



机器人学(第三版)

蔡自兴 主编

中南大学

2016

第七章 机器人传感器



- 智能机器人的种类繁多，主要有交互机器人、传感机器人和自主机器人3种。
- 传感机器人是通过各种传感器或传感系统，向机器人提供感觉的装置。
- 机器人的感觉装置以视觉、力觉和触觉最为重要。

7.1 机器人传感器概述

7.1.1 机器人传感器的特点与分类

- 应用传感器进行定位和控制，能够克服机械定位的弊端。在机器人上使用传感器不但是必要的，而且也是十分有效的，它对自动加工以至整个自动化生产具有十分重要的意义。

7.1.1 机器人传感器的特点与分类

■ 机器人的感觉顺序与策略

机器人感觉顺序分两步进行，见图7.1。

- (1) 变换——通过硬件把相关目标特性转换为信号。
- (2) 处理——把所获信号变换为规划及执行某个机器人功能所需要的信息,包括预处理和解释两个步骤。在预处理阶段，一般通过硬件来改善信号。在解释阶段，一般通过软件对改善了的信号进行分析，并提取所需要的信息。

7.1.1 机器人传感器的特点与分类

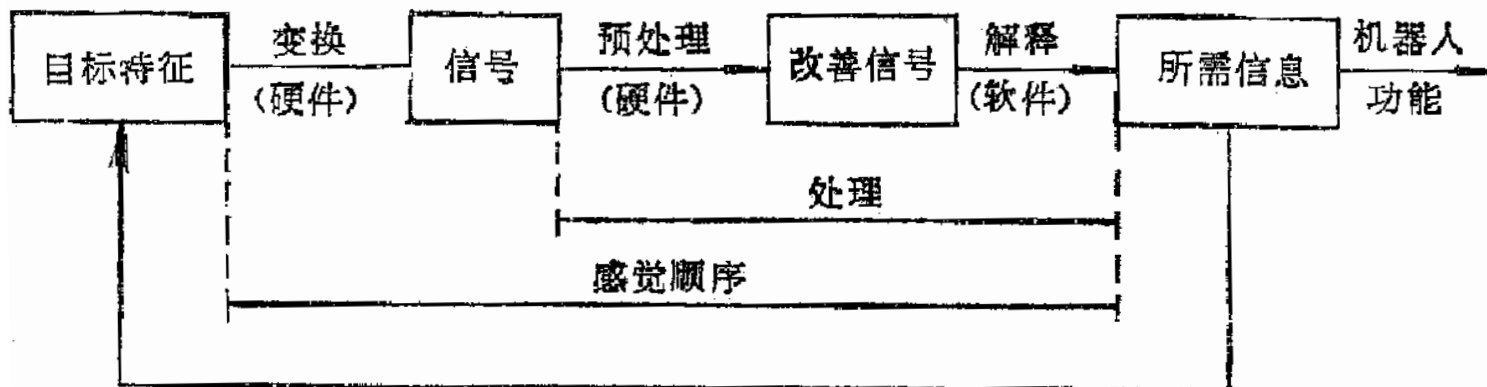


图7.1 机器人感觉顺序与系统结构

7.1.1 机器人传感器的特点与分类

■ 机器人传感器的分类

- 接触式传感器或非接触式传感器：非接触式传感器以某种电磁射线（可见光、X—射线、红外线、雷达波、声波、超声波和电磁射线等）的形式来测量目标的响应。接触式传感器则以某种实际接触（如触碰、力或力矩、压力、位置、温度、磁量、电量等）形式来测量目标的响应。
- 内传感器或外传感器：内传感器以它自己的坐标轴来确定其位置，而外传感器则允许机器人相对其环境而定位。
- 无源传感器或有源传感器
- 无扰动传感器或扰动传感器

机器人传感器的分类



表7.1 列出获取各种传感器信号的传感器类型

信号		传感器
强度	点	光电池、光倍增管、一维阵列、二维阵列
	面	二维阵列或其等效（低维数列扫描）
距离	点	发射器（激光、平面光）/接收器（光倍增管、一维阵列、二维阵列、两个一维或二维阵列、声波扫描）
	面	发射器（激光、平面光）/接收器（光倍增管、二维阵列），二维阵列或其等效
声感	点	声音传感器
	面	声音传感器的二维阵列或等效
力	点	力传感器
触觉	点	微型开关，触觉传感器的二维阵列或其等效
	面	触觉传感器的二维阵列或其等效
温度	点	热电偶，红外线传感器
	面	红外线传感器的二维阵列或等效



7.1.2 应用传感器时应考虑的问题

- 程序设计与传感器

不但正常的任务程序需要传感器，而且误差检查与纠正也需要传感器。传感器能够获得决策信息，从而参与对处理步骤的决策。

- 示教与传感器

- 抗干扰能力

有三种原理能够有效地提高非接触式传感器传感器的灵敏度，降低它们对噪声和干扰的敏感性。这就是滤波、调制和均分。

7.2 内传感器



机器人内传感器以其自己的坐标系确定其位置。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中。

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、力传感器以及应力传感器等。

7.2.1 位移（位置）传感器



位移传感器种类繁多。图6.2列出现有的各种位移传感器。

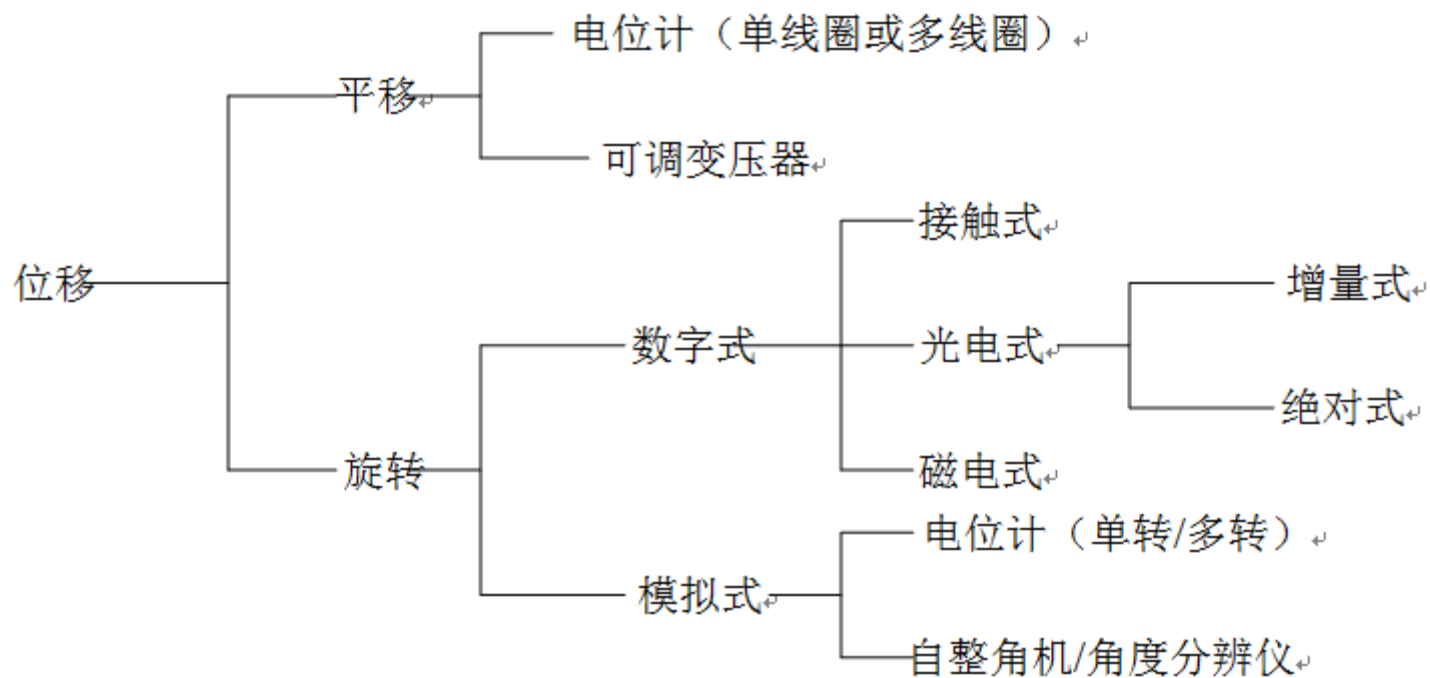


图7.2 位移传感器的类型

7.2.1 位移（位置）传感器

位移传感器要检测的位移可为直线移动，也可为角转动。

■ 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

$$u_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U \quad (7.1)$$

■ 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。

7.2.1 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7.3。

■ 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。

角位移传感器

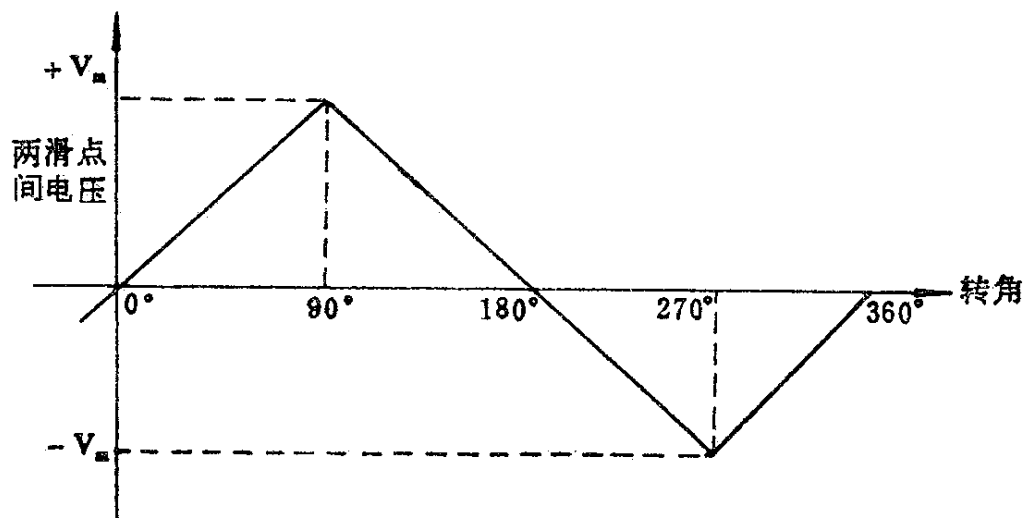


图7.3 电位计式传感器的非线性输出

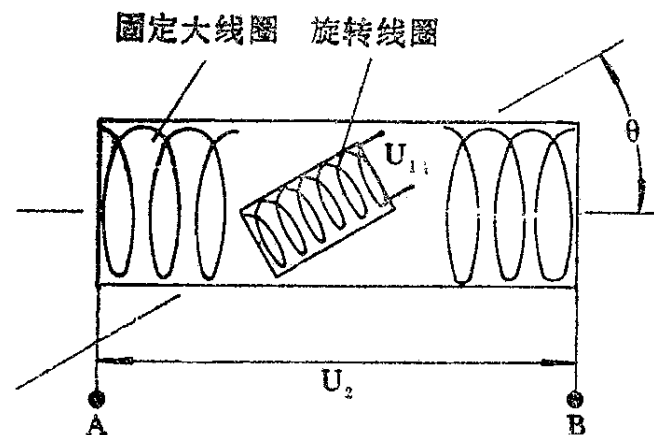


图7.4 旋转可调变压器作用原理

■ 可调变压器

自整角机的定子具有三个线圈，每个线圈之间的空间位置彼此相隔 120° ，各线圈两端的电压分别为 $kU\cos\theta\sin\omega t$ ， $kU\cos\theta\sin(\omega t + 2\pi/3)$ 和 $kU\cos\theta\sin(\omega t + 4\pi/3)$ 。如图 7.5所示。

角度分辨仪的工作原理与同步机相似，其定子由两个相隔 90° 的固定线圈组成。同步机和角度分角器均可用于数字角度编码系统。

角位移传感器

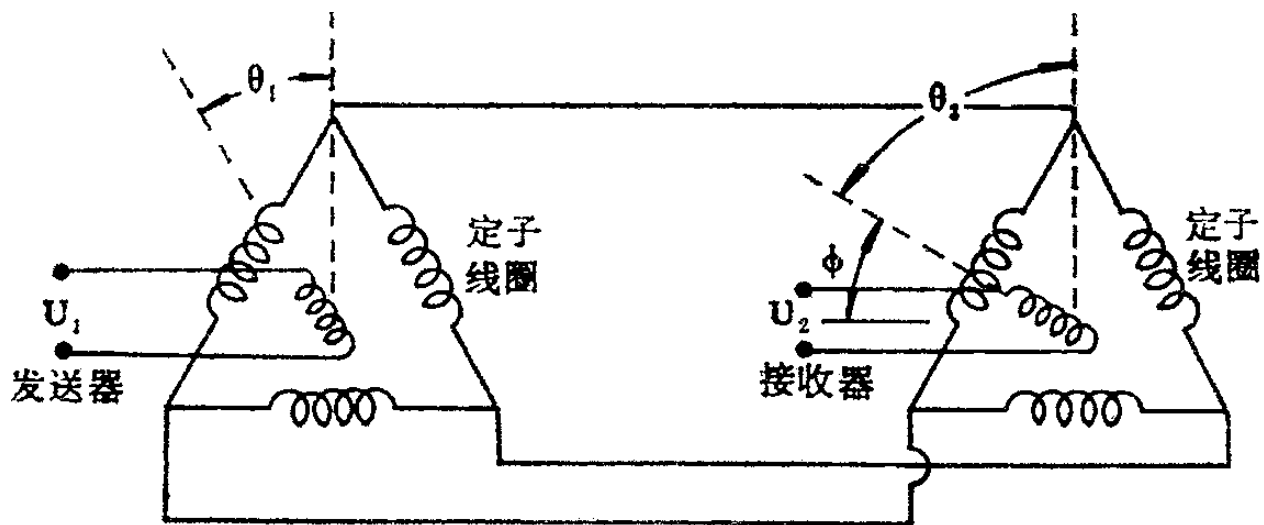


图7.5 由自整角机组成的同步机原理图

■ 光电编码器

■ 增量式编码器

各种增量式编码器的工作模式是相同的。用一个光电池或光导元件来检测圆盘转动引起的图式变化。在这个圆盘上，有规律地间隔画有黑线条，并把此盘置于光源前面。圆盘转动时，这些交变的光信号变换为一系列电脉冲。增量式编码器有两路主要输出，每转各产生一定数量的脉冲，高达 2×10^4 。这个脉冲数直接决定该传感器的精度。见图7.6。

■ 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。见图7.7。

角位移传感器

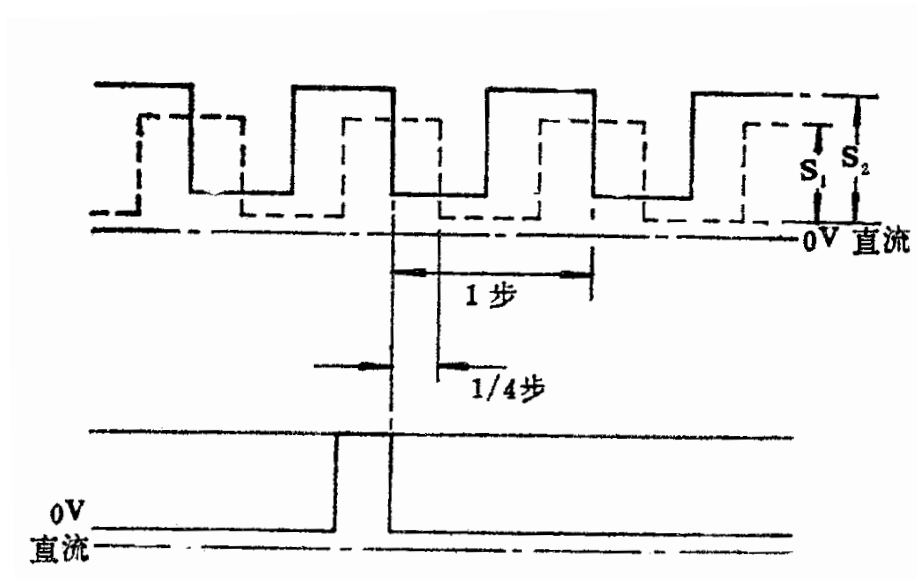


图7.6 增量式编码器的典型输出波形

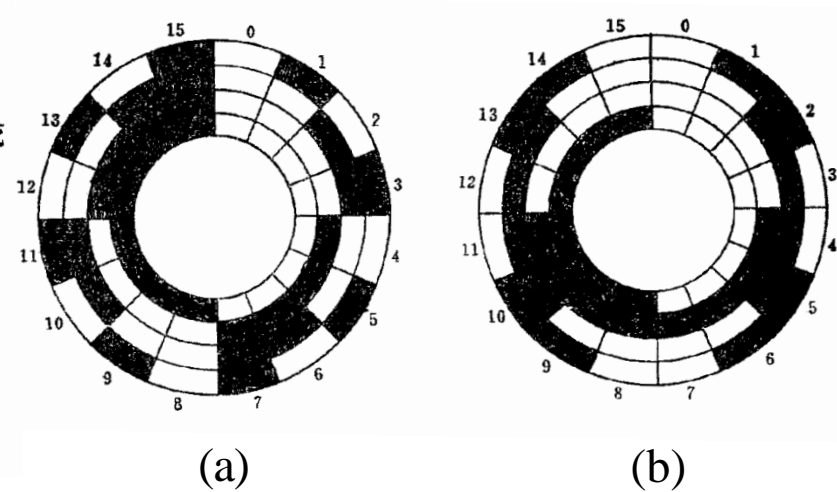


图7.7 绝对式编码器的盘面图形举例

7.2.2 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
- 交测速发电机

7.2.2 速度和加速度传感器

■ 应变仪

材料变形的测量方法是以惠斯通（Wheastone）电桥为基础的，见图7.8。图中，

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3} \quad (7.3)$$

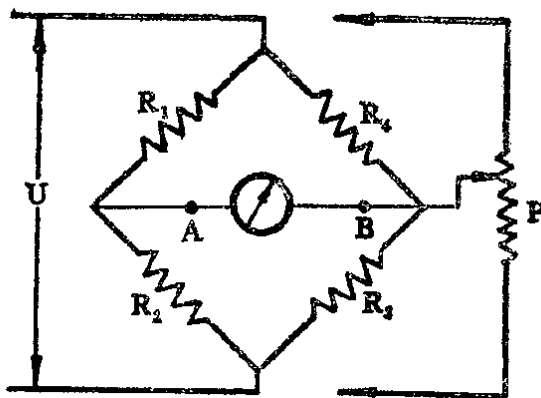


图7.8 含有平衡电位器的惠斯通电桥

7.2.2 速度和加速度传感器

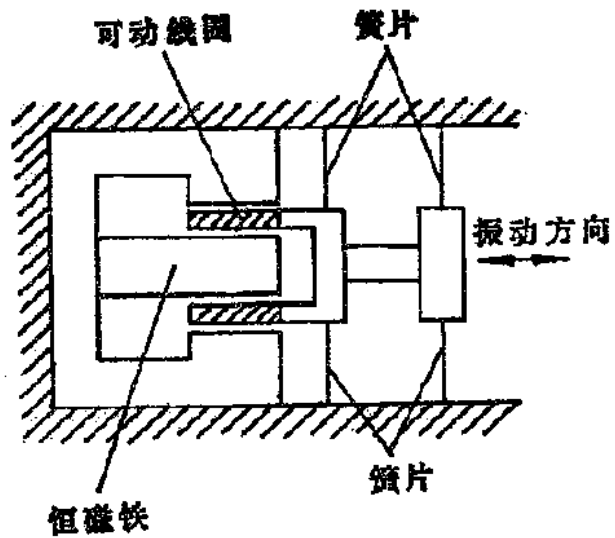
■ 加速度传感器

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：

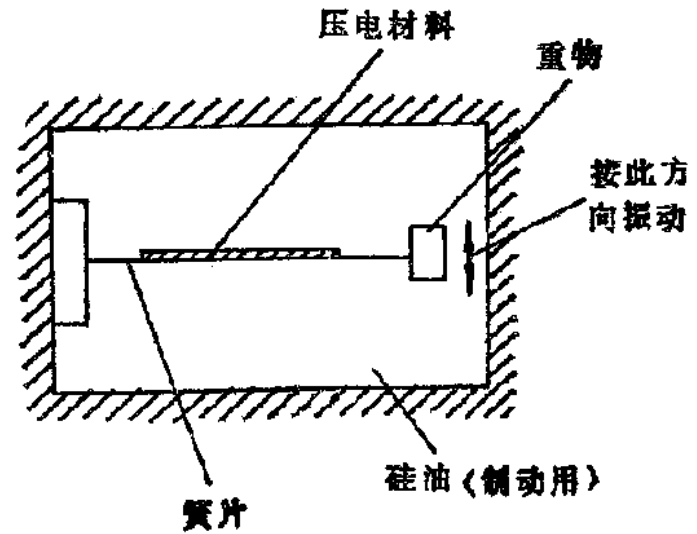
- 由速度测量进行推演。
- 已知质量物体加速度所产生的力是可以测量的。
- 与被测加速度有关的力可由一个已知质量产生。

图7.9表示两种加速度传感器的结构原理。其中，图7.9（a）是应用电磁效应原理的加速度传感器。图7.9（b）则是应用压电变换原理的加速度传感器。

7.2.2 速度和加速度传感器



(a)



(b)

图7.9 两种振动式加速度传感器

7.2.3 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

7.3 外传感器

7.3.1 触觉传感器

■ 应用微限位开关的五指机械手

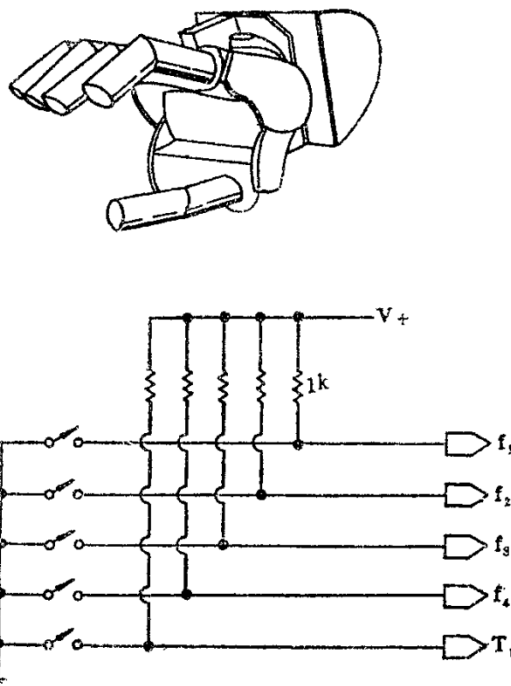


图7.13 应用微开关的五指机械手及其等效电路

7.3.1 触觉传感器



■ 隔离式双态接触传感器

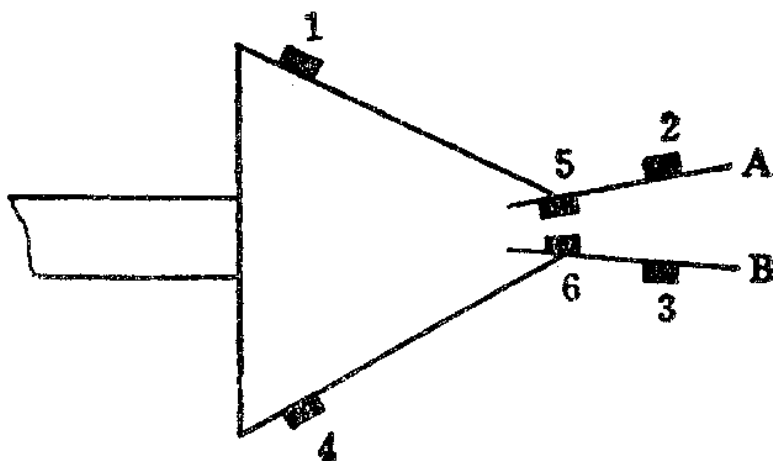


图7.14 具有隔离式双态接触传感器的夹手

7.3.1 触觉传感器

- 单模拟量传感器
 - 桥式接触探测器，见图7.15。
 - 灵敏指头夹持器，见图7.16。

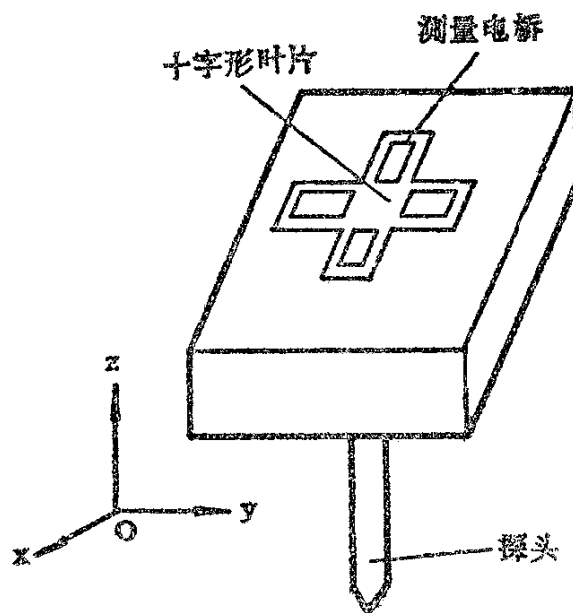


图7.15 桥式接触探测器

7.3.1 触觉传感器

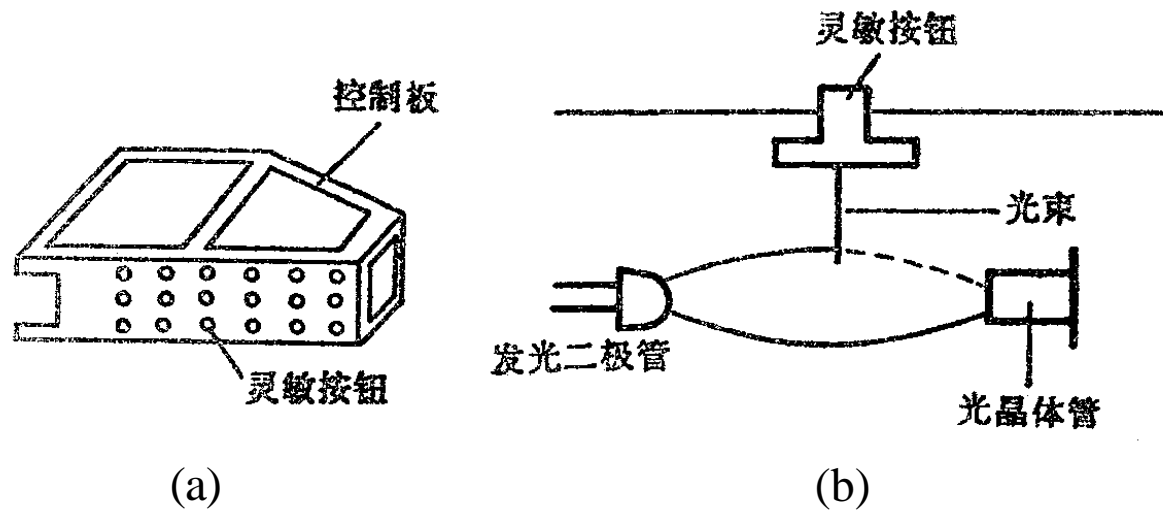


图7.16 具有灵敏手指的机器人夹手

7.3.1 触觉传感器

■ 矩阵传感器

- 采用压电元件的矩阵传感器，见图7.17。
- 人工皮肤（artificial skins），见图7.18。

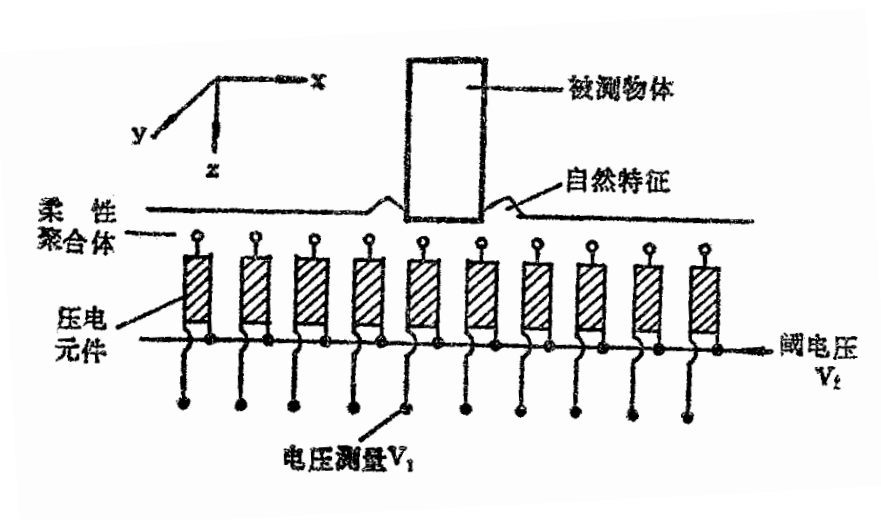


图7.17 压电元件矩阵传感器

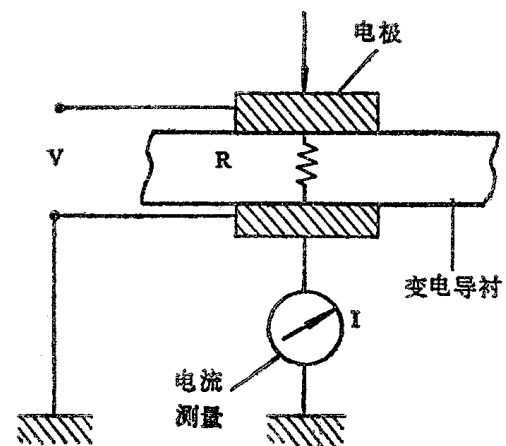


图7.18 人工皮肤工作原理

7.3.1 触觉传感器



■ 光反射触觉传感器

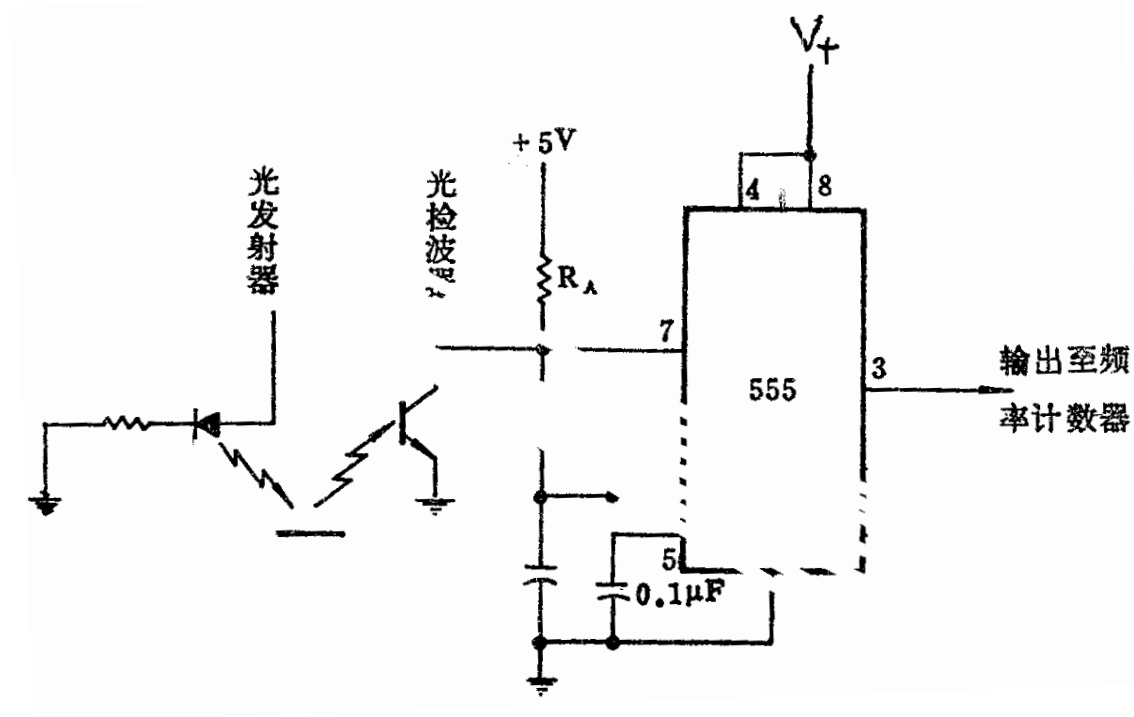


图7.19 输出量可变的光放射系统

7.3.2 应力传感器



当关节式机器人与固体实际接触时，机器人进行适当动作的必要条件有三个：

- 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）。

7.3.2 应力传感器



- 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 ，见图7.20。

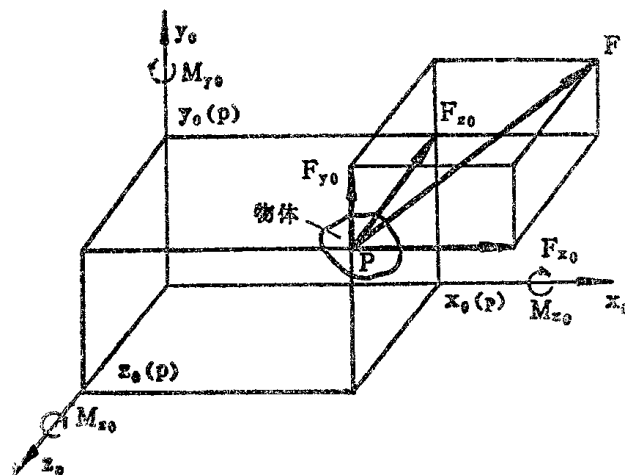


图7.20 坐标系 R_0 内的力和力矩

7.3.2 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。

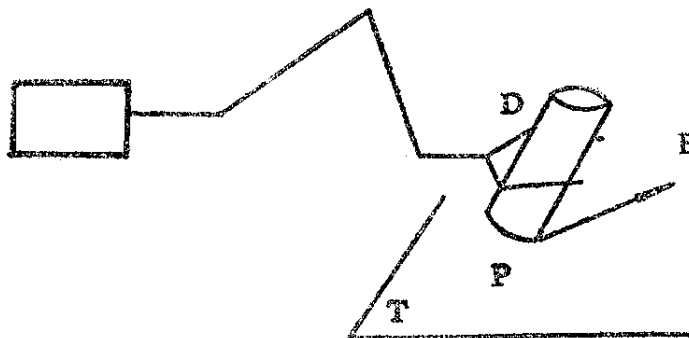


图7.21 工作台面与物体间的作用力

7.3.3 接近度传感器

- 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。
- 接近度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：
 - 超声波接近度传感器
 - 红外线接近度传感器



- 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，一般用在移动式机器人上，以检验前进道路上的障碍物，避免碰撞。

超声波接近度传感器

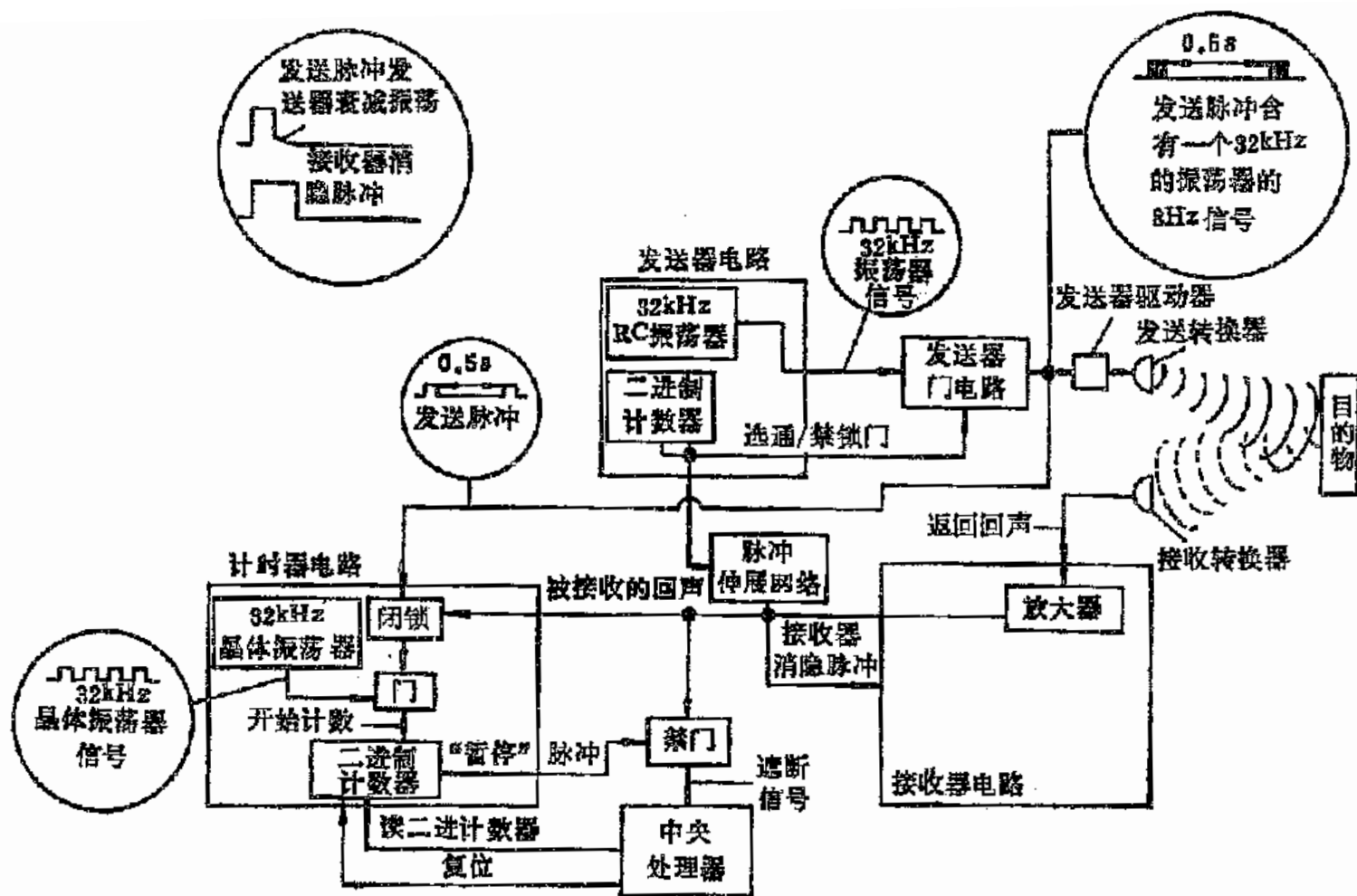
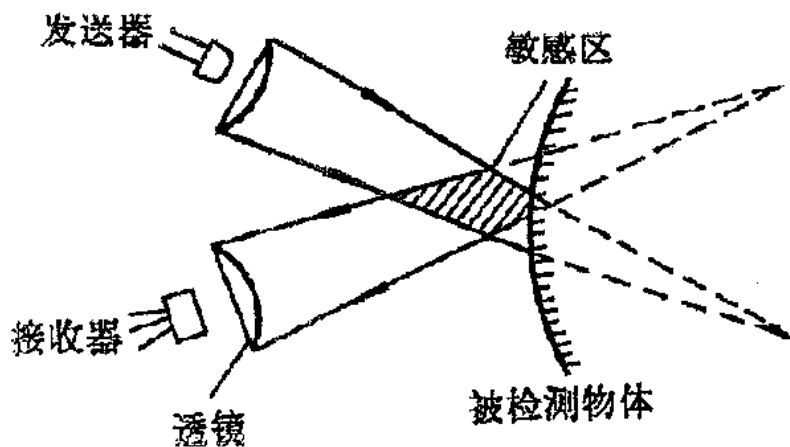


图7.22 超声测距系统方框图

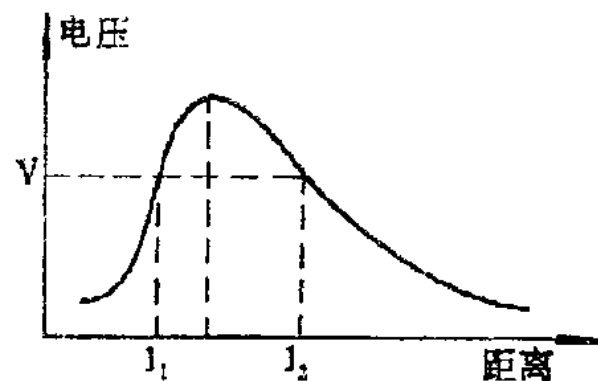
红外线接近度传感器



- 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

7.3.4 其它外传感器

- 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。

- 接触式或非接触式温度感觉

两种常用的温度传感器为热敏电阻和热电耦。这两种传感器都必须与被测物体保持实际接触。

- 滑觉传感器

主要有两种，一是利用光学系统的滑觉传感器，另一为利用晶体接收器的滑觉传感器。

7.4 机器人视觉装置

7.4.1 机器人眼

■ 测光电路

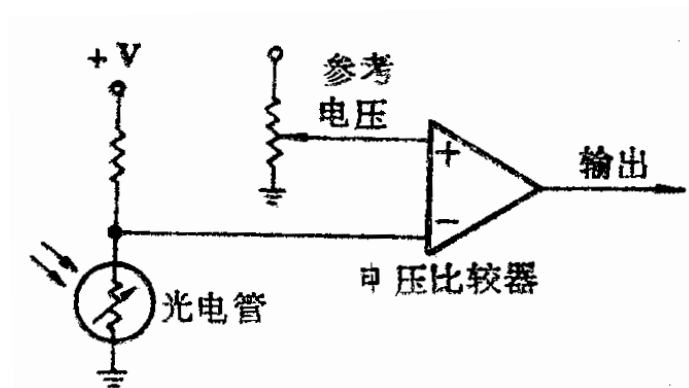


图7.24 简单的测光器

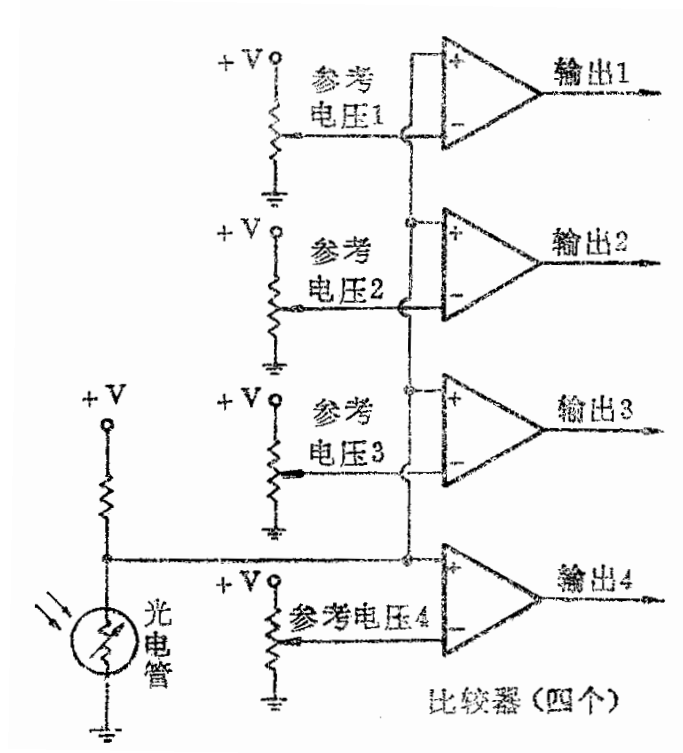


图7.25 能够分辨4种色调的测光电路

7.4.1 机器人眼



■ 隔行扫描

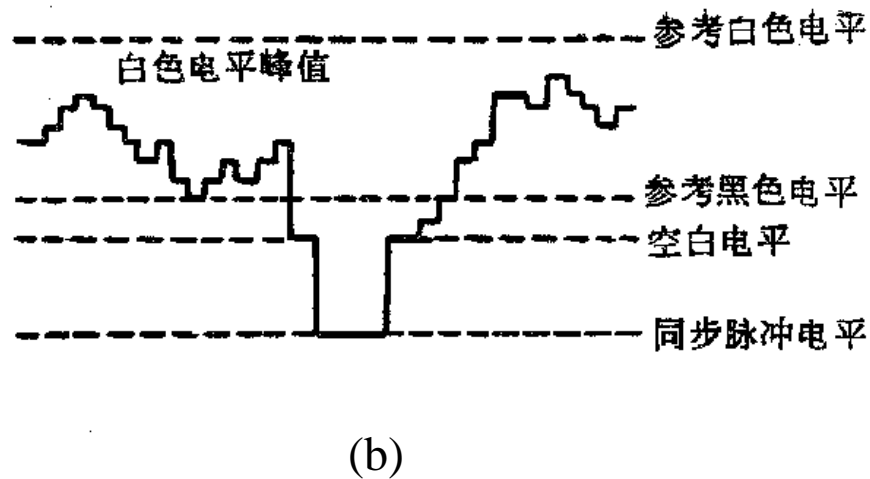
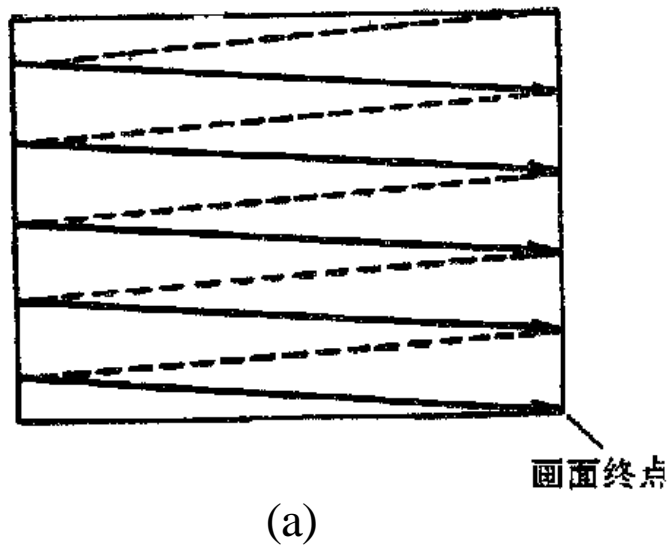


图7.26 具有典型视频波形的简化电视扫描图

7.4.2 视频信号数字变换器

■ 简要框图

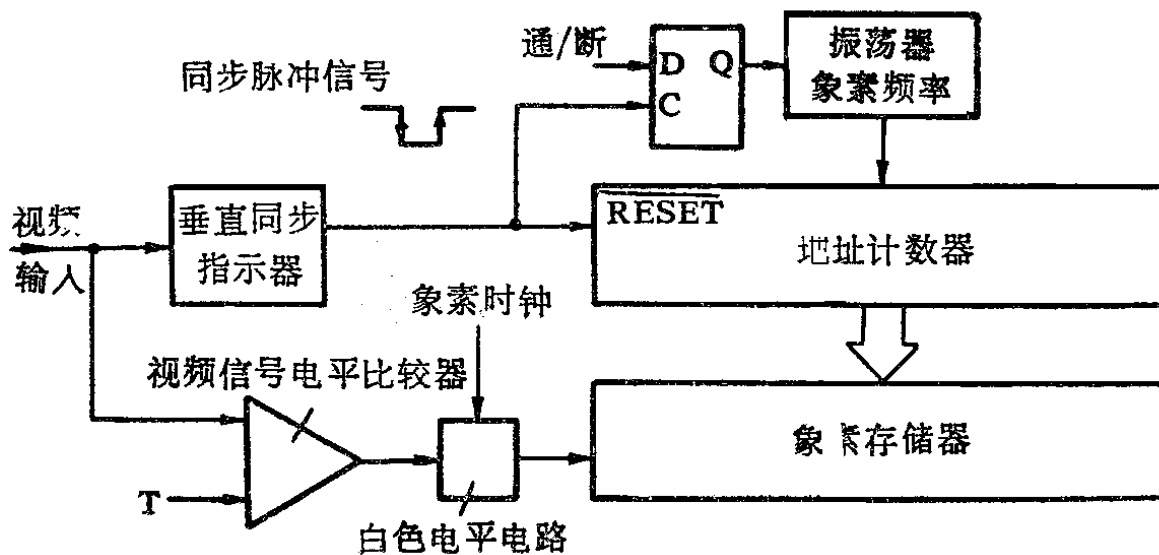


图7.27 黑白电视数字变换器方框图

■ 实用电路



7.4.3 固态视觉装置

■ 动态存储器

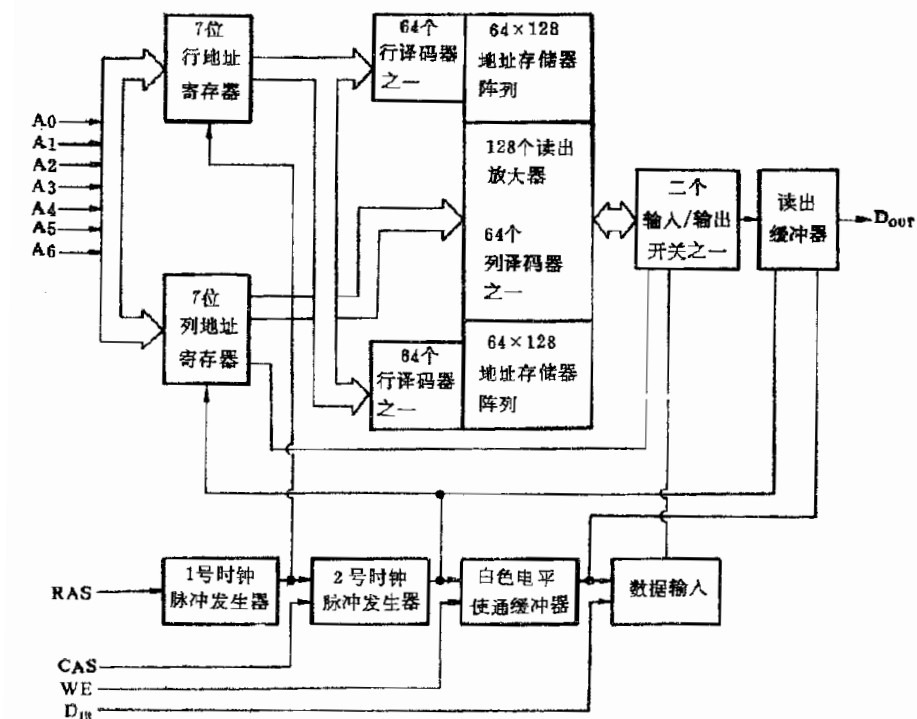


图7.29 16K动态存储器结构框图

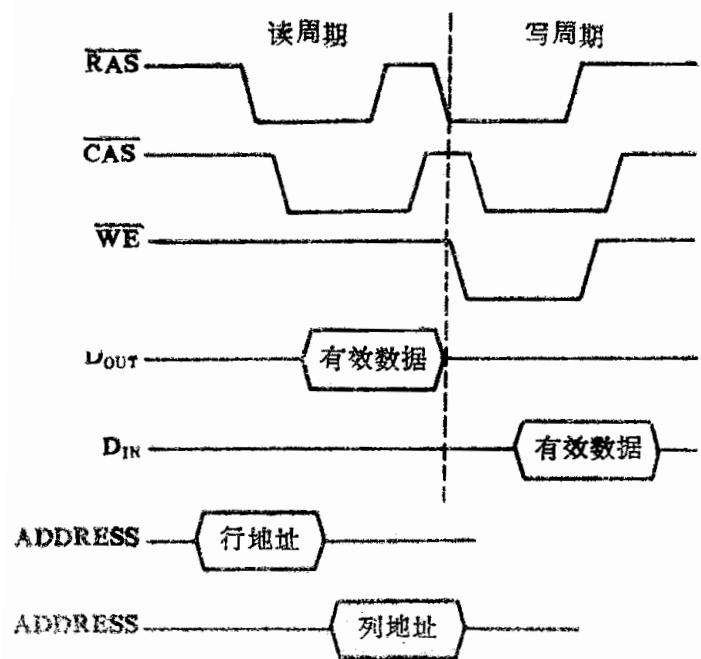


图7.30 存储器主要定时图

7.4.3 固态视觉装置



■ 驱动电路

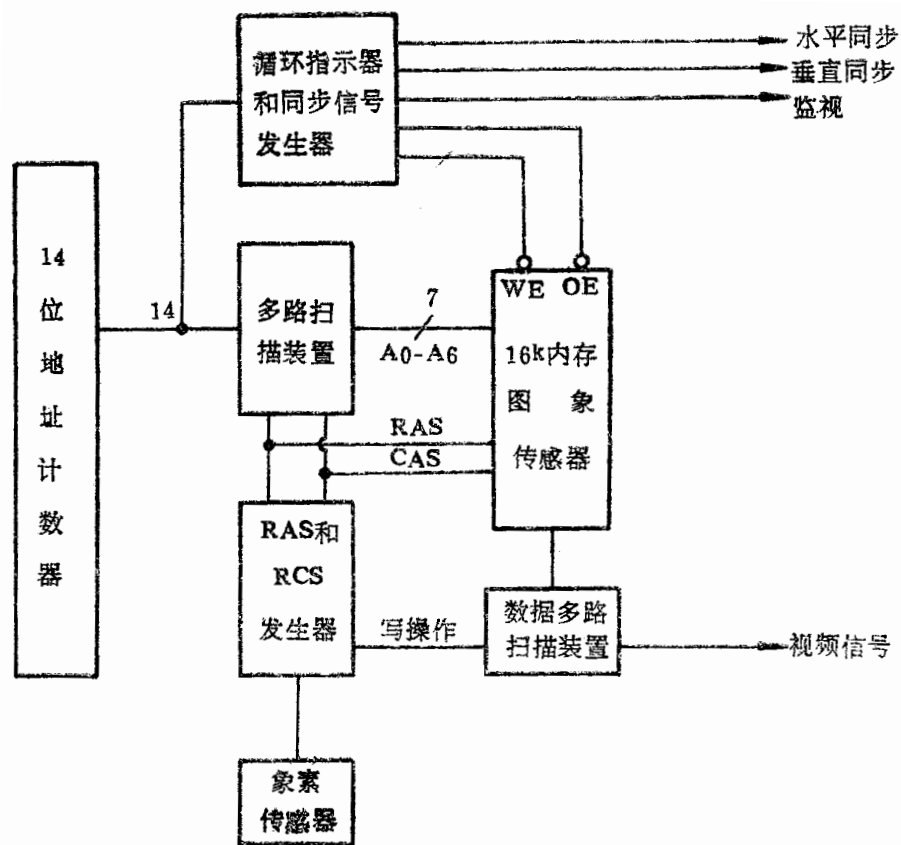


图7.31 固态图像传感器驱动电路框图

7.5 小结

- 传感器的特点与分类
 - 机器人的感觉顺序与策略
 - 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
 - 速度和加速度传感器
 - 力觉传感器



- 外传感器
 - 触觉传感器
 - 应力觉传感器
 - 接近度传感器
 - 其他外传感器
- 举例介绍了一些有代表性的机器人视觉装置