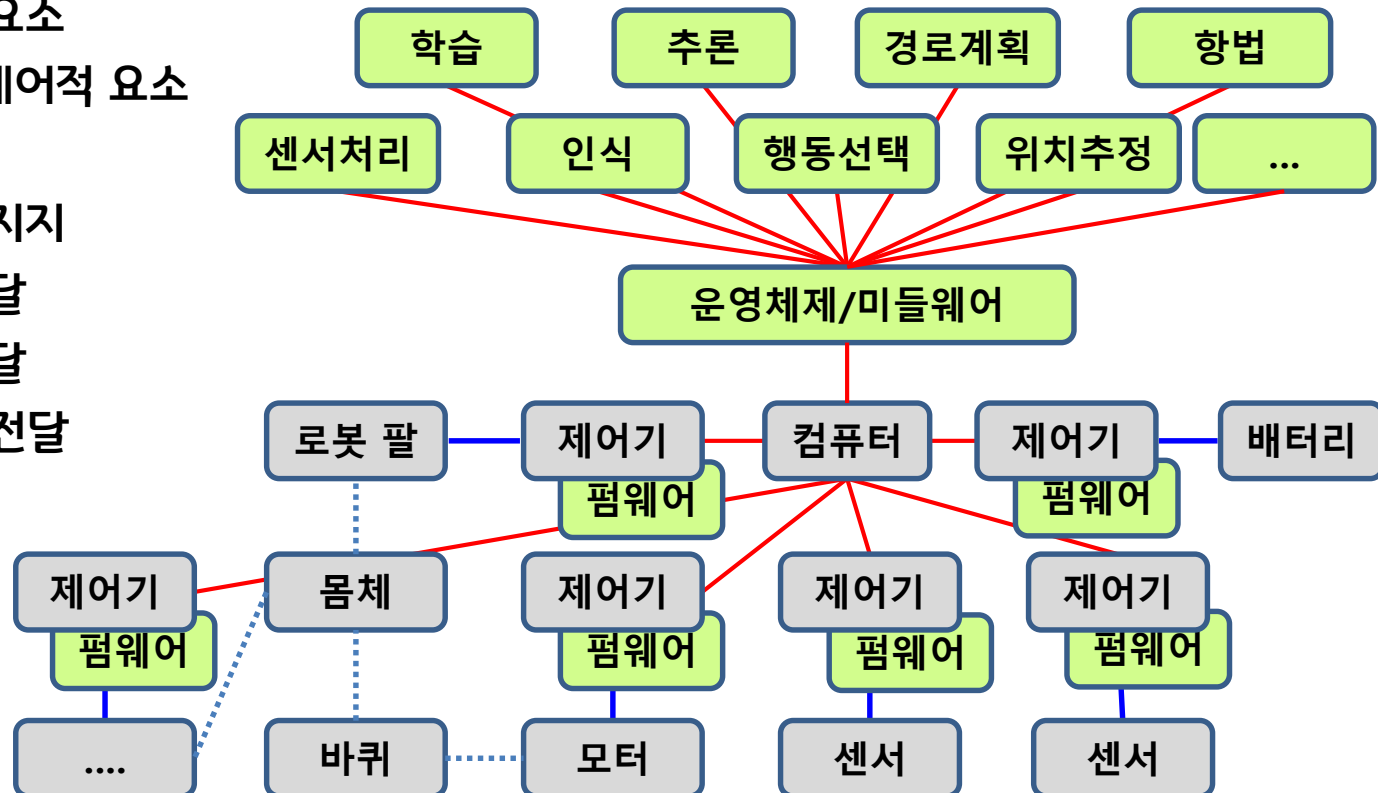
- 로봇의 목적에 맞는 행동을 할 수 있도록 여러 **요소들(components)**이 상호작용하는 **관계(relationship)**로 통합되어 있는 것

■ 요소

- 물리적 요소
- 소프트웨어적 요소

■ 관계

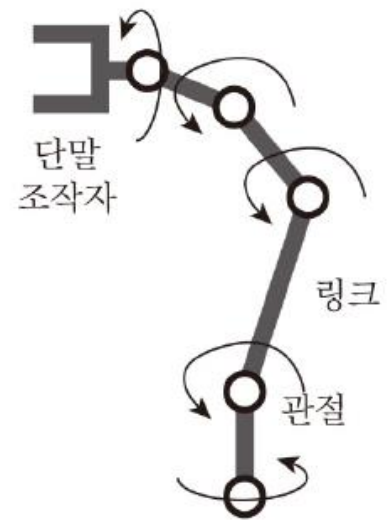
- 물리적 지지
- 동력 전달
- 신호 전달
- 데이터 전달



2.1 물리적 구성요소

❖ 기구적(機構的) 구성요소

- 각종 기계 및 기구 부품
- 프레임(뼈대, frame)
- 하우징(housing) : 외관 또는 다른 장치를 지지하는 구조물
- 링크(link) : 강체로 되어 있는 부분
- 관절(joint) : 링크를 연결하는 부분
- 베어링(bearing)
- 기어(gear)
- 타이밍 벨트(timing belt)
- 바퀴(wheel)
- ...



물리적 구성요소

❖ 하드웨어적 구성요소

- 전기 또는 전자적으로 작동하는 요소
- 구동기(actuator) : 힘을 전달하여 움직이게 하는 장치
- 센서(sensor) : 로봇의 내부 상태, 작업 대상, 외부 환경 정보 수집
- 제어기(controller) : 구동기, 센서 등에 연결되어 제어하는 장치
- SBC(Single Board Computer) : 라즈베리 파이와 같은 작은 컴퓨터
- 컴퓨터 본체
- ...

2.2 소프트웨어적 구성요소

❖ 소프트웨어적 구성요소

▪ 운영체제

- SBC 등의 컴퓨터에 대한 자원관리

▪ 제어기(controller) 펌웨어

- 모터, 센서 등 각종 장치를 제어하는 MCU(micro-controller unit)에 탑재되는 소프트웨어
- 받은 요청에 따라 해당 장치를 제어하고 처리

▪ 미들웨어(middleware)

- (다른 운영체제 또는 다른 프로그램 언어로 개발된 분산 환경에서) 소프트웨어 컴포넌트나 응용 프로그램이 쉽게 통신할 수 있도록 하는 소프트웨어
- 일반적으로 라이브러리 형태
- 미들웨어와 각종 개발도구들이 함께 개발 프레임워크(framework)로 제공

▪ 과업(task) 수행을 위한 각종 응용프로그램

소프트웨어적 구성요소

❖ 소프트웨어적 구성요소 – cont.

▪ 응용 소프트웨어 모듈

- 센서데이터로부터 자신 및 주변 **상황**을 **인식**하는 모듈
- 자신 및 주변 상황을 **추론**하는 모듈
- 특정 임무의 달성을 위한 **계획 수립** 모듈
 - 경로 계획(path planning), 로봇 팔의 매니퓰레이션(manipulation)
- 계획에 따른 **제어** 모듈
 - 주행, 항법
- **동시적 위치추정 및 지도작성(SLAM)**
- 현재 상황에서 가장 바람직한 **행동 선택**을 하는 모듈
- 다른 로봇 또는 사람과 **의사소통**하는 모듈
 - 음성인식, 얼굴인식, 제스처 인식, 대화 인식
- **학습 모듈**
- ...

3. 기구학과 동력학

❖ 기구학(kinematics)

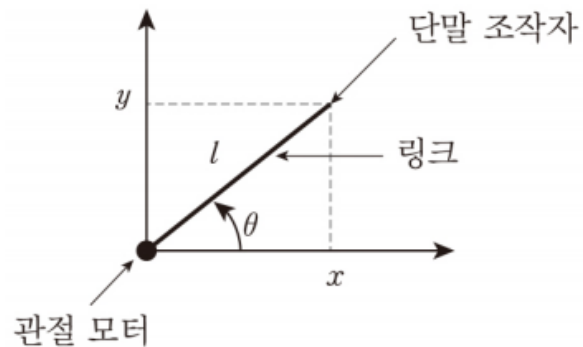
- 로봇의 **관절**이나 **바퀴**의 **회전**과 로봇의 **변형**이나 **움직임**을 **결정**하는데 사용되는 이론
- 매니퓰레이터(manipulator)**
 - 관절(joint)의 **회전** 각도에 따라 **단말조작자(end effector)**의 위치 변화
 - 단말조작자의 위치와 매니퓰레이터의 궤적에 관심
- 이동 로봇(mobile robot)**
 - 바퀴**의 **회전**에 따라 로봇의 위치 변화



기구학과 동역학

❖ 매니퓰레이터의 기구학

- 순기구학(forward kinematics, 정기구학)
 - 각 관절의 모터 회전각도가 어떻게 단말 조작자의 위치 변화를 유발시키는지 해석하는 것



$$x = l \cos \theta, \quad y = l \sin \theta$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} l \\ 0 \end{bmatrix}$$

그림 10.4 단일 링크 매니퓰레이터의 기구학적 해석
회전각도 θ 에 따른 단말 조작기의 위치 결정.

기구학과 동력학

❖ 매니퓰레이터의 기구학

▪ 역기구학(inverse kinematics)

- 단말 조작자를 **특정 위치**에 두기 위해 각 관절의 모터를 얼마만큼 회전시켜야 하는지 결정하는 것
- **위치 벡터** p 와 해당 위치 결정을 위한 관절의 회전 각도 등 **모수** θ

$$p = f(\theta), \quad \theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$$

$$p' \approx p + J\Delta\theta$$

새로운 위치 자코비안 이동 벡터

$f(\theta)$ 를 벡터인 θ 로 1차 편미분한 행렬

- p 에서 p' 으로 이동하려고 할 때 요구되는 모수의 변화량 $\Delta\theta$

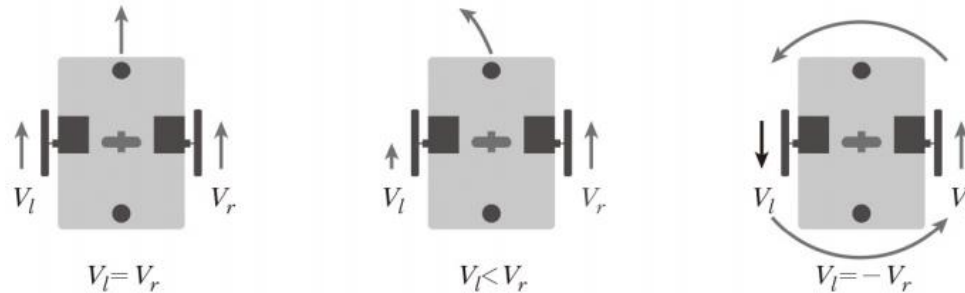
$$p' - p = \Delta p = J\Delta\theta$$

$$\Delta\theta = J^{-1}\Delta p$$

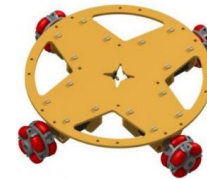
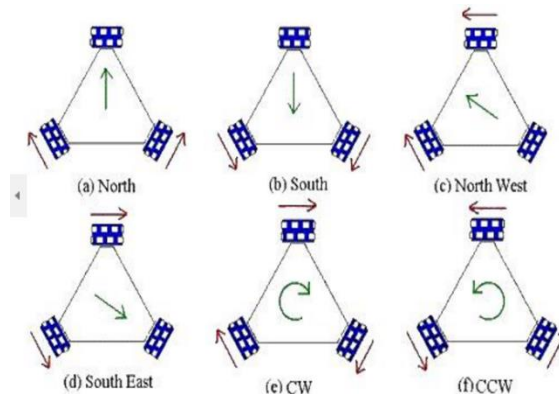
기구학과 동력학

❖ 이동 로봇의 기구학

- 바퀴 구동 모델(wheel drive model)
 - 차분 구동방식(differential drive)
 - 2개의 바퀴가 각각 방향 전환 가능



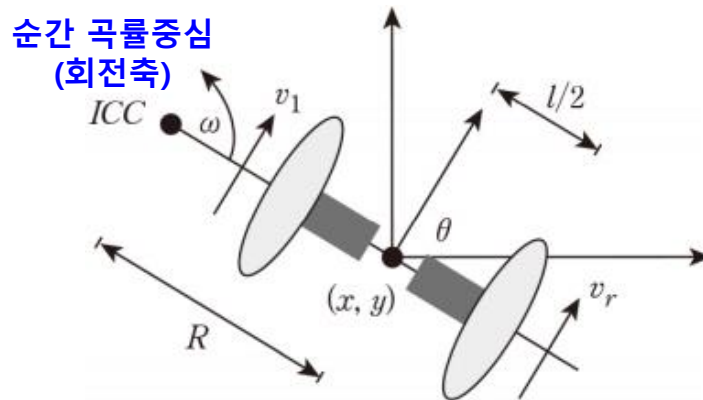
- 전방향 구동방식(omnidirectional drive)
 - 3개 이상의 바퀴가 방향 전환이 가능하여 임의방향으로 진행 가능



기구학과 동력학

❖ 이동 로봇의 기구학 – cont.

▪ 차분 구동방식



l : 바퀴 사이의 거리
 V_r : 오른쪽 바퀴의 속도
 V_l : 왼쪽 바퀴의 속도
 w : 회전 각속도
 R : 회전축과 로봇 중심의 거리
 θ : 진행 방향과 X축과의 각도

$$\omega (R + l/2) = V_r$$

$$\omega (R - l/2) = V_l$$

$$R = \frac{l}{2} \frac{V_l + V_r}{V_r - V_l}; \quad \omega = \frac{V_r - V_l}{l};$$

$$ICC = [x - R \sin(\theta), y + R \cos(\theta)]$$

▪ 순기구학(forward kinematics)

- 두 바퀴의 속도 V_l, V_r 와 현재 위치 (x, y) 가 주어질 때 δ 시점의 위치

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ \theta' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega\delta) & -\sin(\omega\delta) & 0 \\ \sin(\omega\delta) & \cos(\omega\delta) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x - ICC_x \\ y - ICC_y \\ \theta \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} ICC_x \\ ICC_y \\ \omega\delta \end{bmatrix}$$

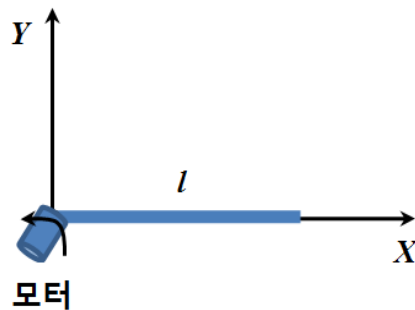
▪ 역기구학

- 특정 위치로 직접 이동할 수 없는 경우들이 많음

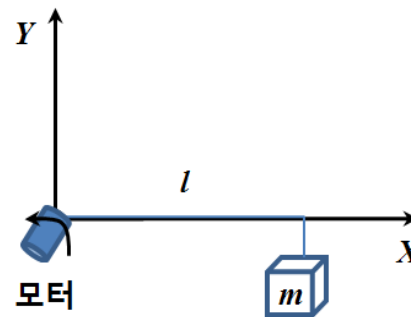
기구학과 동역학

❖ 동역학(dynamics)

- 링크와 같은 **강체**에 작용하는 **힘**과 **회전력(토크)**이 물체에 작용하는 **운동, 속도** 등을 **해석**하는 분야
- Ex. **회전력**(torque, 토크) = 질량×중력가속도×(힘의 작용점까지 거리) = mgl



(a)



(b)

- **관절 각속도 $\dot{\theta}$** 와 단말 조작자 위치의 **속도 v**

$$x = l \cos \theta, \quad y = l \sin \theta$$

$$\frac{dx}{dt} = \dot{x} = \frac{d}{dt} l \cos \theta = l \frac{d\theta}{dt} \frac{d}{d\theta} \cos \theta = -l \dot{\theta} \sin \theta$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{y} = \frac{d}{dt} l \sin \theta = l \frac{d\theta}{dt} \frac{d}{d\theta} \sin \theta = l \dot{\theta} \cos \theta$$

$$\mathbf{v} = (dx/dt, dy/dt) \quad \text{속도}$$

$$\mathbf{v} = (-l \dot{\theta} \sin \theta, l \dot{\theta} \cos \theta)$$

$$s = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = l \dot{\theta} \quad \text{속력}$$

4. 센서와 구동기

❖ 센서(sensor)

- 기기의 내·외부 조건 및 상황을 계측하기 위해 사용되는 장치
- **내부 센서(internal sensor)**
 - 로봇의 동작을 위해 필수적인 **상태 값** 측정
 - 모터 회전량을 계측하는 엔코더(encoder), 기계의 작동범위를 제한하는 한계 스위치 등
- **외부 센서(external sensor)**
 - 로봇의 동작 **환경**과 **작업 대상체**에 대한 정보 수집
 - 작업 대상을 인식하기 위한 카메라, 전방 장애물을 감지하는 초음파 센서 등

센서

❖ 내부 센서 - 자기 위치 측정

- 엔코더(encoder)
- GPS
- 자이로스코프
- 가속도 센서
- 관성측정 장치(IMU, Inertial Measurement Unit)
- 지자기 센서
- 자세 방향 기준 장치(AHRS, Attitude Heading Reference System)

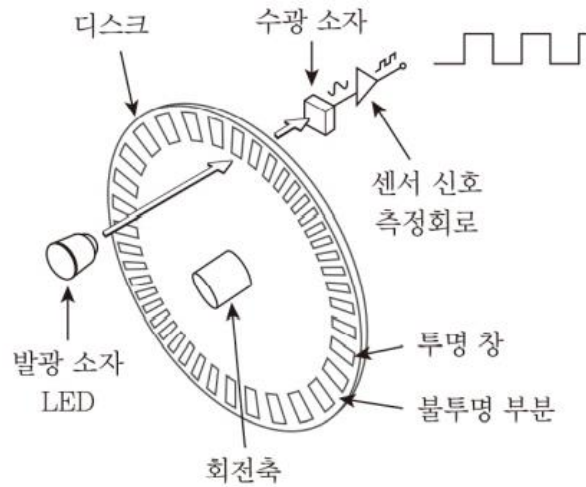
❖ 외부 센서 - 외부 환경 감지

- 거리 센서
- 깊이 센서
- 광학 카메라
- 마이크로폰
- 토크(torque) 센서
- ...

4.1 내부 센서

❖ 엔코더(encoder)

- 모터에 장착되어 모터의 **회전 각도**에 비례한 **펄스(pulse)**를 출력하는 센서

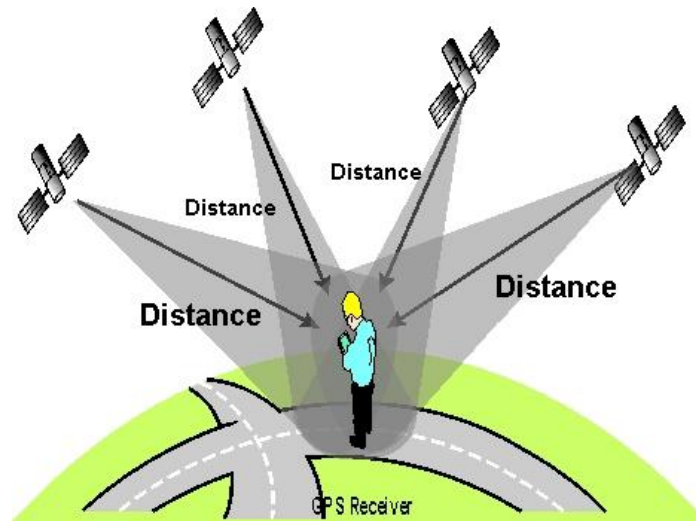


- **엔코더 카운터(counter)** 칩이나 **MCU**를 사용하여 회전수 측정
- 로봇의 이동량을 측정하는데 사용

내부 센서

❖ GPS (geographic positioning system) 수신기

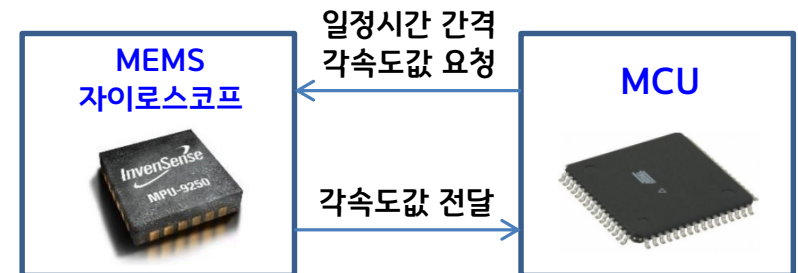
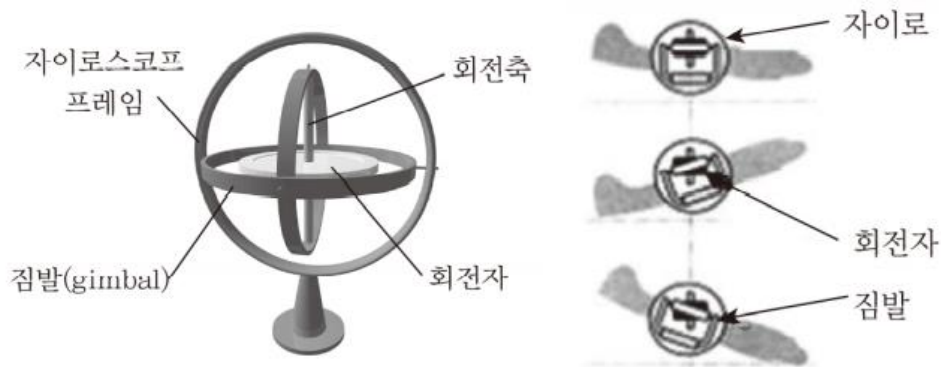
- 4개의 **GPS 위성**에서 보내는 신호를 수신해 사용자의 **현재 위치**를 계산하는 방법
- 시각, 위도, 경도, 고도 정보 제공



내부 센서

❖ 자이로스코프 (Gyroscope)

- **회전하는 축**(axis)은 외력에 저항하며 현재 상태 유지 성질
- 자이로스코프는 **짐발**(Gimbal, 수평 유지 장치)에 놓이게 되므로 **외부의 토크는 최소화되며**,
장착된 짐발이 움직이더라도 회전축 방향은 거의 고정
- 자이로스코프에서 생성된 신호 이용해 항공기 등의 자세 확인 가능
- **MEMS** (Micro Electro Mechanical Systems) 자이로스코프 출시
 - 3축 **각속도** 측정
 - 각속도를 적분하여 **각도** 계산

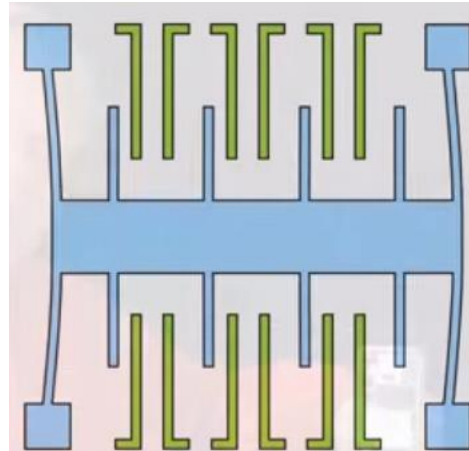
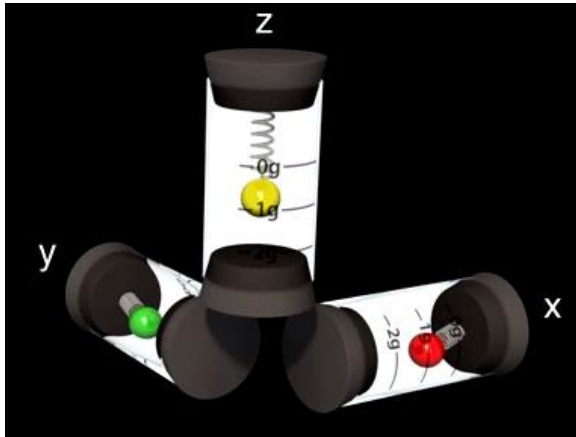


Roll (x축 회전, 진행방향), Yaw (y축 회전), Pitch(z축 회전)

내부 센서

❖ 가속도 센서 (accelerometer)

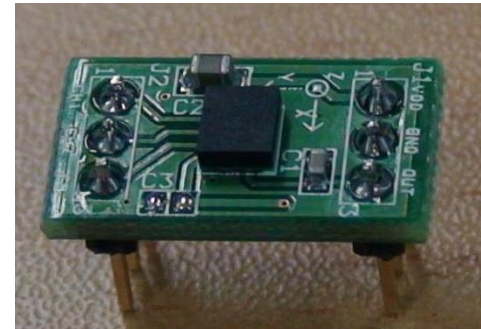
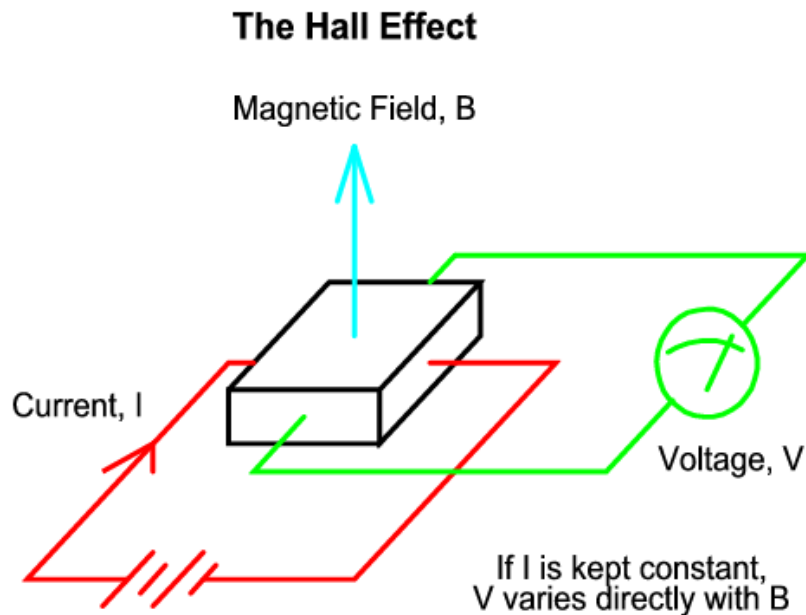
- 선형 가속도와 기울임 각도 측정
- 보통 제한된 모션 센싱 기능 제공
- MEMS 가속도센서 칩 출시



내부 센서

❖ 지자기 센서(geomagnetic sensor)

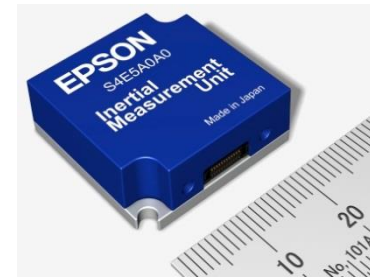
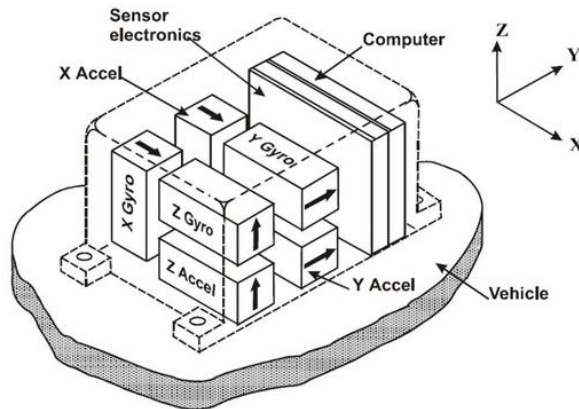
- 지구 자기장을 측정하는 센서
- 금속 탐지, 나침반 기능
- 직교하는 전도체 내의 전류와 자기장에 의해 전자가 편향되면서 도체 양단에 전압이 발생하는 원리를 이용



내부 센서

❖ 관성측정장치 (IMU, Inertial Measurement Unit)

- 이동관성을 측정하는 **가속도계**, 회전관성을 측정하는 **자이로계**, 선택적으로 방위각을 측정하는 **자계**를 하나로 통합한 장치
- 가속도와 각속도를 적분하여 이동거리 산출 가능
- MEMS IMU 출시



- **관성항법시스템**(inertial Navigation System, INS)에서 사용
 - 항공기, 미사일, 잠수함 등에서 자신의 위치를 감지하여 목적지까지 유도하는 장치

내부 센서

❖ 자세 방위 기준장치(AHRS, Attitude Heading Reference System)

- 가속도계의 **가속도**, 자이로스코프의 **각속도**, 지자기계의 **방향 정보** 이용
- 3차원 공간상의 **자세**(attitude)와 **방위각**(heading)에 대한 정보 출력



myAHRS+

4.2 외부 센서

❖ 거리 센서

- 적외선 거리 센서
- 초음파 센서
- 레이더(radar)
- 라이다(LIDAR/LADAR)
- 소나(SONAR)
- 깊이 센서

❖ 영상 카메라

❖ 움직임 센서

❖ 마이크로폰

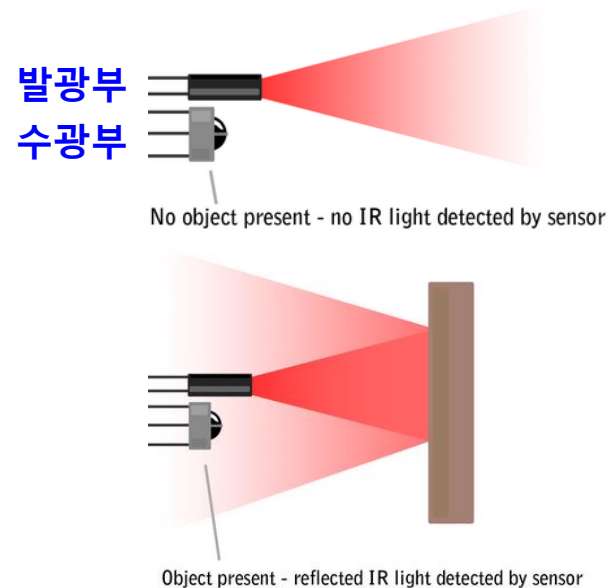
- 음성입력

❖ 스마트 센서

외부 센서

❖ 적외선(infrared) 거리 센서

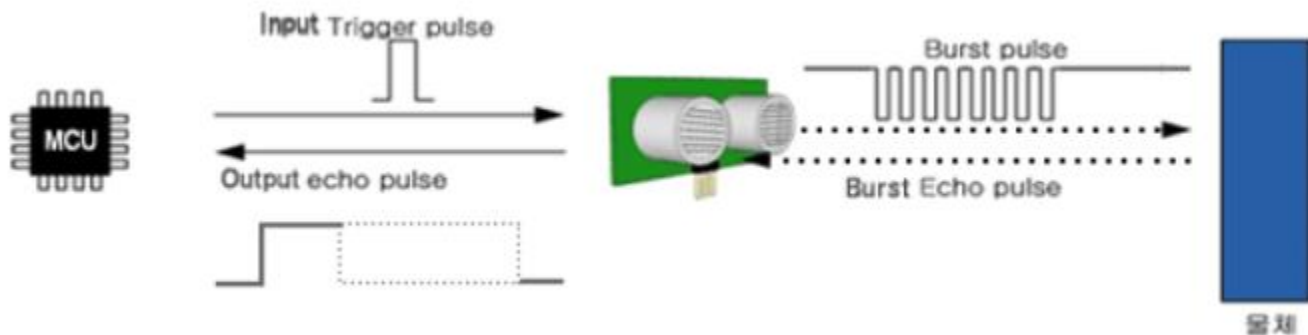
- 적외선을 방출하는 **발광부**(emitter)와 빛을 받아들이는 **수광부**(detector)로 구성
- 발광부에서 발생된 적외선이 물체에 부딪혀 반사된 빛을 수광부에서 감지하여, 물체의 유무와 거리 등을 측정
- 아날로그 방식의 **거리측정** 센서
- 주변 환경(대상 물체의 색상, 명암변화, 태양광, 전기 불빛 등) 영향
- 움직임 센서(motion sensor)로 사용하기도 함



외부 센서

❖ 초음파 센서(Ultrasound sensor)

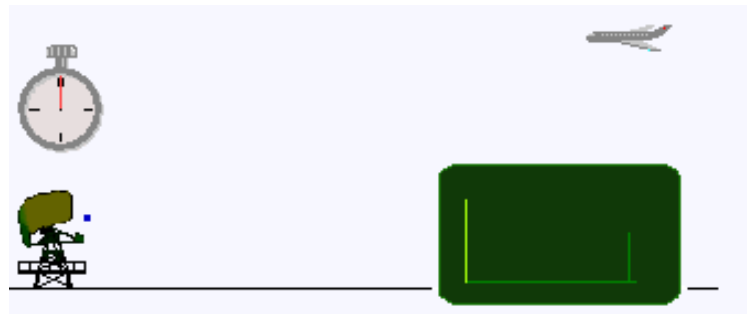
- 사람의 귀로 들을 수 없는 20KHz 이상의 초음파 사용
- **가까운 거리**에 있는 물체, 사람의 유무, 거리측정 등에 사용
- 음파의 속도(344m/s)는 **온도**에 **영향**을 받기 때문에 보정 필요



외부 센서

❖ 레이더 (RADAR, Radio Detection And Ranging)

- **라디오**(Radio)**파**를 사용하여 물체의 **범위, 고도, 방향, 속도** 측정
- 수백 km 범위 측정 레이더와 수 m 이내 범위의 레이더도 존재
- 라디오파의 **비행시간**(time of flight, ToF)를 측정하여 **거리 계산**



https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_radar

▪ 차량용 레이더

- Daimler Benz, BMW, Jaguar, Nissan, Toyota, Honda, Volvo, Ford 등 제공
- 자동차 위험 경고

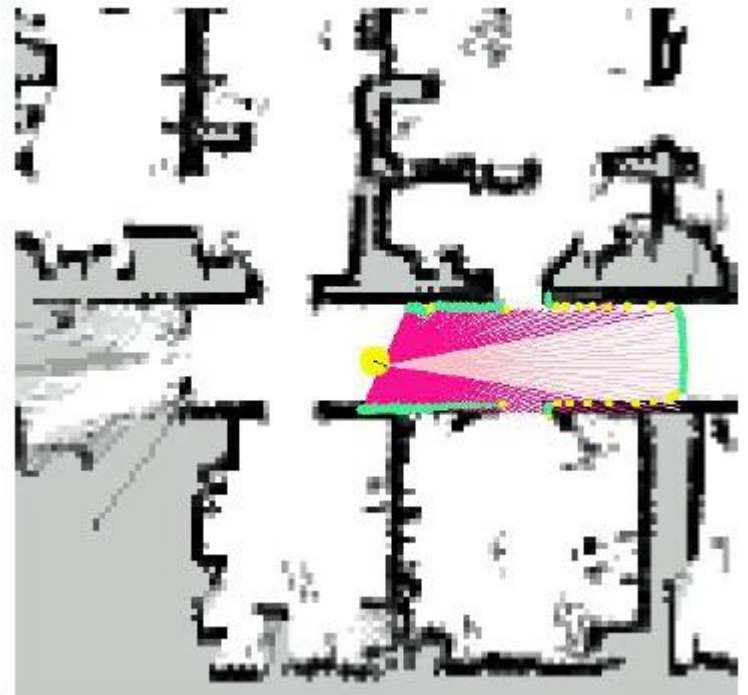
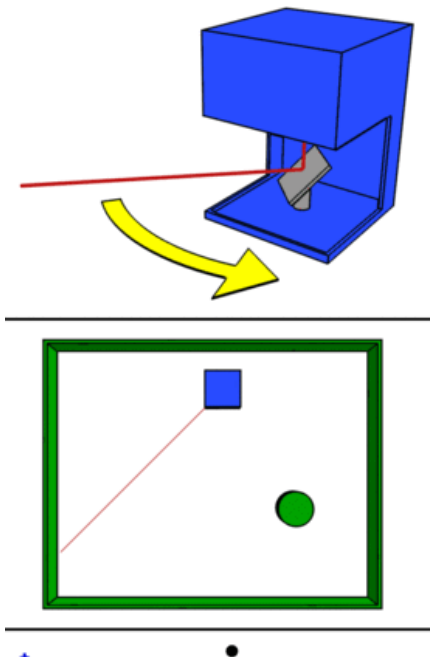


173.7 x 90.2 x 49.2 mm

외부 센서

❖ **라이다 (LIDAR/LADAR, Light/Laser Detection And Ranging)**

- **빛** 또는 **레이저**를 쏘서 물체와의 거리를 측정하는 기술
- 빛 또는 레이저의 **비행시간**(time of flight, ToF)를 측정하여 거리 계산



<http://en.wikipedia.org/wiki/LIDAR>

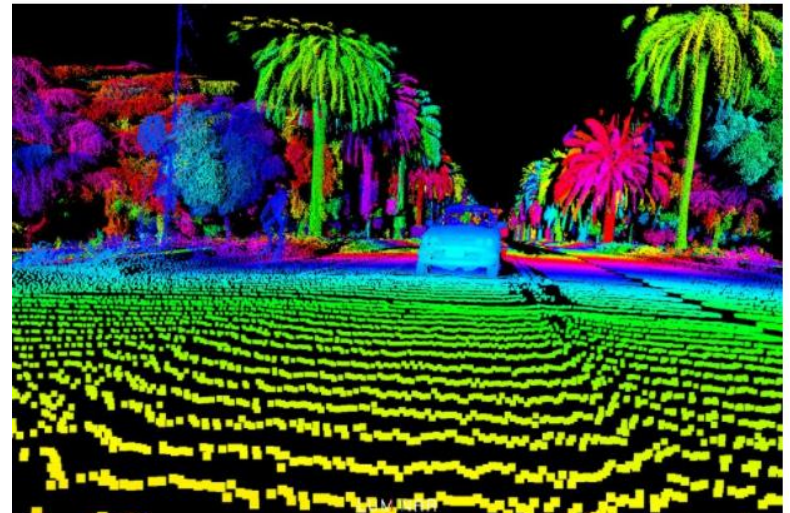
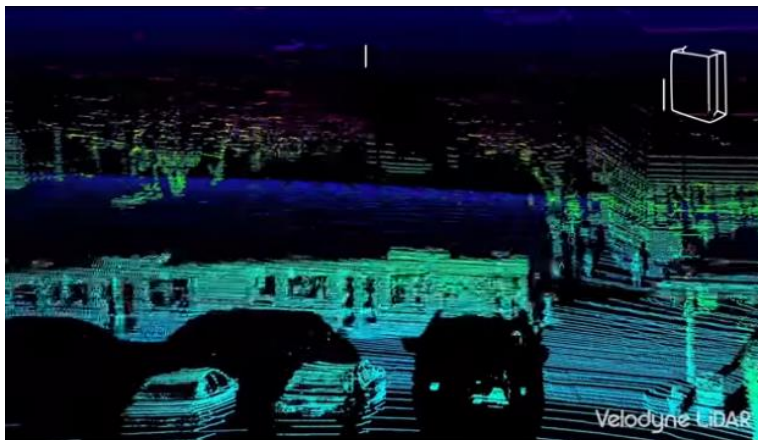
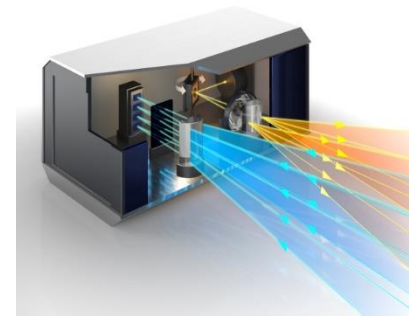
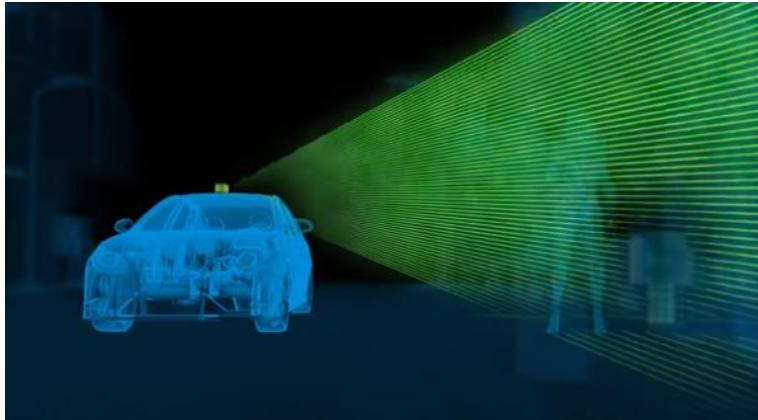
http://www.youtube.com/watch?v=eBUCGxZq_xg



외부 센서

❖ 라이다 (LIDAR/LADAR) – cont.

- 대상의 방향, 속도, 온도, 물질의 농도 등의 특성 파악 가능
- 스캐닝(scanning) 라이다 : 360도 시야각
- 고정식(solid state) 라이다 : 최대 270도 시야각



외부 센서

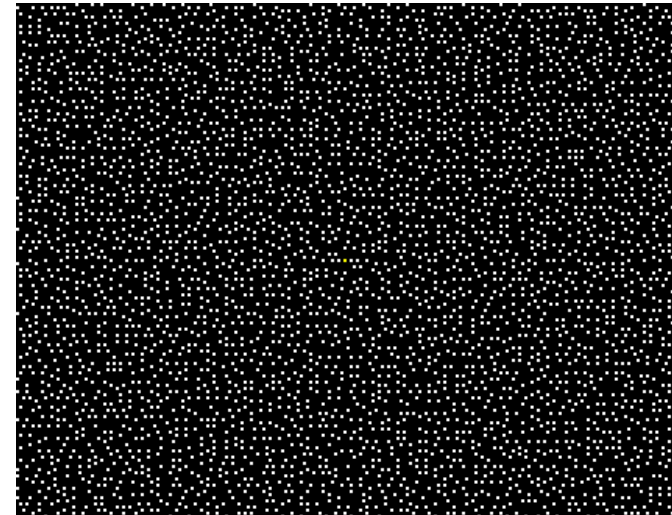
❖ 깊이 센서

▪ 비행시간(ToF) 방식

- 발광에서 반사광의 감지까지 걸린 시간을 통해 거리 측정
- MS Kinect 2, Panasonic D-IMager, MESA Imaging SwissRanger

▪ 구조광(structured light) 방식

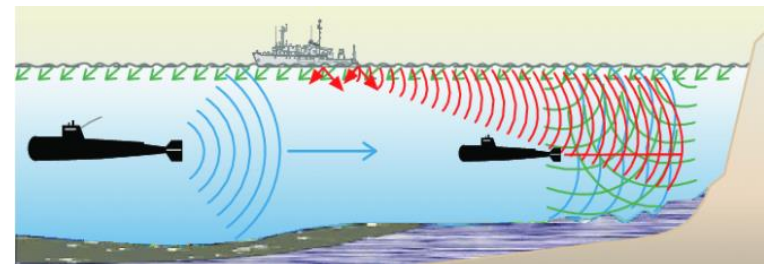
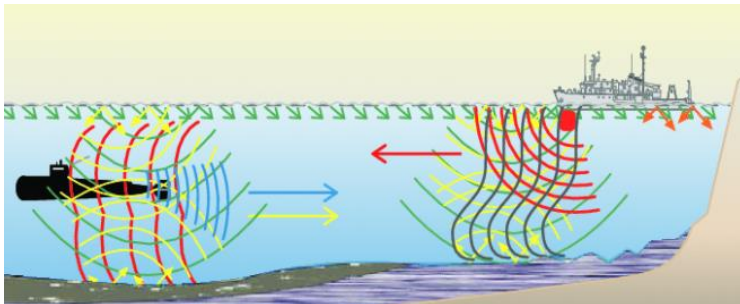
- 특정 패턴의 광을 주사하여, 패턴의 축소 및 왜곡을 측정하여 거리 측정
- MS Kinect, ASUS Xtion, PrimeSense Carmine



외부 센서

❖ 소나(Sound Navigation and Ranging, SONAR)

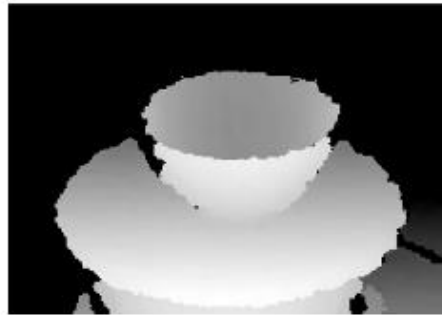
- 음파에 의해 수중 목표의 방위 및 거리를 알아내는 장치
- **능동 소나(active sonar)**
 - 압력파인 음파를 발생시켜서 반사되어 돌아오는 음파의 전파 시간을 측정 하여 거리를 측정
- **수동 소나(passive sonar)**
 - 음파를 발생시키지 않고, 외부에서 발생한 음파를 수신하여 다른 잠수함이 나 함선 등을 찾아내는 소나



외부 센서

❖ 비전 센서(영상 카메라)

- RGB 카메라
- RGBD 카메라
 - 색상정보 + 깊이정보 제공



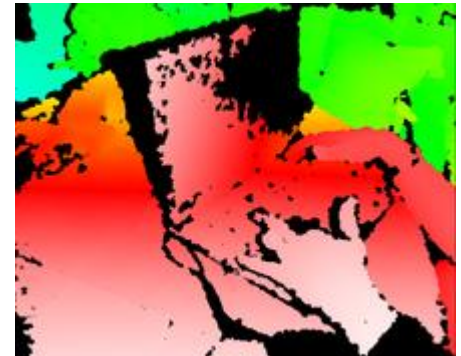
<https://rgbd-dataset.cs.washington.edu/>



MS Kinect



적외선 이미지



깊이 지도(depth map)

외부 센서

❖ 움직임 감지 센서(motion sensor)

- 외부 대상의 움직임이나 로봇 자체의 움직임을 측정하는 센서
- 적외선 센서, 초음파 센서, 가속도 센서 등

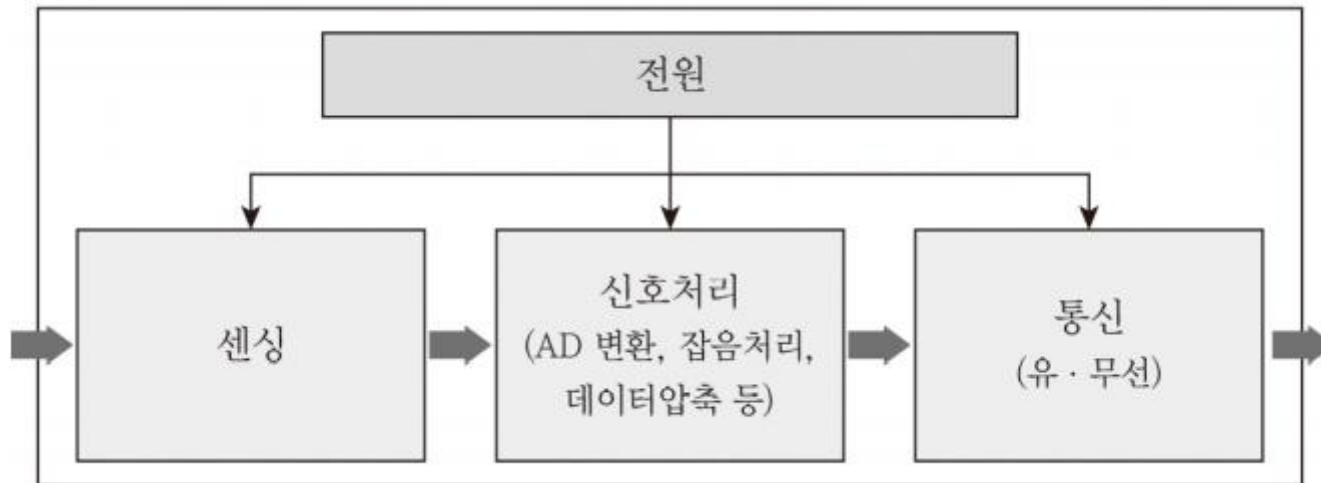
❖ 마이크로폰(microphone)

- 외부 환경의 소리를 받아들이는 역할

외부 센서

❖ 스마트 센서(smart sensor)

- 마이크로프로세서를 내장하고 있어서 자체적인 처리 능력이 있는 센서
- **센싱 + 신호 처리 + 통신 기능**
- 측정된 신호의 **아날로그-디지털(DA)변환**, **잡음 제거**, **데이터 압축** 등의 처리후 결과를 **통신** 네트워크 인터페이스를 통해서 제공



4.3 구동기

❖ 구동기

- 로봇의 관절이나 바퀴 등에 제어 신호에 따라 물리적인 움직임을 주는 장치
- 구동기 종류

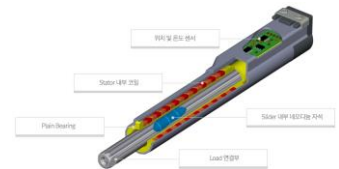
- 전기식 (모터)

- DC 모터 : 전원을 연결하면 전원이 끊길 때까지 회전
- 서보(servo) 모터 : 모터 축의 위치에 대한 제어 신호를 받으면 해당 위치로 이동하여 **상태 유지**
- 스텝퍼(stepper) 모터 : 인가하는 **펄스 수**에 **비례**하여 회전
- 리니어 모터(linear motor) : **직선 운동**을 하는 모터
- 고출력, 고정밀도 가능, 비용 문제



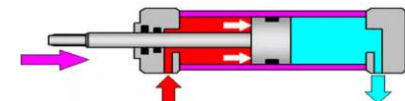
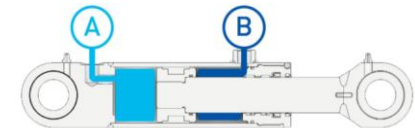
- 유압식 (hydraulic)

- 유압 실린더, 유압 모터
- 고출력 가능; 누유 문제



- 공압식 (pneumatic)

- 공기압 실린더, 공기압 모터가
- 소형시스템, 정밀도; 속도 문제



4.4 제어

❖ 제어

- 로봇이 특정 **임무**를 **수행**하기 위해서는 관절, 바퀴, 단말 조작자의 **모터**를 **어떤 순서와 간격**에 따라 가속, 정속, 또는 감속하는 **조작** 필요
- **궤적 생성**(trajectory generation)
 - 임무를 수행하기 위해 미리 위치와 시간에 따른 궤적 생성
- **제어**(control)
 - 생성된 궤적을 따라가도록 계산된 조작을 하더라도 **환경적 요인** 때문에 기대한 대로 동작하지 않을 수 있음
 - 기계적 정밀도의 한계, 오작동, 미끄러짐 등
 - 시스템이 동작할 때, **목표**와 **실제 값**의 **차이**를 **보정**(補正)하여 목표한 대로 만드는 것

제어

❖ 제어의 형태

■ 개루프 제어(open loop control)

- 위치 궤적 및 속도 정보에 대한 **제어 프로파일**을 **미리 계산**한 다음, 로봇 팔 등의 모터를 동작시키는 방식
- 중간에 목표 값과 차이가 있어도 보정을 하지 **않음**

■ 폐루프 제어(closed loop control, **되먹임 제어**; feedback control)

- 현재 상태 정보를 센서를 통해 입력받아서 목표와 현재 상태의 차이, 즉 **오차**를 **축소**하도록 지속해서 **제어입력 결정**

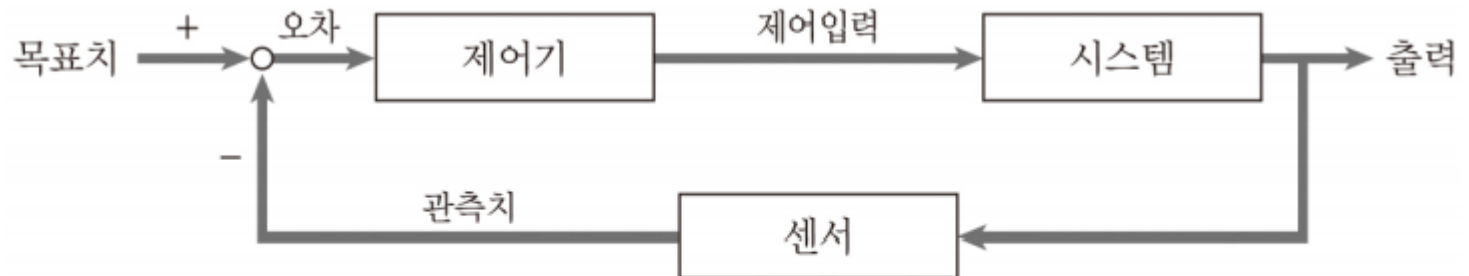


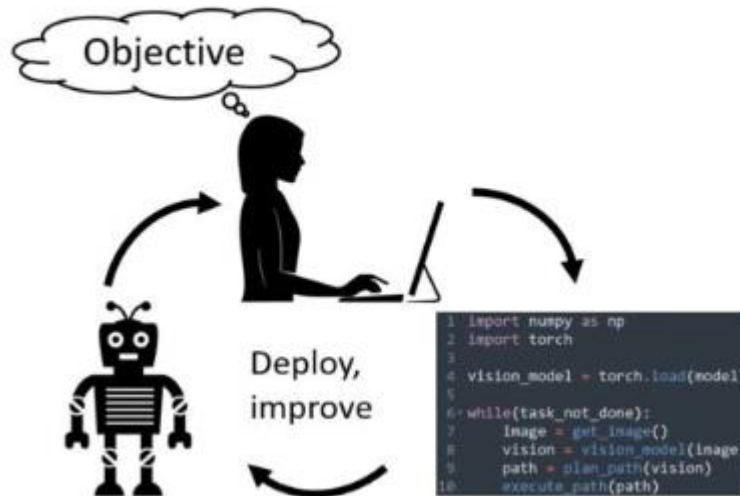
그림 10.11 폐루프 제어 시스템 구성

[Suppl] ChatGPT for Robotics

❖ 기존의 로봇 제어

- 엔지니어의 로봇 행동 제어를 위한 코드 및 명세 작성 필요
 - **engineer in the loop**

Robotics today: *engineer in the loop*

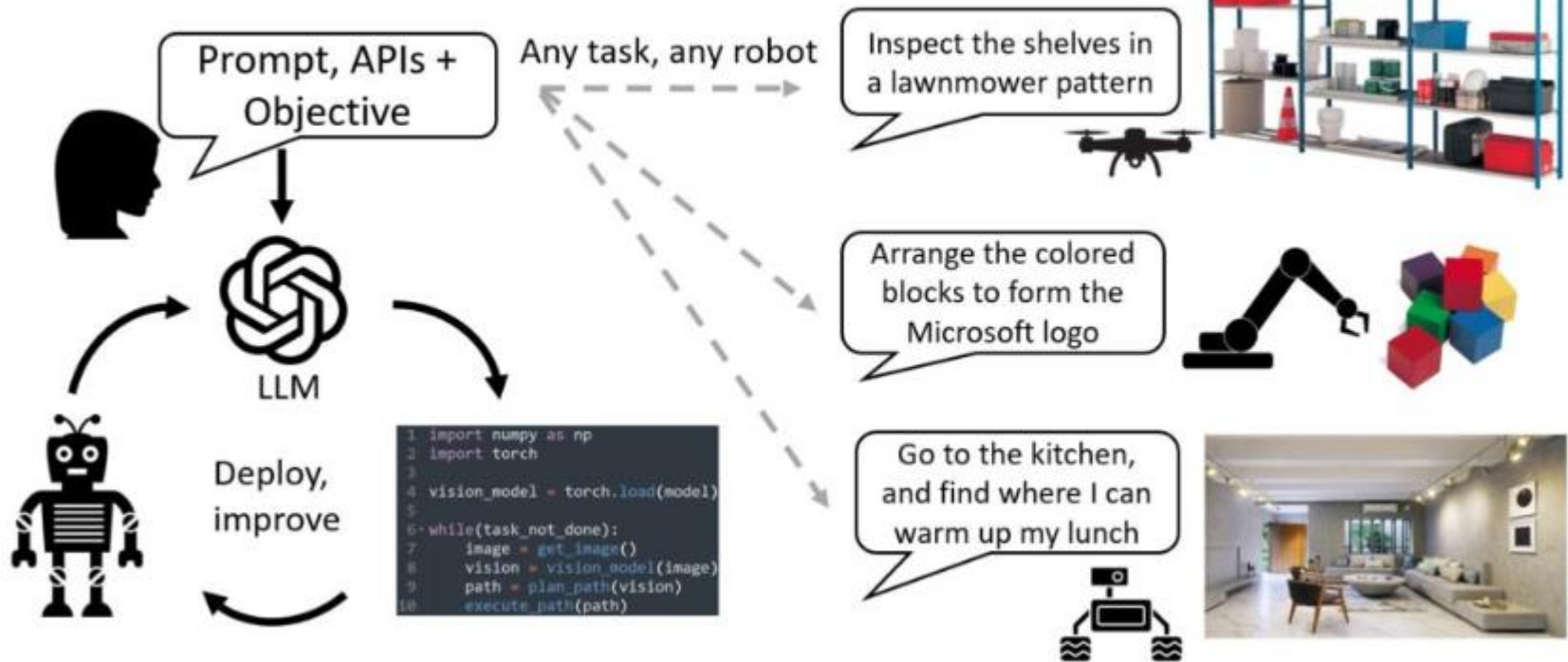


[Suppl] ChatGPT for Robotics

❖ ChatGPT를 이용한 로봇 제어

- 사용자가 ChatGPT에서 **말로 지시** ⇒ ChatGPT의 **로봇 제어 프로그램 작성**
- **user on the loop**

Goal with ChatGPT: *user on the loop*

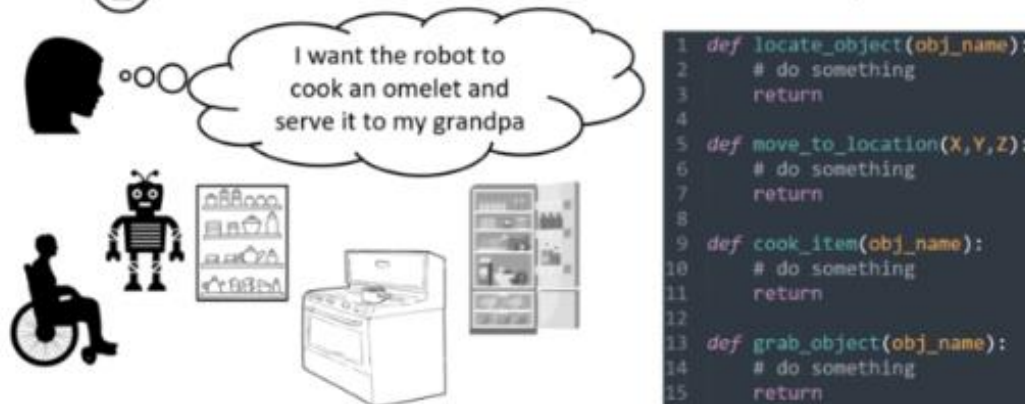


[Suppl] ChatGPT for Robotics

❖ ChatGPT를 이용한 로봇 제어 설계 원리

1. 작업 수행을 위한 로봇 제어 API 개발

① Define a task-relevant robot API library*



*APIs should be easily implementable on the robot and have descriptive text names for the LLM. They can be chained together to form more complex functions.

2. 작업 수행을 위한 프롬프트 작성

- 작업목표 설명
- 사용 API에 대한 설명
- 작업 제약조건
- 답변 구성 방법(코딩 언어, 구문 구성 요소 등)

② Build prompt following engineering principles

Consider you are a home assistant robot. Your goal is to prepare an omelette for an elderly person. You are equipped with functions:

- `locate_object(obj_name)`: returns a X,Y,Z tuple representing the location of the desired object defined by string "obj_name";
- `move_to_location(X,Y,Z)`: moves the robot's hands to a specific X,Y,Z location in space. Returns nothing;
- `cook_item(obj_name)`: cooks a particular item defined by "obj_name". Returns nothing;
- `grab_object(obj_name)`: picks a particular object defined by "obj_name". Returns nothing;

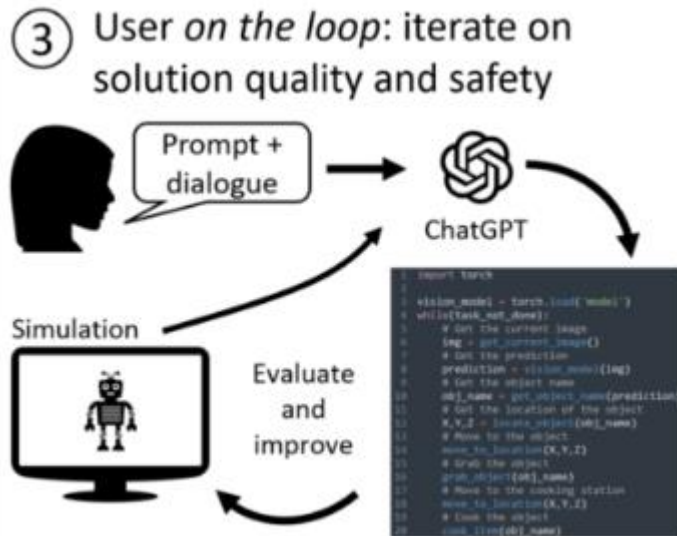
Output python code with the sequence of steps that achieves your objective.

[Suppl] ChatGPT for Robotics

❖ ChatGPT를 이용한 로봇 제어 설계 원리

3. 사용자가 직접 검사하거나 시뮬레이터를 사용하여 ChatGPT의 출력 평가

- 필요시 프롬프트 보완



④ Execute!

4. 평가 결과 만족스러우면 로봇에 배포하여 실행



Quiz

❖ 로봇 시스템에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 프레임, 하우징, 구동기, 센서 등은 물리적 구성요소에 속한다.
- ② 로봇에서 제어기의 펌웨어는 MCU에 탑재되는 경우가 많다.
- ③ 미들웨어는 라즈베리 파이 등의 시스템에서 자원관리를 하는 역할을 한다.
- ④ 로봇 시스템은 다양한 요소들이 상호작용하는 관계로 통합된 형태로 구성된다.

❖ 다음 로봇의 움직임에 관련된 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 기구학에서는 관절이나 바퀴의 회전에 따른 로봇의 변형이 움직임을 계산하는 방법을 다룬다.
- ② 각 관절의 모터 회전각도에 따른 말단 조작자의 위치 변화를 결정하는 것을 역기구학이라 한다.
- ③ 2개의 바퀴가 있는 경우에는 두 바퀴가의 상대적인 속도차를 이용하여 방향 전환을 할 수 있다.
- ④ 3개 이상의 바퀴가 있는 로봇인 경우 임의의 방향으로 직진할 수 있게 만들 수 있다.

❖ 로봇 공학에서 레이더(Radar)의 주요 사용 목적은?

- ① 물체의 방위, 속도 측정
- ② 로봇의 데이터 처리 속도 측정
- ③ 로봇의 온도 감지
- ④ 로봇의 네트워크 신호 강도 측정

Quiz

❖ 산업용 로봇과 서비스 로봇의 차이점은 무엇입니까?

- ① 산업용 로봇은 보통 크고, 서비스 로봇은 작다.
- ② 산업용 로봇은 생산 라인에서 사용되며, 서비스 로봇은 개인용 또는 전문 작업용으로 사용된다.
- ③ 산업용 로봇은 통신 불가능, 서비스 로봇은 통신 가능.
- ④ 산업용 로봇은 전기를 사용하지 않음, 서비스 로봇은 전기 사용.

❖ 로봇 기술의 분야로 적절하지 않은 것은 무엇입니까?

- ① 위치 추정
- ② 센서 처리
- ③ 불확실성 관리
- ④ 언어 번역

❖ 로봇의 '경로 계획 및 항법' 기술은 주로 무엇에 사용됩니까?

- ① 로봇의 대화 시스템 개발
- ② 로봇의 목적지 및 이동 경로 결정
- ③ 로봇의 배터리 관리
- ④ 로봇의 인터넷 연결

Quiz

❖ 다음 센서에 대한 설명으로 옳지 않은 것을 선택하시오.

- ① 내부 센서는 로봇 자체의 상태를 측정하기 위한 것이다.
- ② 스마트센서는 모터의 회전 각도를 측정할 수 있는 것으로 내부 센서로 사용될 수 있다.
- ③ 자이로스코프는 항공기 등의 자세를 확인하는 데 사용될 수 있다.
- ④ 가속도 센서는 움직임을 감지하는 데 사용할 수 있다.

❖ 로봇의 정의에 대해 옳지 않은 것은?

- ① 로봇은 사람이 하는 걷기, 말하기와 같은 다양한 행동을 할 수 있는 기계이다.
- ② 로봇은 자동으로 또는 컴퓨터 제어에 따라 사람의 일을 할 수 있는 기계이다.
- ③ 로봇은 프로그램된 동작을 통해 자재, 부품, 도구, 장치를 움직이도록 설계된 다기능 조 작기이다.
- ④ 로봇은 항상 인간의 모습과 동일한 형태를 가져야 한다.

❖ 로봇의 주요 용도 중 3D가 의미하는 것은?

- ① 디자인, 개발, 배포
- ② 지저분함, 위험함, 요구가 많음
- ③ 디지털, 데이터, 드론
- ④ 다양성, 동적, 대화형

Quiz

❖ 로봇의 물리적 구성요소에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 프레임은 로봇의 뼈대 역할을 한다.
- ② 구동기는 힘을 전달하여 로봇을 움직이게 하는 장치이다.
- ③ 센서는 로봇의 내부 상태와 외부 환경을 측정한다.
- ④ 소프트웨어는 로봇의 물리적 구성요소에 포함된다.

❖ 다음 중 내부 센서에 해당하지 않는 것은?

- ① 엔코더
- ② GPS
- ③ 자이로스코프
- ④ 적외선 센서

❖ 다음 중 외부 센서에 대한 설명으로 옳지 않은 것은?

- ① 적외선 센서는 물체의 유무와 거리를 측정할 수 있다.
- ② 초음파 센서는 가까운 거리에 있는 물체의 유무를 감지한다.
- ③ 레이더는 수백 km 범위의 물체를 측정할 수 있다.
- ④ 스마트 센서는 항상 외부 환경을 측정하는 데 사용된다.

Quiz

❖ 로봇 시스템의 물리적 구성요소에 포함되지 않는 것은?

- ① 프레임
- ② 하우징
- ③ 센서
- ④ 링크

❖ 로봇 시스템에서 소프트웨어적 구성요소에 해당하지 않는 것은?

- ① 운영체제
- ② 제어기 펌웨어
- ③ 미들웨어
- ④ 구동기

❖ 로봇의 기구학(kinematics)에서 다루는 것은?

- ① 로봇의 전원 관리
- ② 로봇의 네트워킹 능력
- ③ 로봇의 관절이나 바퀴의 회전과 로봇의 움직임
- ④ 로봇의 인공지능 알고리즘

Quiz

❖ 로봇의 '동력학(dynamics)'은 주로 무엇을 다루는가?

- ① 로봇의 배터리 수명
- ② 로봇의 강체를 움직이는 힘과 운동 속도
- ③ 로봇의 소프트웨어 업데이트
- ④ 로봇의 인터넷 연결 속도

❖ 로봇에 사용되는 '센서'의 주요 기능은?

- ① 환경 데이터 수집 및 해석
- ② 로봇의 무게 측정
- ③ 배터리 수준 모니터링
- ④ 인터넷 속도 측정

❖ 로봇의 '구동 시스템(actuation system)'의 주요 기능은?

- ① 데이터 저장
- ② 로봇의 움직임 및 조작
- ③ 배터리 충전
- ④ 네트워크 연결 관리

Quiz

- ❖ **로봇의 경로 계획(path planning) 기능이 중요한 이유는?**
 - ① 네트워크 연결 관리
 - ② 효율적이고 안전한 이동 경로 결정
 - ③ 배터리 관리
 - ④ 데이터 전송 최적화

- ❖ **로봇 공학에서 시뮬레이션(simulation) 사용의 주요 목적은?**
 - ① 배터리 충전 속도 향상
 - ② 로봇 디자인과 알고리즘의 테스트 및 검증
 - ③ 인터넷 연결 안정성 테스트
 - ④ 데이터 저장 공간 최적화

- ❖ **로봇 공학에서 미들웨어(middleware)의 역할은?**
 - ① 인터넷 연결 관리
 - ② 로봇 시스템의 다양한 부분 간의 통신과 데이터 교환을 용이하게 함
 - ③ 배터리 관리 시스템
 - ④ 데이터 압축 및 저장

Quiz

❖ 로봇 공학에서 '자이로스코프(Gyroscope)' 센서의 주요 용도는?

- ① 로봇의 온도 측정
- ② 로봇의 속도 측정
- ③ 로봇의 방향성과 균형 유지
- ④ 로봇의 무게 측정

❖ 로봇 공학에서 '엔코더(Encoder)'의 주요 기능은?

- ① 로봇의 에너지 소비 측정
- ② 로봇의 움직임 감지 및 위치 결정
- ③ 로봇의 온도 조절
- ④ 로봇의 소프트웨어 업데이트

❖ 로봇 공학에서 '역기구학(Inverse Kinematics)'의 주요 목적은?

- ① 로봇의 에너지 효율성 증가
- ② 로봇의 최종 위치에 도달하기 위한 관절 움직임 계산
- ③ 로봇의 네트워크 속도 향상
- ④ 로봇의 데이터 처리 능력 증가

Quiz

❖ 로봇의 '피드백 루프(Feedback Loop)'는 주로 무엇을 위해 사용되는가?

- ① 데이터 전송 속도 측정
- ② 작업 수행 중 로봇의 동작 조정
- ③ 로봇의 배터리 수명 연장
- ④ 로봇의 저장 용량 증가

❖ 로봇 공학에서 '로봇 암(Robot Arm)'의 주요 사용처는?

- ① 환경 모니터링
- ② 정밀 조작 및 조립 작업
- ③ 데이터 처리
- ④ 네트워크 관리

❖ 로봇의 '종단 실행기(End Effector)'는 주로 무엇에 사용되는가?

- ① 데이터 전송
- ② 로봇의 목표 작업 수행(예: 잡기, 용접)
- ③ 로봇의 에너지 관리
- ④ 로봇의 소프트웨어 유지보수

Quiz

❖ 로봇 공학에서 '슬램(SLAM, Simultaneous Localization and Mapping)' 기술의 주된 목적은?

- ① 로봇의 데이터 저장 최적화
- ② 로봇의 실시간 네트워크 연결 관리
- ③ 로봇의 동시적 위치 추정 및 지도 생성
- ④ 로봇의 배터리 충전 관리

❖ 로봇 공학에서 '로보틱스 운영 체제(ROS, Robotics Operating System)'의 주요 기능은?

- ① 로봇의 에너지 관리
- ② 로봇 프로그래밍 및 커뮤니케이션 표준화
- ③ 로봇의 데이터 처리 속도 향상
- ④ 로봇의 배터리 충전 속도 증가

❖ 로봇 공학에서 '자이로스코프(Gyroscope)'는 주로 무엇을 위해 사용되는가?

- ① 로봇의 회전축 방향 유지
- ② 로봇의 데이터 전송 속도 측정
- ③ 로봇의 배터리 수명 계산
- ④ 로봇의 네트워크 연결 상태 모니터링

Quiz

❖ 로봇 공학에서 '가속도 센서(Accelerometer)'의 주요 기능은?

- ① 로봇의 선형 가속도와 기울임 각도 측정
- ② 로봇의 데이터 처리 속도 측정
- ③ 로봇의 온도 감지
- ④ 로봇의 네트워크 연결 상태 확인

❖ 로봇 공학에서 '지자기 센서(Geomagnetic Sensor)'의 사용 목적은?

- ① 지구 자기장 측정
- ② 로봇의 데이터 전송 속도 측정
- ③ 로봇의 온도 감지
- ④ 로봇의 배터리 충전 상태 모니터링

❖ 로봇 공학에서 '관성측정장치(IMU, Inertial Measurement Unit)'의 주요 사용 목적은?

- ① 이동관성 및 회전관성 측정
- ② 로봇의 데이터 처리 속도 측정
- ③ 로봇의 네트워크 신호 강도 측정
- ④ 로봇의 온도 조절