

# **지능 로봇**

## **Intelligent Robots**

**이건명**  
**충북대학교 소프트웨어학과**

# 학습 내용

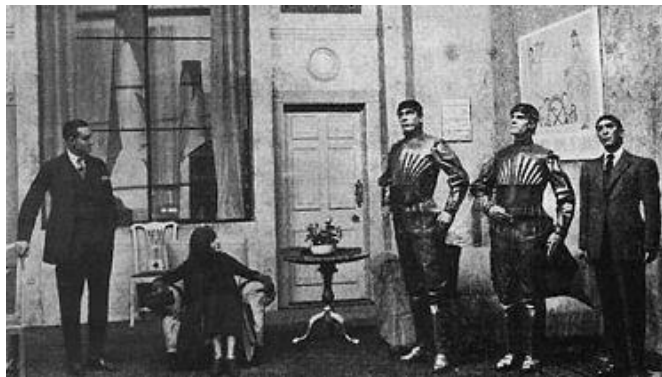
---

- 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 In Roboti)
  - Robota – 허드레 일을 하는 사람, 강제 노동



공장에서 생산한 작업자 기계

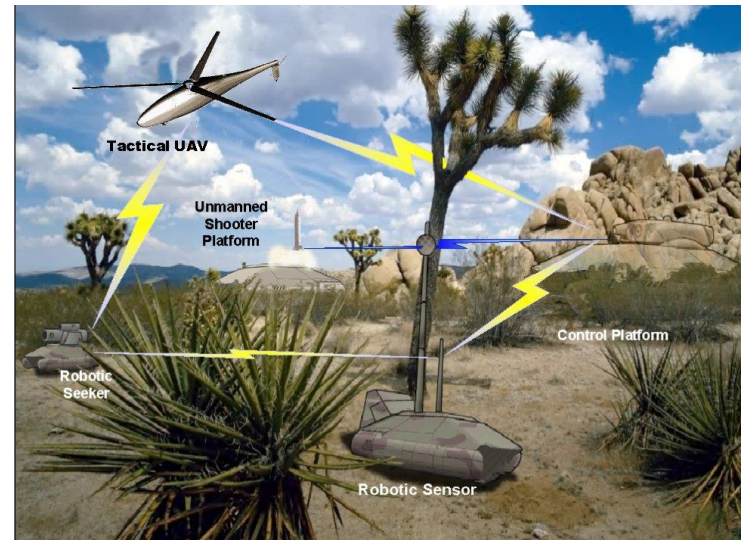
## ❖ 로봇의 정의

- 사람이 하는 걸기, 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

# 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

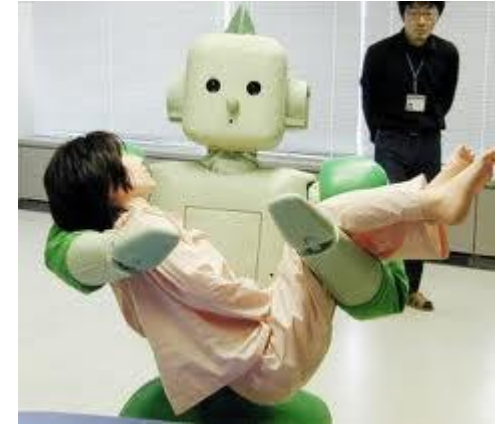


<https://www.engadget.com/2009-01-23-tmsuk-t-34-robot-speaks-softly-carries-a-big-net.html>

# 로봇의 용도

## ❖ 인간 보조(assist)

- 노인보조 (eldercare)
- 간병(nursing)
- 재활치료(rehabilitation)
- 컴패니언(companion) 로봇
  - Pepper
- 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



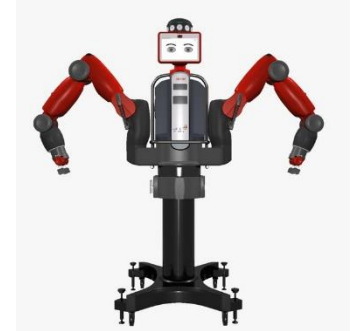
Handle



# 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 **고려**하여 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)

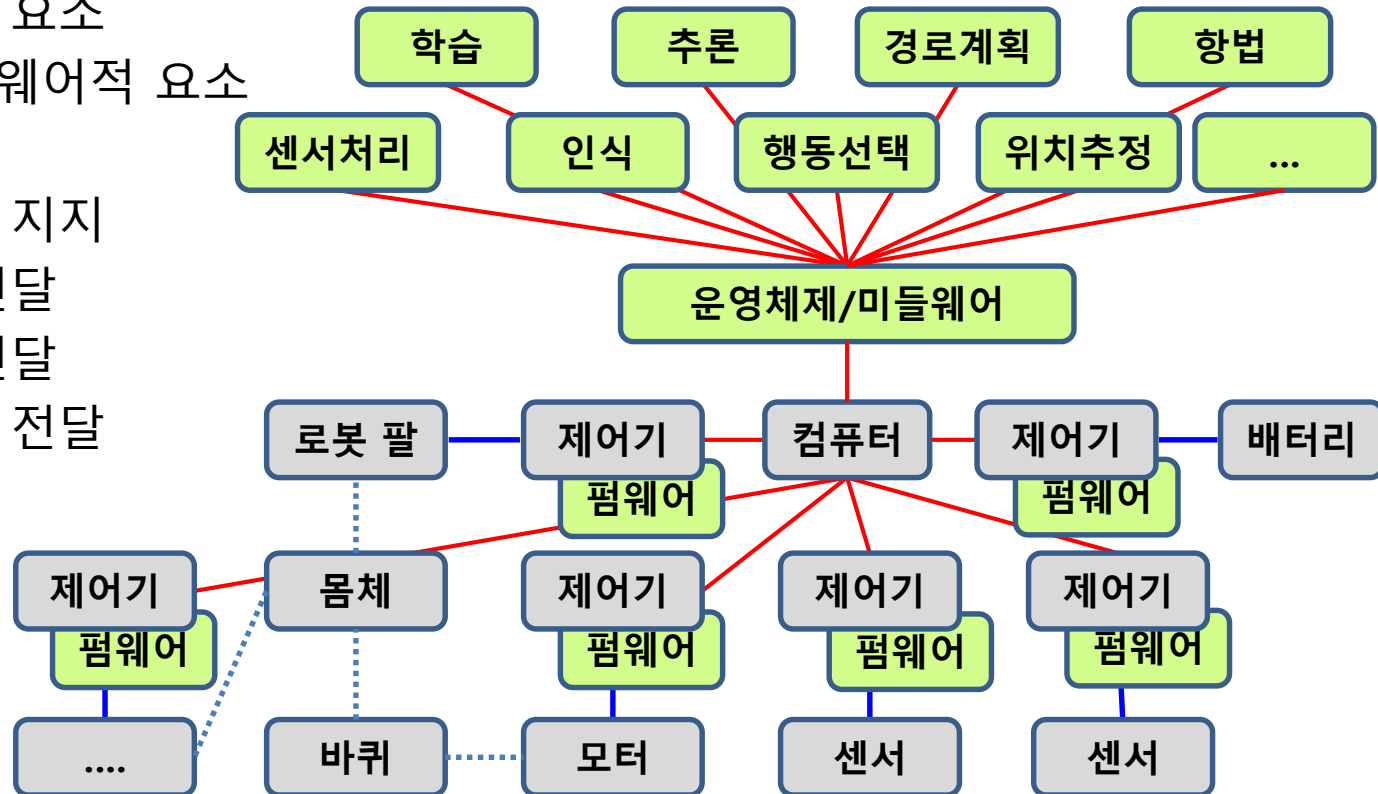
- 로봇의 목적에 맞는 행동을 할 수 있도록 여러 요소들(components)이 상호작용하는 관계(relationship)로 통합되어 있는 것

#### ■ 요소

- 물리적 요소
- 소프트웨어적 요소

#### ■ 관계

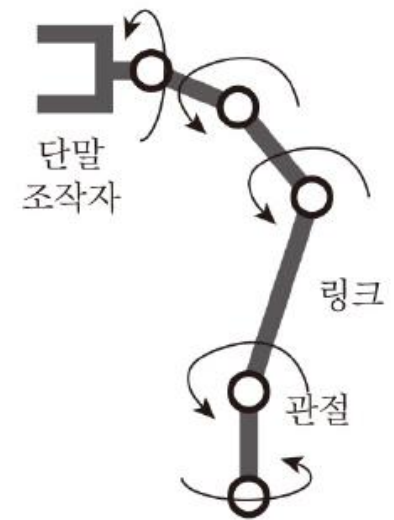
- 물리적 지지
- 동력 전달
- 신호 전달
- 데이터 전달



## 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 환경**에서) **소프트웨어 컴포넌트**나 **응용 프로그램**이 쉽게 **통신**할 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

### ▪ 응용 소프트웨어 모듈

- 센서데이터로부터 자신 및 주변 **상황**을 인식하는 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 결정하는데 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

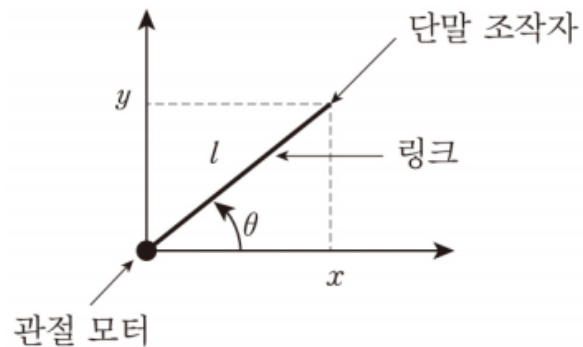


# 기구학과 동역학

## ❖ 매니퓰레이터의 기구학

### ▪ 순기구학(forward kinematics)

- 각 **관절의 모터 회전각도**가 어떻게 단말 조작자의 **위치 변화**를 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  $\theta$ 에 따른 단말 조작기의 위치 결정.

# 기구학과 동역학

## ❖ 매니퓰레이터의 기구학

### ▪ 역기구학(inverse kinematics)

- 단말 조작자를 **특정 위치**에 두기 위해 각 **관절의 모터**를 얼마만큼 **회전**시켜야 하는지 결정하는 것
- 위치 **벡터**  $p$ 와 해당 위치 결정을 위한 관절의 회전 각도 등 **모수**  $\theta$

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

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

새로운 위치      자코비안      이동 벡터

$f(\theta)$ 를 벡터인  $\theta$ 로 1차 편미분한 행렬

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

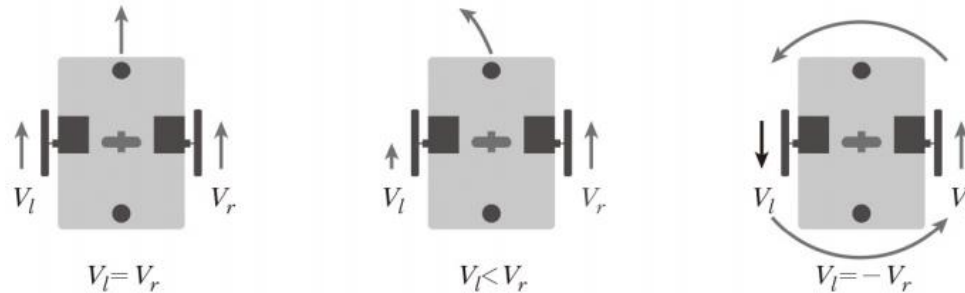
$$p' - p = \Delta p = J\Delta\theta$$

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

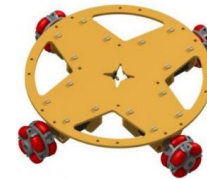
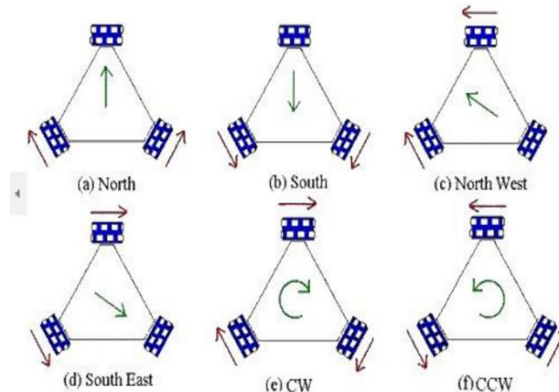
# 기구학과 동력학

## ❖ 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

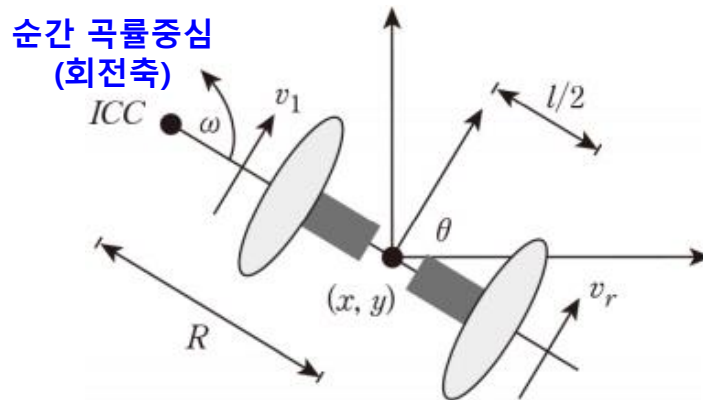




# 기구학과 동력학

## ❖ 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  
 $\theta$  : 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  $V_l, V_r$ 과 현재 위치  $(x, y)$ 가 주어질 때  $\delta$  시점의 위치

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

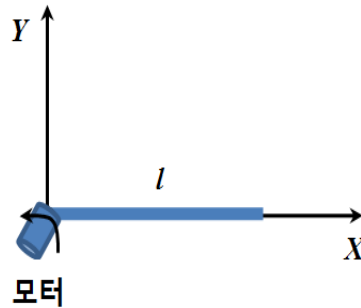
### ▪ 역기구학

- 특정 위치로 직접 이동할 수 없는 경우들이 많음

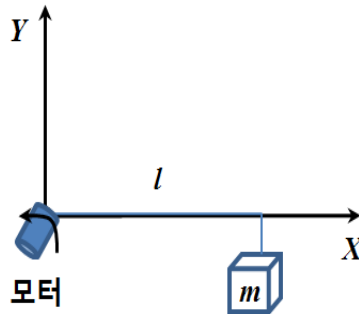
# 기구학과 동역학

## ❖ 동역학(dynamics)

- 링크와 같은 **강체**를 움직이는 **힘과 운동, 속도**를 해석하는 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 **환경과 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)

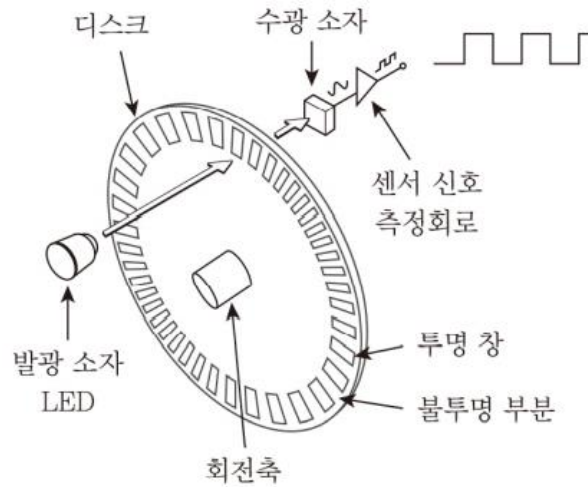
## ❖ 외부 센서 - 외부 환경 감지

- 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

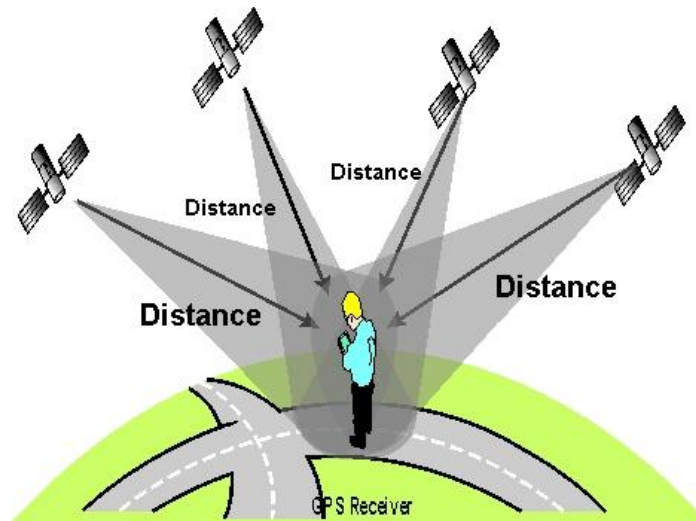


- 엔코더 **카운터(counter)** 칩이나 **MCU**를 사용하여 회전수 측정
- 로봇의 이동량을 측정하는데 사용

# 내부 센서

## ❖ GPS (geographic positioning system) 수신기

- 4개의 **GPS** 위성에서 보내는 신호를 수신해 사용자의 현재 위치를 계산하는 방법
- 시각, 위도, 경도, 고도 정보 제공

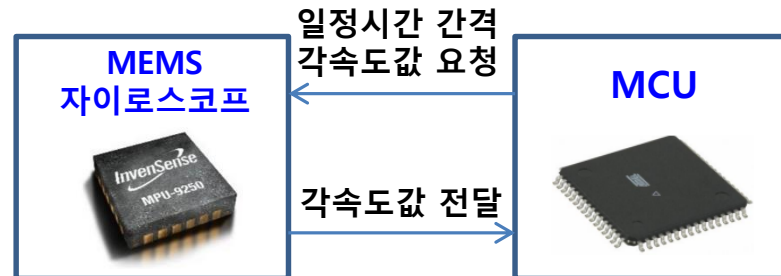
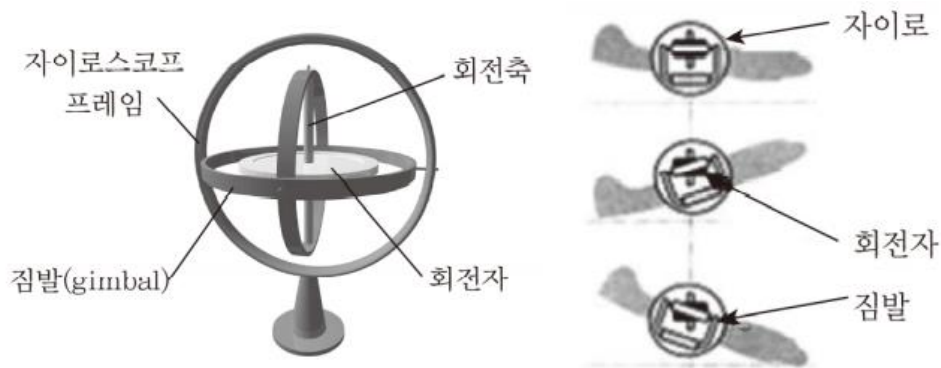




# 내부 센서

## ❖ 자이로스코프 (Gyroscope)

- 회전하는 축(axis)은 외력에 저항하며 현재 상태 유지 성질
- 자이로스코프는 **짐발**(Gimbal, 수평 유지 장치)에 놓이게 되므로 **외부의 토크는 최소화**되며,  
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

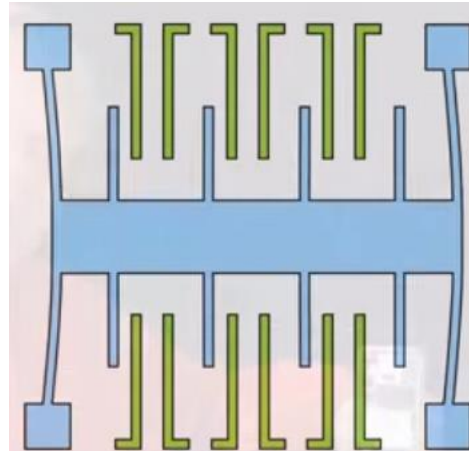
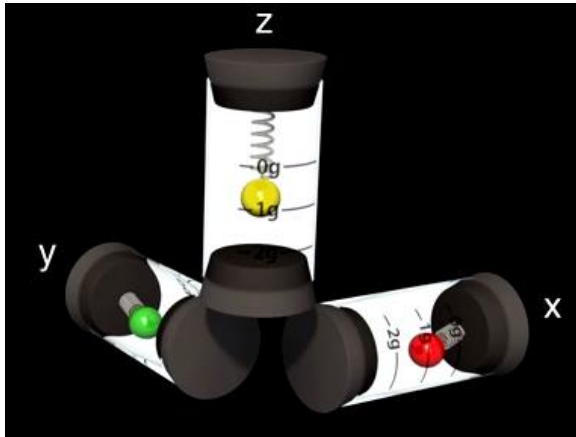


Roll (x축 회전, 진행방향), Yaw (y축 회전), Pitch(z축 회전)

# 내부 센서

## ❖ 가속도 센서 (accelerometer)

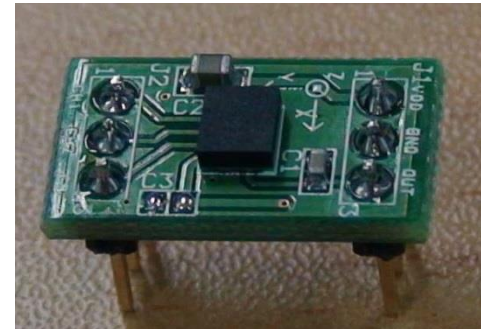
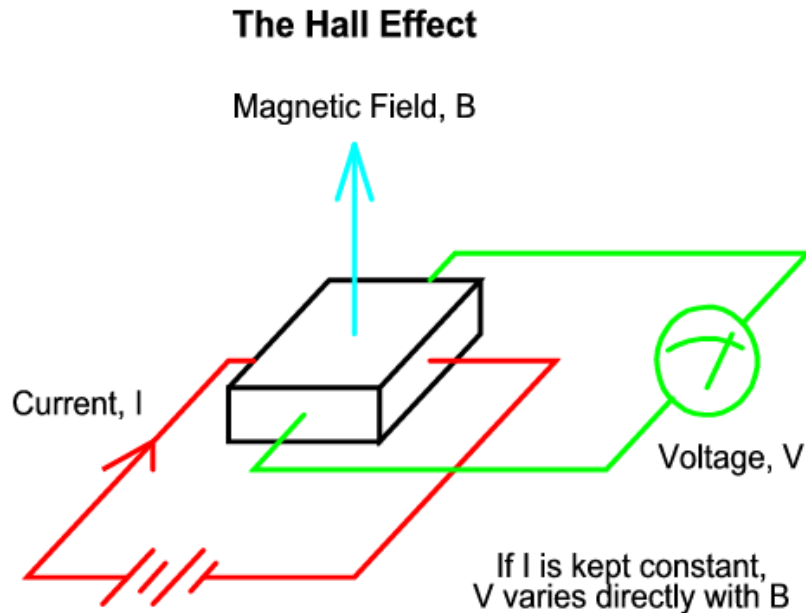
- 선형 가속도와 기울임 각도 측정
- 보통 제한된 모션 센싱 기능 제공
- MEMS 가속도센서 칩 출시



# 내부 센서

## ❖ 지자기 센서(geomagnetic sensor)

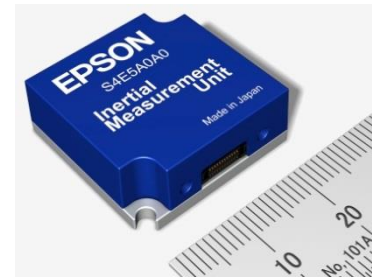
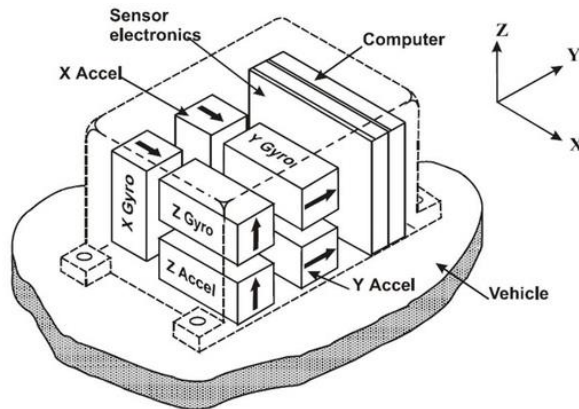
- 지구 자기장을 측정하는 센서
- 금속 탐지, 나침반 기능
- **직교하는 전도체** 내의 **전류**와 **자기장**에 의해 전자가 편향되면서 도체 양단에 **전압**이 **발생**하는 원리를 이용



# 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

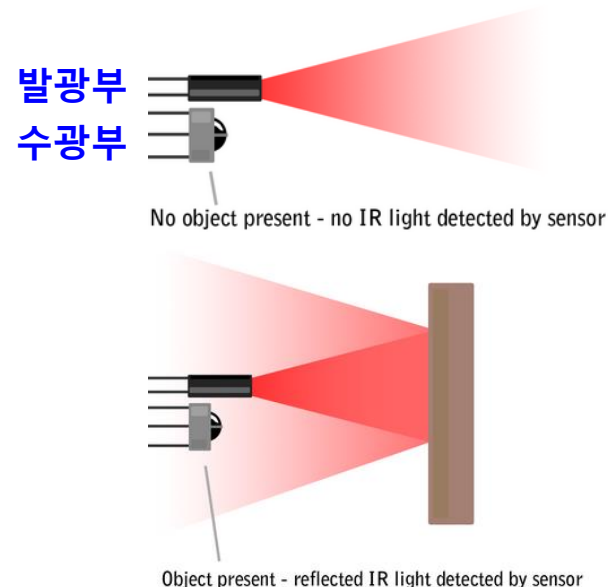
### ❖ 스마트 센서



# 외부 센서

## ❖ 적외선(infrared) 거리 센서

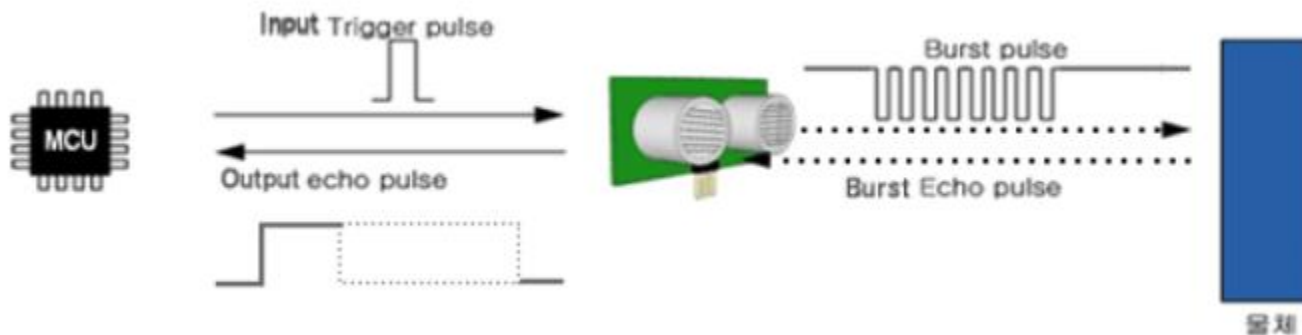
- 적외선을 방출하는 **발광부**(emitter)와 빛을 받아들이는 **수광부**(detector)로 구성
- 발광부에서 발생한 적외선이 물체에 부딪혀 반사된 빛을 수광부에서 감지하여, 물체의 유무와 거리 등을 측정
- 아날로그 방식의 **거리측정** 센서
- **주변 환경**(대상 물체의 색상, 명암변화, 태양광, 전기 불빛 등) **영향**
- 움직임 센서(motion sensor)로 사용하기도 함



# 외부 센서

## ❖ 초음파 센서(Ultrasound sensor)

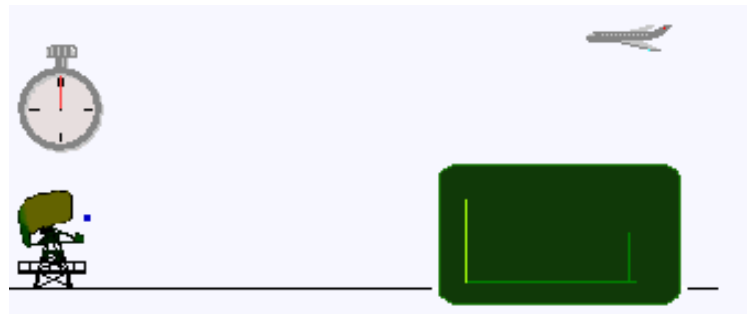
- 사람의 귀로 들을 수 없는 20KHz 이상의 **초음파** 사용
- **가까운 거리**에 있는 물체, 사람의 유무, 거리측정 등에 사용
- 음파의 속도(344m/s)는 **온도에 영향**을 받기 때문에 보정 필요



# 외부 센서

## ❖ 레이더 (RADAR, Radio Detection And Ranging)

- 라디오(Radio)파를 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](https://en.wikipedia.org/wiki/Primary_radar)

### ▪ 차량용 레이더

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

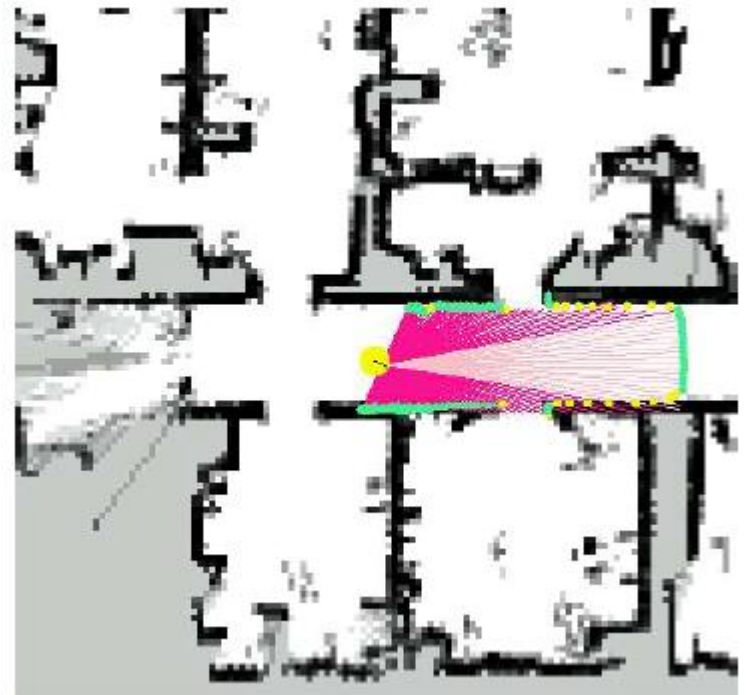
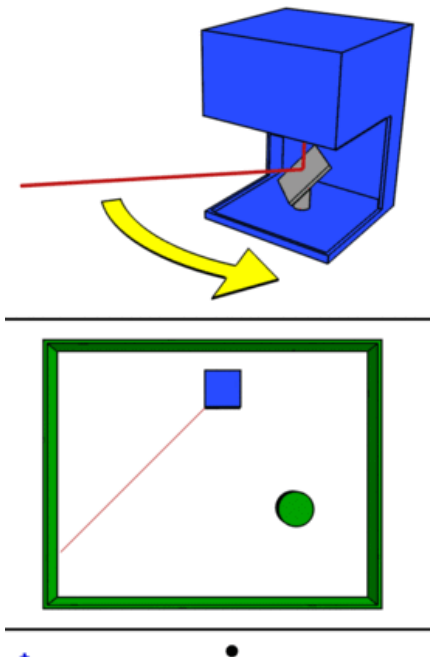


173.7 x 90.2 x 49.2 mm

## 외부 센서

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

- 빛 또는 레이저를 쏘아서 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](http://www.youtube.com/watch?v=eBUCGxZq_xg)

# 외부 센서

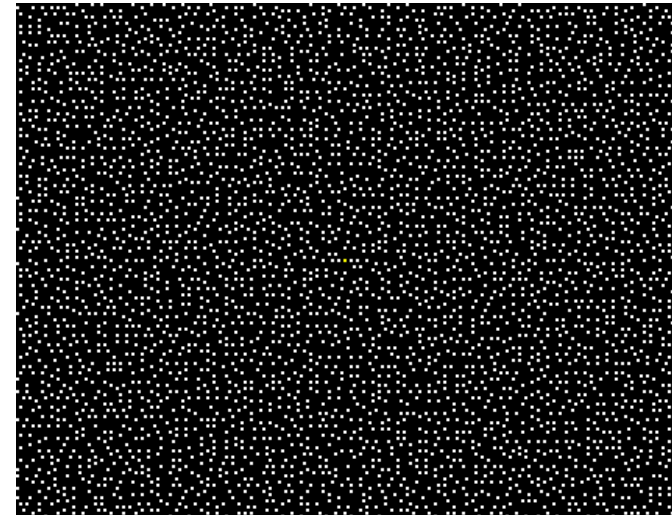
## ❖ 깊이 센서

### ■ 비행시간(ToF) 방식

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

### ■ 구조광(structured light) 방식

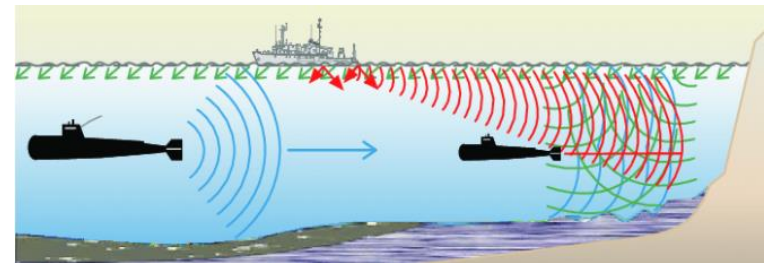
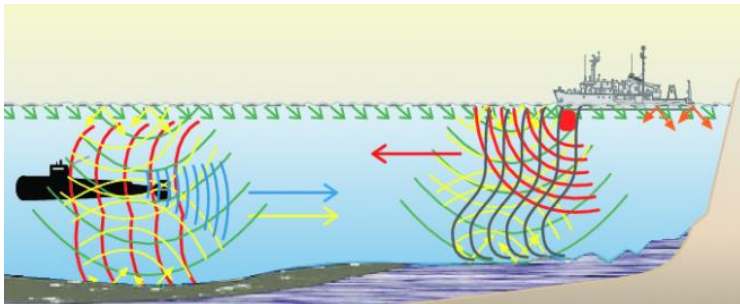
- 특정 패턴의 광을 주사하여, 패턴의 축소 및 왜곡을 측정하여 거리 측정
- MS Kinect, ASUS Xtion, PrimeSense Carmine



# 외부 센서

## ❖ 소나(Sound Navigation and Ranging, SONAR)

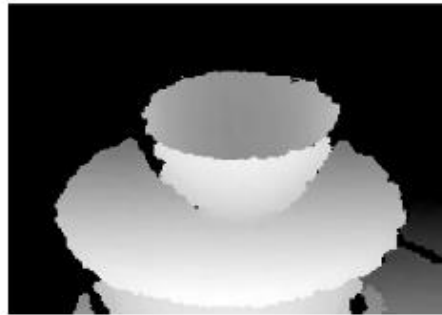
- 음파에 의해 수중 목표의 방위 및 거리를 알아내는 장치
- **능동 소나(active sonar)**
  - 압력파인 음파를 발생시켜서 반사되어 돌아오는 음파의 전파 시간을 측정 하여 거리를 측정
- **수동 소나(passive sonar)**
  - 음파를 발생시키지 않고, 외부에서 발생한 음파를 수신하여 다른 잠수함이 나 함선 등을 찾아내는 소나



# 외부 센서

## ❖ 비전 센서(영상 카메라)

- RGB 카메라
- RGBD 카메라
  - 색상정보 + 깊이정보 제공



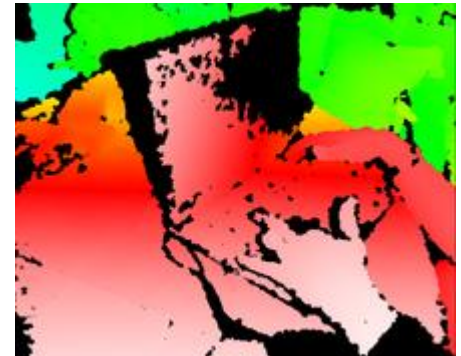
<https://rgbd-dataset.cs.washington.edu/>



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

## ❖ 마이크론(microphone)

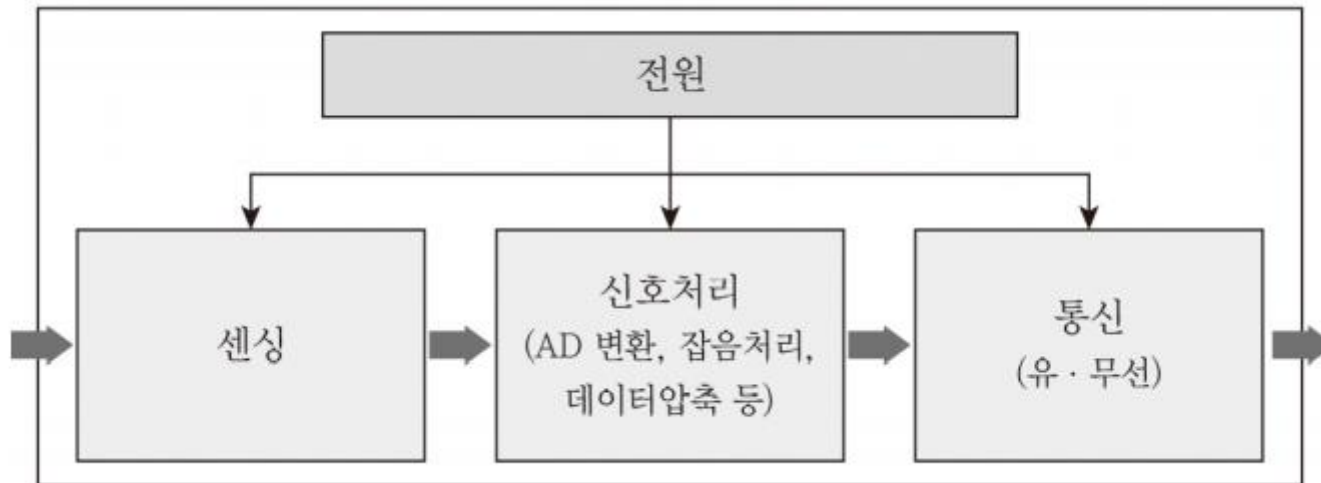
- 외부 환경의 소리를 받아들이는 역할



# 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 수에 비례하여 회전
- 리니어 모터(linear motor) : 직선 운동을 하는 모터
- 고출력, 고정밀도 가능, 비용 문제

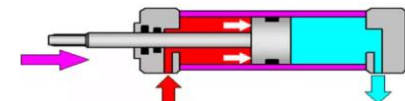
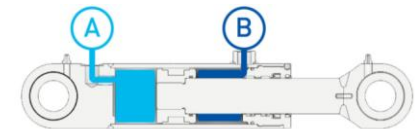
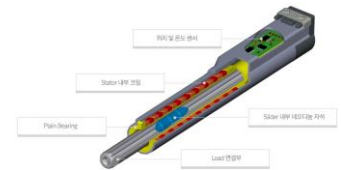


- 유압식 (hydraulic)

- 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 **순서**와 **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, **목표와 실제 값의 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 프로파일을 미리 계산한 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 오차를 줄이도록 지속해서 제어입력 결정

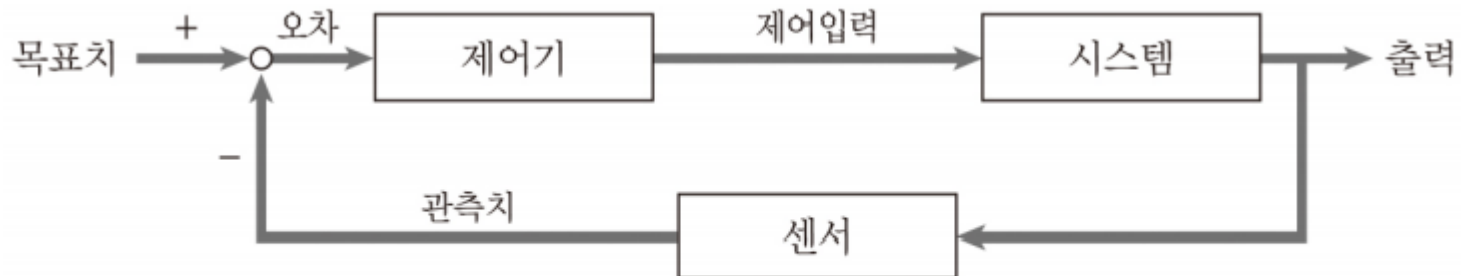


그림 10.11 폐루프 제어 시스템 구성

# Quiz

## ❖ 로봇 시스템에 대한 설명으로 옳지 않은 것을 선택하시오.

- 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 것을 선택하시오.

- 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 상태적인 속도차를 이용하여 방향 전환을 할 수 있다.
- ④ 3개 이상의 바퀴가 있는 로봇인 경우 임의의 방향으로 직진할 수 있게 만들 수 있다.

# Quiz

❖ 다음 센서에 대한 설명으로 옳지 않은 것을 선택하시오.

- ① 내부 센서는 로봇 자체의 상태를 측정하기 위한 것이다.
- ② 엔코더는 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.