

传感器技术在工程机器人中的应用

毕英伟 张弛

上海建工二建集团, 上海 200080

[摘要]文中首先阐述了发展工程机器人的行业需求。就工程机器人中的传感器问题展开研究。首先探讨了传感器的定义、原理,和基本特征。并且按照不同的分类标准,重点筛选和梳理了传感器的种类。又按照工作原理,细分了传感器,并且列举了各类传感器的典型应用。同时,又根据信号输入量与信号输出量(电),以及转换原理重新编排和筛分传感器。因传感器的基本原理是利用物理、化学,和生物等现象,所以重点给出了六种常见的能量转换时的物理效应。随后,阐述了工程机器人的概念与分类,重点描述适用于工程机器人的各种类型的传感器。重点研究了适合工程机器人的机器视觉和机器触觉,由此最终探讨了各类传感器在工程机器人的应用前景。

[关键词]传感器;施工机械;工程机器人;物性效应;机器人传感器

DOI: 10.33142/ec.v7i9.13382

中图分类号: TP202

文献标识码: A

Application of Sensor Technology in Engineering Robots

BI Yingwei, ZHANG Chi

Shanghai Construction No. 2 Construction Group Co., Ltd., Shanghai, 200080, China

Abstract: This paper firstly describes the development of engineering robot industry needs. The sensor issue of engineering robot is studied. Firstly, the definition, principle and basic characteristics of the sensor are discussed. According to different classification standards, screening and combing the types of sensors are focused. In accordance with the working principle, it subdivided the sensors, and enumerated the typical applications of various types of sensors. At the same time, according to the signal inputs and signal outputs (electricity), as well as the principle of conversion are re-arranged and screening sensors are screened. Because the basic principle of the sensor is the use of physical, chemical, and biological phenomena, so it focuses on six common energy conversion of the physical effects. Then, the concept and classification of engineering robot were described, with emphasis on the various types of sensors suitable for engineering robot. This paper focused on the research of the machine vision and the machine touch which are suitable for the engineering robot, and finally discussed the application prospect of all kinds of sensors in the engineering robot.

Keywords: sensors, construction machinery, engineering robots, physical effects, robot sensors

引言

建造过程可视为是建造者根据设计图纸,运用工具和机械完成结构的工业生产过程。作为建设主体,从信息角度看,人相比于工程机械而言具有信息的获取和行动决策的能力。在无人建设场景下,需要采用工程机器人来代替人。现代信息技术包括了信息的采集、传输,和处理,依次对应了传感器、通信,和计算机技术。在一个智能机器人控制体系中,信息获取靠传感器;信息传输靠通信设备;信息处理靠控制器;信息应用靠执行器。

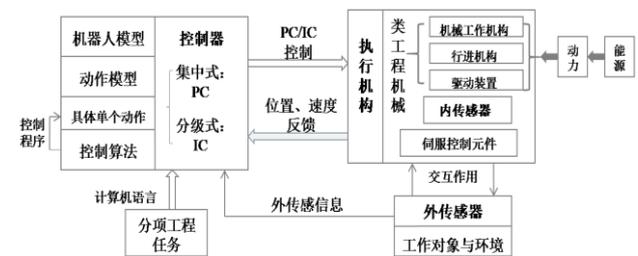
传感器技术应用广泛,知识范畴涉及物理、电子、光学、计算机、芯片、机械、化学、半导体、生物等领域;是集敏感材料、微电子、微机电、微型计算机,和通信技术等多学科的交叉工程技术^[1]。工程机器人的主要结构如图 1. a。

根据机器人需完成的任务不同,传感器的配置也不同。机器人传感器是机器人实现自身状态与外部信息交互的前提,通过搭载不同类型的传感器,对所需处理和测控的信息进行分析、决策,并依此行动。传感器在工程机器人中位于信息采集的前端,其性能影响整个系统的工作状态与质量。

1 传感器技术

1.1 定义和组成

传感器是可将需要感受的目标被测非电量按照一定的规律或方法,转换成可用输出电信号的器件或装置^[2]。传感器也称为变换器、检测器,和探测器。通常主要由敏感元件和转换元件组成。敏感元件是传感器中能直接感受或响应的被测量物理效应(或化学和生物效应)部分。转换元件是指传感器中能将敏感元件的输出转换成适用于测量和传输的电信号的部件。当然,有些传感器中两者结合在一起。传感器结构如下(图 1. b):



(a)

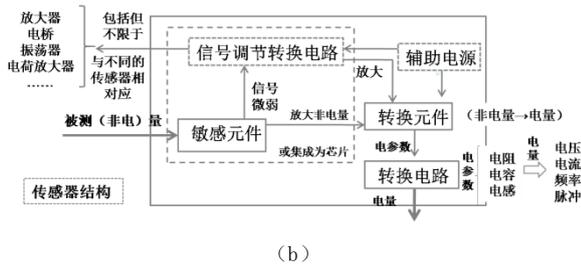


图1 (a) 工程机器人主要结构框图; (b) 传感器主要结构框图

1.2 基本原理与特性

输出信号目前多为电信号，由传感器原理决定。电信号的形式多样，包括电压、电流、频率，和电脉冲等。不同类型的传感器对其参数的要求与定义也各不相同。传感器的特性包括静态特性和动态特性。静态特性包括灵敏度、分辨力、测量范围与量程，和误差特性。其中，误差特性又包括线性度、迟滞、重复度、零漂，和温漂等。动态特性是描述传感器在被测量随时间变化时的输出和输入的关系^[1]。动态特性包括阶跃（瞬态）相应特征和频率（稳态）相应特征。

1.3 分类

传感器种类繁多，名称也极其多样。由于目前尚无统一的分类方法。故按照不同分类方法分类，整理不同类型的传感器如下表 1:

1.4 应用场景

当前在工程中已经出现并使用较多的传感器主要有：
 烟雾传感器：在某些施工场合中若烟雾超过了一定限制，触发烟雾报警器报警。
 夜间自动照明的光电传感器：在强光下吸收光能，通过光敏材料和电路，输电并储存在电容里。在光线非常微弱的情况下，触发电路发光。
 在大体积混凝土控温技术中用的温度传感器，在需要进行应力应变监测的构件中（如基坑围护、悬臂钢梁等）。

同时，传感器在实际工程中仍有着非常广泛的应用空间，比如在需要防碰撞的地方可以加装可粘贴的接近觉传感器，用于向大车行进时给出预警信号；比如焊接机器人就应该安装图像传感器，将感光面上的光像转换为与光像成相应比例关系的电信号。

表 1 传感器的分类

分类方法	类型	说明
输入量	几何学量：长度、位移、应变、厚度、角度、角位移	输出量：电量（电压、电流） 以被测物理量命名，便于根据被测量选择传感器 转换原理：物理效应或物理原理
	运动学量：速度、角速度、加速度、角加速度、振动、频率、时间	
	力学量：力、力矩、应力、质量、荷重	
	流体量：压力、真空度、流速、流量、液位、黏度、气体	
	温度：温度、热量、比热	
	电量：电流、电压、功率、电场、电荷、电阻、电感、电容、电磁波	
	磁场：磁通、磁场强度、磁感应强度	
	光：光度、照度、色、紫外线、红外线、可见光、光位移	
化学量	气体、液体、固体分析、pH 值、浓度	转换原理：化学效应
	生物量	酶、微生物、免疫抗原抗体
转换原理	结构型传感器：电阻应变式、电容式、电感式、电涡流式	传感器依赖其结构参数变化实现信息转换
	物性型传感器：超导传感器、液晶传感器、离子传感器、压阻式、光电式	传感器依赖其敏感元件物理特性的变化实现信息转换
	复合型传感器：电阻式传感器、电感式传感器、电容式传感器、压电式传感器、光电式传感器、热敏传感器、气敏传感器、湿敏传感器，和磁敏传感器	结构型传感器和复合型传感器组合而成
能量转换关系	能量转换型传感器（有源型）如：非电量转换成电阻、电容、电感等电量。	有源型传感器或发电型传感器：传感器直接将测量的能量转换为输出量的能量。
	能量控制型传感器（无源型）	无源型传感器：由外部供给传感器能量，而由被测量来控制输出的能量
输出信号形式	开关型传感器	
	模拟式传感器	输出为模拟量
	数字式传感器	输出为数字量
传感功能数量	单一功能传感器、多功能集成传感器	
输入输出信号特征	线性传感器、非线性传感器	

表1 传感器的分类

分类方法	类型		说明
传感器结构组成	智能传感器（芯片）、常规传感器		
应用领域	航天传感器、机器人传感器		
传统型与新型	传统传感器：如话筒		
	新型传感器：激光传感器、红外传感器、仿生传感器、智能传感器、微传感器、网络传感器、超声波传感器、生物传感器等。		
工作范围	位置、力、液面、能耗、速度、温度、流量、加速度、角度、距离、气敏、味敏、色敏、真空度、生物等。		
工作原理	类型	工作原理解释	典型应用
	电阻式	电阻应变式：利用应变片电阻值发生变化	力、压力、加速度、力矩、应变、位移、载重
		固体压阻式：利用半导体的压阻效应	压力、加速度
		电位器式：移位电位器触点改变电阻值	位移、力、压力
	电感式	自感式：改变磁阻	力、压力、振动、液位、厚度、位移、角位移
		互感式：改变互感（互感变压器、旋转变压器）	
		电涡流式：利用电涡流现象改变线圈自感或阻抗	位移、厚度、探伤
		压磁式：利用导磁体的压磁效应	力、压力
		感应同步器：两个平面绕组的互感随位置不同而变化	速度、转速
	磁电式	磁电感应式：利用半导体和磁场相对运动的感应变化	速度、转速、转矩
		霍尔式：利用霍尔效应	位移、力、压力、振动
		磁栅式：利用磁头读取不同位置上磁栅上磁信号	长度、线位移、角位移
	压电式	正压电式：利用压电元件的正压电效应	力、压力、加速度、表面粗糙度
		声表面波式：利用压电元件的正压电效应	力、压力、角加速度、位移
	电容式	电容式：改变电容量	位移、加速度、力/压力、液位、含水量、厚度
		容栅式：改变电容量或加以激励产生感应电动势	
	光电式	一般形式：改变光路的光通量	位移、温度、转速、浑浊度
		光栅式：利用光栅形成的摩尔条纹变化	位移、长度、角度、角位移
		光纤式：利用光导纤维的传输特性或材料的效应	位移、加速度、速度、水声、温度、压力
		光学编码器：利用光导纤维、反射、透射引起的变化	线位移、角位移、转速
		固体图像式：利用半导体集成器件阵列	图像、文字、符号、尺寸
激光式：利用激光干涉、多普勒效应、衍射		长度、位移、速度、尺寸	
红外式：利用激光干涉、多普勒效应、衍射		温度、探伤、气体分析	
热电式	热电偶：利用热电效应	温度	
	热电阻：利用热电效应	温度	
		热敏电阻：利用半导体的热电阻效应	温度

2 工程机器人中的传感器

2.1 概述

传感器类似于人类的知觉作用，在机器人的发展中至关重要。机器人已发展到第三代。第一代机器人是配有电子存储装置和程序，能重复记忆动作的机械手；第二代机器人由于采用了传感器，已初步具有感觉和反馈控制能力；能对信息进行识别、选取和判断，但主控系统仍是处理器或各级芯片。第三代机器人是靠计算机完成信息接收和处

理过程，显然需要数量更多、性能更好、功能更强，且集成度更高的传感器。

2.2 分类

机器人传感器可视作能把目标物特征或参量变化为电子信号输出的电子设备或装置。可分为内部检测传感器和外界检测传感器两大类。内部检测传感器安装在机器人自身中用来感知它自身的状态，是以机器人本身的坐标轴来确定其位置，用来调整和控制机器人的姿态和行动。它

通常由位置、加速度、速度和压力传感器组成。

外界检测传感器，用于机器人对周围环境和目标物状态特征信息的获取，使机器人对周围环境或目标物发生交互，从而使机器人对环境或目标物之间有自校正和

自适应能力。常见的机器人外界检测传感器通常包括触觉、接近觉、视觉、听觉、嗅觉、和味觉等传感器。目前，对建筑机器人而言，以触觉、视觉、和接近觉传感器最为重要。

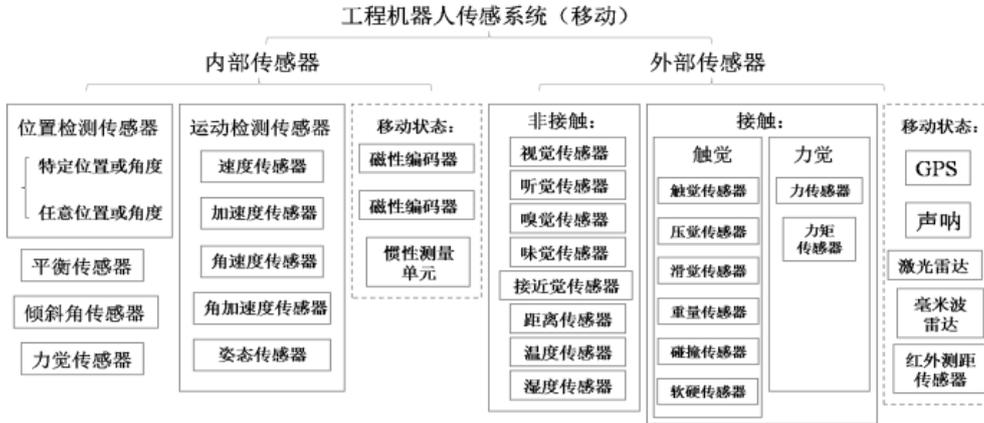


图2 工程机器人传感器系统（移动）

对于工程机器人而言，主要需要触觉、接近觉和视觉这三种感觉中适用于工程需要的传感器配置。机器人的外传感器分类如下表2：

表2 机器人外传感器的分类及应用^[2,5]。

分类	名称	检测内容	检测器件	应用
触觉 (接触)	接触觉	接触	限制开关	动作顺序控制
	压觉	握力	应变计、半导体感压元件、光纤压觉传感器	握力控制
	重量	荷重	测簧变位测量器	张力控制、指压控制
	力觉	分布压力	导电橡胶、感压高分子材料	姿势、形状判别
	力觉	多元力	应变计、半导体感压元件	装配力控制
	力觉	力矩	压阻元件、马达电流计	协调控制
	滑动	滑动	光学旋转检测器、光纤	滑动判定、力控制
接近觉 (非接触)	接近	距离	GPS、光电开关、LED、激光雷达、毫米波雷达、红外距离传感器、声呐、接触式、电容式、电磁式、STM、AFM、流体、超声波、光学测距	动作顺序控制
	间隔	间隔距离	光电晶体管、光电二极管	障碍物躲避
	倾斜	倾斜角度	电磁线圈，超声波传感器	轨迹移动控制，探索
视觉	定位	平面位置	ITV 摄像机，位置传感器	位置决定、控制
	测距	距离	测距传感器、激光雷达	移动控制
	形状	形状	线图像传感器	物体识别、判别
	缺陷	缺陷	面图像传感器	检查，异常检测
听觉	话筒	声音	麦克风、语音传感器、声音传感器	语音控制、人机接口

分类	名称	检测内容	检测器件	应用
	超声波	超声波	超声波传感器	移动控制
嗅觉	嗅觉	气体成分	气体传感器、射线传感器	化学成分探测
味觉	味觉	味道	离子敏感期、pH 计	化学成分探测
温度	温度	温度	电阻、热敏电阻、红外线、IC 温度传感器	温度探测

对工程机器人而言，内传感器主要用于机械工作部分的角速度、速度、角加速度等。机器人的内传感器分类如下表3：

表3 机器人内传感器的分类及应用^[3,5]

分类	名称	检测内容	检测器件	应用
角度	角度	旋转角度	旋转编码器	测角度
角速度	角速度	旋转速度	内置微分电路的旋转编码器	测角速度
角加速度	角加速度	角加速度	压电式、振动式、光相位差式	测角加速
速度	速度	速度	陀螺仪	测速度
加速度	加速度	加速度	应变仪式、伺服式	测加速度
位置	位置	位置、坐标	电位计、直线编码器	确定位置
方位	方位	方位	陀螺仪式、地磁铁式、浮动磁铁式	确定方位
倾斜度	倾斜度	倾斜度	静电容式、导电式铅重振子式、浮动磁铁式、滚动球式	姿态控制

2.3 机器视觉

机器视觉是使用机器来代替人眼成像系统来做图像信息的识别和判断。机器视觉有两种方式，一种是安装在机器人末端的执行器上。另一种是安装在固定空间，观察机器人^[6]。首先，前端是相机来代替眼睛。相机可以是光成像，也可以是微波、红外，或长波等各种电磁波成像。

相机上的镜头主要是完成目标物体的光学图像聚焦。聚焦的图像呈现在图像传感器的光敏面阵上。类似于眼睛的瞳孔、视网膜和视觉神经的作用。拍摄的目标物体成像后,图像信号会先转换成数字信号,并传输给图像处理系统。专用的数字图像处理系统会抽取特征目标,根据预设的条件输出最终结果。

图像信息要在电子系统中传输,并由计算机根据算法做出处理,就必须由光学影像转换为电子信息。在机器视觉中,完成这一转换的是图像传感器。图像传感器是通过光电器件的光电转换功能,将感光面上的光像转换成与光像成相应比例关系的电信号“图像”。固体图像传感器的原理是硅的光电效应。有 CCD 型和 CMOS 型之分,不同点在于像素光生电荷的读出方式^[7]。以 CCD 型固态图像传感器为例,电荷耦合器件 CCD 为固态图像传感器中的敏感器件。CCD 属于一种特殊的集成电路;具有光电转换、信号储存、转移、输出、处理,以及电子快门等功能。

在建造过程中,建设主体(人、机械、机器人)等采用工具完成材料到结构的工业生产过程。从自动控制角度看,工地中最常见的“人手抓取砖块”这一动作,是自动控制过程。由有着视觉伺服系统的工程机器人也可以完成这样一个过程。以读取、处理、分析,和决策过程中的“信息”为关键线,串联这一过程中各项技术。由此,可类比“人手抓取砖块”这一过程,得出相应的闭环控制系统方块图。

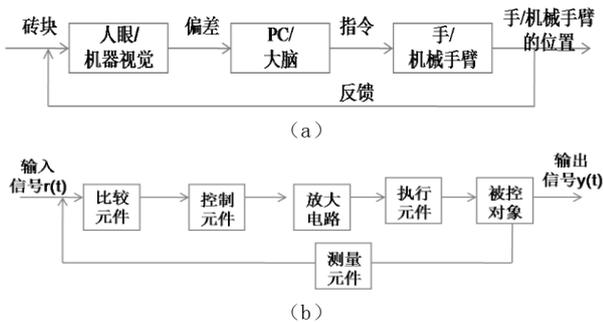


图3 (a) 人手抓砖块控制流程图; (b) 基本反馈闭环控制系统方块图^[8]

当抓取砖块的动作,如果换成挖掘机挖土,打桩机打桩,围护桩机打围护,运货车装卸材料,叉车装卸货物时,通常工程机械和工具可以在人的操作下完成这一系列施工动作。对装有机器伺服系统的自动化程度足够高的工程机械,可实施人为远程指令遥控,或用程序带单片机的电动机数控,或用有机器学习能力的计算机控制,由于其自动化控制的原理是一样的,技术上也可行。

2.4 机器触觉

人的触觉包括:热觉、冷觉、痛觉、触压觉,和力觉

等。机器触觉是机器人基于触觉系统获取环境信息的一种重要形式。机器人触觉是对人某些触觉的模仿:通常包括触觉、压觉、力觉,和滑觉。主要任务是获取对象与环境信息和为完成某种作业任务而对机器人与对象、环境相互作用时的一系列物理特征进行检测和感知。

狭义的机器触觉指接触觉:用于检测手指和手掌与被抓取物体是否接触,是接触图形的检测;压觉是手与被抓取物的接触面上力的大小(接触图形);力觉是机器人在做各种动作时,在各个自由度上的力的大小及变化过程;滑觉是被手抓取的物体在垂直于握力方向上的移动或变形。在工程机器人中,除了视觉图像信息,需要重点关注的被测物理量有位移、速度、加速度、应力、应变等机械量。若没有工程机器人触觉传感器,则工程机器人无法很好地完成机械手抓取砖块这一动作。

3 结论与展望

工程机器人传感器的研究主要集中在视觉成像和触觉。当然,涉及温湿度、热量、光线、噪声、粉尘等工程中常见的物理现象的检测类传感器的研究与升级仍有广阔的行业需求。传感器技术已应用到各行各业中。但基本原理始终是运用物理规律、化学和生物特性,将被测量转换成便于识别、处理,和传输的电信号。目前传感器的技术朝着集成化、微型化、数字化、智能化,和仿生化的方向发展。当然,传感器技术的发展不止在于传感器技术本身的工艺和集成程度,以及智能程度的提高,也在于新的物理(生物、化学)现象的发现与规律的研究;以及新材料的研发与应用,和微电子技术的发展等。

[参考文献]

[1]黄正洪,赵志华. 信息技术导论[M]. 北京:人民邮电出版社,2017.
[2]刘迎春,叶湘滨. 传感器原理——设计与应用[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2004.
[3]迟明路,田坤. 机器人传感器[M]. 北京:电子工业出版社,2022.
[4]张明辉,丁瑞昕,黎书文. 机器人技术基础[M]. 陕西:西北工业大学出版社,2022.
[5]黄志坚. 机器人驱动与控制及应用实例[M]. 北京:化学工业出版社,2020.
[6]徐德钢,沈添天,谢永芳,等. 机器人视觉伺服控制[M]. 长沙:中南大学出版社,2018.
[7]邵欣,马晓明,徐红英. 机器视觉与传感器技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2017.
[8]周献中. 自动化导论[M]. 北京:科学出版社,2009.
作者简介:毕英伟(1985.10—),上海大学,工程管理,上海建工二建集团有限公司,工程师。