

第三章 机器人传感器

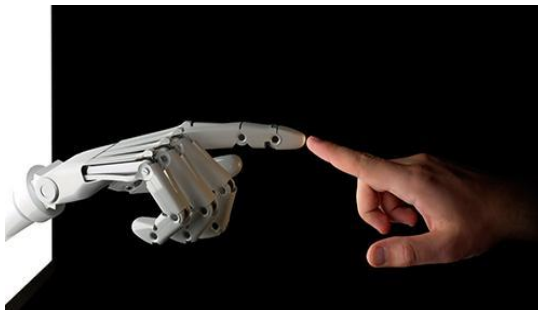
对于机器人来说，无论是同外部环境进行交互，还是感知自身的姿态，都需要通过传感器来或取相应的信息。

通过传感器提供的信息，机器人不仅可以对自身的姿态、速度加速度等进行控制，而且可以进行任务规划、路径规划以完成既定的工作任务和工作目标。

在机器人上安装了触觉、视觉、力觉、接近觉、超声波等传感器，实现类似人类感知作用。



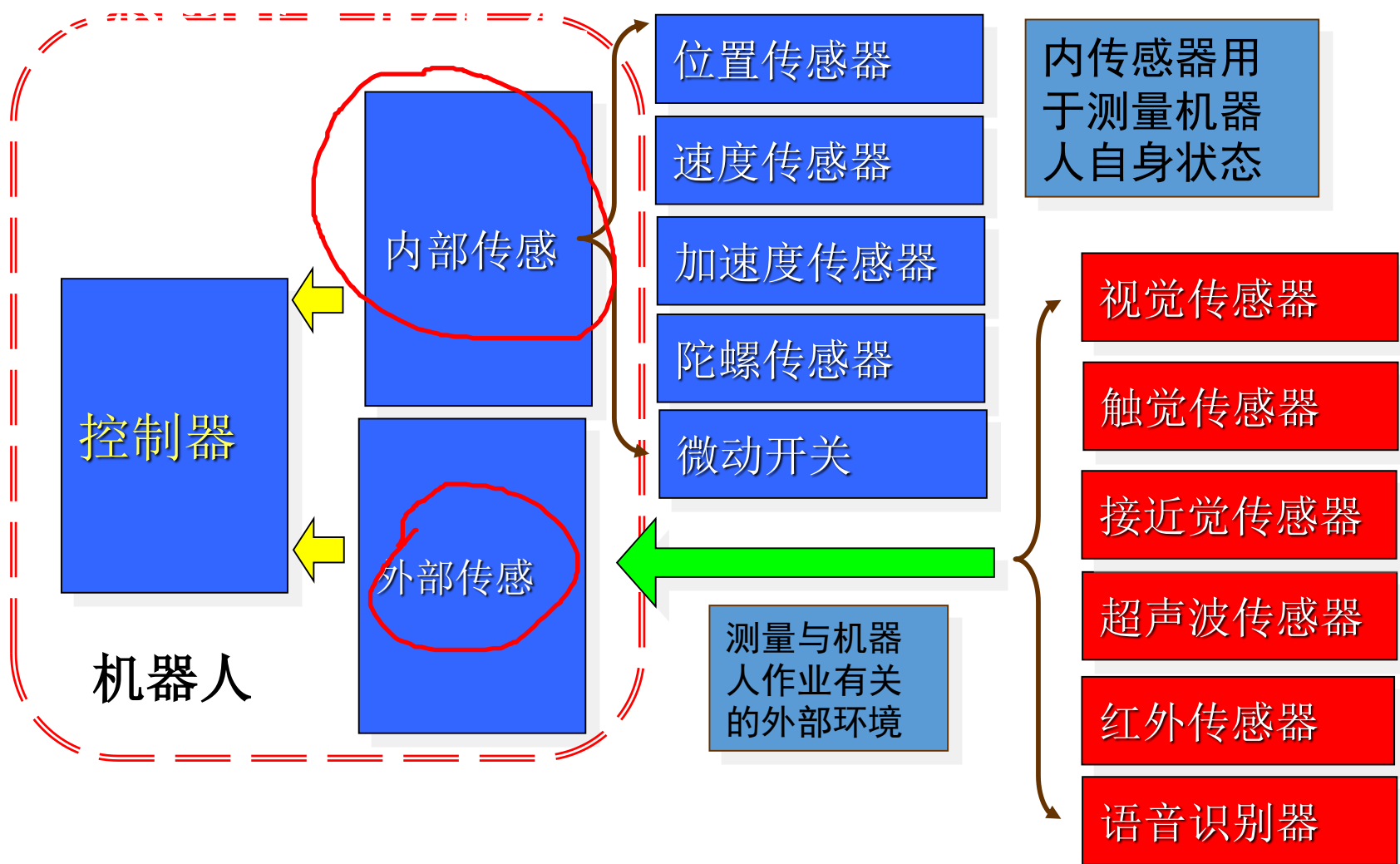
机器人视觉



机器人触觉



机器人力觉



机器人传感器

多手指使用传感器的分类

三个手指

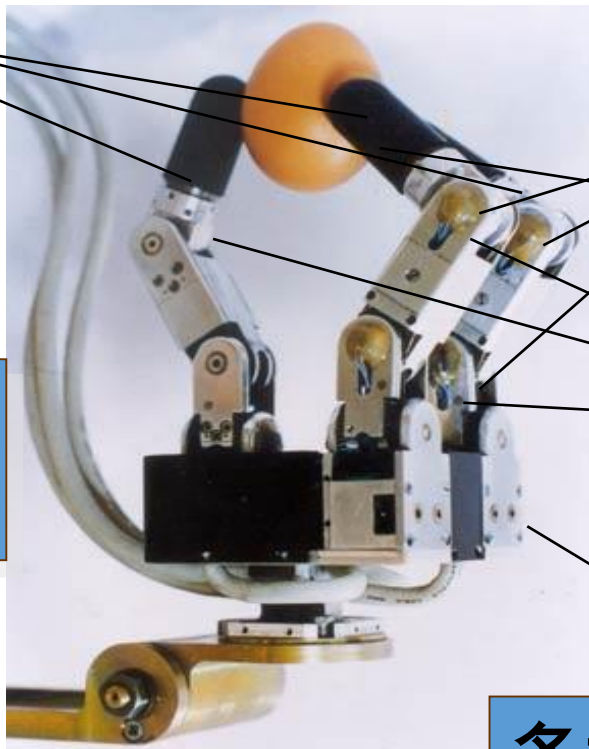
3个关节

复合触觉传感器

角度传感器

电机

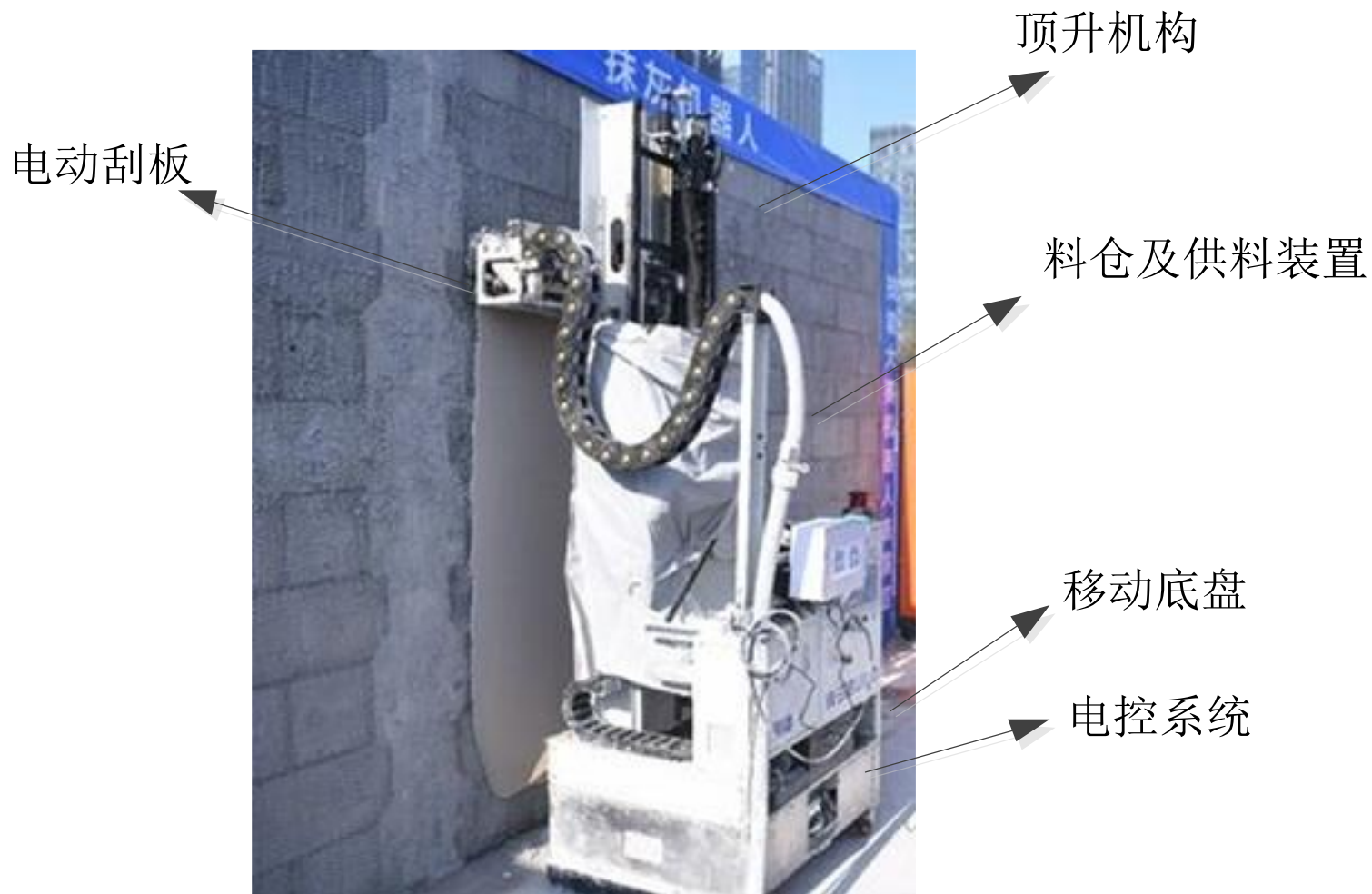
多指协调控制
抓取规划



多指多关节
灵巧机械手

通过从结构与功能上模仿人手，实现对各种形状物体的灵巧操作，精确的力控制与运动控制

建筑抹灰/喷涂机器人



砂浆抹平机器人系统



1. 内部传感器

机器人内传感器包括位移（位置）传感器、速度、加速度、陀螺传感器等。

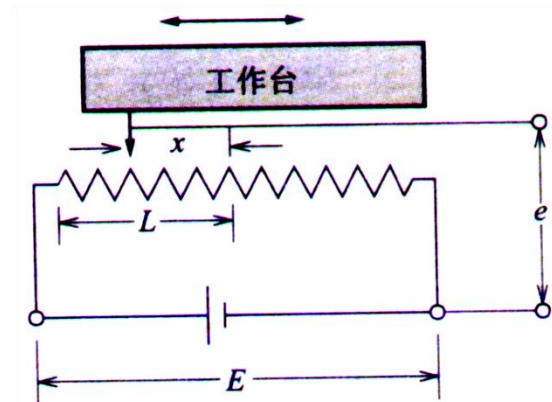
1.1 位置传感器

(1) 电位器式位移传感器

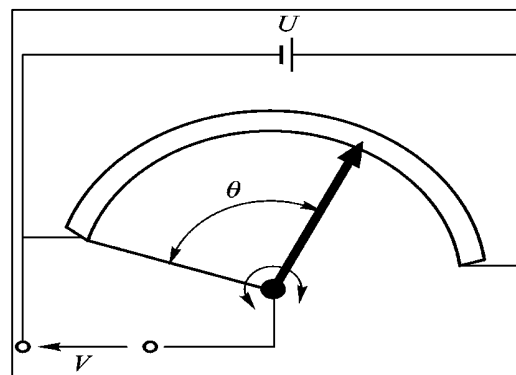
直线电位器和圆形电位器，用作直线位移和角位移传感器。

电位器式位移传感器结构简单，性能稳定可靠，精度高，较方便地选择其输出信号范围。

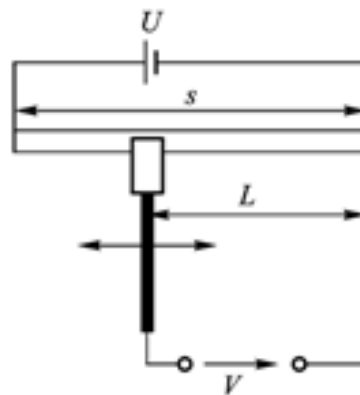
电位器式位移传感器的可动电刷与被测物体相连。物体的位移引起电位器移动端的电阻变化。阻值的变化量反映了位移的量值，阻值的增加还是减小则表明了位移的方向。



旋转型电位器式位移传感器



直线型电位器式位移传感器



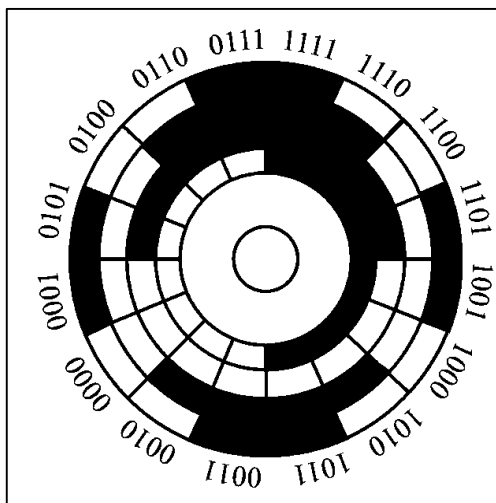
1.2 编码式位移传感器——光电编码器

光电编码器是**角度（角速度）**检测装置，通过光电转换，将输出轴上的**机械几何位移量**转换成**脉冲数字量的传感器**。具有体积小，精度高，工作可靠等优点，应用广泛。

一般装在机器人各关节的转轴上，用来测量各关节转轴转过的角度。

光电编码器由光栅盘和光电检测装置组成。

常见的光电编码器由光栅盘，发光元件和光敏元件组成。



光电码盘随电动机转动，输出脉冲信号。根据旋转方向用计数器对输出脉冲计数就能确定电动机的位移或转速。

根据其刻度方法及信号输出形式，分为增量式、绝对式以及混合式三种。

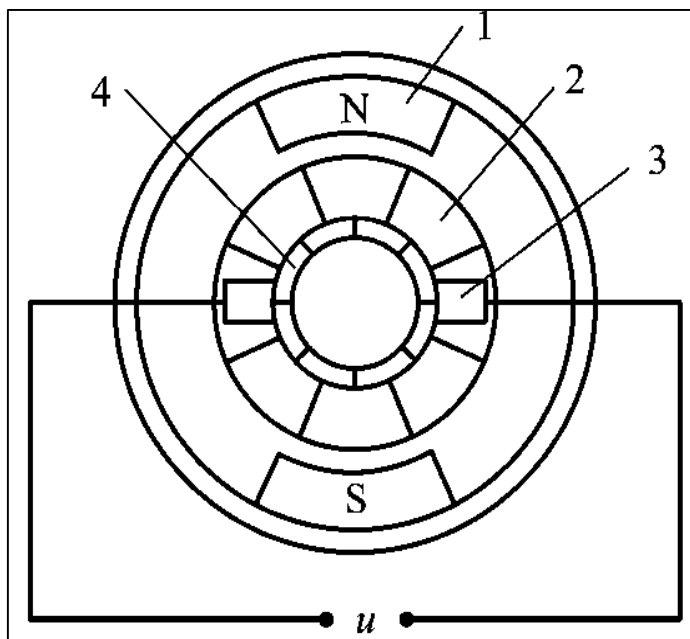
透明圆盘上设置n条同心圆环，对环带进行二进制编码。

1.3 速度传感器

速度传感器：测量机器人关节速度, 主要种类：测速发电机、增量光电编码器。

测速发电机：把机械转速变换成电压信号，输出电压与输入的转速成正比。

$$u = K * n \quad K \text{ 是常数}$$



直流测速发电机的结构原理

1—永久磁铁；2—转子线圈；3—电刷；4—整流子

1.4 机器人陀螺传感器

原理：陀螺仪主要是由一个位于轴心且可旋转的转子构成，将陀螺安装在框架装置上。陀螺仪一旦开始旋转，由于转子角动量，陀螺仪有抗拒方向改变的趋向。螺旋仪基于角动量守恒理论设计出来的。

应用：陀螺仪是用来测量运动体角度、角速度和角加速度的传感器。

利用陀螺可测量机器人连杆姿态角（航向、俯仰、横滚），精确测量连杆角运动。

分类：机械陀螺、压电陀螺、光学陀螺、微机械电子陀螺。

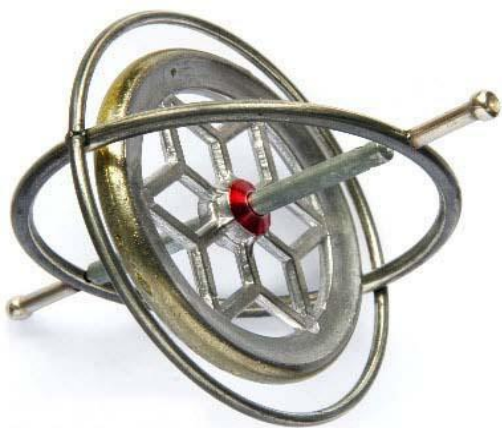


(1) 机械陀螺仪：价格贵，有转动部分，精度较高，不易受电磁干扰。

(2) 电子陀螺仪：价格便宜，无转动部分，易受电磁干扰，使用场合受限制。

(3) 光学陀螺仪：只有很少的移动部件或没有移动部件，与机械陀螺相比易于维护、不受重力影响。

(4) 微机械电子陀螺：是利用半导体制造技术将微型机械结构、信号采集放大与处理电路等集成在一起的陀螺系统，结构精巧，灵敏度高。



2. 外部传感器

外部传感器用来检测机器人所处环境及目标状况，从而使机器人能够与环境发生交互作用，并对环境具有自我校正和适应能力。

机器人外部传感器就是具有人类五官的感知能力的传感器。

2.1 基本原理

(1) 压阻效应

半导体材料受到外力作用时电阻率会发生变化。原因是外力作用使原子点阵排列发生变化，晶格间距的改变使禁带宽度变化，导致载流子迁移率及浓度变化，即电阻率发生变化。

(2) 压电效应

外力沿压电材料特定晶向作用使晶体产生形变，在相应的晶面上将产生电荷，去掉外力后压电材料又重回不带电状态，这种由外力作用产生电极化的现象叫正压电效应。

逆压电效应：压电效应是可逆的。在压电材料特定晶向施加电场时，不仅有极化现象发生，还特产生机械形变。去掉电场，应力和形变也随之消失，这种现象称作逆压电效应。

(3) 光电效应

物质在光照作用下释放电子的现象称为光电效应，释放的电子叫光电子，光电子在外电场作用下形成的电流叫光电流。

由实验发现的光电效应的规律是光电流大小与入射光频率有关，当入射光频率低于某一极限频率时，将不产生光电效应。

只有当入射光频率高于极限频率时，光电流的大小才与入射光强度成正比。

(3) 热释电效应

在既无外电场也无外力作用时，电石、水晶等晶体材料受温度变化的影响，其品格的原子排列发生变化，也能产生自发极化。

这是由于当环境温度变化时，晶体的热膨胀和热振动状态发生变化，在晶面上将产生电荷，表现出自发极化现象，称作热释电效应。

2.2 力觉传感器

力觉是指对机器人的指、肢和关节等运动中所受力的感知，包括腕力、关节力、指力和支座力传感器。

- a. **关节力传感器**：测量驱动器本身的输出力和力矩，用于控制中的力反馈。
- b. **腕力传感器**：测量作用在末端执行器上的各向力和力矩。
- c. **指力传感器**：测量夹持物体手指的受力情况。

力觉传感器主要使用的元件是电阻应变片

原理：力觉传感器经常装于机器人关节处，通过检测弹性体变形来间接测量所受力。装于机器人关节处的力觉传感器常以固定的三坐标形式出现，有利于满足控制系统的要求。

目前出现的六维力觉传感器可实现全力信息的测量，因其主要安装于腕关节处被称为腕力觉传感器。

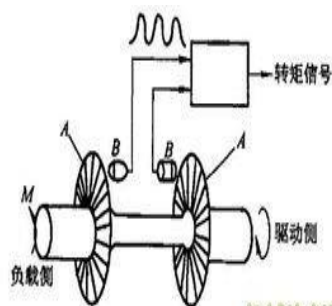
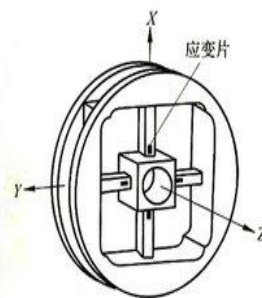
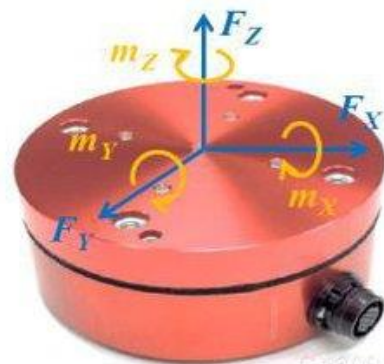


图 27.5-17 无触点力矩检测原理

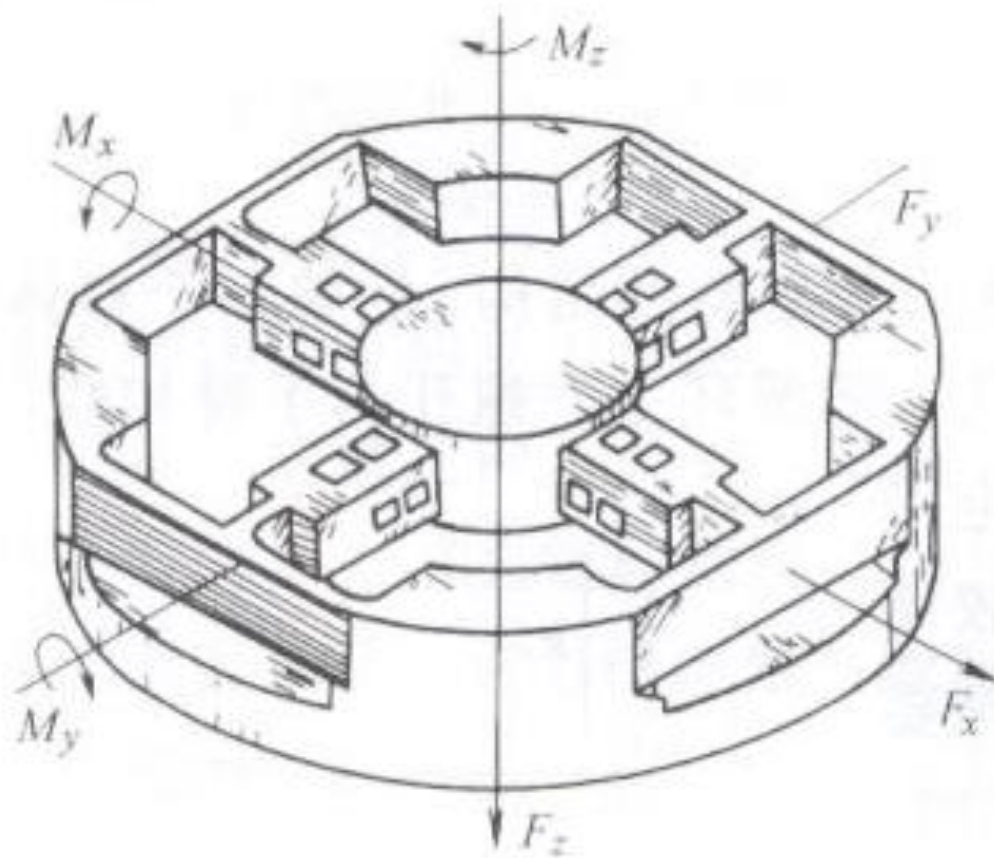


V. Scheinman 型力传感器



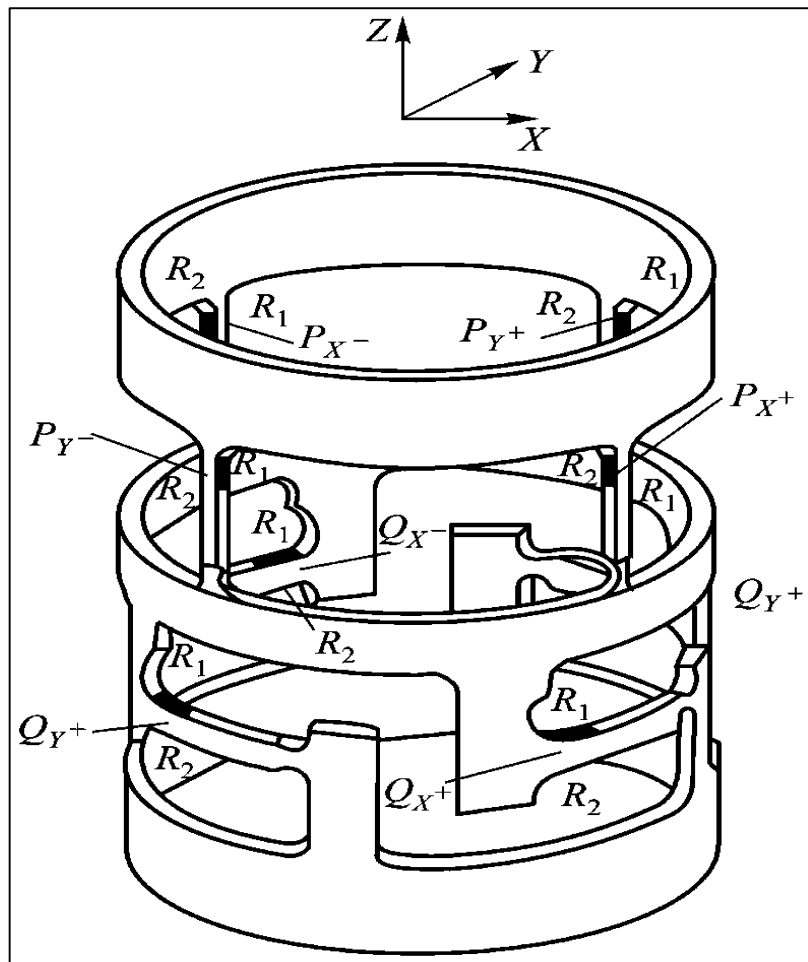
(1) 十字梁腕力传感器

日本大和制衡株式会社林纯一研制的腕力传感器。整体轮辐式结构，传感器在十字梁与轮缘联结处有一个柔性环节，在四根交叉梁上共贴有32个应变片（图中小方块），组成8路全桥输出。



(2) 六维腕力传感器

具有八个窄长的弹性梁，每个梁只传递力。梁的另一头贴有应变片。图中从 P_{x+} 到 Q_{y-} 代表了8根应变梁的变形信号的输出。



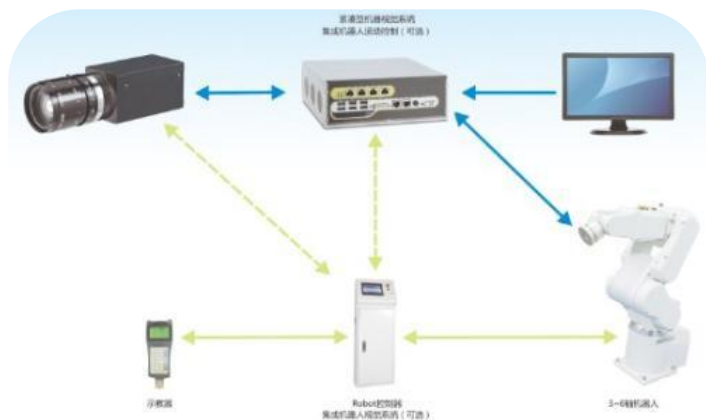
2.3 机器人视觉传感器

原理：视觉传感器主要采用模拟摄像机或数码摄像机获取来环境图像信息。

对摄像机获取的二维图像进行数字化后就可利用计算机感知机器人所处的三维环境。

应用：通过对视觉传感器获取的图像信息进行处理，可以感知环境中物体的轮廓、形状、颜色、还可以实现运动检测、深度测量、相对定位、导航、环境或特定物体的三维建模等。

类型：从成像方法，CCD、CMOS传感器；2维、3维传感器



核心是机器人视觉算法

2.4 机器人听觉传感器

原理：声音识别是人工智能的重要研究课题，也是智能机器人的重要研究内容。机器人听觉传感器可以感知环境中的声音、超声波、次声波等信息。

应用：机器人对声波信号的识别可以用于防治次声污染、人机语音交互、自然灾害预测等多个领域。

分类：无噪声电声传感器、驻极体电容式传声器、动圈式传声器、带式传声器、光纤型声音传感器。



2.5 激光雷达

工作在红外和可见光波段的雷达称为激光雷达。由**激光发射系统、光学接收系统、转台和信息处理系统等组成**。

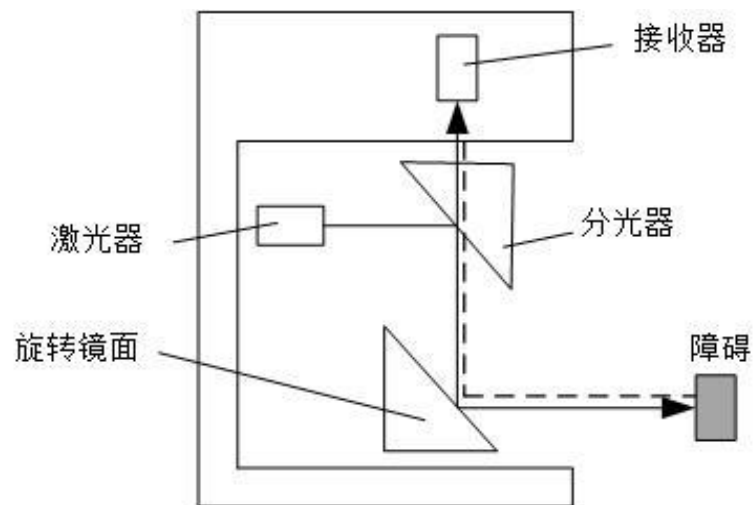
机器人用来对导航、目标识别、避障等。

工作原理：

激光器将电脉冲变成光脉冲(激光束)，作为探测信号向目标发射出去，打在物体上并反射回来；

接收器准确地测量光脉冲从发射到被反射回的传播时间,鉴于光速是已知的，传播时间即可被转换为对距离的测量。

然后经过适当处理后，就可获得目标的有关信息，如目标距离、方位、高度、速度、姿态,甚至形状等参数。



由于反射镜的转动，激光雷达得以在一个角度范围内获得线扫描的测距数据。



激光雷达由于使用的是激光束,工作频率高,因此具具有很多特点:

(1) 激光雷达可以获得极高的角度、距离和速度分辨率。通常角分辨率不低于 0.1mrad ，距离分辨率可达 0.1m ;速度分辨率达到 10m/s 以内;

(2) 体积小、重量轻。

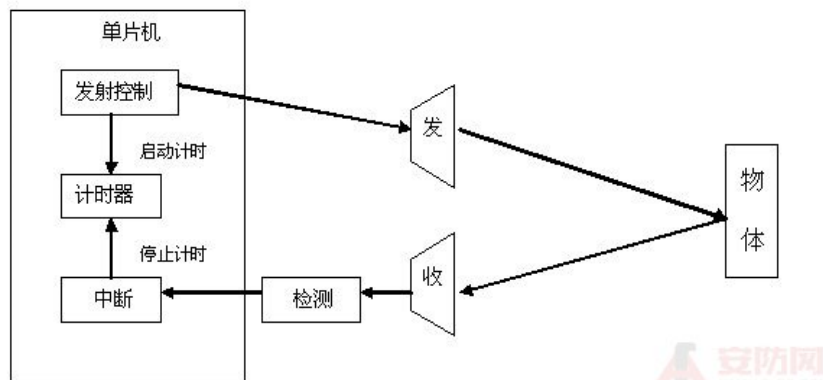
激光雷达的作用是能精确测量目标天位置、运动状态和形状以及准确探测、识别、分辨和跟踪目标，具有探测距离远和测量精度高高等优点，已被普遍应用于移动机器人定位导航。

2.6 机器人距离传感器

原理： 距离的测量对于机器人来说非常重要。距离传感器发出能量波至环境物体表面并接受反射回来能量波，记录两者之间的时间差，从而可换算出机器人距该物体的距离。

应用： 可以获取外部环境的深度信息，相对距离信息，也可以用来对机器人进行定位和避障等。

分类： 超声波测距传感器、激光测距传感器、红外线测距传感器、微波测距传感器、



超声测距原理：超声波对液体、固体的穿透本领很大，尤其是在阳光不透明的固体中，它可穿透几十米的深度。超声波碰到杂质或分界面会产生显著反射形成回波，碰到活动物体能产生多普勒效应。

激光测距原理：激光传感器工作时，先由激光二极管对准目标发射激光脉冲。经目标反射后激光向各方向散射。部分散射光返回到传感器接收器，记录并处理从光脉冲发出到返回被接收所经历的时间，即可测定目标距离。

红外测距原理：红外测距传感器利用红外信号遇到障碍物距离的不同反射的强度也不同的原理，进行障碍物远近的检测。



2.7 机器人触觉传感器

原理：触觉传感器是当机器人与环境中物体接触时给出接触信号，通过对触觉的感知机器人可以确认是否与环境中的物体接触，了解所接触物体的形状和硬度等信息。

应用：简单的接触传感器可以使机器人对碰撞、接触等作出反应，复杂的触觉传感器使机器人不仅了解是否与物体接触、而且可以获取接触力的大小。

分类：简单的接触传感器、电阻式接触传感器、电容式触觉传感器、电化学触觉传感器、光学触觉传感器。



2.8 机器人接近觉传感器

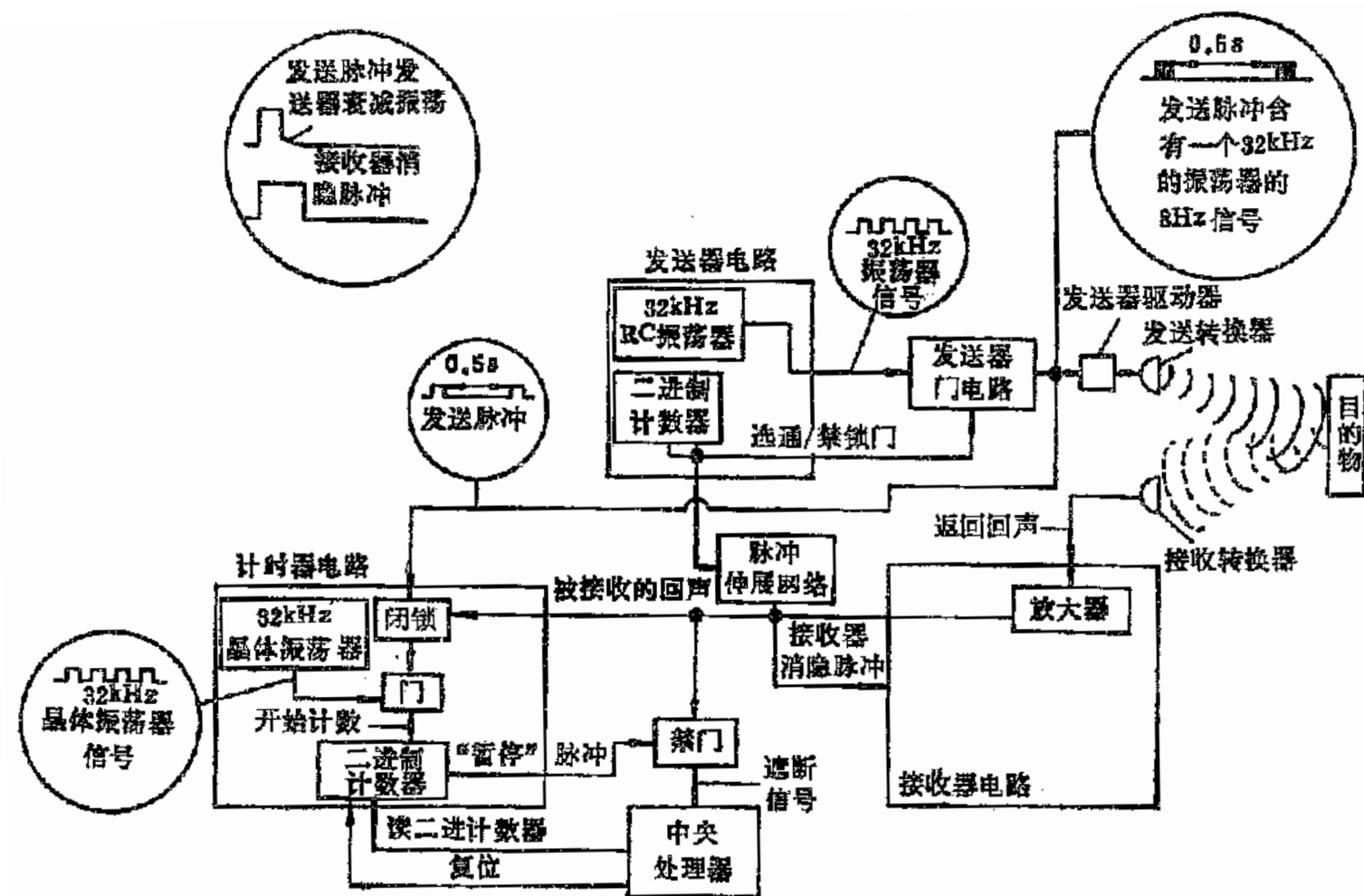
原理：接近觉传感器是非接触检测器件，利用磁感应、涡流、光学原理、超声波、电容和电感、霍尔效应等原理制成。

应用：主要用于探测一个物体是否与另一个物体接近，可用于机器人避障。

分类：磁感应传感器、超声波接近传感器、光学接近传感器等。

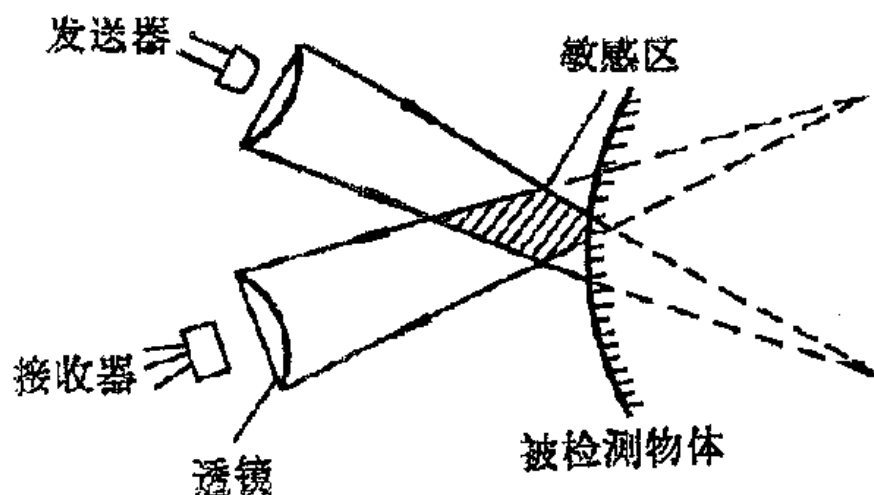


超声波接近度传感器

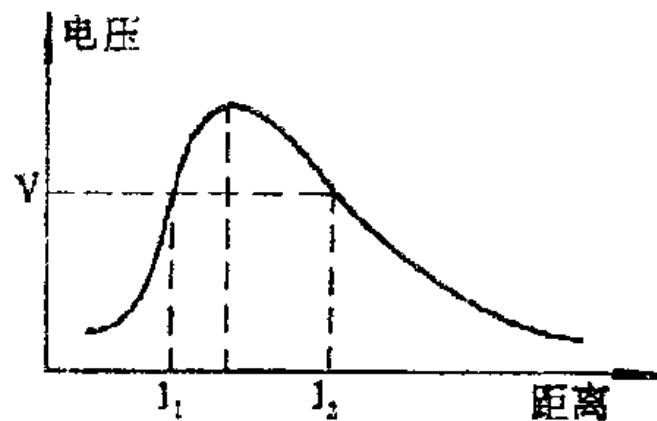


红外线接近度传感器

发送器和接收器都很小，能够装在机器人夹手上；易于检测出工作空间内是否存在某个物体，但要测量距离则相当复杂。



(a)



(b)

图7.23 红外接近度传感器

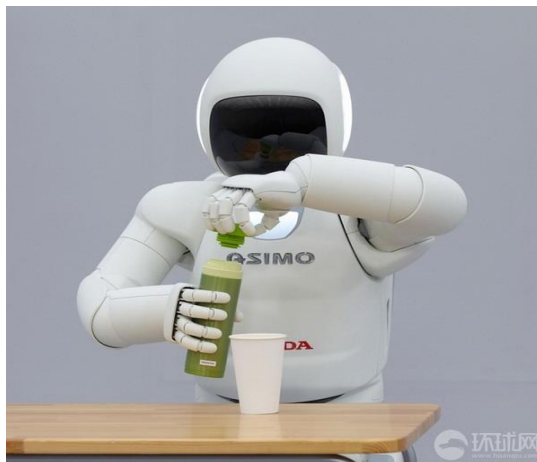
2.9 机器人滑觉传感器

原理：为了在抓握物体时确定一个适当的握力值，需要实时检测接触面的相对滑动，然后判断握力，在不损伤物体的情况下逐渐增加力量，滑觉检测功能是实现机器人柔性抓握的必备条件。

通过滑觉传感器可对被抓物体进行表面粗糙度和硬度的判断。

应用：滑觉传感器可用来检测机器人与抓握对象间滑移程度的传感器。

分类：无方向性滑觉、单方向性、全方向性滑觉（球形）等传感器。

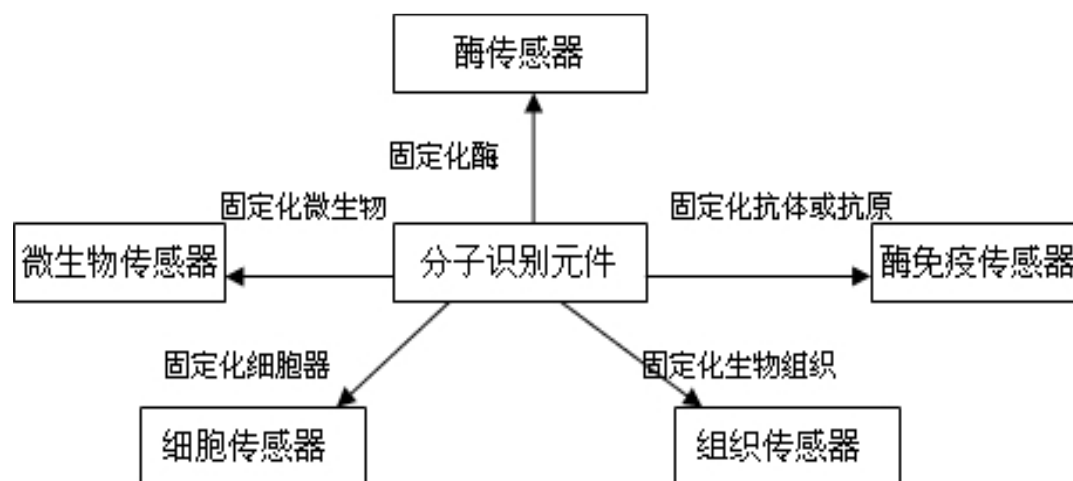
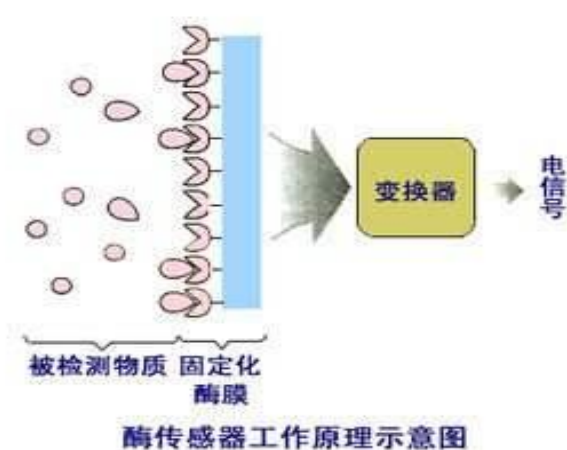


2.10 机器人生化传感器

原理：生化传感器是一门由生物、化学、物理、医学、电子技术等多种学科互相渗透成长起来的高新技术。因其具有选择性好、灵敏度高、分析速度快、成本低、在复杂的体系中进行在线连续监测，特别是它的高度自动化、微型化与集成化的特点，使其在近几十年获得蓬勃而迅速的发展。

应用：生化传感器主要用于微纳机器人和医疗机器人，并正向传统机器人领域扩展，可以大大提高机器人对外界生化信息的感知能力。

分类：亲和型、代谢型、催化型、半导体型、生化电极传感器、光生化传感器



2.11 机器人嗅觉传感器

原理：机器嗅觉是一种模拟生物嗅觉工作原理的新颖仿生检测技术，机器嗅觉系统通常由交叉敏感的化学传感器阵列和适当的计算机模式识别算法组成；

阵列中的气体传感器各自对特定气体具有较高的敏感性，由一些不同敏感对象的传感器构成的阵列可以测得被测样品挥发性成分的整体信息，与人的鼻子一样，闻到的是样品的总体气味。

应用：嗅觉传感器可以感知空气中的特殊气味，可用于检测、分析和鉴别各种气味。

分类：气体嗅觉传感器、仿生嗅觉传感器。

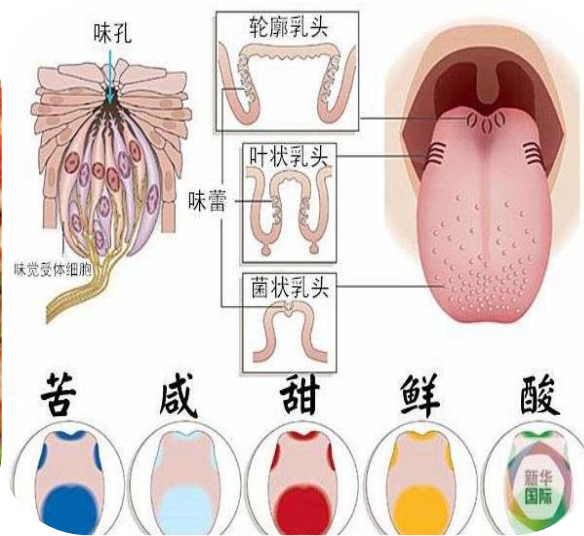


2.12 机器人味觉传感器

原理：人类舌头表面感觉味觉的器官被称为味蕾，味蕾上存在可感觉甜味、咸味、酸味、苦味、鲜味五种基本味道的各种味蕾细胞。味觉传感器也可以分别区分这五种基本味道的浓淡程度，并将味道数值化再进行评价。

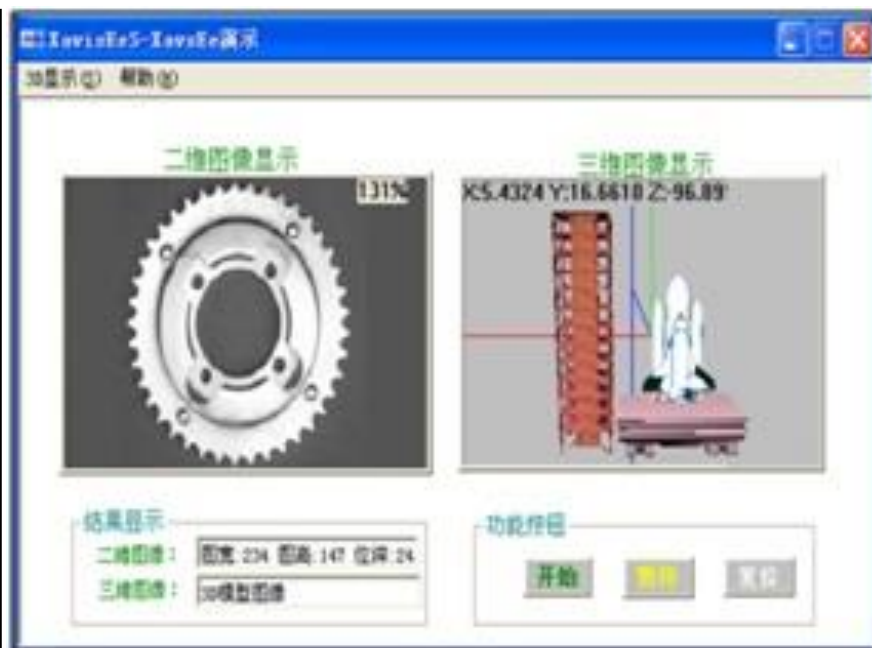
应用：味觉传感器可以使机器人具有识别味道的功能，可用于制造机器人美食家，评判美味的优劣。

分类：化学传感器、细胞传感器、仿生味觉传感器。



1. 机器视觉组态软件Xavis

Figure 1-1 shows the XAVIS software interface, which includes a toolbox for image processing, a dialog for image properties, and a main window for running the program.



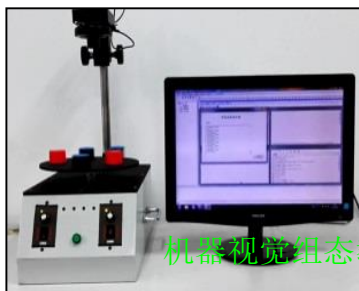
自控所在机器视觉方面的成果

2. 工业智能相机

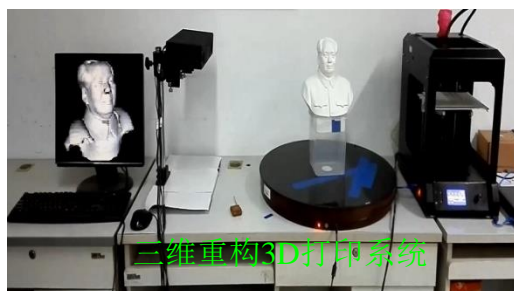


发明一种集现场视觉信息感知、图像实时处理和物联网远传等于一体的智能相机。

基于该机器视觉组态平台的教学实验和工业检测设备已在北、京、上、海、广、东和陕、西等高校和国内外多家企业得到应用。



机器视觉组态教学实验平台



三维重构3D打印系统



航天磁环缺陷多目视觉检测系统



伞齿轮缺陷九目视觉检测装置



纸杯缺陷视觉检测装置



视觉检测装置展览

自控所在机器视觉方面的成果

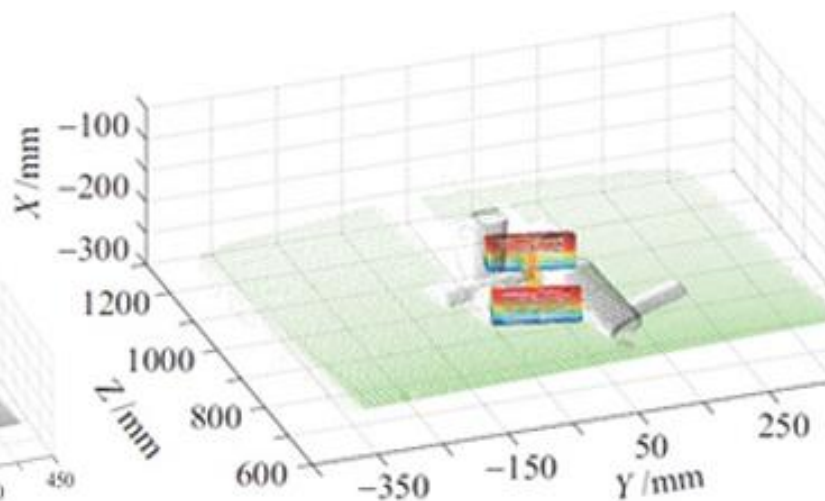
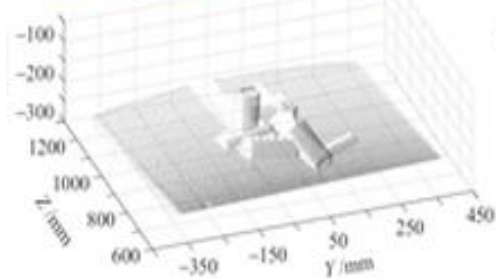
3. 高速生产线用机器视觉系统

提出基于变分法的去除镜面高光反射处理方法，发展了基于单摄像机的景深图像分层处理算法。针对自动化生产线，开发出多种视觉定位与测量软件。



自控所在机器视觉方面的成果

利用激光扫描数据，提出了基于超二次曲面模型的3维目标识别与定位算法。



面向大型复杂零件搬运，利用激光扫描点云和CCD传感器，开发了一套三维目标特征提取与定位实验系统。



小结:

- 传感器的特点与分类
 - 机器人传感器的分类
 - 应用传感器时应考虑的问题
- 内传感器
 - 位移/位置传感器
 - 速度/加速度传感器
 - 陀螺仪
- 外传感器
 - 力觉传感器
 - 距离传感器
 - 激光雷达
 - 听觉传感器