

第5讲 机器人传感器

谢 斌

xiebin@csu.edu.cn






中南大学人工智能与机器人实验室

<http://airl.csu.edu.cn>



Review



-  **Introduction to Dynamics**
-  **Rigid Body Dynamics**
-  **Lagrangian Formulation**
-  **Newton-Euler Formulation**
-  **Articulated Multi-Body Dynamics**

1. 机器人需要哪些感知能力？
2. 常见的机器人内部传感器有哪些？
3. 常见的机器人外部传感器有哪些？

Man VS Machine ?



机器人身上装有 12 个直流电机
重量约 7 公斤

主
电
路
板
和
继
电
器
板



红外线反射传感器（共 7 处）

定位电位器 8 个

减振器

8 节 GP 电池

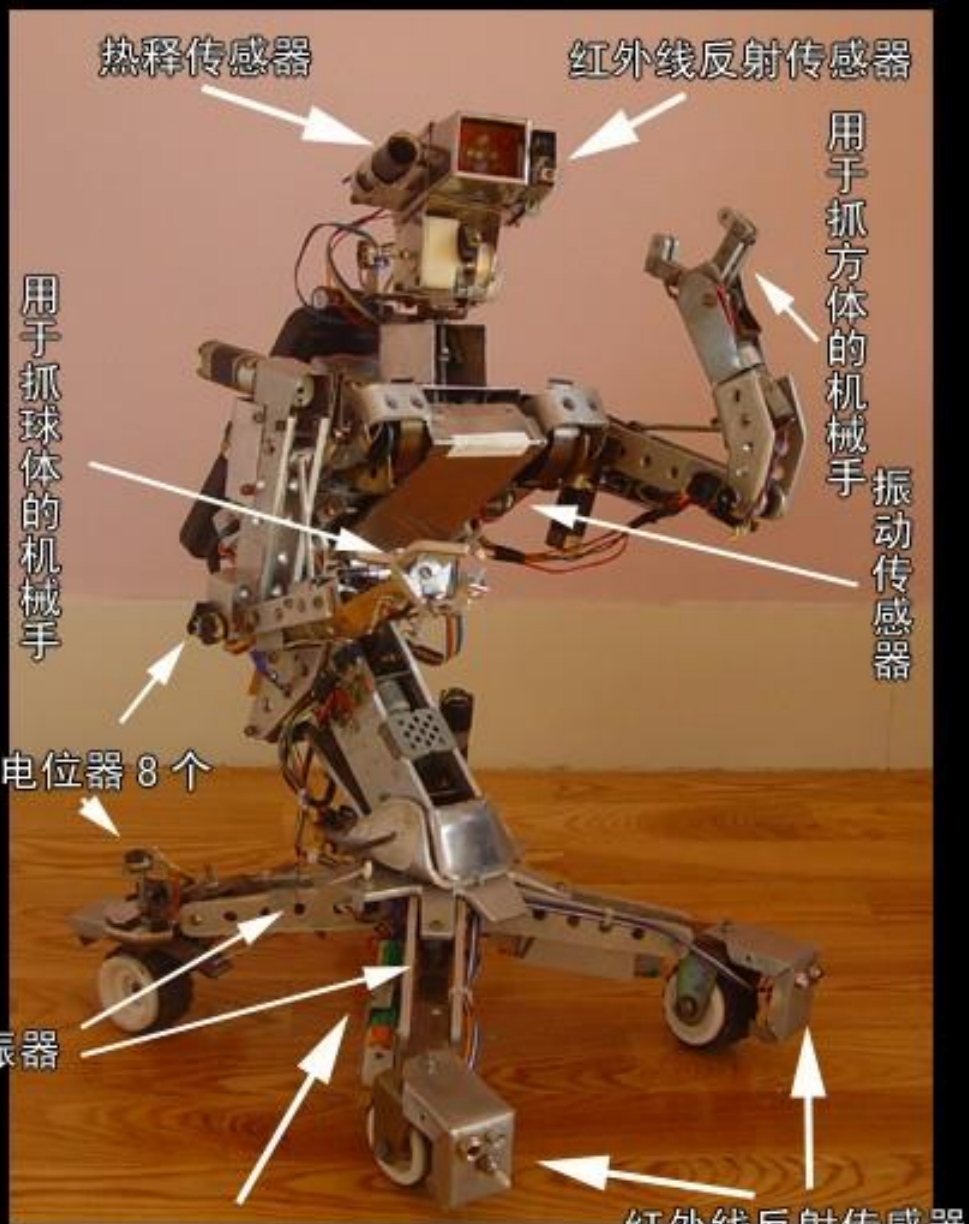
热释传感器

红外线反射传感器

用于抓球体的机械手

用于抓方体的机械手
振动传感器

红外线反射传感器



Contents



机器人传感器概述

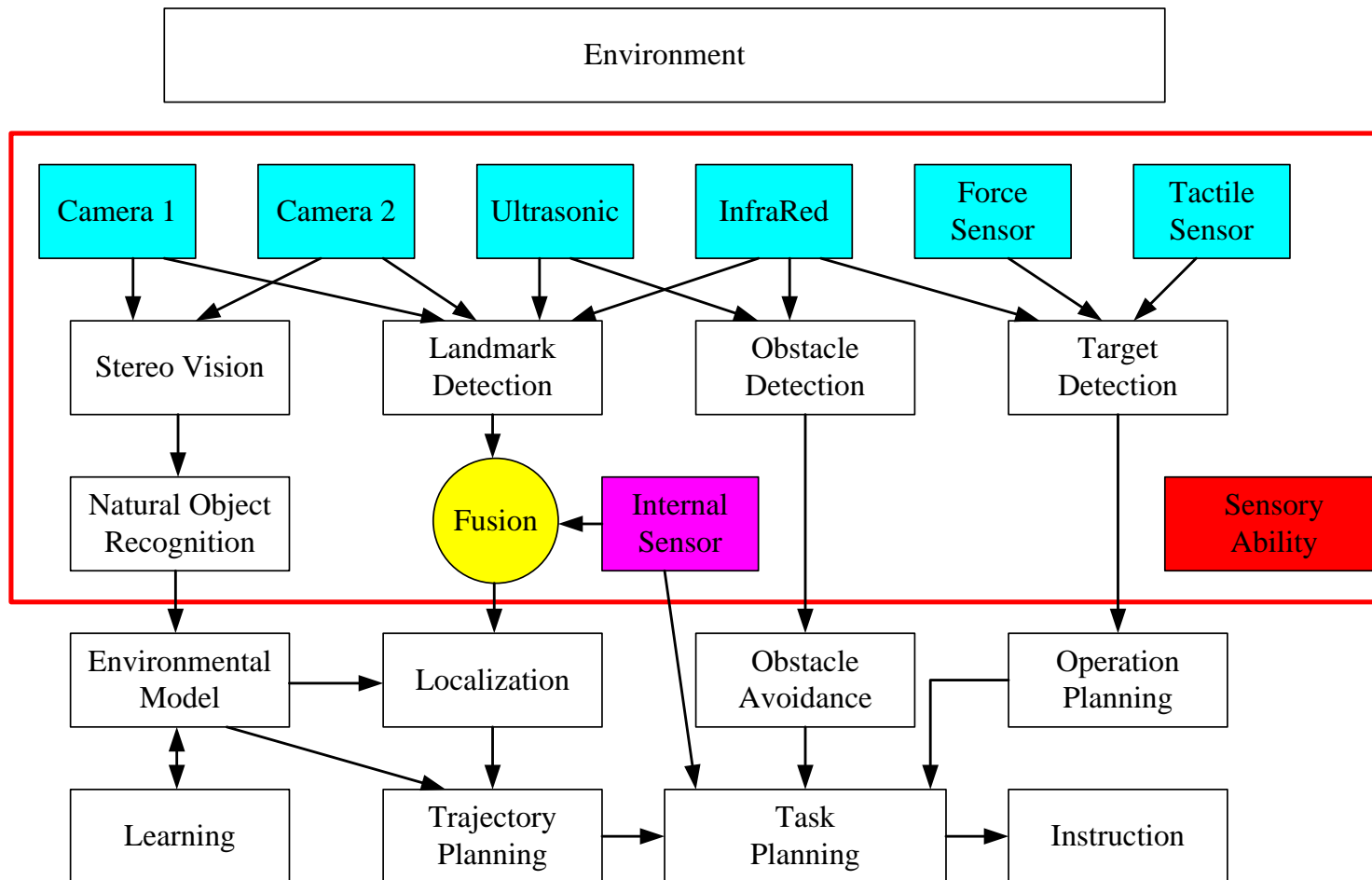
内部传感器

外部传感器

5.1 机器人传感器概述



Application of multi-sensors in mobile robot



5.1 机器人传感器概述



- **Most needed** sensory abilities for robot:
 - **Simple Touch**: detect whether the object is there or not.
 - **Compound Touch**: detect the **size** and **shape** of the object.
 - **Simple Force**: detect force along **one direction**.
 - **Compound Force**: detect forces along **multiple directions**.
 - **Proximity**: **non-contact** detection of objects.
 - **Simple Vision**: detect **feature** such as holes, lines, and corners.
 - **Compound Vision**: recognition of object.

5.1 机器人传感器概述

- 在机器人中，传感器既用于内部反馈控制，也用于与外部环境的交互。
- 机器人传感器可以分为两个主要类别：
 - 内部传感器：用于检测机器人自身（关节）的状态、位置和速度，如电位器、编码器等。
 - 外部传感器：将机器人放置在环境中感受外部状态的传感器，如力和压力传感器、测距仪、接近觉传感器、红外和视觉传感器等。

5.1 机器人传感器概述



■ 传感器的选择

- 在选择合适的传感器以适应机器人特定功能需要时，必须考虑传感器多方面的特性，包括性能、经济、使用简便及适用范围等。
- 具体应考虑的特性
 - 成本、尺寸、重量、输出类型（数字或模拟）、接口；
 - 分辨率、灵敏度、线性度、量程；
 - 响应时间、频率响应；
 - 可靠性、精度、重复精度

5.1 机器人传感器概述



- 传感器的选择
 - High precision, good repeatability
 - Good stability, high reliability
 - Strong anti-interference ability
 - Light weight, small size, easy installation
 - Cheap

Contents



 机器人传感器概述

 内部传感器

 外部传感器

5.2 内部传感器



■ 位置传感器

- A position sensor is any idea that permits **position measurement**. It can either be an **absolute position** sensor or a **relative** one (displacement sensor).
- Position sensors can be either **linear** or **angular**.
- 种类：电位计，光电位置传感器、电感式非接触位置传感器，线性可变差动变压器（LVDT），电容传感器，霍尔效应传感器，弦电位计，接近传感器（光学），光栅传感器。

5.2 内部传感器

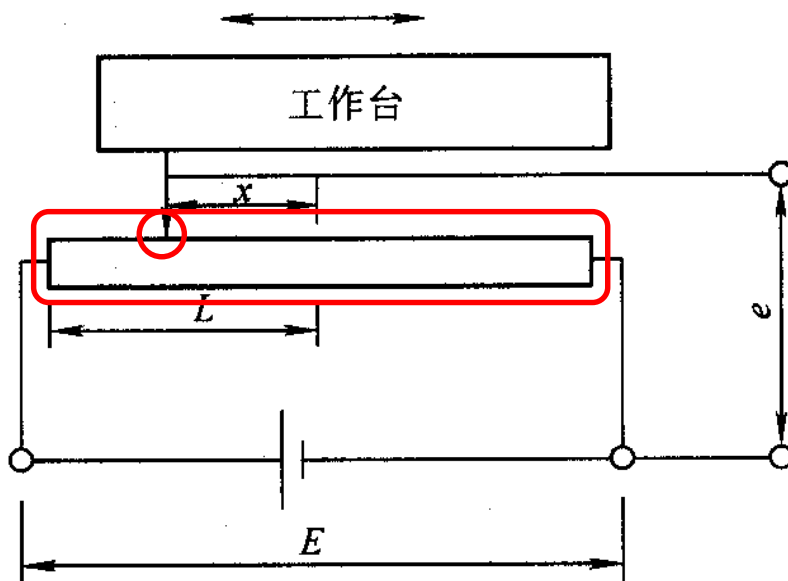


■ 线性电位器

- 由**线绕电阻器**（或薄膜电阻器）和**滑动接触点**组成。
- 当被检测的位置量发生变化时，滑动触点也发生位移，改变了滑动触点与电位器各端之间的电阻值和输出电压值，根据这种输出电压值的变化，可以检测出机器人各关节的位置和位移量。

$$(E - e) / e =$$

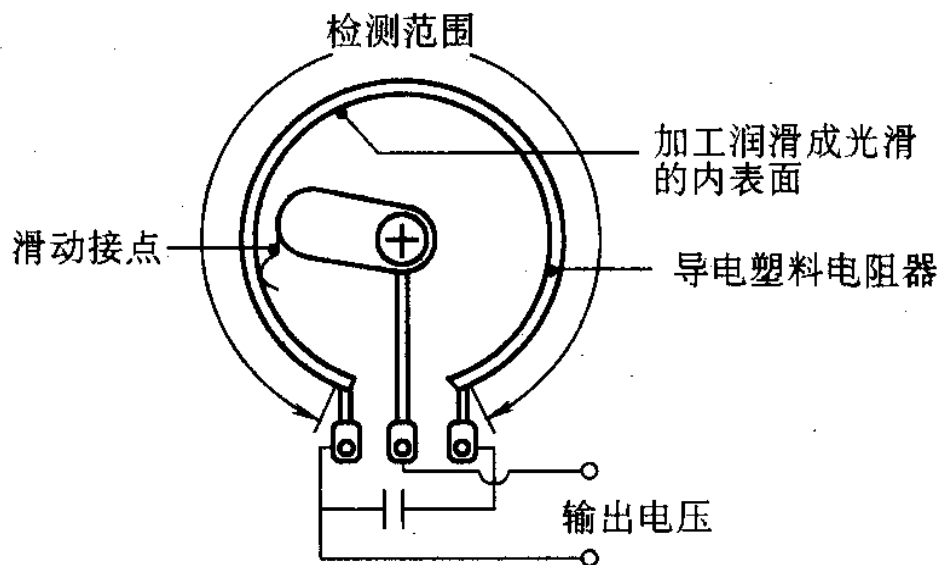
$$\Rightarrow x = \frac{L}{e}$$



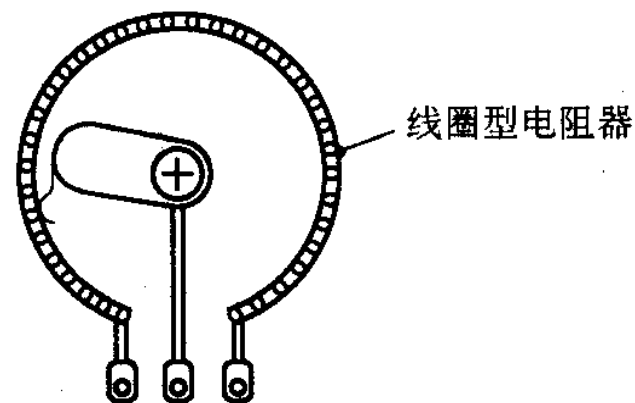
5.2 内部传感器



- 旋转电位器，把轴或轴的角位置转换成模拟或数字代码，使之成为角度传感器。
- 既可以是绕线的，也可以是喷镀薄膜（导电塑料）



a) 导电塑料型



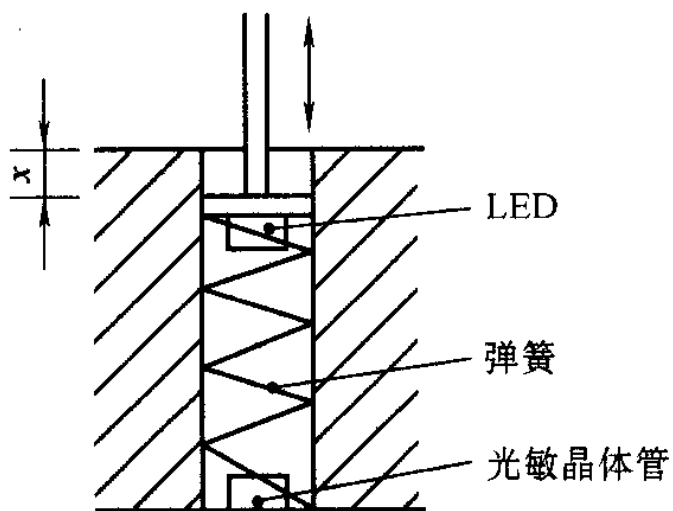
b) 线圈型

5.2 内部传感器

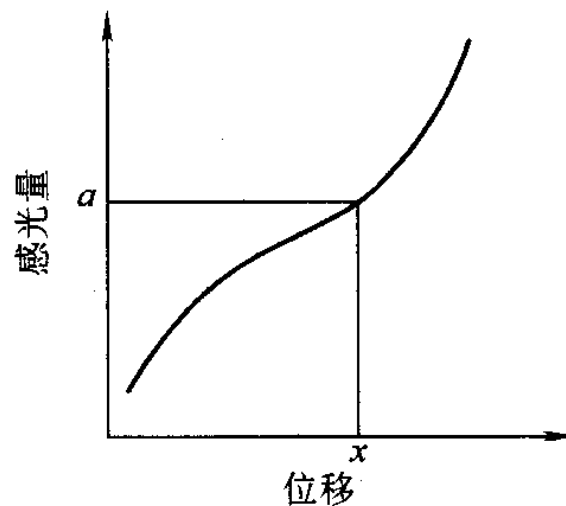


■ 光电位置传感器

- 事先求出光源（LED）和感光部分（光敏晶体管）之间的距离同感光量的关系（如图b），就能从计测时的感光量检测出位移 x 。



a) 光电位置传感器



b) 感光量曲线

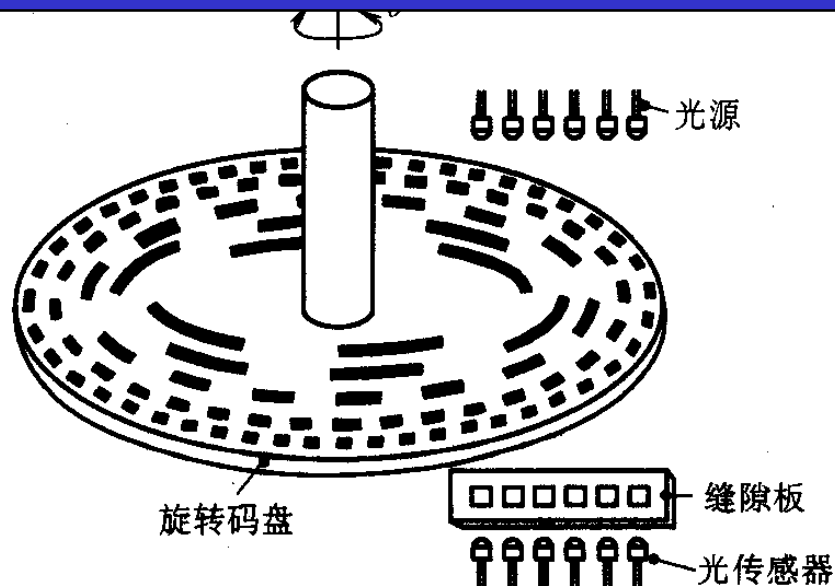
5.2 内部传感器

■ 编码器

■ 光学式**绝对型**旋转编码器

- 码盘每个位置对应着透光与不透光弧段的唯一组合，通过组合来确定位置。

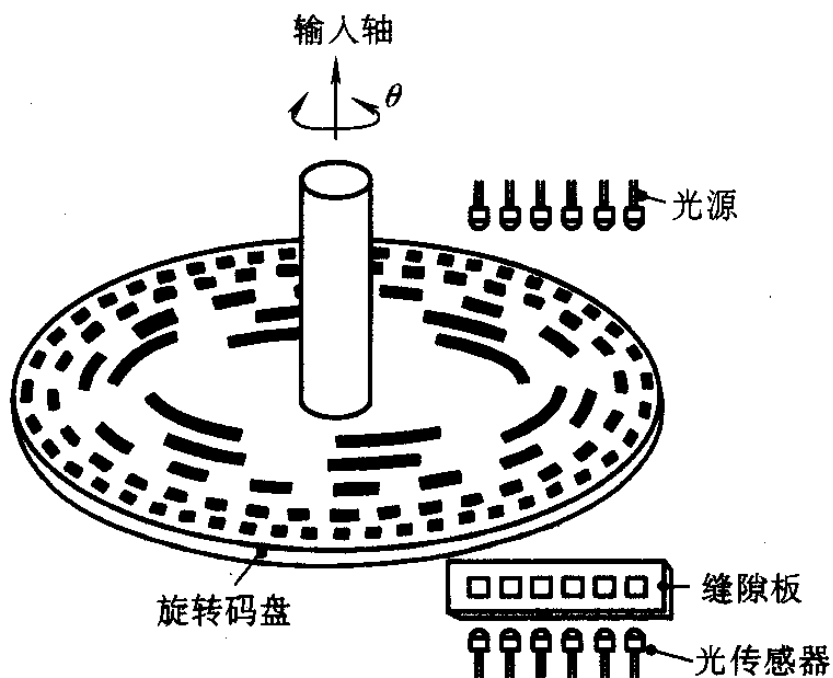
For example, resolution of a 12 bit encoder is $2^{12} = 4096$, so we have a resolution of $1 / 4096$ (for a round of 360 degrees).



5.2 内部传感器



- 绝对编码器: Absolute rotary encoders can also be used to detect **angular velocity**. By comparing **current value** and **stored values**, we can obtain the corresponding angular velocity.

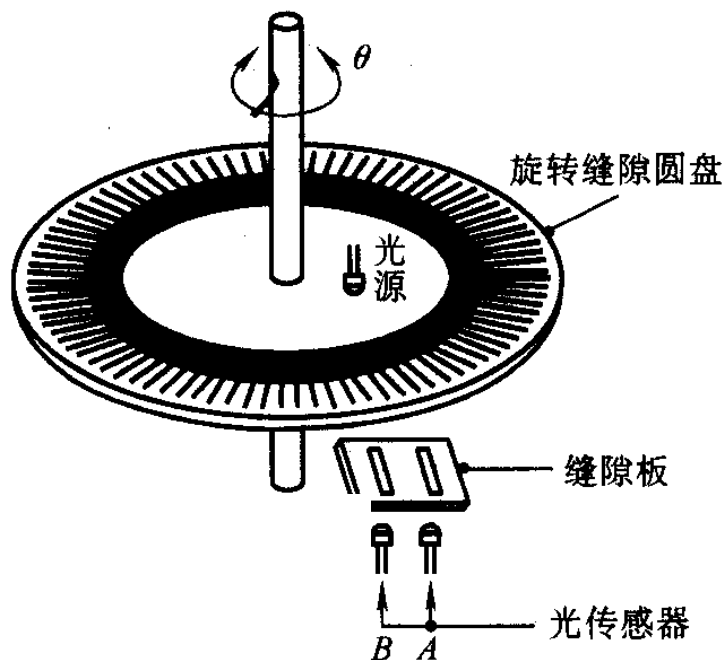


5.2 内部传感器



■ 光学式增量型旋转编码器

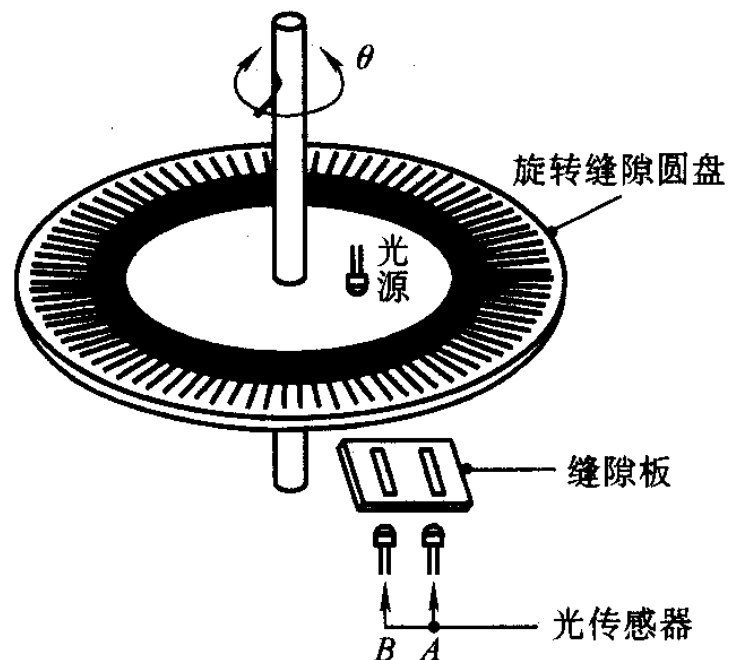
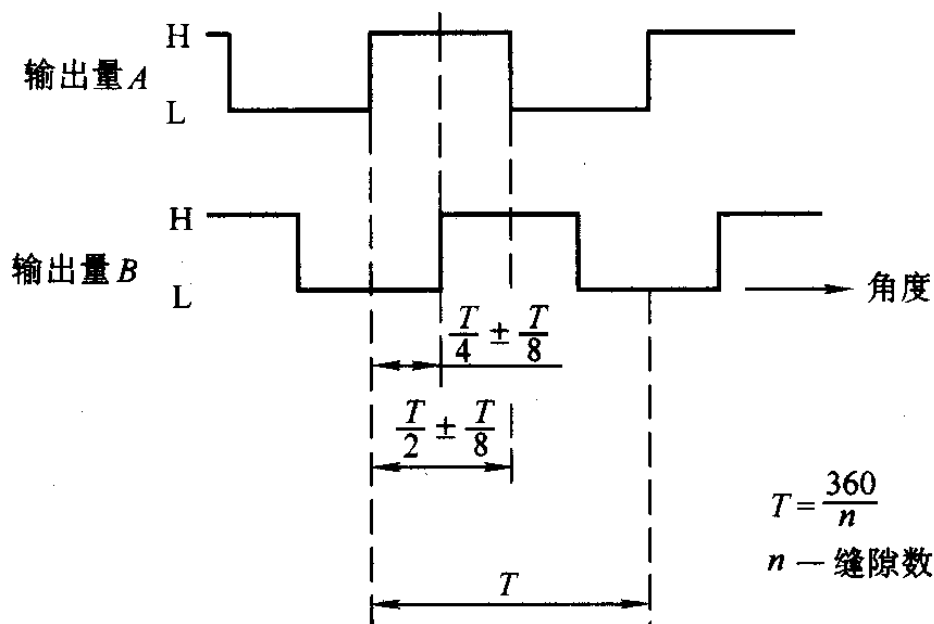
- 透光和不透光弧段尺寸相同且交替出现，每段弧段所表示的旋转角度相同；
- 类似积分器，累计透光次数以计算相对旋转角度。
- 如何获得角度方向？



5.2 内部传感器



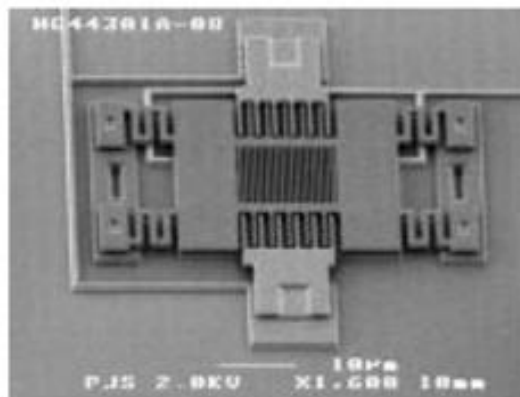
- Adding another sensor (B) 1/4 cycle away from sensor A.
- Typically, when clockwise (CW) rotation, signal A changes before B, vice versa.



5.2 内部传感器



- 位置传感器
- 速度传感器
 - 编码器、测速计
 - 利用位置信号微分
- 加速度传感器
 - 加速度计



MEMS加速度计

5.2 内部传感器



Attitude Sensors 姿态传感器

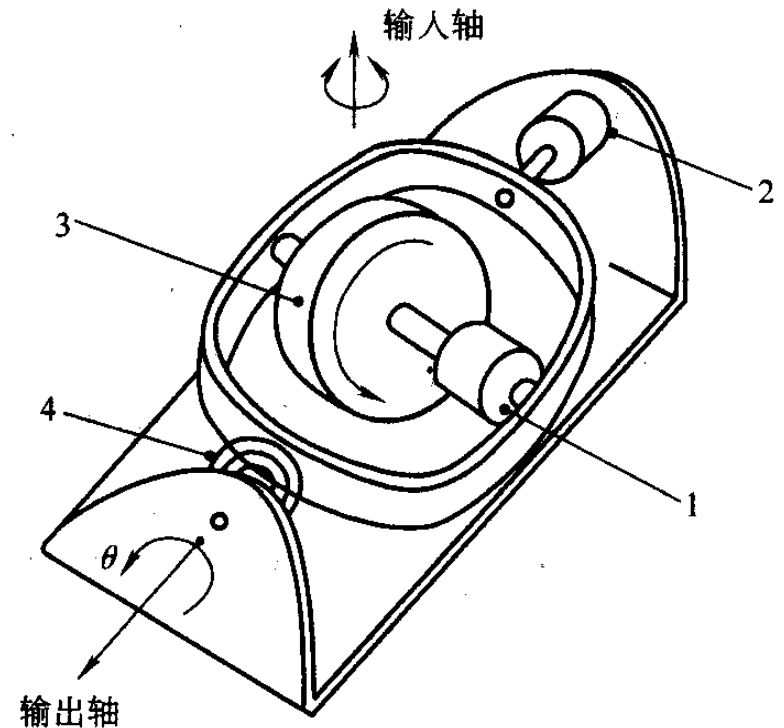
- Attitude sensors are used to detect the relative relationship between the **robot** and **ground**. When the robot is fixed (just as the majority of industrial robot), there is no need to install such sensors. Attitude sensors are essential for mobile robots.
- Attitude sensors detect moving changes in **position** and **orientation** of the robot that can be used to control the robot implement desired instruction.

1. Gyro Sensor 陀螺仪

- A gyroscope is a device for measuring or maintaining orientation, based on the principles of **conservation of angular momentum**.

Shown right is a **rate gyro**.

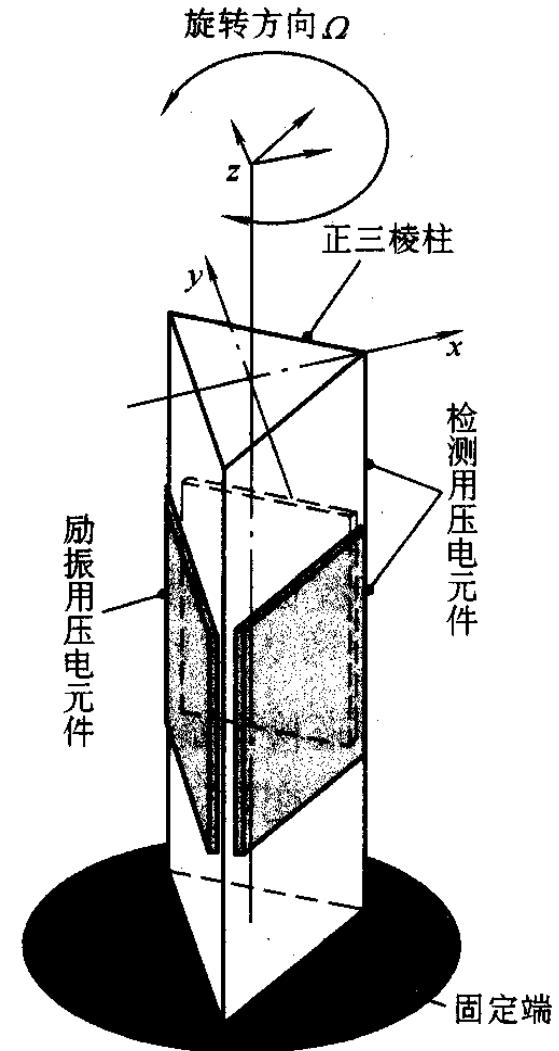
(速率陀螺)



1—电动机 2—角度传感器 3—转子 4—弹簧

2. Other Gyros

- gas rate gyroscope
气体速率陀螺仪
- optical gyroscope
光陀螺仪
- piezoelectric vibratory gyroscope
压电振动式陀螺
(shown on the right)



Contents



 机器人传感器概述

 内部传感器

 外部传感器

5.3 外部传感器

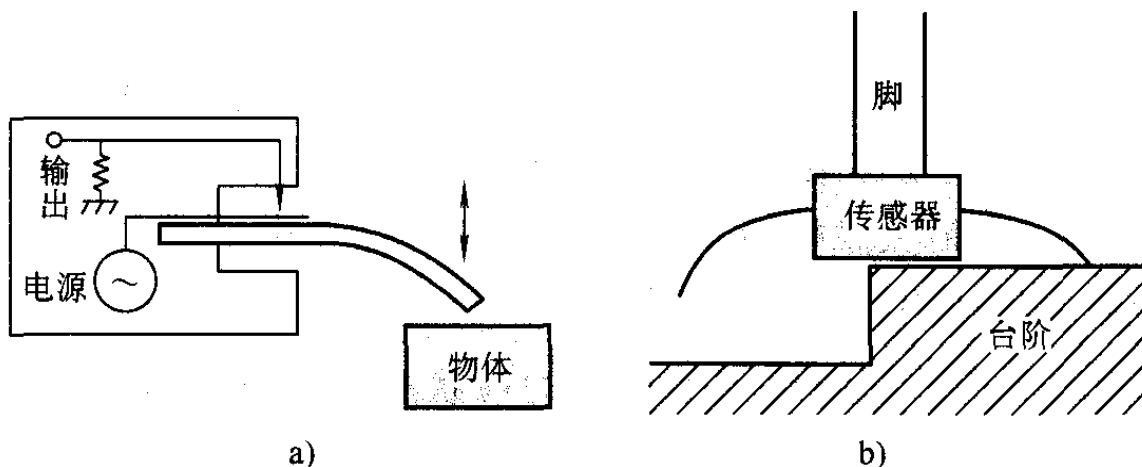


- 接触觉传感器
- 压觉传感器
- 力觉传感器
- 接近觉传感器
- 距离传感器
- 视觉传感器

5.3 外部传感器 — 接触觉传感器



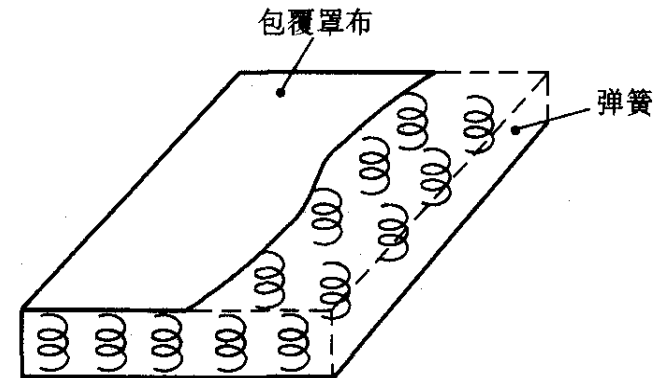
- 机器人在探测是否接触到物体时有时用开关传感器，传感器接受由于接触产生的柔量（位移等的响应）。机械式的接触传感器有微动开关、限位开关等。
- 微动开关是按下开关就能进入电信号的简单机构。接触觉传感器即使用很小的力也能动作，多采用**杠杆原理**。



Application: Touch sensors are equipped in the palm of the end-effector in order to grip objects precisely.

5.3 外部传感器 — 压觉传感器

- **piezoelectric elements 压电元件**: 在受到挤压时将会产生一定的电压。
- Robot pressure sensor can detect the **pressure and its distribution** through an array of **piezoelectric elements**. (Eg. Springs (弹簧) for mechanical detecting).



Applications: By smart control of pressure, end-effector can pick up not only fragile objects as glass cups, but also soft object as tofu and eggs.

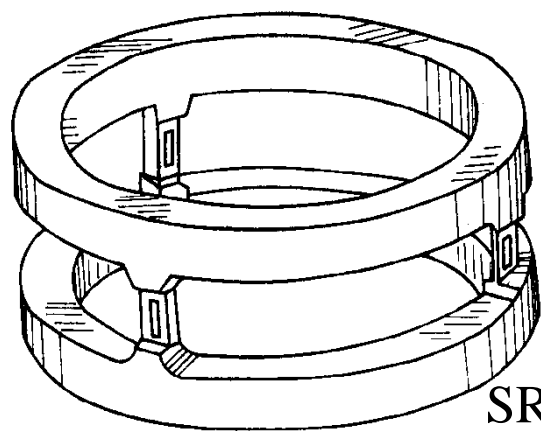
5.3 外部传感器 — 力觉传感器

- 力觉传感器主要使用的元件是**电阻应变片**，利用了金属丝拉伸时电阻变大的现象。将它粘贴在加力的方向上，对电阻应变片在左右方向上加力，电阻应变片用导线接到外部电路上，可测定输出电压，算出电阻值的变化。
- 装在关节驱动器上的力觉传感器，称为**关节力传感器**，它测量驱动器本身的输出力和力矩，用于控制中的力反馈。
- 装在末端执行器和机器人最后一个关节之间的力觉传感器，称为**腕力传感器**。腕力传感器能直接测出作用在末端执行器上的各向力和力矩。
- 装在机器人手指关节上（或指上）的力觉传感器，称为**指力传感器**。用来测量夹持物体时的受力情况。

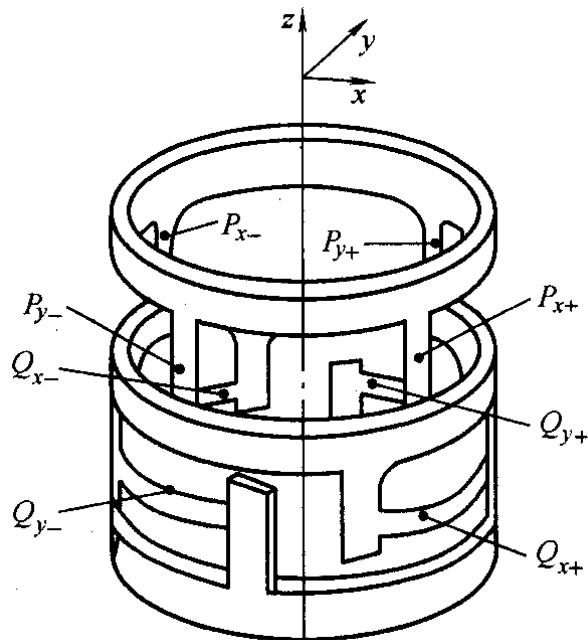
5.3 外部传感器 — 力觉传感器



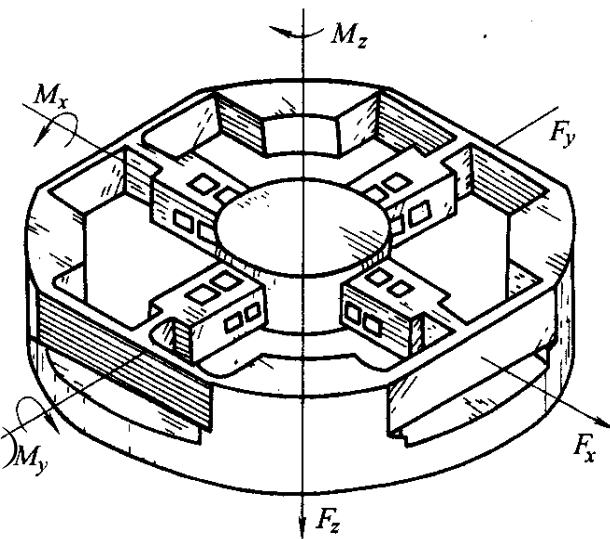
- 采用多对应应变片在不同方向轴上安装，可构造力矩传感器。



Draper实验室研制的
六维腕力传感器



SRI (Stanford Research Institute)
研制的六维腕力传感器

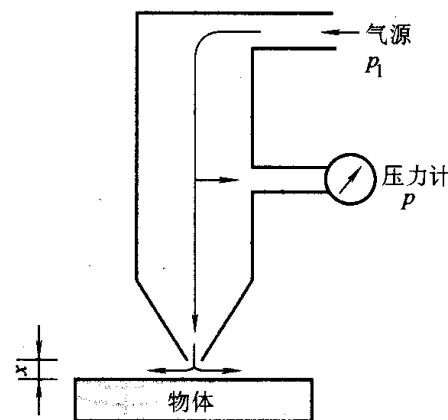


林纯一研制的腕力传感器

5.3 外部传感器 — 接近觉传感器

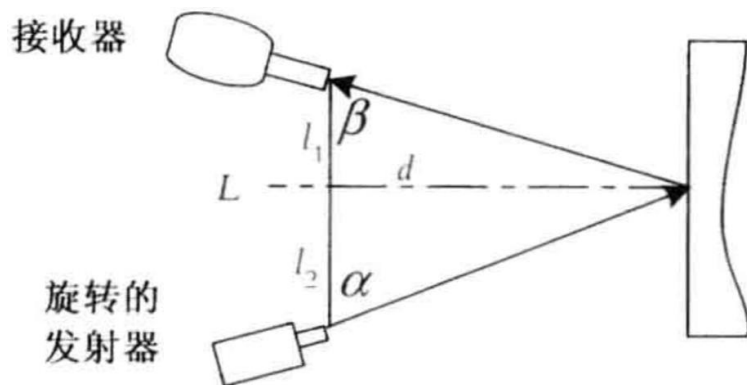


- **接近觉传感器**是一种能够在没有任何物理接触的情况下检测是否有物体接近的传感器。
- 接近觉传感器类型：磁感应式、涡流式、霍尔效应式、光学式、超声波式、电感式、电容式。
- 不同的接近觉传感器目标需要不同的传感器。例如，电容或光电传感器可能适用于塑料目标；电感式接近传感器需要金属靶。



5.3 外部传感器 — 距离传感器

- 与接近觉传感器不同，距离传感器（又称，测距仪）用于测量较长的距离，一般是基于**光**（可见光、红外光或激光）和**超声波**的，常用三角法和测量传输时间法。
- 三角法
 - 用单束光线照射物体，会在物体上形成一个光斑，形成的光斑由摄像机或光敏检测器等接收器检测到。



$$\tan \beta = \frac{d}{l_1}, \quad \tan \alpha = \frac{d}{l_2}, \quad L = l_1 + l_2$$

$$d = \frac{L \tan \alpha \tan \beta}{\tan \alpha + \tan \beta}$$

5.3 外部传感器 — 距离传感器

- 测量传输时间法（TOF, Time of Flight）
 - 根据声波或激光的发射与接收之间的时间 TOF ，以及声波或光在空气中的速度 v 来计算目标的距离。

$$d = \frac{v * TOF}{2}$$

- 常用的距离传感器

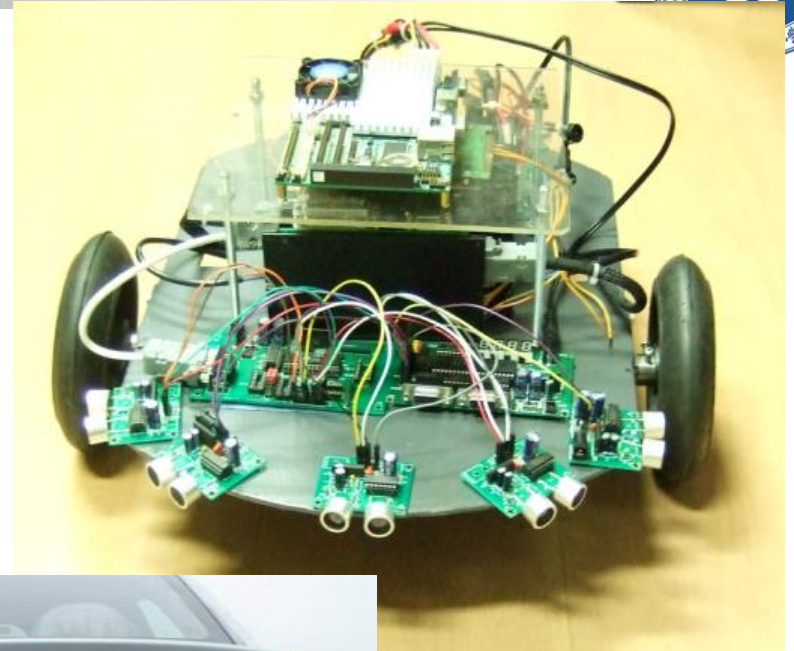
- 超声波测距仪

- 价格低，理想环境下精度满意，但由于声波的反射、散射等具不确定性，精度会受温湿度变化影响。

- 激光测距仪

- 精度高，价格高。

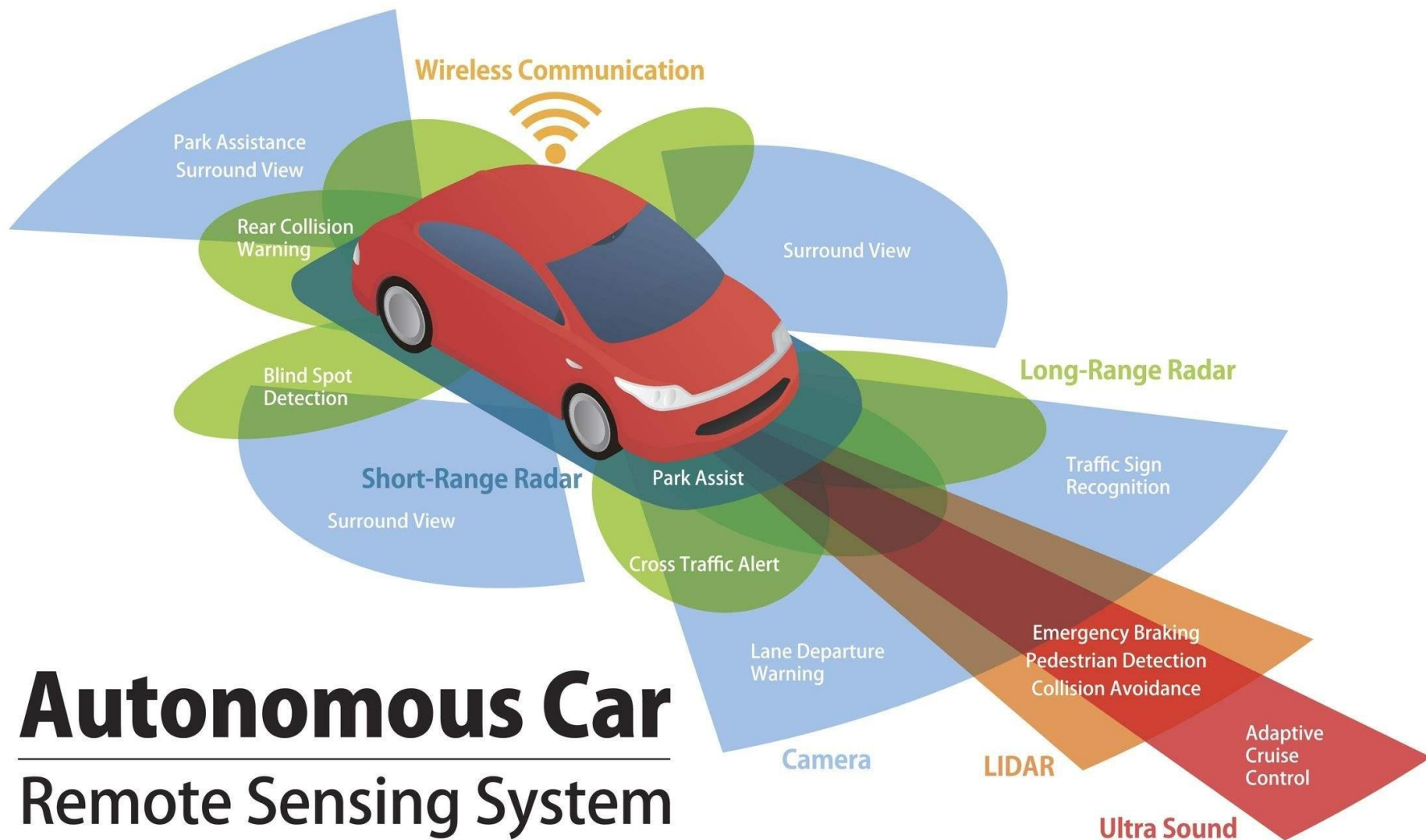
Ultrasonic Distance Sensor – 超声波传感器



激光雷达



无人车环境感知系统布局

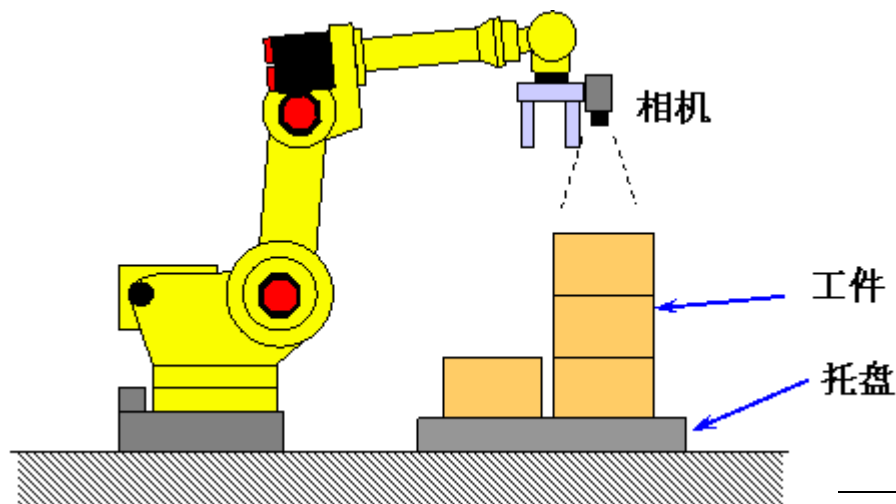


Autonomous Car Remote Sensing System

5.3 外部传感器 — 视觉传感器



- 研究表明，对信息的视觉感知占人们从外界感知的视觉感知的80%。
- 视觉传感器：利用光学元件和成像装置获取外部环境图像信息的仪器。
- 特点：信息丰富、低成本、易用。



5.3 外部传感器 — 视觉传感器



■ 视觉传感器类型

2D相机



深度相机



双目立体视觉传感器



KINECT
for Xbox 360

5.4 Summary



- **Most needed** sensory abilities for robot:
 - Touch, Force, Proximity, Vision...
- **Internal sensors**
 - Detect **position** and **orientation** in the coordinate of the robot itself, deal with the detection of variables such as arm joint **position**, **velocity**, and **acceleration**.
- **External sensors**
 - Localize the robot to the environment, deal with the detection of variables such **range**, **proximity**, and **touch**.



谢谢!

