

机器人学基础

国家级《智能科学基础系列课程教学团队》

“机器人学”课程配套教材 蔡自兴 主编

第5章 机器人传感器

第5章 机器人传感器

- ◆ 传感器是一种以一定的精度和规律把规定的被测量转换为与之有确定关系的、便于应用的某种物理量的器件或装置。
- ◆ 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获取相应的信息。
- ◆ 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。

传感器使得机器人初步具有类似于人的感知能力，不同类型的传感器组合构成了机器人的感觉系统。



机器人视觉



机器人触觉



机器人力觉



第5章 机器人传感器

5.1 机器人传感器概述

- 传感器定义
- 传感器组成
- 传感器主要指标
- 传感器分类
- 传感器应用

5.2 内传感器

5.3 外传感器

5.1 机器人传感器概述

传感器好比人的五官，人通过五官——眼（视觉）、耳（听觉）、鼻（嗅觉）、舌（味觉）、四肢身体（触觉）感知和接收外界的信息，然后通过神经系统传输给大脑进行加工处理。

传感器则是一个控制系统的“电五官”，它检测到外界的信息，然后反馈给系统的处理器即“电脑”进行加工处理。如果一个控制系统没有传感器，就象一个人没有五官，其结果是可想而知的。

5.1 机器人传感器概述

1. 传感器定义

传感器是借助检测元件将一种形式的信息转换成另一种信息的装置。

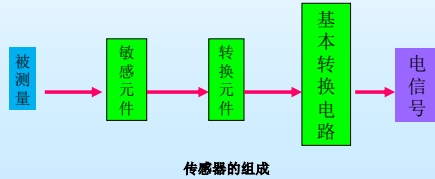
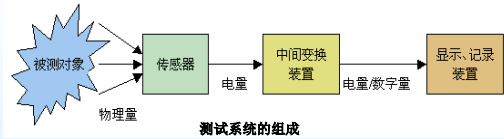


通常传感器转换后的信号大多为电信号。从狭义上讲，传感器是把外界输入的非电信号转换成电信号的装置。

传感器：是一种按一定的精确度、规律将被测量（物理的、化学的和生物的信息）转换成与之有确定关系的、便于应用的某种物理量（通常是电量）的测量装置。是自动控制系统（机器人）必不可少的关键元件。

5.1 机器人传感器概述

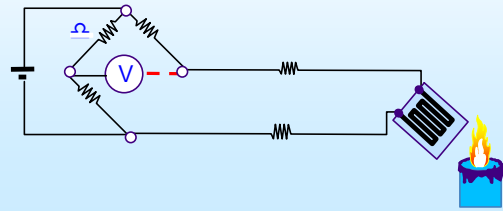
2. 传感器组成



5.1 机器人传感器概述

2. 传感器组成

敏感器件的作用是感受被测物理量，并对信号进行转换输出。辅助器件则是对敏感器件输出的电信号进行放大、阻抗匹配，以便于后续仪表接入。



5.1 机器人传感器概述

3 传感器主要指标

- 灵敏度
- 量程
- 精度
- 温漂
- 时漂

5.1 机器人传感器概述

3 传感器主要指标

➢ 灵敏度

传感器输出的变化量与引起该变化量的输入变化量之比，反映传感器对被测量的敏感程度。如果是线性传感器，则灵敏度就是静态特性曲线的斜率：

$$K = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

如果是非线性关系，则灵敏度就是该静态特性曲线的导数：

$$S = \frac{dy}{dx}$$

5.1 机器人传感器概述

3 传感器主要指标

➢ 量程

量程是指传感器适用的测量范围。每个传感器都有其测量范围，如超出其测量范围将不可靠，甚至损坏传感器。

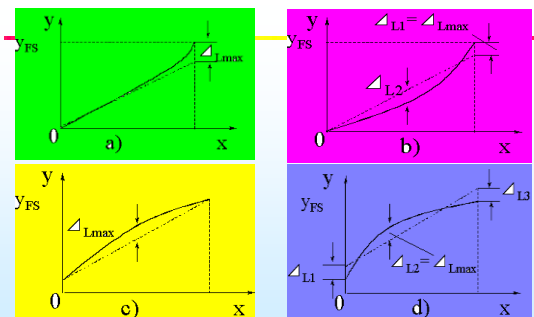
➢ 精度

精度是指传感器在其测量范围内任一点的输出值与其理论值的偏离程度。精度反映了传感器测量的可靠程度，根据最大引用误差划分为7个精确等级：0.1, 0.2, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5级。

精度还可以通过非线性、迟滞、重复性来表示。

➢ 精度—非线性

在采用直线拟合线性化时，输出输入的校正曲线与其拟合曲线之间的最大偏差，就称为非线性误差或线性度。非线性偏差的大小是以一定的拟合直线为基准直线而得出来的。拟合直线不同，非线性误差也不同。所以，选择拟合直线的主要出发点，应是获得最小的非线性误差。另外，还应考虑使用是否方便，计算是否简便。



直线拟合方法

- (a)理论拟合 (b)过零旋转拟合
(c)端点连线拟合 (d)端点连线平移拟合

5.1 机器人传感器概述

3 传感器主要指标

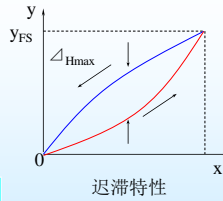
➤ 精度—迟滞

传感器在标定过程中加载输出与卸载输出之间的不重合性称为迟滞。

迟滞特性如图所示，一般是由实验方法测得。迟滞误差一般以满量程输出的百分数表示，即

$$\gamma_H = \pm(1/2)(\Delta_{H\max} / y_{FS}) \times 100\%$$

式中 $\Delta_{H\max}$ —正反行程间输出的最大差值



迟滞特性

13

5.1 机器人传感器概述

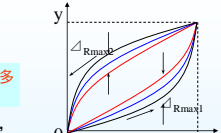
3 传感器主要指标

➤ 精度—重复性

重复性是指传感器在输入按同一方向连续多次变动时所得特性曲线不一致的程度。

重复性误差可用正反行程的最大偏差表示，即

$$\gamma_R = \pm(\Delta_{R\max} / y_{FS}) \times 100\%$$



$\Delta_{R\max1}$ 正行程的最大重复性偏差，
 $\Delta_{R\max2}$ 反行程的最大重复性偏差。

➤ 温漂

温漂指温度变化对传感器输出所产生的影响，它是由**温度零漂**和**灵敏度温漂**两项指标来表示的。

➤ 时漂

时漂是指衡量传感器长期稳定性的指标，一般是测量时间内传感器零点输出变化的最大值，然后计算出单位时间内与满量程输出相比的百分比。

14

5.1 机器人传感器概述

◆ 内传感器

内传感器和电机、轴等机械部件或机械结构如手臂（Arm）、手腕（Wrist）等安装在一起，主要感知与机器人自身参数相关的内部信息，如位移、速度、加速度等，实现伺服控制。

◆ 外传感器

主要感知本体以外的外界物理信息，如障碍物的位置、形状、颜色、距离、接触力等。传统的工业机器人通常无外部感觉能力的，而新一代机器人如多关节机器人，特别是移动机器人、智能机器人则要求具有校正能力和反应环境变化的能力，外传感器就是实现这些能力的。

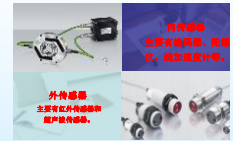
15

5.1 机器人传感器概述



各种传感器

传感器能感受到被测量的信息，并能将感受到的信息，按一定规律转换成电信号或其他所需形式的信息输出，以满足对信息的传输、处理、存储、显示、记录和控制等要求。



内传感器与外传感器

传感技术，传感器信号相当于并治机器人的“眼睛”，清除机器人通过这个“眼睛”来实时“观察”自身的状态和周围环境。

16

5.1 机器人传感器概述

内传感器

编码器



编码器是将信号（如比特流）或数据进行编制、转换为可用以通讯、传输和存储的信号形式的元件，用于定位机器人的当前位置。

陀螺仪



陀螺仪是用高速回转体的动量矩敏感壳体相对惯性空间绕正交于自转轴的一个或二个轴的角运动检测装置。用于测量机器人的姿态角、运动的方向等航向信息。

线加速度计

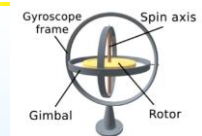


线加速度计在加速过程中，通过对质量块所受惯性力的测量，利用牛顿第二定律获得加速度值。用于获得清洁机器人的线加速度与位置信息。

17

5.1 机器人传感器概述

内传感器：陀螺仪



陀螺仪，又称**角速度传感器**，用于检测角速度。角速度是在单位时间内的旋转角度的变化，单位为deg/s（度/每秒）。

陀螺仪分为**压电陀螺仪**、**微机械陀螺仪**、**光纤陀螺仪**和**激光陀螺仪**。有单轴、两轴、三轴陀螺仪，也可以和加速度传感器、磁力计组成惯性导航控制系统。

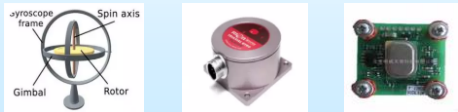
MEMS陀螺仪的设计和工作原理可能各种各样（内框架驱动式、外框架驱动式、梳状驱动式和电磁驱动式等），但是主要都采用振动部件传感角速度的概念。

18

5.1 机器人传感器概述

陀螺仪

- ◆ 原理：陀螺是用高速回转体的动量矩敏感壳体相对惯性空间绕正交与自转轴的一个或二个轴的角运动检测装置。利用其他原理制成的角运动检测装置起同样功能的也称陀螺仪。
- ◆ 应用：陀螺仪是用来测量运动物体角度、角速度和角加速度的传感器。利用陀螺可以测量机器人连杆的姿态角（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。



5.1 机器人传感器概述

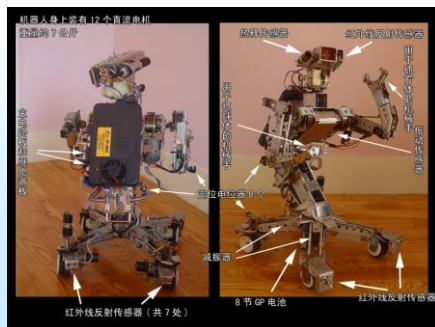
陀螺仪

- 机械陀螺仪：价格贵，有转动部分，精度较高，不易受电磁干扰。
- 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。
- 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。
- 微机电陀螺仪：是利用半导体制造技术将微型机械结构、信号采集放大与电路等集成在一起的陀螺系统，结构精巧，灵敏度高。



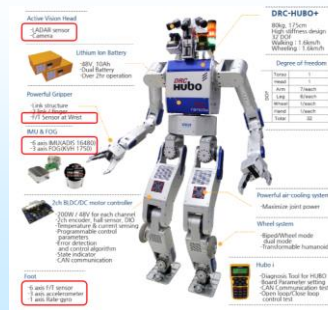
5.1 机器人传感器概述

5 传感器在机器人中的应用



5.1 机器人传感器概述

5 传感器在机器人中的应用



5.1 机器人传感器概述

5 传感器在机器人中的应用

仿人机器人的常用传感器分类:

- (1) 保持平衡、姿态检测类传感器: 三轴加速度传感器、陀螺仪(三轴角速度传感器)
- (2) 手、足和关节的力/力矩传感器: 六轴力/力矩传感器
- (3) 避障类传感器: 超声波传感器、红外传感器、激光雷达
- (4) 视觉识别: 摄像头、激光雷达

仿人机器人通常用**MEMS三轴加速度传感器**，不同于机械测试用的三轴加速度传感器（一般为压电式，量程50g/500g），因为人体的加速度值不会那么大，所以量程较小（<16g）。
The Army Armored Force Academy of PLA.

5.1 机器人传感器概述

5 传感器的应用

➤ AGV自动送货车

超声波测距传感器：用于判断建筑物内人和物体所在的位置；
红外线色彩传感器：用于识别运动轨迹和AGV小车位置；
条形码传感器：货品识别。



香港理工AGV模型



5.1 机器人传感器概述

5 传感器的应用

iRobot的红外传感



iRobot Roomba 790的红外线传感器分布

地面清洁机器人

红外传感器和碰撞传感器被放置在机身前面。在清洁过程中，红外传感器可自动识别障碍物，在受到意外撞击时，缓冲器也可起到缓冲作用，保护机器人免于受损，同时能改变运行方向。它根据地面环境从软件中储存的40多种反应动作中选择并执行最合适的方法，真正做到变成一个会思考的地面清洁机器人。

25

5.1 机器人传感器概述

5 传感器的应用



超声波传感器

超声波传感器是利用超声波的特性研制而成的传感器。超声波是一种振动频率高于声波的机械波，由换能晶片在电压的激励下发生振动产生的，它具有频率高、波长短、透射现象小，特别是方向性好、能够成为射线而定向传播等特点。



红外线传感器

红外线传感器包括光学系统、检测元件和转换电路。光学系统按结构不同可分为透射式和反射式两类。检测元件按工作原理可分为热敏检测元件和光电检测元件。

超声波传感与红外线传感

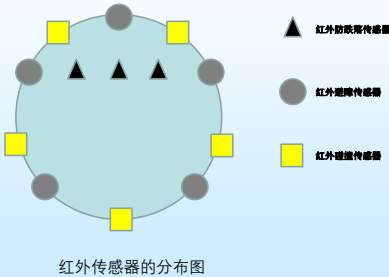
26

5.1 机器人传感器概述

5 传感器的应用

反射式光电开关是由LED光源和光敏二极管或光敏晶体管等光敏元件组成。

当有障碍物阻拦时，光线能够反射回来，输出为低电平信号；当没有障碍物阻拦时，光线不能反射回来，输出为高电平信号。



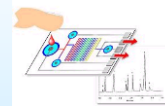
红外传感器的分布图

27

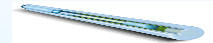
5.1 机器人传感器概述

传感器的发展趋势

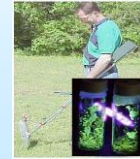
- 利用新发现的材料和新发现的生物、物理、化学效应开发出的新型传感器



生物酶血样分析传感器



光纤流速传感器



荧光材料制作的电子鼻传感器

28

5.1 机器人传感器概述

传感器的发展趋势

- 传感器+嵌入式计算机 → 智能传感器



嵌入式计算机



智能压力网络传感器

振动网络传感器



智能倾角RS232传感器



IC总线数字温度传感器



29

5.2 内传感器

机器人内传感器的功能是测量运动学和力学参数，使机器人能够按照规定的位置、轨迹和速度等参数进行工作，感知自己的状态并加以调整和控制。

机器人内传感器以其自己的坐标系统确定其位置。内传感器一般装在机器人机械手上，而不是安装在周围环境。

机器人内传感器包括：位移位置传感器、速度和加速度传感器、力觉传感器、应力传感器等。

- 6.2.1 位移位置传感器
- 6.2.2 速度和加速度传感器
- 6.2.3 力觉传感器
- 6.2.4 应力传感器

30

5.2.1 位移位置传感器

位移传感器检测的位移：直线移动、角位移。

• 直线移动传感器

- 电位计式传感器

最常见的是直线式电位计，有两种不同类型，一为绕线式电位计，另一为塑料膜电位计。

电位计的作用原理：当负载电阻为无穷大时，电位计的输出电压 U_2 与电位计两段的电阻成比例，即

$$u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (6.1)$$

31

5.2.1 位移位置传感器

直线移动传感器

- 可调变压器

可调变压器由两个固定线圈和一个活动铁芯组成。该铁芯轴与被测量的移动物体机械地连接，并置于两线圈内。

当铁芯随物体移动时，两线圈间的耦合情况发生变化。如果原线圈由交流电源供电，那么副线圈两端将检测出同频率交流电压，其幅值大小由活动铁芯位置决定。这个过程称为调制。

应用这种变压器时，必须通过电子装置进行反调制。该电子装置一般安装在传感器内。

32

5.2.1 位移位置传感器

• 角位移传感器

- 电位计式传感器

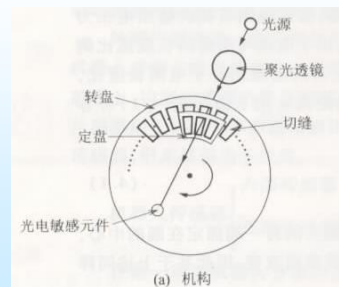
最常见的角位移传感器是旋转电位计，其作用原理与直线式电位计一样，且具有很高的线性度。见图6.3。

- 可调变压器

旋转式可调变压器的工作原理和技术，与平移式可调变压器相似。图6.4表示出这种变压器的两个线圈。其中，大线圈固定不动，而小线圈放在大线圈内，并能绕与图面垂直的轴旋转。

33

角度传感器



34

5.2.1 位移（位置）传感器

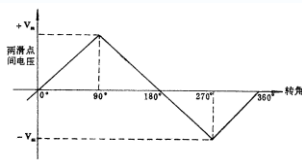


图6.3 电位计式传感器的非线性输出

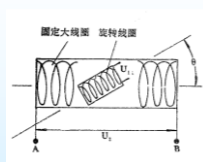


图6.4 旋转可调变压器作用原理

角位移传感器

35

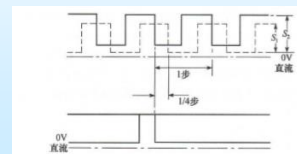
5.2.1 位移位置传感器

- 光电编码器

角位移传感器

(1) 增量式编码器

——是光电编码器的一种，用一个光电元件来检测圆盘转动引起的图式变化。工作时输出两路主脉冲信号，相位相差 $1/4$ 步，编码器每转一圈都将产生给定数量的脉冲，通过累计脉冲数确定编码器转过的角度，脉冲数直接决定传感器的精度。编码器的旋转方向由两路主脉冲信号的相位差确定。编码器还有第三个输出信号，为表示信号。圆盘每转一圈，就产生一个脉冲，用它作同步信号。



增量式编码器的典型输出波形

36

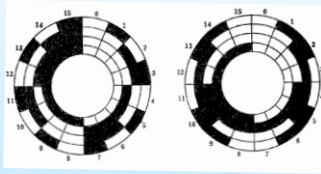
5.2.1 位移位置传感器

角位移传感器

— 光电编码器

• 绝对式编码器

绝对式编码器也是圆盘式的，但其线条图形与增量式编码器不同。在绝对式编码器的圆盘面上安排有黑白相间的图形，使得任何半径方向上黑白区域的顺序组成驱动轴与已知原点间转角的二进制表示。



绝对式编码器的盘面图形举例

37

5.2.2 速度和加速度传感器

• 速度传感器

速度传感器用于测量平移和旋转运动的速度。在大多数情况下，只限于测量旋转速度。

最通用的速度传感器无疑是测速发电机，它们有两种主要型式：直流测速发电机和交流测速发电机。

• 应变仪

材料变形的测量方法是以惠斯通（Wheatstone）电桥为基础的，如图6.8。图中，

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (6.3)$$

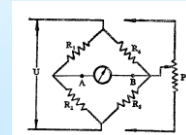


图6.8 含有平衡电位器的惠斯通电桥

38

5.2.2 速度和加速度传感器

• 加速度传感器

用于测量工业机器人的动态控制信号，它具有多种不同的测量方法：

- 由速度测量进行推算。
- 已知质量物体加速度所产生的力是可以测量的。
- 与被测加速度有关的力可由一个已知质量产生。

图6.9表示两种加速度传感器的结构原理。其中，图6.9（a）是应用电磁效应原理的加速度传感器。图6.9（b）则是应用压电变换原理的加速度传感器。

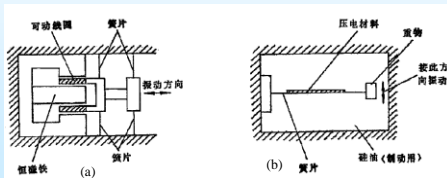


图6.9 两种振动式加速度传感器

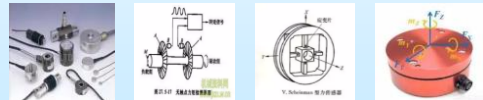
39

5.2.3 力觉传感器

◆ 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。

◆ 应用：力觉传感器可用来检测机器人自身关节力和机器人与外部环境物体之间相互作用力。

◆ 分类：关节力传感器、腕力传感器、指力传感器。



40

5.2.3 力觉传感器

◆ 多维力传感器指的是一种能够同时测量两个方向以上力及力矩分量的力传感器，在笛卡尔坐标系中力和力矩可以各自分解为三个分量，因此，多维力最完整的形式是六维力/力矩传感器，即能够同时测量三个力分量和三个力矩分量的传感器。

◆ 日本信号株式会社推出了基于微机电系统（MEMS）技术的超小型六轴力觉传感器。其采用该公司研发的电磁驱动式MEMS扫描仪“ECO SCAN”的技术经验，主要用于机器人和计量测量仪器领域。该六轴力觉传感器利用半导体的压电阻效应来检测应力。



41

中国科学院合肥智能机械研究所



主要基本参数：

型号	SAFMS-105	SAFMS-120	STP（三维指力传感器）
力量程(Fx/Fy/Fz)	0~±50N	0~±200N	Fx, Fy(0~±50N)
力矩量程(Mx/My/Mz)	0~±250N·cm	0~±1000N·cm	Fz(0~±100N)
外形	Φ60×50mm	Φ60×50mm	Φ24×30mm
重量	±300g	±500g	±30g
精度	±1%F.S	±1%F.S	±1%F.S
通讯方式	模拟量口、RS232、CAN总线、USB等		
过载能力	≥200%F.S		
电压输入	可选		

42

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器用于测量两物体之间作用力的三个分量和力矩的三个分量。

- 金属电阻型力觉传感器
- 半导体型力觉传感器
- 其它力觉传感器

除了金属电阻型和半导体型力觉传感器外，还有磁性、压电式和利用弦振动原理制作的力觉传感器等。

- 转矩传感器
- 腕力传感器

力和力矩的检测方法：

1. 通过检测物体弹性变形测量力；
2. 通过检测物体压电效应检测力；
3. 通过检测物体压磁效应检测力；
4. 采用电动机、液压马达驱动的设备可以通过检测电动机电流及液压马达油压等方法测量力或力矩；
5. 装有速度、加速度传感器的设备，可以通过速度与加速度的测量推出作用力。

43

5.2.3 力觉传感器

什么是力/力矩（Force/Torque）传感器？

测量并输出在笛卡尔直角坐标系中各个坐标（X，Y和Z）上的力和力矩的传感器。一个六轴力/力矩（Force/Torque）传感器也经常被称作多轴力/力矩传感器，多轴加载单元，F/T传感器，或者六轴加载单元。

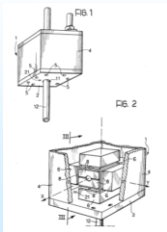
力/力矩传感器一般安装在机器人的关节驱动器上，比如腕关节、踝关节等，用于测量关节驱动器的输出力和力矩，实现关节力的控制。也可以安装在机器人的足底，测量地面反作用力和力矩，实现机器人的稳定控制。



44

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器的原理

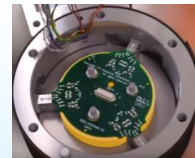
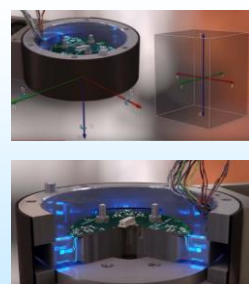


意大利的Giovanni Giovino和Piergiorgio Varrone提出的一种电容式的六维力/力矩传感器，该传感器在弹性体上装有多组电极片，当传感器受力/力矩作用时，电极片随弹性体发生移动引起各维的电容发生与所受外力大小成正比的线性变化，经过标定，可以得到力/力矩与电容之间的关系。

电容式的六维力/力矩传感器

45

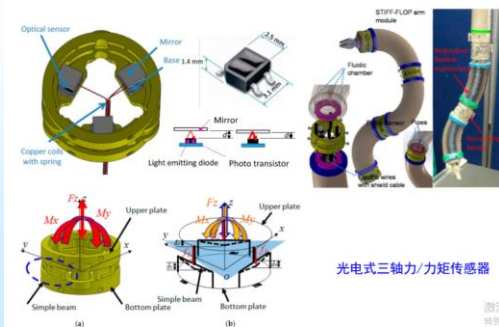
5.2.3 力觉传感器



应变片式六轴力/力矩传感器
Robotiq公司

46

5.2.3 力觉传感器

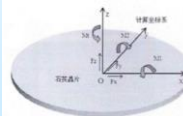
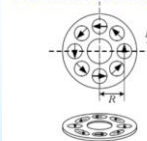


光电式三轴力/力矩传感器

47

5.2.3 力觉传感器

压电式三轴力/力矩传感器



压电晶片本身不能对力矩进行测量，只有将多个对剪切力敏感的压电晶片排列成环状，并且使每个小片晶体的敏感轴均沿着圆环的切线方向，将他们组装在传感器的壳体里，便可实现对力矩的测量。图中R为对剪切力敏感的压电晶片的圆心到圆环圆心的距离，F为作用在圆环上的切向作用力。

$$M = \sum FR$$

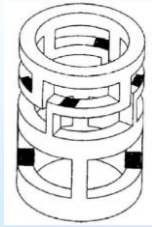
$$Q = \frac{d_p M}{R}$$

传感器的输出电荷与被测力矩M成正比，通过适当的测量系统测出传感器的电荷量，就能实现对力矩的测量。

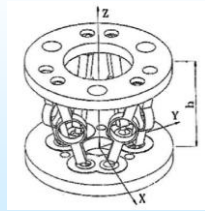
48

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器的结构



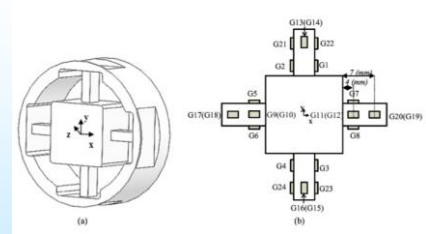
筒形结构六维腕力传感器



基于Stewart平台的六维力/力矩传感器

49

5.2.3 力觉传感器



十字梁结构

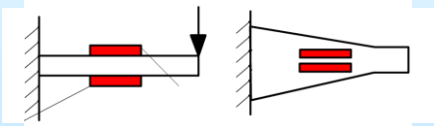
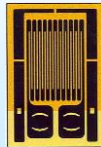
50

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器的原理:

力觉传感器主要使用的元件是电阻应变片。电阻应变片利用了金属丝拉伸时电阻变大的现象，它被贴在加力的方向上。电阻应变片用导线接到外部电路上可测量输出电压，得出电阻值的变化。

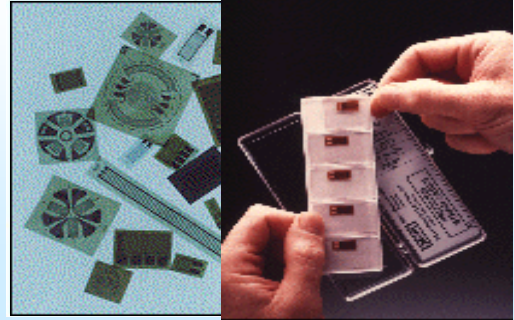
电阻应变片工作原理是基于金属导体的应变效应，即金属导体在外力作用下发生机械变形时，其电阻值随着所受机械变形(伸长或缩短)的变化而发生变化象。



51

5.2.3 力觉传感器

金属应变计

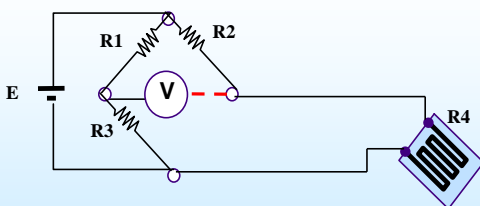


应变计

52

5.2.3 力觉传感器

应变片测量电路



$$V = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} E$$

53

5.2.3 力觉传感器

$$V = \frac{R_2 R_4 - R_1 R_3}{(R_1 + R_4)(R_2 + R_3)} E \quad \text{令: } \begin{aligned} R_1 &= R \\ R_2 &= R_3 = R \\ R_4 &= R + dR \end{aligned}$$



$$V = \frac{R(R + dR) - RR}{(R + R + dR)(R + R)} E = \frac{E}{4} \cdot \frac{dR}{R}$$

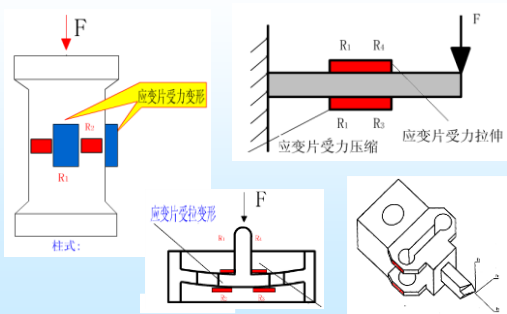
$$\text{金属丝应变片: } \frac{dR}{R} = (1 + 2\mu)\epsilon$$

V与应变成线性关系，可以用电桥测量电压测量应变

54

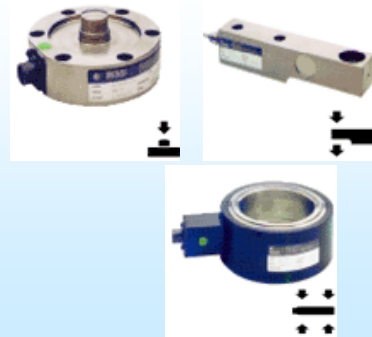
5.2.3 力觉传感器

电阻应变式传感器的应用：测力



55

5.2.3 力觉传感器

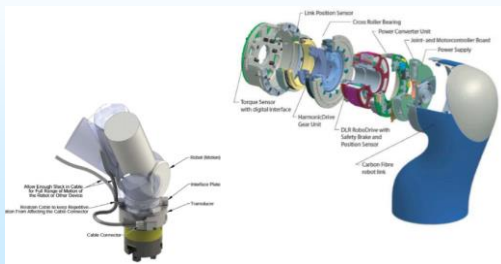


56

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器的应用

(1) 机器人手臂

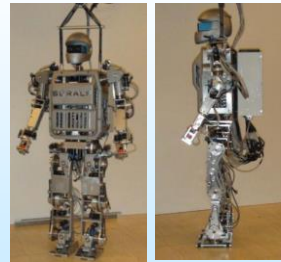


57

5.2.3 力/力矩传感器

力觉传感器的应用

(2) 机器人踝关节和腕关节



58

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器的应用

JOINT ACTUATION SYSTEMS					SENSORS OF SCHALP			
Joint	Motor Power	Pulley Ratio	HD Ratio	Motor Range	Sensor	Number of Channels	Range	
Hip-Yaw	90W	3	120	-50 to 90 deg	All joints	1 channel per joint	500 pulses/rev	
Hip-Roll	150W	3	160	-31 to 23 deg	Incremental optic encoders	6 channels per ankle	± 600 N (x, y-axis)	
Hip-Pitch	150W	3	120	-128 to 43 deg	FT sensor	4 channels per ankle	± 1000 N (z-axis)	
Knee 1	150W	3	160	-97 to 135 deg	FSR	4 channels per foot	0 to 250 N	
Knee 2	150W	3	100	-115 to 23 deg	Accelerometer	3 channels	± 2 G	
Ankle-Pitch	150W	3	120	-19 to 31 deg	Inclinometer	2 channels	± 30 deg	
Ankle-Roll	150W	2	160	-180 to 180 deg	Rate gyro	3 channels	± 150 deg/s	
Shoulder Roll 1	150W	2	160	-180 to 180 deg	FT sensor	6 channels per wrist	± 85 N (x, y-axis)	
Shoulder Pitch	150W	2	160	-23 to 135 deg	FT sensor	6 channels per wrist	± 200 N (z-axis)	
Shoulder Roll 2	90W	2	120	-180 to 180 deg	FT sensor	6 channels per wrist	± 5 Nm (all axes)	
Elbow	150W	2	120	-49 to 110 deg	Wrist	2 with motorized zoom	640x480 pixels	
Wrist Roll	70W	1	74	-180 to 180 deg	Head	CCD camera	30 fps	
Wrist Pitch	90W	1	100	-16 to 90 deg				
Gripper	4W	1	689	0 to 80 mm				
Neck Pan	90W	1	100	-180 to 180 deg				
Neck Tilt	70W	2	100	-24 to 30 deg				
Waist	150W	2	160	-40 to 40 deg				

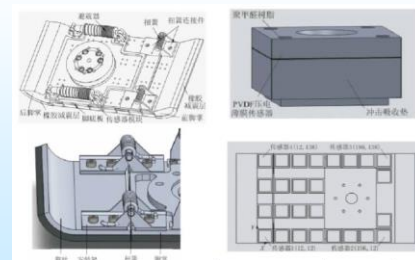
ATI公司传感器

59

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器的应用

(3) 机器人足底



基于PVDF压电薄膜组成的柔性传感器阵列

60

5.2.3 力觉传感器

力觉传感器的应用

(4) 机器人手指

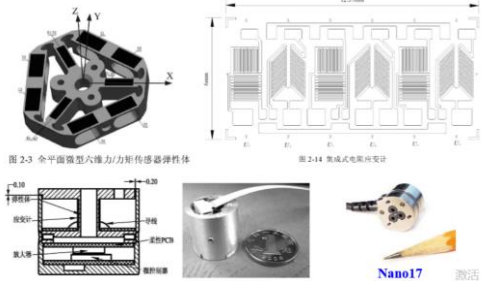


图 2-3 全平面微型六维力矩传感器弹性体

图 2-14 集成式电桥片设计

激活 Windows

61

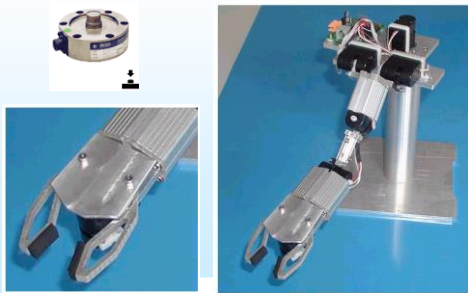
5.2.3 力觉传感器



62

5.2.3 力觉传感器

机器人握力测量



63

5.2.3 力传感器



64

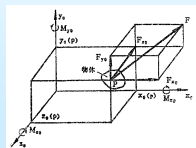
5.2.4 应力传感器

机器人末端与实际环境接触时，机器人进行适当动作的必要条件有3个：

- 机器人必须能够识别实际存在的接触（检测）。
- 机器人必须知道接触点的位置（定位）。
- 机器人必须了解接触的特性以估计受到的力（表征）。

• 应力检测的基本假设

假设机器人与物体间有个接触区域，而且把这个区域近似的当作一个触点来看待。对机器人控制的全部计算都涉及一个与机器人有关的坐标系 R_0 。

坐标系 R_0 内的力和力矩

65

5.2.4 应力传感器

• 应力检测方法

应变计用来检测、定位和表征作用力。

- 对环境装设传感器。
- 对机器人腕部装设测试仪器。
- 用传动装置作为传感器。

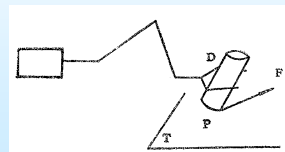


图6.21 工作台面与物体间的作用力

66

5.3 外传感器

外部传感器主要用来检测机器人所处环境及目标状况，如是什么物体，离物体的距离有多远，抓取的物体是否滑落等。从而使得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。

广义而言，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。

- 6.3.1 触觉传感器
- 6.3.2 接近觉传感器
- 6.3.3 视觉传感器
- 6.3.4 听觉传感器

67

6.3 外传感器

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。



68

5.3 外传感器

触觉传感器

◆ 触觉传感器十年前已开始实用化，而且具有非常高的性能，业界正在进行以下三大方面的新技术开发：大面积化、使用场所及应用的多样化；研发类似人类皮肤的触觉传感，不仅检测位置，还要同时检测力度、压力、温度、表面凹凸、有无摩擦等；利用CMOS等工艺进行集成。

◆ 美国麻省理工学院视觉科学学科联合波士顿东北大学研究团队成功研制了一种触觉传感器GelSight，比人类手指更加灵活敏感。GelSight不是以机器来辨识触觉，而是以3D视觉实时定位物体的方位，以实现对该物体的识别和传感。其最大特征在于，最快的辨识物体的视觉信号，并马上将其转化为触觉信号。



69

5.3 外传感器



超灵敏电子皮肤：助力机器人触感大革命

美国加州大学伯克利分校工程师用一种柔韧灵活的塑料，首次创造出一种薄薄的电子皮肤，又称e-皮肤。当触摸它时能立即发光，而且压强越大，它发出的光越明亮，这一成果有望让机器人拥有更加真实的触感。

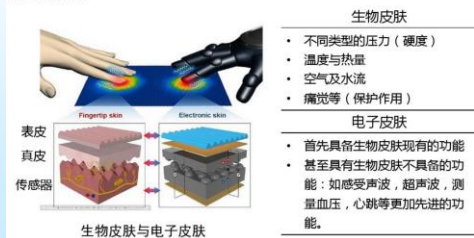
新型e-皮肤除了能给机器人带来更精微的触觉，还能用于制造像壁纸之类的设施，兼作触摸屏显示器、仪表板层压材料等。

70

5.3 外传感器

什么是电子皮肤？

电子皮肤，一种可以产生触觉的系统，其结构简单，可被加工成各种形状，能像衣服一样附着在设备表面，能够感知到物体的**地点和方位**以及**硬度**、甚至**温度热量**等信息。



71

5.3 外传感器

电子皮肤的应用价值

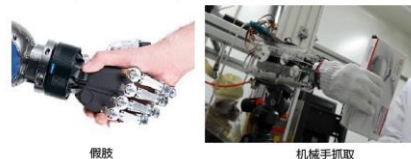
假肢制造

- 全球残疾人约占人口的5%
- 我国截肢者约有89万人

绝大多数截肢者依靠假肢行走，假肢的好坏直接影响他们的生活，因此，对假肢制造带来了很大的挑战

机器人表面感应

使机器人能够抓住和操作物体，识别表面纹理和硬度，感受物体温度状况。



假肢

机械手抓取

72

5.3 外传感器

机器人触觉的功能

- 主要有两方面：
 - 1. 检测功能
 - 感知危险状态，实施自身保护；
 - 灵活地控制手爪及关节以操作对象物；
 - 使操作具有适应性和顺从性。
 - 2. 识别功能
 - 识别对象物的形状(如识别接触到的表面形状)。

73

5.3 外传感器

触觉传感器

- 人的触觉是人类感觉的一种。它通常包括热觉、冷觉、痛觉、触压觉和力觉等。
- 机器人触觉，实际是人的触觉的某些模仿。它是有关机器人和对象物之间直接接触的感觉。包含的内容较多客。通常指以下几种：
 - 触觉。手指与被测物是否接触。接触图形的检测。
 - 压觉。垂直于机器人和对象物接触面上的力感觉。
 - 力觉。机器人动作时各自由度的力感觉。
 - 滑觉。物体向着垂直于手指把握面的方向滑动或变形。
- 若没有触觉，就不能完好平稳地抓住纸做的杯子，也不能握住工具：

74

5.3 外传感器

6.3.1 触觉传感器

- 应用微限位开关的五指机械手

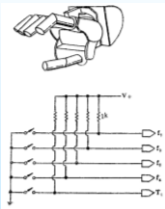


图6.13 应用微开关的五指机械手及其等效电路

75

5.3 外传感器

5.3.1 触觉传感器

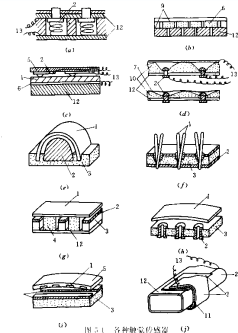


图 5.4 各种触觉传感器 (a) 1. 导电橡胶; 2. 基板; 3. 弹性体; 4. 导电橡胶; 5. 弹性体; 6. 弹性体; 7. 弹性体; 8. 弹性体; 9. 弹性体; 10. 弹性体

76

5.3 外传感器

6.3.2 接近觉传感器

- 要获得一定距离外物体的信息，物体必须发出信号或产生某一作用场。
- 接近觉传感器分为无源传感器和有源传感器。
 - 当采用自然信号源时，就属于无源接近度传感器。如果信号来自人工信号源，那么就需要人工信号发送器和接收器。当这两种设备装于同一传感器时，就构成有源接近度传感器。
- 具体测量方法包括：
 - 超声波接近觉传感器
 - 红外线接近觉传感器

77

5.3 外传感器

5.3.3 接近觉传感器 超声波接近度传感器

- 用于检测物体的存在和测量距离，测量出超声波从物体发射经反射回到该物体（被接收）的时间。但不能用于测量小于30至50cm的距离，一般用在移动机器人上，以检验前进道路上的障碍物，避免碰撞。

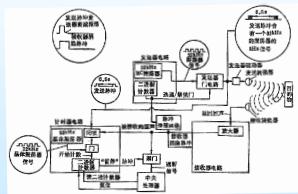
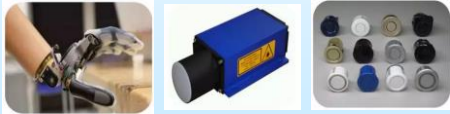


图6.22 超声测距系统方框图

78

接近觉传感器

- ◆ 原理：接近度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。



79

接近觉传感器

- ◆ 接触觉传感器不仅可以判断是否接触物体，而且还可以大致判断物体的形状。一般传感器装于机器人末端执行器上。
- ◆ 除微动开关外，接触觉传感器还采用碳素纤维及聚氨酯甲酸酯为基本材料构成触觉传感器。机器人与物体接触，通过碳素纤维与金属针之间建立导通电路。
- ◆ 与微动开关相比，碳素纤维具有更高的触电安装密度、更好的柔性、可以安装于机械手的曲面手掌上。

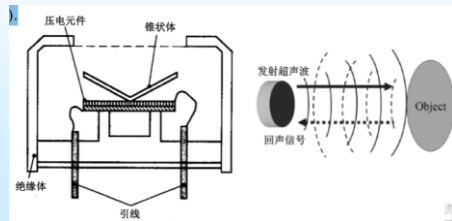


80

5.3 外传感器

超声波传感器的原理

超声波距离传感器 Ultrasonic Distance Sensor Ultrasonic distance sensor is consisting of a transmitter and a receiver, which are both based on piezoelectric effect (压电效应).



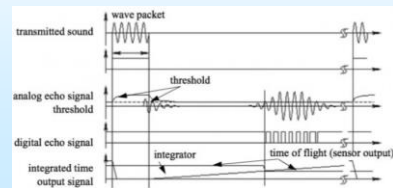
81

5.3 外传感器

超声波传感器的原理

利用压电传感器生成声波,采用测量传输时间法测距。

- 由**超声发射器**发射脉冲式的**超声波**。发射器发出一连串超声波后即自行关闭，停止发射。同时，**超声接收器检测回声信号**，定时电路开始计时。
- 当超声接收器收到超声信号后，定时电路停止计时。此时定时电路所记录的时间，是从发射超声波开始到收到回声波信号的传播时间。

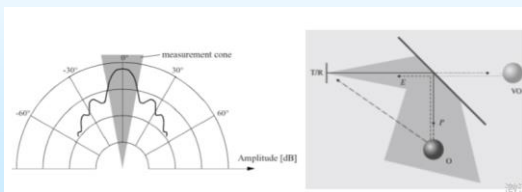


82

5.3 外传感器

主要问题：

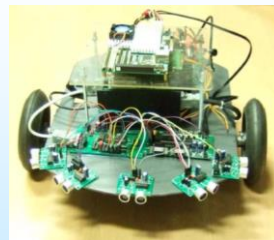
- ① **声波传输速度低**，降低了感知速率
(声波速度：0.3m/ms, 电磁波速度0.3m/ns.)
- ② 声波束按锥形形式传播,张角约20~40度，使得方向分辨率较差
- ③ 软的物体表面将吸收大部分声音能量
- ④ 光滑的物体表面将形成镜面反射



83

5.3 外传感器

超声波传感器的应用



地面移动机器人

84

5.3 外传感器

超声波传感器的应用



Pro-COCO
地面清洁机器人

浦桑尼克Pro-COCO的 超声传感器

浦桑尼克COCO是少数配置了超声波传感器的品牌。相较红外传感器而言，超声波不会因透明或是黑色环境的反射率而检测失败。

超声传感器

COCO的超声传感器与算法共同构建了浦桑尼克HSIR智能系统，仿超声波探测用于探测环境并每秒116次运算判断地面环境。HSIR多点矩阵为COCO绘制了一张清扫地图，通过重点、延边或随机等清扫模式完成无人值守的室内清洁。

5.3 外传感器

超声波传感器的应用



Pro-COCO的超声波传感器位置

地面清洁机器人

COCO的两种防撞模式

- 能完全避免与周围环境的碰撞。
- 能避免常见的轻触式碰撞检测。

前者可以帮我们减少很多不必要的损失，玻璃制品、珍贵的木质家具不会被COCO碰撞刮花。后者是轻触式的碰撞检测，这让COCO可以知道前方障碍是否可以越过，COCO便会知道可以走进被床单覆盖的床底区域。这种模式对清扫区域的探测更加彻底，例如延边式边刷能够更加深度的清洁到墙边边角。

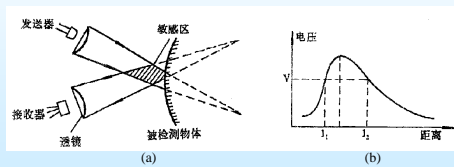
8
7

5.3 外传感器

5.3.2 接近觉传感器

红外线接近觉传感器

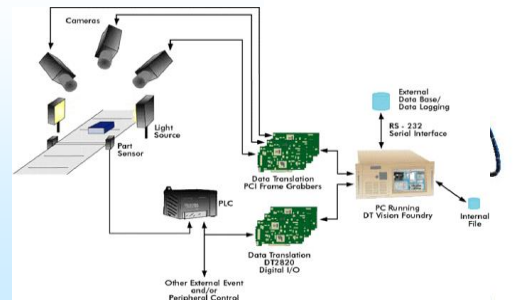
- 发送器和接收器都很小，能够装在机器人夹手上；易于检测出工作空间内是否存在某物体，但测量距离则相当复杂。



红外接近觉传感器

5.3 外传感器

5.3.3 视觉传感器



5.3.3 视觉传感器



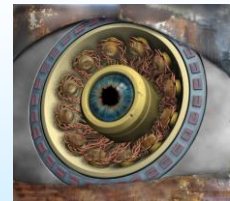
手持轿车风挡玻璃的机器人涂胶(激光视觉装配)系统

5.3 外传感器

5.3.3 视觉传感器

美国机器人工业协会，对机器视觉定义：

机器视觉是通过光学的装置和非接触的传感器自动地接收和处理一个真实物体的图像，以获得所需信息或用于控制机器人运动的装置。



5.3.3 视觉传感器

摄像头:CCD传感器



美国DVT公司推出新一代Machine Vision在线全自动检测系统—SmartImage Sensor (智能成像传感器)。该产品将CCD摄像头、微处理器、存储器、数字I/O集为一体,具有**全自动在线检测产品表面质量**(缺损和瑕疵)、在线非接触测量(距离、角度、坐标)、图案识别、读取条码等功能。



「识别型」「陪伴型」机器人



91

5.3 外传感器

5.3.3 视觉传感器



banner视觉传感器p4 ce01.3



omron高性能视觉传感器f250



omron视觉识别装置f231



omron视觉传感器f270



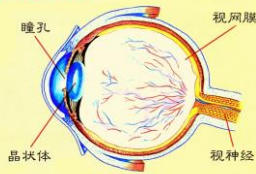
omron视觉传感器f210

92

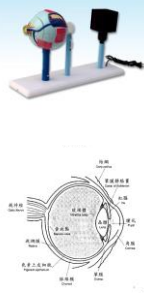
5.3 外传感器

5.3.3 视觉传感器

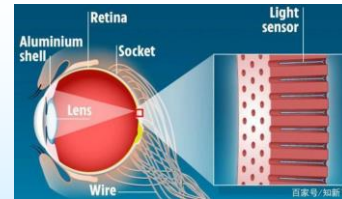
眼球的构造



视觉传感器系统的硬件组成



93



仿生眼完全模仿了人眼的结构,仿生眼的大小与人眼相当,直径略大于两厘米。未来可以用来制作更好的视觉假肢植入人体用于仿人机器人。该仿生眼的概念由**3D人造视网膜和纳米线**组成,可以模仿视觉信息是如何传递到人脑的。该仿生眼核心中的纳米线可以将信息传递给计算机处理器,而且这些细小的电线非常敏感,它们可能实现夜视功能。

94

5.3 外传感器

5.3.4 听觉传感器

作为机器人的耳朵,它可以检测周围环境声音的变化。通过放大电路,将麦克风的阻值变化进行放大处理。当声音频率有变化时,它有一个最高值及最小值。声音变化时,MIC阻值变化,经放大后输出。声控传感器是模拟传感器。



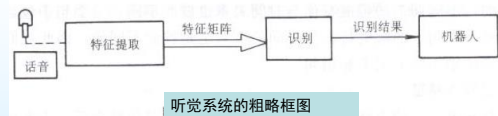
声控传感器

- 听觉传感器
用于感受和解释在气体(非接触感受)、液体或固体(接触感受)中的声波。

95

6.3 外传感器

5.3.4 听觉传感器



听觉系统的粗略框图

特定人的语音识别系统

特定人语音识别方法是事先指定的人的声音中的每一个字音的特征矩阵存储起来,形成一个标准模板(或叫模板),然后再进行匹配。它首先要记忆一个或几个语音特征,而且被指定人讲话的内容也必须是事先规定好的有限的几句话。特定人语音识别系统可以识别讲话的人是否是事先指定的人,讲的是哪一句话。

96

5.3 外传感器

5.3.4 听觉传感器

非特定人的语音识别系统

非特定人的语音识别系统大致可以分为语言识别系统，单词识别系统，及数字音（0~9）识别系统。

非特定人的语音识别方法则需要对一组有代表性的人的语音进行训练，找出同一词音的共性，这种训练往往是开放式的，能对系统进行不断的修正。在系统工作时，将接收到的声音信号用同样的办法求出它们的特征矩阵，再与标准模式相比较。看它与哪个模板相同或相近，从而识别该信号的含义。

97

小结

- 传感器概述
 - 传感器定义
 - 传感器分类
 - 传感器在机器人上的应用
- 内传感器
 - 位移/位置传感器
 - 速度和加速度传感器
 - 力觉传感器
 - 应力传感器
- 外传感器
 - 触觉传感器
 - 接近觉传感器
 - 视觉传感器
 - 听觉外传感器

98