



普通高中教科书

通用技术

选择性必修

机器人
设计与制作



人民教育出版社

人民教育出版社

普通高中教科书

通用技术

选择性必修

机器人
设计与制作

人民教育出版社

· 北京 ·

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

总 主 编：褚君浩

副 主 编：朱志勇

本册主编：高建军

编写人员：金 晶 景乃锋 邵宪一

责任编辑：王旭刚

美术设计：胡白珂

普通高中教科书 通用技术 选择性必修 机器人设计与制作

上海市中小学（幼儿园）课程改革委员会组织编写

出版发行 人民教育出版社

（北京市海淀区中关村南大街17号院1号楼 邮编：100081）

网 址 <http://www.pep.com.cn>

版权所有·未经许可不得采用任何方式擅自复制或使用本产品任何部分·违者必究

如发现内容质量问题，请登录中小学教材意见反馈平台。jcyjfk.pep.com.cn

声明 按照《中华人民共和国著作权法》第二十三条中有关规定，我们已尽量寻找原作者支付报酬。原作者如有关于支付报酬事宜可及时与出版社联系。

本册教材图片提供信息：

本册教材中的图片由全景网、视觉中国等图片网站提供。

仅供个人学习使用，未经授权不得另做他用

通用技术是一门联系科学规律和技术应用的课程。人类在生产实践和科学实验的过程中，获得了知识，掌握了规律，形成了技术，进而在工程任务中利用技术，提升生产实践和科学实验的水平。实践—认识—再实践—再认识，这样的过程循环反复，人类的科学技术不断提升，社会生产力不断发展。

世界是物质的，物质是运动的。在我们周围充满着物质的多种多样的运动形式，除了常见的机械运动以外，还有光、声、热、电、磁、分子、原子、基本粒子、生命运动等。人们在观察和研究物质的这些运动形式时，发现了规律，运用规律发明了技术，相应产生了机械技术、光技术、声技术、热技术、电技术、磁技术、分子技术、核技术、生物技术等。这些技术分别或者集成起来在多类工程任务中得以应用，涉及机械工程、土木工程、热力工程、电子工程、光学工程、能源工程、环境工程、生物工程、航空航天工程、海洋工程、地质工程等。典型的工程，既包括南浦大桥、世博会的中国馆、虹桥枢纽屋顶上的太阳能发电站、C919大飞机、风云四号等大工程，也包括制造服装、烹饪菜肴、室内装修、三维打印零件等小工程。工程任务完成后制造出各类产品，应用于社会方方面面不同领域，为社会创造财富。从事这些工作的勤奋踏实而富有创新精神的劳动者，成为了基础扎实的工程师和精益求精的工匠，他们是我们学习的楷模。

我国古代人民的发现和发明造就了中国科学技术的辉煌历史，不仅有指南针、造纸术、印刷术、火药等重要发明，还有以都江堰水利工程、传统木建筑的榫卯结构等为代表的水利、天文、建筑、铸造、纺织、陶瓷、冶金、航海等古代科学技术，这些杰出的技术是中国古代科技文明的精粹，对人类文明发展和社会生产力的进步产生了巨大推动作用和深远影响。

技术是人类利用自然规律实现某种功能和目标的一种能力，它的背后是科学规律，它的前面是工程任务。工程任务有明确目标，技术在完成工程任务中实现它的价值。例如，根据牛顿第三定律可以利用作用力的反作用力推进物体，这一原理可以用于火箭工程，再运用万有引力定律，可以发射地球卫星，甚至把嫦娥四号送到月球背面。技术的价值在工程任务中得到充分体现。

把技术应用于工程，就要遵循工程的规范。实现技术的应用，完成一项工程任务，首先要明确这项工程的具体目标，提出完整可行并有创新的设计方案。设计方案又涉及工程目标物的结构、工艺流程、组成系统、设计意图控制等。方案的具体内容要用技术语言和图样表达出来，根据图样来操作加工，最后实现方案，完成工程任务。工程实施过程中的经验和教训，需要同行互相交流；是否完成了预期的目标要求，需要由外部专家和使用者的评价。工程交付后，还要经受时间和应用的评判。

同学们，新时代已经来临！新工业革命正在悄悄向我们走来。如同18世纪以机械化为特征的第一次工业革命、19世纪以电气化为特征的第二次工业革命、20世纪以信息化为特征的第三次工业革命，21世纪人类将开启以智能化为特征的第四次工业革命。人类

总是先在观察或实践中发现规律，在此基础上发明了技术，进而推动技术的应用与发展。人们发现了质能关系，发明核技术；发现了受激辐射规律，发明激光技术；发现了光纤中光传输规律，发明光通信技术；发现了电磁波规律，发明无线通信技术；发现了半导体光跃迁规律，发明半导体照明技术；等等。先进技术为构建人类绚丽文明打下基础。谁掌握了规律，谁发明了技术，谁就获得了主导权。智能制造是新工业革命的重要特征，而通用技术是智能制造的基础课程之一。同学们，机遇和挑战在等待着我们！

通用技术课程必修内容包括“技术与设计1”“技术与设计2”2个模块，它们分别从技术和设计的角度阐述通用技术的一般概念，并通过实践来帮助同学们体验技术与设计的内涵。选择性必修内容包括“技术与生活”“技术与工程”“技术与职业”和“技术与创造”4个系列11个模块。整体框架由图0-1表示。学习这门课程要注重掌握概念和加强实践，尤其要通过动手实践，来培养自己的技术意识、工程思维、创新设计、图样表达和物化能力等核心素养。

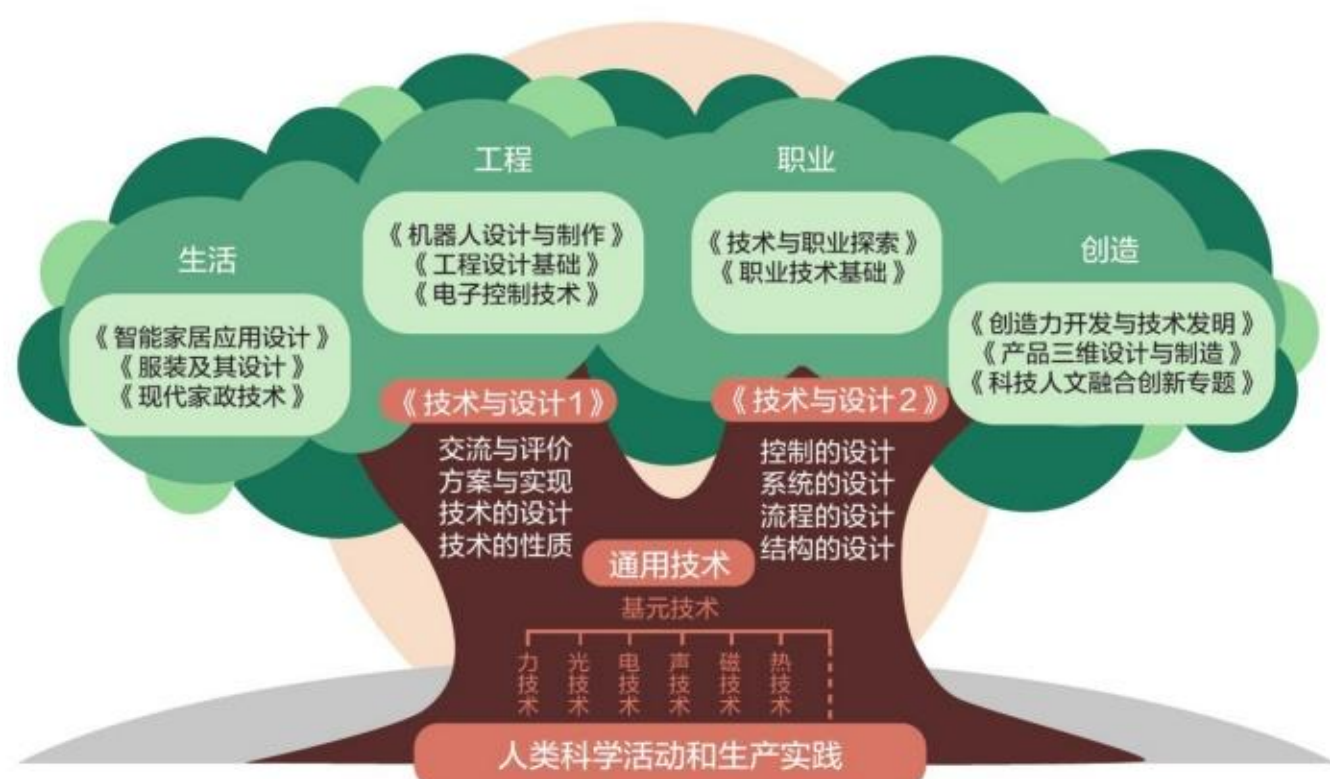


图 0-1 课程内容整体框架

《机器人设计与制作》作为选择性必修课程之一，旨在使学生了解机器人的发展和应用现状，理解机器人的概念和工作方式，深化对人机关系的认识，体验机器人技术对人类社会发展产生的深远影响，增强机械技术、电子技术、控制技术和计算机软硬件技术等综合运用能力，为适应未来社会智能生活和高校专业学习奠定基础。

第一章 机器人结构与传动机械 1

第 1 节 机器人三定律 2

第 2 节 机器人的基本构成 16

第 3 节 机器人的自由度 21

第 4 节 机械传动机构 25

课外实践：循迹机器人小车组装——基本结构 32

第二章 机器人感知与传感器 35

第 1 节 机器人感知系统 36

第 2 节 传感器的原理和种类 38

第 3 节 传感器的特征和任务 44

课外实践：循迹机器人小车制作——传感器的应用 49

第三章 机器人控制器 53

第 1 节 控制器基本原理 54

第 2 节 控制器使用实例 56

第 3 节 控制器编程 60

第 4 节 控制器通信接口 64

课外实践：循迹机器人小车制作——电机驱动 69

第四章 机器人控制策略 73

第 1 节 路径规划和运动控制的概念和功能 74

第 2 节 路径规划和运动控制的设计方法 78

第 3 节 机器人控制策略实例 82

课外实践：循迹机器人小车制作——控制 86

第一章 机器人结构与传动机械

和人类具有头脑、四肢和躯干一样，机器人也具有相似的结构。不同的是，机器人的头脑是以中央处理器为核心的控制系统，代替骨架肌肉释放能量的是机械传动装置。随着在生产生活中机器人的使用日益增多，人类需要为机器人制定相应的行为规范。

在对机器人三定律、机器人的物理结构和相应的传动机械装置学习的过程中，培养学生的技术意识、工程思维与图样表达能力。

第1节 机器人三定律

第2节 机器人的基本构成

第3节 机器人的自由度

第4节 机械传动机构



第 1 节 机器人三定律



学习目标

1. 了解机器人的概念和发展历史
2. 理解机器人三定律的内容和含义
3. 学会分析机器人与人类、环境的关系

在我们日常生活和学习中，大家可能都遇到过稻草人、橡皮人、泥人以及玻璃人等，这些都是用不同材质制成的具有人类外观特征且无法自主运动的物体。而机器人不仅仅指利用机器制成的可运动人形结构，它的外延大得多，可以是各种形态，如类似某种动物的形态，类似某种车辆的形态等都可以称为机器人。

在开始学习之前请大家记住机器人的英文名字——Robot。



讨论 & 交流

你知道的身边的机器人有哪些？和稻草人、橡皮人、泥人以及玻璃人等有何区别？

一、什么是机器人

机器人是指一切可以模拟人类或其他生物的行为或思想的机械装置，通常由计算机自行控制或者由人类和计算机协同控制。机器人的特征有以下三点：

1. 一种可以利用计算机编程控制的多功能操作机
2. 可以执行人类布置的任务
3. 由控制系统、执行模块、驱动和检测模块、复杂传动机械等组成

从上面的特征来看，机器人是综合了机械、电子、计算机、传感器、控制、人工智能和仿生学等多种学科、技术的复杂智能机械。由于它们可以完成一些对人类来说具有危险或者难以实现的工作，

因此在化工、机械、农业生产、军事和社会服务等各个领域得到了广泛的应用。我们常常能从文学作品和电影中看到具体的机器人形象，特别是一些科幻作品中，经常会出现类似图1-1等的各类机器人形象。



图1-1 影视作品中的机器人卡通形象

机器人的外观形貌不一定是人形，可以是各种动物形状（如仿生机器人），也可以是具有四个轮子的车辆形态（如载物机器人），等等。下面图中，图1-2是和人类外观相近的机器人，可以明显地看到这个机器人具有类似于人类的头部、躯干与四肢；图1-3是具有鱼类外形的机器人，可用于水下探测与水下救援；图1-4是具有导航功能并且可以实现自由飞翔的空中机器人；图1-5是可以爬行的蛇形机器人，可用于疏通管道；图1-6是用四足行走的足式机器人，可以在救援人员进行废墟搜救时起到很好的协助作用；图1-7是用于流水线装配的高精度机器人，尽管它的外形看起来既不像人，也不像任何动物，但仍然是机器人的一种。



图1-2 人形机器人



图1-3 水下机器人——机器鱼



图1-4 空中机器人——无人驾驶飞行器



图1-5 蛇形机器人



图1-6 足式机器人



图1-7 装配机器人

机器人有的由计算机自动控制，也有的由计算机半自动控制。全自动控制是指机器人完全由计算机自行控制，而半自动控制则是指机器人接受计算机和人类共同指挥完成指定的任务。

图1-8给出了受计算机控制的机器人示意图，机器人接受计算机的有线控制或无线遥控，在获得指令后开始动作，它可以在崎岖的路面上行走，能轻松避开或跳过障碍物，甚至还能爬过满是碎石的台阶，也可以唱歌、跳舞和讲故事，有些机器人还可以和人类对话。

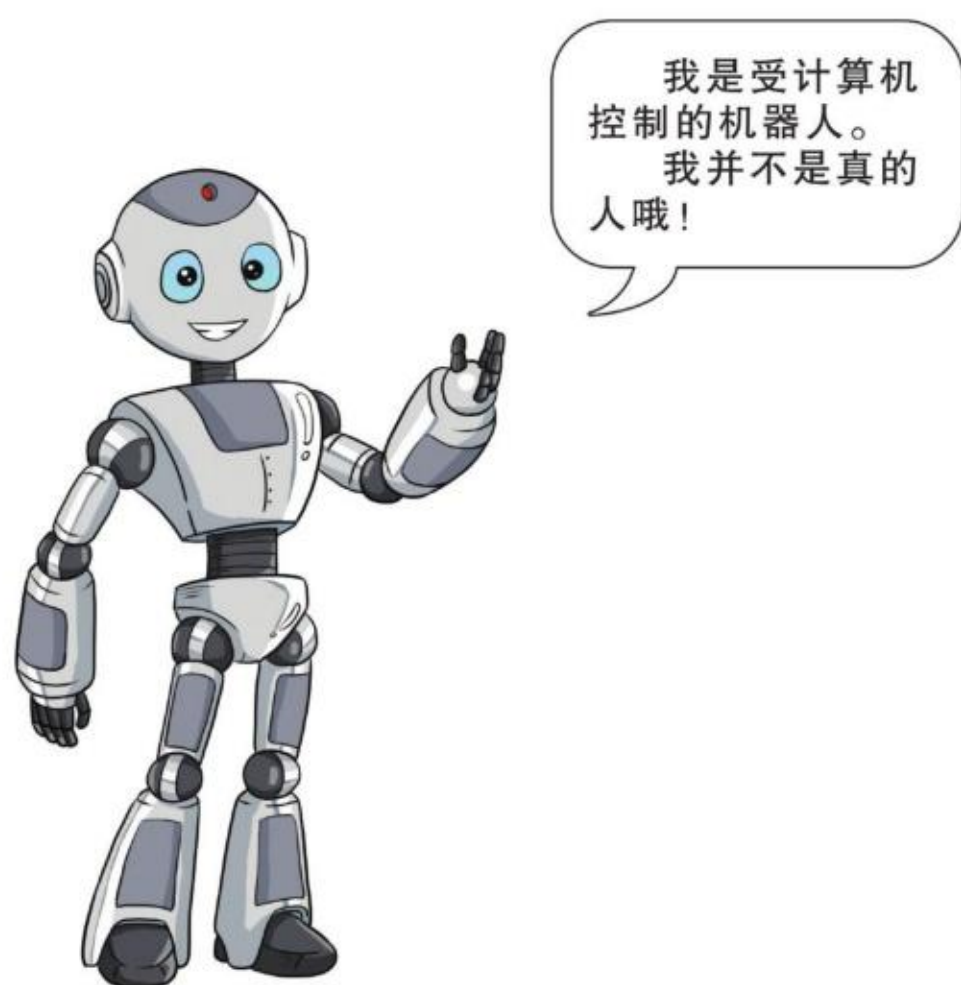


图1-8 受计算机控制的机器人示意图

讨论 & 交流

你认为机器人有哪些特征？机器人一定包括头脑、四肢和躯干吗？机器人一定会走动吗？你的周围有机器人吗？

机器人领域的迅猛发展源于需求牵引，主要原因是机器人可以代替人类在一些危险的环境中开展工作，或者从事对于人类来说复杂而困难的任务。例如：战争结束后的排雷任务，利用机器人可以避免工兵的伤亡；人本身无法飞起来观测地形地貌，而空中机器人可以执行地理勘测任务，甚至可以发现火灾。机器人还可以进行太空探索，下页图1-9为我国玉兔二号巡视机器人在月面活动的画面。

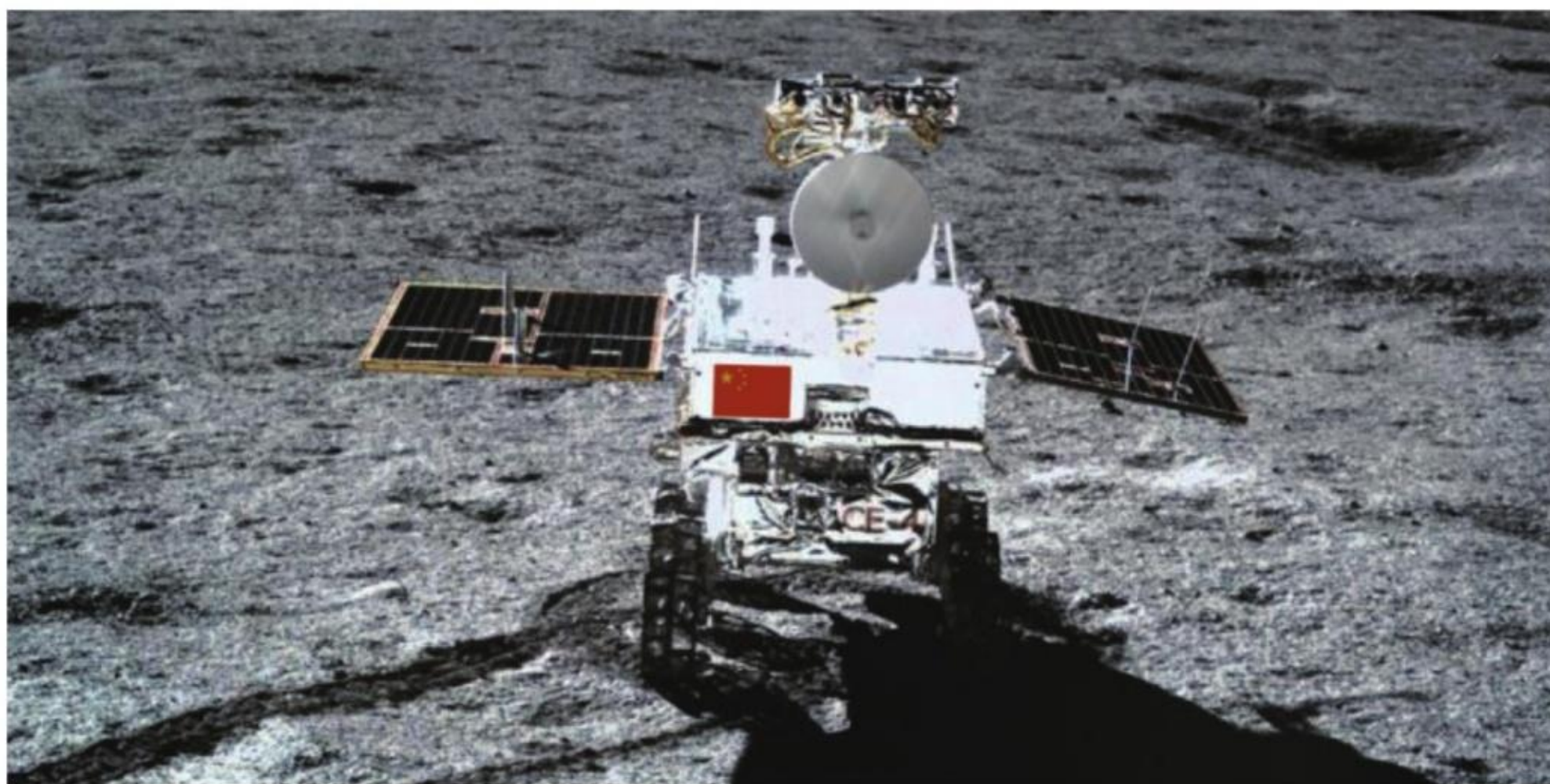


图1-9 玉兔二号巡视机器人在月面活动

讨论 & 交流

你认为机器人还可以帮助人类完成哪些任务？人类控制机器人有几种方式？

二、机器人概念的产生与机器人的发展历史

人类经常会面临繁重或危险的工作，因而幻想利用人形物体代替自己工作，这也是机器人能够诞生的原因之一。机器人相关概念的产生可以追溯到3000多年前的西周时代，据《列子·汤问》记载，一位技巧娴熟的工匠制作了一台歌舞机器人献给当时的周穆王，它能够在宫廷仪式上进行舞蹈表演来博得周穆王的欢心。

沈约所撰《宋书》也记载我国东汉时期的数学家、科学家张衡制造了指南车（图1-10所示为现代复原的一种指南车），不管轮子朝哪个方向行驶，指南车机器人的手指都指向南方。

除此之外，三国时期诸葛亮发明“木牛流马”的故事也体现了人类对机器人的渴望。《三国志·蜀志·诸葛亮传》（晋·陈寿）中记



图1-10 复原的指南车

载：“亮性长于巧思，损益连弩，木牛流马，皆出其意。”而《三国演义》（明·罗贯中）中对“木牛流马”的描述则更加生动：

忽一日，长史杨仪入告曰：“即今粮米皆在剑阁，人夫牛马，搬运不便，如之奈何？”孔明笑曰：“吾已运谋多时也。前者所积木料，并西川收买下的大木，教人制造‘木牛’‘流马’，搬运粮米，甚是便利。牛马皆不水食，可以昼夜转运不绝也。”众皆惊曰：“自古及今，未闻有‘木牛’‘流马’之事。不知丞相有何妙法，造此奇物？”孔明曰：“吾已令人依法制造，尚未完备。吾今先将造木牛流马之法，尺寸方圆，长短阔狭，开写明白，汝等视之。”众大喜。

1959年，美国人约瑟夫·恩格尔伯格和乔治·戴沃尔制作的第一台工业机器人尤尼梅特（Unimate）在美国诞生（图1-11）。约瑟夫·恩格尔伯格因此被人们称为“机器人之父”。

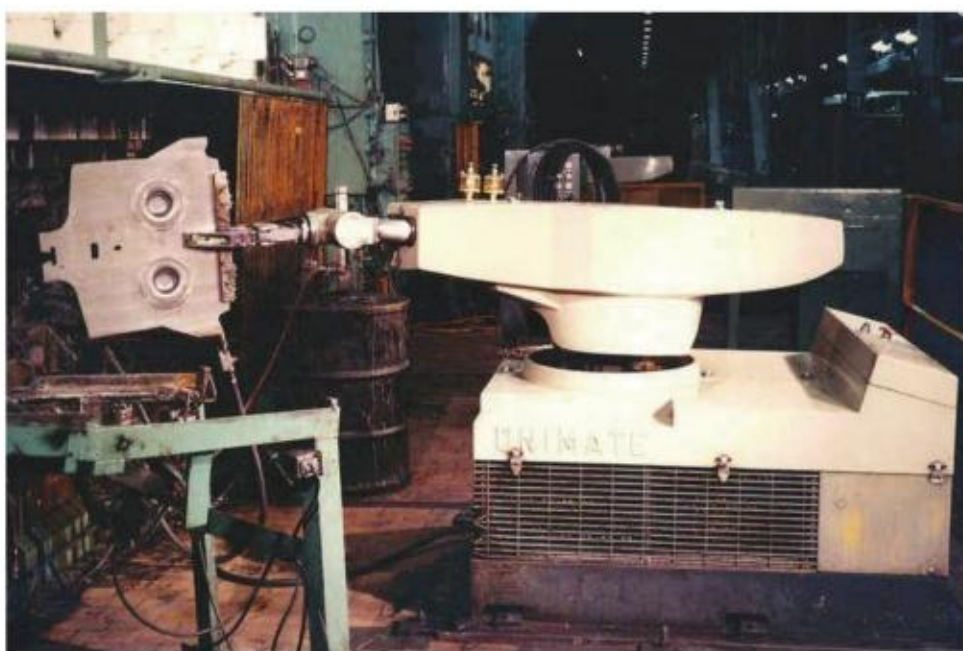


图1-11 尤尼梅特机器人

因为工业机器人有着精度高、不需要休息、耐高温、不怕污染与中毒等特点，所以一出现就引起了制造行业，特别是汽车制造行业的关注，各大公司纷纷订购工业机器人，将它们安装在自己的生产线上，承担包括焊接、刷涂油漆、黏合以及装配等任务。使用机器人后，提高了生产线的自动化水平，提升了企业生产效率。

讨论 & 交流

请查阅相关资料撰写一篇关于机器人概念产生与机器人发展历史的小论文，并与同学讨论交流。

从尤尼梅特机器人开始，人类研发的机器人已经历了三个发展阶段：

第一代机器人是程序控制机器人，它完全按照事先规定好的步骤进行工作。图1-12给出了第一代机器人的两种基本控制方式，一种是把操作步骤编成程序，然后用程序控制机器人；另一种是人进行动作示范，机器人记录每一步操作，经学习后进行自我控制。

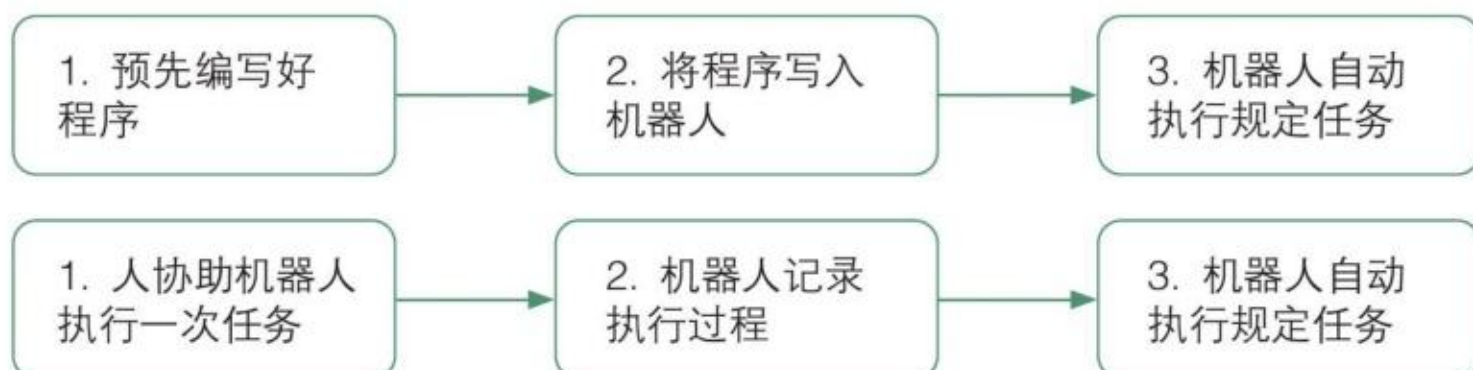


图1-12 第一代机器人的两种控制方式

第一代机器人能成功地模拟人的某些动作，特别是在生产中的一些动作，能够按照指令移动到指定位置，开展简单的拆装操作，因此可以把它们称为人类的“操作工具”，如图1-13所示。



图1-13 第一代机器人

第一代机器人的缺点是它只能循规蹈矩地完成规定动作，无法应对突发状况，一旦环境情况略有变化，就会出现偏差，甚至可能会对现场的人员造成危害。

第二代机器人除了可以执行规定动作外，自身还配备有多种传感器，如视觉传感器、触觉传感器和听觉传感器等。这种机器人通过传感器获取外部的环境信息，并实时进行分析和处理，然后在此基础上对动作进行控制和调整。由于它能随着环境的变化而改变自己的行为，故称为自适应机器人，图1-14给出了一个可以调整自我位置的第二代机器人示意图。

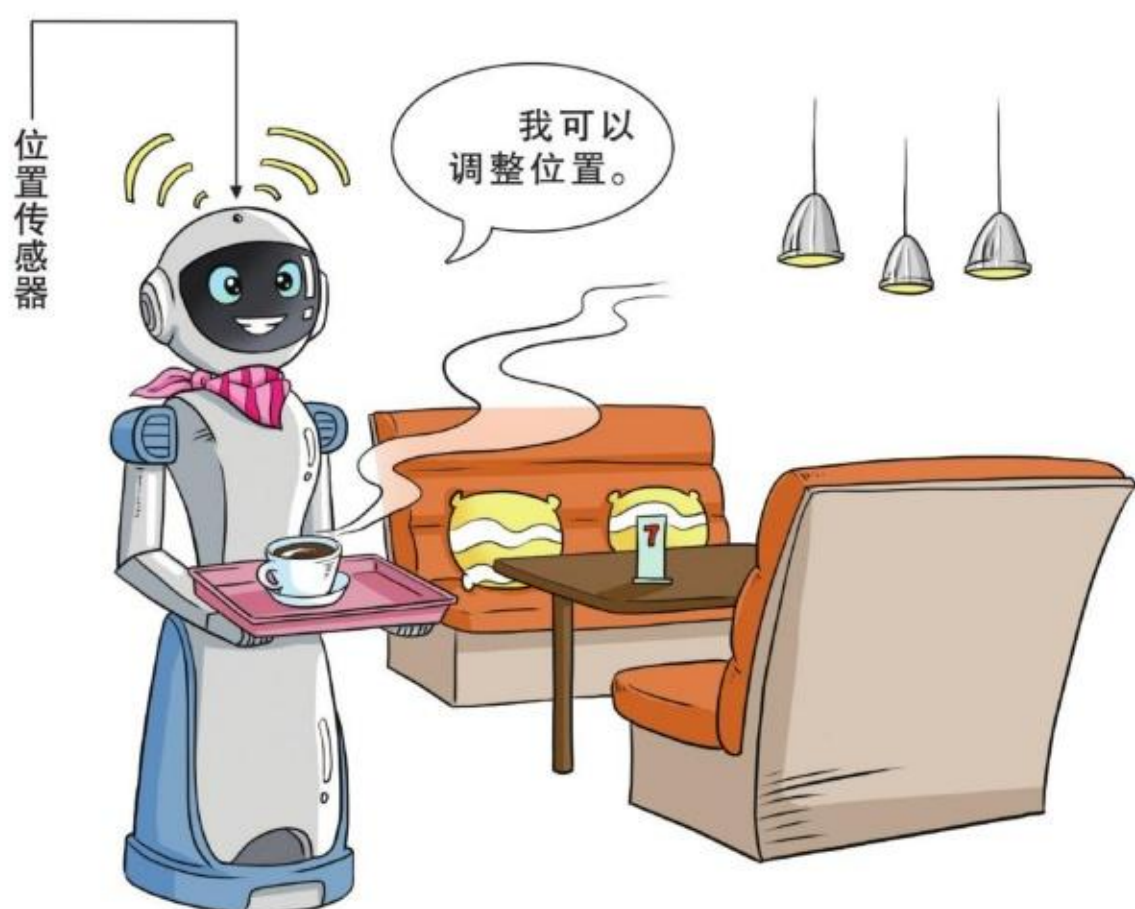


图1-14 第二代机器人

第三代机器人是指具有类似于人类智慧的智能机器人，如图1-15所示。它具有感知环境的能力，配备有视觉、听觉、触觉、嗅觉等感觉器官，能从外部环境中获取有关信息，能对感知到的信息进行处理，并由此调整自己的行为，以便更好地完成任务，同时防止对现场的人员造成危害。

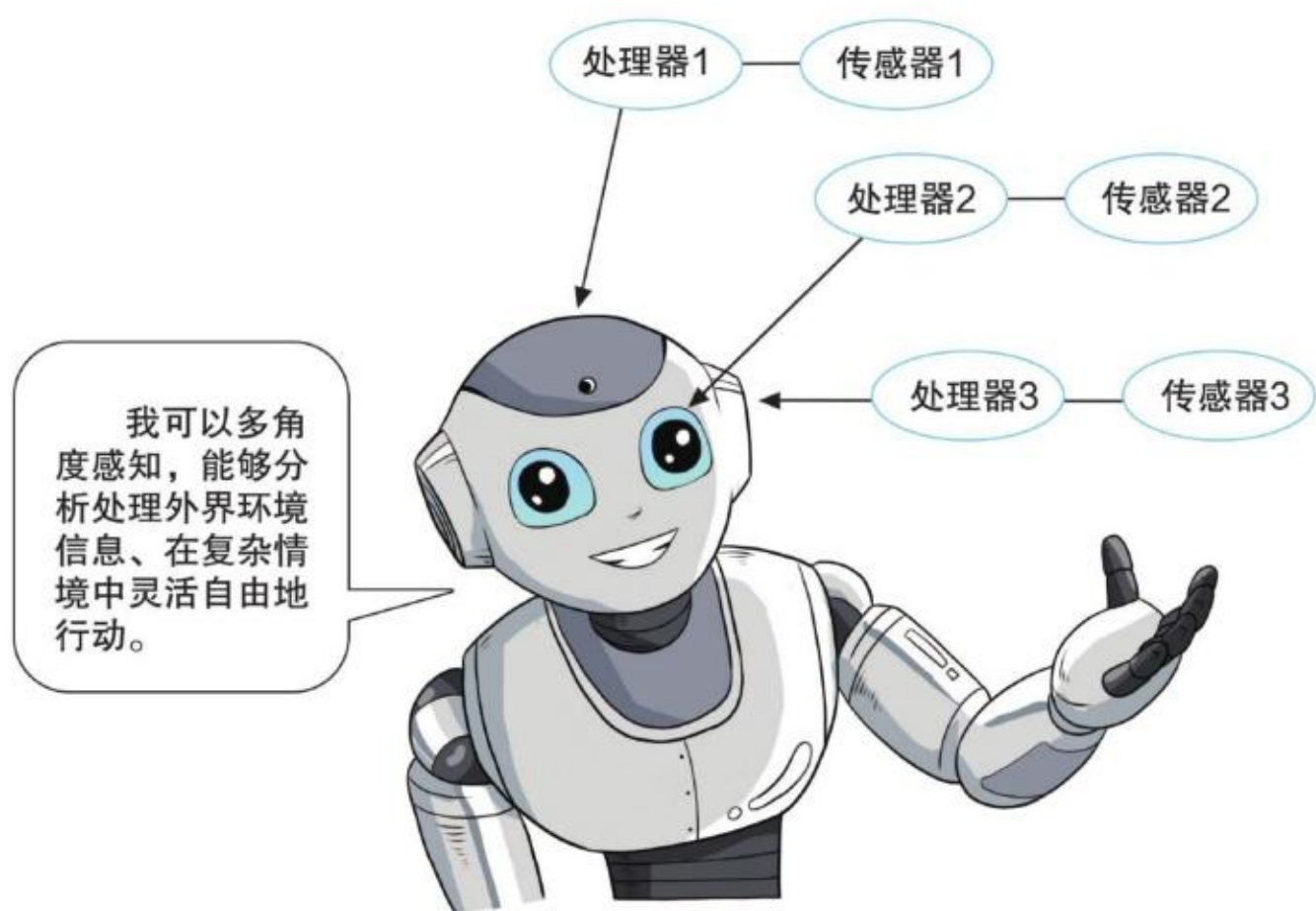


图1-15 第三代机器人

智能机器人与其他机器人最大区别在于它具有感觉、反应和思考三个要素，如图1-16所示。智能机器人通过传感器拥有类似于人类的眼睛、耳朵、鼻子和舌头等感觉外界环境的感觉功能器官；其运动功能可以借助轮子、履带、支脚、吸盘、气垫等移动机构来完成，可以适应平地、台阶、楼梯和坡道等不同的道路环境；思考功能则通过计算机的信息处理过程完成，可以应对突发的环境因素。下页图1-17形象描绘了具有感觉、反应和思考功能的智能机器人。

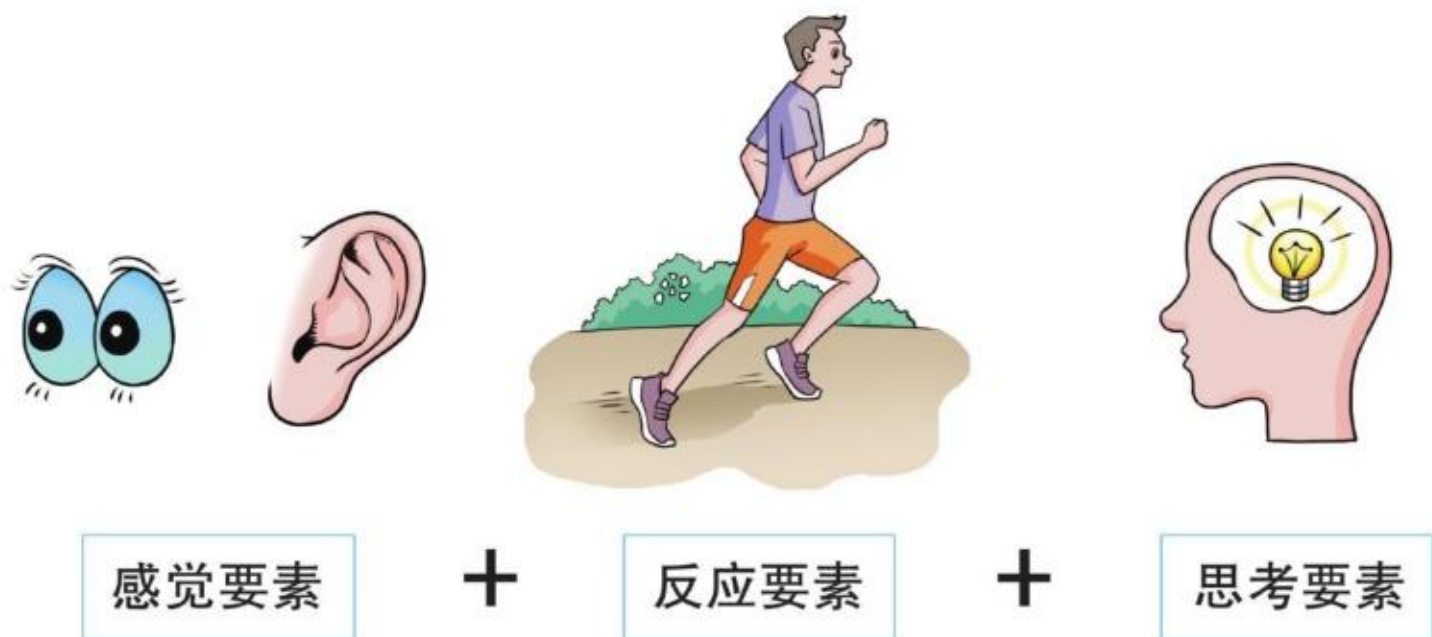


图1-16 智能机器人三要素

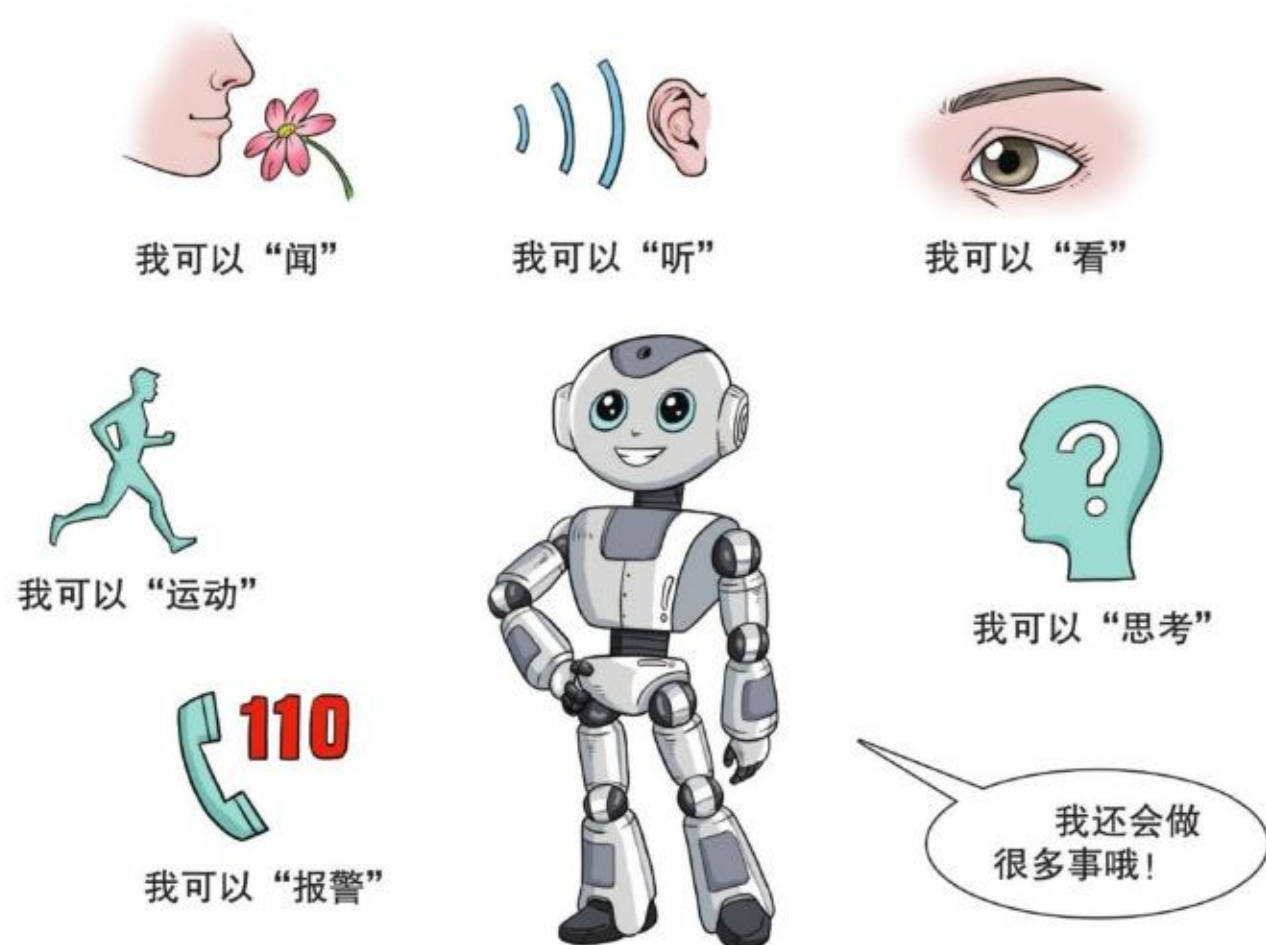


图1-17 具有感觉、反应和思考功能的智能机器人示意图

讨论 & 交流

机器人经历了哪三个发展阶段？预测一下未来机器人的发展方向。

三、机器人三定律

1942年，美国作家艾萨克·阿西莫夫首次在自己的科幻小说中提出了机器人三定律：

- (1) 机器人不得伤害人类，或因不作为使人类受到伤害。
- (2) 除非违背第一定律，机器人必须服从人类命令。
- (3) 除非违背第一及第二定律，机器人必须保护自己。

相应的示意图如下页图1-18所示。

有趣的是，在阿西莫夫创作一系列机器人科幻小说并提出机器人三定律时，世界上还没有现代意义的机器人，当然也没有机器人学和机器人公司。随着技术的不断进步，机器人从科幻走向了现实，并在越来越多的领域得到广泛应用。在这个过程中，人们发现机器人三定律虽然只是小说中的写作片段，多年来却被科学家当作事实上的科研准则，因此有人称之为“机器人学的金科玉律”。

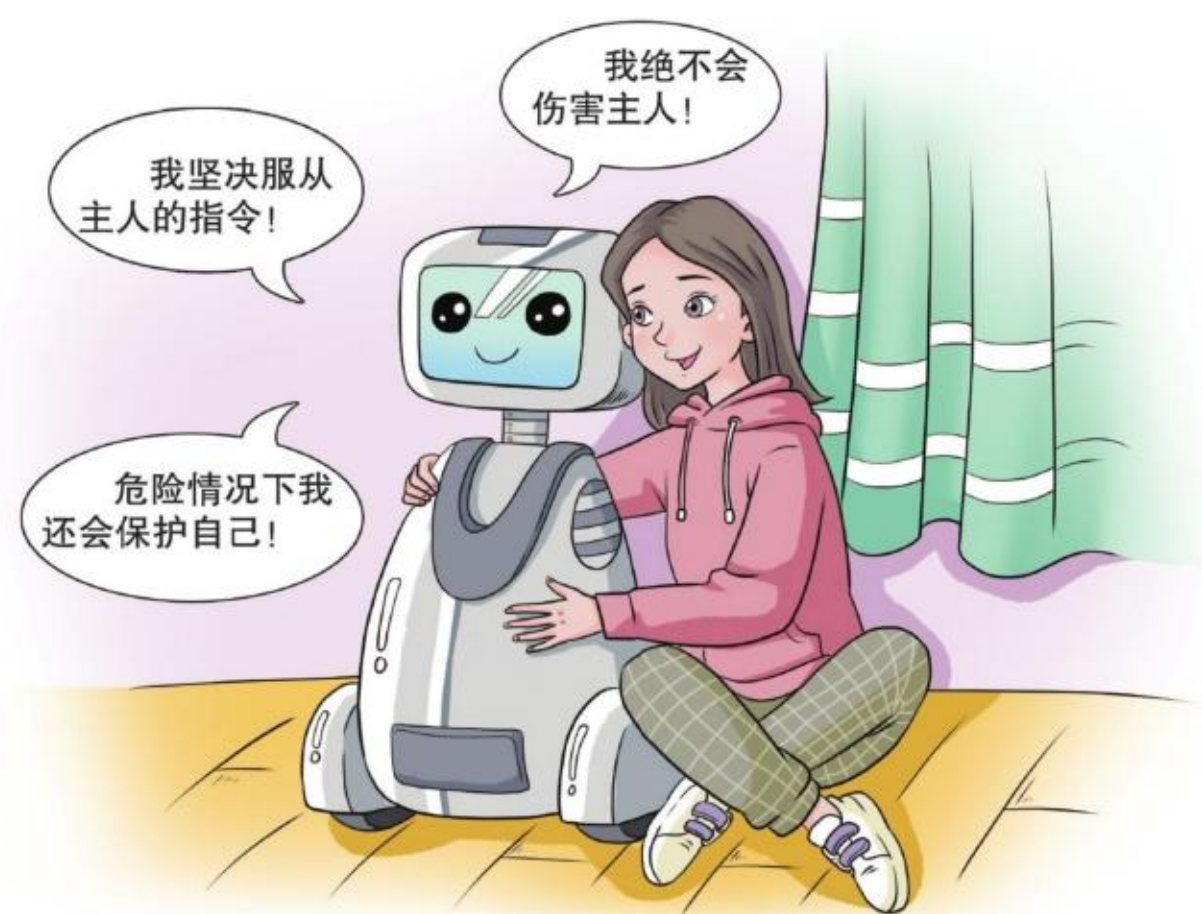


图1-18 机器人三定律示意图

下面对机器人三定律进行一一解读：

(1) 第一定律的核心思想是“安全”，换句话说，我们可以信赖机器人，因为它是人类制造的。机器人是为了人类具有忠实的朋友伙伴而制造的，它绝对不会伤害人类，在困难和危险面前应该挺身而出拯救人类，而不是放任不管。图1-19是能够照顾病人的机器人“护士”。另外，为了防止机器人失控，机器人身上应该始终有一个关闭开关，人类在紧急情况下随时可以让机器人“休克”。



图1-19 能够照顾病人的机器人“护士”

(2) 人类制造机器人，赋予它思想和感知思考能力，就是希望机器人可以服从人类的指令进行工作，因此第二定律的核心思想是“契约精神”。人类和机器人之间是主人和“随从”之间的关系，主人和“随从”之间具有相应的责任和义务的契约。如果机器人的行为反常，它必须能够合理解释原因。

(3) 机器人在保护人类的前提下，还要学会保护自身的安全，因此第三定律的核心思想是“自我保护”，即机器人在自身遇到危险的时候知道避让。另外，机器人不应该冒充人类，需要控制自己的行为。

讨论 & 交流

机器人三定律主要包括哪些内容？你认为对未来的机器人还应该增加哪些约束？

如图1-20所示，机器人具有很多优点：

- (1) 机器人可以在具有放射性物质等的危险环境中工作，无须考虑生命安全问题。
- (2) 机器人能够同时执行多个任务。
- (3) 机器人不需要缴纳保险，也没有假期。
- (4) 机器人可以提高生产效率、产品质量和产品的一致性。
- (5) 机器人不知疲倦，不会有心理疾病，能够快速完成工作。
- (6) 机器人不需要工资和奖金。

图1-20同样列出了机器人具有的一些不可克服的缺点：

- (1) 机器人缺乏应急能力，不能够很好地处理突发事件，除非事先为其安装了相关的应急方案。
- (2) 机器人难以具有创新、决策和理解能力，工作能力受到限制。
- (3) 机器人出问题很可能会伤害操作人员或是一同工作的机器。

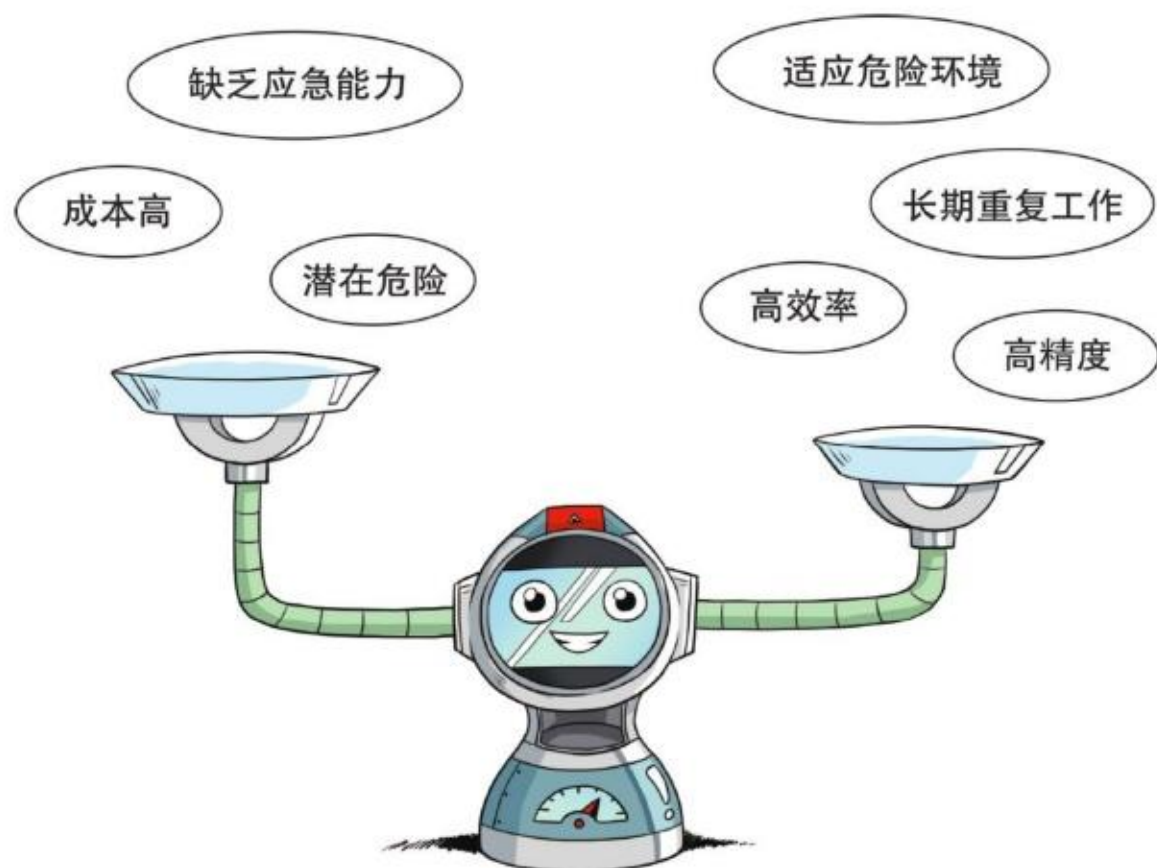


图1-20 机器人的优缺点

讨论 & 交流

请你预测未来的机器人将具有哪些优点和缺点。

四、机器人的智能化

智能化是机器人的重要发展方向，涉及计算机、电子、机械、自动控制、光学和仿生学等多种学科及人工智能技术和传感技术的集成。智能化以后的机器人可获取、处理和识别多种信息，自主地完成复杂的操作任务。下面分别介绍智能化机器人的三个特点。

1. 语言能力

智能机器人要与人类进行日常交流，就必须拥有人类的语言系统，适应人类的语言沟通方式。对智能机器人的交流功能进行不断优化，这将是机器人发展的趋势。机器人通过计算机程序控制，能够轻易地掌握不同国家的语言，可以与不同国家的人们进行交流。同时智能机器人还要具备自我学习功能，因为生活中的语言词汇是不断变动的，机器人要会与人类一样与时俱进学习新出现的词汇语言，使得机器人的语言能力得到快速提升。图1-21给出了一个拥有多种语言系统的翻译机器人，它可以听懂世界上多国的语言，并在多种语言之间互译。

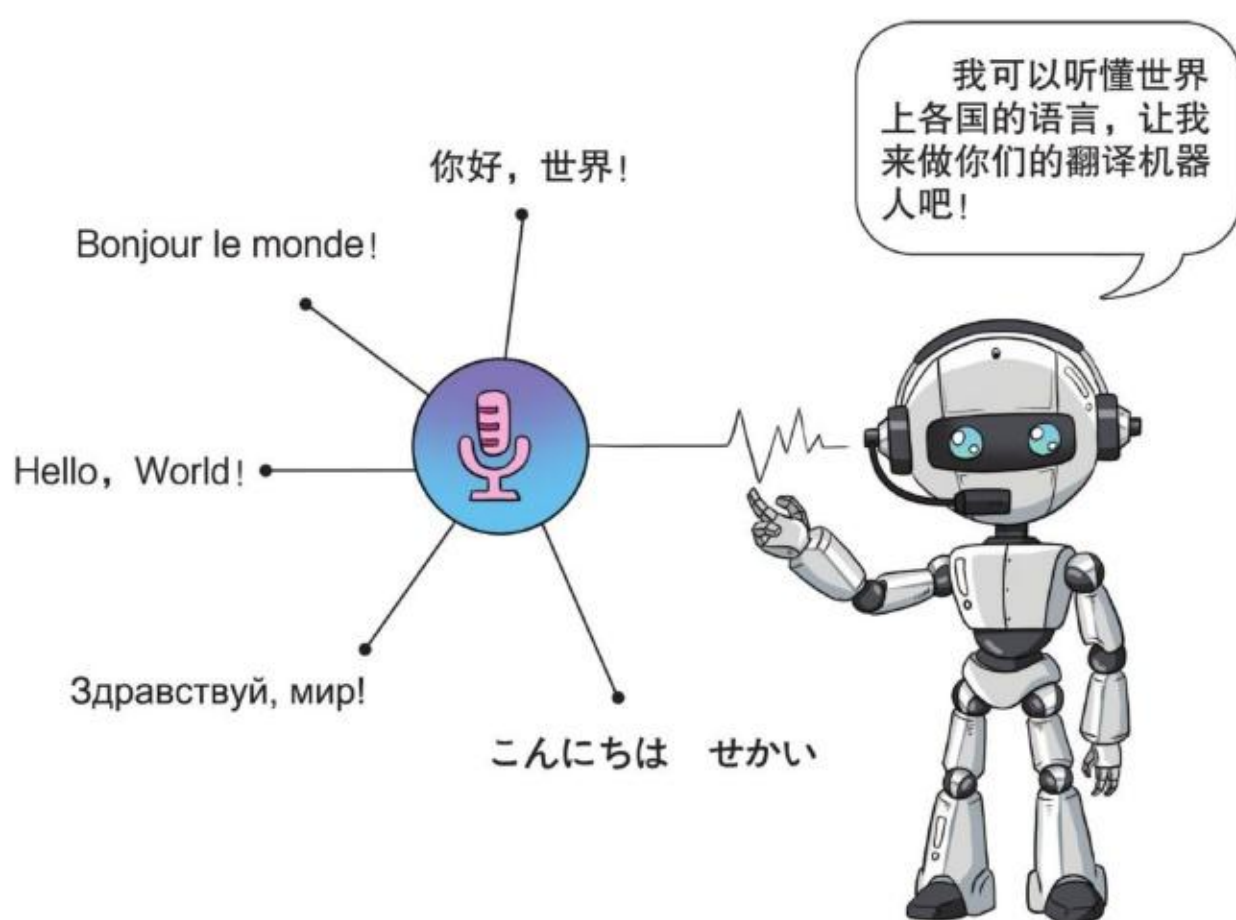


图1-21 拥有多种语言系统的翻译机器人

2. 响应能力

目前机器人的动作大多是模仿人类或动物做出招手、握手、走、跑、跳等各种动作，但这些动作很多时候会显得僵硬、笨拙。随着科技的进步，未来的机器人可能会拥有类似人类或动物的仿真皮肤、关节和肌肉，具有灵活的头脑，能对外界的刺激迅速做出反应，对面临的危险或者困难具有一定的认知。图1-22给出了一个可以捕捉老鼠的机器人，这种类型的机器人必须具有快速响应的能力。

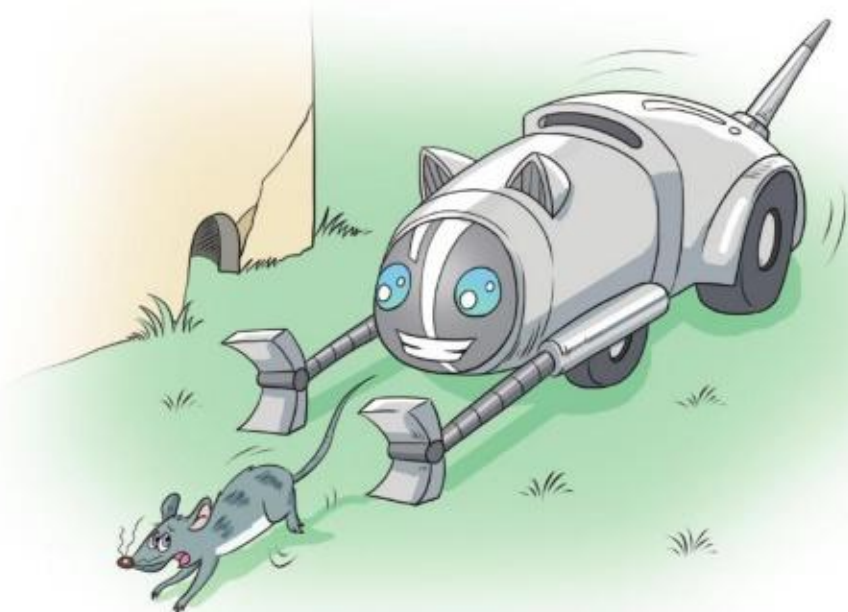


图1-22 可以快速响应的捕鼠机器人

3. 意识能力

意识可以说是智能的最佳表现，就像人饿了会找食物，渴了会喝水一样。当机器人发现自己能量不足时，能够自行前往充电，而发现自身存在故障时可以自行排除，拥有一定的类人意识有助于机器人自行完成许多工作。

人工智能是计算机科学的一个分支，就是通过计算机程序来模拟人类的思考过程，实现对人类智能的学习。将人工智能算法应用到机器人中，就可以使机器人像人类一样学习、感知、解决问题，增强语言理解和逻辑推理能力，进而大幅扩展机器人的应用场景。例如，人工智能机器人可以充当服务员，如图1-23所示；学习型人工智能机器人能够识别障碍物并且学会绕过障碍物，如图1-24所示。



图1-23 可以充当服务员的机器人

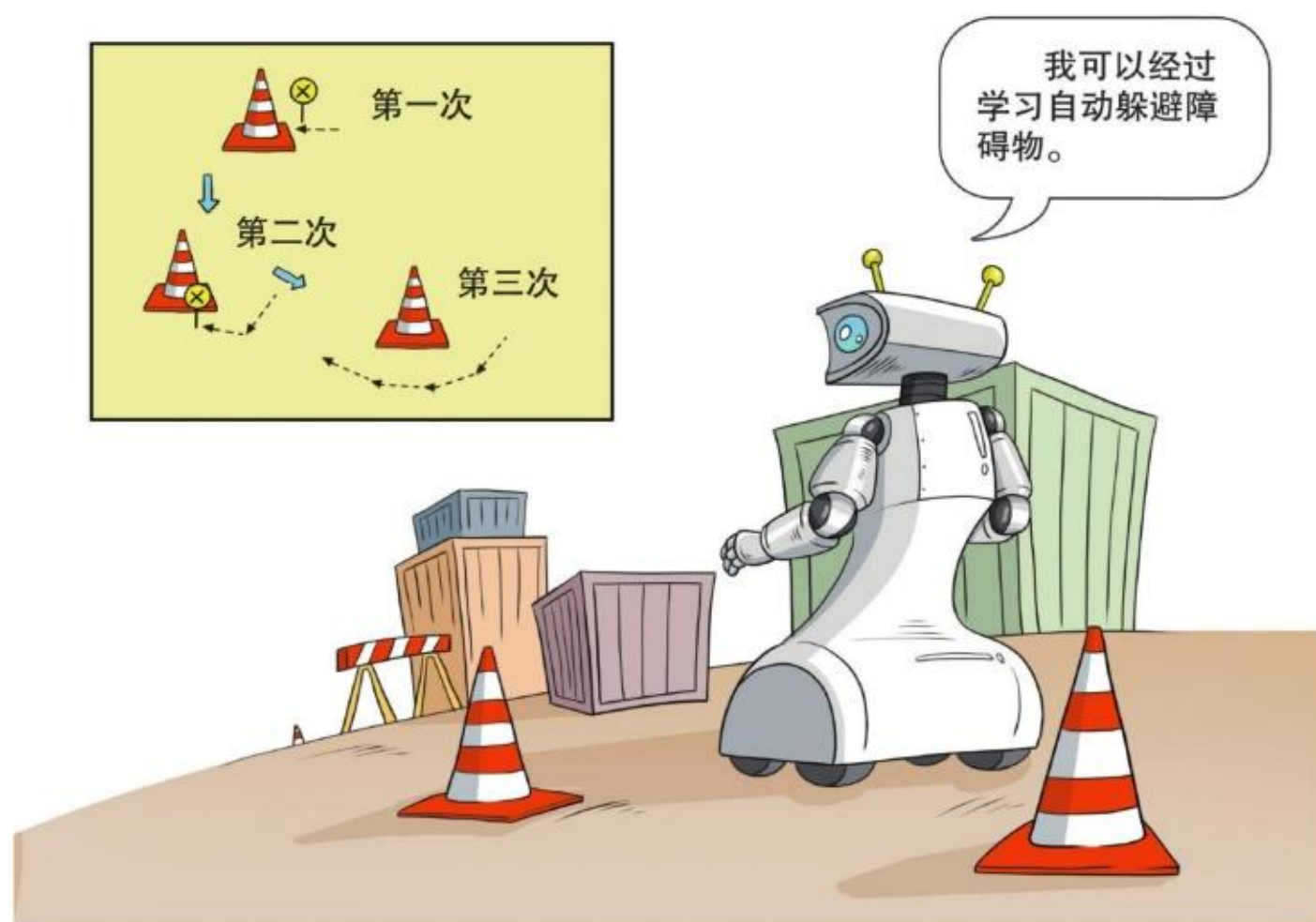


图1-24 学会躲避障碍物的智能机器人

讨论 & 交流

你认为智能机器人有哪些特点？

五、机器人引发的社会问题

值得注意的是，智能化会使机器人的行为具有一定的不确定性，如何将这种不确定性控制在可接受的范围内，不仅是技术问题，也涉及社会伦理问题，这些仍有待研究人员的探索。

首先，机器人在各个领域的广泛应用，会引起现有社会结构的变化。机器人在代替人类从事各种劳动的同时，又影响着人类自身的工作与生活。机器人很可能会在服务业、医疗行业等从前只能由人完成的工作领域大放异彩，这样从前人与机器的社会关系将会转变为人与机器人的关系，人们不得不去学习与机器人打交道，以适应这种工作生活方式，并改变原来固有的观念与思维模式。

其次，机器人在获得思考能力之后，会不会有一天奴役人类，甚至使人类灭绝。值得注意的是智能机器人，其智能也是由人类所制造出来的，无法产生出超越人类智力范围内的思想。即使将来机器人不听指挥了，人类也能研究出更加先进的技术手段去管控这些“不听话的孩子”。

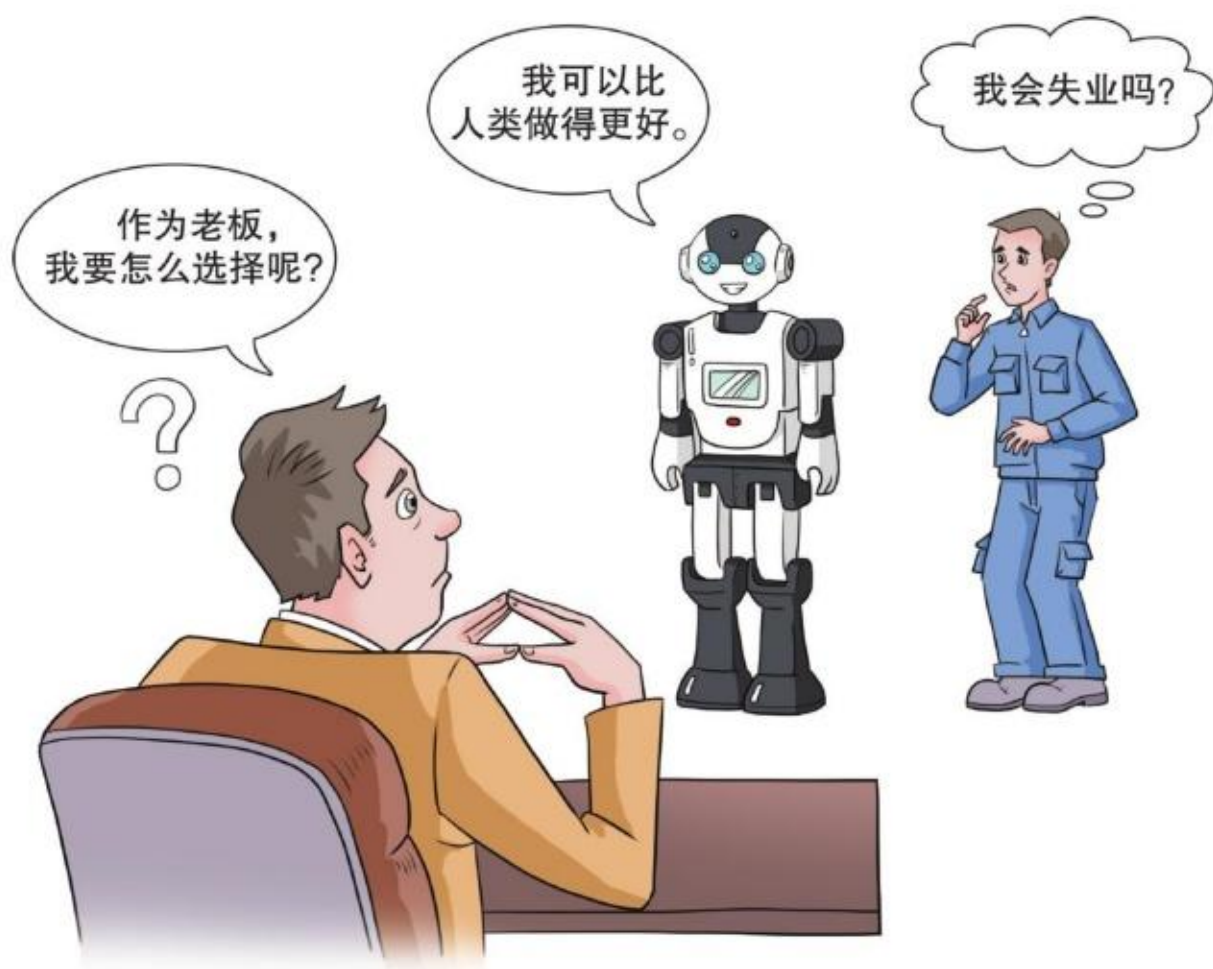


图1-25 机器人带来新的社会就业问题

同时，人们还担心机器人的过度应用导致自身的就业问题，如图1-25所示。机器人能够代替人类完成众多重复的体力或是脑力活动，在过去的几十年间，不断地有工作岗位被机器人所占据，特别是那些对于人类来说相对危险的工作，如在高温、粉尘、易爆环境或是太空、海底等环境中作业，以往人们以自己的健康为代价完成

这些工作。随着科技的进步、环保意识的增强以及对自身生活水平的要求提高，人们都希望能够在更加舒适的环境中工作，于是这类工作便逐渐被机器人替代，图1-26描绘了可以代替士兵站岗巡逻的机器人。



图1-26 可以代替士兵站岗巡逻的机器人

这些变化提升了人们的工作生活的品质。但随着餐厅服务、柜台收银、外科手术、金融交易等越来越多的行业或岗位开始使用机器人，很多人担忧自己会失业。如何应对这一问题，需要人类不断探索和研究。

讨论 & 交流

你认为智能机器人可能会引发哪些社会问题？

第 2 节 机器人的基本构成

学习目标

1. 理解机器人的基本构成
2. 理解机器人是一个复杂的系统
3. 学会区分机器人的感知、控制、驱动等环节

我们可能会惊叹于机器人能实现各种各样复杂的功能，这其实是因为机器人本身就是一个复杂的系统，需要各部分机构相互配合、协调运作。我们在本节将了解机器人的基本构成，以及各部分机构如何相互协作。

讨论 & 交流

你认为机器人系统中最重要的机构是什么，说明原因。

本书介绍的机器人系统主要由机械系统、感知系统、控制系统、驱动系统四部分组成。图 1-27 中机器人的基本结构包含了这些系统对应的各部分机构。

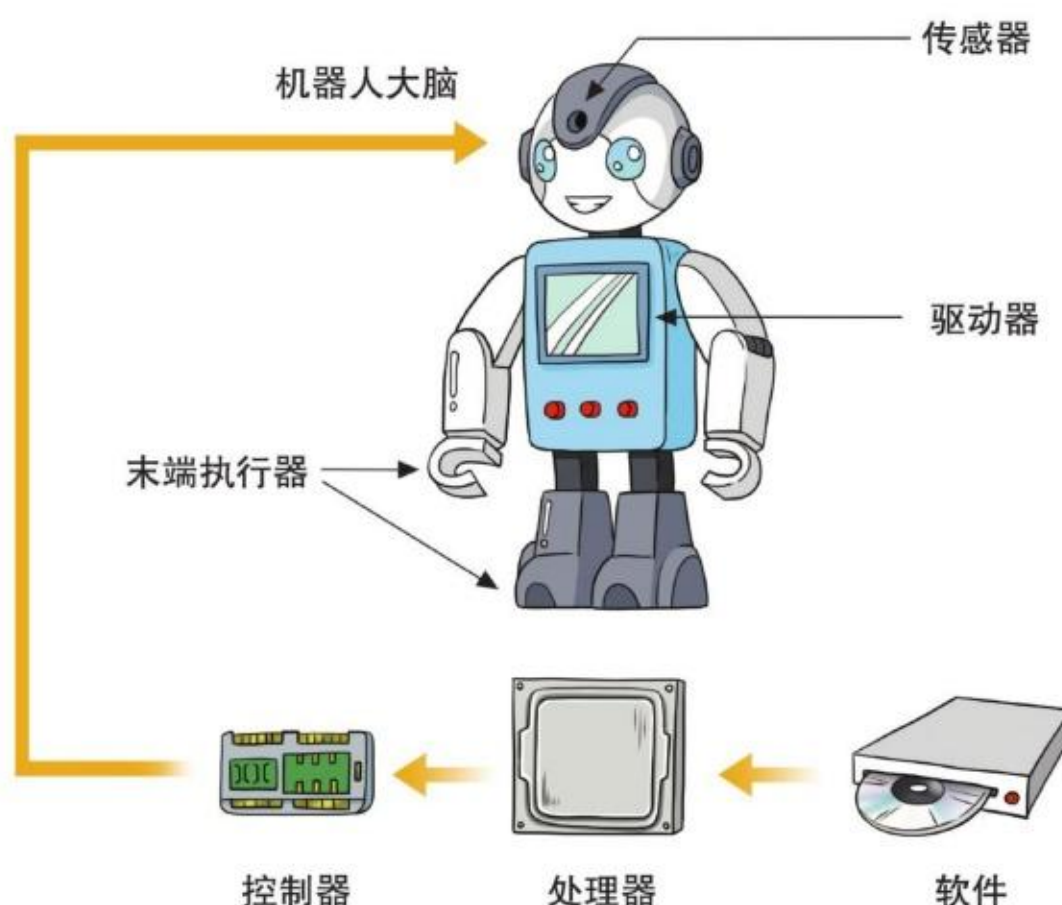


图 1-27 机器人的基本结构

一、机械系统

机械系统是机器人的硬件基础，就像是机器人的“骨架”。轮式机器人的轮子、空中机器人的螺旋桨、工业机器人的机械臂、人形机器人的躯干、外壳等都属于机器人的机械系统。机器人的机械系统的作用就相当于人的身体，是机器人必不可少的组成部分。



案例

在现代工业中，人们常常用机械手臂代替人手从事一些重复性的动作，这样的机械手臂也是机器人的一种，同时也是机械系统的典型例子。机械手臂的外形和结构都与人类的手臂相似，如图1-28所示。机械手臂的底盘用于固定，就像人的手臂需要固定在躯干上一样；和人的手臂类似，机械手臂也有若干个活动关节以及充当前臂和后臂的连杆；夹持器就像手掌和手指，是末端执行器，用来完成各种灵巧的动作，比如抓取、装配零件等。

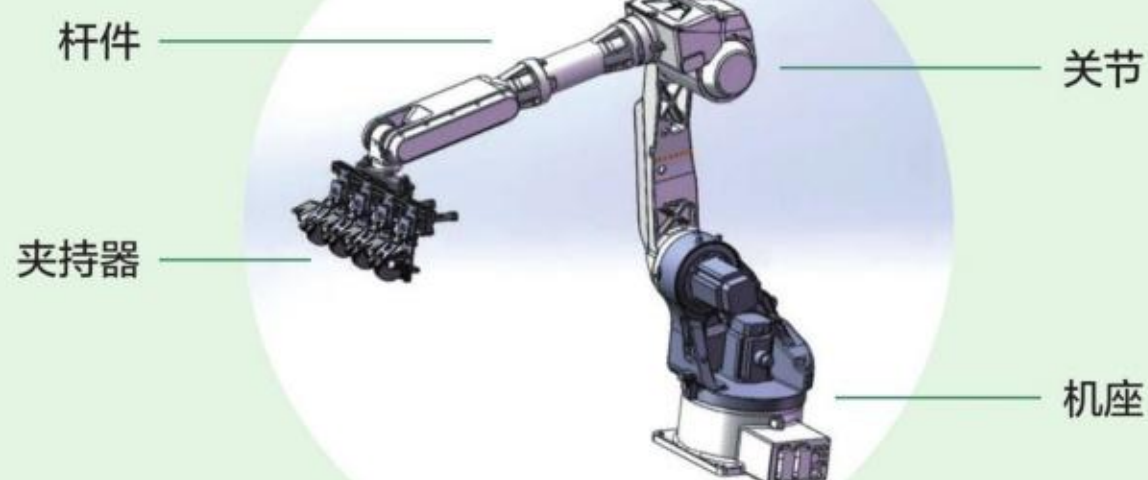


图1-28 机械手臂结构



讨论 & 交流

请同学们回忆曾经见到过的机器人机械机构，它们分别有什么用途？

二、感知系统

感知系统用于收集机器人内部状态信息和外部环境信息，通常由各种各样的传感器组成。对于人类来说，即使在黑暗中，我们也能知道自己身体的四肢在哪个位置以及是什么姿态，这是因为在人体的肌腱内有中枢神经系统的神经传感器，这些传感器将信息传输

给大脑，大脑利用这些信息来测定肌肉的收缩情况以及位置。机器人与人类类似，凭借内部的各种传感器，控制器可得知各个关节和连杆的位置状态，从而计算出机器人当前的姿态。

正是有了感知系统，机器人才能像人一样拥有“听觉”“视觉”“嗅觉”“味觉”和“触觉”。图1-29是机器人通过内置摄像头感知盒子里放置的物品情况的一个实例。

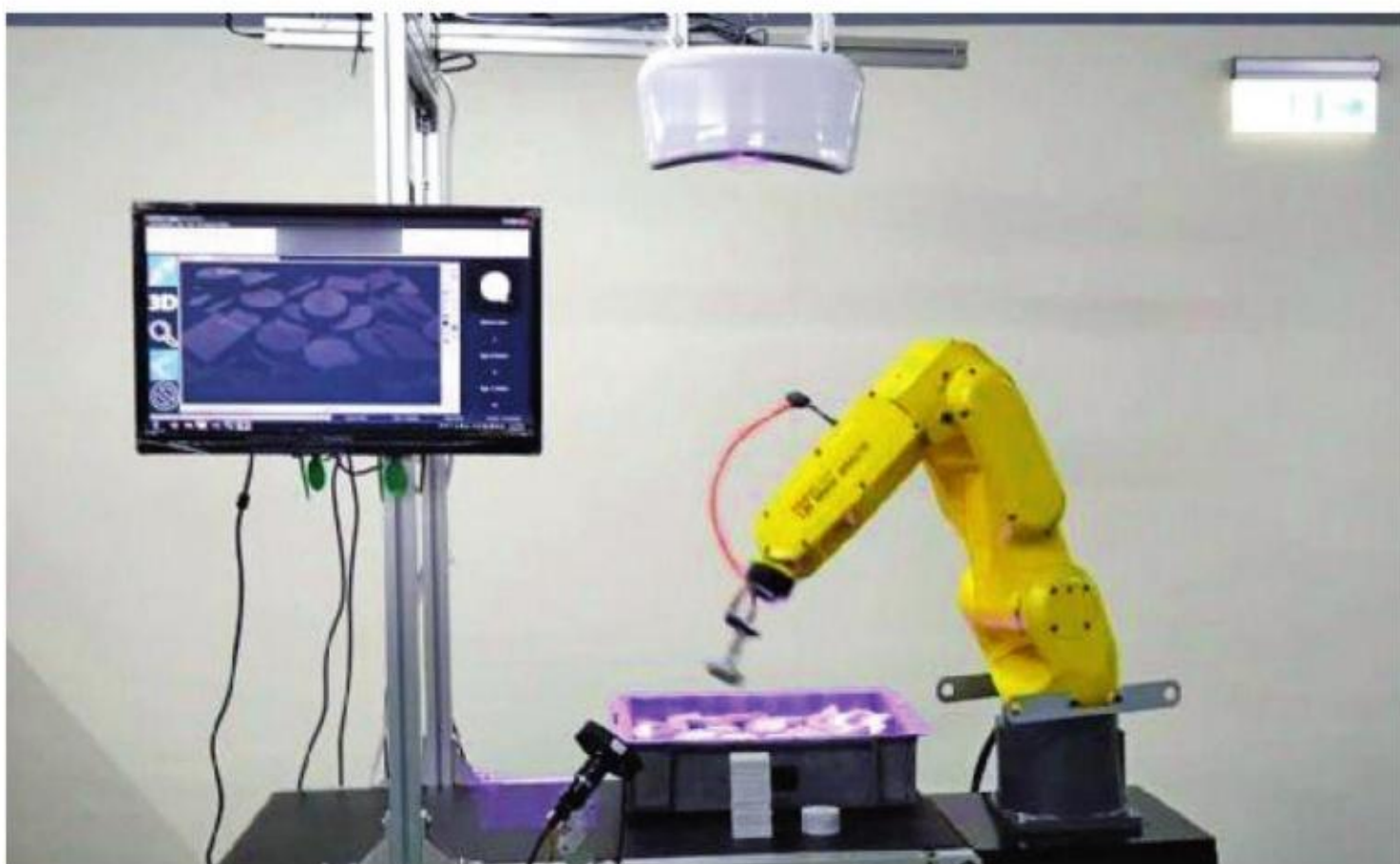


图1-29 视觉系统



讨论 & 交流

机器人可以通过传感器来获取声音、影像、温度、压力、距离等信息。请同学们列举出自己知道的传感器，它们分别能为机器人获取什么信息？

三、控制系统



图1-30 STM32F429IGT6
处理器

控制系统是机器人的核心，就像机器人的中枢神经系统，控制机器人的运行。控制系统的核心是处理器，就像机器人的大脑，一方面让整个控制系统协调运行，另一方面用来控制机器人关节的运动，例如，什么时刻哪个关节以多大的速度朝哪个方向运动到什么位置。

图1-30是控制系统中常用的一种处理器，这种处理器具有低功耗、低成本和高性能的特点，可以快速处理数据，发出指令。

四、驱动系统

能量守恒定律告诉我们：能量既不会凭空产生，也不会凭空消失，它只会从一种形式转化为另一种形式，而能量的总量保持不变。机器人运动需要能量，能量就来自机器人驱动系统。

? 思考 & 练习

请思考机器人的驱动系统内的能量转化形式。

机器人的驱动系统相当于人的肌肉，当大脑给出指令之后，肌肉带动着关节和骨骼进行相应的运动，以完成所给任务。驱动系统由能源（通常包括电源和气动能源如压缩气体）和各种各样的驱动器组成，常见的驱动器有伺服电机、步进电机、直流电机、气缸及液压缸等。图1-31描绘了一个简单、常见的机器人驱动系统，主要由电池和电机构成，电池提供电力，电机带动机器人的末端执行器——手臂、下肢以及肢体各部件等运动。



图1-31 常见机器人驱动系统

五、人机交互系统

人机交互系统是操作人员与机器人联系并控制机器人的装置，通常包括输入设备（键盘、鼠标、触摸屏等）和输出设备（显示屏、扬声器、指示灯等）。

通过人机交互系统，可以了解机器人的内部信息并给机器人下达指令。图1-32中机器人胸前的屏幕可以完成人机交互功能。



图1-32 机器人的人机交互系统



讨论 & 交流

请讨论机器人的人机交互系统的必要性，如果缺少人机交互系统，机器人能否完成指定工作？

六、环境交互系统

机器人环境交互系统是实现机器人与外部环境中的设备相互联系和协调的系统。既包括机器人从外部设备中获取信息，也包括机器人对外部设备进行操作。图1-33中机器人发现路面的废纸并捡起来的过程就是一个环境交互系统的工作实例。



图1-33 机器人在清扫垃圾

第 3 节 机器人的自由度



学习目标

1. 理解自由度的概念
2. 了解简单机械机构自由度的内涵
3. 了解自由度对机械结构功能和设计难度的影响

人不同关节运动范围不同，灵活程度也不同。例如，腕关节几乎可以朝各个方向转动，但肘关节无法像腕关节一样灵活。机器人的运动需要类似人的关节结构，本小节将介绍用来衡量机器人灵活程度的指标——自由度。



拓展阅读

什么是刚体？

在物理学中，理想刚体是一种具有有限尺寸并且可以忽略形变的固体。在外力作用下处于平衡状态的物体，如果物体的变形不影响其平衡位置及作用力的大小和方向，则该物体可视为刚体。绝对刚体是不存在的，因为任何物体在力的作用下都会发

生形变。当形变程度相对于物体本身的几何尺寸来说极其微小，或者形变对物体运动过程的影响可以忽略时，该物体可以被看作刚体。例如，课桌和椅子，在正常使用时形状不会产生变化，因此在讨论课桌和椅子的自由度时，可以将它们看作刚体。

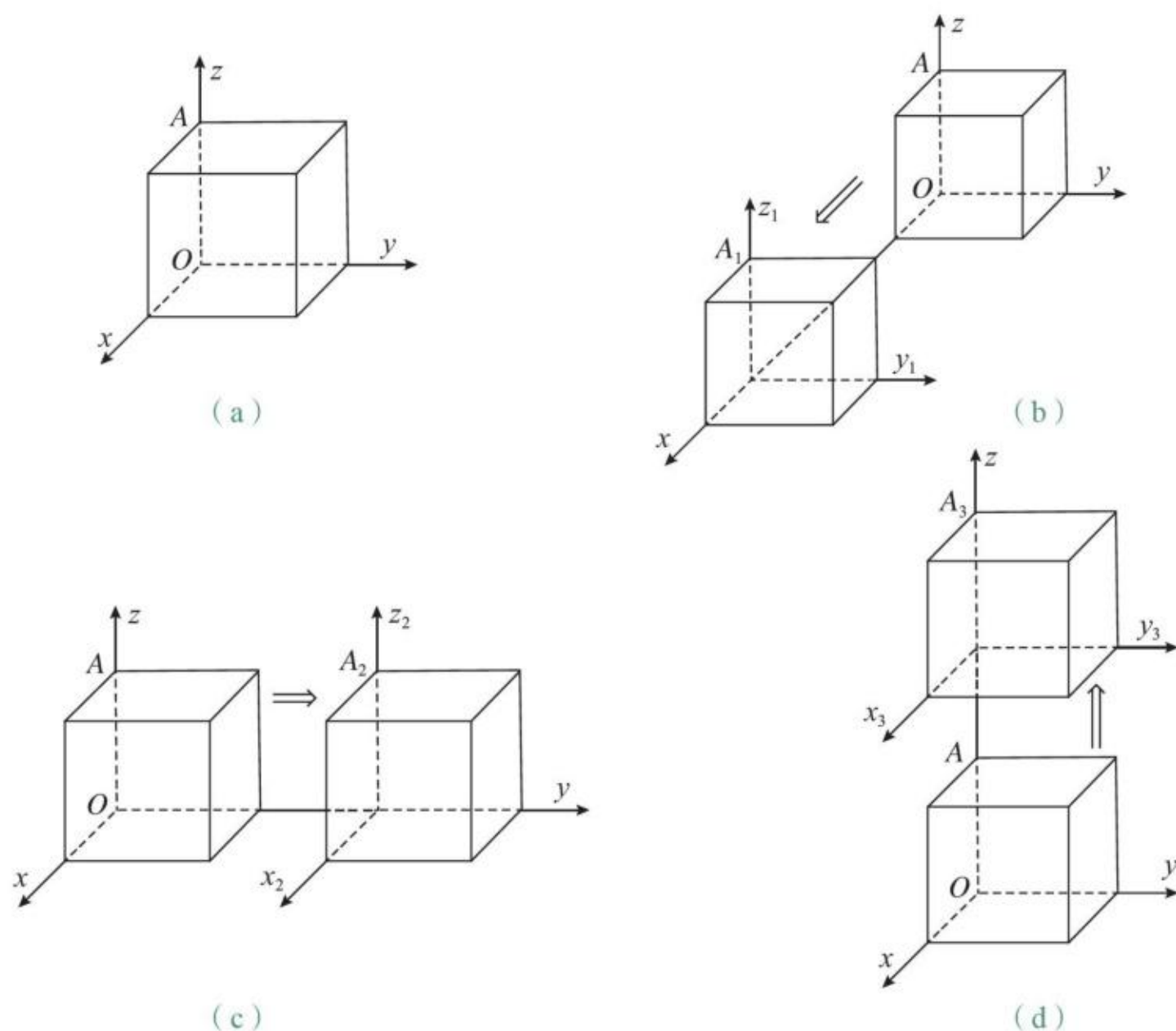
自由度可以用来衡量机器人运动的灵活程度，由机器人的机械结构决定。通常将物体能够相对坐标轴进行独立运动的数目称为“自由度”。通常认为机器人的机械结构是由刚体组成的，下面以长方体刚体为例，说明机器人自由度的概念。

平移自由度

将长方体刚体放置在空间直角坐标系中，它可以沿着坐标轴 x 、 y 和 z 三个方向进行平移运动，所以它有3个平移自由度，如下页图1-34所示。

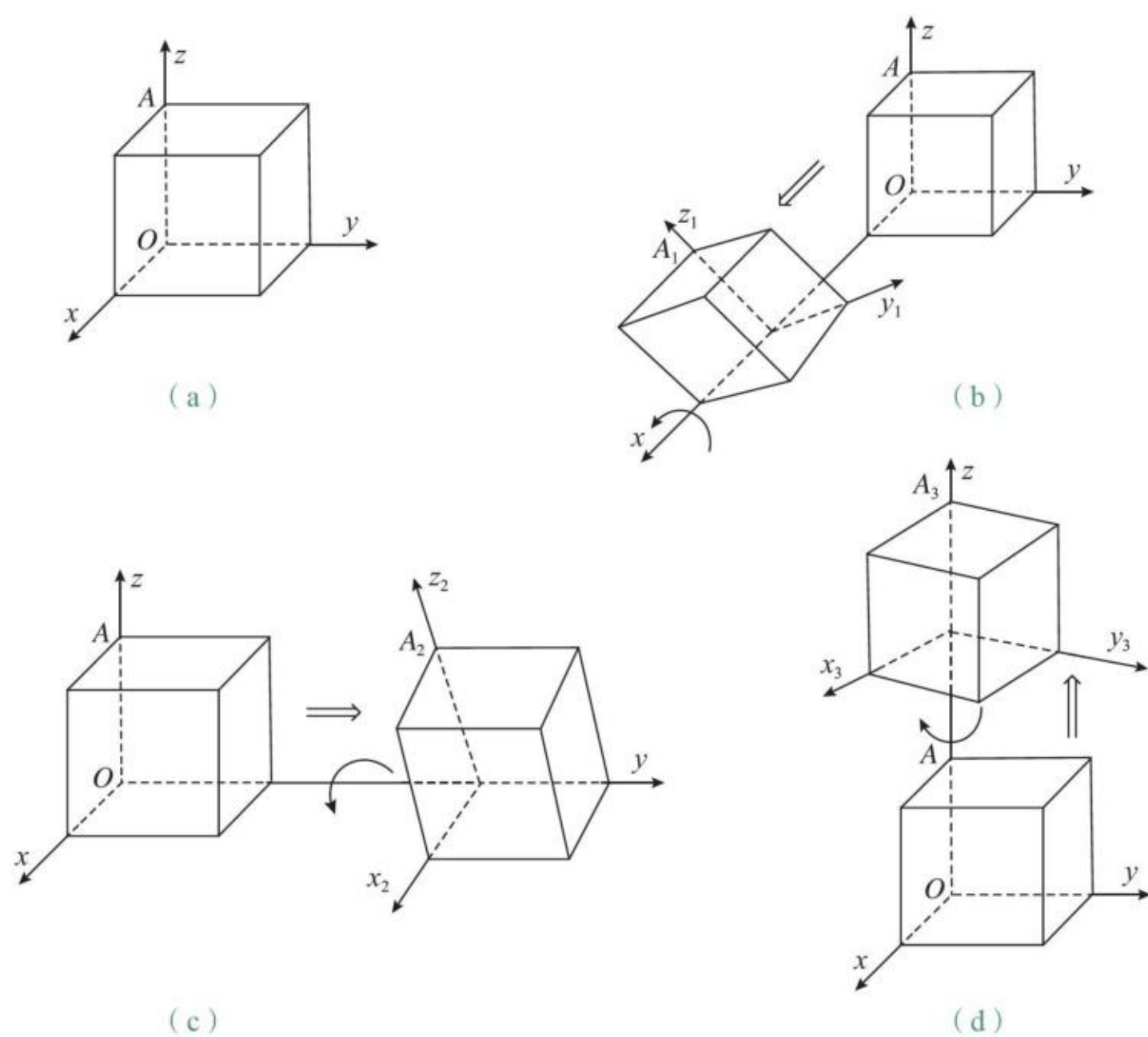
旋转自由度

长方体刚体可以绕着坐标轴 x 、 y 和 z 进行旋转运动，所以它也有3个旋转自由度，如下页图1-35所示。



(a) 长方体刚体位于空间直角坐标系原点；(b) 长方体刚体沿 x 轴平移；
(c) 长方体刚体沿 y 轴平移；(d) 长方体刚体沿 z 轴平移。

图 1-34 长方体的平移自由度



(a) 长方体刚体位于空间直角坐标系原点；(b) 长方体刚体沿 x 轴旋转；
(c) 长方体刚体沿 y 轴旋转；(d) 长方体刚体沿 z 轴旋转。

图 1-35 长方体的旋转自由度

根据图1-34和图1-35，长方体刚体在空间直角坐标系中能够进行3种平移运动和3种旋转运动，共6种运动方式，所以这个长方体刚体的自由度为6，它的所有运动都可以分解为这6种运动方式的叠加。

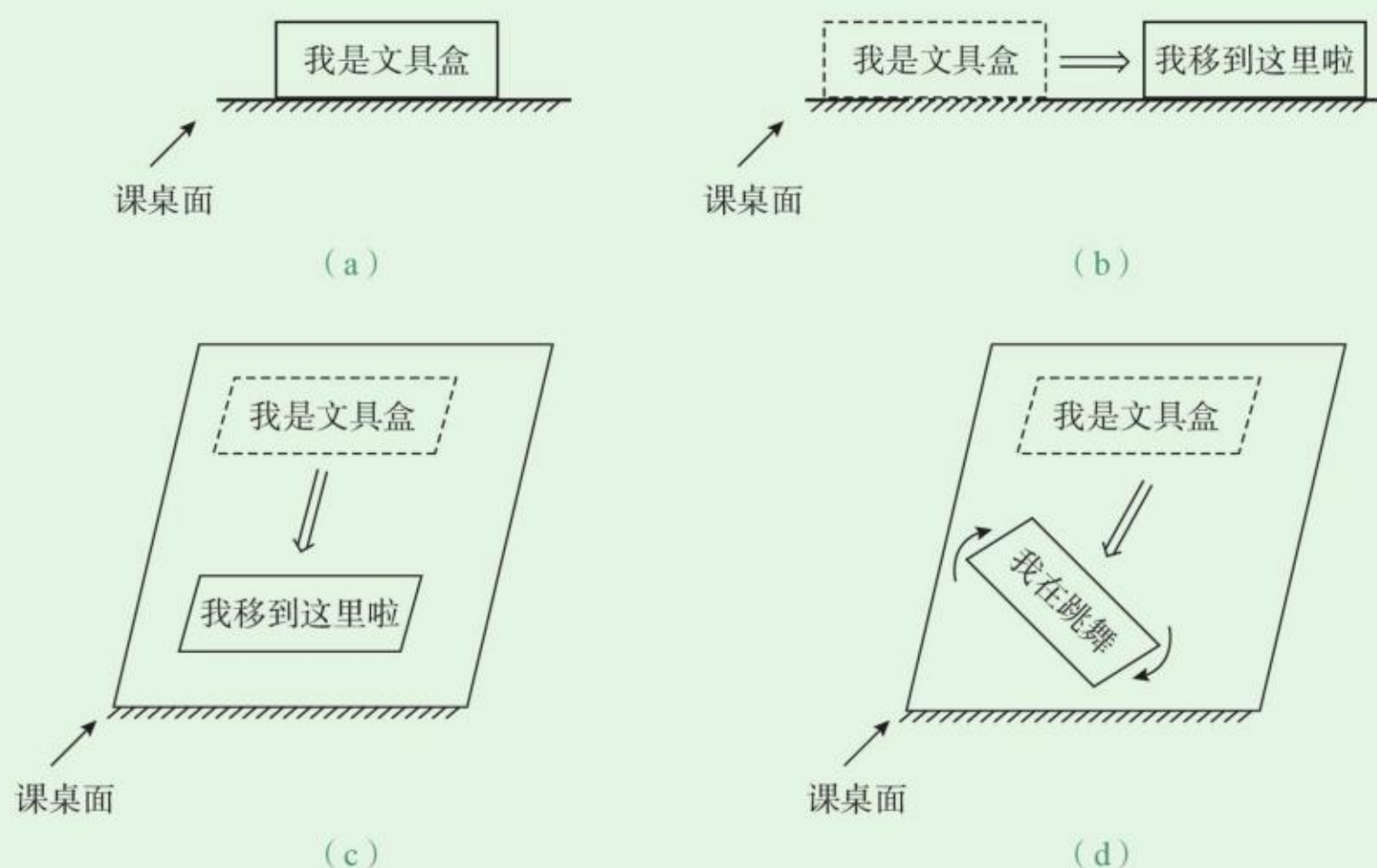
事实上，单个物体在空间内一般都具有6个自由度，但多个物体组合在一起时，由于相互制约，自由度有可能会减少。



案例

文具盒沿课桌运动的自由度

将文具盒的一个面紧贴着课桌运动，如图1-36所示，这个文具盒将失去1个平移自由度和2个旋转自由度，剩下3个自由度。



(a) 文具盒静止在桌面； (b) 一个左右平移自由度；
(c) 一个前后平移自由度； (d) 一个旋转自由度。

图1-36 文具盒紧贴着桌面运动

由上述例子可知，物体的自由度 F 可以通过计算物体可能的运动方式获得，也可以通过6减去物体被约束的运动方式($F=6-C$)求出， F 表示物体的自由度， C 表示物体被约束的运动方式数。

正常人的手臂从肩关节到手指末端共有约27个自由度，如果机械臂设计成和人的手臂相同的自由度，那么不管是机械结构还是电路协调控制都非常困难，因此设计中通常根据实际需要设定机械臂的自由度。

例如，图1-37中3自由度的机械臂可以把一个球体移动到有限三维空间内的指定位置。

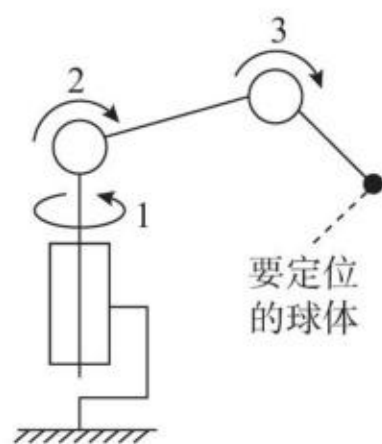


图1-37 使用3自由度机械臂将球放在指定位置

思考 & 练习

如图1-38所示，采用机械臂钻孔，需要对钻头进行定位定向，该机械臂至少需要多少个自由度？

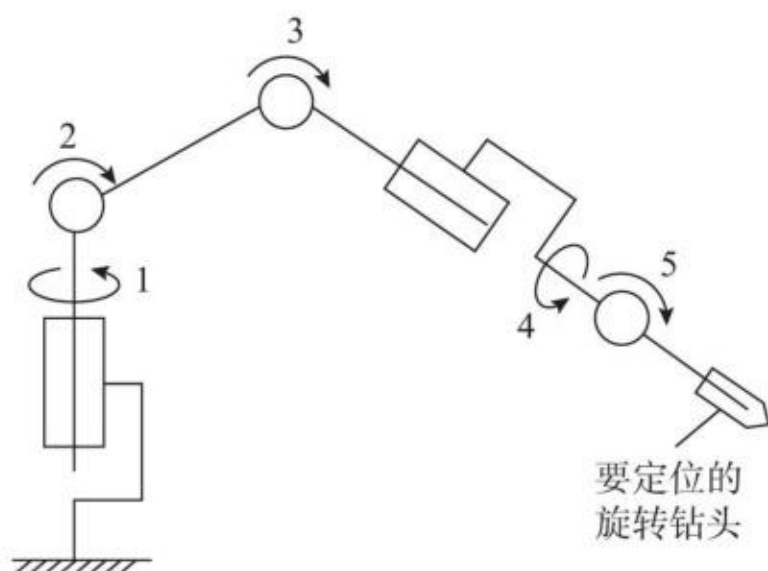


图1-38 使用机械臂对钻头进行定位定向



图1-39 机器人机械结构的运动自由度

在分析了刚体、机械臂的自由度之后，再来分析图1-39中较为复杂的机器人自由度。

机器人自由度，通常是各个能够独立运动的关节的自由度数目之和，可以用来衡量机器人的灵活性。表征图中机器人自由度的公式如下：

$$\text{机器人自由度} = \text{头部自由度} + \text{躯干自由度} + \text{四肢自由度}$$

在机器人自由度的控制方面，常规做法是用若干个电机来控制关节，每个电机对应一个自由度，由控制器统一控制并协调工作。

第4节 机械传动机构



学习目标

1. 理解机械传动的内涵
2. 掌握简单的齿轮传动比的计算方法
3. 学会分析常见连杆传动装置的结构及应用

机器人能完成各种各样复杂的动作离不开精巧的机械设计，在机械设计中常用到各种传动机构，例如齿轮传动、连杆传动等。图1-40是某机械表的机芯，其中复杂且精密的机械传动机构使得钟表能精确地计时。



图1-40 机械表机芯

一、传动机构

传动是指把动力从机器的一部分传递到另一部分，是一种能量的传递。传动可以通过机械结构、流体结构以及电气装置等方式进行。例如，液压千斤顶和气动千斤顶是常见的流体传动机构，连杆传动、齿轮传动、链传动、带传动、蜗轮蜗杆传动等都是常见的机械传动机构。



为什么需要传动？传动有什么作用？

1. 传动可以提高输出扭矩

扭矩也称为扭动齿轮的力矩，其力矩为作用力和力臂的乘积。在生产应用中，我们通常需要驱动质量很大的物体，需要很大的扭矩，但运动速度可以很慢，而一般电机扭矩都比较小但旋转速度很快。这时，我们可以设计适当的传动机构，用电机的速度“换”输出扭矩。在传动机构的能量传递过程中，扭矩和旋转速度（角速度）的乘积保持不变，即：

$$\text{扭矩} \times \text{旋转角速度} = \text{功率}$$

如图1-41所示，电机带动A齿轮转动，旋转

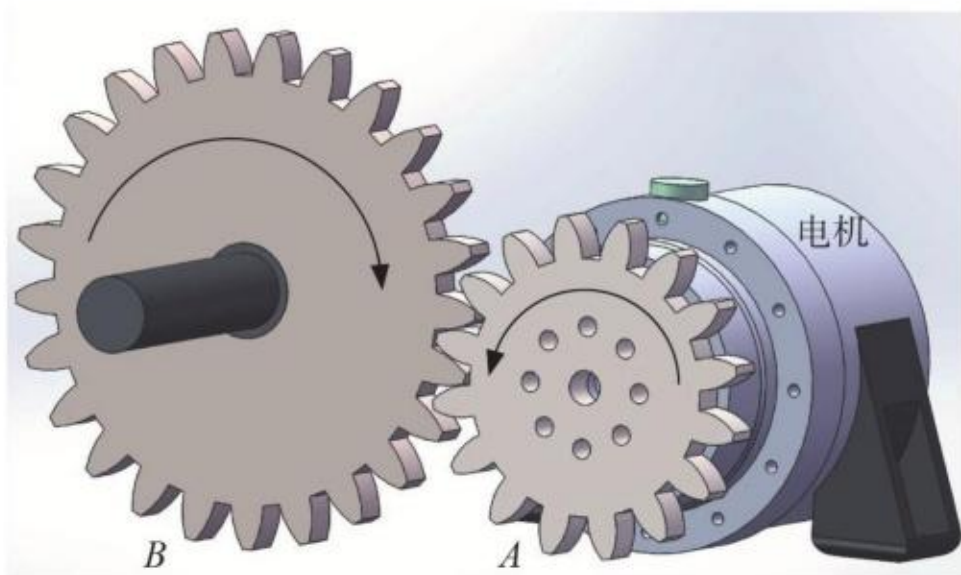


图1-41 齿轮传动示意图

角速度为 ω_A ，B齿轮半径较大，其旋转角速度 ω_B 低于A齿轮的旋转角速度 ω_A 。根据上面的公式，B齿轮的旋转扭矩将大于A齿轮的扭矩。

2. 传动可以改变驱动器输出的运动形式

图1-42所示的传动结构，电机带动齿轮运

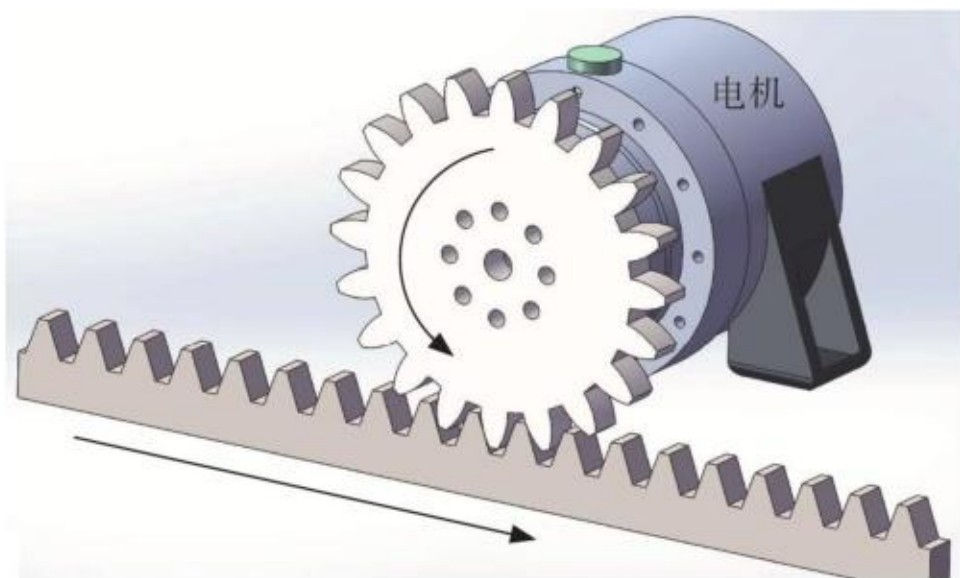


图1-42 齿轮齿条传动示意图

动，然后通过齿条把齿轮的旋转运动转化为直线运动。

3. 传动可以降低机械设计和安装的难度

如图1-43所示，左边黑色的电机需要驱动右侧的装置。如果直接连接，电机需要安装在右侧机构的旁边，要设计复杂的电机固定机构。若采用如图所示的同步带传动，可以简化固定电机的机构。

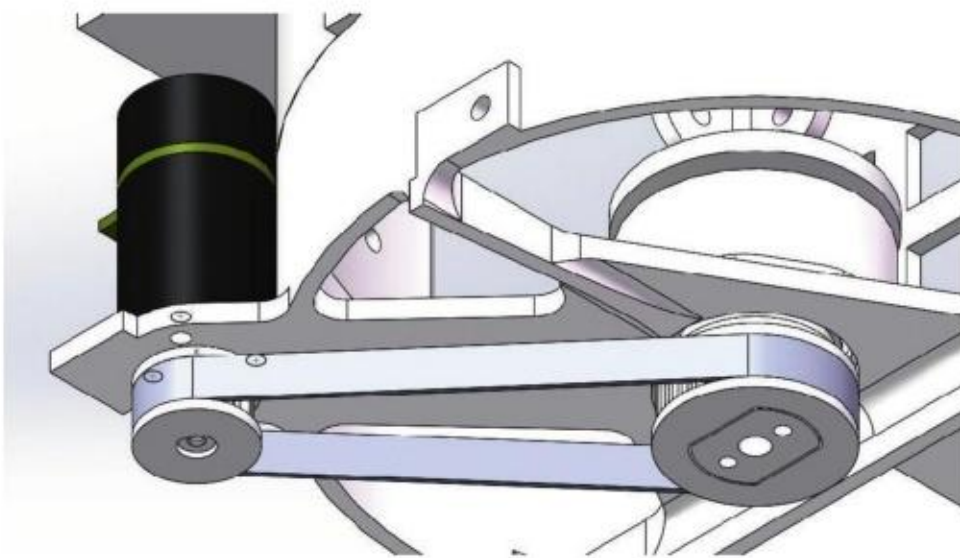


图1-43 同步带传动示意图

二、齿轮传动

齿轮机构由主动齿轮、从动齿轮以及机架组成，与驱动器相连的齿轮叫主动齿轮，被动转动的齿轮叫从动齿轮，固定齿轮组的机构叫机架。齿轮机构的功能是将主动轴的运动和扭矩，通过齿轮传递给从动轴，使从动轴获得所需要的转速和扭矩。

齿轮传动机构中主动齿轮角速度与从动齿轮角速度的比值称为齿轮传动比。图1-44所示的两个齿轮，假设主动齿轮的齿数为 Z_1 ，转速为 n_1 ，从动齿轮的齿数为 Z_2 ，转速为 n_2 ，那么可以算出传动比 i_{12} 为：



图1-44 齿轮传动比的计算

$$i_{12} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_2}{Z_1}。$$

由上式可知：

$$n_1 Z_1 = n_2 Z_2。$$

? 思考 & 练习

计算图1-45中齿轮的传动比 i_{12} 与 i_{34} ，并试着算出总的传动比 i_{14} 。其中 $Z_1 = 15$ ， $Z_2 = 30$ ， $Z_3 = 12$ ， $Z_4 = 36$ 。

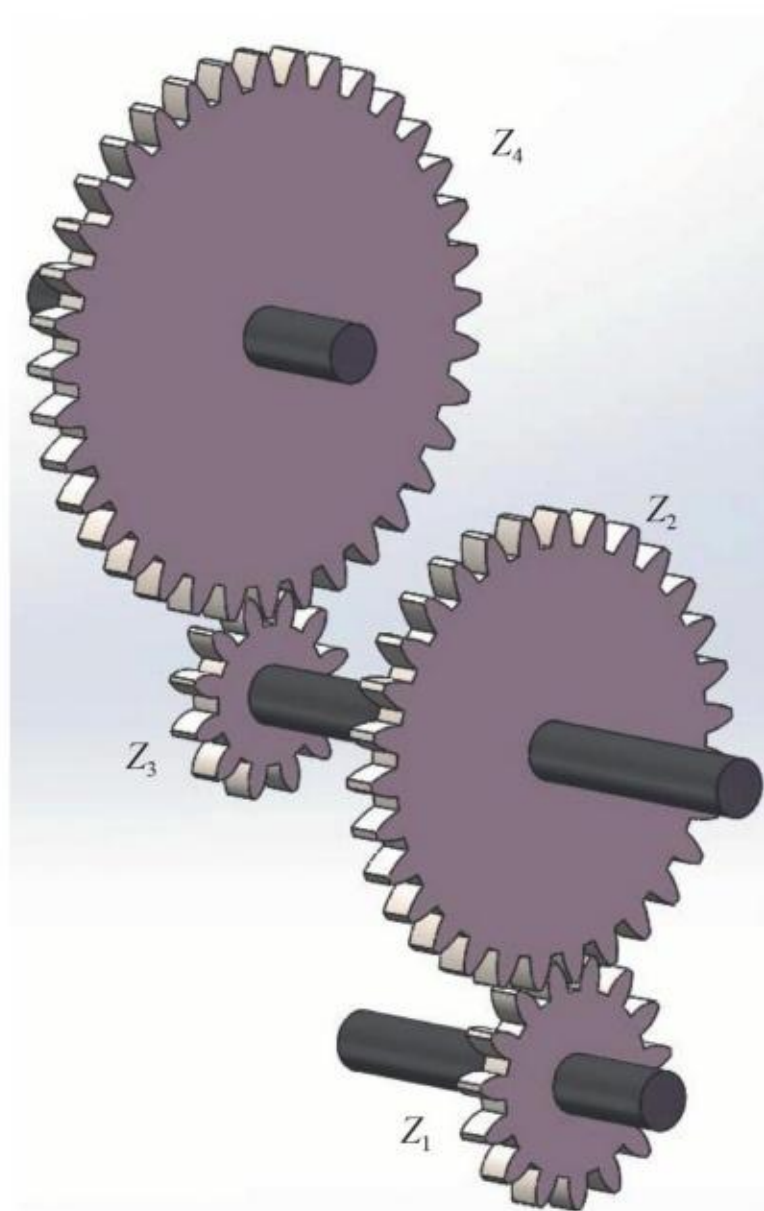


图1-45 传动比计算

三、连杆传动

1. 曲柄摇杆机构

曲柄摇杆机构包含了曲柄和摇杆，曲柄能整圈回转，摇杆能往复摆动。图1-46所示的缝纫机的踏板装置是一个典型的曲柄摇杆机构。

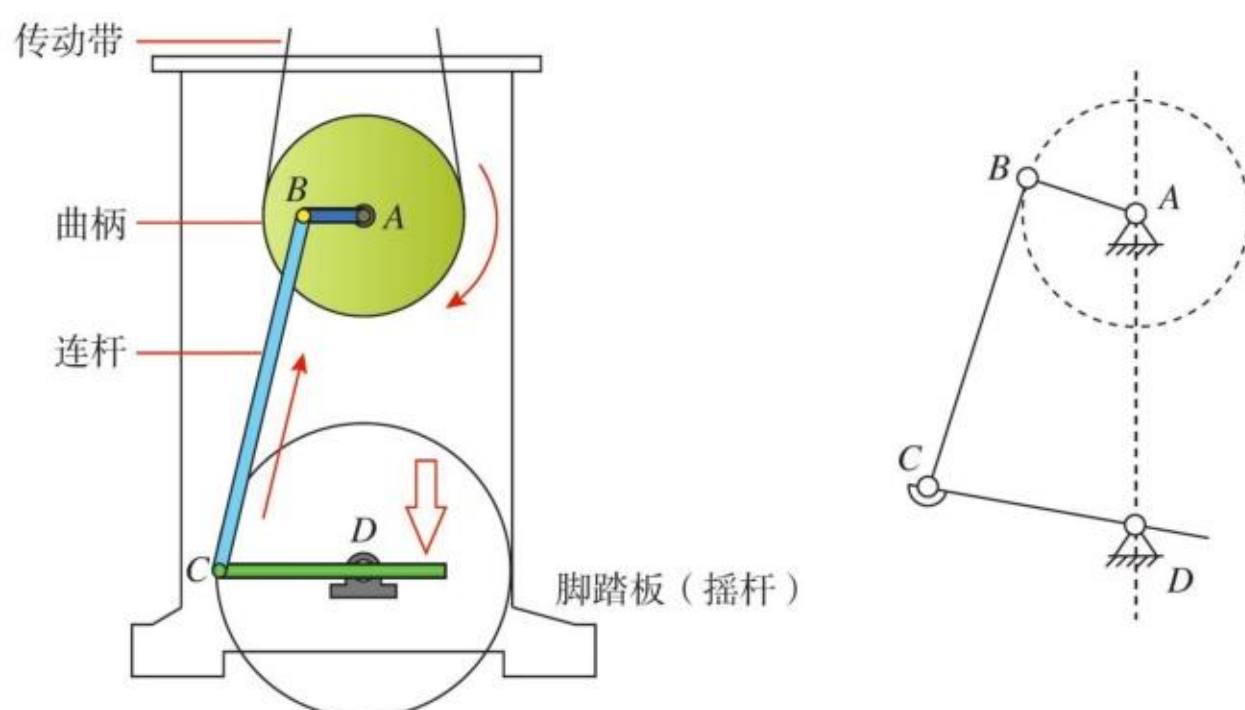
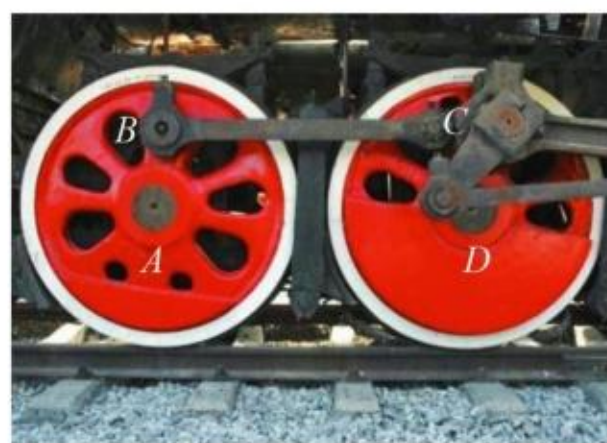


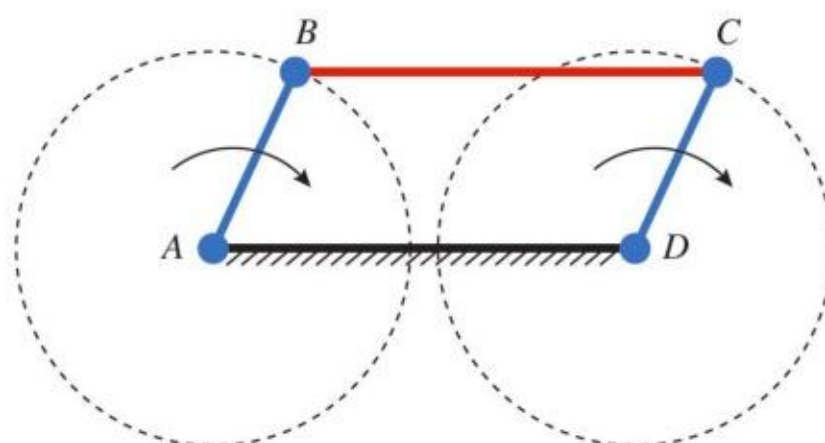
图1-46 缝纫机踏板工作示意图

2. 双曲柄机构

双曲柄机构包含两个曲柄。图1-47所示的火车车轮是典型的双曲柄机构，双曲柄和连杆组成了一个平行四边形，又称平行双曲柄机构。



(a) 火车车轮

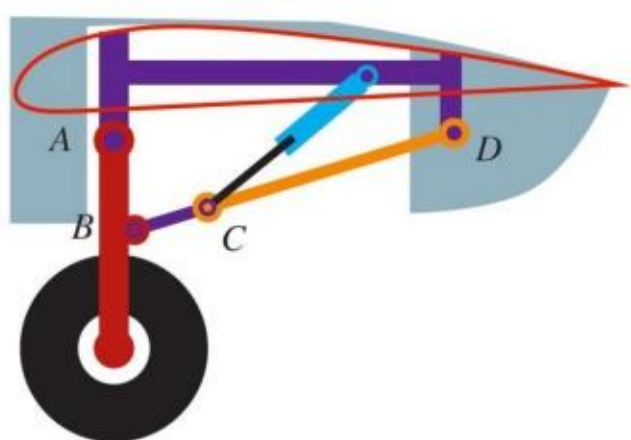


(b) 机构简图

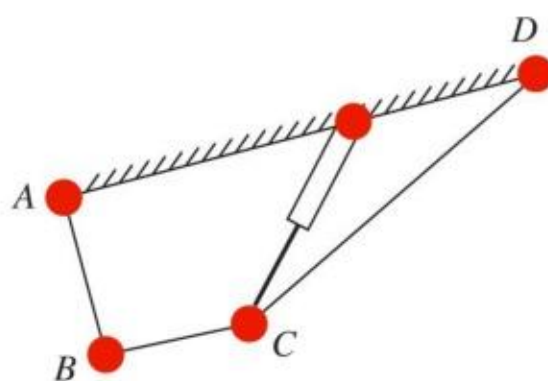
图1-47 曲柄机构

3. 双摇杆机构

双摇杆机构包含两个摇杆，下页图1-48所示的飞机起落架和图1-49所示的机械吊塔等都是运用了双摇杆结构。

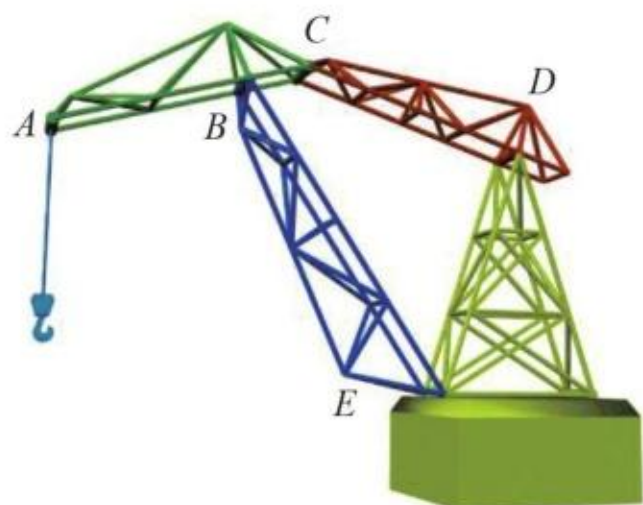


(a) 示意图

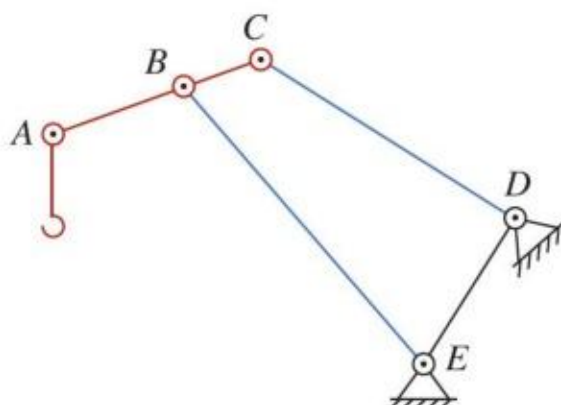


(b) 机构简图

图 1-48 飞机起落架



(a) 示意图



(b) 机构简图

图 1-49 机械吊塔

4. 曲柄滑块机构

曲柄滑块机构是指用曲柄和滑块来实现转动和移动相互转换的机械连杆机构，如图 1-50 所示。往复活塞式发动机、压缩机、冲床等机构中都包含曲柄滑块机构。比如往复活塞式发动机中，活塞（滑块）在气缸的作用下运动，带动曲柄转动，将往复移动转换为整周的回转运动；在压缩机、冲床中，曲柄转动带动滑块往复移动，将整周转动转换为往复移动。

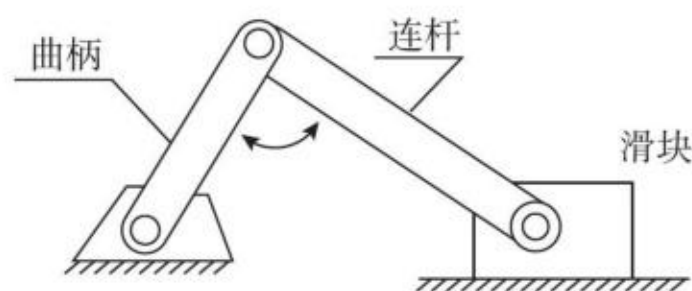


图 1-50 曲柄滑块机构

讨论 & 交流

请同学们想一想在日常生活中还见过哪些机械结构包含上述四种连杆传动机构，每种举出 1~2 个例子。

四、移动机构

移动机构是移动机器人的基本组成部分。为了适应不同环境和场合，移动机器人的移动机构主要分为轮式移动机构、履带式移动机构、



图 1-51 轮式移动机构

足式移动机构、蠕动式移动机构、蛇行式移动机构和混合式移动机构等。

在相对平坦的路面上，使用车轮作为机器人的移动机构是十分可靠的。但是，对于复杂崎岖的地形，轮式移动机构很容易发生打滑、侧翻等意外。尽管如此，轮式移动机构由于具有结构控制简单、速度快等优点，在各领域均有广泛应用。

圆柱状车轮是最常见的轮式移动机构，如图 1-51 所示。这种移动机构可以通过控制轮子的旋转速度和方向来实现前进后退与转弯等运动。

思考 & 练习

请同学们分析如何控制图 1-51 中机器人四个车轮的转速和转向，实现前进、后退和转弯，并用实物验证。

履带机器人通行能力强，常用于灾难救援、军事装备等高危险场合。如图 1-52 所示，履带式移动机构与地面接触面积大，对地面压强小，即使在松软的地面上也有不错的通过性。另外，履带式移动机构在爬楼梯、翻越障碍等方面也有较好的表现。但是履带式移动机构的缺点是速度较慢、结构复杂、能耗较大以及零件易损。



图 1-52 履带式移动机构

与轮式移动机构相比，履带式移动机构对松软地面和不平地面具有更强的适应能力，但在不平地面上行驶时机动性仍有待提高，另外车身晃动问题也比较严重。为了提高对不平地面的适应性，足式机器人应运而生。足式机器人利用仿生学原理，模仿人和动物的行走方式，利用若干条“腿”行走来进行移动。不管是模仿人类利用两条腿行走的机器人还是模仿其他多足动物利用多条腿行走的机器人，都属于足式机器人。

本章小结

机器人是人类科学技术进步的重要体现之一，在现代社会展现出越来越丰富的功用。

本章首先引入机器人的概念与特点，并介绍了外观形貌不一定像人的各类机器人。然后阐述了机器人的产生与发展历史，从能成功地模拟人的基本运动行为的第一代机器人逐渐发展为具有类似于人类智慧的智能机器人。接着对机器人科研的准则——机器人三定律做出详细解读，并讨论了随着机器人技术的不断发展，可能伴随而来的社会伦理问题。

一个完整的机器人系统，通常由机械系统、感知系统、控制系统、驱动系统、人机交互系统、环境交互系统组成。面对如此庞大复杂的系统，可以把衡量机器人运动灵活程度的指标——自由度作为切入点，逐步了解机械传动的奥秘。

本章知识结构如图1-53所示。



图1-53 机器人结构与传动机械小结

循迹机器人小车组装——基本结构

实验目的

通过组装简易轮式循迹机器人小车（图1-54~图1-59），学会分析常见连杆传动装置的结构及其应用，能够按照装配图样安装和调试简单的齿轮装置，学会机器人机械结构的初步设计方法。

实验器材

- (1) 电池盒组件；
- (2) 主板支撑组件：螺母、沉头螺钉、内螺纹螺柱；
- (3) 车轮组件：连轴、通孔轮、支撑板、防滑轮皮；
- (4) 电机组件：直流电机、电机支撑板；
- (5) 传感器组件：红外循迹模块；
- (6) 主板组件：单片机及其相关电路元件。

实验步骤

(1) 在小车主板上设定各个模块位置，安装铜柱，然后在主板上安装车轮和电机组件，车轮距离底板边缘保留一定空隙；

(2) 安装单片机及周边电路模块，注意单片机半圆缺口与电路板上的标记一致，放置正确后拉下基座开关固定单片机；

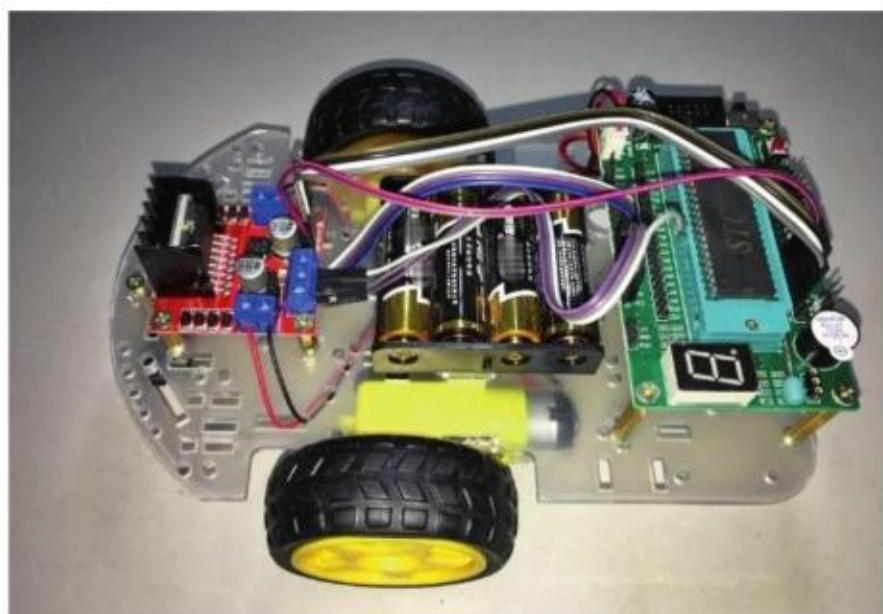


图1-54 循迹小车

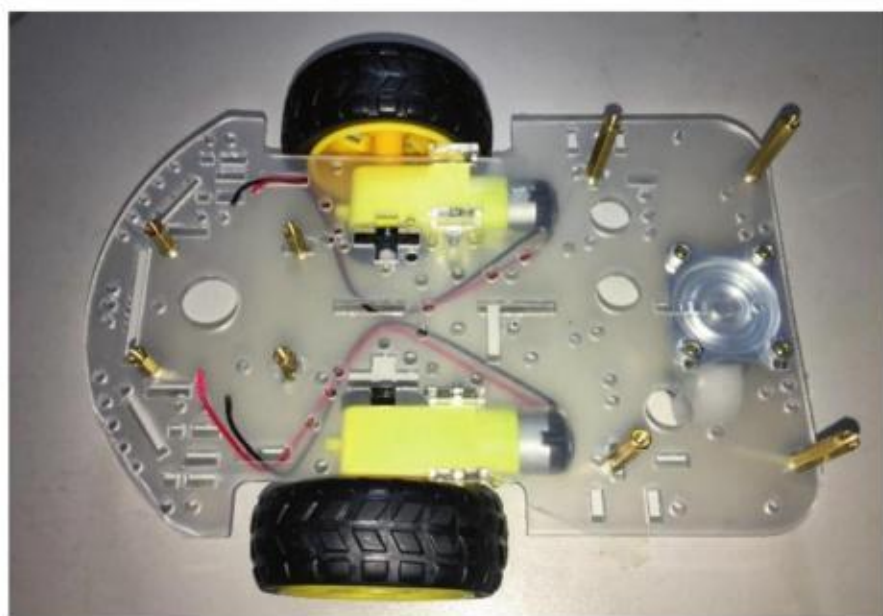


图1-55 安装车轮和电机组件

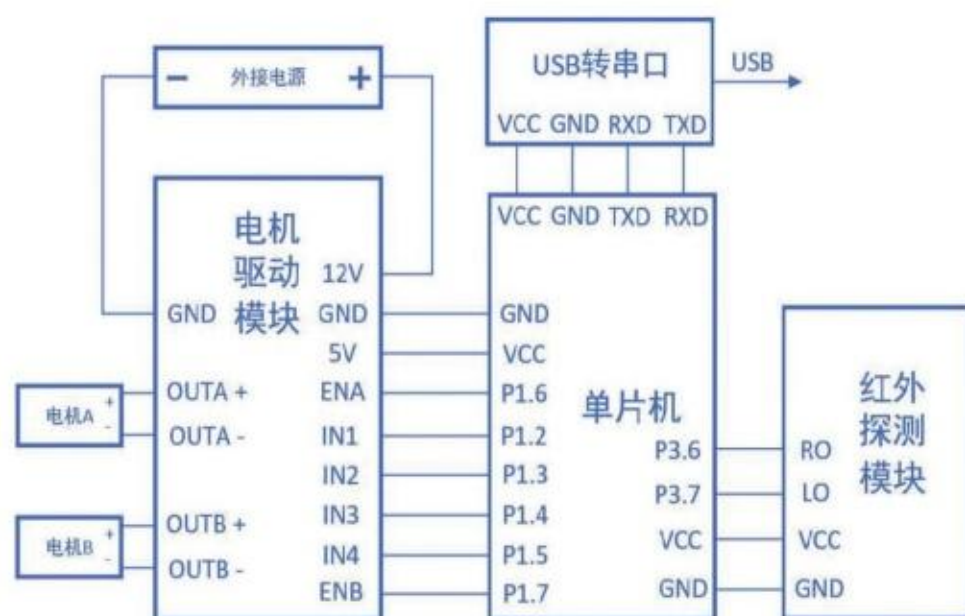


图1-56 循迹小车电路图

(3) 安装电机驱动模块，并与单片机模块连线，连线为电源线和电机控制信号线，安装时参照循迹小车电路图；

(4) 在合适位置安放电池盒组件，将其电源线与单片机模块相连，注意使小车重心尽量低，保证小车运行平稳；



图 1-57 安装单片机和电机驱动模块并连线



图 1-58 安装电池盒组件并连线

(5) 在小车主板下部安装传感器模块并参照循迹小车电路图将其与单片机模块连接，并保证红外循迹模块收发位置前方视野不被遮挡；

(6) 各模块之间连线安装调试，如电机电源线与驱动模块连接，连线注意绝缘，必要时使用热塑管、绝缘胶带等隔离。

实验拓展

(1) 总结小车安装顺序及组件摆放位置对后期走线及调试单片机的影响；

(2) 思考机器人小车左右转向时各车轮的运动状态。

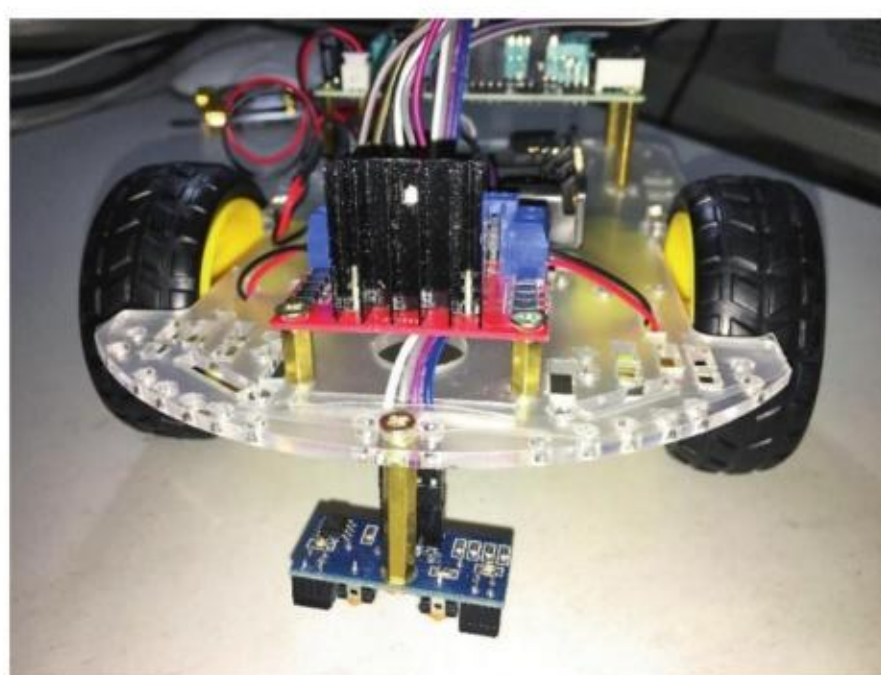


图 1-59 安装红外循迹模块并连线

课外实践评价表格

实践项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
机械结构的装配	合理选择工具和材料，操作规范安全，装配顺序正确			
电气线路的连接	连接正确，线路长度适中，线路整洁美观，没有短路或断路的风险			
整车装配效果	线路没有与机械结构干涉，整车牢固、美观			
实验拓展的分析	能正确回答拓展问题，分析合理透彻，有创新			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进

本章学习评价表

	项目内容	自我评价
课堂学习	本章知识要点的掌握情况？	
	本章思考练习的完成情况？	
	本章实验的完成情况？	
学习收获	学完本章后有什么收获？	
	本章内容对你有什么启发？有什么不足？	

第二章 机器人感知与传感器

感知是对内部与外界信息的感受、意识、觉察与分辨的过程。我们用眼睛就可以感受到周围环境中的光线信息，还可以分辨不同的光强度信息。汽车车灯就是利用光来传递出左转、右转、刹车等信息的。人类通过眼、耳、鼻、舌等器官完成感知过程，机器人也需要感知周围的环境信息，它的感知过程是通过传感器来完成的。

下面将对机器人的感知系统进行介绍，在学习传感器的特征、种类与其要实现的功能的过程中培养学生的创新设计与物化能力素养。

第1节 机器人感知系统

第2节 传感器的原理和种类

第3节 传感器的任务



第 1 节 机器人感知系统



学习目标

1. 理解机器人感知系统的功能
2. 了解机器人感知系统的组成部分

随着天气冷热交替，人们会选择不同厚度的衣服来保持身体舒适，这一过程就是人身体里的感知系统在起作用。机器人是否也需要有感知系统呢？在回答这一问题之前，我们需要首先思考，机器人到底需要感知什么外界信息。



讨论 & 交流

人为什么要根据不同气温增减衣物？机器人无须像人类一样穿衣服，那它是否也要感测外界温度呢？说说你的想法。

机器人感知系统负责检测内外部信息并将其转化为可以被机器人识别和处理的数据。其中，被感知系统检测的内外部信息既包括机器人的自身工作状态，也包括机器人所处的周围环境信息。

机器人的感知系统一般由多个传感器共同组成，既能够实现内部的反馈控制，又能够感知外部环境相关信息，动物与人都具有类似而又功能各异的“传感器”。

当你每天早晨醒来时，即使还没有睁眼，也能感知自己四肢的位置，而不需要去观察自己的身体，这是因为人的四肢随肌肉的收缩、伸展或是放松时，肌肉神经中的信号也将随之发生改变，信号传送到大脑之后，大脑便可以判断出肌肉所处的状态。



讨论 & 交流

试试看，当你闭上眼睛后，还能不能准确说出你的手臂处于身体的什么位置？与身边同学合作完成。

与此类似，当机器人的手臂（杆件）与关节运动时，传感器会将信号传送给控制器，由其判定各关节的位置。除此之外，机器人

也能够同人类或动物一样，拥有视觉、触觉和嗅觉等感知能力，如图2-1所示。在一些特殊的工作中，机器人还能够拥有人类所不具有的功能，例如无人机在空中拍摄照片。

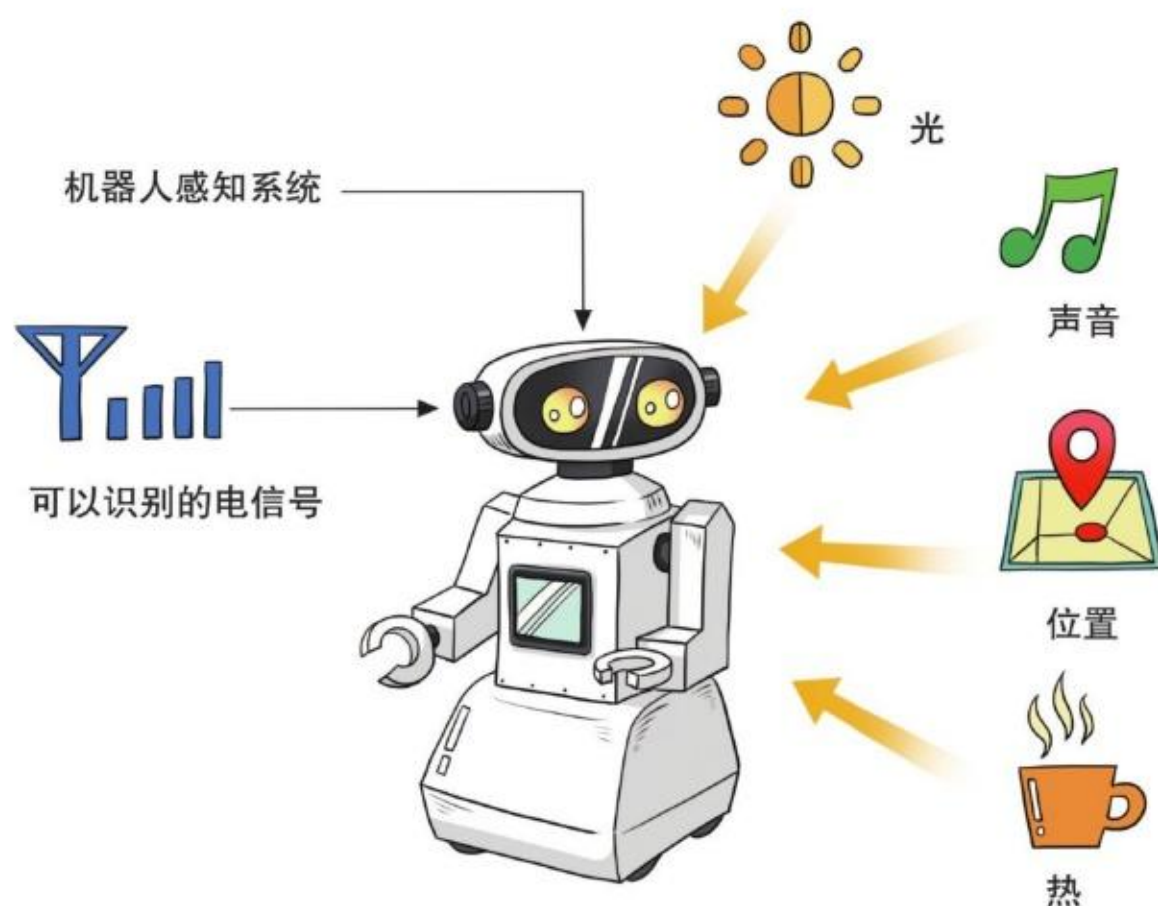


图2-1 机器人感知系统转化过程示意图

讨论 & 交流

你还能说出机器人感知系统可能具有的其他功能吗？

图2-2描绘了机器人在感知系统的帮助下，在遇到墙壁时可以改变前进方向。

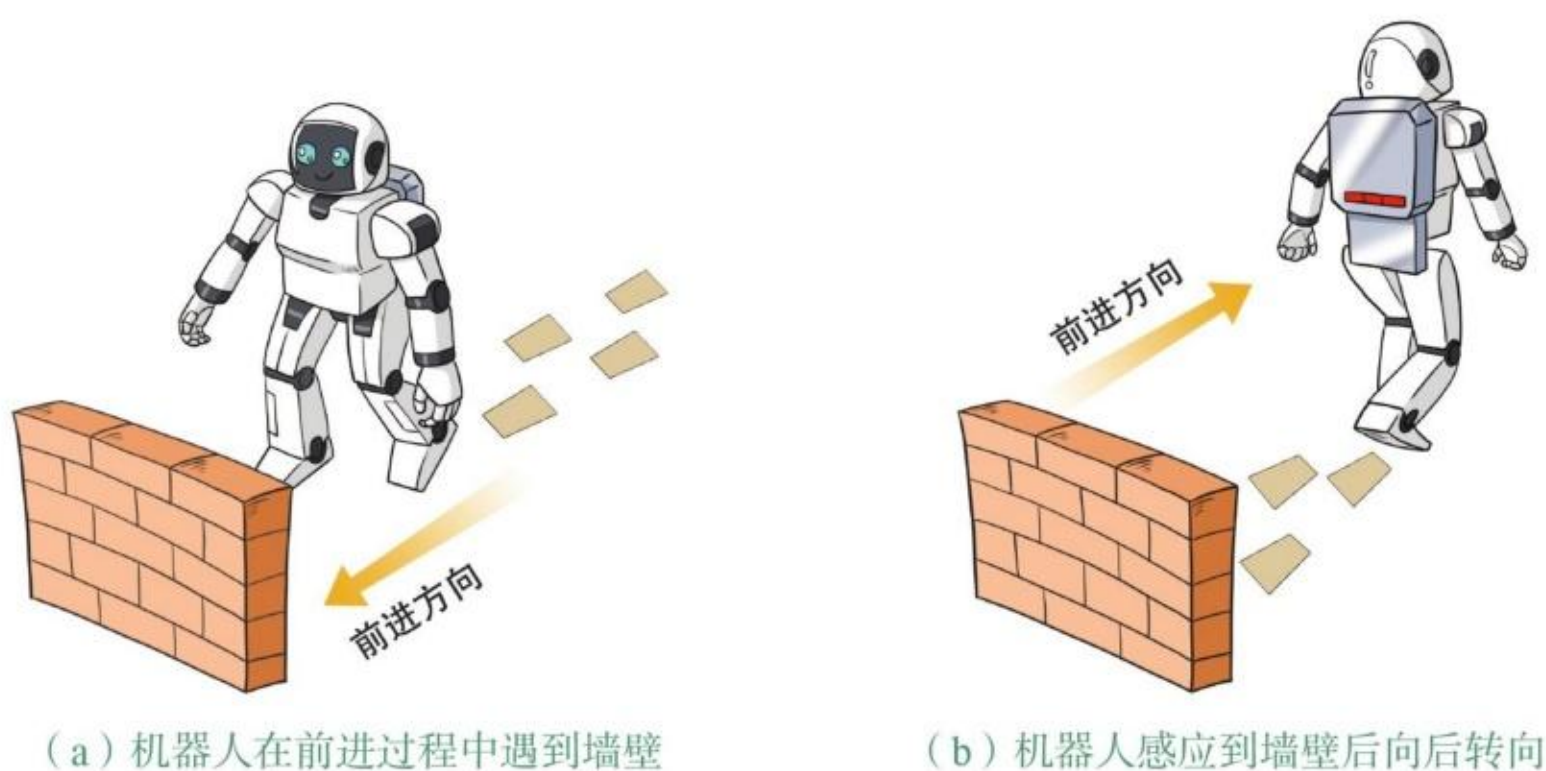


图2-2 机器人遇到墙壁后向后转向图

讨论 & 交流

人类在行进的过程中会不会出现图2-2所示的遇到墙壁后再更改路线的情况呢？想想看这是为什么。

第 2 节 传感器的原理和种类



学习目标

1. 了解机器人常用传感器的种类和特点
2. 掌握传感器的基本原理和应用方法

当我们购买衣服的时候，会对商店货架上摆放的不同衣服进行挑选，挑选的时候需要考虑衣服的尺码是否合身、衣服的款式是否美观、衣服的材质是否柔软舒适等。换一个角度思考，对衣服进行挑选的过程，实际上就是对衣服的特征进行提取的过程，进而根据这些特征信息来对是否购买做出判断。当我们为机器人感知系统挑选不同型号的传感器时，也同样需要了解传感器应该具有哪些特征，以便找到最适合当前应用环境的那一款。



讨论 & 交流

你都知道哪些传感器？这些传感器可以分为哪几类？

一、位置传感器

位置传感器可以用来检测物体所处的空间位置，在控制机械手臂、判断机器人移动距离等应用中都需要借助位置传感器来得到精准的位置信息。

电位器是一种常见的位移传感器，它本质上是滑动变阻器。当电阻器的滑动触头随位置变化在电阻器上滑动时，触头接触点变化前后的电阻阻值与总阻值之比就会发生变化，如下页图2-3所示。由于在功能上电位器起到了分压器的作用，因此输出电压将与电阻成比例。

可变输出电阻为 R_1 时，输出电压为

$$V_{\text{out1}} = \frac{R_1}{R} V_{\text{in}}$$

对应的机器人位置为 l_1 。

可变输出电阻为 R_2 时，输出电压为

$$V_{\text{out}2} = \frac{R_2}{R} V_{\text{in}}$$

对应的机器人位置为 l_2 。

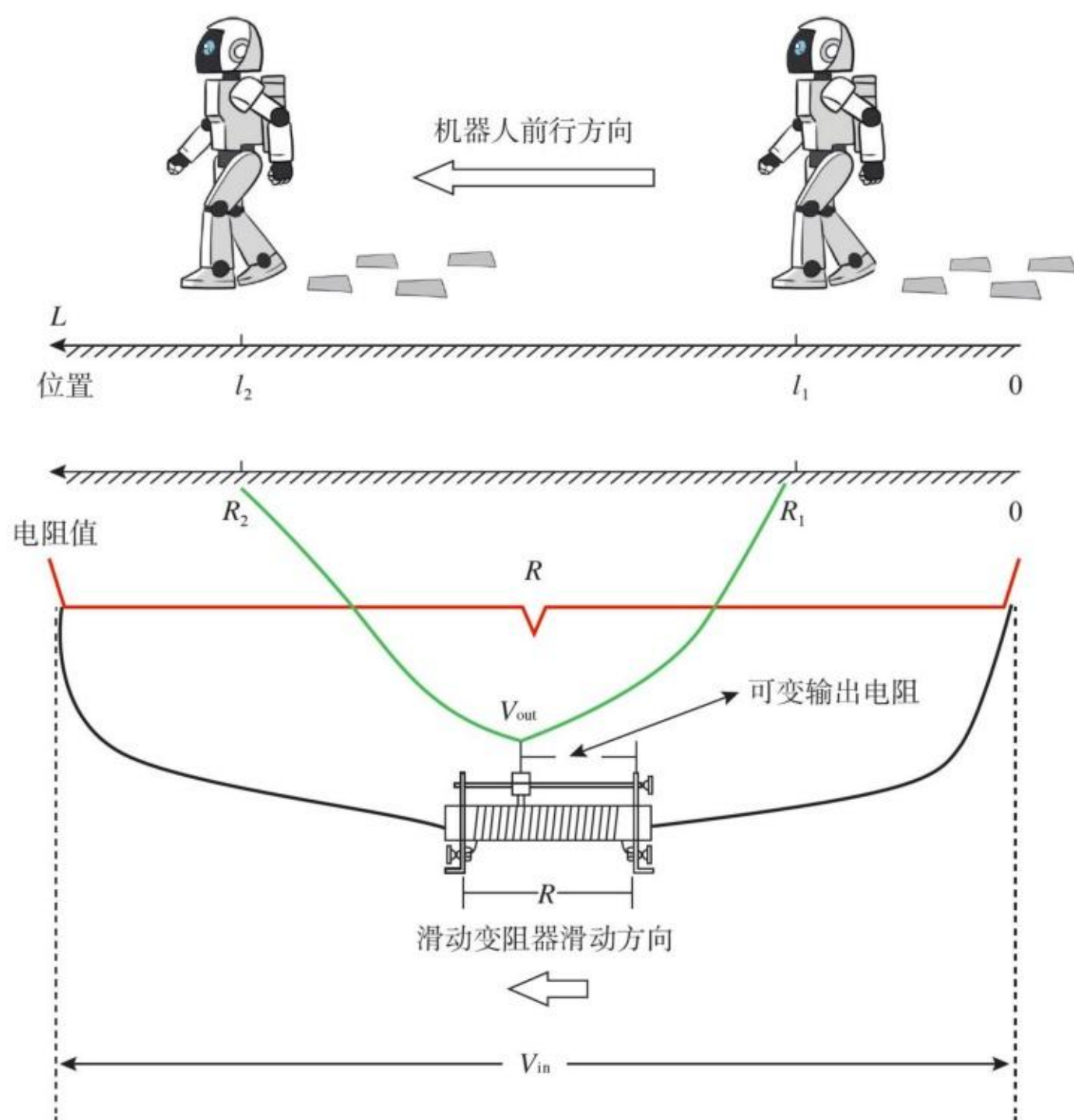


图2-3 机器人的位置变化示意图

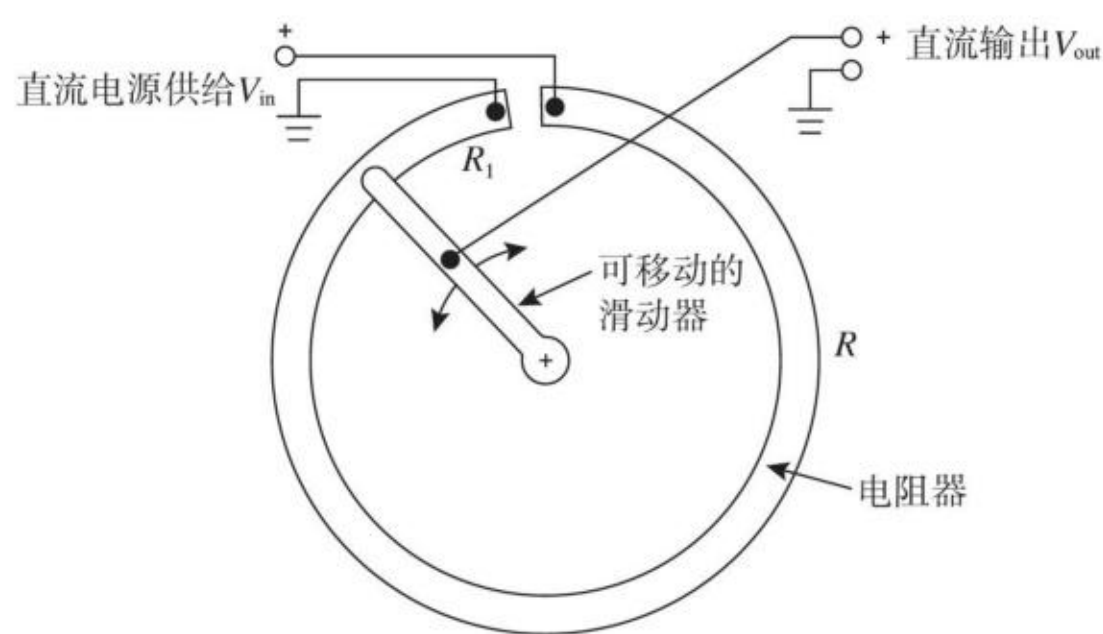
思考 & 练习

对于图2-3所示的滑动变阻器，设输入电压 $V_{\text{in}}=12\text{ V}$ ， $R=20\ \Omega$ ，试计算当可变输出电阻分别为 $R_1=5\ \Omega$ 和 $R_2=10\ \Omega$ 时输出的电压为多少？

$$V_{\text{out}1} = \frac{R_1}{R} V_{\text{in}} = 12\text{ V} \times \frac{5\ \Omega}{20\ \Omega} = 3\text{ V}$$

$$V_{\text{out}2} = \frac{R_2}{R} V_{\text{in}} = 12\text{ V} \times \frac{10\ \Omega}{20\ \Omega} = 6\text{ V}$$

电位器不一定是直线式工作的，也有针对旋转运动进行测量的旋转式电位器，下页图2-4描绘了旋转电位器的工作原理，总的电阻为 R ，电阻两端所加电压为 V_{in} ，当旋转电位器的指针滑片指在图2-4（a）中所示位置时，可变输出电阻为 R_1 ，可由此获得变化的输出电压 V_{out} 。



(a) 原理图



(b) 实物图

图2-4 旋转电位器

思考 & 练习

图2-4所示的旋转电位器只可以测量旋转范围在一周以内的物体位置，如需测量旋转超过一周的物体位置，旋转电位器该如何设计呢？

二、压力传感器

压力传感器是用于测量力的大小的传感器，常常使用于需要控制力量大小的“机器手”上，如拿取鸡蛋等易碎物品。

1. 压电晶体

压电晶体具有受到一定压力后产生电压的特点，这是由于压电材料受到挤压后的物理特性所造成的。图2-5描绘了压电晶体将压力信号转换为电信号的工作过程：压力越大，电压表的表盘显示值越大。

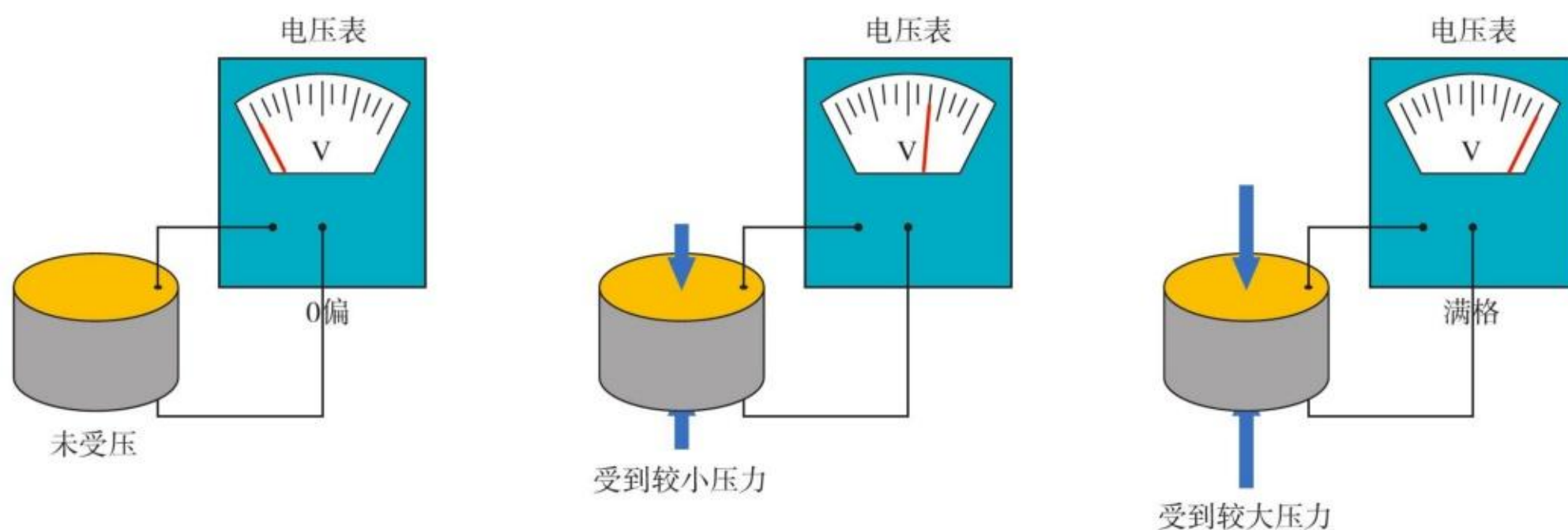


图2-5 压电晶体工作原理

2. 力敏电阻

力敏电阻的电阻值会随所受压力大小的改变而改变，这是由于力敏电阻中半导体材料的压力电阻特性导致的。用力敏电阻可以实现压力值与电阻值的对应转换，我们日常生活中使用的体重秤通常就是借助力敏电阻来测量人体质量的。

三、红外传感器

红外线是电磁波的一种，具有反射、折射、干涉等物理特性，红外传感器就是利用红外线的反射性质制成的。如图2-6所示，红外发射管发射红外线，当遇到障碍物时，反射回来的红外线被红外接收管接收，这样就能检测机器人前面有没有障碍物。通过检测反射回来的红外线的强度还能估算出障碍物的距离。

红外传感器在测量时只对红外线敏感，因此该传感器不需要与被测物体发生接触。电磁波频谱图如图2-7所示，红外线在人眼中属于不可见光，因此在使用时不会对人形成干扰。但是红外线的反射受障碍物表面特性影响比较大，比如表面是黑色的障碍物就会吸收红外线，而不会反射。此外，在强光环境比如强烈的太阳光下使用红外传感器时，要特别注意遮光以减少环境中强烈的红外线的干扰。

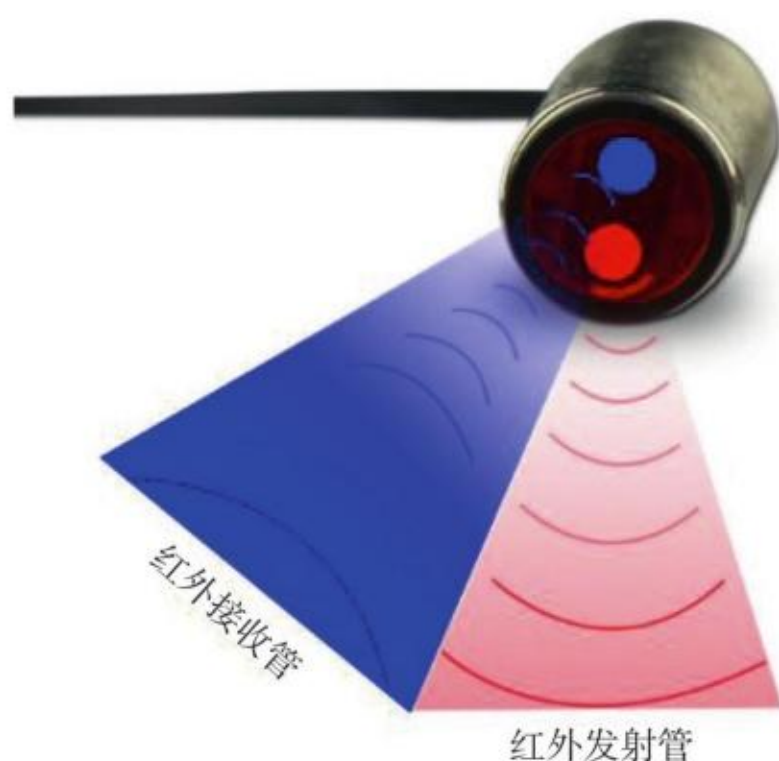


图2-6 反射式红外传感器

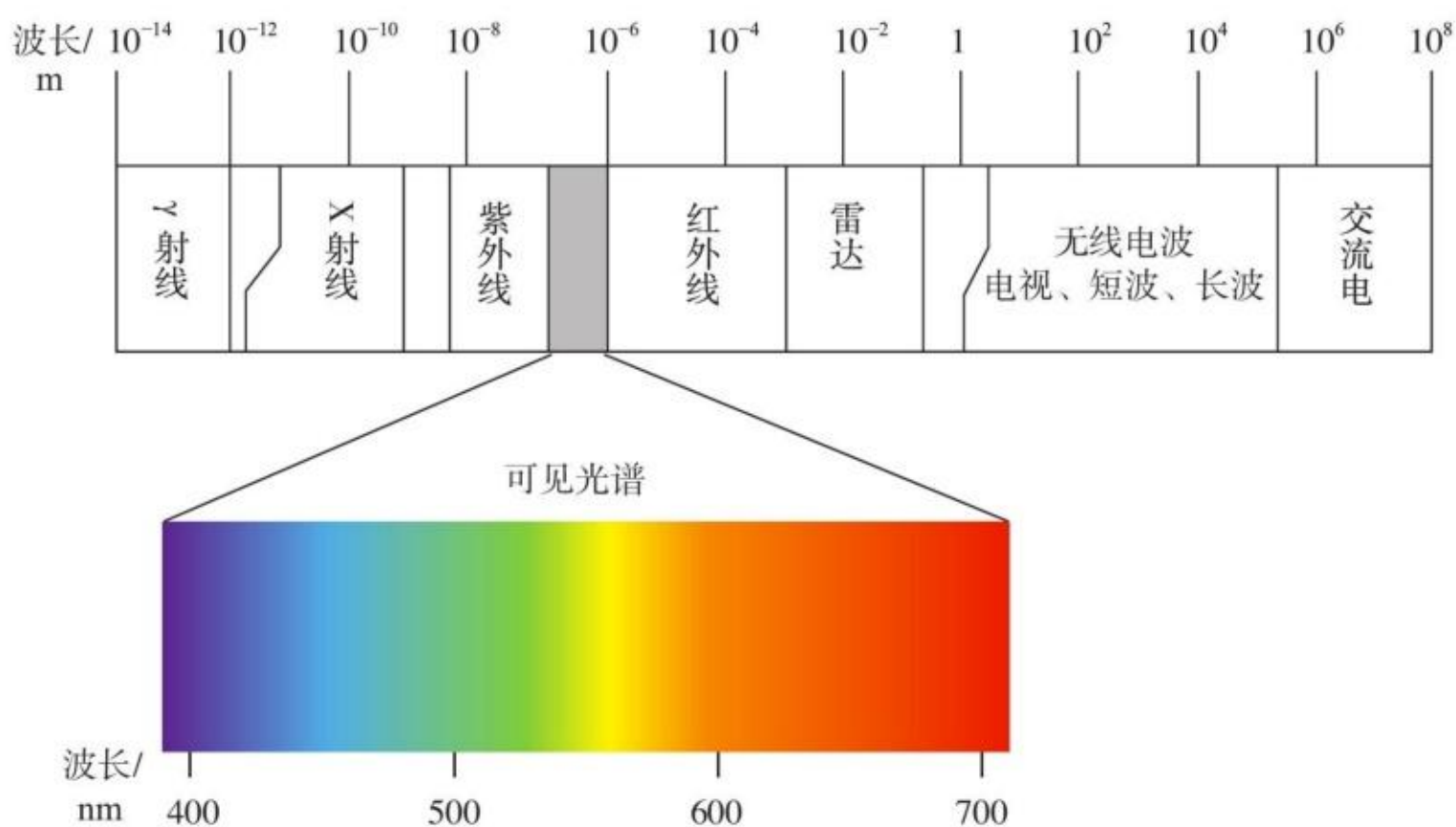


图2-7 电磁波频谱图

四、超声波传感器

超声波是一种机械波，它的频率大于20 000 Hz，具有非常好的方向性与穿透性。超声波传感器就是利用超声波的物理特性，将超声波的传播过程转换成易于被处理的信号。

图2-8描绘了声波频谱的位置，图2-9为一个实际的超声波传感器，它通过计算发射信号与接收到反射信号的时间差来得到传感器与障碍物的距离。

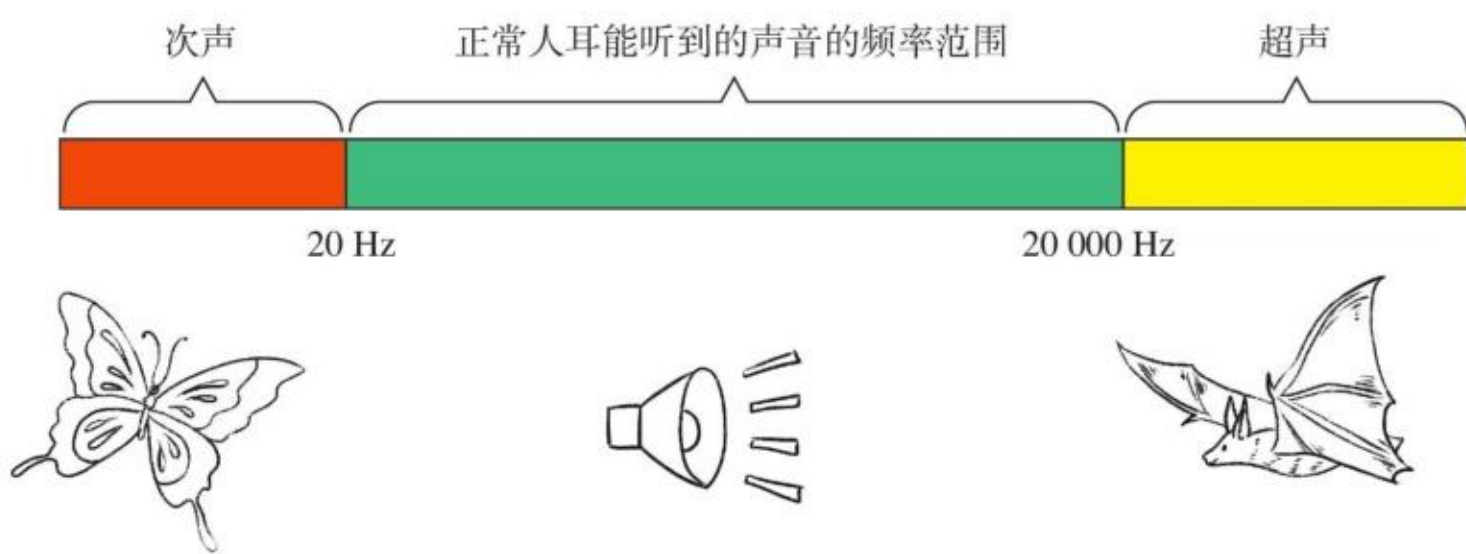


图2-8 声波频谱分布图

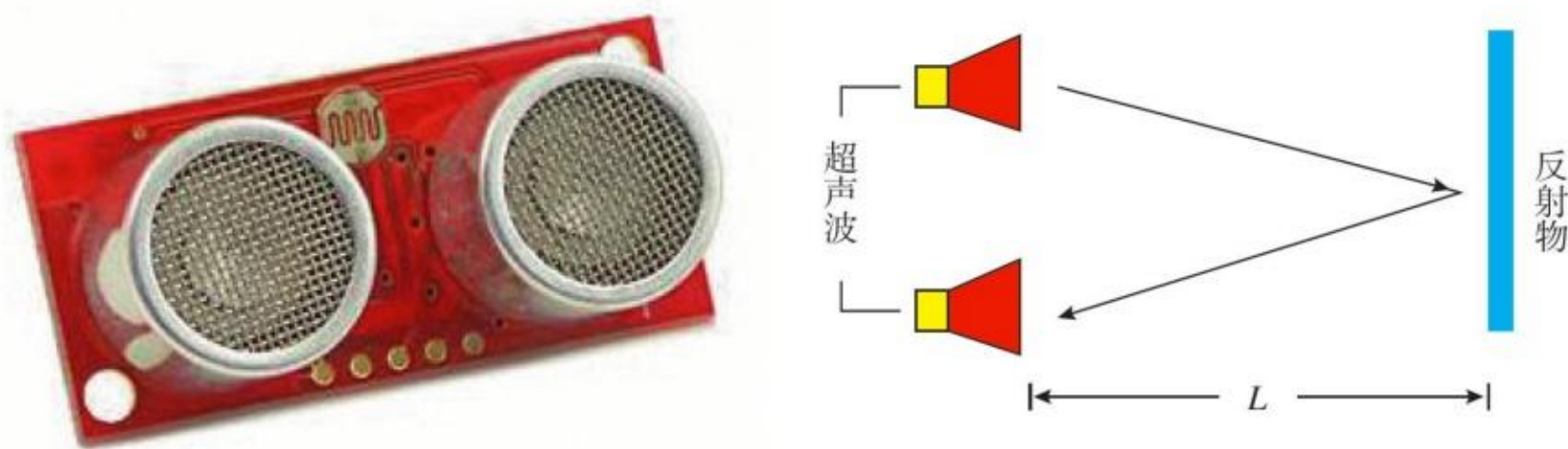


图2-9 超声波传感器和工作原理

讨论 & 交流

你还知道超声波的哪些用途呢？

五、温度传感器

温度传感器是将温度信息转化成可被处理的信号的传感器，温度计就是最常见的温度传感器。由于温度信息在日常生活、科学研究、工农业生产等过程中都有极为关键的作用，因此温度传感器的

重要性不容忽视。

温度传感器按照工作时与被检测物体的位置关系可分为接触式和非接触式两种。接触式温度传感器在工作时需要与被测物体有良好的接触，通过热传导达到温度平衡，以实现从传感器上读取物体温度。家庭生活中常用的体温计就是接触式温度传感器。非接触式温度传感器工作时不需要与被检测物体接触，通过检测物体在不同温度下向外辐射的红外线能量差别来判断当前温度。

讨论 & 交流

你认为冶金工业中检测高温熔炉内部温度的传感器应该选用接触式传感器还是非接触式传感器，请说明原因。

将温度信息转化为电信号是实现温度传感器与机器人直接“沟通”的重要步骤。以热敏电阻为例，该传感器的电阻值与温度直接相关，通过读取给定电压下流经热敏电阻的电流值即可知道此时热敏电阻所处的环境温度。

案例

已知某型号热敏电阻阻值 R （单位为 Ω ）与温度 T （单位为 $^{\circ}\text{C}$ ）的关系为 $R = T + 10$ ，将该温度传感器放置在恒温箱中，若给该电阻两端加 5 V 电压后检测到的电流值为 50 mA，恒温箱的温度是多少摄氏度？

根据欧姆定律，该电阻阻值为：

$$R = U/I = 5 \text{ V} / 50 \text{ mA} = 100 \Omega$$

根据该热敏电阻阻值与温度关系式：

$$R = T + 10$$

可计算得当前温度为 90 $^{\circ}\text{C}$ 。

第 3 节 传感器的特征和任务



学习目标

1. 了解传感器的特征和任务
2. 学会根据机器人的功能要求选择、安装与调试传感器

每一家公司都会有不同的职能部门，各部门也都有自己所负责的任务，各司其职，大家把各自的任务顺利完成，整个公司也就得以正常运转。机器人作为一个复杂的系统，包含很多组成部分，感知系统就是其中的一个单元，传感器则是这一单元中最重要的任务执行者。为保障感知系统的正常运行，我们需要了解传感器需要完成哪些任务，各项任务具有怎样的特点。



讨论 & 交流

你有没有购买过玩具赛车？你在挑选时都会关注它的什么特征呢？

我们在根据任务要求选择传感器时，需要考虑传感器多方面的特点，这些特点决定了传感器的性能、是否经济、应用是否简便以及应用范围等。在很多情况中，同一个任务有多种传感器能够完成，这时，就应该综合考虑以下几点。

（1）成本：传感器的成本是重要的考虑对象，尤其是在需要使用大量传感器时。当然，选择较低成本的传感器也要综合考虑可靠性、精度和寿命等其他重要因素。



讨论 & 交流

一般来讲，测量精度越高的传感器，成本也会越高，因此有同学认为应该在资金预算范围内选择尽可能高精度的传感器，对这种观点你有何看法。

（2）尺寸：根据传感器的用途，我们需要将传感器安装在不同的位置，对有些位置来说，尺寸的大小是极其重要的。比如当我们需要制造一个微型机器人时，所选择的传感器尺寸就不能过大，以免机器人达不到规定的总尺寸要求。

(3) 质量：当机器人需要运动时，传感器的质量便成为一个重要因素，传感器若是质量太大，便会增加机械的负载，严重的话可能导致机器人无法完成预期的运动目标。

思考 & 练习

回忆牛顿第一定律并思考，如果机器人选用了质量较大的传感器，将对它的制动系统产生怎样的影响？

(4) 量程：量程是指传感器能够产生的最小与最大输出之间的差值，与我们选择不同长短的尺进行测量一样，我们需要选择能够进行有效测量的传感器。

(5) 可靠性：在进行传感器可靠性试验时，系统全部运行次数中正常运行次数所占比例便是传感器可靠性的重要体现。对于工作时间长、周围环境复杂以及器件维护困难的系统，在选择传感器时就需要尽可能使用具有高可靠性的器件。

图2-10描绘了机器人传感器的一些特性。

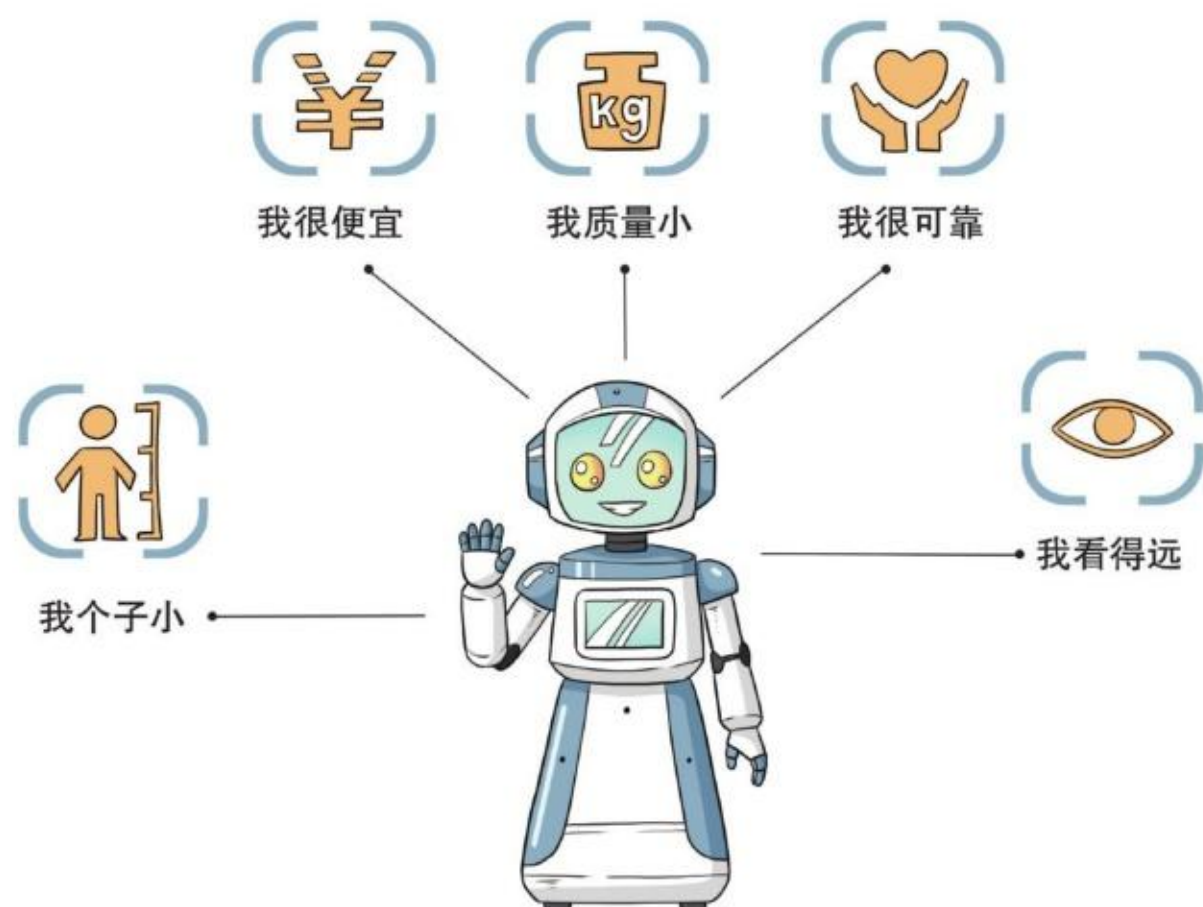


图2-10 机器人传感器的特性

传感器可用于感知机器人的周围环境，并将采集到的数据回传给控制系统，各种类型的传感器如下页图2-11所示。



图2-11 各种类型的传感器

传感器的其他任务主要还有以下三个方面。

1. 协助程序设计

被写入任务程序的机器人能够应用适当的传感器获取到想要的信息，并在分析这些信息后对机器人的下一步行为做出决定。在机器人正常运行期间，大部分从传感器端获取的数据用于判断机器人是否准确无误地完成了所给予的任务，因此传感器给出的信息是否方便程序设计十分关键。传感器感测的最终目标是将所监测信息准确传达给机器人，机器人处理数据全部依赖程序代码，所以协助程序设计便是传感器的一项重要任务。

讨论 & 交流

图2-12所示的温度计在日常生活中使用方便，挂在室内即可看到当前温度，在一定意义上也属于温度传感器的一种，它是否适合用于机器人的温度感测呢？说明理由。

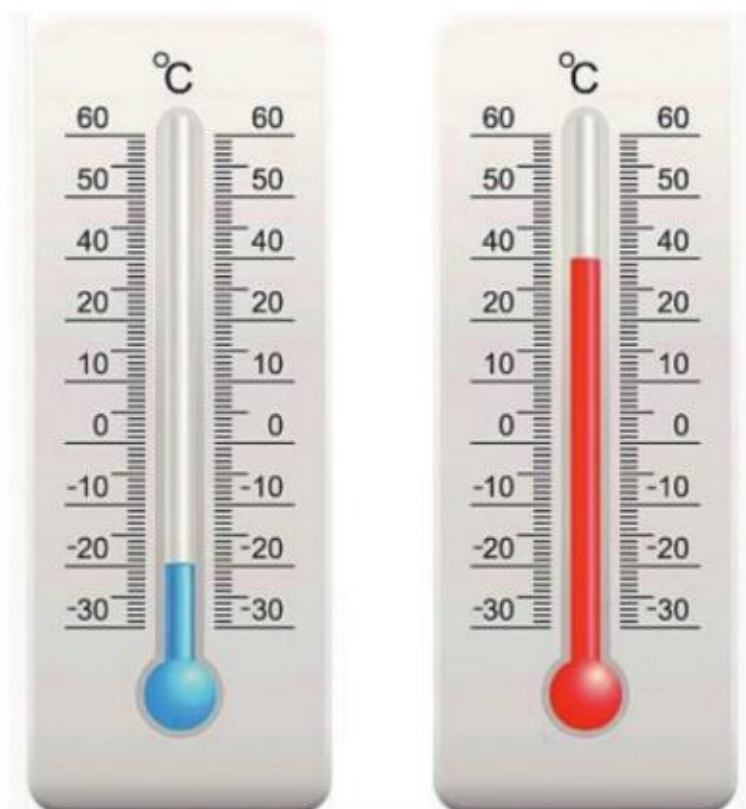


图2-12 温度计

2. 筛选数据

除了获取所需信息作为机器人决策的参考依据之外，传感器的另一主要任务是将测量结果在显示器上呈现。大多数传感器都能够以极高频率采集信息，但是人眼不可能以如此高的速率捕捉到显示结果，因此在显示之前往往需要先对数据加以筛选。

3. 抵抗外界干扰

部分传感器在使用过程中，极易受到外界光线、声音和电磁辐射的影响，使得传感器测量结果有偏差。因此在外界干扰较大的场景中使用传感器时，要尽可能选择对检测信号更加灵敏和对噪声不敏感的传感器，这就对传感器提出了抵抗外界干扰的任务。

讨论 & 交流

为水下机器人挑选一款光线检测传感器时，需要考虑环境中的哪些干扰因素？

本章小结

机器人可以感知外界环境中的声、光、热、电、力等信息，同时对探测到的信息加以处理，实现机器人与周围环境的交互，这一切都离不开功能多样的机器人传感器。

本章首先介绍了机器人感知系统，分析了它的功能与组成部分。接下来对机器人中常用的传感器进行了分类，依次阐述了位置传感器、压力传感器、红外传感器等具有不同功能的传感器及其工作原理。最后，本章对机器人传感器所需完成的任务进行了说明，同时指出为机器人挑选传感器时需要考虑成本、尺寸、质量、量程和可靠性等指标。

本章知识结构如图2-13所示。

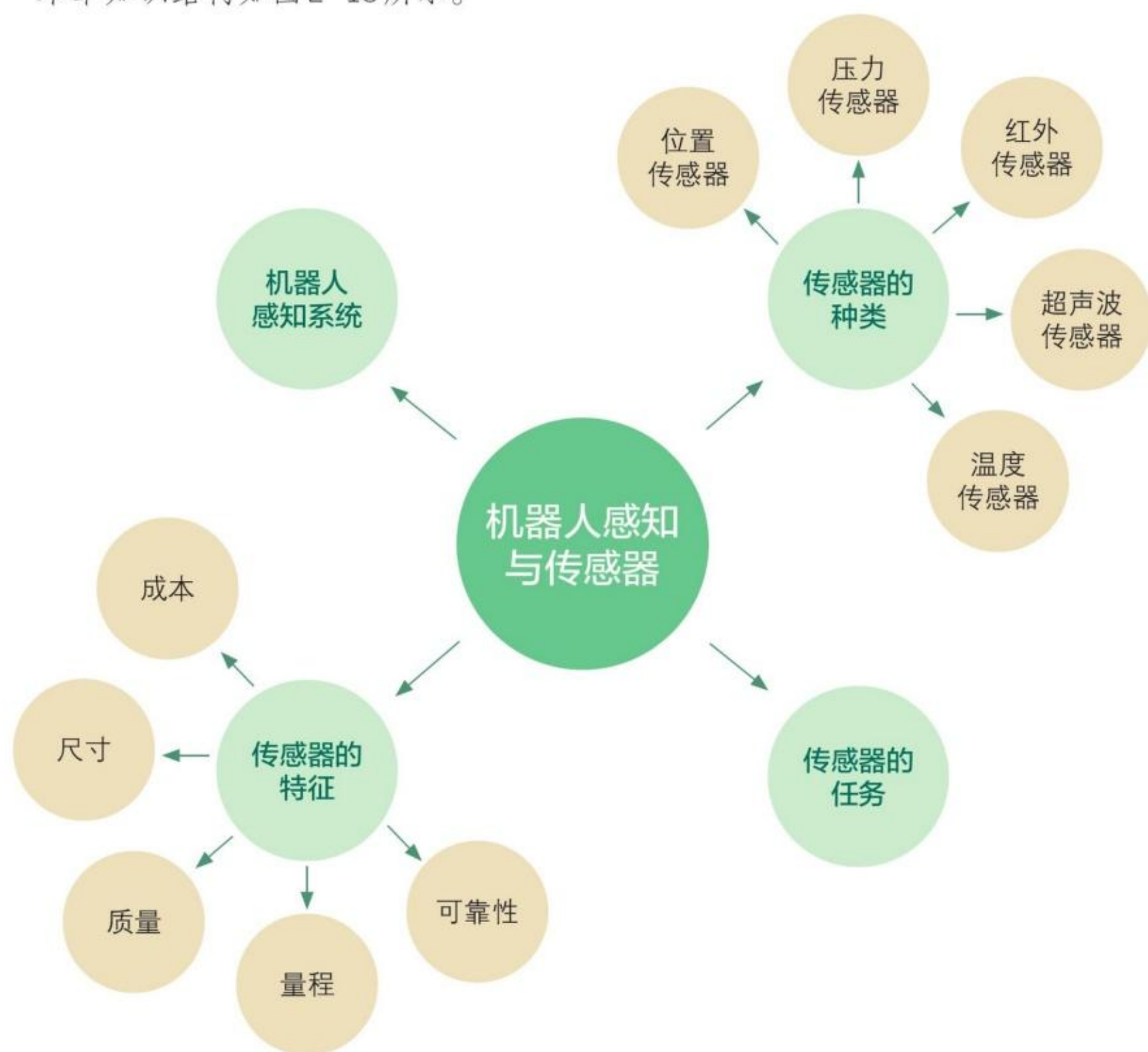


图2-13 机器人感知与传感器小结



循迹机器人小车制作——传感器的应用

实验目的

学习红外传感器在机器人系统中的使用，学习51单片机的编程开发。

实验原理

循迹指遵循特定轨迹行进，在本实验中，循迹小车可以实现沿地面的黑色轨迹线前进的目的。循迹过程通过红外探测法来实现，即利用红外光在不同颜色的物体表面反射能量大小有所区别的特点，对小车下方是否有黑线进行检测，进而使小车保持沿黑线前行。

本次实验需要实现的功能是根据红外探测模块检测有无黑线，用单片机控制LED的亮灭。

1. 单片机最小系统

本次实验采用的单片机是我国某公司生产的51单片机STC89C51，采用USB口5V供电。一般使用Keil软件编写C语言程序，并把程序通过USB口传输至单片机的存储器中，单片机上电后就能根据程序逻辑处理I/O口的输入与输出。

2. 红外探测模块

该模块工作电压为5V，通过电位器调节，障碍物有效检测范围为2~30cm。当检测到黑线时，红外光大部分被黑线吸收，检测模块接收到的红外光强度很弱，输出低电平（RO/LO=0）。当没有检测到黑线时，红外光经地面反射，大部分被检测模块接收，输出高电平（RO/LO=1）。



图2-14 红外探测模块

图2-14中的红外探测模块一共有4个引脚，VCC和GND分别是模块的电源引脚和接地引脚，LO为左端红外传感器TTL电平（晶体管-晶体管逻辑电平，一种通信电平的规定方式）的数字信号输出，RO为右端红外传感器的数字信号输出，输出逻辑即上文所述。

3. 单片机的中断机制

单片机在处理某一事件时，常常会有另一事件请求立刻执行。如单片机正在处理向前行进的事件，突然遇到前方有障碍物，就需要暂时停止向前行进，转去处理清理障碍的事件，在障碍物清理完成后，单片机再回到原来的事件，继续向前行进，这一过程就被称为中断。

51单片机中根据中断源不同可分为外部中断、定时器中断和串口中断，本次实验采用的

是外部中断。当单片机接收到来自红外探测模块输出的高低电平引起的外部中断后，在中断处理函数中改变控制LED的IO引脚的高低电平就能实现LED的亮灭。

实验器材

- (1) 51单片机最小系统 (STC89C51);
- (2) 红外探测模块;
- (3) USB转串口模块;
- (4) 红色LED。

实验步骤

- (1) 按照图2-15所示的电路图连接各电路模块;

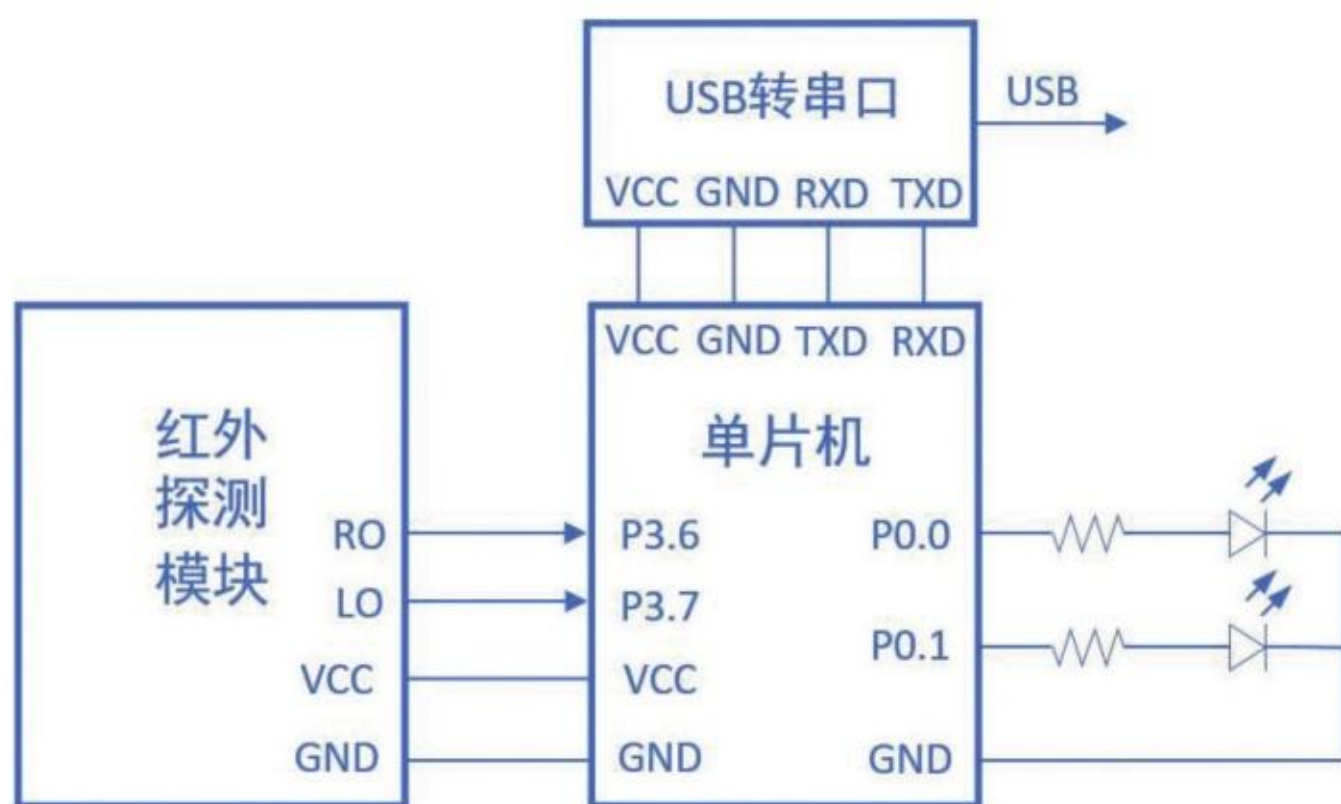


图2-15 红外探测实验电路图

- (2) 编写单片机控制程序 (图2-16)，注意检测到黑线时 (即红外探测模块输出低电平时) 单片机控制LED亮;

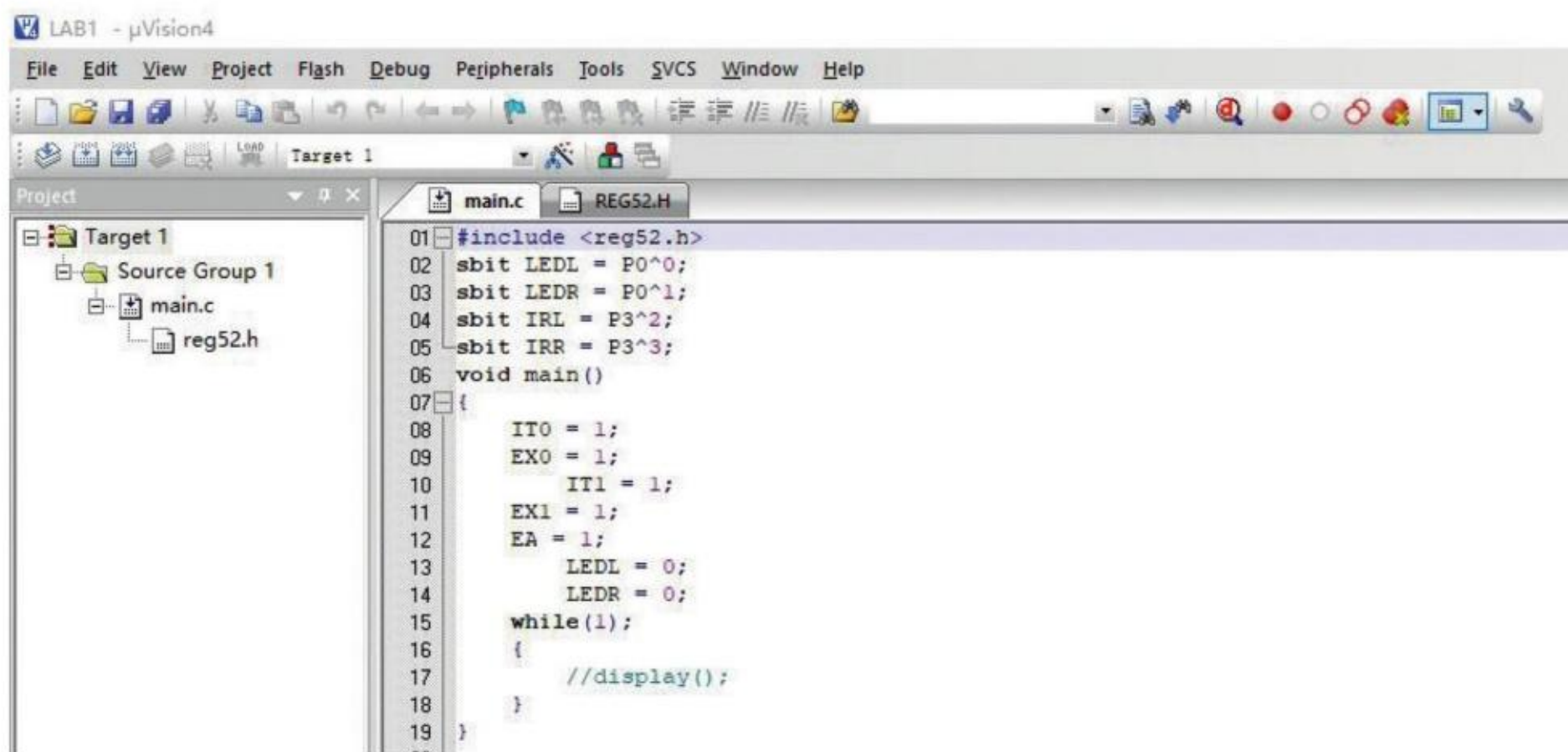


图2-16 使用Keil μ Vision 4编写单片机程序

(3) 将编写好的程序烧写至单片机(图2-17), 注意烧写的程序后缀为 .hex, 点击下载按钮后要对单片机先断电再上电;

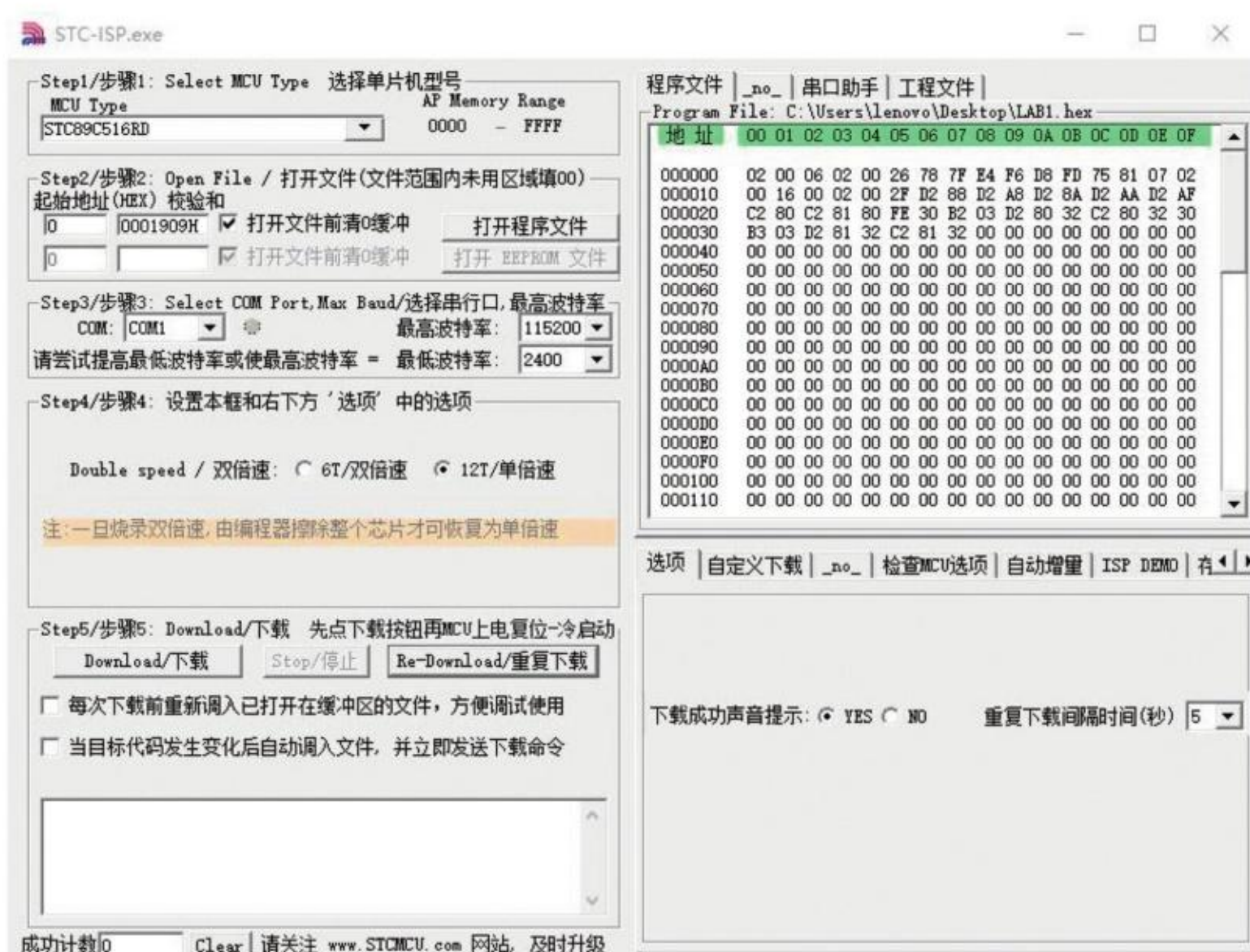


图2-17 使用STC-ISP将控制程序烧写入单片机

(4) 测试实验装置(图2-18、图2-19)。当红外探测模块正对着黑色轨迹时, LED指示灯亮; 当模块正对着白色地面时, LED指示灯灭。

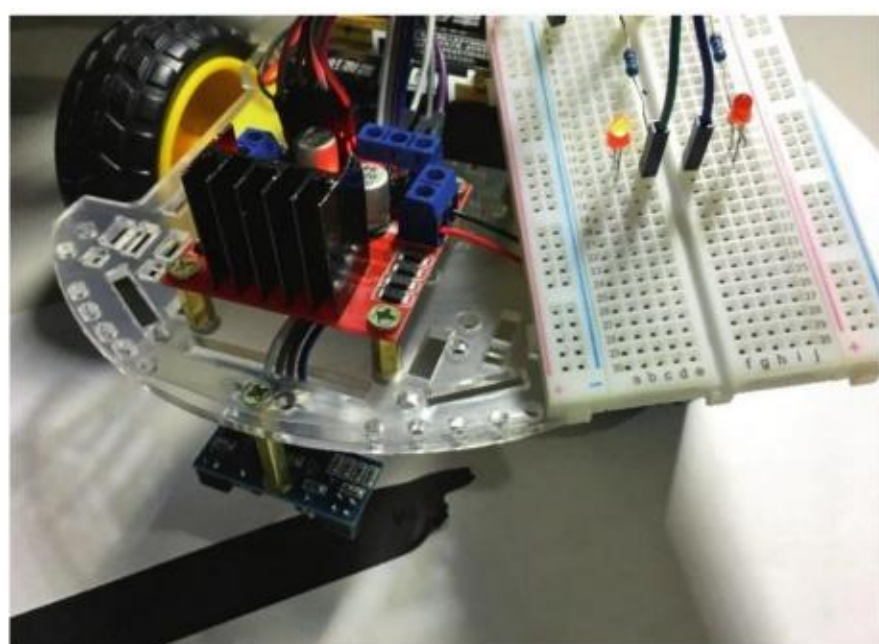


图2-18 左侧红外探测器检测到黑线, 左LED亮

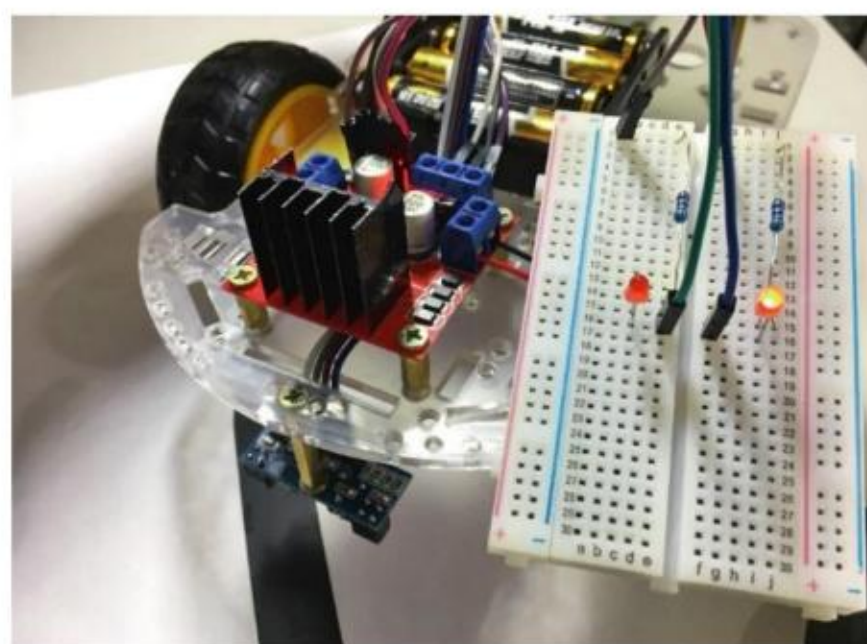


图2-19 右侧红外探测器检测到黑线, 右LED亮

实验拓展

- (1) 思考如何调节红外探测器检测距离;
- (2) 思考与LED串联的电阻的作用以及如何确定其阻值;
- (3) 思考下载程序时为何要重新上电单片机;
- (4) 尝试用轮询的方式检测红外探测模块的数据, 并比较其与中断控制的区别。

课外实践评价表格

实践项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
电气线路的连接	连接正确，线路长度适中，线路整洁美观，没有短路或断路的风险			
程序逻辑的编写	逻辑清晰正确，命名规范，有适当的注释，编程风格良好			
功能调试	能实现基本功能，遇到问题能独立分析并解决			
实验操作	操作步骤有条不紊，注重安全			
实验拓展的分析	能正确回答拓展问题，分析合理透彻，有创新			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进

本章学习评价表

	项目内容	自我评价
课堂学习	本章知识要点的掌握情况？	
	本章思考练习的完成情况？	
	本章实验的完成情况？	
学习收获	学完本章后有什么收获？	
	本章内容对你有什么启发？有什么不足？	

第三章 机器人控制器

工欲善其事，必先利其器。一名工匠想要做出精美的作品，对需要用到的工具进行仔细打磨必不可少。同样的道理，想把机器人灵活有效地控制起来，也需要对机器人控制器进行全面的了解。

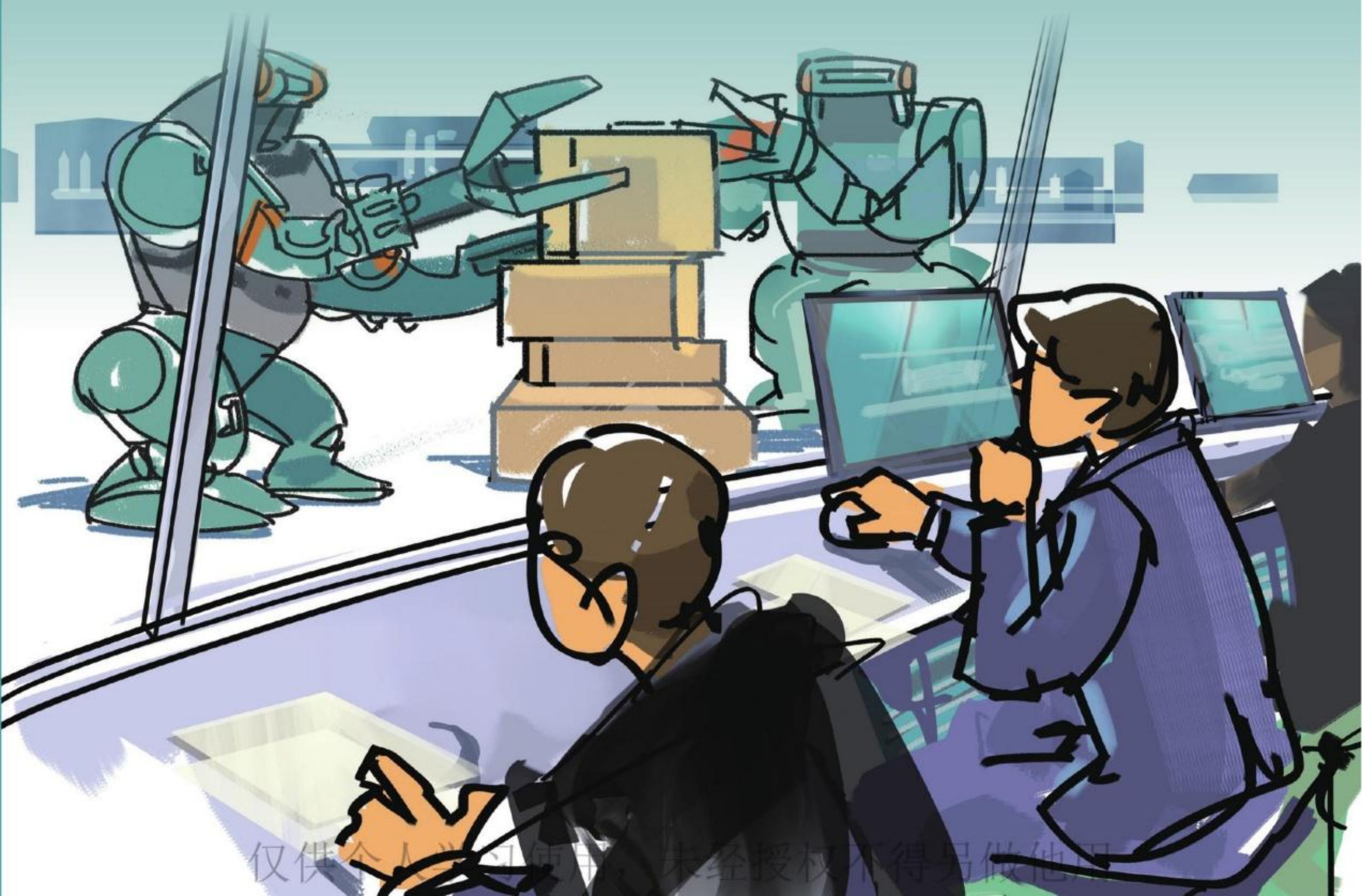
控制器可以看作是实现控制的工具，下面将对机器人控制器的基本原理、组成单元、控制器编程方法和控制器的通信接口进行介绍，培养学生的工程思维与创新设计能力。

第1节 控制器基本原理

第2节 控制器使用实例

第3节 控制器编程

第4节 控制器通信接口



第 1 节 控制器基本原理



学习目标

1. 了解机器人运动控制的常用控制器种类
2. 理解单片机的基本组成与工作过程

一辆自行车可以拆分为车座、车轮、车闸与车铃等组成部分，每一个部分都扮演着各自的角色，比如车座可以供人坐下，车闸可以使自行车减速。同样的道理，机器人控制器也有自己的组成单元，各部分组合起来形成了一个相互协作的有机整体。



讨论 & 交流

机器人小车可以分为哪些组成部分，各部分起到怎样的作用呢？

机器人的硬件电路系统，包括电源、传感器、中央控制器、驱动模块（电机），其中，对机器人运动的控制是通过中央控制器来完成的。目前，机械臂类工业机器人基本采用x86控制器，工业移动类机器人大多采用单片机控制器，常用的控制器有51系列、STM8、STM32、MSP430、Arduino等。

单片机是一种内部包含基本计算机系统的集成电路芯片，属于处理器的一种，因其外形尺寸较小，又称单片微处理器或单片微控制器。单片机相当于一台微型计算机，也可以实现计算机的基本功能，只是它不包含鼠标、键盘等输入输出设备。由于单片机体积和质量小，易于携带，在科研教学中得到广泛使用。



讨论 & 交流

单片机不包含鼠标、键盘等输入输出设备，那么它如何实现计算机类似的基本功能呢？

下页图3-1描绘了MCS-51单片机内部结构示意图，从图中可以看到该单片机主要由以下几个部分组成。

- （1）时钟电路，用以计时；
- （2）存储器，用以存储数据和程序；

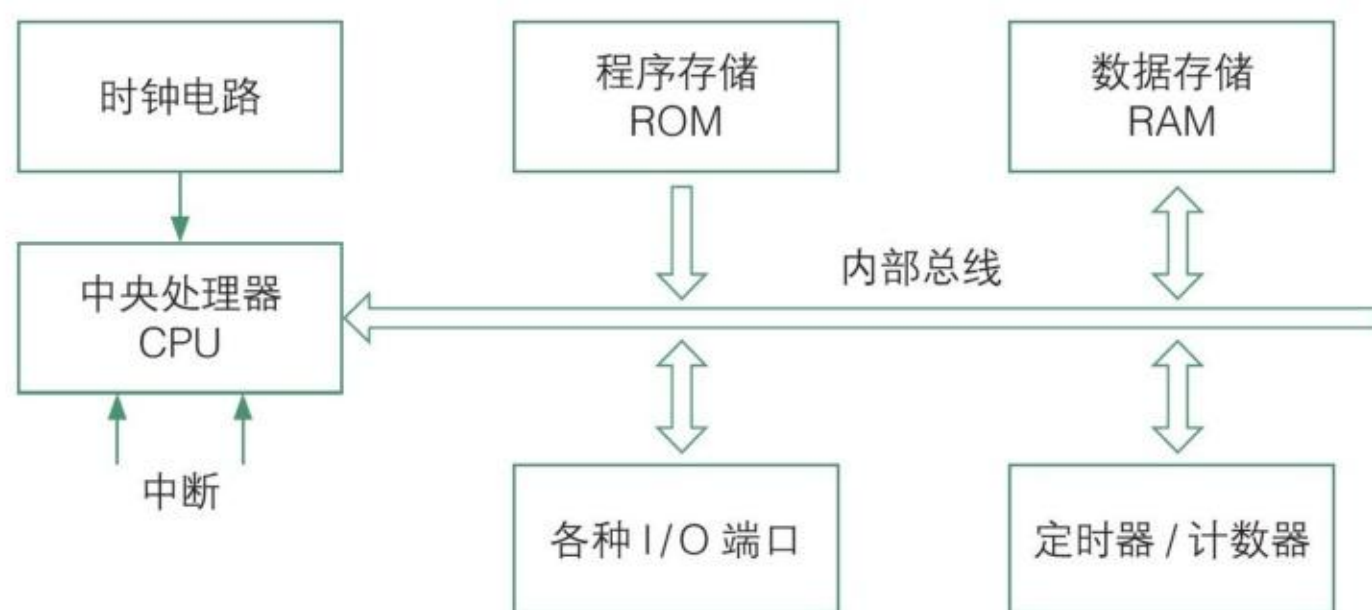


图3-1 MCS-51单片机内部结构示意图

- (3) 中央处理器，解释计算机指令以及处理计算机软件中的数据，是一台计算机的运算核心和控制核心；
- (4) 计数器，实现计数操作；
- (5) I/O端口，用以编制控制程序的接口。

讨论 & 交流

古人用绳子打结来计数，数出一根绳子上系的结的个数即可知道对应的数目，与此相似，你能否猜测出单片机是采用什么方式计算时间的呢？

为了方便理解，单片机可以简化为两个主要模块：运算器和控制器，如图3-2所示。

运算器大体实现两个功能：执行各种算术运算（如四则运算）和执行各种逻辑运算（如比较大小）。

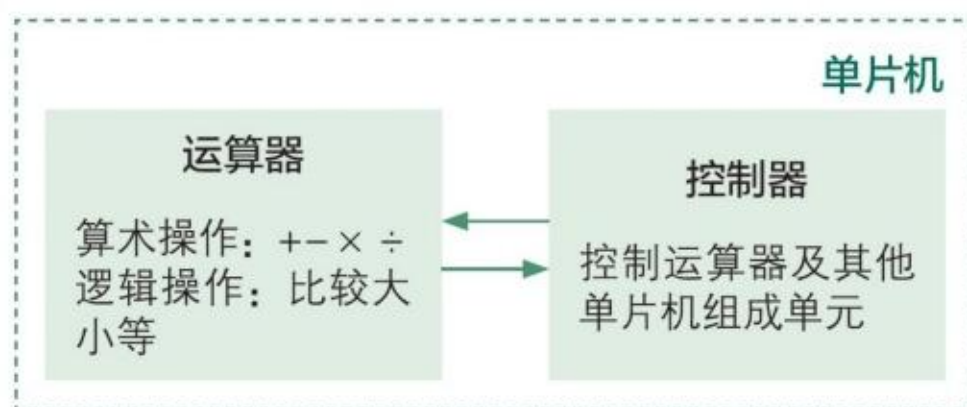


图3-2 单片机内部简易结构图

? 思考 & 练习

现有2和3两个数字，通过做减法这种运算，得到 $3-2=1>0$ ，因此可以判断出3比2大。你还能想到其他办法比较两个数的大小吗？

控制器是发布命令的“决策机构”，协调和指挥整个控制器系统的操作。其主要功能是：告诉单片机下一步该执行什么代码和控制CPU、内存与输入输出设备之间的数据传输。

第 2 节 控制器使用实例

学习目标

1. 了解单片机最小系统的组成部分
2. 了解单片机的引脚类型
3. 学会单片机的两种复位方式

前一节讲到一辆自行车由很多基本单元组成，但是并非所有单元都是必不可少的，例如车筐、车身装饰品等，即便没有这些部分也不妨碍自行车满足正常骑行的基本功用。与此类似，单片机工作时也可与周边电路单元形成最小系统，这个系统只包含确保单片机正常工作必不可少的部分。

讨论 & 交流

讨论一下扫地机器人身上有哪些东西是必不可少的，并说出你的理由。

以STC89C51单片机为例，单片机要与一些必需的组件构成最小系统才能正常工作。最小系统包括单片机、电源供电电路、参考时钟电路、复位电路。

电源供电电路为整个单片机提供电源，供电电压根据不同单片机型号有所不同，常用的是3.3 V或5 V。

参考时钟电路就是晶振（晶体振荡器）电路，一般由晶振（Y1）和旁路电容（C2、C3）构成，其与单片机的连接方式见图3-3。该电路配合单片机内部电路可以产生一定周期的方波信号，这种方波

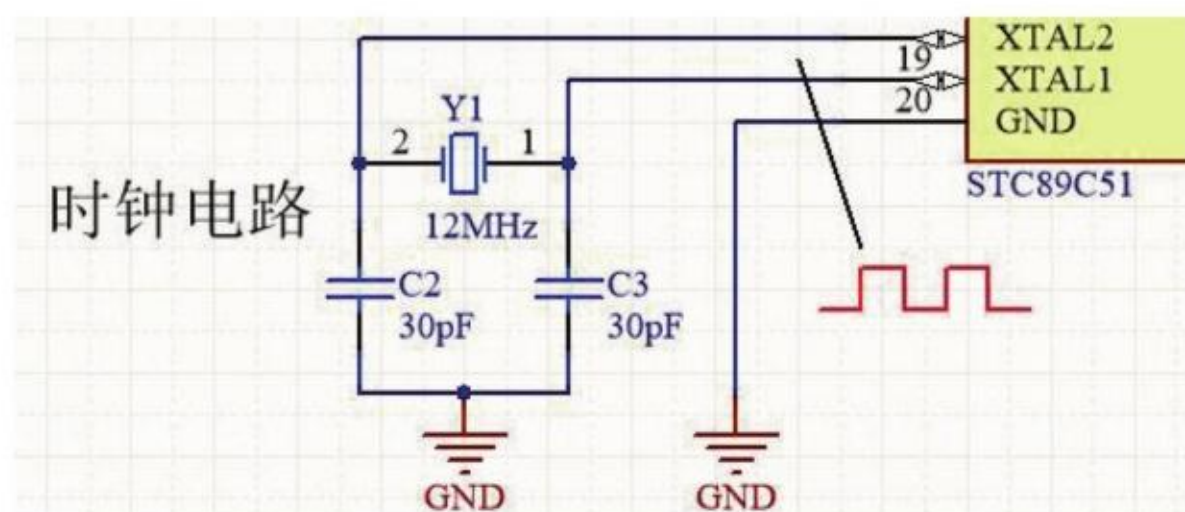


图3-3 51单片机时钟电路

信号用作单片机的时钟信号，时钟信号相当于单片机的“指挥员”，单片机每接收到若干个周期的时钟信号，就执行一条程序语句。

复位指恢复到初始的状态，最小系统中的复位电路就是起到恢复初始状态的作用。在单片机开始接通电源后，需要将内部电路恢复到提前设置好的状态；同样的道理，在单片机内部运行混乱之后，也需要通过复位电路将其恢复到初始状态，这与平时我们遇到的计算机“死机”时重启计算机的操作十分类似。单片机实现复位需要保证其RST引脚维持一定时间的高电压（或低电压，与单片机型号有关），在具体实现的过程中有上电复位和按键复位两种形式。

上电复位电路通过接通电源时对电容充放电来实现复位的效果。电源接通后，电容C1两端电压差不会瞬间变化，因此RST引脚上的电压为高电压，随着对电容C1充电的进行，RST引脚上的电压逐渐下降。在上电复位的过程中，RST引脚上高电压的维持时间必须多于复位要求的时间，这样才可以正常复位。

思考 & 练习

解释说明图3-4电路上电复位时，为什么随着对电容C1不断充电，RST引脚上的电压逐渐下降。

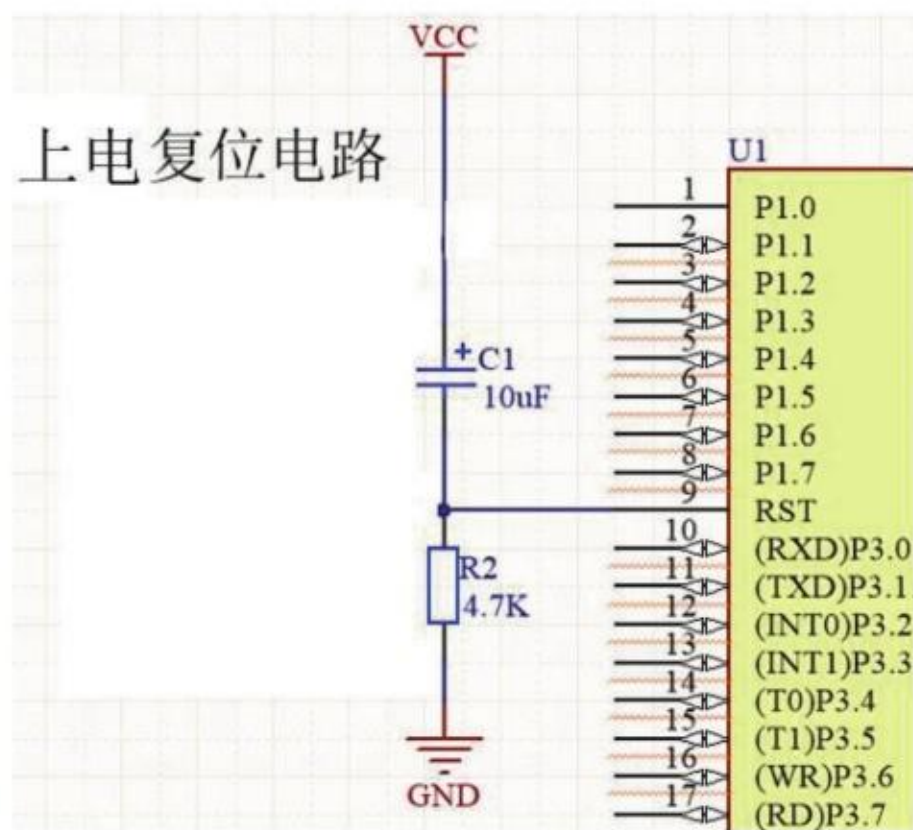


图3-4 51单片机上电复位电路

按键复位电路如下页图3-5所示，按键未被按下时的电路与上电复位电路结构相同。当单片机接通电源运行一段时间以后，如果需要复位操作，此时不需要重新上电，可以直接按下复位按键开关。复位开关按下后，RST引脚电压迅速变为高电压，电容电荷泄放。复位开关弹起，电路重复上电复位过程，即通过对电容充电实

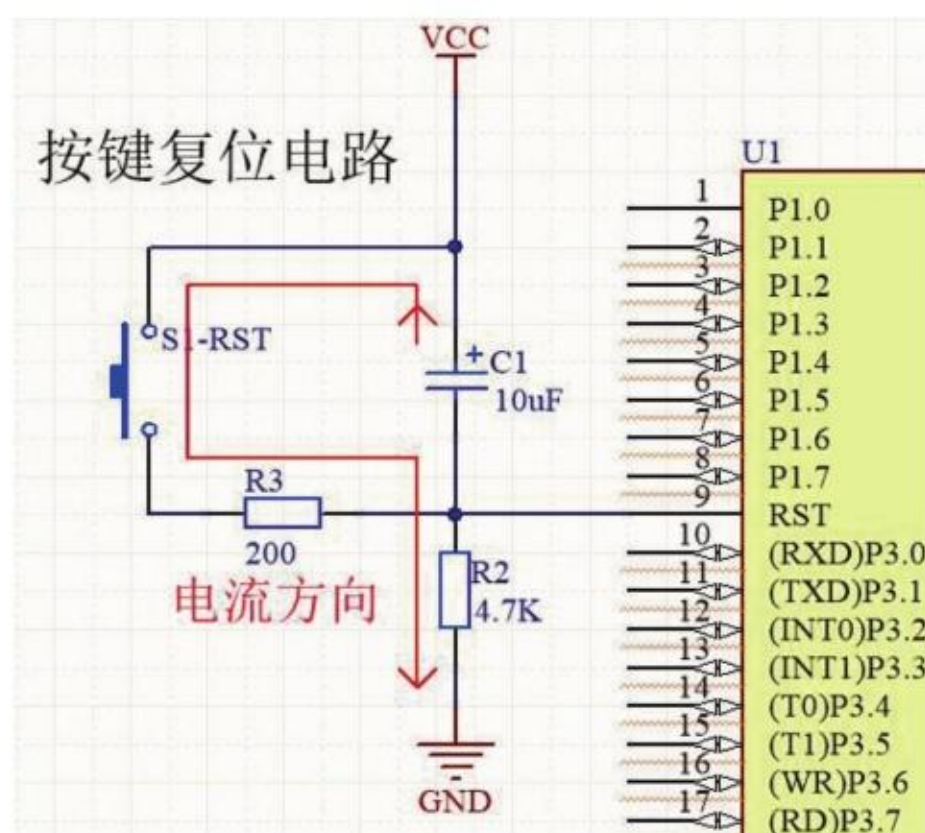


图3-5 51单片机按键复位电路

现RST引脚电压逐渐降低，在高电压维持时间满足复位条件的情况下实现按键复位。

在使用单片机时，要习惯查看单片机的数据手册，因为它相当于单片机最详尽的使用说明。其中，引脚说明是对单片机芯片每个管脚的使用说明，十分重要。

图3-6给出了51单片机的最小系统电路原理图。

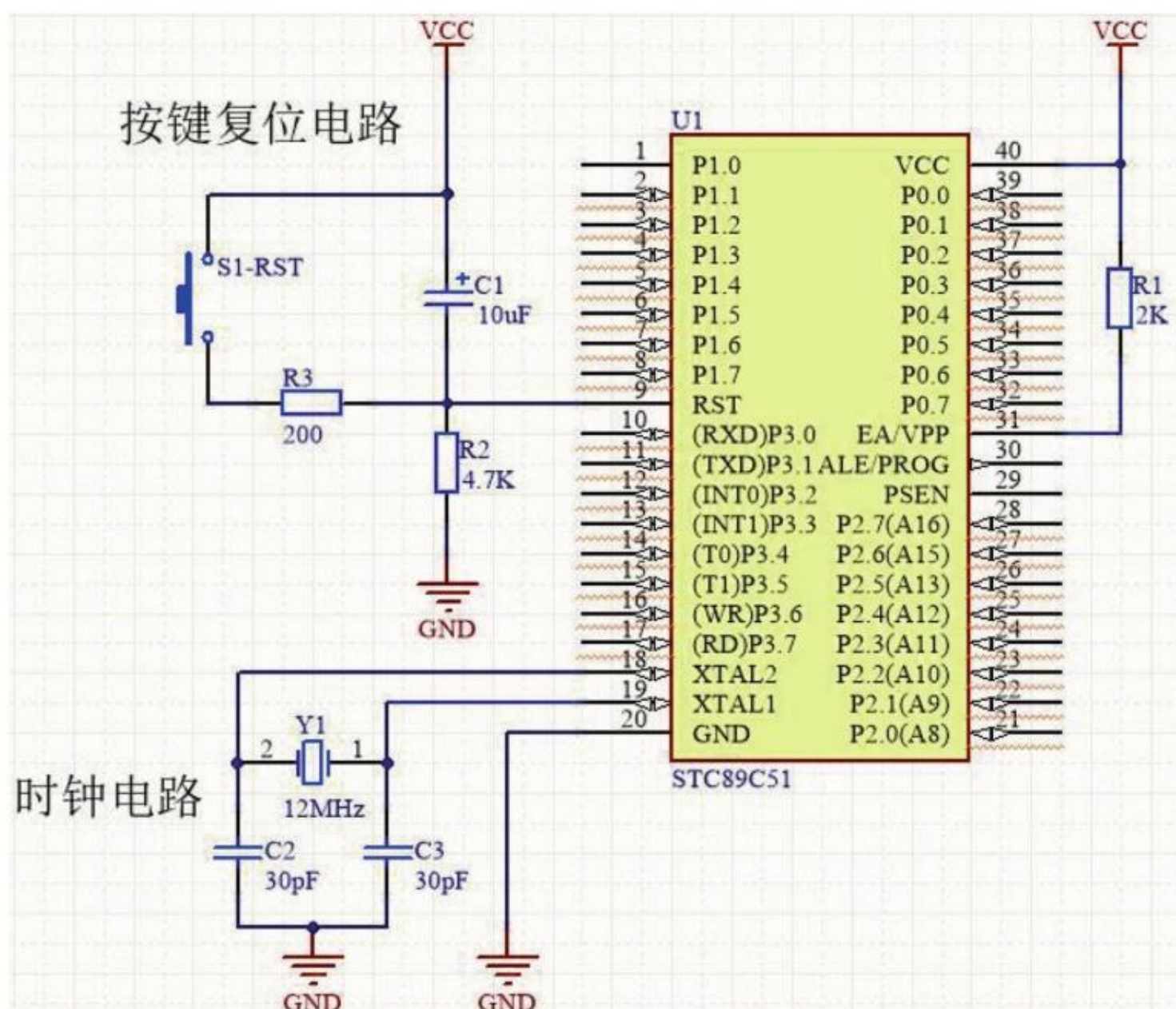


图3-6 51单片机最小系统

从图中可以看到单片机的引脚主要分为下面三类：

（1）电源及时钟引脚，4个。VCC：电源接入引脚，接电源正极；VSS：接地引脚，一般接电源负极；XTAL1和XTAL2：接晶振的两端。

（2）控制线引脚，4个。控制线引脚都有其特殊用途，一般都与单片机的控制有关。比如RST就是连接复位信号的引脚，类似计算机的重启键。

（3）通用输入输出（GPIO）引脚，32个，分4组，每组8个引脚。其中P3.0~P3.7除了能用作输入输出引脚，还能用作一些特殊功能，比如下载程序等。使用GPIO引脚时要注意其不能流过大电流，通常最大只能几十毫安。所以GPIO不能直接给大功率用电器（如电机、电热丝、强光灯等）供电。

第 3 节 控制器编程



学习目标

1. 了解机器人编程的必要性
2. 了解单片机编程语言分类及特点
3. 掌握流程图的绘制方法

我们在家中养宠物时，为了让宠物了解基本的指令，像坐下、起跳等，需要非常仔细地设计训练过程，其中的最根本原因就是人类与宠物的语言不通，无法实现流畅的对话交流。当人类控制机器人时，同样也会面临如何与机器人“对话”的问题。人与人的沟通借助语言来实现，人与机器人沟通的媒介则是机器人编程语言。



讨论 & 交流

你能想到几种人与机器人的“对话”方式？

机器人的使用可以极大提高现代工业企业的生产效率，把人们从高危、重复性的工作中解放出来，同时可以实现更加精准的品质控制。如何让机器人了解人类的需求，就需要通过编程语言来实现人和机器人的“对话”与“沟通”。

以工业用机器人为例，工业机器人的最大优势在于其灵活性好、运动范围大以及可重新调整以适应新产品。然而，将机械臂用作通用装配机械的一大主要障碍是用户和机器人系统间缺乏适当且有效的交流，以使用户能直接操作机械臂完成给定任务。这就必须对控制机械臂的计算机系统编程，从而使机械臂能够按照特定的序列运动，或者使机械臂完成执行特定任务的动作。

当今绝大多数汽车制造企业都建立了全机器化制造工厂，汽车制造的绝大部分工序都交由各种机械臂完成，技术人员提前把程序写好，下载到机械臂的控制器中，工人仅负责调试和维修这些机械臂，这样在降低生产成本的同时还加快了生产速度，下页图3-7给出了可编程工业机器人在生产线上工作的场景。

在机器人编程之前，需要先设计出对应程序的流程图，对所需解决的任务进行梳理。流程图是用特定的图形符号与说明文字结合起来表示算法的图，也被称为程序框图。

流程图包含开始与结束框、判断框、处理框和走向箭头，可以直观地描述一个工作过程的具体步骤，如图3-8所示。流程图可以加深对程序执行过程的理解，同时也有助于为改进程序提供思路。



图3-7 可编程工业机器人

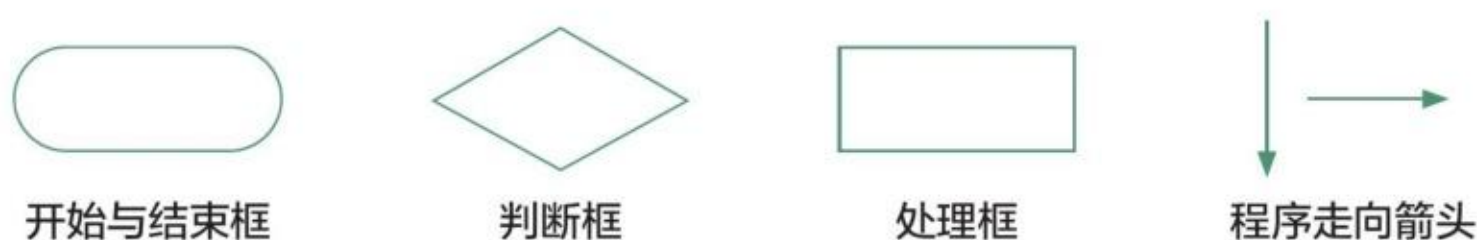


图3-8 流程图基本符号

最常见的流程图有顺序流程和循环流程。

顺序流程在执行时依照代码书写顺序逐条执行，大多数代码都是按照顺序流程执行的。例如鸣响喇叭，开启红灯，开启电机依次进行，就可以写成顺序流程。图3-9给出了具体的程序顺序流程实例。

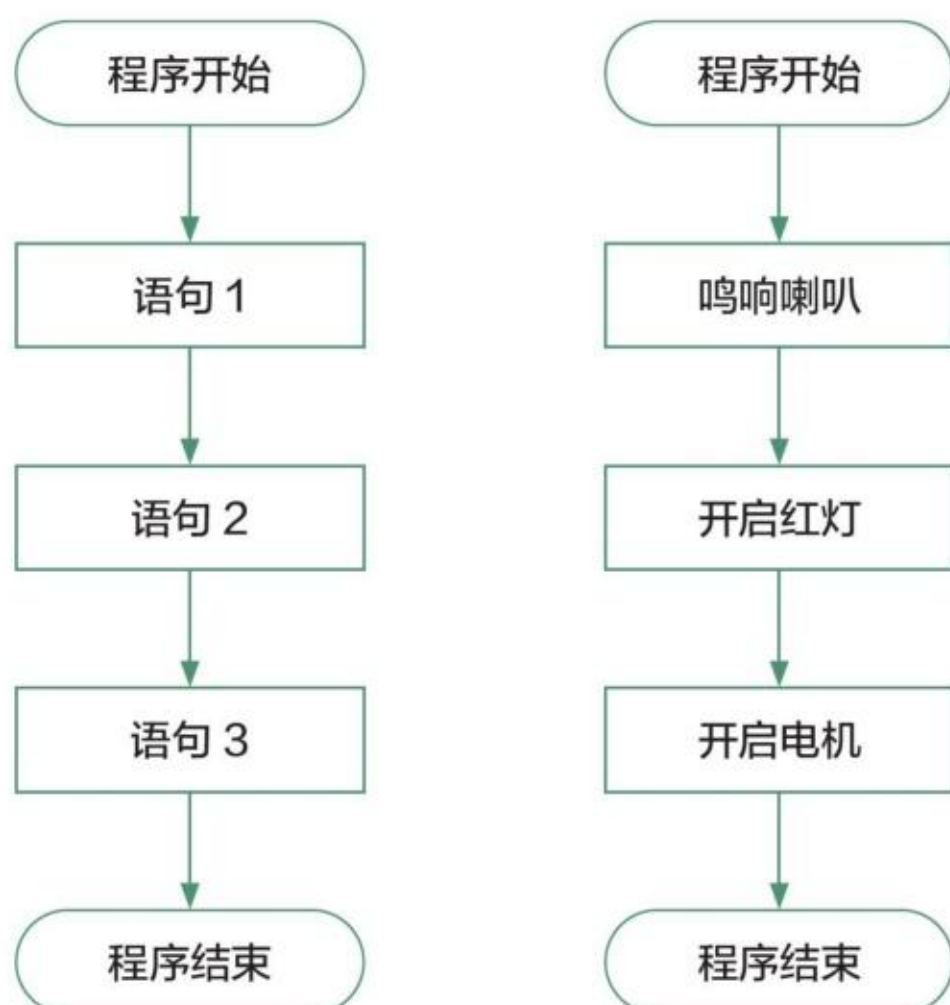


图3-9 顺序流程实例

思考 & 练习

自己设计一个顺序流程，并画出对应的流程图。

循环流程是指机器人在执行任务时需要进行有条件的循环操作，也就是说，在流程图上可以使用判断框对当前条件是否满足进行判断，再决定机器人是否循环执行操作。例如，让机器人点亮红灯10秒钟，超过10秒就关闭红灯，这个程序设计就可以用时间是否达到10秒作为判断条件，满足条件关掉红灯，不满足条件持续点亮红灯。图3-10给出了具体的程序循环流程实例。

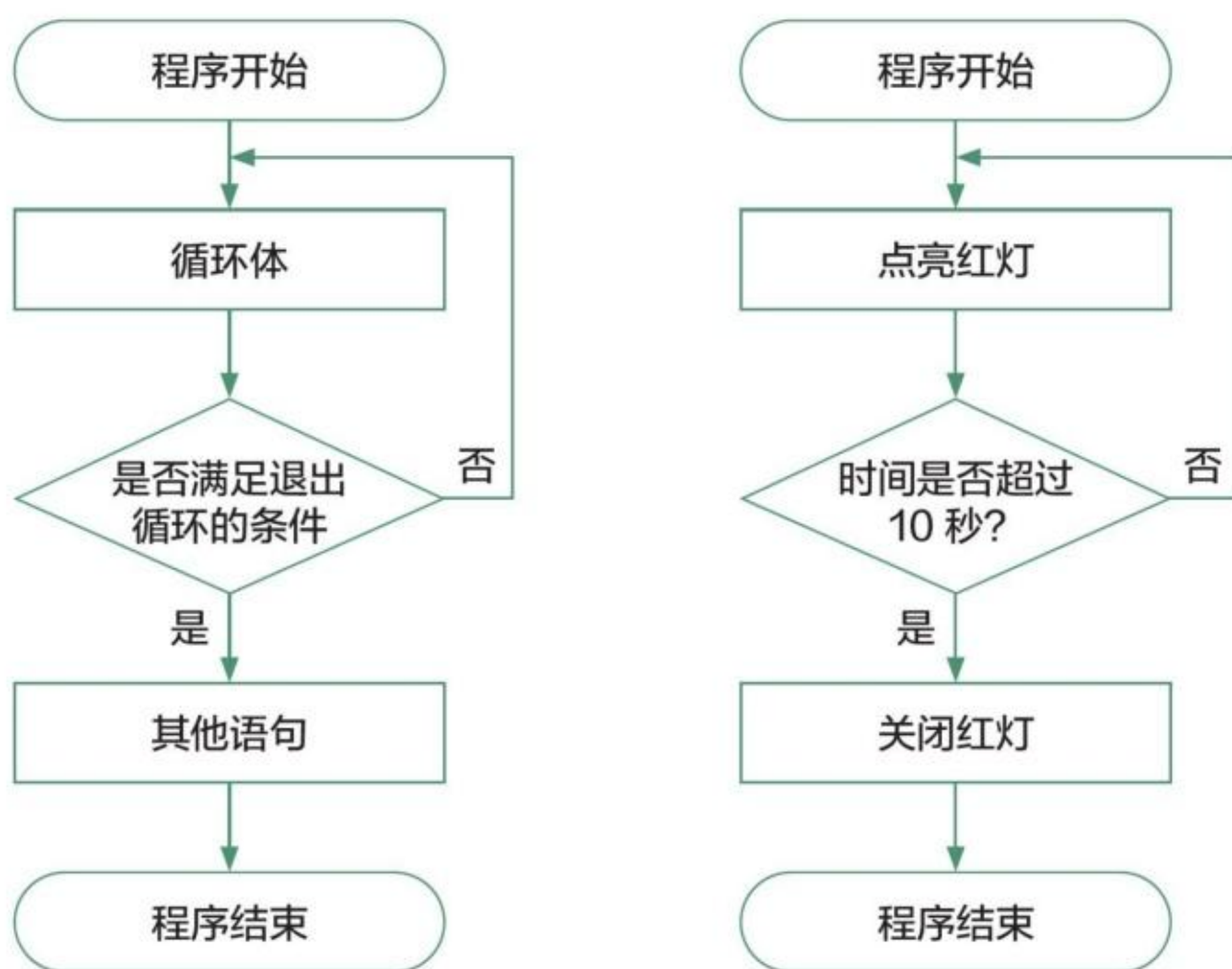


图3-10 循环流程及其实例

思考 & 练习

你能分清顺序流程与循环流程吗？循环流程中是否存在顺序流程呢？

语言是人类的重要交际工具，人们通过互相能够理解的语言来沟通情感、传递信息、表达需求、发布任务等。人与机器人“对话”同样需要这样一类“语言”，使机器人能够“明白”人类想要它做什么，这类“语言”就被称为编程语言。下页图3-11描绘了人与人的交流和人与机器人的“交流”场景。

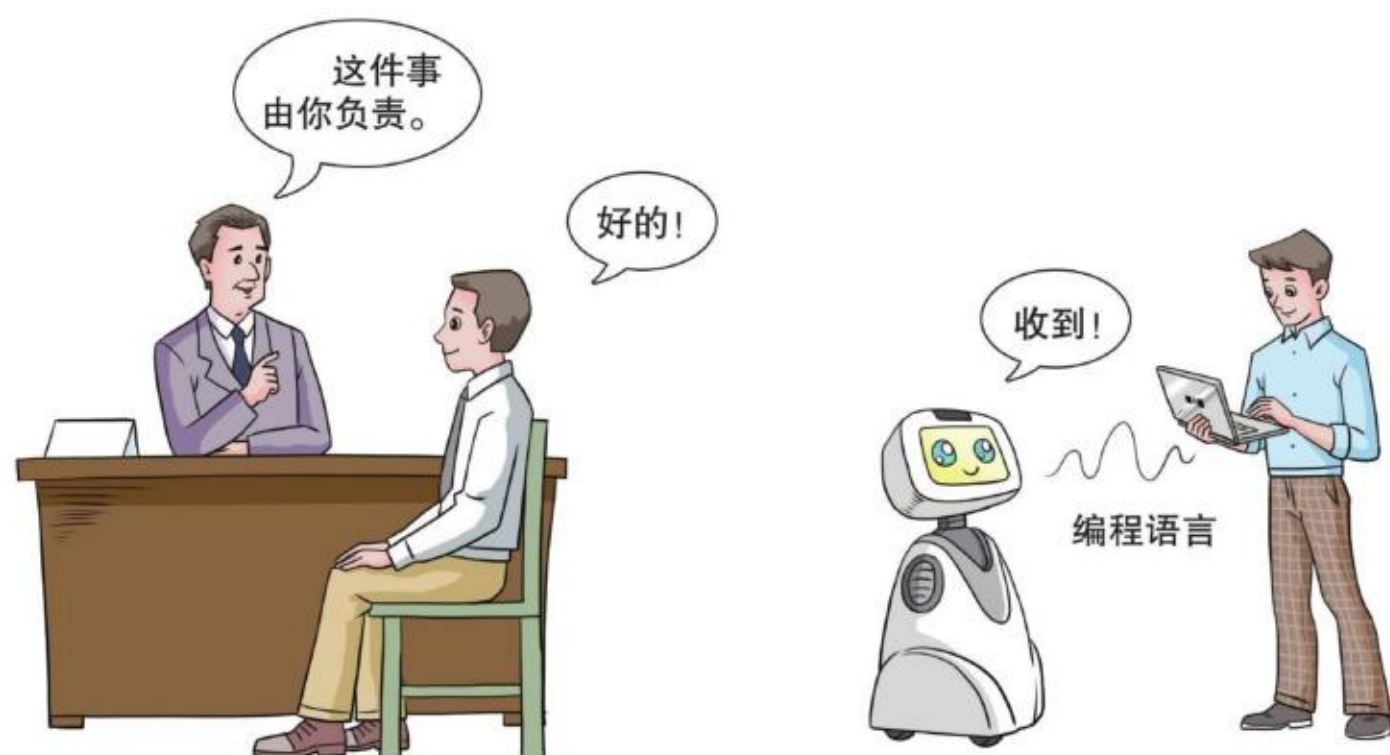


图3-11 人与人的交流和人与机器人的“交流”

在大多数情况下，简单的机器人通过单片机来解读编程语言，常用的单片机编程语言有机器语言、汇编语言与高级语言。

机器语言由0和1组合而成，是计算机最原始的语言。无论哪种语言，最终想被单片机识别就必须转换为由0和1组成的二进制代码，因此单片机执行机器语言速度最快，但是对于人来讲，机器语言的可读性较差。

汇编语言是一种低级语言，它使用容易被人类理解的助记符号来表示特定的代码及相关运算，例如ADD代表加法，SUB代表减法。使用汇编语言编程，对内存的占用少，执行速度较快。

? 思考 & 练习

查阅英文词典，指出ADD、SUB分别对应什么英文单词。

高级语言使用与人类自然语言类似的单词来表示一系列特定的低级语言，换言之，使用高级语言编写程序，写出的代码比低级语言易于理解，程序的可读性更强。但是，高级语言编译产生的代码较长，单片机执行时速度较慢。

第 4 节 控制器通信接口



学习目标

1. 学会区分模拟信号与数字信号
2. 了解 A/D、D/A 转换器的功能
3. 掌握控制器与传感器的通信接口类型

当我们见到一个生僻词语时，可以通过查词典的方式将这个生僻词语转化成我们熟悉的常用词语；当多国游客在一起吃饭时，可以通过翻译将别人的语言转化成自己能听懂的语言；当机器人内部的传感器、控制器、单片机互相通信时，是否也需要一个类似翻译的角色呢？



讨论 & 交流

你知道世界上有哪些语言种类呢？有没有不同国家使用同一种语言的情况？

控制器能接收传感器采集的数据，也能输出信号控制驱动器，这些动作都需要通过通信接口完成。选择合适的通信接口能保证数据被准确、快速、有效地传输。常见的通信接口可以分为两类：模拟信号接口和数字信号接口。其中模拟信号接口需要通过模拟数字（A/D）转换器、数字模拟（D/A）转换器实现模拟设备与控制器通信；数字信号通信接口包括 UART、SPI、I2C 等，不同的数字信号接口通信协议不同，就像不同语种的人交流用的语言不同。



讨论 & 交流

猜猜看模拟数字转换器与数字模拟转换器有什么区别？

能被单片机处理的信号必须是电信号，自然界中除电信号外还存在很多物理信号，如：声、光、热、力等。这些信号可以通过传感器转换成对应的模拟电信号，但这还不够，模拟电信号必须再

转换成数字信号才能被单片机处理；反过来，单片机输出数字信号时，有时需要转换成模拟信号才能控制对应的驱动器。模拟信号是一种连续变化的量，即使在一定区间内取值是无限的，例如一天中气温的变化就是模拟信号；而数字信号是一种离散的量，在一定区间内取值是有限的，例如班级学生的年龄都是整数，就是数字信号。数字信号经过二进制编码，变成只有0和1组成的二进制序列，就能在控制器中处理。A/D转换器就是用来实现模拟量（Analog，简记为A）到数字量（Digital，简记为D）转换的器件，D/A转换器是用来将数字量转换为模拟量的器件。

有些单片机内部自带A/D、D/A转换器，那么我们可以直接把模拟信号连接到相应的引脚，然后编写相应的程序完成转换。我们也可以选用商品化的A/D、D/A转换器芯片，如图3-12所示。



图3-12 某公司生产的A/D转换芯片ADS7229芯片

图3-13为A/D和D/A转换示意图，从图中可知D/A转换是A/D转换的逆过程。

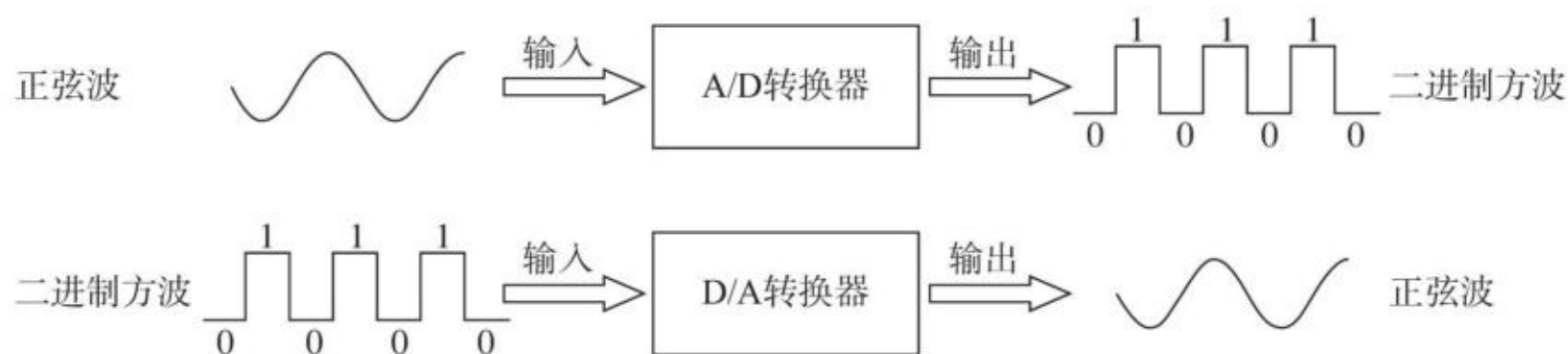


图3-13 A/D和D/A转换示意图



拓展阅读

A/D转换器有多种类型，但它们的功能都是一样的，即用多位二进制数来表示一个模拟信号，也就是量化。这种表示一般是线性的，越大的模拟信号用越大的数来表示。例如用红外传感器测距，障碍物的距离越小，红外接收器接收的光越强，输出的电压越高。

某款红外传感器输出的电压范围是0~5 V，

如果我们用一款4位、量程是0~5 V的A/D转换器去量化，那么0~0.312 5 V可以表示成0000，0.312 5~0.625 V表示成0001，依此类推至4.375~4.687 5 V表示成1110，4.687 5~5 V表示成1111。单片机根据这些二进制数的大小就能估测障碍物距离。

讨论 & 交流

体检时测量身高，学生的身高属于数字量还是模拟量呢？填入身高记录表的身高值与学生实际身高有什么区别吗？将学生身高填入记录表的过程实现了 A/D 转换还是 D/A 转换呢？

UART 是通用异步收发传输器的简称，它常被称为 UART 串口通信，或简称为串口通信。该通信接口共有四根线，分别是电源、地、发送（TX）线和接收（RX）线，如图 3-14 所示。信息都是通过 TX 信号线发送，RX 信号线接收。因此，对于两个需要通信的设备来说，A 设备发送的信息被 B 设备接收，故 A 设备的 TX 线要与 B 设备的 RX 线连接，反之亦然。

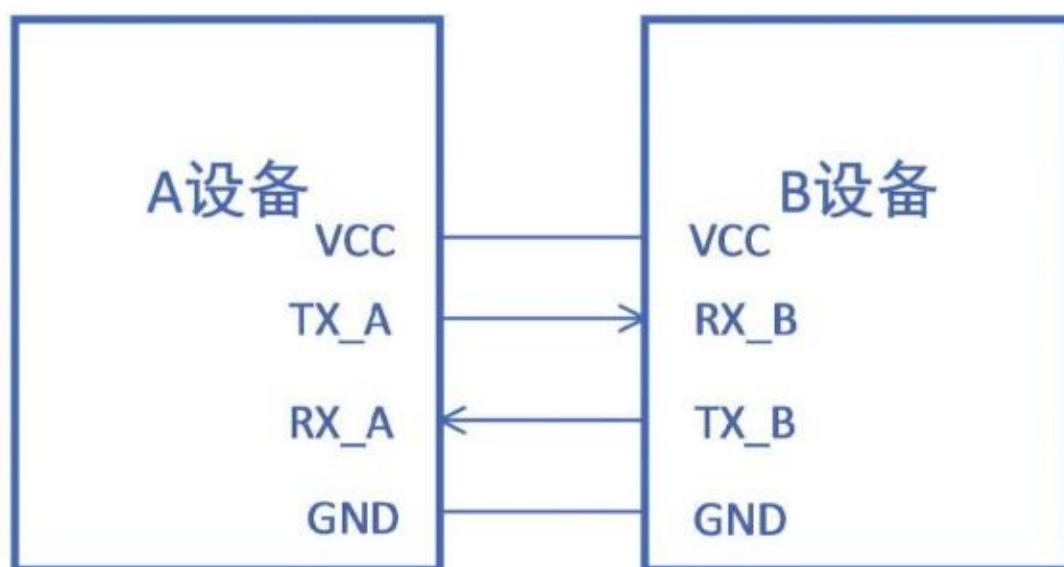


图 3-14 UART 通信示意图

I2C（Inter Integrated Circuit，内部集成电路）是一种只使用两条线进行数据传输的通信接口，I2C 总线的两条线分别为时钟线和数据线。

SPI 是串行外设接口的简称，也是一种通信总线接口。SPI 接口除了电源和地线之外，还需要四根信号线。

讨论 & 交流

你能说出几种数字通信接口呢？

总线是不同设备之间传送信息的公共通信干线。不同的总线包含的线路数目不同，有两根线的，也有四根线的，等等。所有需要通信的设备只需连接到总线上就能实现相互通信。总线就像公共汽车，连接到总线上的设备就像不同的车站，每个车站都能上下乘客。传输的信息都有特殊的标志，就像每个上车的乘客都知道自己要在哪一站下车，这样就保证不同设备间通信不会混乱。

当有很多传感器需要与控制器通信时，如果每个传感器都单独与控制器连接，那么就会占用很多GPIO口（图3-15左），这时采用总线通信的优势在于只需很少的GPIO口连接所有传感器，就能实现其间的通信（图3-15右）。I2C 接口和 SPI 接口都是总线通信接口，但二者的使用方法不同，各有优劣。

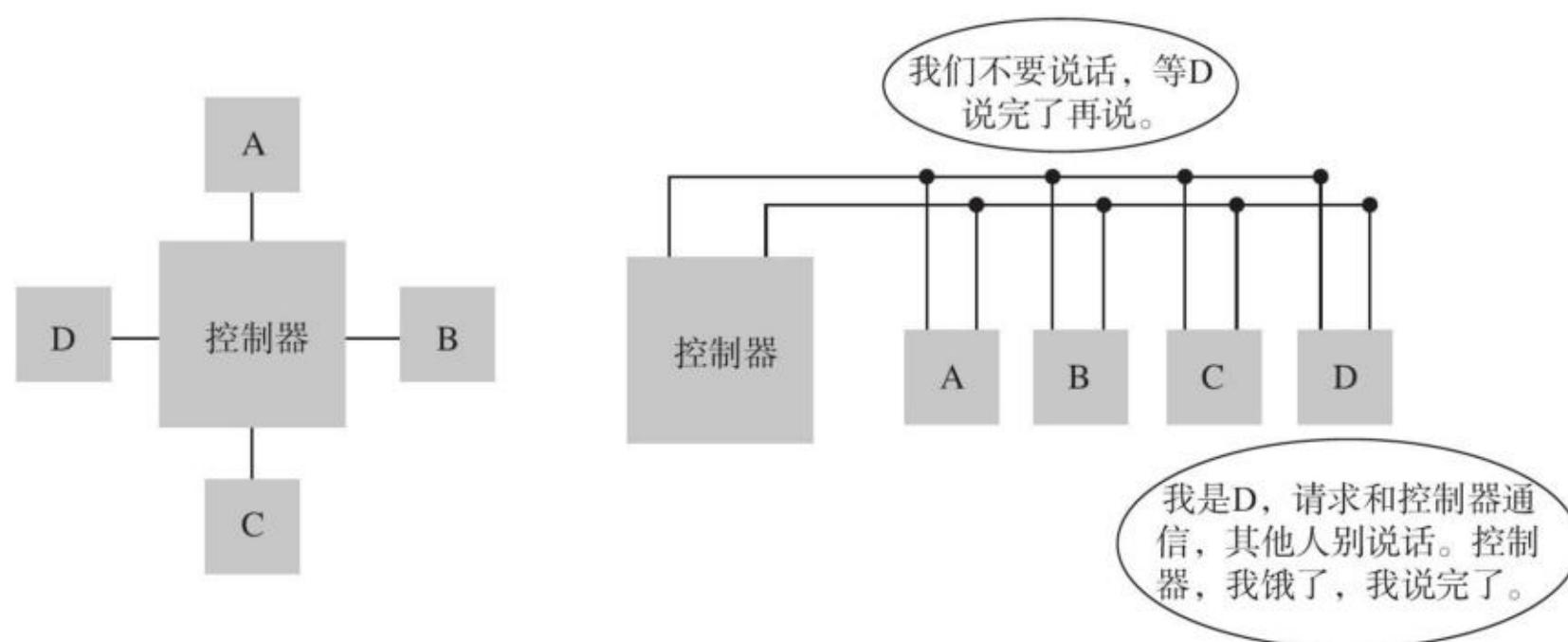


图3-15 非总线连接（左）和总线连接（右）示意图

本章小结

机器人控制器是推动现代机器人按照人类预设目标正常工作的关键所在，也是机器人自动化、智能化运行的重要一环，人类正是通过控制器来完成对机器人的发号施令。

本章从机器人控制器的基本原理开始，介绍了控制器的核心——单片机及其内部结构，并将结构划分为两个主要模块：运算器和控制器。单片机在工作时需要外围电路的辅助，使单片机正常工作的最小系统包括单片机、电源供电电路、参考时钟电路、复位电路。为使单片机按照人类规定的方式来工作，需要编写能被其执行的程序，使用流程图可以极大方便人们对程序的设计与修改。最后，本章对控制器的通信接口做了简要介绍，并强调了模拟信号与数字信号相互转换的必要性。

本章知识结构如图3-16所示。

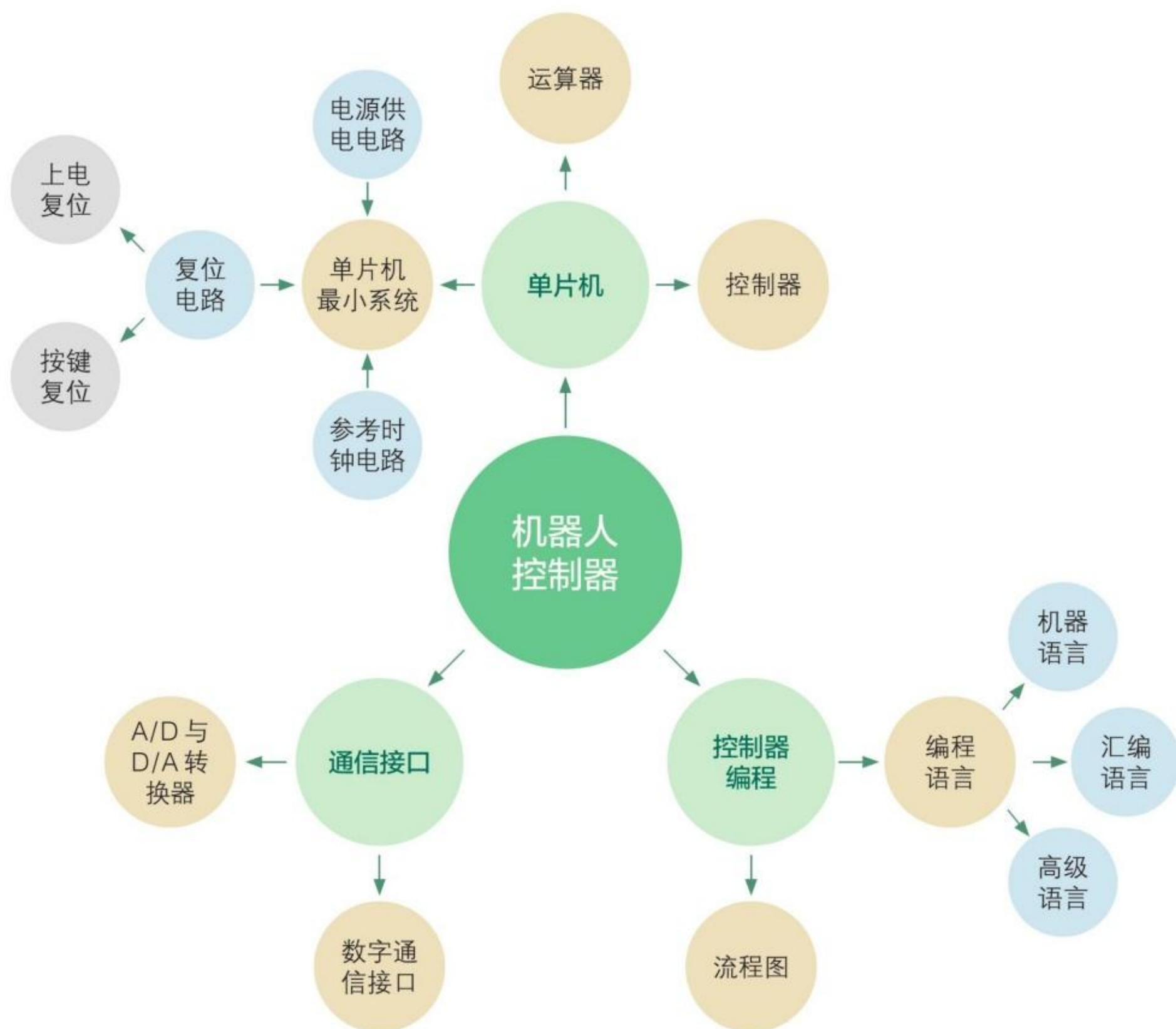


图3-16 机器人控制器小结



循迹机器人小车制作——电机驱动

实验目的

学习直流电机在机器人系统中的使用，学习机器人系统中电源系统的设计。

实验原理

本次实验需要实现的功能是通过单片机驱动电机实现循迹小车的前进、后退、左转和右转。

1. 电机驱动模块

本次实验选用的电机是直流电机。普通的直流电机只要接入工作电压就能正常转动，但如果还需要控制电机的正反转、停止以及转速，就需要电机驱动模块。本次实验选用 L298N 电机驱动模块。模块的驱动芯片是 L298N，图 3-17 是一款双 H 桥直流电机驱动芯片，能分别控制两路直流电机。图中的使能端是控制信号输入端，又叫使能输入端，它是芯片的一个输入引脚，或者电路的一个输入端口。只有该引脚激活，芯片才能工作，通常情况下为高电平有效，若符号上面有一横，则表示低电平有效。

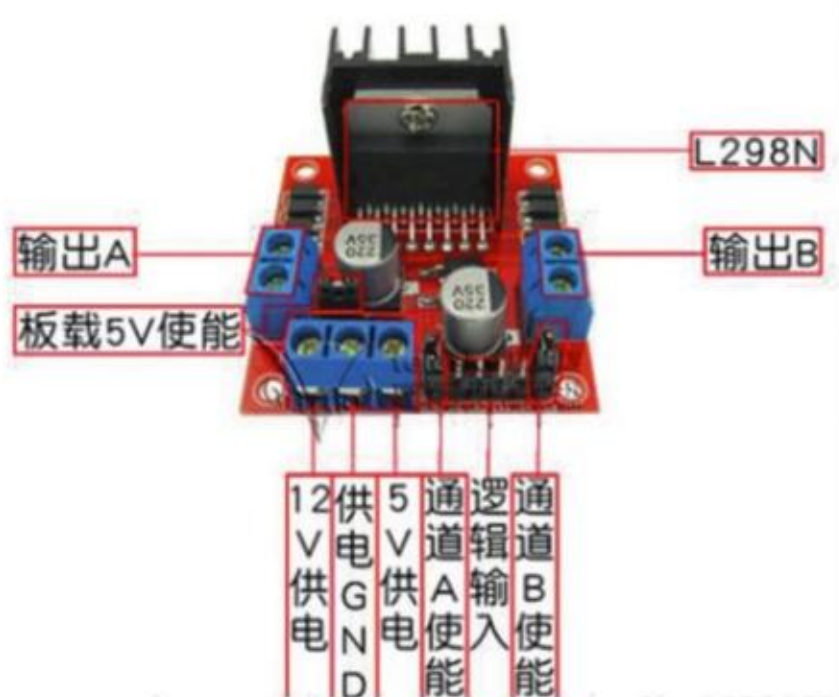


图 3-17 电机驱动模块

L298N 的使能端 ENA、ENB 为高电平时分别对相应控制的电机有效，控制电平与直流电机工作状态对照表如下。

ENA/ENB	IN1	IN2	直流电机状态
0	X	X	停止
1	0	0	制动
1	1	1	制动
1	0	1	正转
1	1	0	反转

在调节直流电机速度之前，需先确定电机朝什么方向转动，通过查阅直流电机工作表确定IN1与IN2应给定的电压值。之后将PWM脉冲信号输入电机使能端（ENA、ENB），这样对直流电机的PWM调速就完成了。

2. 循迹小车转向的实现

小车的转向可以通过两个轮子的差速实现，差速就是两个轮子的速度之差。左轮向前转，右轮向后转即可实现右转；右轮向前转，左轮向后转即可实现左转。

3. 电源系统设计

机器人中的电源系统设计很容易忽略却又十分重要，因为通常同一个机器人的电路中涉及的用电器种类很多，常常需要不同的工作电压，有时为了避免干扰，即使工作电压相同的用电器也要分开供电。所以，电源系统的好坏一定程度上会影响机器人能否正常工作。

本次实验中电机驱动电源由3节锂电池提供。此外，单片机的工作电压是5V，可由L298N模块上的5V输出提供。

实验器材

- (1) 51单片机最小系统（STC89C51）；
- (2) 智能车车架；
- (3) 直流电机；
- (4) USB转串口模块；
- (5) L298N电机驱动模块；电阻、面包板、导线若干；
- (6) 电池、电池盒、导线若干。

实验步骤

- (1) 装配智能车车架；
- (2) 按照图3-18的电路图连接各电路模块；

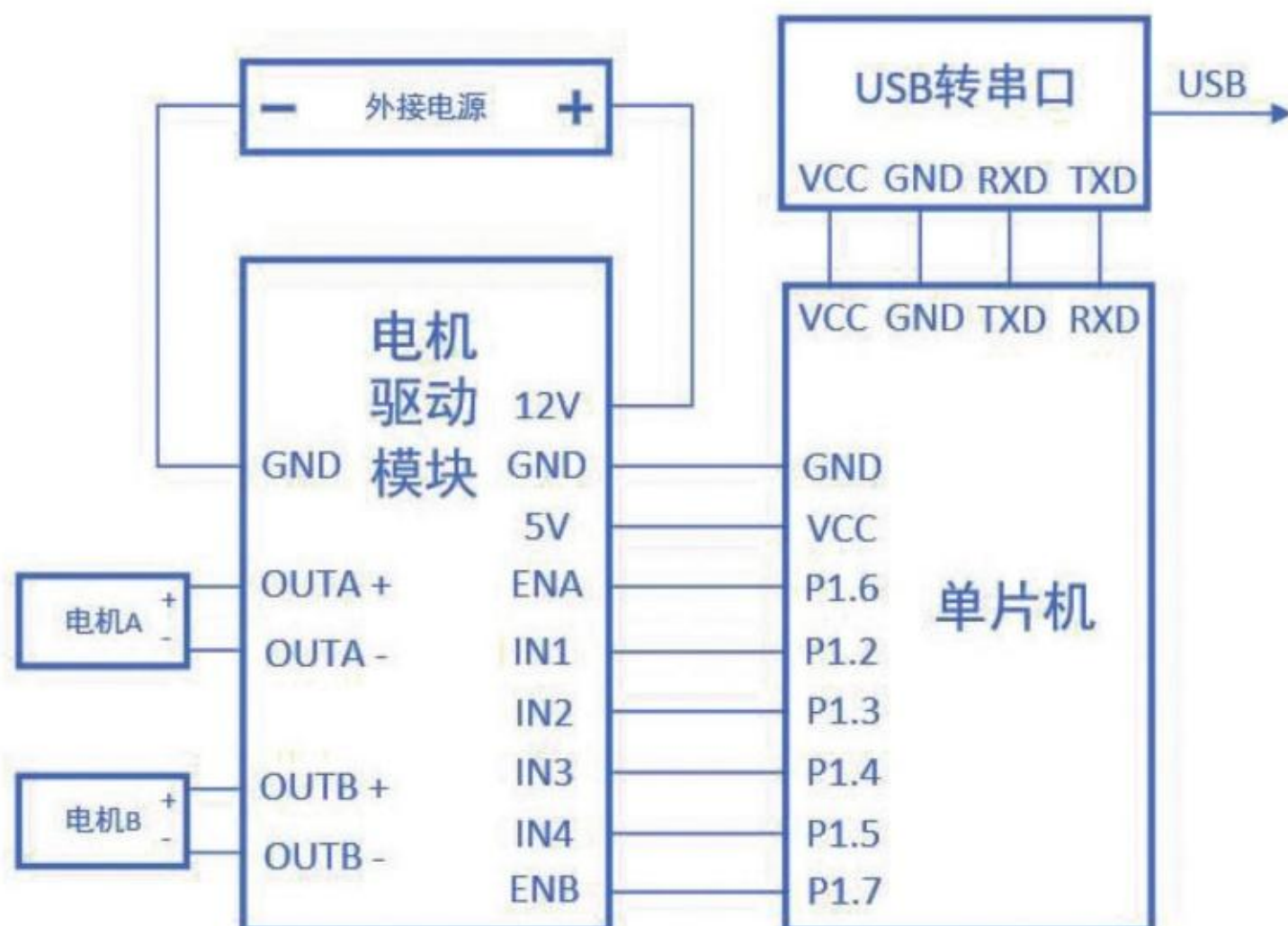


图3-18 电机驱动连接电路图

- (3) 编写并调试单片机控制程序；
- (4) 测试实验装置。烧写相应的程序，实现循迹小车在平面上的前进、后退、左转和右转（图3-19）。

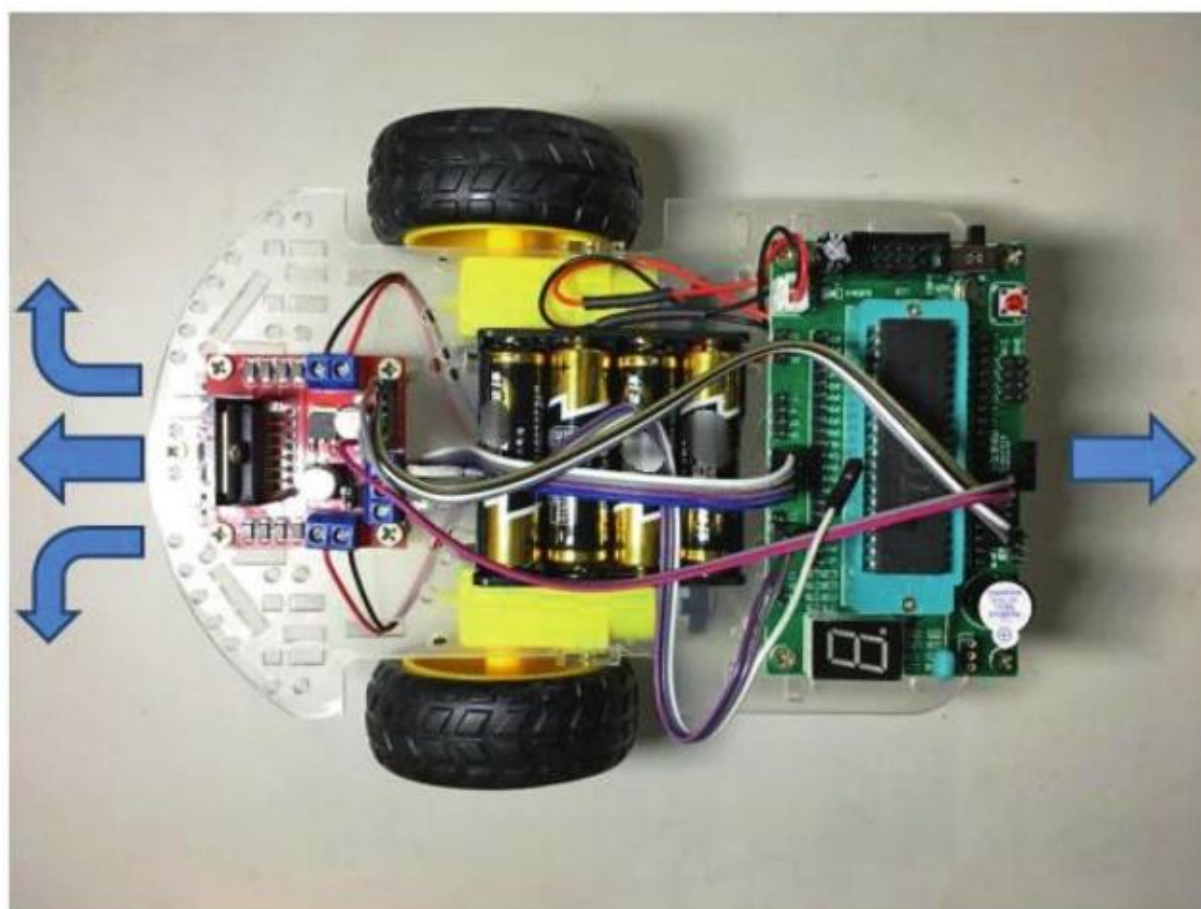


图3-19 循迹小车运行方向

实验拓展

- (1) 尝试通过单片机程序调节直流电机转速；
- (2) 通过上网查找资料，试解释H桥控制原理；
- (3) 尝试改变PWM波的频率和占空比；
- (4) 思考如何能较精确地控制小车运动距离。

课外实践评价表格

实践项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
电气线路的连接	连接正确，线路长度适中，线路整洁美观，没有短路或断路的风险			
程序逻辑的编写	逻辑清晰正确，命名规范，有适当的注释，编程风格良好			
功能调试	能实现基本功能，小车运动顺畅，遇到问题能独立分析并解决			
实验操作	操作步骤有条不紊，注重安全			
实验拓展的分析	能正确回答拓展问题，分析合理透彻，有创新			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进

本章学习评价表

	项目内容	自我评价
课堂学习	本章知识要点的掌握情况？	
	本章思考练习的完成情况？	
	本章实验的完成情况？	
学习收获	学完本章后有什么收获？	
	本章内容对你有什么启发？有什么不足？	

第四章 机器人控制策略

为使一只导盲犬掌握日常工作技能，需要专业人员使用合理的策略加以引导，与之类似，控制机器人也需要制定科学的控制策略，使其在执行任务时快速准确地达到目标。

下面将介绍机器人的路径规划与运动控制任务，在学习相关概念与运动控制算法的过程中培养学生的图样表达与物化能力。

第1节 路径规划和运动控制的概念和功能

第2节 路径规划和运动控制的设计方法

第3节 机器人控制策略实例



第 1 节 路径规划和运动控制的概念和功能



学习目标

1. 理解机器人路径规划和运动控制的概念和功能
2. 学会区分三种控制任务的异同

路径规划与运动控制在生活中随处可见。在我们从家出发前往学校的时候，选择走哪条路的过程实际上就是在进行路径规划。在打乒乓球时，控制球拍的倾斜角度、控制挥打球拍的击球速度、控制球拍的挥动方向，这些都属于运动控制任务。机器人也不例外，同样需要思考如何制定出合理的路径规划方案，如何完成运动控制任务。



讨论 & 交流

你外出旅游时有没有独立设计过游览路线呢？进行路线选择的时候需要考虑哪些因素呢？谈谈你的看法。

路径规划，顾名思义，指对从起点到终点之间的路径进行设计规划。路径规划的应用非常广泛，在机器人运动过程中如何避免碰撞、在无人机飞行过程中如何躲避障碍、在巡航导弹行进过程中如何躲避雷达搜索与敌人袭击，以及生活中常用的GPS导航都会涉及路径规划的相关知识。

例如，对于一台扫地机器人进行清扫路径规划，我们就可以为其制定图4-1所示的两种模式，一种是规划好路径的清扫模式，另一种是撞到障碍物就变道的随机清扫模式。

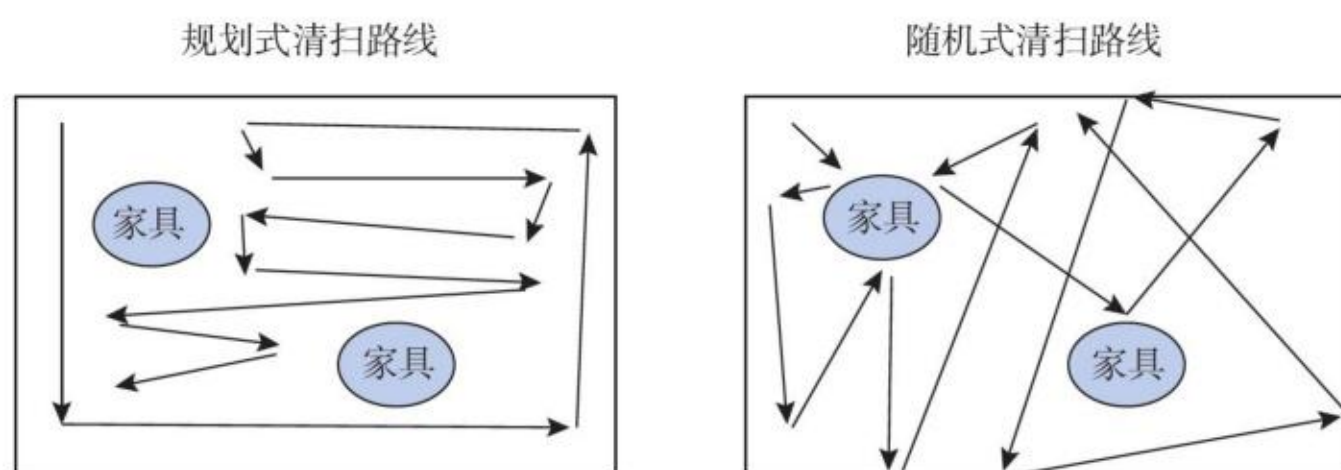


图4-1 扫地机器人的路径规划

讨论 & 交流

分析图4-1所示的两种路径规划模式的工作过程，讨论两种模式分别适合在什么任务中应用。

案例

“洞察”号无人探测器降落到火星表面的过程如图4-2所示，在该过程中采用哪种路径规划模式更为适合？在降落的不同阶段采用的路径规划模式需不需要有所区别呢？



图4-2 “洞察”号无人探测器登陆火星示意图

讨论 & 交流

在遥控飞机飞行时，需要制订哪些控制任务？

运动控制是指对物体的运动设计合理的方案并加以控制。在二维平面上运动的机器人主要有三种控制任务，分别是姿态控制、路径控制和轨迹控制。

（1）姿态控制任务

姿态控制是指机器人在移动的过程中，我们需要对机器人的姿

态（身体方向）进行控制，整个过程不需要考虑机器人的移动速度和具体路径，障碍物也被忽略掉。图4-3描绘了移动机器人姿态控制的初始和终止姿态示意图。

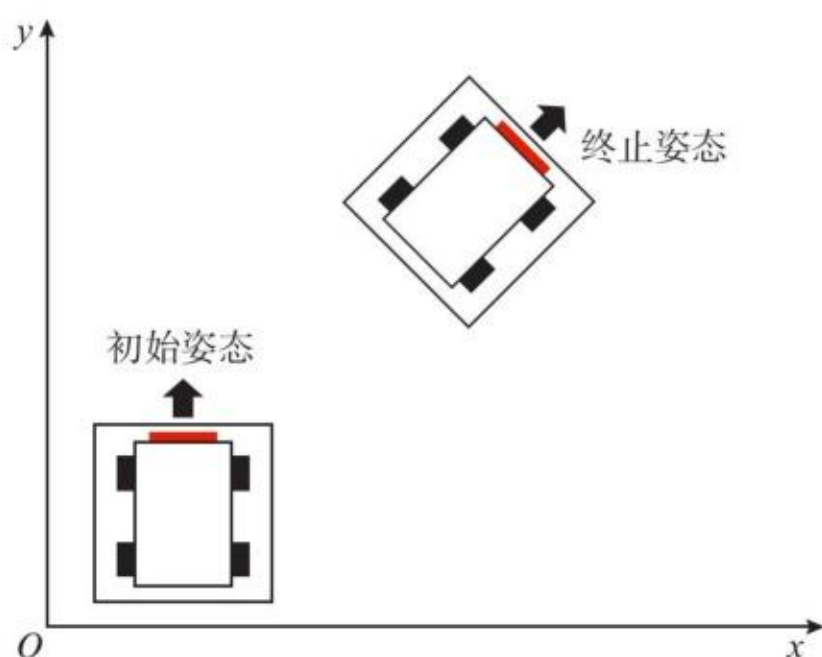


图4-3 移动机器人姿态控制示意图

讨论 & 交流

在你做广播体操的过程中，可能会涉及哪些姿态控制？

（2）路径控制任务

路径控制是指机器人在移动过程中，我们需要对机器人的行走路径进行精确控制，整个过程忽略了速度与姿态的控制，而更加强调运动路径的精准度，通过对机器人路径控制的研究可以验证部分运动控制算法，能够帮助我们更好地对机器人移动系统进行研究。但因为没有限制速度，所以我们无法提前知晓每个时刻机器人的具体位置，具有一定的局限性。图4-4描绘了移动机器人路径控制过程示意图。

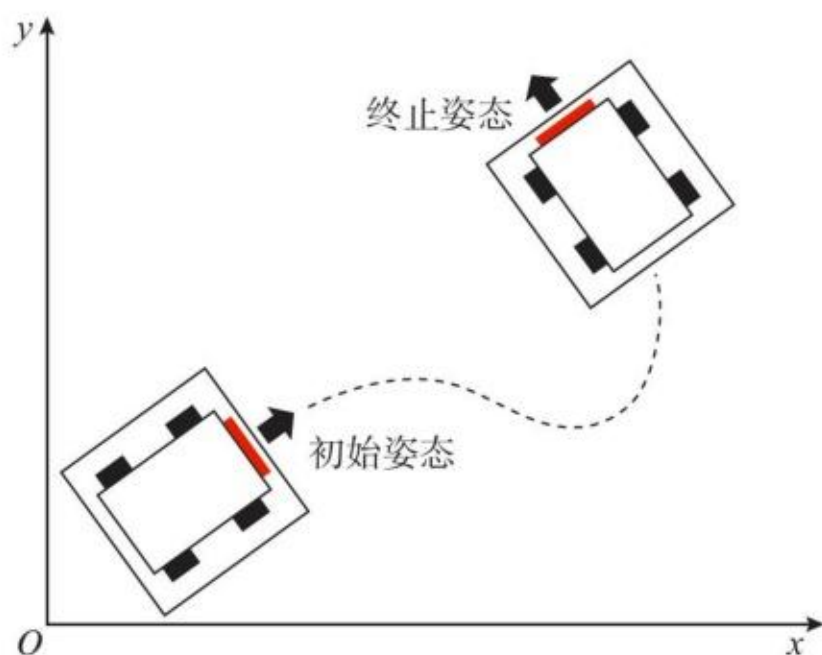


图4-4 移动机器人路径控制示意图

讨论 & 交流

运动会上进行800米跑步比赛时，不同运动选手的路径控制是否相同？

(3) 轨迹控制任务

轨迹控制与路径控制相似，但是对机器人的运行过程加上了时间限制，即我们需要控制机器人在每个时刻到达指定的位置。机器人在运动过程中需要及时躲避在不同时刻来自不同方向的障碍物，此时，我们便可以为机器人设计一条对应的避障轨迹。因此，轨迹控制对于移动机器人来说是一项重要的任务。图4-5描绘了移动机器人具体轨迹控制示意图。

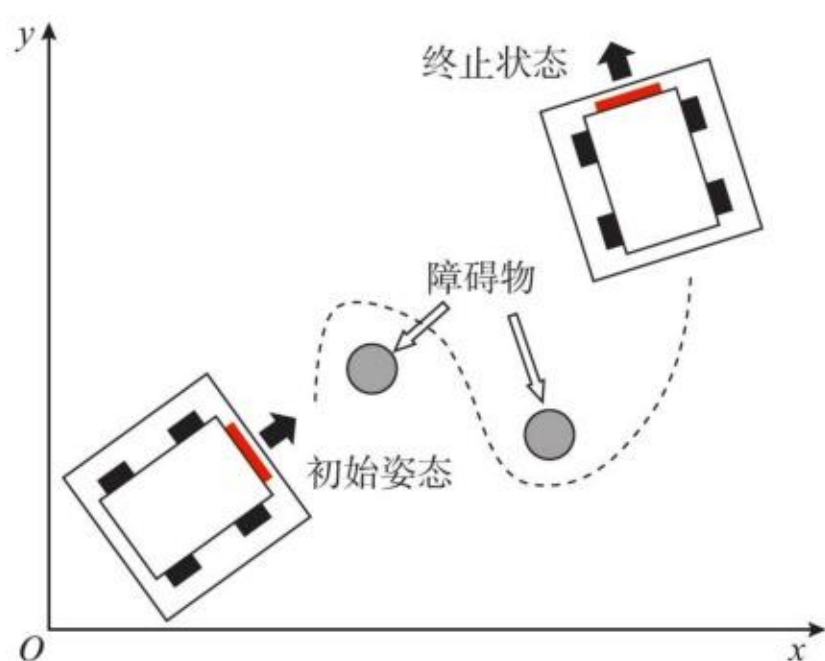


图4-5 移动机器人轨迹控制示意图

讨论 & 交流

轨迹控制任务与路径控制任务有什么区别？

第 2 节 路径规划和运动控制的设计方法

学习目标

1. 了解机器人控制系统的组成部分
2. 学会区分机器人的开环控制与闭环控制

我们平时见到的机器人身上大多布满了各种类型的传感器与复杂的机械结构，如何对这么庞大的系统进行控制便是一个较为困难的问题。但是，如果换个角度想一想，机器人的整个系统固然复杂，但将其拆解为最基本的控制单元进行分析会不会容易一些呢？下面就从最基本的控制系统入手，介绍如何对这个基本单元进行控制。

讨论 & 交流

你在其他课程学习的过程中，有没有将复杂问题拆解为多个简单问题逐一分析的经历呢？

机器人控制系统包含控制器、被控对象、执行机构与检测单元等组成部分。例如，对于水缸水位控制来说，被控对象就是水缸，执行机构就是水龙头，检测单元就是水位检测器，控制器是控制水龙头开关的微电脑，图4-6给出了具体水缸水位控制系统组成部分示意图。



图4-6 水缸水位控制系统组成部分

思考 & 练习

设计一款水温控制系统，指出该系统的控制器、被控对象、执行机构与检测单元分别由哪些部分构成。

开环控制系统是指被控对象的信息输出对控制器的输入没有影响，信息输出仅由信息输入决定的系统。比如正常人走直线，会睁着眼睛，一旦走偏了会及时修正，从而保证走过的轨迹大致是一条直线。开环控制就像闭上眼睛走路，人们只能凭感觉走路，不知道是否走偏，所以也无法修正，通常走过的轨迹会弯弯曲曲。再如向水缸中注水，直接设定打开水龙头注水 3 min，这就是一个开环系统。

讨论 & 交流

1. 自助洗衣机在投币后自动洗衣 40 min，这一控制过程是否属于开环控制呢？说明理由。
2. 举例说明生活中有哪些系统采用开环控制。

闭环控制系统中，被控对象的信息输出会通过检测单元返送回来影响被控对象的信息输入，从而形成一个或多个环路。闭环控制系统的例子很多，比如人就是一个具有反馈的闭环控制系统，眼睛便是起到反馈作用的传感器，前面讲到的人睁开眼睛能走直线就得益于闭环控制。此外人眼的视觉反馈使人可以通过不断修正做出各种躲避障碍的动作。再如前面提到的向水缸中注水，如果设定打开水龙头后注水到指定水位，那么通过检测器得到输出信息——水位高度，然后将当前水位高度与设定水位比较以确定是否继续放水，那么这就是一个闭环系统。

讨论 & 交流

交通灯工作时的控制系统是开环系统还是闭环系统呢？如果是开环系统，请分析为什么不将其设计为闭环控制系统。

在开环控制的机器人系统中，驱动器由控制器直接控制，控制的信号完全由预设的程序决定。由于没有传感器，控制器并不知道驱动器的动作是否已经到位。然而在实际应用中，外界的干扰、阻力的偶然性变化等因素都会使得驱动器的实际动作跟预设的程序有一定的偏差。这时候就需要用传感器测量驱动器的动作，然后把驱动器的运动信息反馈给控制器，这样控制器就能对驱动器进行微调，使其能达到指定的位置。

案例

有了传感器进行微调指导，蒙眼机器人就可以借助接收到的反馈信号更准确地到达目的地（图4-7）。

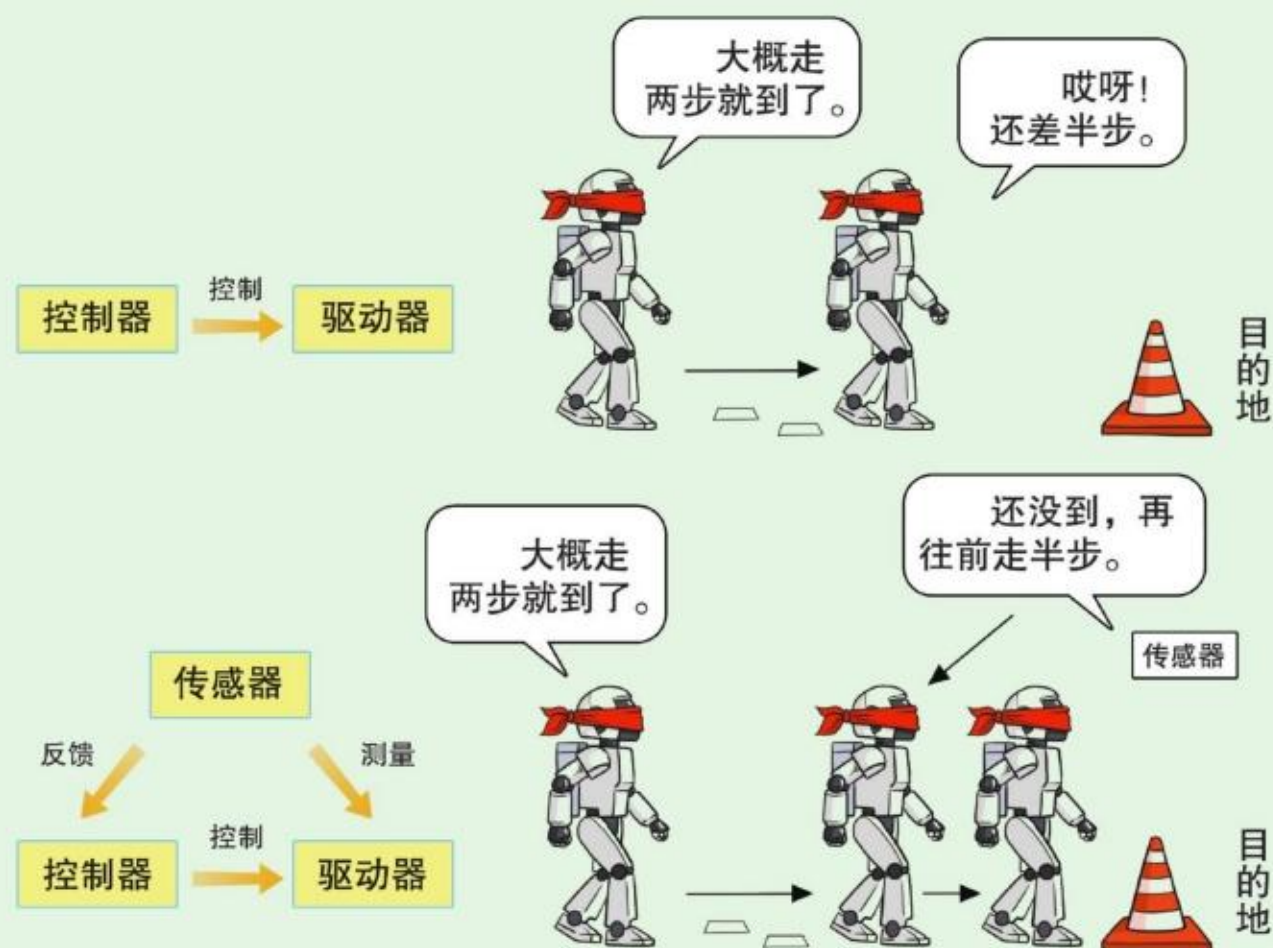


图4-7 机器人开环与闭环控制

算法表示一种计算方法，也可以用来描述对某一类问题的解决方案。机器人在完成人类给定的任务时，可以根据不同的任务类型，选用与该任务相匹配的算法。下面将对机器人的运动控制算法进行介绍，并展示机器人控制背后的数学思想。

讨论 & 交流

你在求解数学或其他学科的问题时，有没有针对不同类型的题目进行算法选择的经历呢？

无论是开环还是闭环系统，系统控制最终都是通过算法得以实现的。常用的控制算法包括PID控制、自适应控制、变结构控制、模糊控制、神经网络控制等。由于控制算法涉及很多数学理论推导，这里仅以PID控制为例，简要介绍控制算法的基本思想，对于其他控制算法，感兴趣的读者可以额外作为专题研究。

PID控制是指比例（P）、积分（I）与微分（D）控制，是一种经典的闭环控制算法，因其结构简单、稳定性好、工作可靠和调整方便而成为工业控制的主要技术之一，具体结构如下页图4-8所示。比例控制、积分控制和微分控制分别设定控制变化量与实际偏差的值、偏差的积分值和偏差的微分值成正比。小到控制产品内部一个元器件的温度，大到控制无人飞行器的飞行姿态和飞行速度等，都可以使用PID控制。

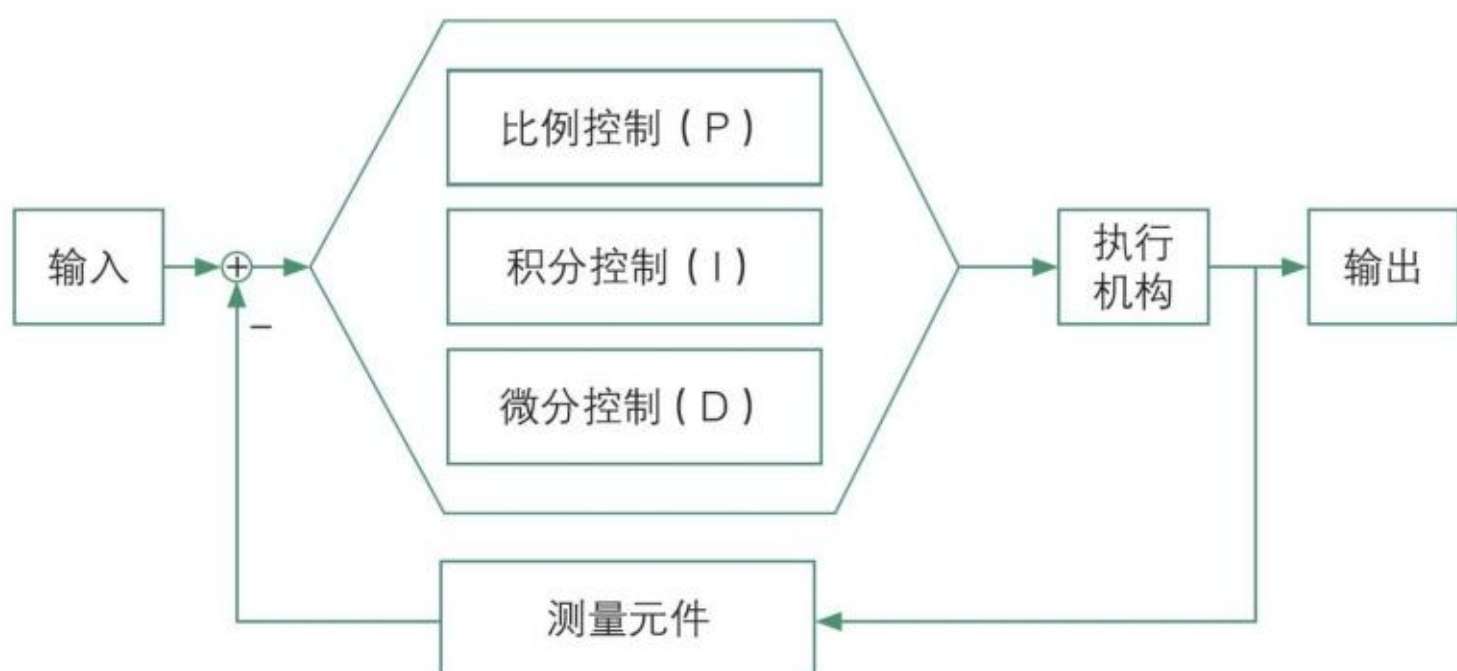


图4-8 PID控制系统

思考 & 练习

查阅英文词典，说出P、I、D分别是什么英文单词的缩写。

在实际工程应用中，PID控制多以组合的形式出现，比如纯P控制、P+I控制、P+D控制、P+I+D控制。当被控对象的结构和参数不能被完全掌握，或得不到精确的数学模型时，控制理论的其他技术难以采用，系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定，这时PID控制技术的有效性便得以彰显。

案例

通过控制水龙头的注水速度，将水箱中的水位从0 m注入到1 m，这个过程可以通过PID控制来实现。采用纯比例控制，控制注水速度与水量差 Δu 成比例 k_p ，这里取 $k_p = 0.5$ 。第一次水位差 $\Delta u = 1 \text{ m} - 0 \text{ m} = 1 \text{ m}$ ，注水量为 $k_p \times \Delta u = 0.5 \times 1 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$ 。第二次水位差 $\Delta u = 1 \text{ m} - 0.5 \text{ m} = 0.5 \text{ m}$ ，注水量为 $k_p \times \Delta u = 0.5 \times 0.5 \text{ m} = 0.25 \text{ m}$ 。第三次水位差 $\Delta u = 1 \text{ m} - 0.75 \text{ m} = 0.25 \text{ m}$ ，注水量为 $k_p \times \Delta u = 0.5 \times 0.25 \text{ m} = 0.125 \text{ m}$ 。以此类推，最终水箱中的水位将逼近1 m，图4-9描绘了水箱注水比例控制实例的具体过程。

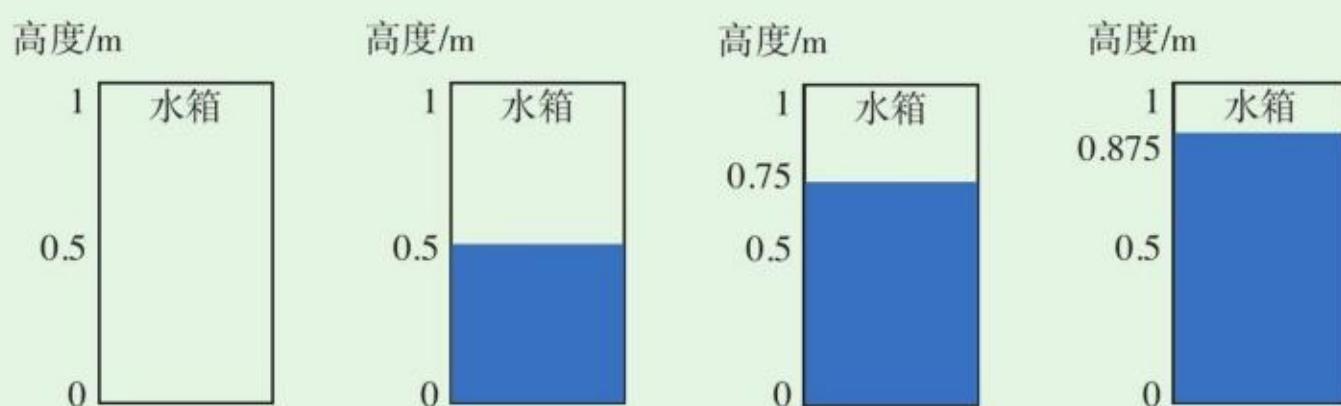


图4-9 水箱注水比例控制实例

采用纯比例控制有很大的局限性，若 k_p 过小，系统响应速度较慢；若 k_p 过大，系统很容易会振荡。另外，纯比例控制最终的实际值和目标值的偏差无法完全消除。这时候，就需要引入积分（I）控制和微分（D）控制。在PID控制下，实际值能快速且准确地随着目标值的变化而变化。

第 3 节 机器人控制策略实例

学习目标

1. 了解机器人路径规划问题的分类
2. 掌握常用的路径规划设计方法

路径规划是机器人控制的重要任务之一，制定简单有效的控制策略，对任务的顺利完成至关重要。从机器人设计者的角度来讲，适当的控制策略便于控制程序的编写；从机器人使用者的角度来看，合理的控制策略为操控机器人带来便利。

根据对环境的掌握情况，机器人的路径规划问题可以大致分为三种类型。

（1）基于地图的全局路径规划

如果我们能够知道整个环境中的道路情况、障碍物分布信息等，那就可以根据经验或特定排序条件，找出从起始点到目的地的最佳路径，在我们日常生活中使用的导航系统就属于这个类型，如图 4-10 所示。



图 4-10 地图导航系统

（2）基于传感器的局部路径规划

在很多情况下，我们无法知道全局地图，甚至整个环境都是未知的，此时我们可能需要依靠机器人身上提前安装好的传感器去获取环境信息。在遇到复杂的环境时，处理器有可能无法快速地解算出环境信息，使得机器人出现碰撞。例如，在图4-11所示的机器人足球赛中，我们需要根据赛场形势为机器人进行实时的进攻或回防路径规划，在参与踢球的同时又不能发生碰撞。



图4-11 机器人足球比赛

（3）混合式路径规划

混合式的路径规划就是希望把全局路径规划与局部路径规划结合在一起，全局规划出粗略的路径，然后再通过局部规划细化机器人的具体路径，最终完成整个路径规划过程。混合式路径规划综合了两者的优点，目前复杂的路径规划问题多采用混合式路径规划方法。

以送货机器人为例，分别采用规划好路径的运送模式和随机模式对其进行路径规划。

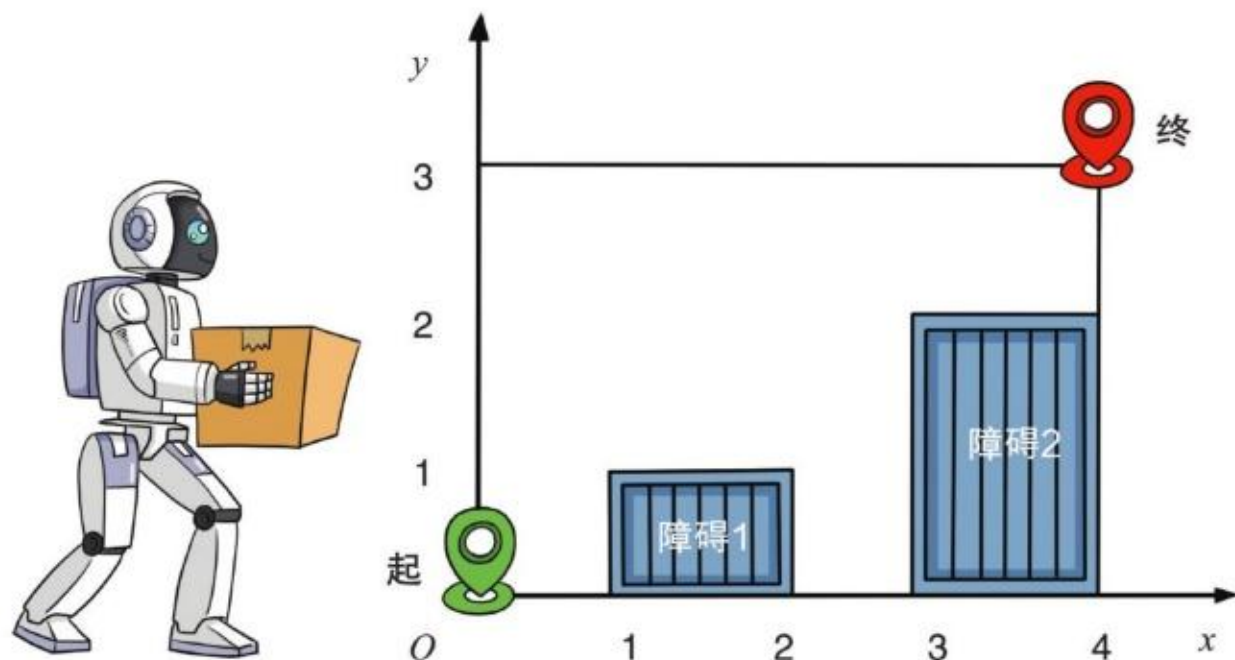


图4-12 送货机器人的路径规划任务

方案一：规划好路径的运送模式。

由图4-12可知，送货机器人从 $(0, 0)$ 位置出发，将货物送至 $(4, 3)$ 位置，中间存在两个障碍物。由于预先知道障碍物在 y 方向不超过2，因此可以先向 y 方向走到3，再向 x 方向走，这样就可以避开障碍物，路径规划如下页图4-13所示。

第1步：向 y 方向前进3，到达 $(0, 3)$ 位置；

第2步：向 x 方向前进4，到达 $(4, 3)$ 位置，货物送达。

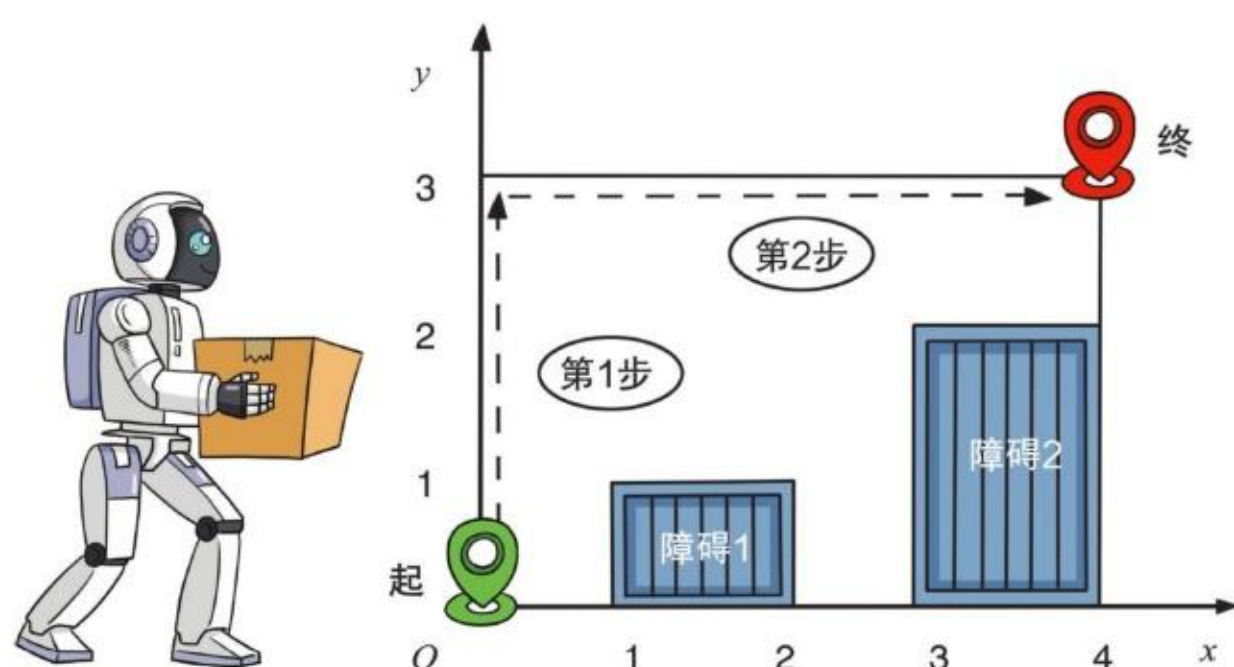


图4-13 规划式送货方案

方案二：随机模式。

在随机模式中，我们不需要预先知道机器人的送货道路环境，只需要设定机器人遇到障碍物后停止在该方向继续前进即可，因此可以先向 x 方向前进2，再向 y 方向前进1，循环往复。

值得注意的是，对于送货机器人，送货的起始点与送货终点是确定的，因此这里的“随机”指的是送货路径可以根据障碍物位置变化而自由更改的特性，并不是完全随机。由终点位置在 $(4, 3)$ 可知，送货机器人在 x 与 y 方向的运动范围应该分别限定在4与3之内，最终路径规划如图4-14所示。

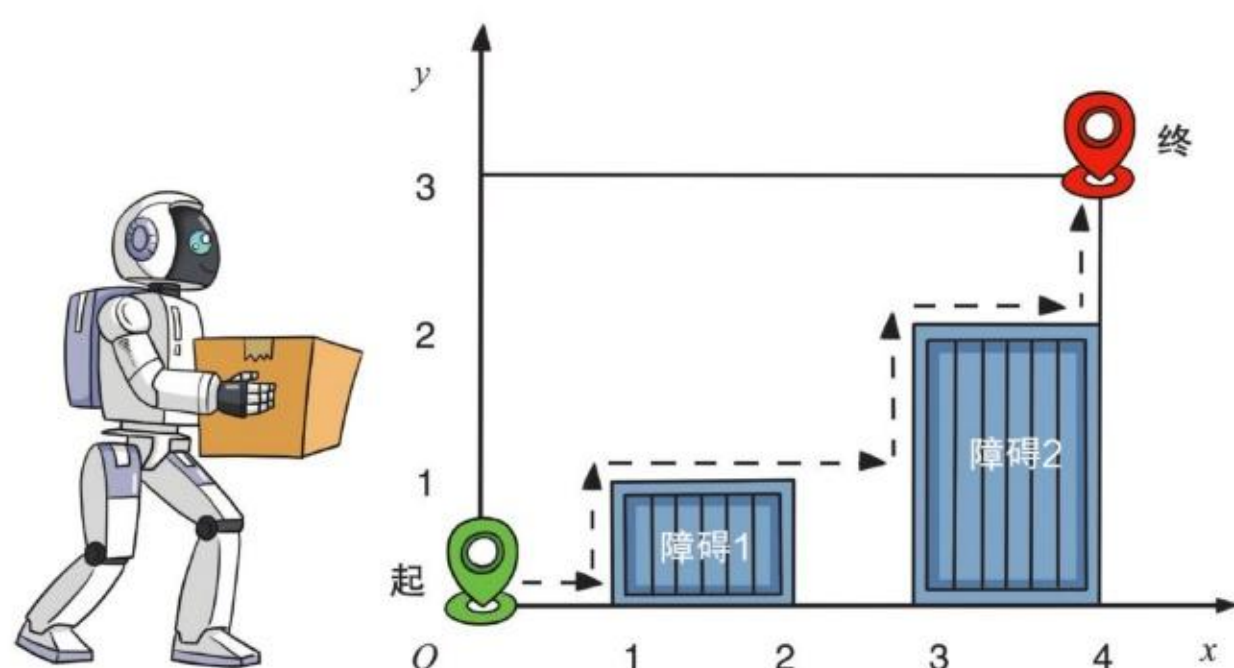


图4-14 随机式送货方案

第1步：向 x 方向前进2，因障碍物限制，到达 $(1, 0)$ 位置；

第2步：向 y 方向前进1，到达 $(1, 1)$ 位置；

第3步：向 x 方向前进2，到达 $(3, 1)$ 位置；

第4步：向 y 方向前进1，到达 $(3, 2)$ 位置；

第5步：向 x 方向前进2，因运动边界限制，到达 $(4, 2)$ 位置；

第6步：向 y 方向前进1，到达 $(4, 3)$ 位置，货物送达。

本章小结

机器人是由人类设计并制造出来的高科技工具，如何控制机器人使其更好地为人类所用便是这一工具使用价值的重要体现。

本章从机器人的路径规划与运动控制任务开始，分别介绍了相关的概念和功能。在说明运动控制具有姿态控制、路径控制和轨迹控制三种控制任务后，阐述了为完成相关任务所需的控制系统及其组成单元：控制器、被控对象、执行机构与检测单元等。控制系统实现对机器人的控制需要借助控制算法，常见的有开环与闭环两种控制。同时，以PID控制为例，介绍了控制算法中的数学思想。最后，本章结合具体实例对机器人的路径规划做出了说明，并重点区分了采用不同模式进行路径规划的异同。

本章知识结构如图4-15所示。

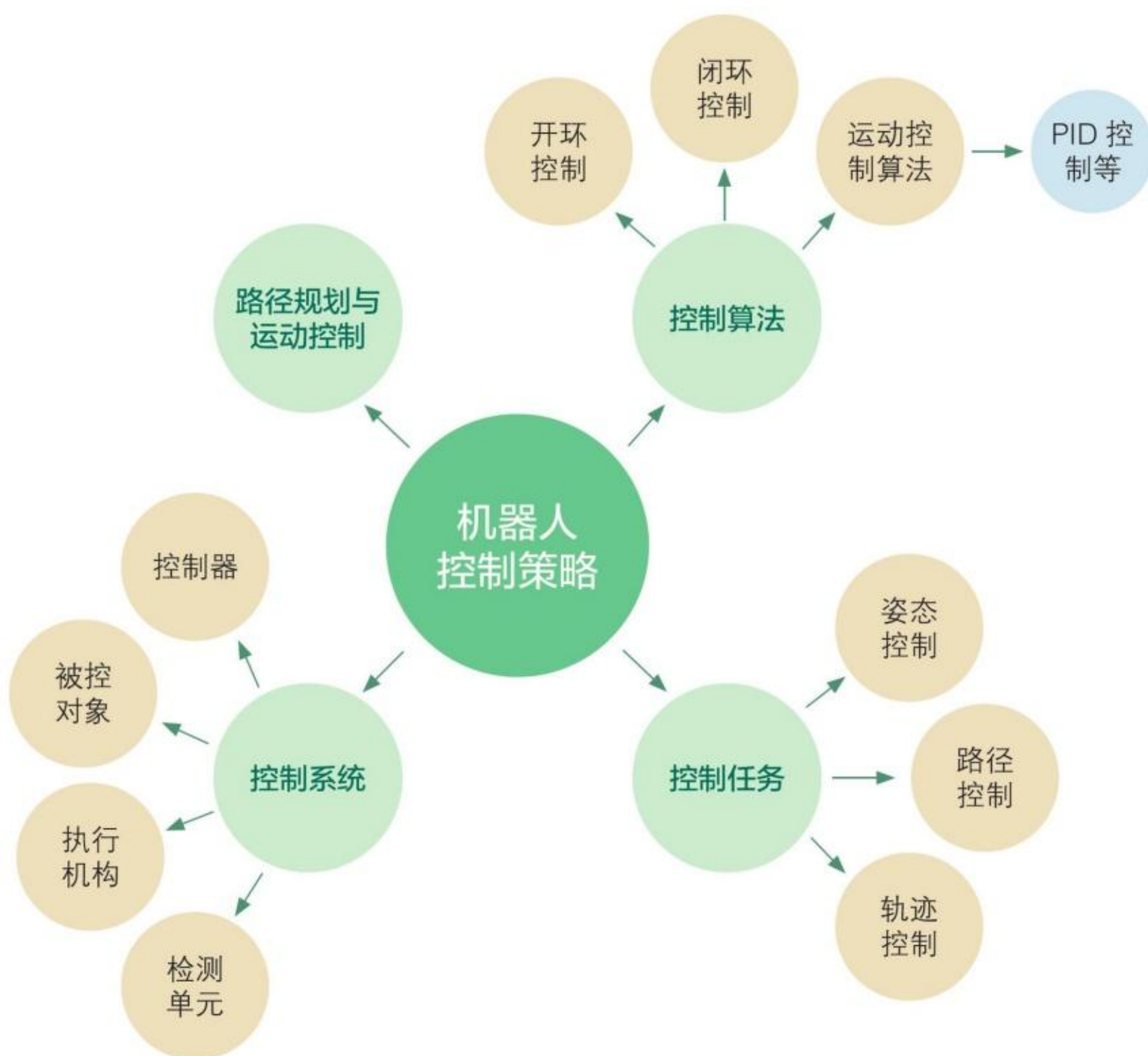


图4-15 机器人控制策略小结



循迹机器人小车制作——控制

实验目的

学习循迹小车的制作流程，加深对单片机开发的理解和应用，了解机器人系统中的闭环控制。

实验原理

通过前面的实验，我们已经了解循迹小车制作中红外传感器和电机驱动的开发，本次实验需要实现的是完整的循迹小车的制作，使其能沿着地面上的黑线运动。

既然我们已经能知道如何用红外探测模块检测黑线的有无以及控制小车前进、后退和转弯，那么如何完成循迹这一功能呢？只要在小车的车头安装红外探测模块，就能知道黑线在小车的中间还是偏左或是偏右，然后控制小车转向。

检测到白色路面的红外探测模块输出的是高电平，而检测到黑色路线的红外探测模块输出的是低电平，由此可根据模块中2个红外接收头输出的高低电平判断路线情况并调整小车前进方向。具体情况有如下几种。

- a 检测到 0 0 说明检测到横向黑线，即路线终止标志，小车应该停止。
- b 检测到 0 1 说明前进路线应向左偏，小车向左转。
- c 检测到 1 0 说明前进路线应向右偏，小车向右转。
- d 检测到 1 1 说明前进路线正确，小车直走。

实验器材

- (1) 51单片机最小系统 (STC89C51)；
- (2) 智能车车架；
- (3) 直流电机；
- (4) USB转串口模块；
- (5) L298N电机驱动模块；电阻、面包板、导线若干；
- (6) 电池、电池盒、导线若干。

实验步骤

- (1) 装配智能车车架；
- (2) 按照下页图4-16连接各个电路模块；
- (3) 编写并烧写单片机控制程序；
- (4) 测试实验装置，实现循迹小车在平地上能沿着地面黑线运动的功能（下页图4-17）。

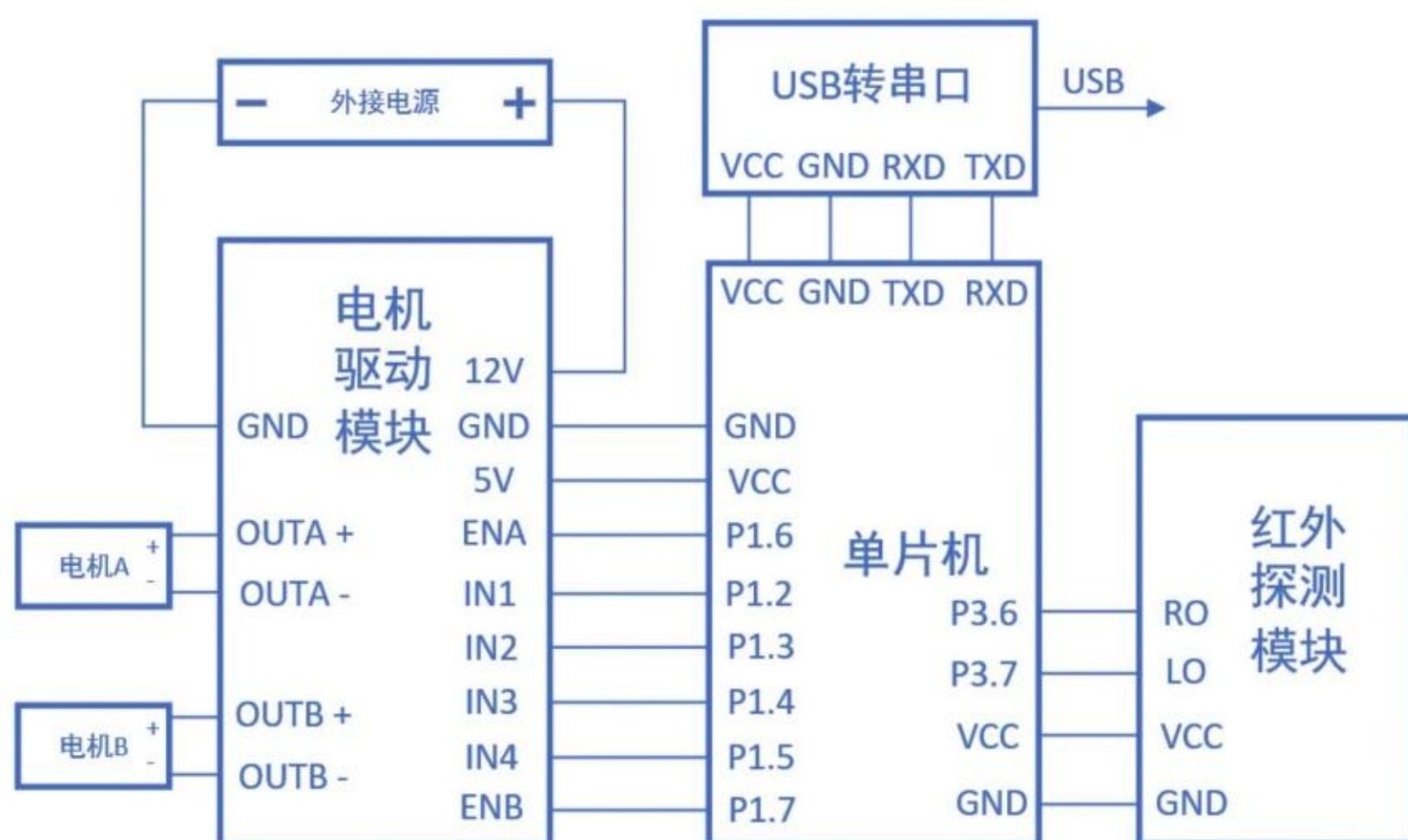


图4-16 循迹小车完整电路图



图4-17 循迹小车沿黑线运行图

实验拓展

- (1) 分别用轮询和中断的方式检测红外探测模块的值，并比较这两种程序逻辑的优劣；
- (2) 如果用3组红外收发器来检测黑线循迹该怎样实现，试一试并与2组红外收发器检测做比较；
- (3) 尝试改变小车运动速度，看看对循迹效果的影响。

课外实践评价表格

实践项目	评价标准	评价方式		
		自评	互评	师评
电气线路的连接	连接正确，线路长度适中，线路整洁美观，没有短路或断路的风险			
程序逻辑的编写	逻辑清晰正确，命名规范，有适当的注释，编程风格良好			
功能调试	能实现基本功能，小车能顺畅且快速地循迹，遇到问题能独立分析并解决			
实验操作	操作步骤有条不紊，注重安全			
实验拓展的分析	能正确回答拓展问题，分析合理透彻，有创新			

等级标准：A 优秀、B 良好、C 合格、D 待改进

本章学习评价表

	项目内容	自我评价
课堂学习	本章知识要点的掌握情况？	
	本章思考练习的完成情况？	
	本章实验的完成情况？	
学习收获	学完本章后有什么收获？	
	本章内容对你有什么启发？有什么不足？	

本册教科书根据教育部颁布的《普通高中通用技术课程标准（2017年版）》编写，2020年经国家教材委员会专家委员会审核通过。

编写过程中，上海市通用技术教学研究基地（上海高校“立德树人”人文社会科学重点研究基地）及基地所在单位华东师范大学等单位给予了大力支持。林炳辉、杨照霖、张傲、代朝进等人参与了本册书的编写与讨论。

本册教科书投入使用后，我们根据各方意见作了修订，真诚希望广大师生和家长继续提出宝贵意见！

联系方式

电话：010-58758523，010-58758866

电子邮箱：jcfk@pep.com.cn

编者



PUTONG GAOZHONG JIAOKESHU
TONGYONG JISHU



绿色印刷产品

ISBN 978-7-107-36811-0



9 787107 368110 >